



**MMM 4045**

**metalik malzemeler**

**yücel birol**

**Prof. Dr. YÜCEL BİROL**  
**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**  
**Bölümü**

**Kat:3 Oda:324**

**Telefon: 232 301 74 57**

**e- posta: [yucel.biol@deu.edu.tr](mailto:yucel.biol@deu.edu.tr)**



# Öğrenme kazanımları

1	Demir esaslı (demir-çelik, dökme demirler) ve demir dışı (alüminyum, bakır, çinko, magnezyum, nikel, titanyum, refrakter) metal ve alaşımlarını sınıflandırabilmek
2	Metalik malzemelerin özelliklerini kendi sınıfları arasında ve diğer metal alaşımları ile karşılaştırabilmek
3	Uygulama alanlarını ve buralarda metal ve alaşımlarının karşılaması istenilen özellikleri tanımlayabilmek

# Öğrenme kazanımları

4	Metalik malzemelerde yapı, özellik ve işlem ilişkilerini açıklayabilmek
5	Mühendislik tasarımları ve uygulamaları için uygun alaşımı seçebilmek
6	Metalik malzemelerde dayanım artırma mekanizmalarını, bunların birbirleriyle etkileşimini ve diğer özelliklere etkilerini değerlendirebilmek

# program

hafta #	konu
1 / 19.9	Giriş-tanışma-metalik malzemeler tarihçe-metalik bağ-kristal yapıları
2 / 26.9	Demir-çelik üretimi
3 / 03.10	Çelikler
4 / 10.10	Çelikler
5 / 17.10	Dökme demirler
6 / 24.10	Alüminyum üretimi, alüminyum alaşımları

# program

hafta #	konu
7 / 31.10	Alüminyum alaşımları
8 / 07.11	Vize sınavı
9 / 14.11	Alüminyum alaşımları
10 / 21.11	Bakır alaşımları
11 / 28.11	Çinko alaşımları, magnezyum alaşımları
12 / 05.12	Titanyum alaşımları
13 / 12.12	Refrakter metaller

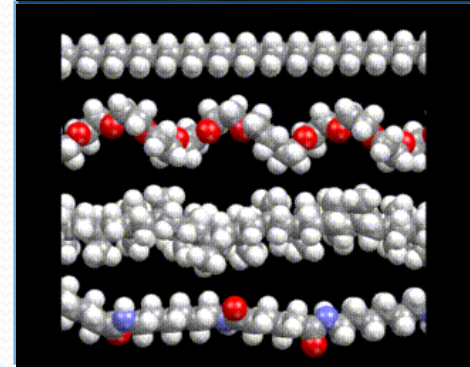
# program

hafta #	konu
14 / 19.12	Final sınavı



# Malzeme çeşitleri

- sınıflama
  - Kimyasal kompozisyona
  - Atomik yapıya
- metaller
- seramikler
- polimerler
- Diğer malzeme çeşitleri
  - Kompozitler
  - İleri-akıllı malzemeler



# Malzeme çeşitleri

## **metaller:**

Elektron bulutu içinde iyonlardan oluşan bir yapı. Mukavemetli fakat sünek; elektriği ve ısıyı iyi iletirler; parlak yüzeyli!

## **seramikler:**

atomlar ~ pozitif veya negatif iyonlar; birbirlerine Coulomb kuvvetleri ile bağlı.

Genellikle metal veya yarı iletkenlerin oksijen, nitrojen veya karbonla bileşikleri (oksitler, nitrürler, karbürler).

Sert, kırılğan, yalıtkan (örnekler: cam, porselen)

# Malzeme çeşitleri

## **Polimerler:**

Çoğunlukla Kovalent bağlı + zayıf van der Waals bağları; genellikle C ve H esaslı. Oldukça düşük sıcaklıklarda (100 - 400 °C) ayrışırlar. Hafiftirler. Örnekler: plastikler, kauçuk Vb.

## **Kompozitler:**

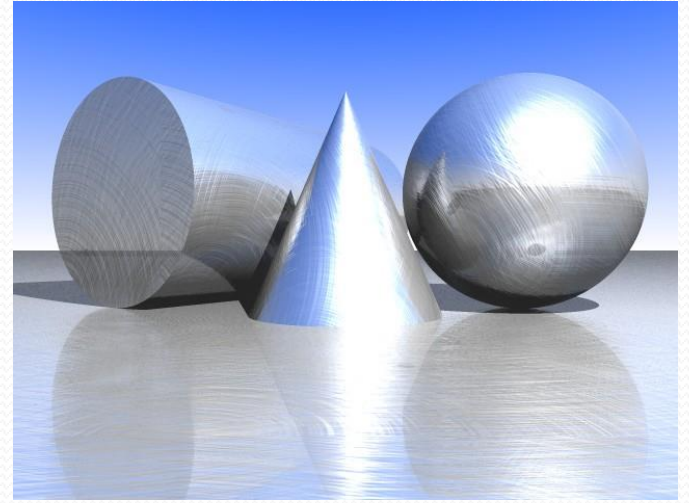
istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilen farklı iki veya daha fazla malzemedenden müteşekkil!

# Metalik elementler

- 'metal' sözcüğü Yunancada çıkarmak, yer kabuğundan elde etmek anlamına gelen 'metallon,' sözcüğünden türemiştir.
- Periyodik cetveldeki elementlerin dörtte üçü metaldir.
- Metaller, geçiş metalleri, alkali metaller, toprak alkali metaller, nadir toprak, lantanid ve actinit gibi alt sınıflara ayrılmıştır.
- Oda sıcaklığında civa dışındaki bütün metaller katı haldedir.

# Metalik malzemeler

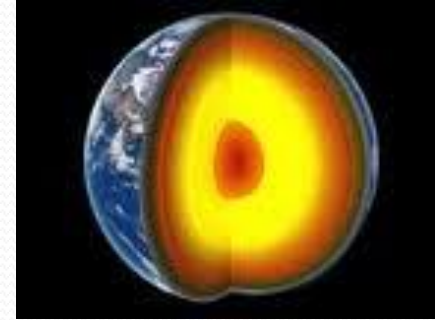
- Metalik elementlerden müteşekkil
- Valens elektronları serbest
- atomik yapılar düzenli
- Yüksek yoğunluk
- Yüksek mukavemet
  - Stiff ve dayanıklı
  - sünek
  - Yüksek kırılma tokluğu
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği
- manyetik
- parlak





# Metalik elementler

- Yer kabuğunda en çok bulunan metal alüminyumdur (element sıralamasında oksijen ve silisten sonra üçüncü!).
- Yer kürenin tamamında en çok bulunan metal demirdir. Demir dünyamızın çekirdeğinin büyük kısmını kaplar.

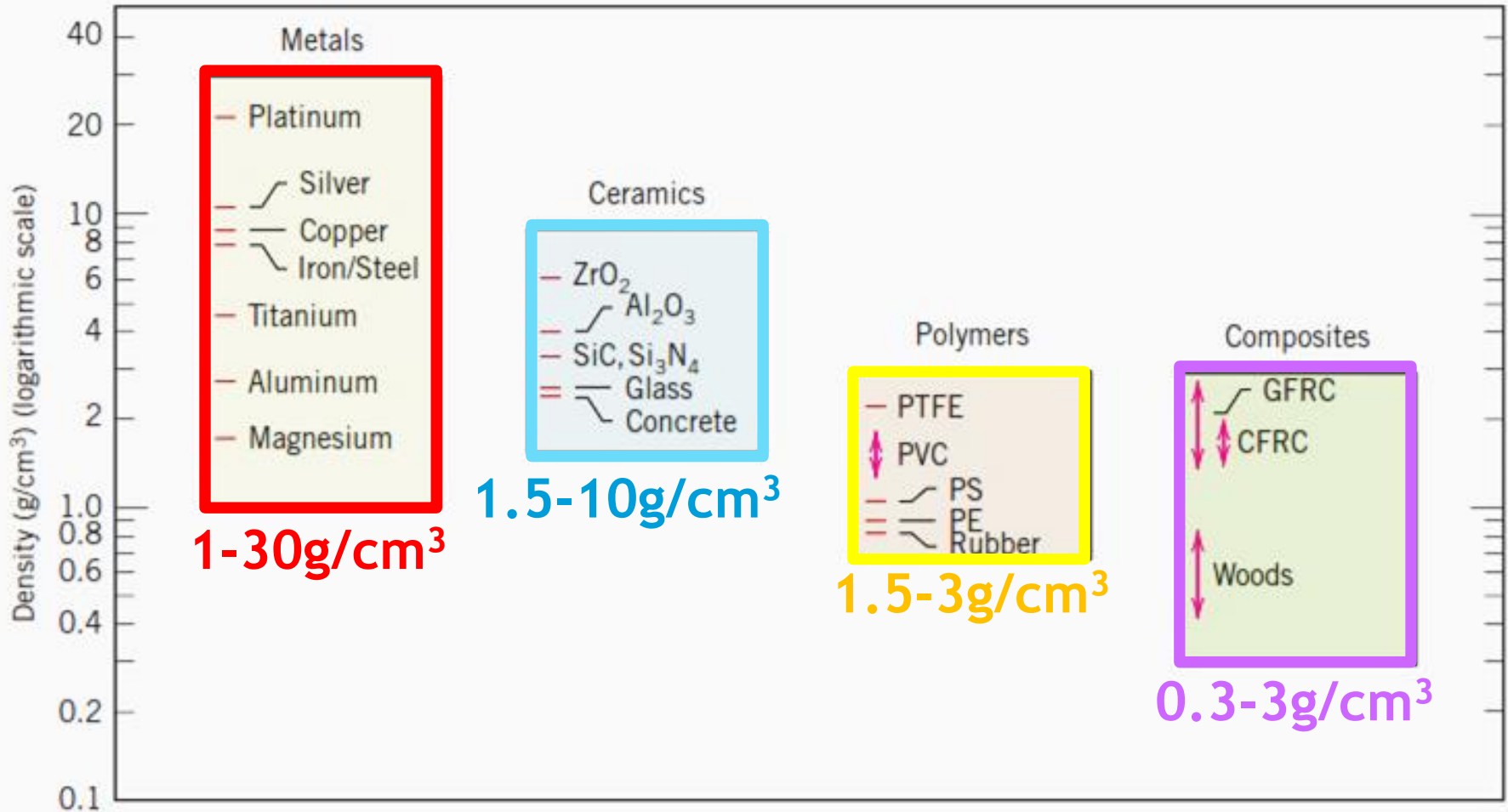


- Lityum, sodyum, potasyum gibi alkali metaller o kadar reaktiftir ki, suda bile alev alıp patlar.

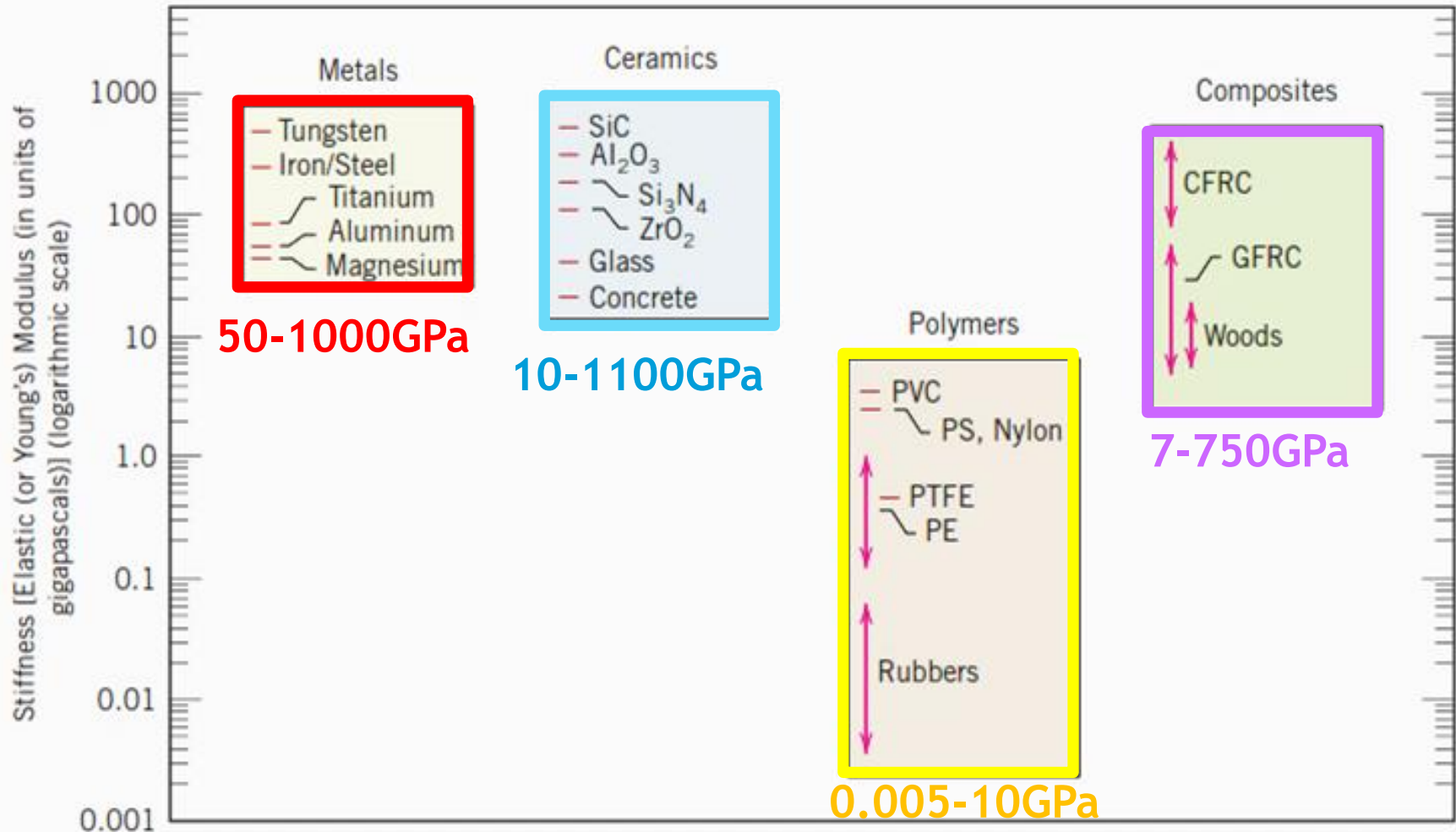
# Metalik elementler

- Gümüş, altın, platin gibi asil metaller oksidasyona ve korozyona ağır atmosfer koşullarında bile mükemmel direnç gösterirler.
- Kıymetli metallerin çoğu asil metaldir. Ekonomik enstrüman olan altın ve gümüş gibi metallerin aşınma ve bozunmaya dirençli olması gerekir.
- Tungsten en yüksek ergime noktasına sahip olan metaldir.

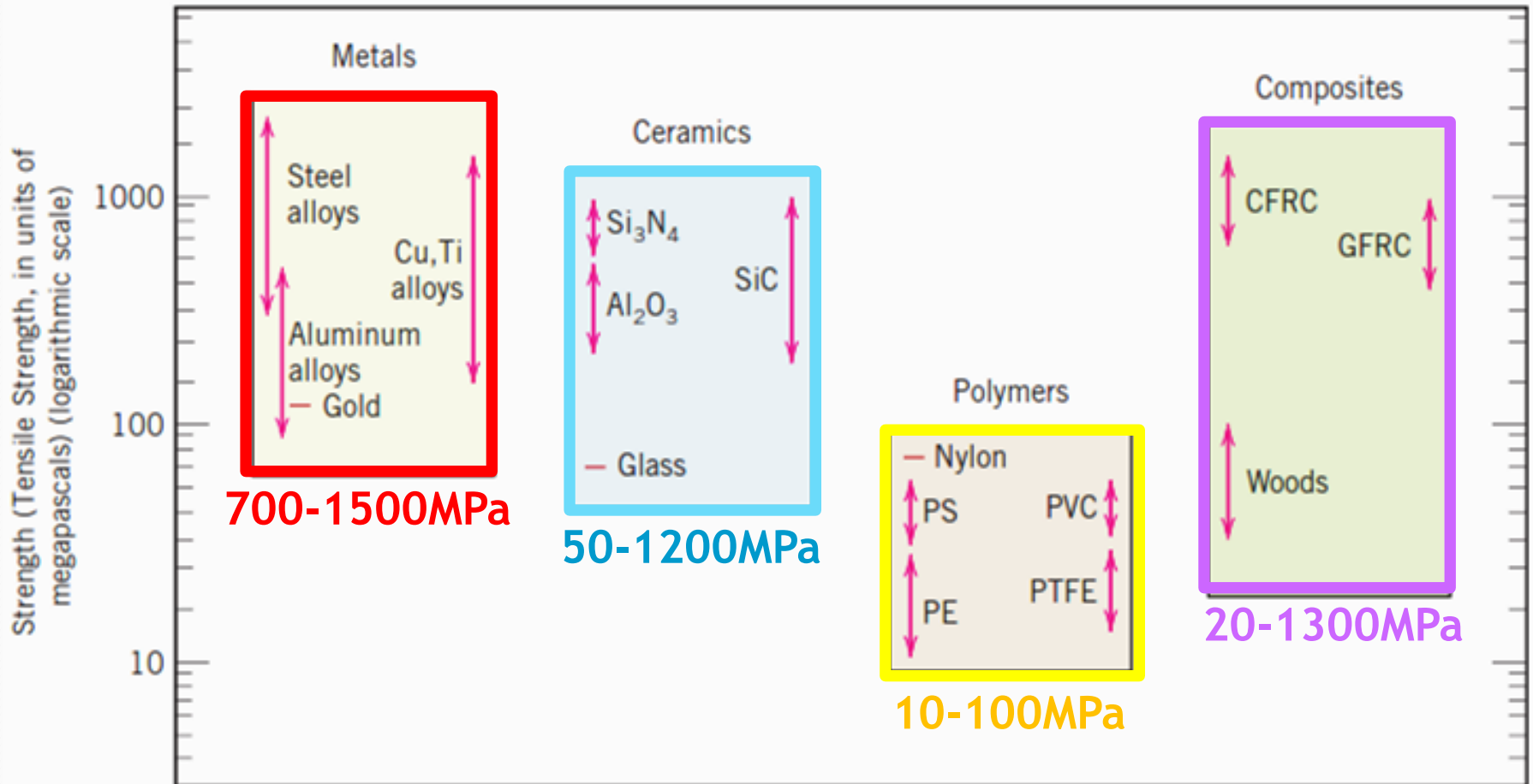
# yoğunluk



# Elastik modül

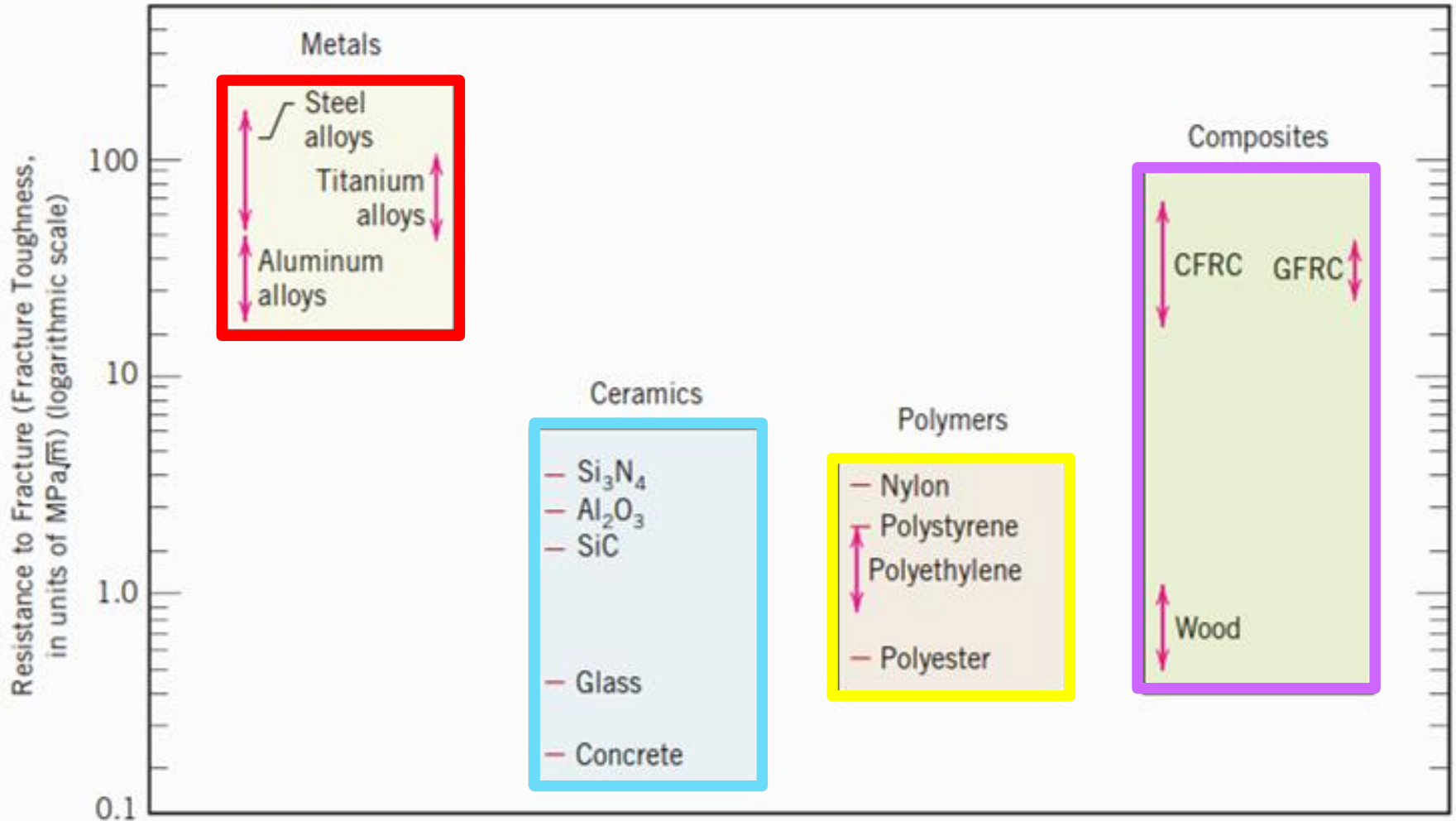


# mukavemet

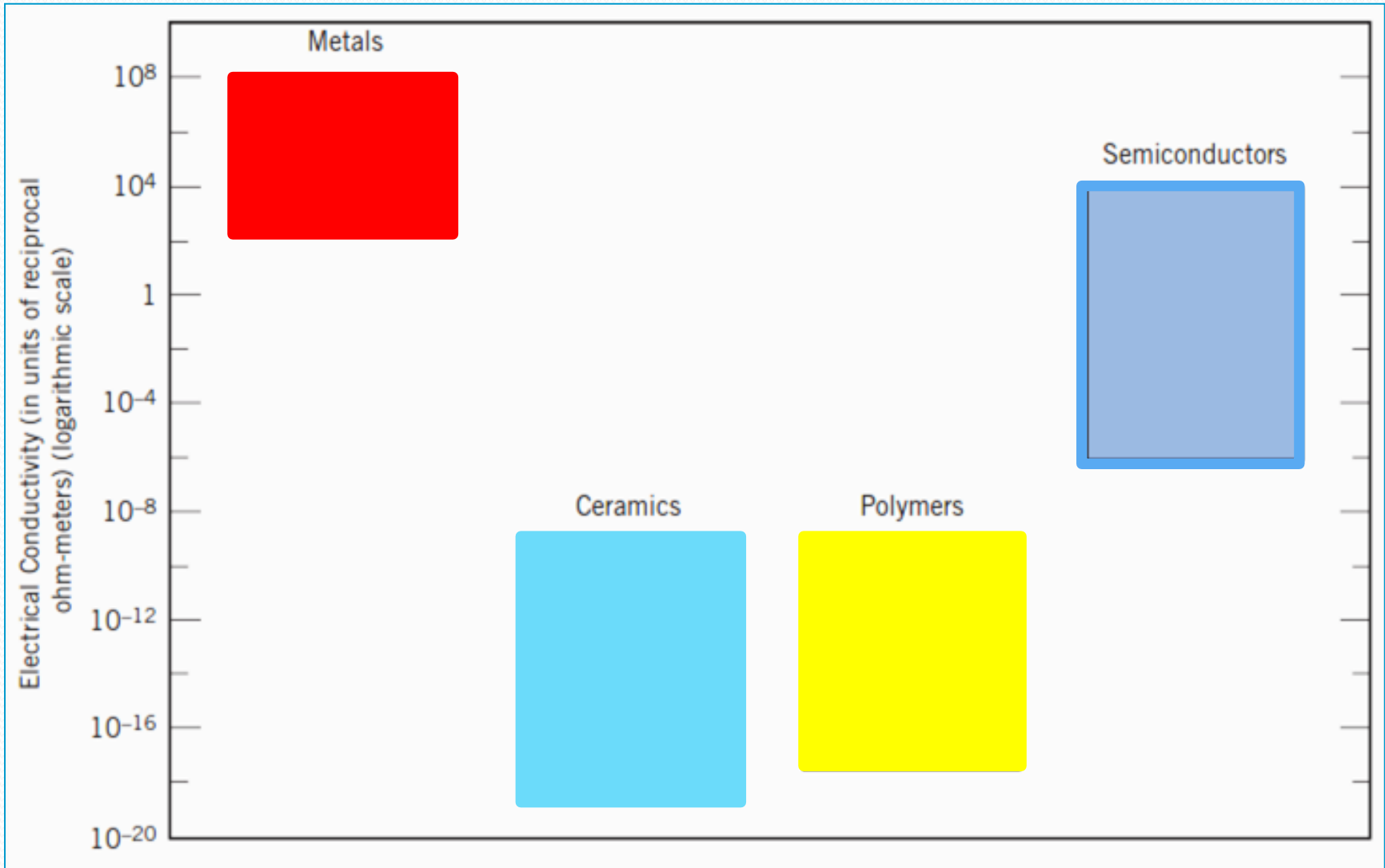




# Kırılma tokluğu



# Elektrik iletkenliği



# Malzeme çeşitleri

Malzeme grubu	Maksimum servis sıcaklığı (°C)	Hasarlanma/servis dışı kalma sebebi
polimerler	300	Ergime, ayrışma
cam	800	Viskoz akış
metaller		
demir-çelik	1100	
Fe-ODS	1300	
Ni ve Co-esaslı	1200	Sürünme, dislokasyon tırmanması
Pt-esaslı	1600	Tane sınırı kayması
refrakter metaller- asal ortam	>1600	
MoSi <sub>2</sub>	1800	
seramikler-SiC	1600	Viskoz akış, cam geçiş sıcaklığı, tane sınırı kayması
kompozitler (+SiC/+C)	1600	karmaşık

# Metallerin tarihçesi

- 17. yüzyılın sonuna kadar sadece 12 metal biliniyordu.
- Metalurjik süreçler yaklaşık 8000 yıl öncesine (MÖ 6000) gidiyor!
- 18. yüzyılda 12 metal daha keşfedildi.
- böylece 1900'dan önce bilinen metallerin sayısı 24'e çıkmış oldu!
- Bu metallere 4 tanesi - Arsenik, antimon, çinko ve bizmut - 13. ve 14., platin ise 16. yüzyılda keşfedilmişti.

# Metallerin kısa tarihçesi

metal	En erken kullanım	En eski örnek	uygarlık	yer	
bakır	MÖ 9000	MÖ 6000	Orta doğu	anadolu	İnsanoğlu tarafından kullanılan ilk metal. Önce doğadan sonra ergitme pratikleri. Çatalhöyük'teki buluntular MÖ 6000'e tarihlenmiş.
kurşun	MÖ 7000	MÖ 3800	Yakın doğu	Abidos mısır	Kurşun 9000 yıl önce elde edilmiş. Abidos'taki Osiris tapınağındaki kurşun heykel MÖ 3800'e tarihlenmiş.
altın	<MÖ 6000	MÖ 3000	Orta doğu	mısır	En eski altın obje Mısırlı Kraliçe Zer'in mezarında bulunan takılardır.
gümüş	<MÖ 5000	MÖ 4000		asya	Bakır ve altından kısa süre sonra bulunduğu varsayılmakta..
demir	<MÖ 5000	MÖ 4000		mısır	MÖ 5000'den önce demirin bulunduğu kanıtları var! Mısırdaki meteorik demirden yapılmış ve MÖ 4000'e tarihlenmiş aletler var. MÖ 3000'de metalinin elde edilmesi MÖ 1200'de DEMİR ÇAĞI'nın başlamasına yol açtı.



# Metallerin kısa tarihçesi

metal	En erken kullanım	En eski örnek	uygarlık	yer	
kalay	MÖ 3500	MÖ 2000			İlk kez bakırla birlikte metalik elde edildi ve bronz yapıldı.
çinko	<MÖ 1000	MÖ 1000		hindistan	Metal olarak MÖ 1000'de Hindistan'da elde edildi.

# Metallerin kısa tarihçesi

- İnsanlar tarafından kullanılan ilk metaller bakır ve altındı!
- İlk metaller Mezopotamyalılar, Mısırlılar, Yunanlılar ve Romalılar tarafından biliniyordu!
- Altın ve gümüş çok yumuşak oldukları için dekoratif kullanımlar dışında işe yaramadı!
- Bakır dövme işlemleri ile sertleştirilebildiği için alet yapımında yararlı olmakla birlikte silah imalatında kullanılamadı.

# Metallerin kısa tarihçesi

- Bakırın kalayla alaşımı bronz, mukavemet yönünden tatminkardı; dövme ile sertleştirildi; döküm ile istenen şekillere sokulabildi.
- İlk alaşım, bronzun, keşfi uygarlığa ilk adımdı.
- Bronz çağı bu şekilde başladı.
- Orta Doğuda bulunan bir bronz alaşımı yaklaşık 87% bakır, 10-11% kalay ve az miktarda (<1%) demir, nikel, kurşun, arsenik ve antimon içermekteydi.

# Metallerin kısa tarihçesi

- Kurşun yumuşak olduğu ve kolayca şekillendirilebildiği için alet-edevat yapımında yaygın olarak kullanıldı.
- Roma İmparatorluğu'nda su taşımada kullanılan boruların yapımında kurşundan yararlanıldı.
- Demir de uygarlıkta önemli metallerden biridir. Keşfi Bronz çağından Demir çağına geçilmesine yol açtı.

# bakır

- Sembolü, Cu, latince Kıbrıs anlamındaki “cuprum” sözcüğünden türemiştir.
- İlk aletler, donanımlar, silahlar bakırdan yapılmıştır.
- Bakır kalkolitik dönemde (MÖ 4,000 ile 6,000) yaygın olarak kullanılmıştır.
- MÖ 5000’de bakır sac imal ediliyordu.

# bakır

- Nil vadisinde bulunan ve ergitilerek elde edilen ilk bakır yüzükler, kolyeler MÖ 3600, ilk aletler, silahlar MÖ 3000 öncesine tarihleniyor.
- Ancak bunlar kraliyete ait objelerdi. Bakırın halk arasında yaygınlaşması 500 yıl sonra mümkün olacaktı.

# Bakır



Bakırdan dökülmüş boğa ve geyik kursu (M.Ö. 2500)  
Anadolu Medeniyetleri Müzesi

# Bakır



Hitit döneminde (M.Ö. 2500) döküm tekniği ile yapılmış geyik heykeli  
Anadolu Medeniyetleri Müzesi



# bakır



Kalkolitik çağdan bakır  
madeni  
Timna vadisi  
Negev ölu  
İsrail

Bakırdan antik  
aydanlık  
Hindistan'dan  
buluntu!



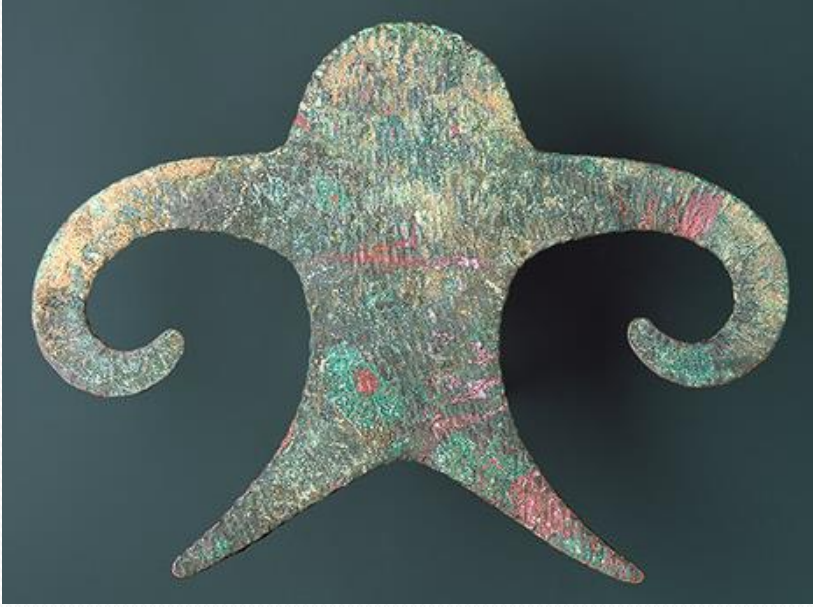
# bakır



Bakır aletler:  
balta, çekiç,  
kanca askı,  
iğneler

Belgrad'ın  
(Sırbistan) 200  
km güneyi  
7000 yıl  
öncesine  
tarikhlenmiş!

# bakır



**Anthropomorph**

**Bakır buluntu**

**21x29cm**

**Uttar Pradesh, Hindistan**

**MÖ 1500**

**Silindirik bakır kaide veya taç**

**Kalkolitik dönem**

**MÖ 4000**

**Levant, Nahal Mishmar**



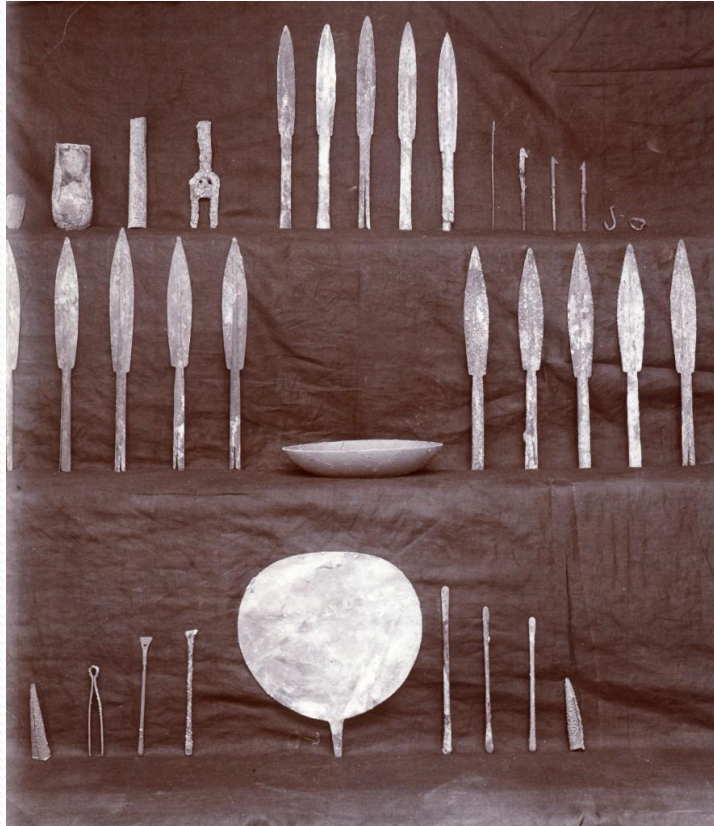


# bakır

Bakır mızrak uçları

Mısır

MÖ 1069-945



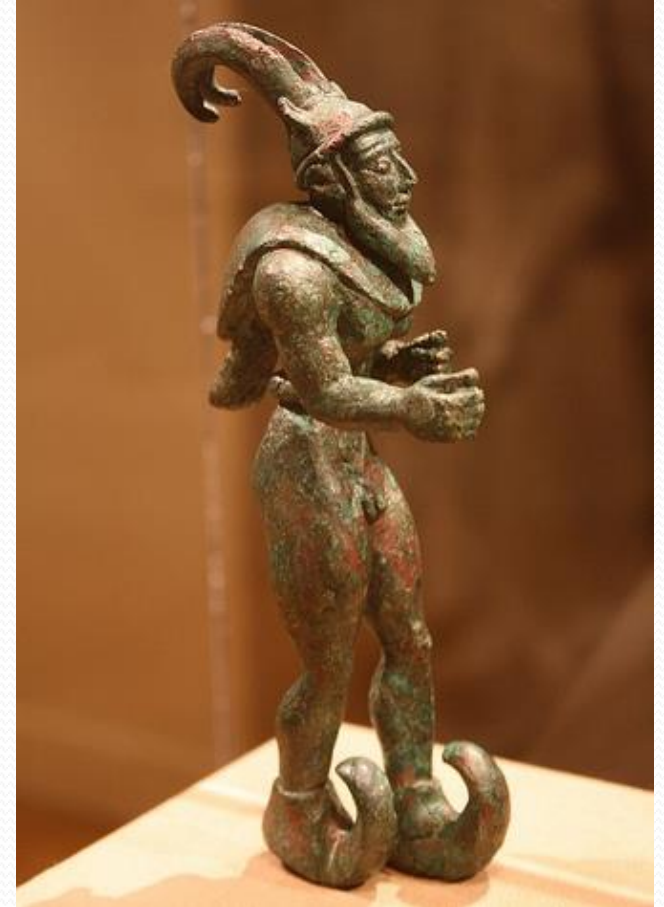
Üst rütbeli askerler 5 set bakır mızrak ucu ile birlikte gömülürler (Mısır)

# bakır



Deity, Uruk'a ait bakır heykel  
Sümer uygarlığı, MÖ 3300-3100

Arsenik bakırdan heykel  
Mezopotamya/İran,  
Sümer Uygarlığı  
MÖ 3000



# bakır

Hassas döküm tekniği ile üretilmiş  
bakırdan İbex sceptre

MÖ 400-300

Nahal Mishmar, Judean çölü  
İsrail



# altın

- Sembolü Au, latince parl原因an şafak anlamına gelen «aurum» dan gelir.
- Altın objeler genellikle mücevher sınıfına ait.
- Taş devri insanları altının kolaylıkla sac ve tel formuna sokulabileceğini öğrendi.
- Yumuşaklığı nedeniyle altının kullanımını dekoratif amaçlarla sınırlı kaldı.

# altın

- Altın asil bir metal olduğu için paslanmadan ve zarar görmeden kalabildi.
- Nadir bulunması ve değeri altının en önemli metallerden biri olmasını sağladı.
- İspanya'daki mağaralarda Geç Paleolitik dönemden (M  40000) az miktarda ham altın bulunmuştur.



# altın

~ MÖ 1400'de, Mitanni Kralı Mısır Firavunu olan kayınpederine şöyle yazmış:

Üzerinde çalıştığım bir projeyi bitirebilmem için acele altın gönder! Altın senin ellerinde toz!

Tutankhamen' mezarı 1922'de açıldığında o tarihte Mısır Merkez bankasındakinin 2 katı altın vardı. Mısır firavunlarının mezarlarındaki buluntulardan Altın metalurjisinin Mısır'da mükemmelleştirildiği bilinir. Fakat 1927'de Sümer şehri Ur'da kraliyet mezarlarında altın teknolojisinin MÖ 2600 yıllarında çok ileri seviyede olduğu anlaşılmış.

İran kazılarında MÖ 3000 yıllarına tarihlenen işlenmiş altın buluntularına rastlanmıştır.

Altın metalurjisinin Mısır'dan ziyade İran-Anadolu ekseninde geliştiği belirlenmiştir.

# altın



**Dizili yaprak kolye (38.5cm)**

**MÖ 2600-2500**

**Mezopotamya; Sümer Uygarlığı;  
Kral mezarına ait buluntu!**

**Maikop altın boğa heykeli**

**MÖ 2500**

**Rusya'dan tarih öncesine ait  
buluntu**



# altın



**Rillation altın kap**  
Erken bronz çağı  
MÖ 1800-1600

**Altın sepet aksesuarı**  
MÖ 2500-2000



# altın



Altın yüzük  
Geç bronz çağı  
MÖ 1000-750

Altın aksesuar  
Erken bronz çağı  
MÖ1900-MÖ1600  
Altın işlemeciliğinin en  
güzel örneklerinden biri





# altın



**Altın kolye**  
Çap 30 cm  
Geç bronz çağ  
Late bronze age  
MÖ 1000-750

**Merasim maskesi**  
(49.5cm)  
MS 1000-1100  
Peru, Sicán  
(Lambayeque)  
altın, üstü bakır kaplama



# gümüş

- Sembolü, Ag, latince “argentum” (Arjantin; İspanyol kaşiflerin Güney Amerika’da ne bulmayı hedeflediği!!) sözcüğünden gelmektedir.
- Gümüş doğada metalik olarak bulunmakla birlikte çok nadir rastlanan bir metal.
- Gümüş asil metaller arasında kimyasal olarak en aktif olanı!

# gümüş

- Altından daha sert fakat bakırdan daha yumuşak.
- Süneklik ve şekillendirilebilirlikte altından sonra ikinci.
- Yumuşak olması sebebiyle mücevher ve süs objeleri yapımında kullanıldı ve zenginlik işareti olarak değer gördü.

# gümüş



Gümüş kap; Orijinali 2 kulpu  
Roma Dönemi



Antik Mısır'dan buluntu  
Mısır'da tantıların derisinin  
altın, iskeletinin gümüşten  
olduğuna inanılırdı.



# gümüş



Gümüş tabutlar  
Mısır uygarlığı; 21.  
Psusennes I ve 22. Sheshonq  
II hanedanlara ait

Gümüş çanak MS 400  
Hırvatistan'dan buluntu  
Bazıları altınla kaplanmış



# kurşun

- Sembolü, Pb, latince sıvı gümüş anlamına gelen “plumbum” sözcüğünden gelir.
- Kurşun doğada metalik olarak bulunmaz. Fakat metalik görünümlü bileşiği kurşun sülfiti (Galen), Mısırlılar kozmetik amaçlı göz boyası olarak kullanılırdı.
- Metalik kurşunun, düşük ergime noktası (327 °C) sayesinde bir kamp ateşinde galenden kolayca elde edildiği düşünülmektedir.

# kurşun

- İlk aşamada çok yumuşak olduğu için metalik kurşundan alet ve silah yapımında yararlanıldı.
- Kurşunun kullanılması MÖ 3500 yıllarında başlar.
- Kolay şekil aldığı, paslanmaz olduğu için ideal boru malzemesidir.

# kurşun



Roma'da hamamlara su taşıyan kurşun borular





# kurşun

Romalılar kurşun kazanlarda hazırlanan yiyecek ve içecekleri kurşun bardak ve sürahilerden içmiş, su kaynaklarından suyu evlerine kurşun borularda taşımıştır. Antik Roma'da içme suyu kurşunca normalden 100 kat daha zengindi.

Bazı tarihçiler kurşun zehirlenmesinin Roma'da özellikle kraliyet mensuplarını olumsuz etkilediği, gut gibi hastalıkların kraliyet ailesi arasında yaygın olduğunu ve Roma İmparatorluğu'nun çöküşünde bunun rolü olduğunu iddia etmektedir.

# kalay

- Sembolü, Sn, latince damlamak anlamına gelen “stannum” sözcüğünden gelmektedir.
- Bu da kalayın ne kadar eriyip sıvı hale geçtiğine işaret eder (lehim malzemesi).
- Kalay doğada metalik olarak bulunmaz.
- Kalay kendi başına kullanılmamıştır. Bakır ile alaşımlanarak Bronz olarak yararlanılmıştır.

# kalay

- MÖ 2500 öncesinde Sümerler kalay ve bakır madenleri yüksek sıcaklıkta karıştırıldığında daha sert, akışkan ve bu sayede daha kolay dökülebilen farklı tür bir bakır elde edilebildiğini biliyorlardı.
- MÖ 2500 yılına tarihlenen bir balta %11 kalay ve %89 bakır içeriyordu.
- **Bronz Çağı!!**

# kalay

MÖ 2000'e kadar bakır aletler bölgedeki kalay tüketildiği için çok az kalay içeriyordu. Sümerler kalay yatakları bulmak için bu yüzden uzaklara gitmek zorunda kalmıştır.

Bronz alet ve çiftçilik gereçleri yapımında kullanıldığı için bakırdan çok daha faydalı bir alaşımdı.

İlk kalay gereçler MÖ 2000 yıllarına tarihlenmektedir.



# kalay

Ancak kalay ergitme batı Asya'da yaygınlaşması MÖ 1800 yıllarında gerçekleşecekti.

Kalay charcoal ile redükleniyordu ve önceleri bir çeşit kurşun olduğu düşünölmüştü. Romalılar hem kurşuna hem de kalaya "plumbum" adını vermişlerdi.

MÖ 1400 de bronz en önemli alaşımdı.

Kalay çok sünek ve şekil alabilir ve paslanmaya dayanıklı bir metaldir.

# kalay



kalay vazo

Roma döneminden bronz  
madeni para 1.5 cm  
Kalay oranı %10-20



# kalay



Bronz aydanlık  
Antik Çin

gerdanlık



# civa

- sembolü, Hg, latincede sıvı gümüş anlamına gelen “hydrargyrus”, sözcüğünden gelmektedir.
- Civa MÖ 1500 1600 yıllarına tarihlenen mezarlarda bulunmuştur.
- Çinlilerin civayı MÖ 2000’den önce de kullandıkları anlaşılmıştır.

# civa

- Civa oda sıcaklığında sıvı halde olan yegane metaldir.
- Gümüş ve altını çözebildiği (amalgam) için kaplama şeklinde kullanılmıştır.
- Mısırlılar tarafından kutsal kabul edildiği düşünülmektedir. Mısır kral mezarlarında çanaklar içinde civaya rastlanmıştır.

# demir

- Sembolü, Fe, latince “ferrum” sözcüğünden gelmektedir.
- Antik çağda demir meteorlardan az miktarlarda bulunmaktaydı.
- ham demir %6-8 kadar nikel içerdiğinden hemen fark edilir.



# demir

- İnsan tarafından elde edilen metalik demirin MÖ 2500 yıllarında var olduğuna dair işaretler bulunmuştur.
- Mısır'da meteorik demirden MÖ 3000 yıllarında yapılan silahlar “cennetten daggers” adı ile çok kıymetli idi.
- Ancak MÖ 1200 yıllarına kadar demir metalurjisi rutin bir faaliyet olamadı.

# demir

Antik çağda demir altından 5 kat daha pahalıydı ve ilk kullanımları süs ve takı eşyalarındaydı.

Daha sonra demirden imal edilen silahlar savaş tekniğini değiştirmiştir.

Bunu çiftçilik için de söyleyebiliriz.

Demir ve çelik uygarlık için temel taşlardan biri vazifesini görmüştür.

# demir

MS 400 yılına ait bir demir sütun Hindistan'ın delhi kentinde sapasağlam ayakta durmaktadır. Paslanma ihmal edilebilir seviyelerdedir.



# Üretim metalurjisi

Kalay ve kurşun gibi metaller mineralleri ateşte ısıtılarak kolayca elde edilebilen metaller.

Daha yüksek bir sıcaklıkta olmakla birlikte bakır da benzer.



# Üretim metalurjisi

MÖ 5000-6000: Sırbistan'da bakır metal elde edildiğine dair kanıtlar var (MÖ 5500 yılına tarihlenmiş bakır baltalar Belovode/Sırbistan).

MÖ 3000: Benzer pratik Portekiz, İspanya ve İngiltere'de!

MÖ 3500: Bakır + kalay alaşımlama; daha dayanıklı bir alaşım; Bronz Çağı →

# Üretim metalurjisi

Demirin cevherinden metalik formda elde edilmesi bakır ve kalaydan çok daha zor olmuştur.

Demir metal üretimi ilk kez MÖ 1200'lerde Hititler tarafından gerçekleştirilmiş ve böylece Demir Çağı başlamış!

Demir metalurjisinde tarihi gelişmelerin işaretleri yakın Doğu, Orta Doğu, antik İran, antik Mısır, Anadolu, antik Yunanistan, antik Roma, Çin, Japonya ve Hindistan'da bulunmuş.



# Üretim metalurjisi

Metalurjide bugün halen kullanılmakta olan yüksek fırın, dökme demir, hidrolik pres vb bir çok uygulama, pratik, donanım antik Çin'de devreye alınmış.

Georg Agricola tarafından 16. Yüzyılda kaleme alınan De re metallica adlı kitapta madencilik, metal cevherlerinden metal eldesi ve ergitme gibi bugün kullanılan uygulamaların bir çoğu kapsamlı şekilde anlatılıyor.

# Metalurji-kronoloji

Paleolitik dönem : MÖ 2000000-MÖ 8000: erken taş devri



Period	Approximate time (Middle East)	
Neolithic Period (Late Stone Age)	8000 - 4000 BCE	from the Greek <i>chalcos</i> 'copper' and <i>lithos</i> 'stone'
Chalcolithic Period (Copper Age)	4000 - 3150 BCE	Egypt: Beads from meteoric iron
Early Bronze Age	3150 - 2300 BCE	Egypt: Oldest bronze (Old Kingdom, from 2700 onwards)
Middle Bronze Age	2200 - 1550 BCE	First uses of iron in Hatti and Mesopotamia
Late Bronze Age	1550 - 1200 BCE	Egypt: Oldest iron blade, probably Hittite. No local iron production
Early Iron Age	1200 - 1000 BCE	
Iron Age II	1000 - 586 BCE	Egypt: Beginning of iron production

# arkeometalurji

Ege Bölgesi Kültür Varlıkları Uygulama ve Araştırma Merkezi (EKVAM) bünyesinde 13 Nisan 2014, Cuma günü, saat 13.30'da D.E.Ü., Tınaztepe Kampüsü, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, A 457 no'lu sınıfta Prof. Dr. Ergün LAFLI ile D.E.Ü. Arkeometri Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü Yard. Doç. Dr. Murat KUŞOĞLU tarafından ortak bir disiplinlerarası “Arkeoloji ve Arkeometalurji dersi” gerçekleştirilecektir. Bu derste arkeolojik ve arkeometalurjik açıdan Eskiçağ'da çiviler ile kullanımları konu edilecektir. Öğrencilerle beraber aktif olarak bilimsel bir konunun tartışılacağı bu derse katkı sağlamak isteyen, konuyla ilgili başta Dokuz Eylül Üniversitesi mensubu tüm bilim insanı, öğretim üyesi ve lisansüstü öğrencileri davetlidir. İletişim: Prof. Dr. Ergün LAFLI.

# Elementlerin sınıflandırılması

- 3 tür: **metaller, non-metaller, metaloidler**
- Metaller periyodik tablonun solunda yer alır ve non-metallerden zigzag çizen sınır ile ayrılır.
- Non-metaller bu zigzag sınırın sağındadır.
- Bu zigzag sınıra bitişik olan elementler hem metalik hem de metalik olmayan özellikler gösterir ve metaloidler olarak bilinir.

# Metalik malzemeler

## *Periyodik tablo*

The periodic table is color-coded to show the classification of elements:

- Metal:** Elements in the left and middle sections, highlighted in blue.
- Metalloid:** Elements in the diagonal line between metals and nonmetals, highlighted in green.
- Nonmetal:** Elements in the top-right section, highlighted in brown.

1																	18
1																	2
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



# Metalik elementler

Metalik özellikler azalır

Atomik yarıçap azalır

Metalik özellikler artar

Atomik yarıçap artar

Key

- Atomic number
- Symbol
- Atomic weight

Metals: White box  
Nonmetals: Grey box  
Intermediate: Diagonal line box

IA	IIA		III A										III B										VIII										I B										I A										0									
1 H 1.0080																																																					2 He 4.0026									
3 Li 6.939	4 Be 9.0122																																																			10 Ne 20.183										
11 Na 22.990	12 Mg 24.312	IIIB										IVB										VB										VIB										VIIB										IIB										18 Ar 39.948
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.91	36 Kr 83.80																																													
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.30																																													
55 Cs 132.91	56 Ba 137.34	Rare earth series		72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.98	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)																																												
87 Fr (223)	88 Ra (226)	Actinide series		Rare earth series														Actinide series																																												
				57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97	89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lw (257)																													

Atom numarası artar

İyonizasyon enerjisi azalır

Atom numarası artar

İyonizasyon enerjisi artar



# Metalik malzemeler

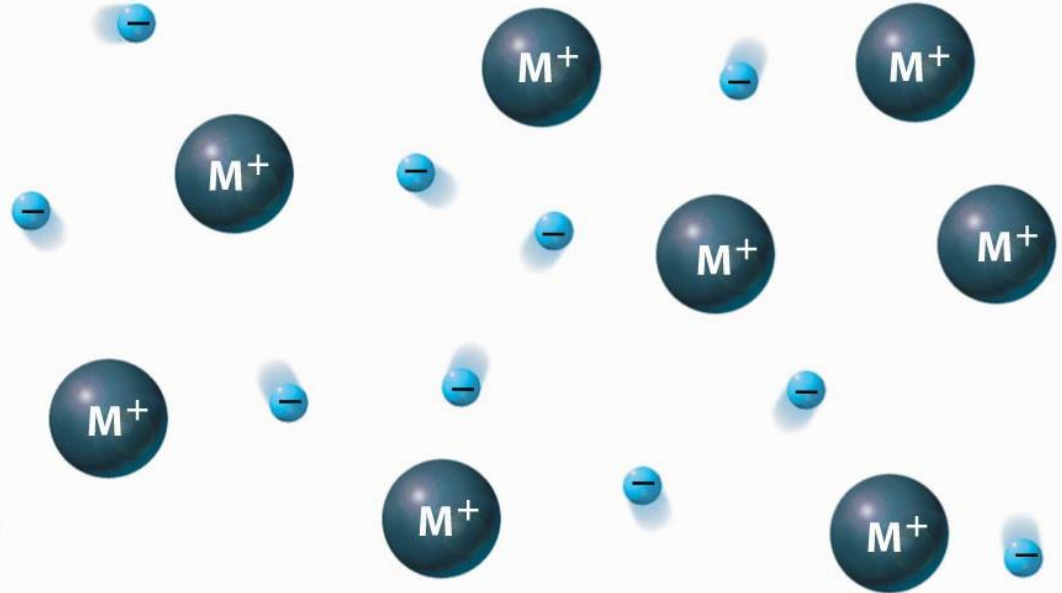
- Isı ve elektriği iyi iletirler.
- ergime ve buharlaşma sıcaklıkları yüksektir.
- Mukavemetleri yüksektir.
- İşlenebilirlikleri iyidir (çatlamadan, kırılmadan)
- Sünektirler (ince tel, ince folyo)
- Parlak görünümlüdürler.
- Opaktırlar (ışığı yansıtırlar!)
- Yoğunlukları yüksektir.
- Kolayca e- kaybederler! (↓ iyonizasyon enerjisi)

# Metalik bağ

- Metalik bağlarda elektronların paylaşılması yoktur.
- Metalik bağ elektron kümesinde (elektron bulutu) serbest elektronlar ile atom çekirdeği arasındaki elektromanyetik etkileşimdir.
- Metallerde elektronlar hareket serbestliğine sahiptirler ve katı matriste serbestçe hareket ederler.

# Metalik bağ

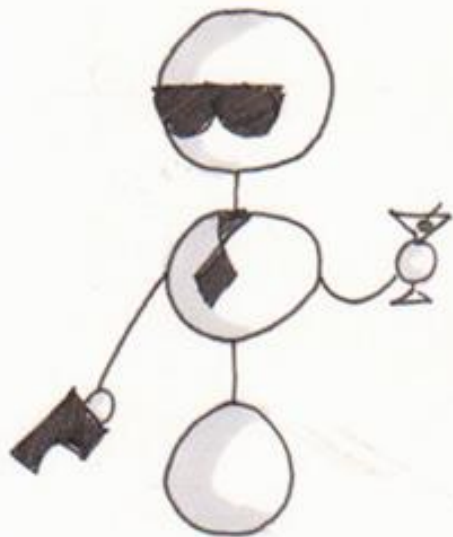
*s* ve *p* valens elektronlarının çekirdeğe bağı zayıftır. Kendi atomlarını kolayca terk ederler. Bu Şekilde metal katyonları çevreleyen bir elektron bulutu oluşur. Elektronlar bu bulut içinde hareket etmekte serbesttir.



# Metalik bağ

## METALLIC BONDS

I'M BOND  
METALLIC BOND



I'M MADE UP OF A SEA  
OF ELECTRONS ORBITING  
AROUND POSITIVE NOUCLEI  
(SEXY NO?)

# Metalik bağ



- Bir çok metalin en dış enerji kabuğunda sadece birkaç elektron bulunur. Bazılarının boş dış orbitalleri vardır.
- Elektriği ileten, ısı enerjisini metal içinde taşıyan bu zgr valens elektronlarıdır.
- Metalik bağ metalik malzemelerin, yüksek mukavemet, şekil verilebilirlik, sünelik, ısı ve elektrik iletkenliği, opaklık ve parlaklık gibi bir çok fiziksel özelliğini açıklar.

# Metalik malzemelerin yapısı

- Metalik malzemelerde atomlar **kristal kafes** yapısında dizilmişlerdir.
- Atomların dizilimleri farklıdır ve farklı kafes yapıları oluşur.
- En basit dizilim atomların düzlem içinde birbirlerine bitişik dizilmesi ve bu şekilde elde edilen dizilişin üst üste aynen tekrarlanması şeklindedir. Bu durumda her atom kendi düzleminde 4, bir alt ve bir üst tabakada birer adet olmak üzere toplam 6 diğer atomla komşu durumundadır.



# Metalik elementler

Metal																							
1 H	Metals are generally shiny, malleable elements that conduct heat and electricity well. Most are solid at room temperature. In reactions metals tend to form positive ions. Metalloids have properties that are in between those of metals and nonmetals.																	2 He					
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 ? Uut	114 ? Fl	115 ? Uup	116 ? Lv	117 ? Uus	118 ? Uuo						
		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu								
		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr								

# Metalik elementler



HMK



YMK



HCP

H																	He	
453.69 Li bcc	1560 Be hcp												B	C	N	O	F	Ne
370.87 Na bcc	923 Mg hcp												933.47 Al fcc	Si	P	S	Cl	Ar
336.53 K bcc	1115 Ca fcc	1814 Sc hcp	1941 Ti hcp	2183 V bcc	2180 Cr bcc	1519 Mn fcc	1811 Fe bcc	1768 Co hcp	1728 Ni fcc	1357.8 Cu fcc	692.68 Zn hcp	302.91 Ga fcc	Ge	As	Se	Br	Kr	
312.46 Rb bcc	1050 Sr fcc	1799 Y hcp	2128 Zr hcp	2750 Nb bcc	2896 Mo bcc	2430 Tc hcp	2607 Ru hcp	2237 Rh fcc	1828 Pd fcc	1235 Ag fcc	594 Cd fcc	430 In fcc	505 Sn fcc	904 Sb fcc	Te	I	Xe	
301.59 Cs bcc	1000 Ba bcc	*	2506 Hf hcp	3290 Ta bcc	3695 W bcc	3459 Re hcp	3306 Os hcp	2719 Ir fcc	2041.4 Pt fcc	1337.33 Au fcc	234.32 Hg fcc	577 Tl hcp	600.61 Pb fcc	544.7 Bi fcc	527 Po fcc	At	Rn	
Fr	973 Ra bcc	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo	

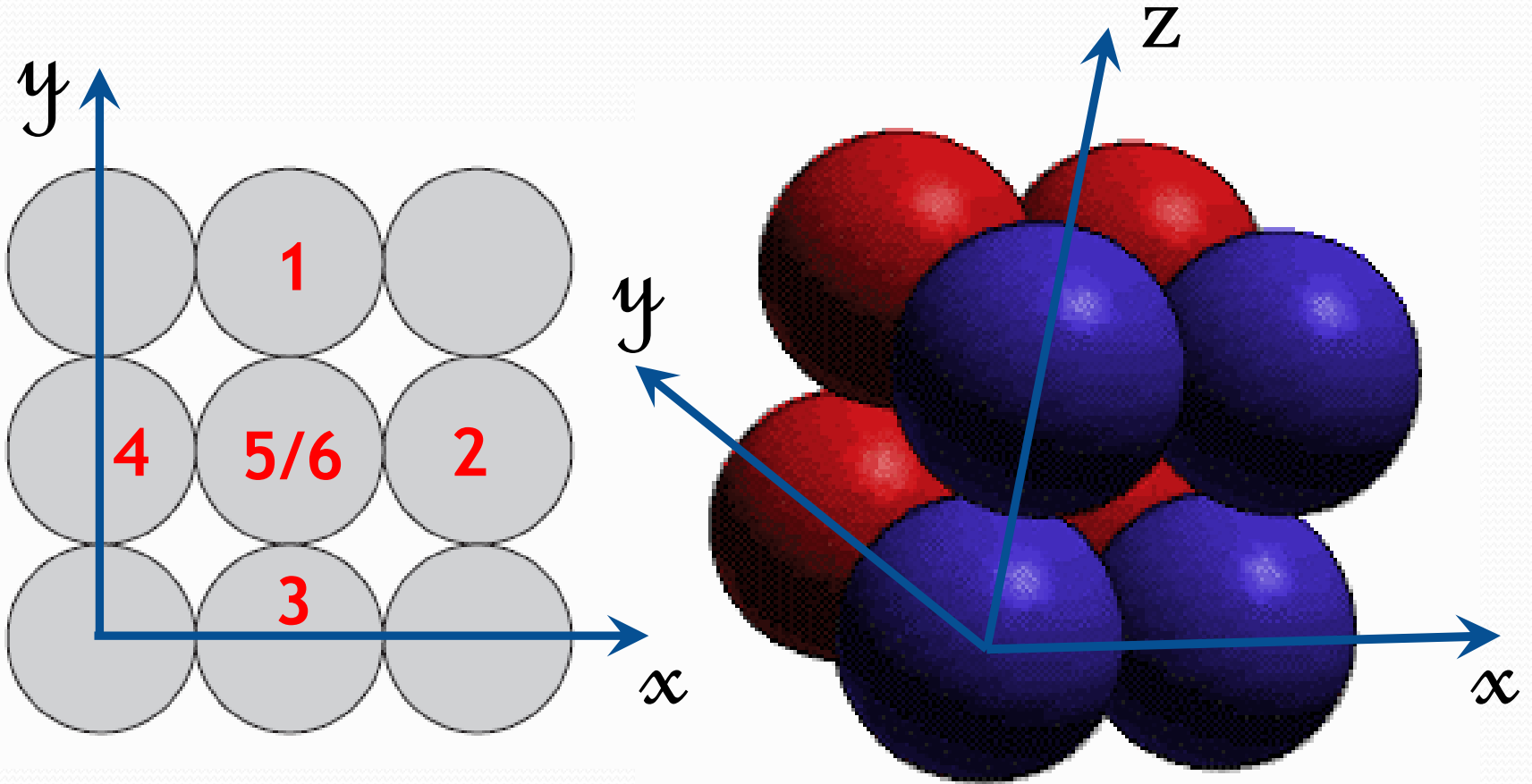
*	1193 La dhcp	1068 Ce fcc	1208 Pr dhcp	1297 Nd dhcp	1315 Pm dhcp	1345 Sm fcc	1099 Eu bcc	1585 Gd hcp	1629 Tb hcp	1680 Dy hcp	1734 Ho hcp	1802 Er hcp	1818 Tm hcp	1097 Yb fcc	1925 Lu hcp
**	1323 Ac fcc	2115 Th fcc	1841 Pa fcc	1405.3 U fcc	917 Np fcc	912.5 Pu fcc	1449 Am dhcp	1613 Cm dhcp	1323 Bk dhcp	1173 Cf dhcp	1133 Es fcc	Fm	Md	No	Lr

# Metallerin yapıları - dizilişleri

Li	Be									
Na	Mg									
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au
Fr	Ra									

□ Hacim merkezli kübik  
■ Hekzagonal sıkı paket  
■ Yüzey merkezli kübik

# Basit kübik



Koorinasyon sayısı: 6

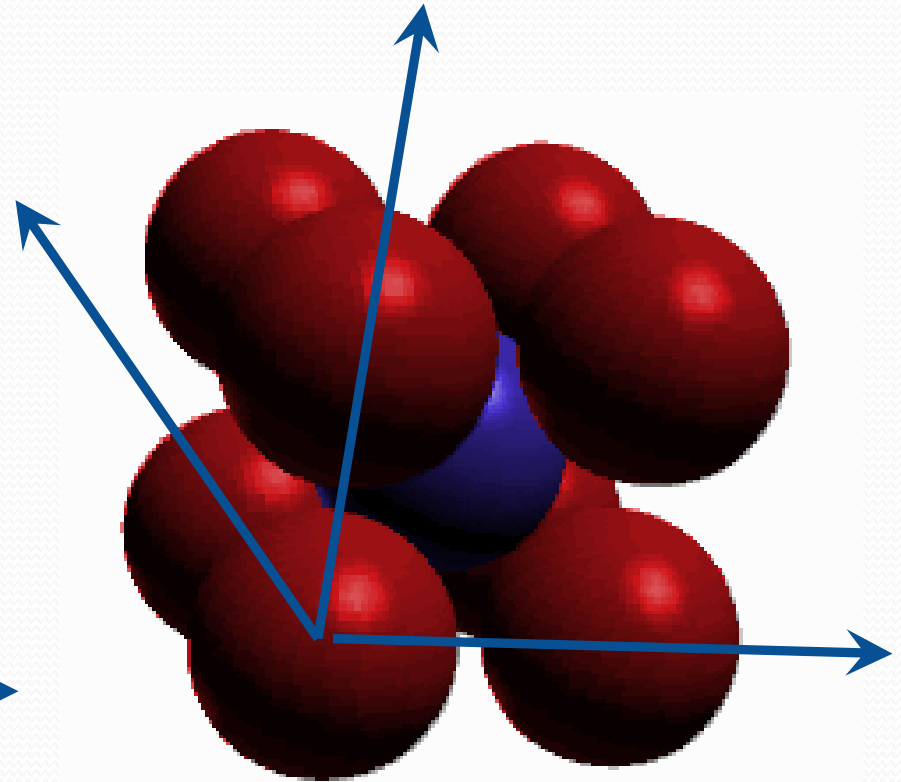
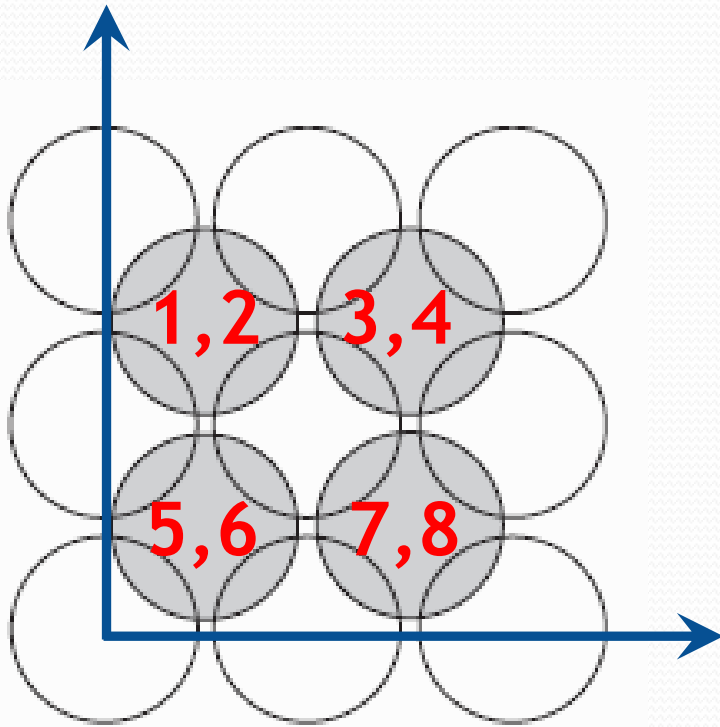
# Metalik malzemelerin yapısı

**Basit kübik diziliş** en verimli diziliş şekli değildir ve tüm metaller arasında sadece **polonyum**da görülür.

Basit kübik dizilişin bir alternatifi düzlemde birbirlerine bitişik atomların düzlem dışında birbirlerinin üstüne gelecek şekilde değil de (basit kübikten farklı) ara çukurlara denk gelecek şekilde yerleştirilmesi ile elde edilir.

Daha verimli olan (boşluğu daha fazla dolduran) bu dizilişe hacim merkezli kübik diziliş denir. Her bir atom kendi düzleminin üstünde 4, altında 4 ve toplamda 8 atom ile komşudur.

# Hacim merkezli kübik



Koorinasyon sayısı: 8



# Metalik malzemelerin yapısı

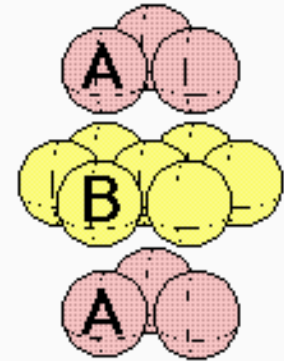
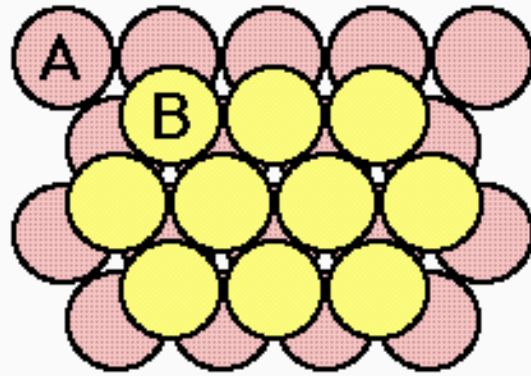
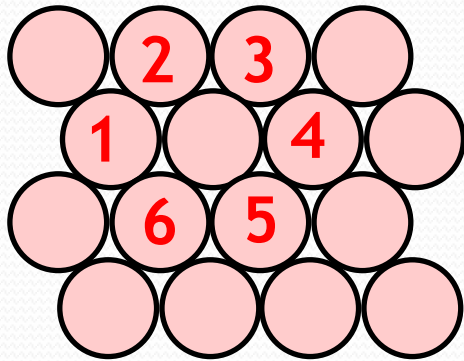
Her bir atom kendi düzleminde 6 atomla çevrildiğinde **hekzagonal diziliş** elde edilir.

Bu şekilde dizilmiş 2 atom tabakası birbirleri üzerine çukurlara denk gelecek şekilde yerleştirilirse, çukurların sadece yarısına yerleştirme yapılabilir.

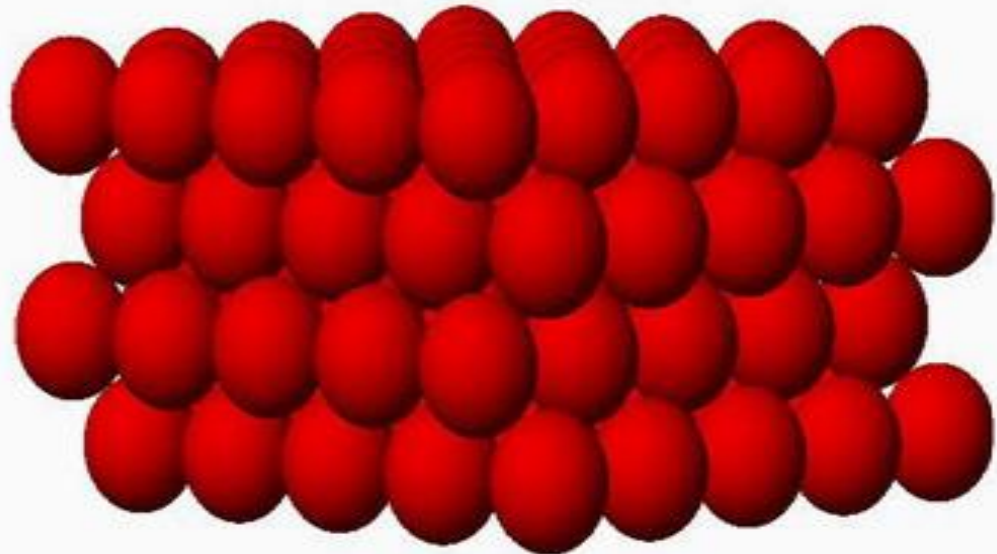
3. tabaka yine çukurlar gözetilerek fakat ilkinin tam üstüne denk gelecek şekilde yerleştirilirse ortaya ABA dizilimi çıkar.

4. tabakada bu kez 2. tabakanın üzerine denk gelecek şekilde geldiğinde dizilim ABAB olur. Buna hekzagonal sıkı paket dizilişi denir.

# Hekzagonal



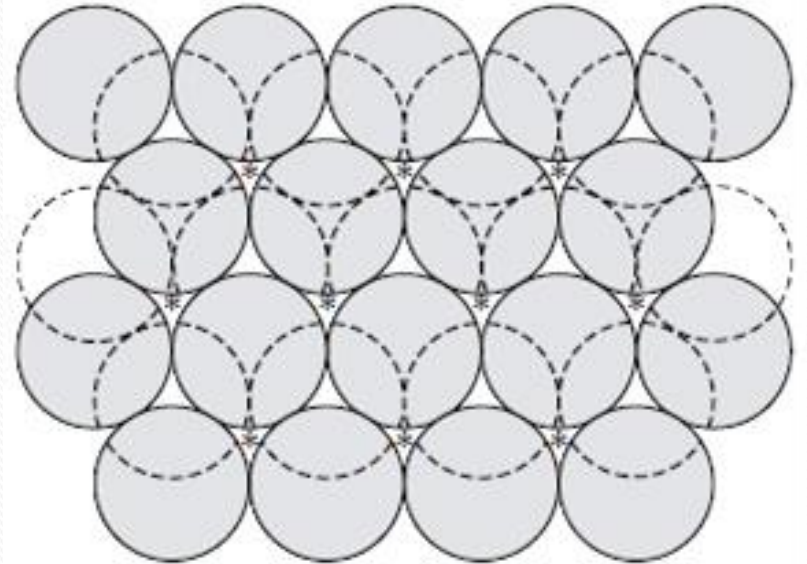
Koordinasyon  
sayısı: 12



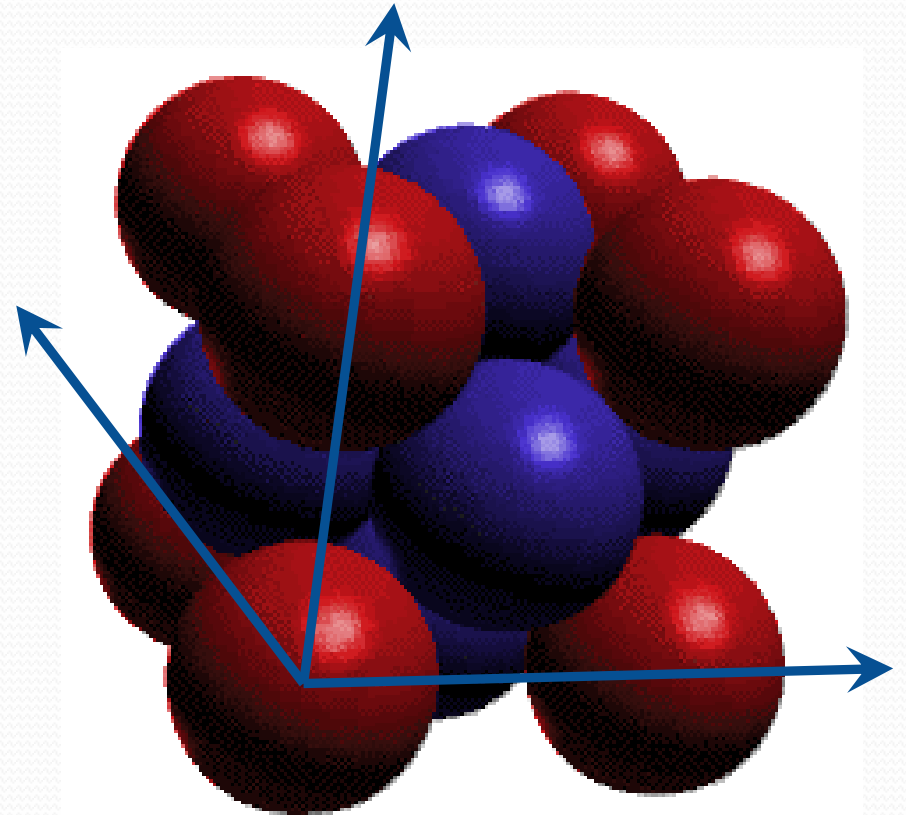
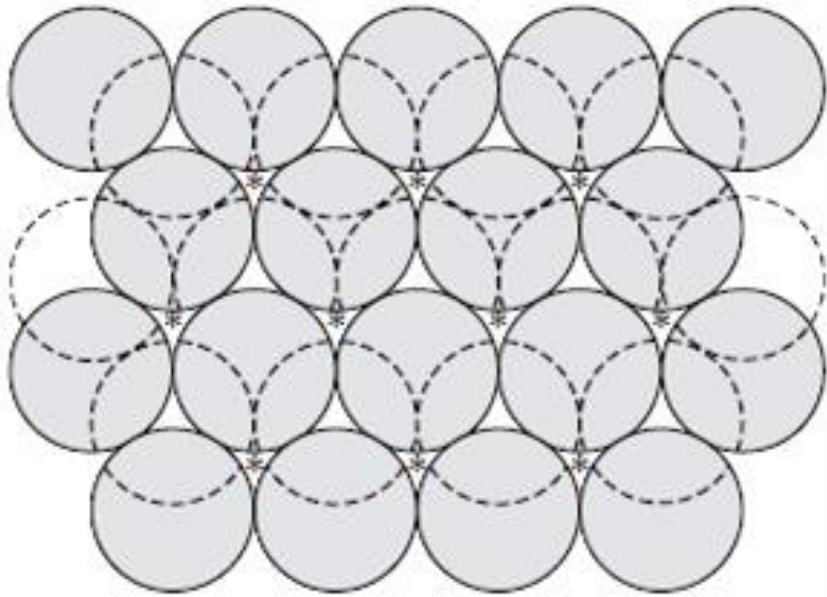
# Metalik malzemelerin yapısı

Hekzagonal dizilişte bir alternatif daha vardır. A ve B tabakalarından sonra 3. tabaka A tabakasının üstüne gelecek şekilde değil de, bir önceki yerleştirmede açıkta kalan diğer çukurlara denk gelecek şekilde yerleştirilirse ortaya ABC dizilişi çıkar. Buna yüzey merkezli kübik dizilişi denir.

Kübik sıkı paket dizilişte 3. tabaka 1. ve 2. tabakaların çukurlarına yerleştirilir.



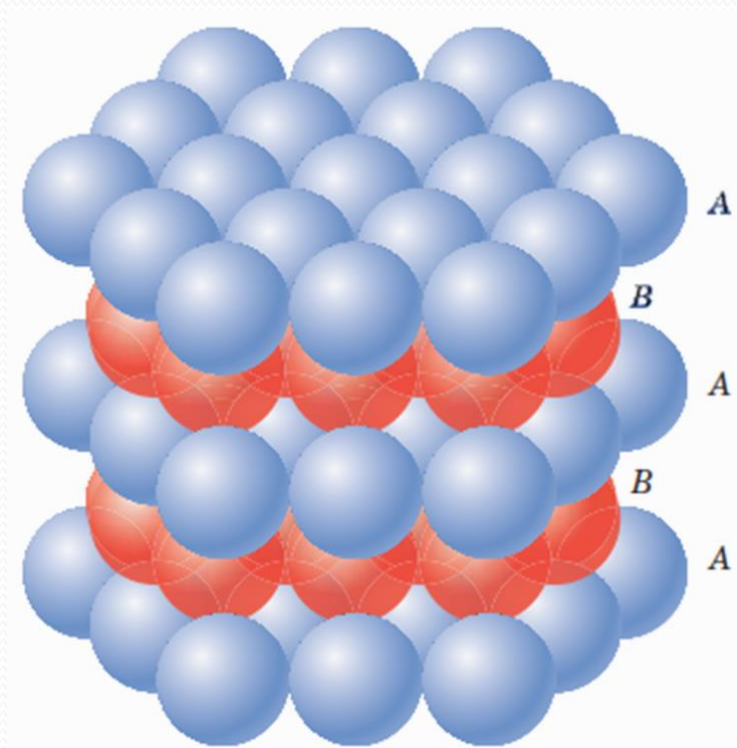
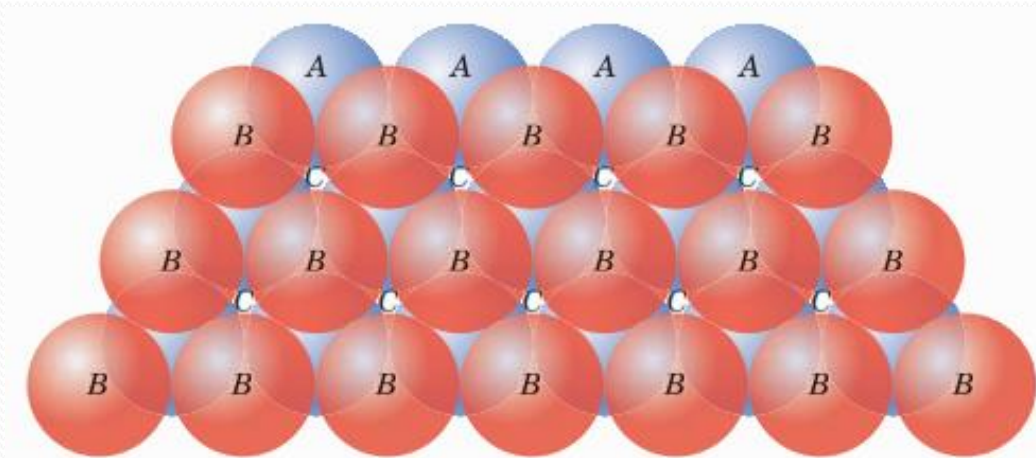
# Yüzey merkezli kübik



Koordinasyon sayısı: 12

# heksagonal

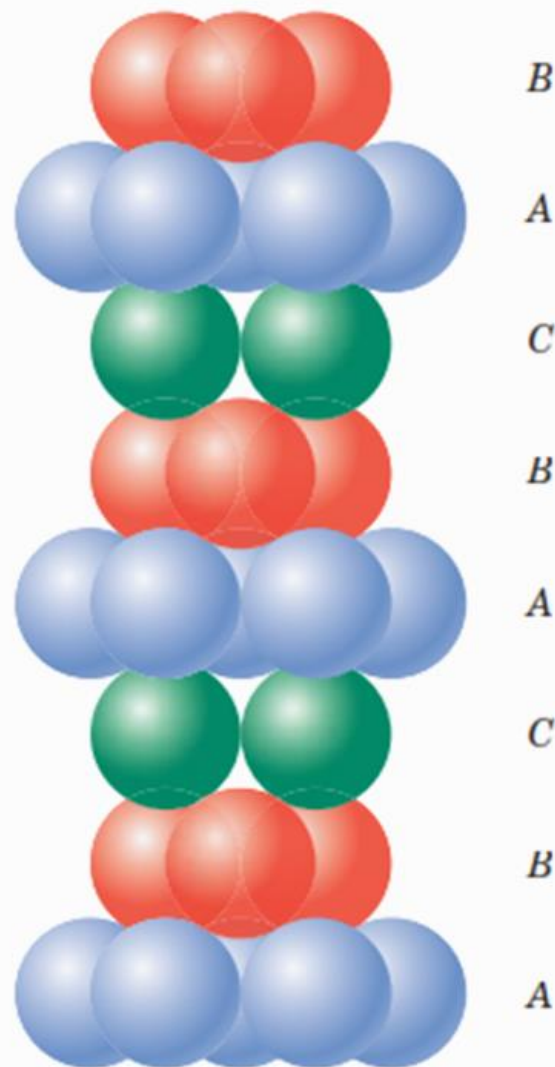
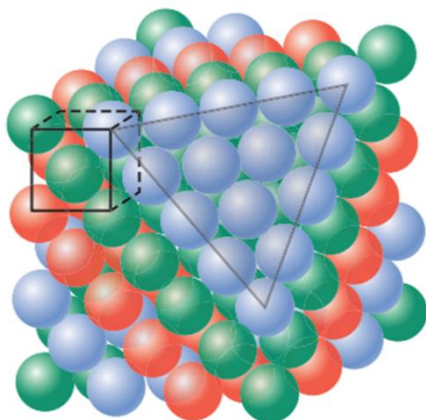
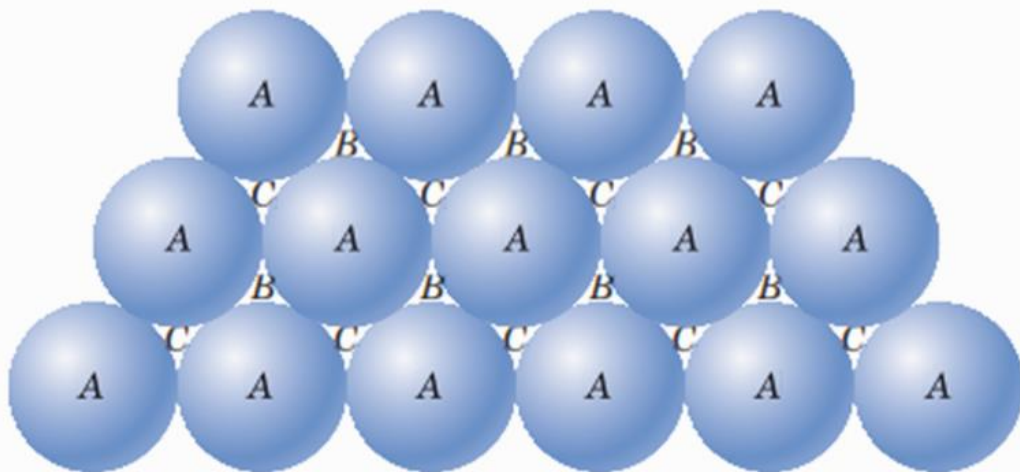
*ABABAB...*





# Yüzey merkezli kübik

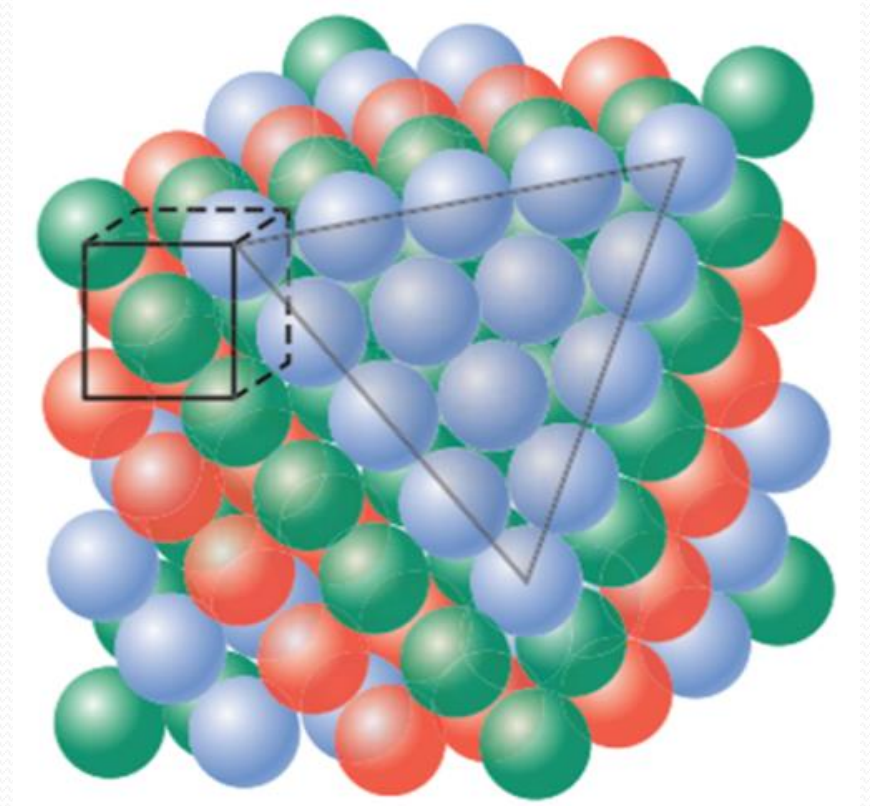
*ABCABCABC...*





# Yüzey merkezli kübik

*kayma neden sıkı paket düzlemlerde daha kolaydır?*

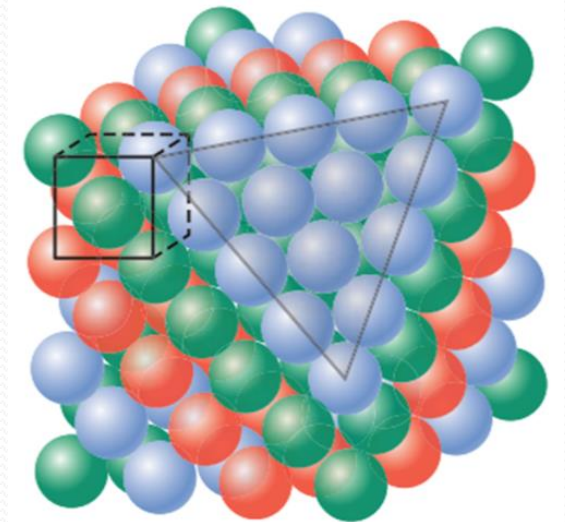


# Yüzey merkezli kübik

*kayma neden sıkı paket düzlemlerde daha kolaydır?*

*Sıkı paket düzlemlerde atom yoğunluğu daha yüksek, burgers vektörü daha küçüktür! Dolayısı ile dislokasyon hareketi daha kolaydır!*

*Sıkı paket düzlemler arasındaki mesafe daha faz, düzlemlerarası kuvvetler daha zayıftır.  
Kayma daha kolay gerçekleşir.*



# Metallerin yapıları - dizilişleri

Diziliş şekli	koordinasyon #	dolmuşluk %
Basit kübik (SC)	6	52
Hacim-merkezi kübik (BCC)	8	68
Hekzagonal sıkı paket (HCP)	12	74
Yüzey merkezli kübik (FCC)	12	74

% 60'luk bir dolmuşluk oranı birim kafes hacminin % 60'luk kısmının metal atomları tarafından doldurulduğuna, kalan %40'luk kısmın ise boş kaldığına işaret eder.

# Metallerin fiziksel özellikleri

## iletkenlik

- Metaller ısı ve elektriği hem katı hem de sıvı halde iletirler.
- Alkali metal eriyikleri nükleer santrallerde ısı transfer gereçleri olarak kullanılırlar/sıvı halde de metalik bağın devam ettiğinin kanıtı!
- Metallerde metallerin yüksek elektrik ve ısı iletkenliği elektronların matraste serbestçe hareket etmesi sayesinde. Metalik bir tele bir uçtan elektronlar yüklenecek olursa bu elektronlar tel boyunca hareket edecek ve diğer uçtan çıkacaktır.

# Metallerin fiziksel özellikleri

## iletkenlik

- Metallerde atomlar birbirlerine yakın dizilmişlerdir (sıkı paket). Bu özellikleri ısı transferini destekler.
- Isı iletimi ısı enerjisinin atom partiküllerinin enerjiyi transfer edecek şekilde titreşmesi ile gerçekleşir. Metallerin elektron bulutu şeklindeki bağ yapısı iletkenlik özelliğini destekler.
- Elektronlar metal iyonlarına göre çok daha küçük olduğundan aradaki boşluklardan rahatça geçer ve ısıyı yüksek verimle iletirler.

# Metallerin ergime sıcaklıkları

- Metallerin ergime ve buharlaşma sıcaklıkları metalik bağların genel olarak kuvvetli olması sayesinde yüksektir.
- Metalik bağların kuvveti elektron kümesindeki serbest elektronların sayısına bağlıdır. Serbest elektronların sayısı arttıkça metalik bağ daha kuvvetli, ergime noktası daha yüksektir.



# Metallerin ergime sıcaklıkları

- Ergime noktasını belirleyen faktörlerden biri de atomların dizilişidir. Atomlar daha sık ve yakın dizildiklerinde metalik bağ daha kuvvetli ve ergime noktası daha yüksektir.
- 1. Grup alkali metallerde atomlar gevşek dizilimlidir. Atom çapları büyüktür; serbest elektronlar çekirdekten uzaktır. Bu nedenle 1. grup metallerde metalik bağ daha zayıf olup ergime noktaları diğer metallere göre daha düşüktür.

# Metallerin ergime sıcaklıkları

- Metaller 39 °C (civa) ile 3410 °C (tungsten) aralığında ergime noktalarına sahiptir.
- Metalik bağın kuvvetini gösteren esas faktör buharlaşma noktasıdır.
- Mesela civanın buharlaşma noktası 357 °C iken, tungstenin buharlaşma noktası 5660 °C'dir. Dolayısı ile civada metalik bağ atomlar-arası bağlardaki kadar zayıf, tungstende ise metalik bağ çoklu kovalent bağlardaki kadar güçlüdür.

# Metallerin ergime sıcaklıkları

## Ergime noktaları

Alkali Metals	Alkali Earth metals	Transition Metals										Group III	
180.7	1,278												
98	650												660
63.35	839	1,539	1,660	1,902	1,857	1,246	1,535	1,495	1,453	1,085	419.73		30
39.64	769	1,526	1,852	2,468	2,617	2,200	2,250	1,966	1,552	961	321		157

Li	Be												
Na	Mg												Al
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn		Ga
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd		In

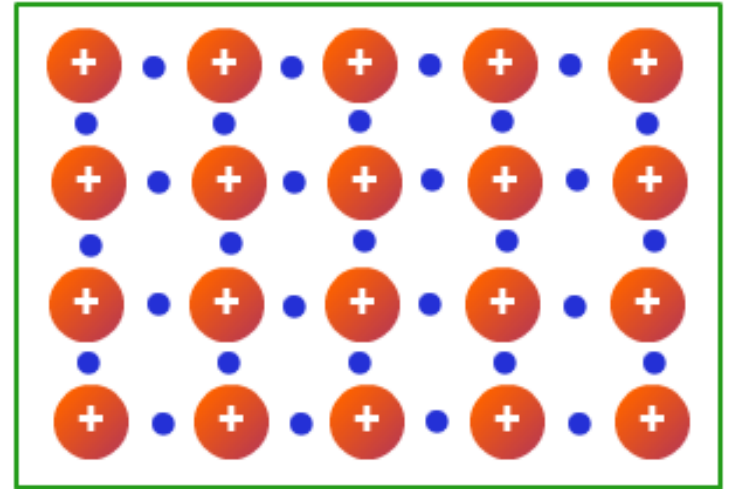
# Şekil verilebilirlik ve süneklik

- Atom çekirdekleri etrafındaki elektron bulutu yastık gibi davranır. Bu sayede metalik malzeme darbe aldığında ortalama bileşimi ve yapısal karakteri zarar görmez, değişmez.
- Katyonlar yüklenme altında birbirleri üzerinden hareket ederken serbest elektronlar bu yeni duruma uyum sağlar ve metali bir arada tutar!
- Yönlenmiş bağların bulunmayışı metallerin sünek ve şekil alabilir olmalarını da açıklar. Atomlar birbirleri üzerinden yuvarlanarak yeni bağlar oluştururlar.

# Metallerin fiziksel özellikleri

## Optik özellikler

- Metalik malzemeler tipik olarak parlak yüzeylere sahiptirler. Işık fotonları metal yüzeylerinden derinlere giremez ve büyük ölçüde geri yansıtılırlar. Metallerin parlak görünmesinin nedeni budur.
- Işık fotonlarının yüzeyden giren küçük bir kısmı da serbest elektronlar tarafından yutulurlar. Opak olmaları bu yüzden.

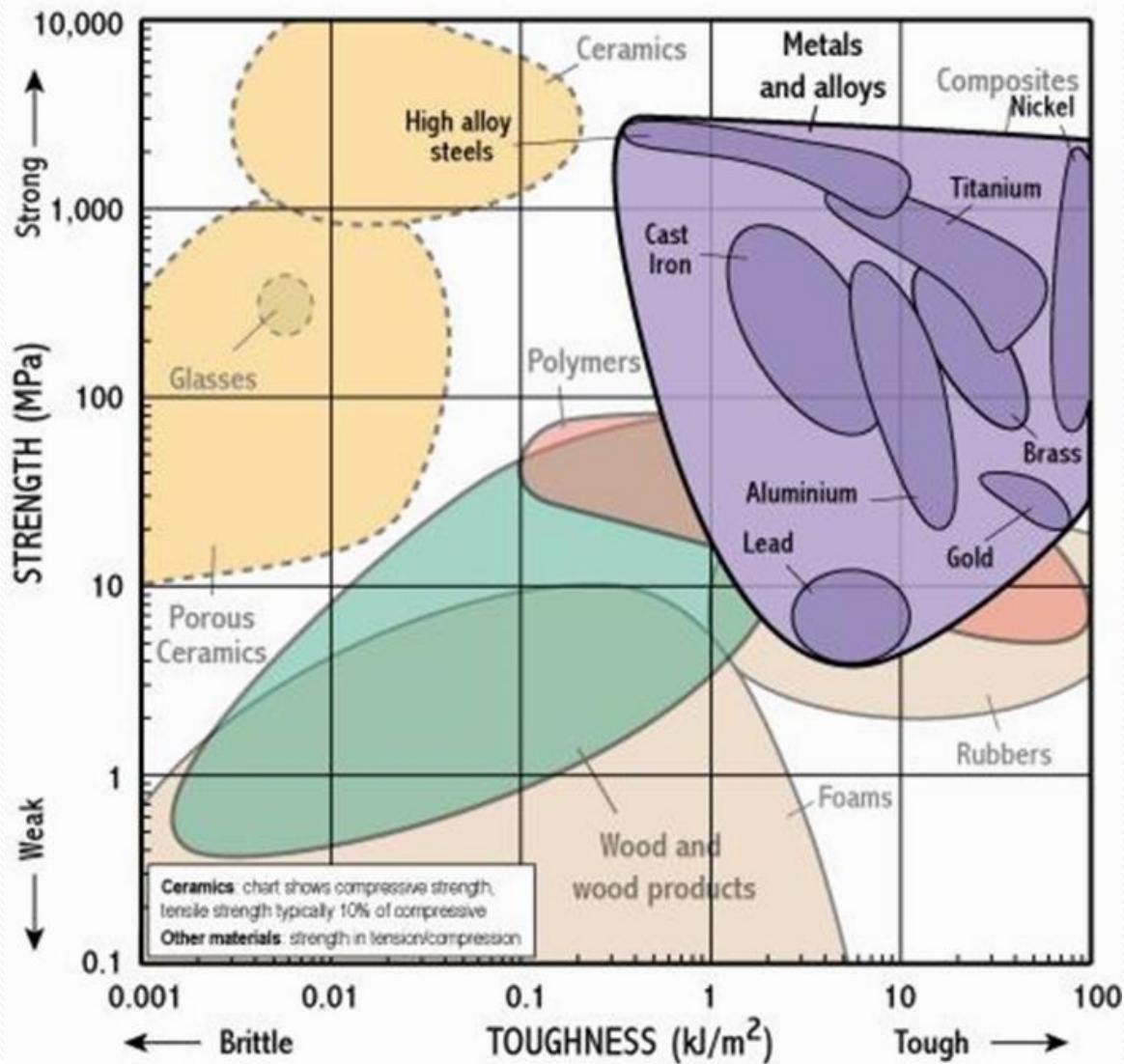


# Metallerin kimyasal özellikleri

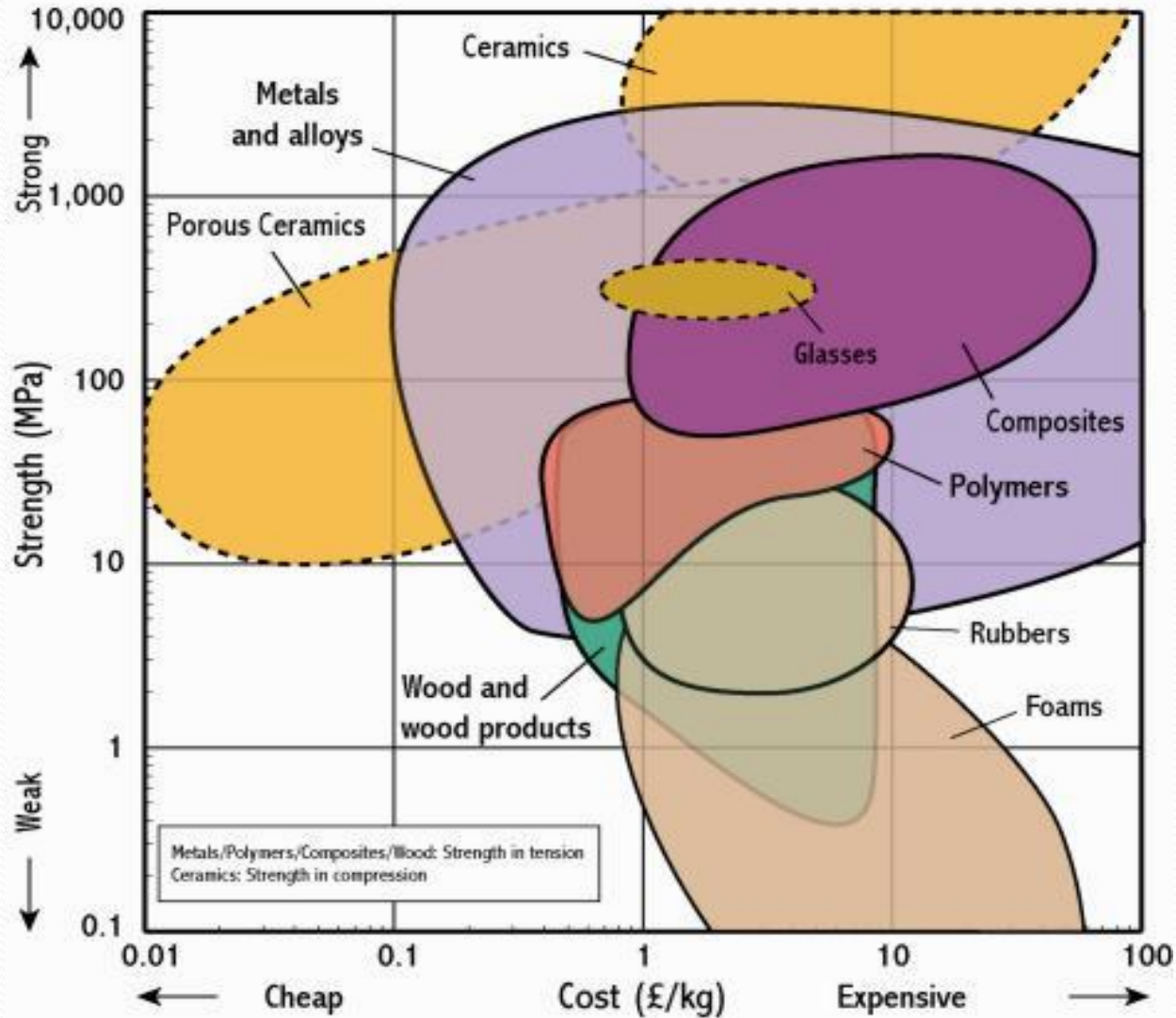
- Atomlarının en dış elektron halkasında 1 ile 3 elektron bulunur.
- Kolayca korozyona/oksidasyona uğrarlar
- Kolayca elektron kaybederler
- Elektronegatifite değerleri düşüktür
- Redükleyicidirler



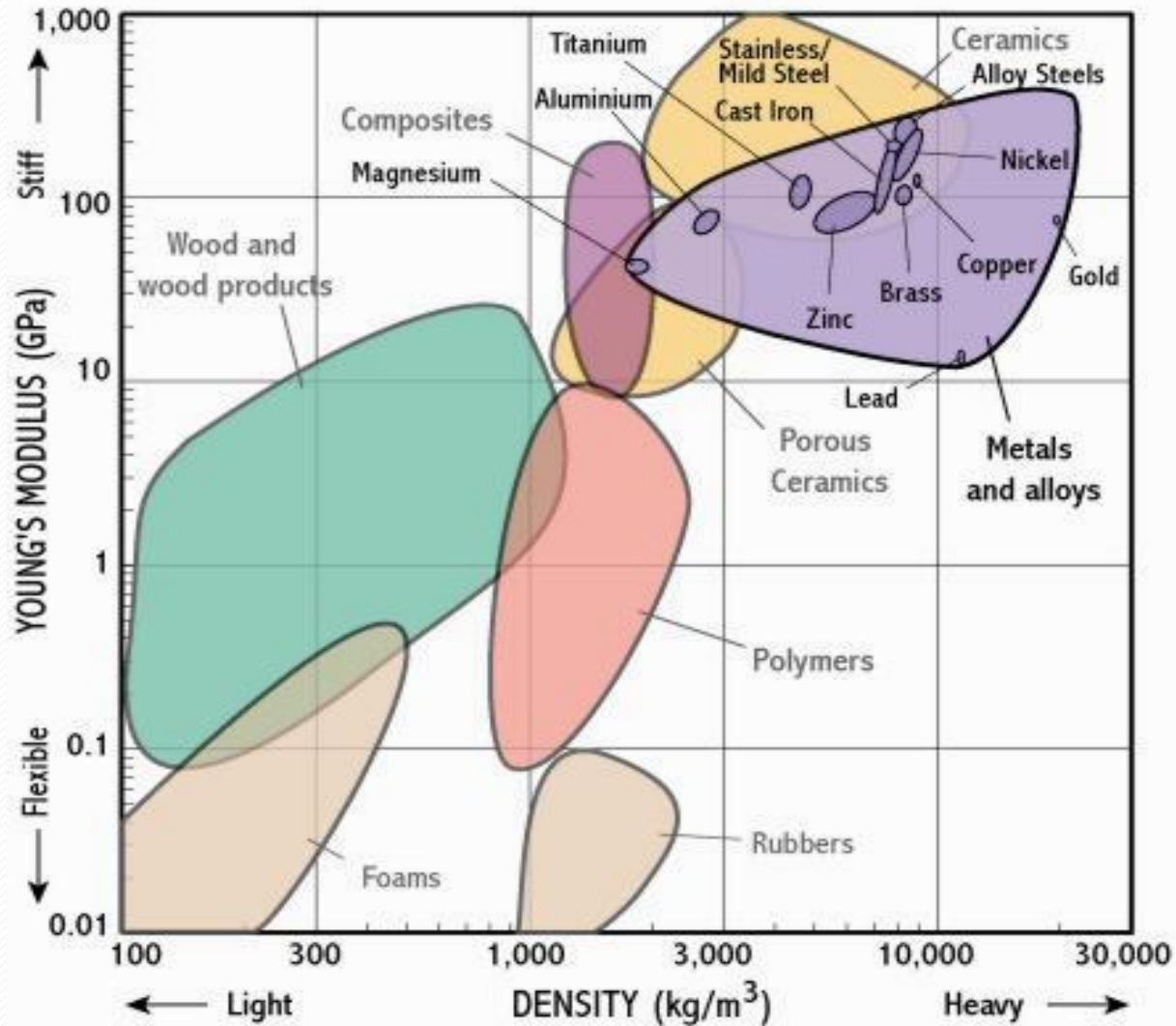
# Metallik malzemeler



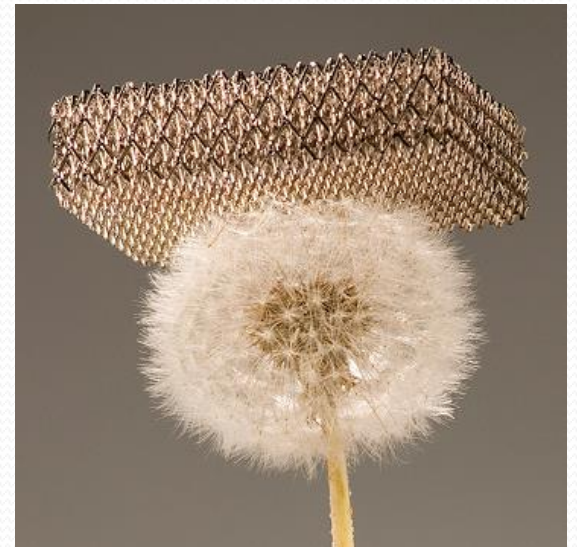
# Metallik malzemeler



# Metallik malzemeler



# Light metals





# heavy metals

Led Zeppelin  
Black Sabbath  
Deep Purple  
Judas Priest  
Iron Maiden  
Metallica  
Megadeth  
Slayer  
Anthrax

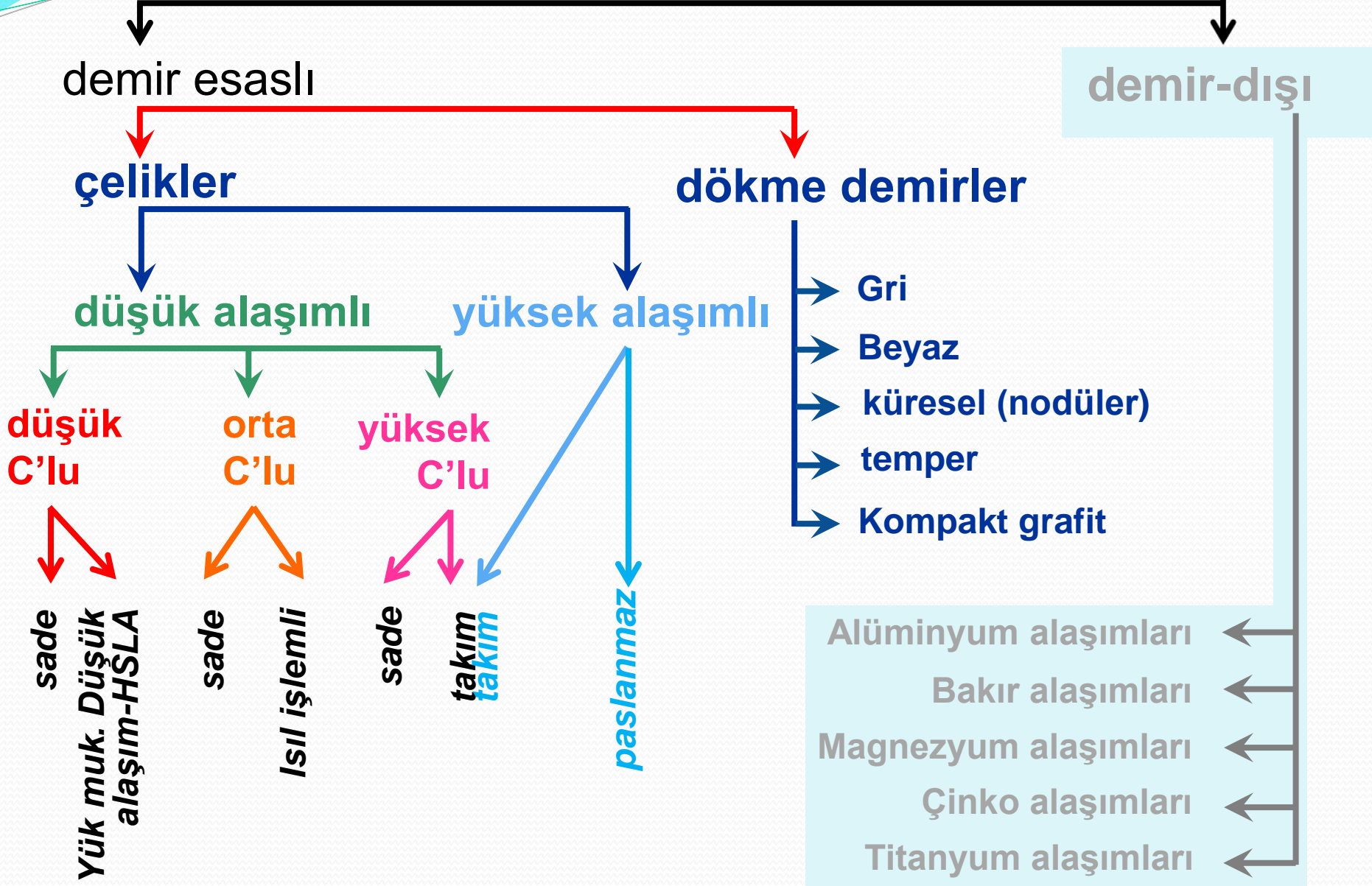




metalik malzemeler  
25.9.2014



# metalik malzemeler





# sünger demir doğrudan indirgenmiş demir

- Ergitme yapılmadan indirgenmiş katı haldeki demir cevheri; Metal miktarı %80-95
- H<sub>2</sub> ve CO karışımı ile demir cevherinin doğrudan redüklenmesi ile elde edilir.
- Geleneksel üretime göre ekonomik bir alternatif!
- Küçük işletmeler için elektrik fırınları için mükemmel bir yarı mamüldür.



# Dökme demirler

- Bütün dökme demirler tipik olarak gevrek malzemelerdir.
- Sadece döküm yoluyla şekil verilebilirler.
- ekonomik bir malzeme ve döküm ekonomik bir süreçtir.

## Sünger demir

- Ergitme yapılmadan indirgenmiş katı haldeki demir cevheri
- Metal miktarı %80-95

# Çelikler

- Çelikler pik demirden üretilir.
- Bunun için pik demir içindeki empüriteler giderilir ve karbon miktarı dşrlr.
- Pik demirdeki fazla karbon CO<sub>2</sub> olarak dışarı alınır.
- Safsızlıkların oksitleri cruf olarak elik banyo yüzeyinde toplanır.



A large industrial crane in a steel mill is shown pouring molten metal. The crane is a complex mechanical structure with a large, rectangular container at the bottom. It is suspended by several thick cables. The molten metal is being poured from the container, creating a bright, glowing stream of liquid metal. The background is a dark, industrial setting with a complex network of steel beams and pipes. The lighting is dramatic, with the bright orange and yellow of the molten metal contrasting sharply with the dark surroundings. The overall atmosphere is one of intense industrial activity.

# demir elik retim





# Demir esaslı malzemeler

- Çelikler ve dökme demirler kullanımını **en yaygın** ve **en ucuz** metalik malzemelerdir.
- Çelik, esas itibarı ile diğer elementlerle takviye edilmiş bir Fe-C alaşımıdır ( $C < \%2$ ). Soğuk veya sıcak olarak şekillendirilebilir.
- Dökme demir diğer elementlerle takviye edilmiş yüksek karbonlu Fe-C alaşımıdır ( $C > \%2$ ). Soğuk ve hatta sıcak olarak şekillendirilemez. İstisnasız olarak döküm halinde kullanılır.

# Yüksek fırın

- Yüksek fırın pik demir üretmek için kullanılan bir fırın sistemidir.
- Yüksek fırın ile demir üretim teknolojisinde demir mineralleri, kok kömür ve kireçtaşı önceden harmanlanmış olarak fırının tepesinden fırın içine beslenir.

# Demir cevheri

- Demir tabiatta serbest metalik halde bulunmaz.
- İşlenen demir cevherleri demir oksitlerdir.
- En yaygın demir cevherleri hematit ( $Fe_2O_3$ ) ve magnetittir ( $Fe_3O_4$ ).
- Hematit ve manyetit bol bulunur; yer kabuğunun %5'ini oluşturur.





# Demir cevherleri



Hematit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  % 70 Fe  
Manyetit,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  % 72 Fe  
Goetit,  $\text{FeO}(\text{OH})$   
Limonit  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$



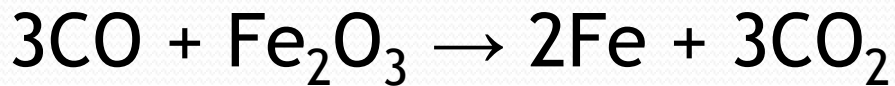
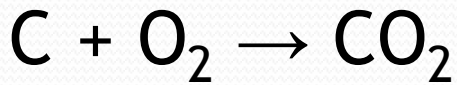
# Demir cevheri

- Bu cevherler 25% ile 70% kadar metalik demir içermektedir. Kükürt, fosfor, silika ve kil başlıca empüritelere dir.
- cevher kırma işle mi görür; demir ayrılır; su vb bağ layıcılar kullanılarak pelet ve briketler haline getirilir.
- Peletler tipik olarak %65 demir içerir ve yaklaşık 2.5 cm çapındadır.



# kok

- Kok, kömürün 1150 °C'ye ısıtılması ve daha sonra soğutma kulelerinde soğutulması ile elde edilir.
- Yanarak yüksek ısı verir.
- Yanma sonucunda Karbon monoksit (CO) oluşur.
- Karbon monoksit demir oksitleri redükler ve böylece sıvı demir elde edilir.



# kireçtaşı

- Kireçtaşı (kalsiyum karbonat) safsızlıkları gidermek için kullanılır.
- Demir eridiğinde kireçtaşı safsızlıkları birleştirir ve banyo yüzeyinde toplanarak cüruf tabakasını oluşturur. Cüruf banyo yüzeyinden akıtılarak sıvı demirden ayrılır. Bu şekilde demir eriyiği saflaştırılmış olur.



# Yüksek fırın

Demir cevheri → pik demir

**Pik demir**

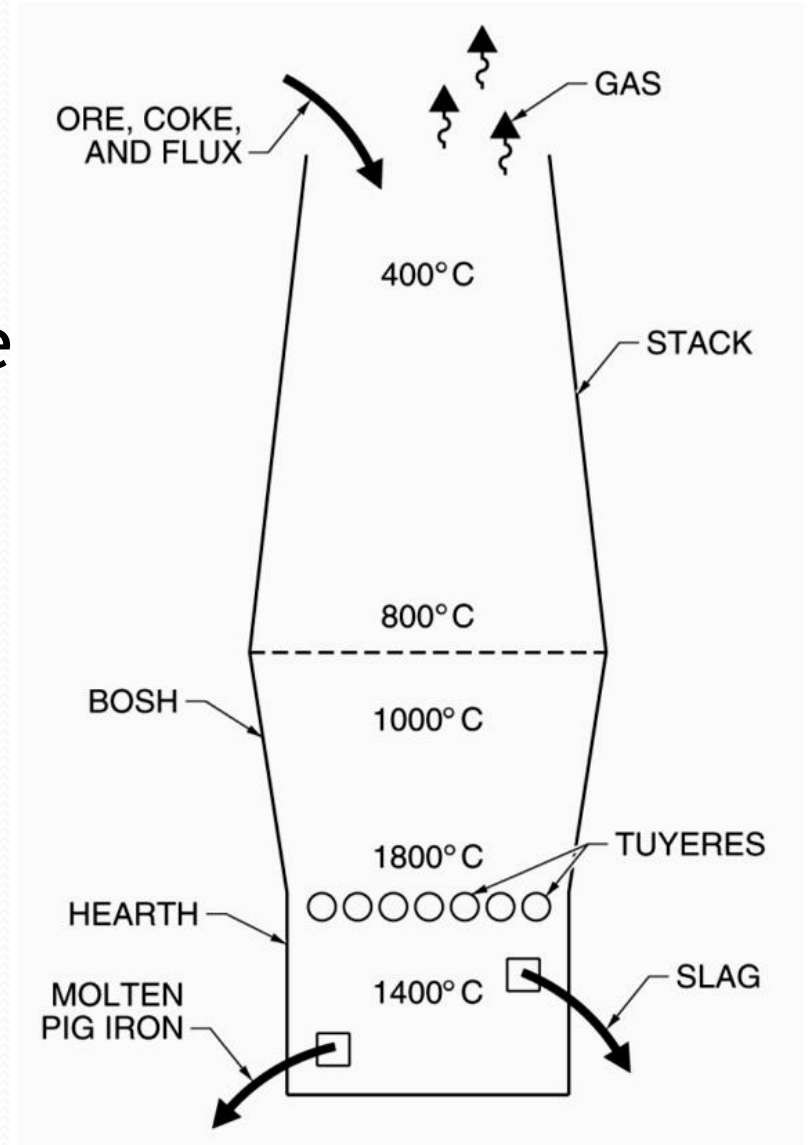
saflığı düşük!

Çelik üretimi için hammadde

Yüksek fırın ~ 45m

refrakter astarlı

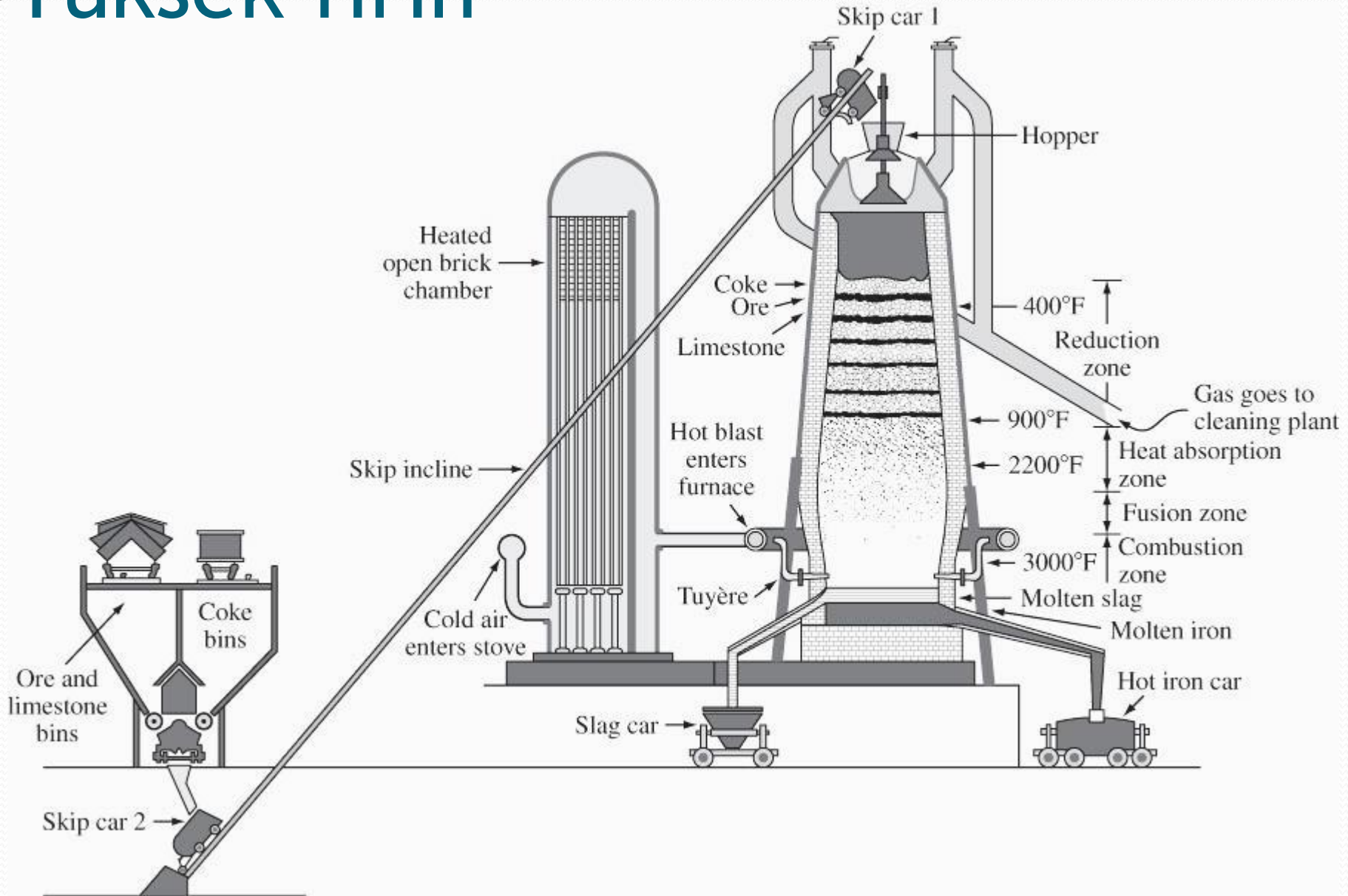
element	Max (%)
C	3.5-4.5
P	0.05-2
S	0.01-0.10
Mn	0.5-2.0
Si	0.3-2.0



# Yüksek fırın

- Demir cevheri-kok ve kireçtaşı karışımı yukardan yüksek fırına şarj edilir.
- Fırın alt bölgesinden sıcak hava (zaman zaman oksijenle takviye edilmiş olarak) verilir.
- Kok hava ile yanarak CO gazı oluşturur ve fırın içinde yüksek sıcaklıklara çıkılmasını sağlar.
- Şarj malzemeleri aşağıya inerken demir oksitler yüksek sıcaklıklarda CO tarafından redüklenir.

# Yüksek fırın





# Pik demir üretimi

1. Kömür 1300 °C seviyelerine ısıtılarak içindeki gazlar giderilir ve kok elde edilir. Yoğun bir ısı ve az dumanla yandığı için kok kömüre tercih edilir.

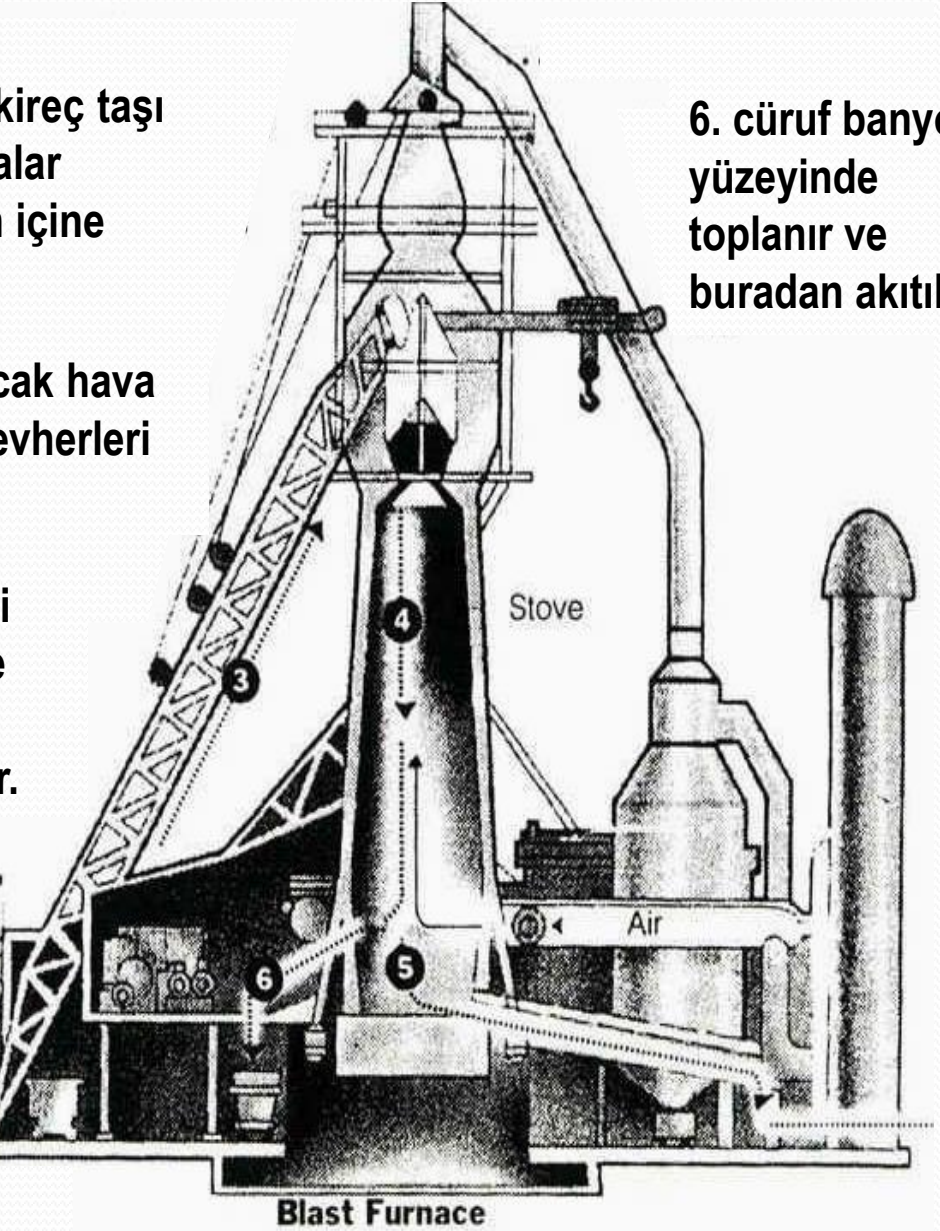
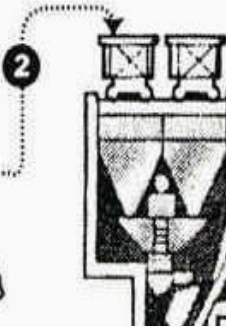
2. Demir cevheri, kok ve kireç taşı ile birlikte yüksek fırına nakledilir.

3. cevher-kok-kireç taşı karışımı tabakalar halinde ocağın içine püskürtülür.

4. Yükselen sıcak hava aşağı çöken cevherleri eritir.

5. Demir eriyiği ocağın bibinde toplanır ve buradan akıtılır.

6. cüruf banyo yüzeyinde toplanır ve buradan akıtılır.



Kok fırını demir cevheri kireç taşı

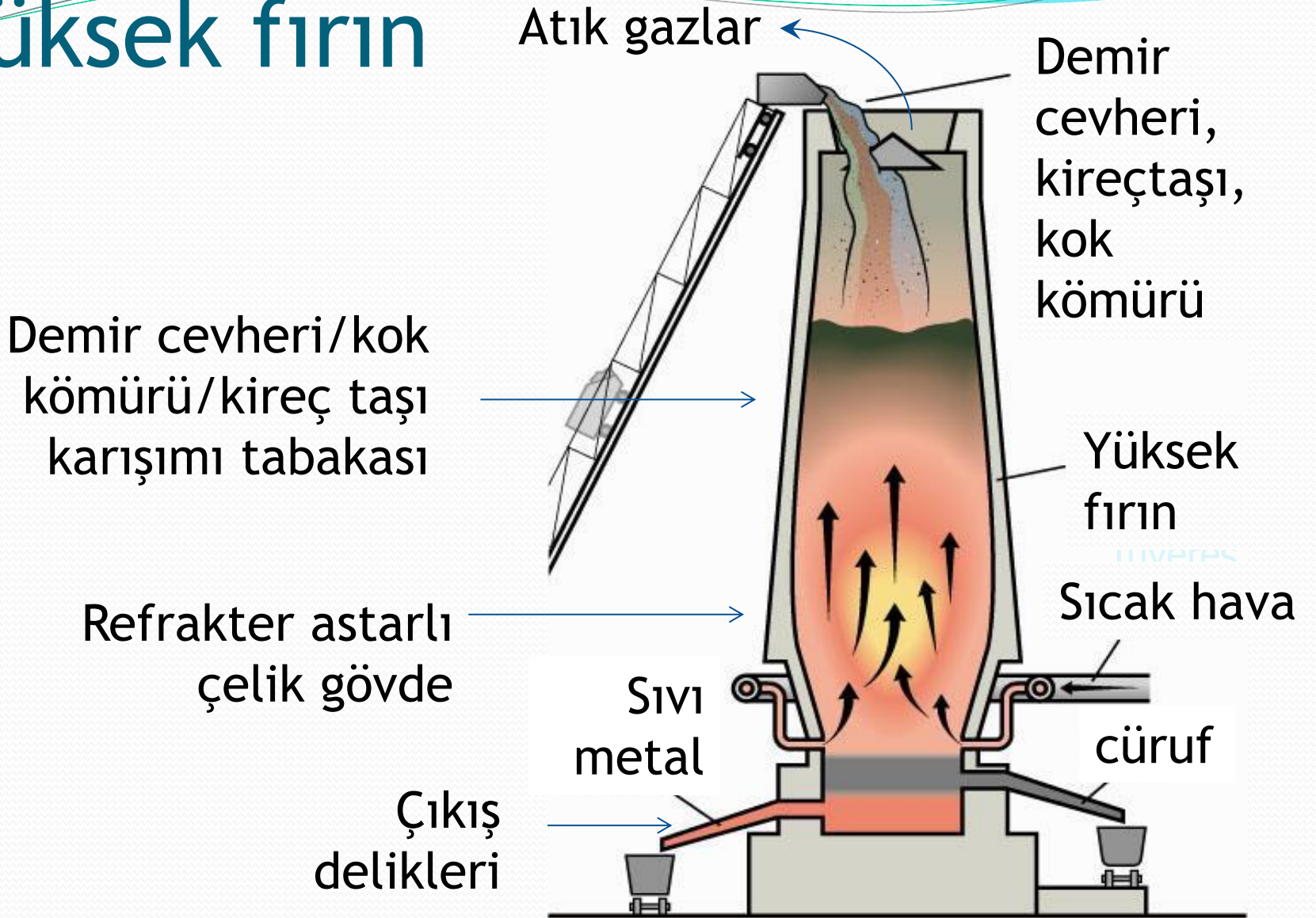


# Yüksek fırın

- Bir dizi reaksiyon sonunda oluşan sıvı demir ile cüruf fırının altından alınırken, oluşan gazlar fırın tepesinden çıkar.
- Oluşan cüruf banyo yüzeyine çıkar. Sıvı demir kalıplara alınır ve soğutulur.
- Elde edilen dökme demir ve çelik üretiminde kullanılan **PİK DEMİR**'dir. Tipik bileşim:
- %92 Fe / %3-4 C / %0.5-3 Si / %0.25-2.5 Mn / %0.04-2P

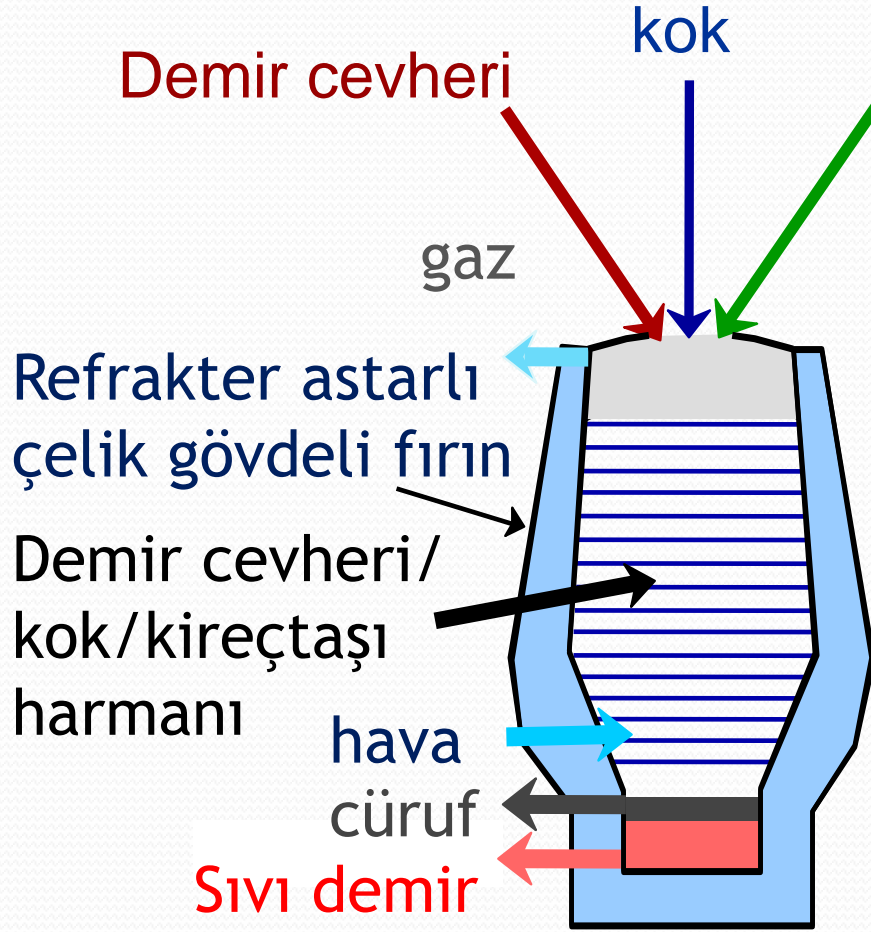
↓↓ kükürt

# Yüksek fırın

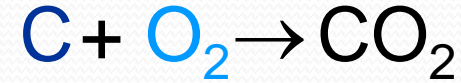


(10 katlı bir bina yüksekliğinde!)

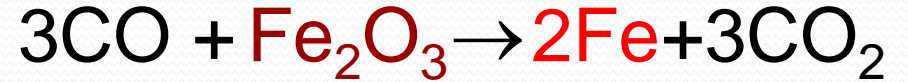
# Demir cevherinin redüklenmesi



Yüksek fırın reaksiyonları  
Yanma ısısı eldesi



cevherin redüklenmesi



saflaştırma



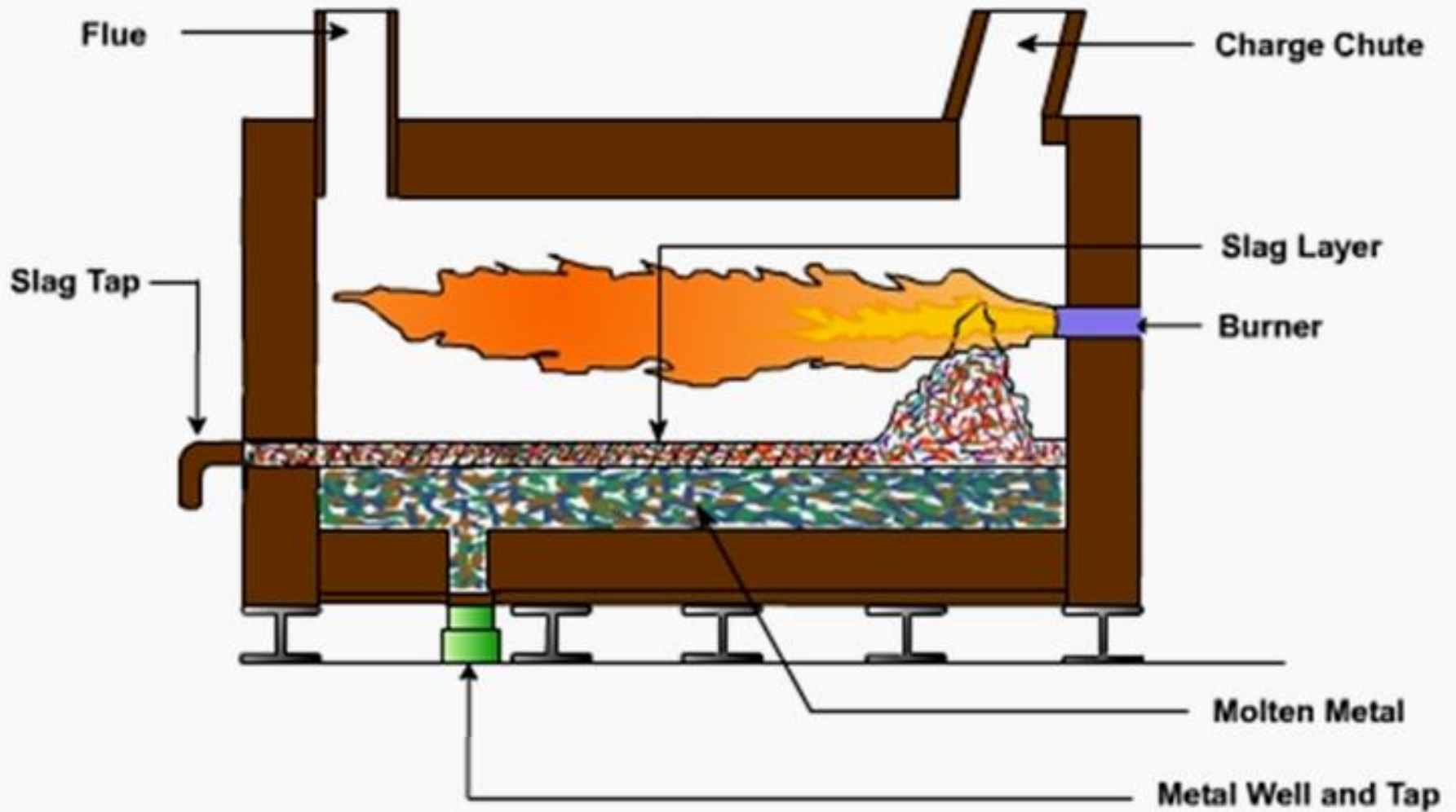


çelik üretimi

# Çelik üretimi

- Çelik üretmek için pik demirdeki karbon miktarı düşürülmeli, Mn, Si ve diğer elementlerin miktarları kontrol edilmeli ve ayarlanmalıdır.
- Bileşim kontrolü pik demir tekrar ergitilerek ve karbon, çelik hurdası ve kireçtaşı ilave edilerek yapılır.
- Ergitme ve bu ayar işlemleri reverber fırınlarda bazik oksijen fırınlarında veya elektrik ark ocaklarında yapılır.

# Reverber (open-hearth) furnace





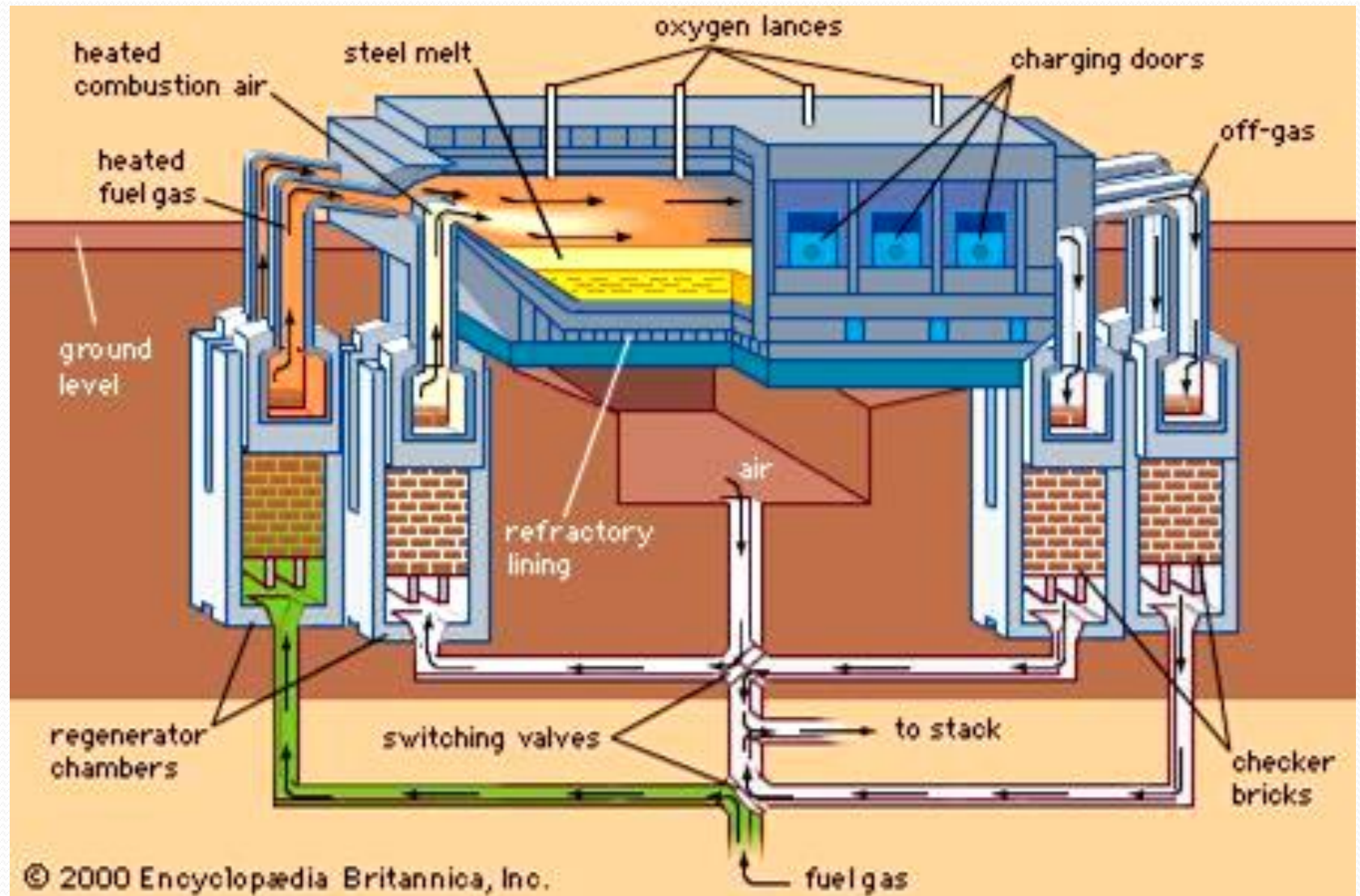
# Reverber fırın

- Şarjı yakıttan izole eden fakat yanma gazları ile temasına izin veren ergitme yöntemidir.
- Ergitme için ısı refrakterlerden (radyasyon) ve yanma gazlarından (konveksiyon) sağlanır
- Kısa süre öncesine kadar çelik üretiminin önemli bir kısmı bu yöntemle (Siemens Martin) yapılırdı.
- Fırına sıvı pik demir, katı halde pik demir, çelik hurdaları ve flaks maddeleri şarj edilir.
- Tek operasyonda 600 ton kadar çelik üretmek mümkün.

# Reverber (open-hearth) fırın



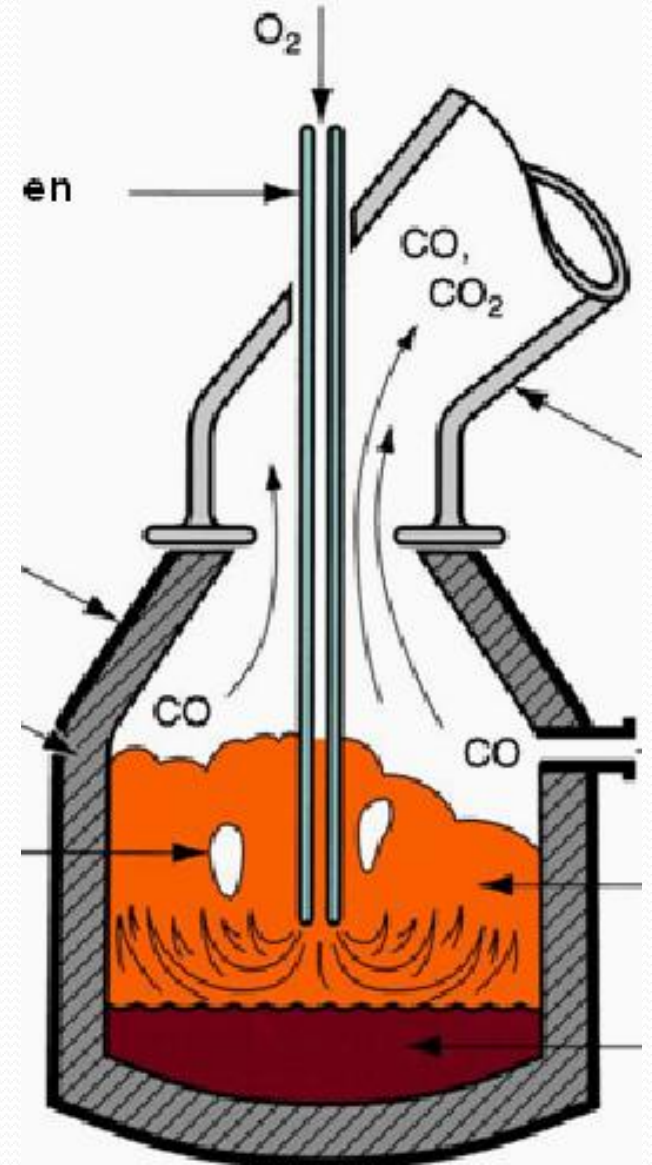
# Reverber (open-hearth) furnace



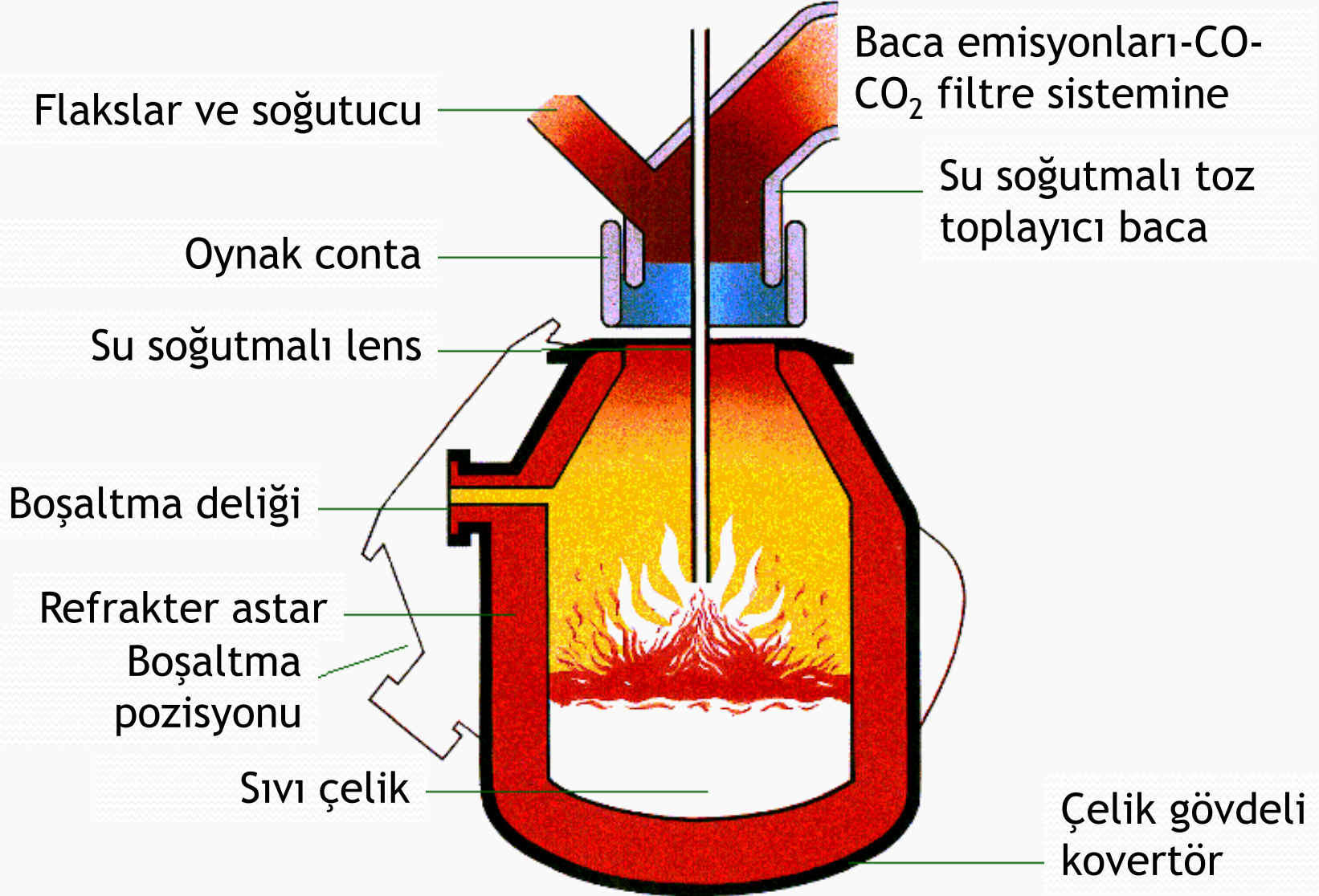


# Bazik oksijen fırını

- En hızlı çelik üretme teknolojisi saatte 250 ton çelik üretimi
- Sıvı pik demir ve çelik hurdası birlikte ocağa şarj edilir.
- Kireç taşı gibi cüruf yapıcılar ilave edilir.
- Sıvı banyoya saf oksijen üflenir. demir oksit oluşur. Demir oksit karbonla reaksiyona girer.
- CO ve CO<sub>2</sub> oluşur.
- Cüruf banyo yüzeyine çıkar.
- Reverberer fırına göre daha temiz çelik!



# Bazik oksijen fırını



# Bazik oksijen fırını

- BOF larda yüksek fırından gelen sıcak metal ile hurda kullanılır.
- Modern fırınlara bir defada 350 ton kadar şarj yapılabilir ve 15 dakikada çelik alınabilir.
- Su soğutmalı boru ile metale yüksek basınçta saf oksijen üflenir.
- Oksijen karbon ve arzu edilmeyen diğer safsızlıklarla (P, S, Si) birleşerek bunları sıvı metalden uzaklaştırır.
- Bu oksitlenme reaksiyonları ısı açığa çıkarır ve sıvı metalin sıcaklığı hurda şarjı ile dengelenir, kontrol edilir.
- Karbon fırını CO gazı olarak terk eder.



# Bazik oksijen fırını

- Oksijen üfleme aşamasında oluşan empürite oksitleri cüruf tabakasına almak için kireçtaşı ilave edilir.
- Konvertöre saf oksijen gönderilmesiyle çeliğin azot alımı önlenir.
- Çelik temizlendikten, sıcaklık ve kompozisyonu hedef değerlere eriştikten sonra konvertör yatırılarak ve sıvı çelik potaya alınır.
- Bu işlemler sonunda sıvı çelikte tipik olarak %0.04 kadar C bulunur.
- Potaya alma sırasında arzu edildiği şekilde alaşımlandırma yapılabilir.

# Bazik oksijen fırını

- İşlem esnasında çıkan aşırı ısıdan refrakterleri korumak için şarjın yaklaşık %20'si kadar da hurda eklenir.
- Herhangi bir ilave ısının verilmediği konverterlerde üfleme süresi 18 dakika civarında olup dökümden döküme geçen süre 40 dakikanın altındadır.
- 90-300 ton ham demir yaklaşık 30 dakikada sıvı çeliğe dönüştürülmesi, pik çeşidine pek az bağımlılığı ve asal çeliklerin de ekonomik olarak üretilmesi bu yöntemin hızla gelişmesini sağlamıştır.

# Bazik oksijen fırını



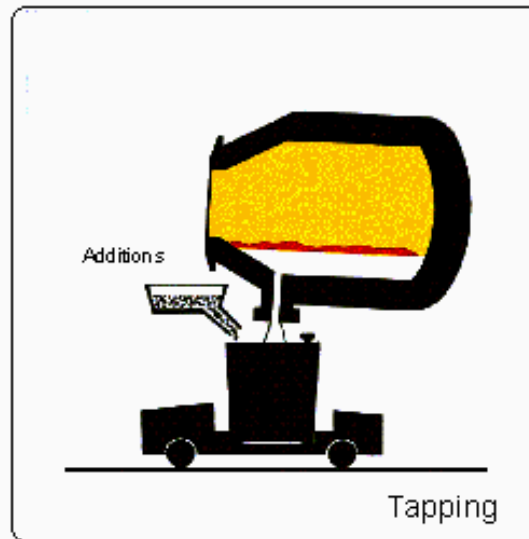
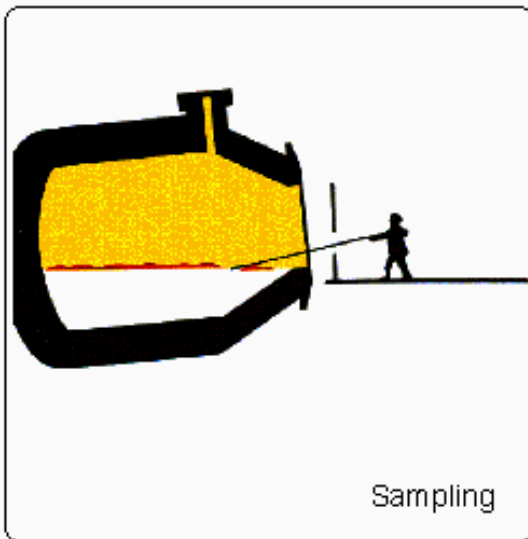
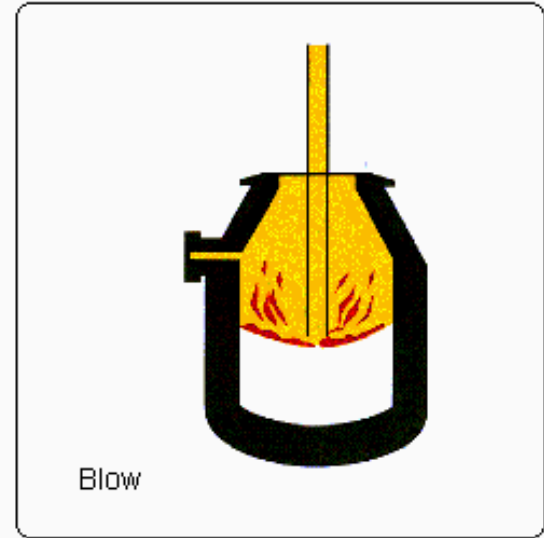
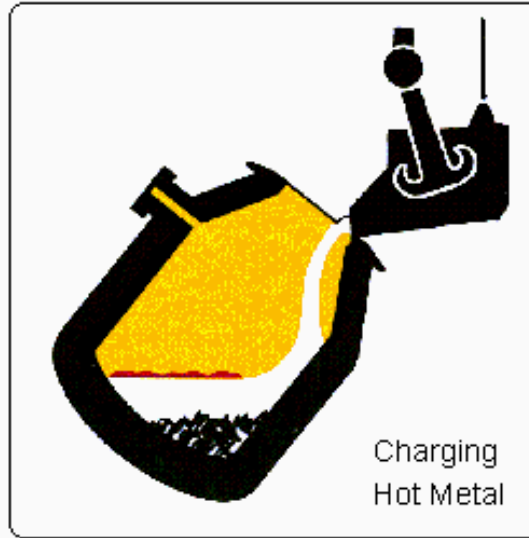
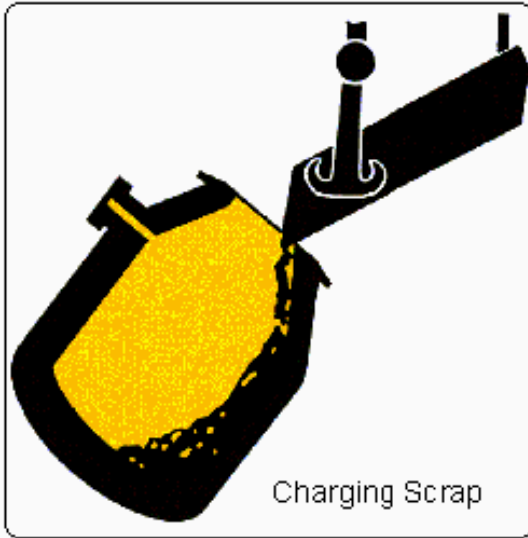
BOS fırınına hurda şarjı



BOS fırınına sıvı pik demir şarjı

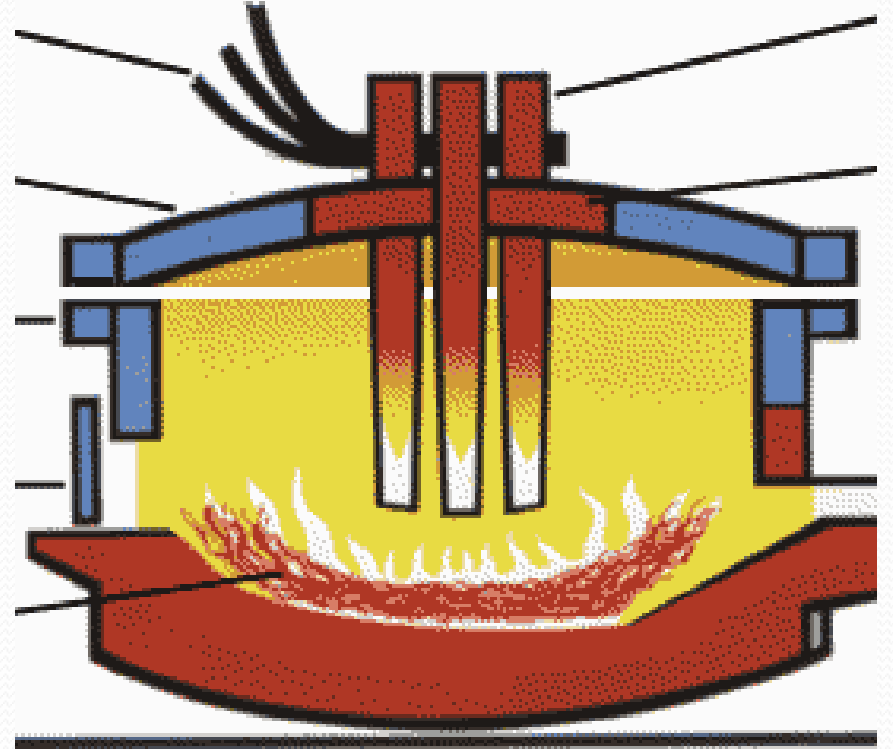
# Bazik oksijen fırını

[http://www.steelconstruction.info/Steel\\_manufacture](http://www.steelconstruction.info/Steel_manufacture)



# Elektrik ark ocağı

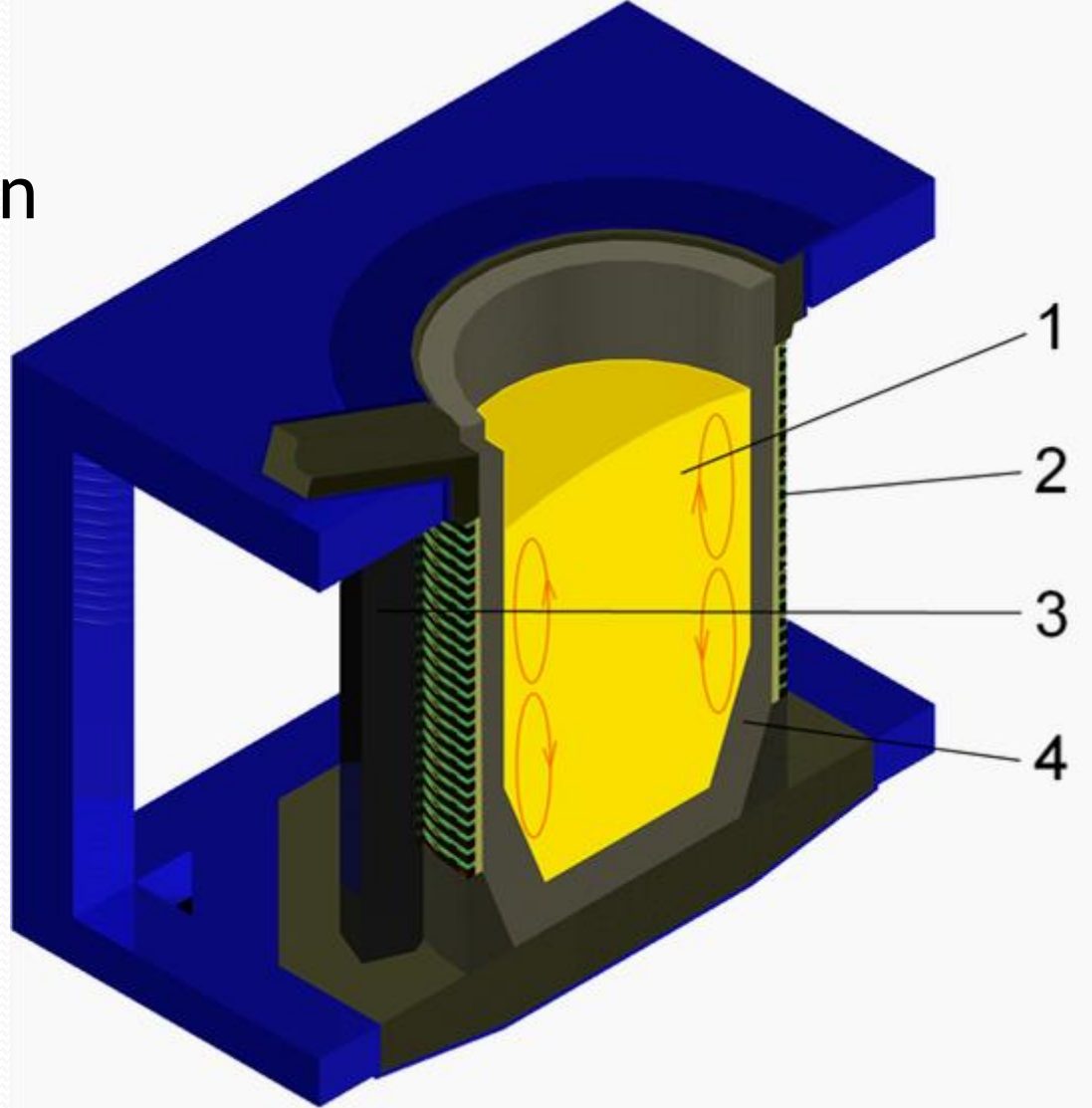
- Metali ısıtıp ergitmek için elektrotlar ve metal şarj arasındaki arkta yararlanılır.
- Günde 60-90 tons çelik üretilebilir.
- Elektrik ark ocağında üretilen çelik hem reverber fırın hem de bazik oksijen fırınında üretilenden daha kalitelidir.





# indüksiyon ocağı

- 1 - sıvı elik
- 2 - su soğutmalı bobin
- 3 - lamine dayama
- 4 - pota





# Vakum ocağı

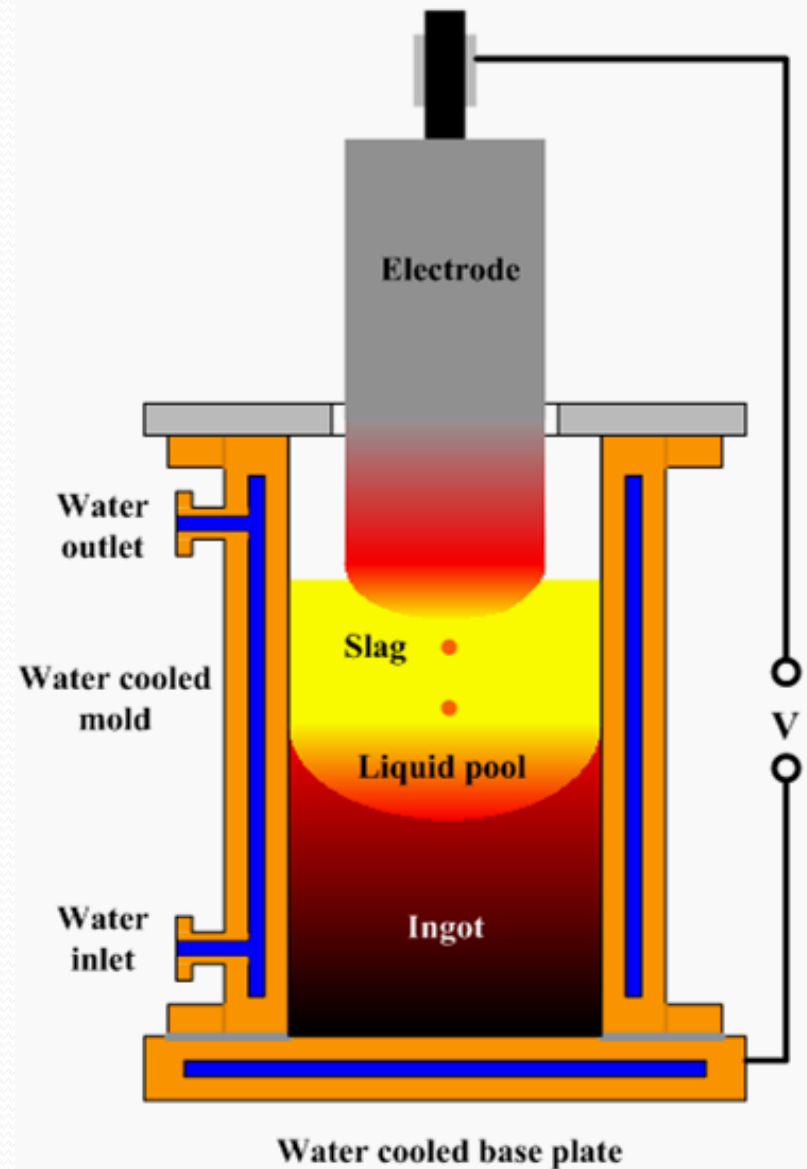
- Ergitme indüksiyon enerjisi ile yapılır.
- Hava ocak içinden alınır ve bu uygulama çelik içindeki gaz halindeki safsızlıkları da giderir.
- Çok yüksek kaliteli çelik üretimi mümkündür.

# elektro cüruf yeniden ergitmesi (ESR)

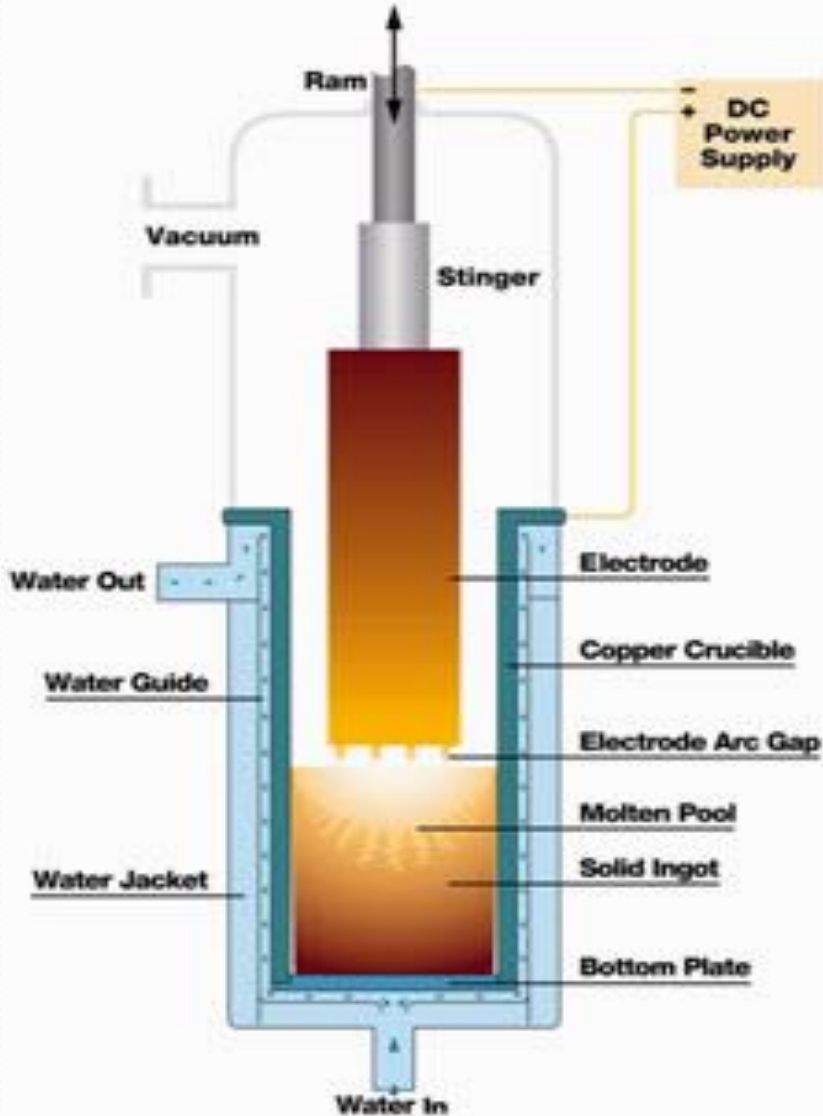
İkinci ergitme işlemidir.

ESR yöntemi ile mükemmel homojenlikte ve temiz (çok az kalıntı içeren) çelikler üretilebilir.

ESR tekniği ile örneğin hadde merdaneleri gibi ağır yüklemelere maruz kalan uygulamalar için kaliteli çelikler üretmek mümkündür.



# Vakum ark yeniden ergitmesi (VAR)

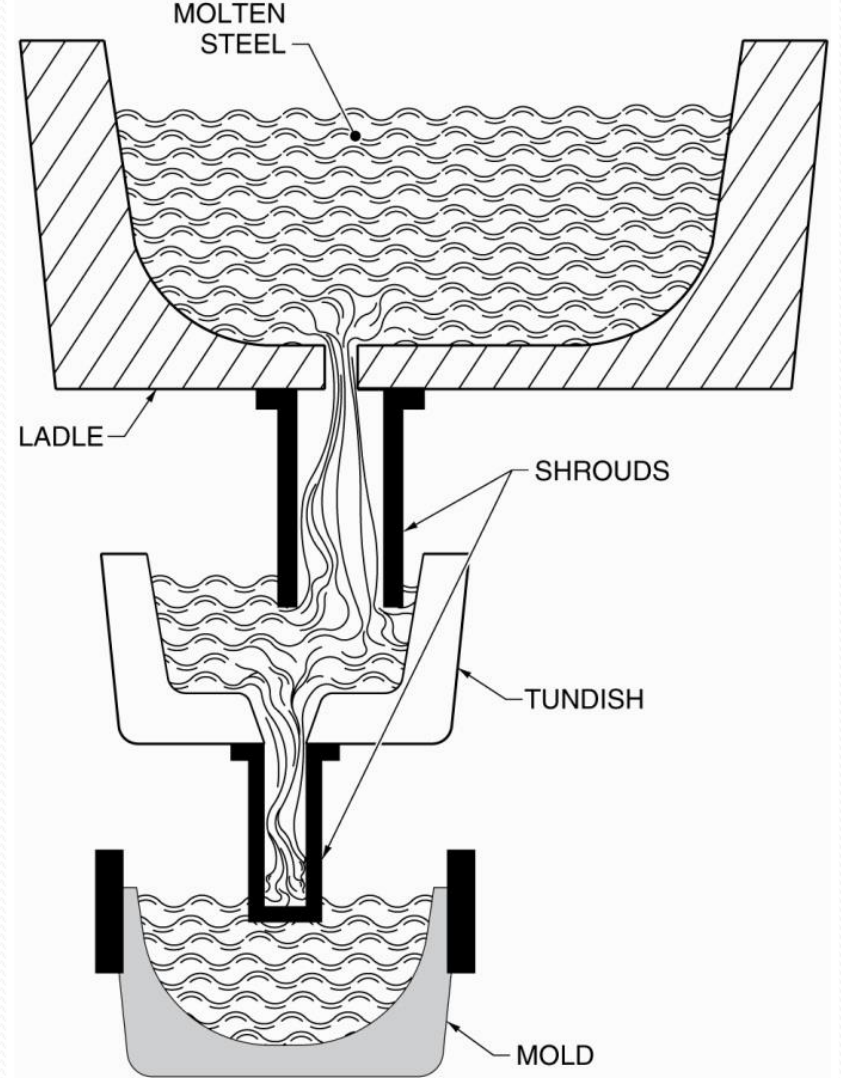


# Çelik ingot dökümü



# Sıvı çelik transferi

Sıvı çeliğin oksijen kapmasını en aza indirmek için pota-tundiş ve kalıp arasında metal transferi için koruyucu kanal kullanılır.



# Çelik ingotlar

- Çelik eriyiği kare, dikdörtgen veya yuvarlak kesitli bir kalıba dökülür.
- Kalıp içinde katılaşan çelik kütlesine İNGOT denir.
- ingotlar 50 kg ile 40 ton arasında olabilir.
- İngotlar homojen olarak ısıtılır ve sıcak olarak haddelenir.
- ANCAK:  
Sıvı çelik kalıpta soğurken gaz çıkışı olabilir ve çeliğin kalitesin olumsuz etkilenebilir. Bu duruma çare olarak, 3 tür çelik vardır.



# Söndürülmüş çelik

Tamamen deoksidize edilmiştir ve bu sayede hiç gözenek içermez.

- deoksidasyon alüminyum gibi deoksidanlar kullanılarak gerçekleştirilir. Empüriteler banyo yüzeyine çıkar ve cüruf ile birlikte alınır.
- Metal akıtıldığı zaman yüzeye hiç kabarcık çıkmadığı için “söndürülmüş çelik” denir.
- Hiç gaz içermediği için katılaşma tamamlandığında ingot merkezinde katılaşma büzülmesine bağlı olarak bir çöküntü oluşur.
- İngotun bu kısmı kesilmek ve hurda edilmek zorundadır.

# Yarı söndürülmüş çelik

Pratik olarak küçük farklılıklar dışında söndürülmüş çelik ile aynı karakterdedir.

- Deoksidasyon işlemi kısmen yapılmıştır. Bu nedenle ingotta bir miktar gaz kalır ve çekinti boşluğu daha küçük olur.
- Kısmen gözeneklidir.
- Çöküntü küçüldüğü için ingot tepesinden kesilmesi ve hurda edilmesi gereken metal miktarı azdır.
- Üretimi daha zahmetsiz ve daha ekonomiktir.

# Demir-çelik

Kısmen deokside edilmiş ve ingot tepesinde çanak!

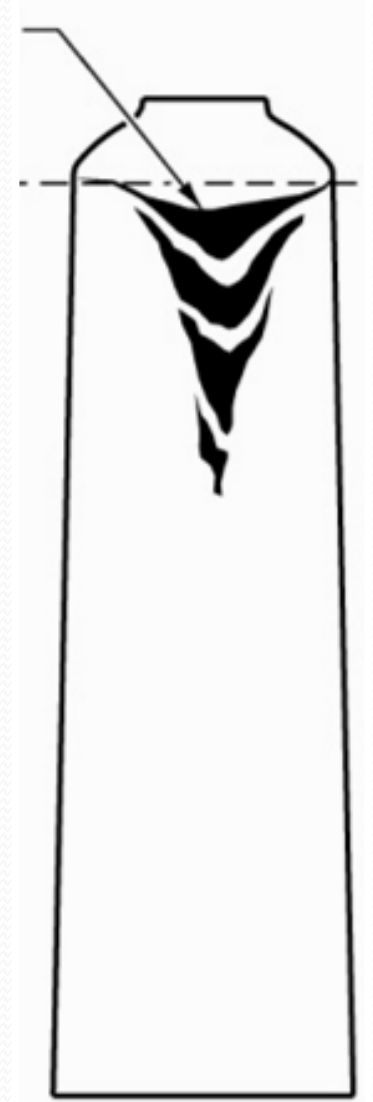


Yarı söndürülmüş!

Makro çekinti çökme!



tam söndürülmüş!



# ingot kesitleri

## BLUM

Kare kesitli;  $A > 20\text{cm} \times 20\text{cm}$   
haddelenmek için çok büyük  
olduğunda biletler kullanılır.

## BİLET

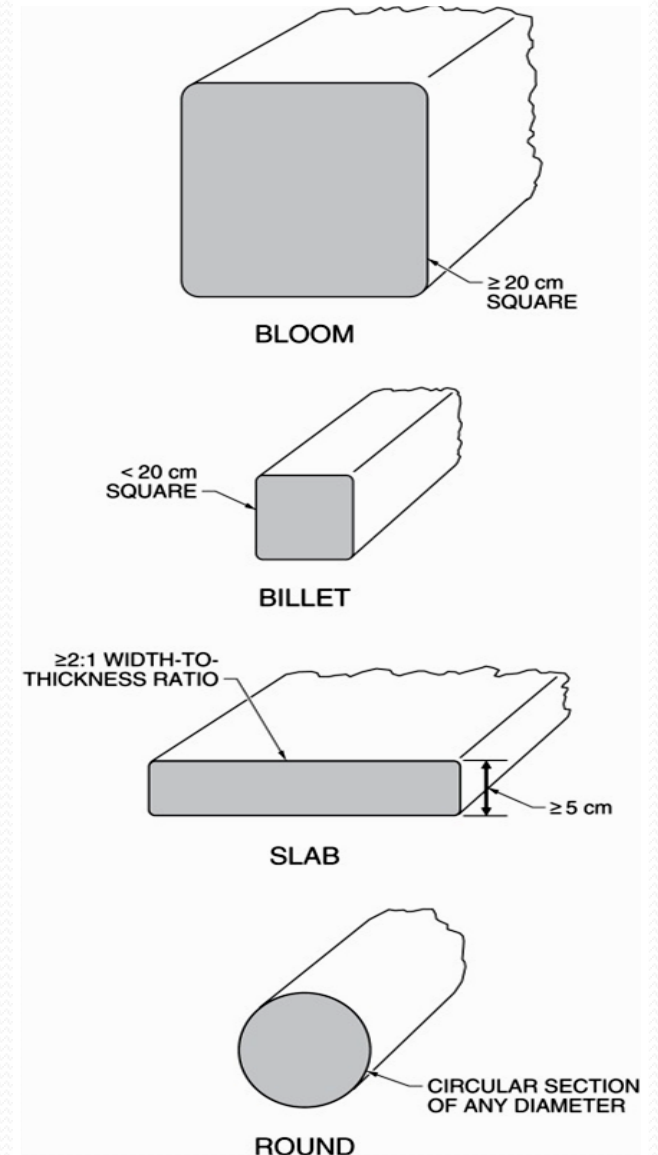
Kare kesitli;  $A < 20\text{cm} \times 20\text{cm}$

## SLAB

Dikdörtgen kesitli;  $t > 5\text{cm}$ !

## YUVARLAK

Daire kesitli; çap arzu edildiği  
gibi!



# İngot kalıpları

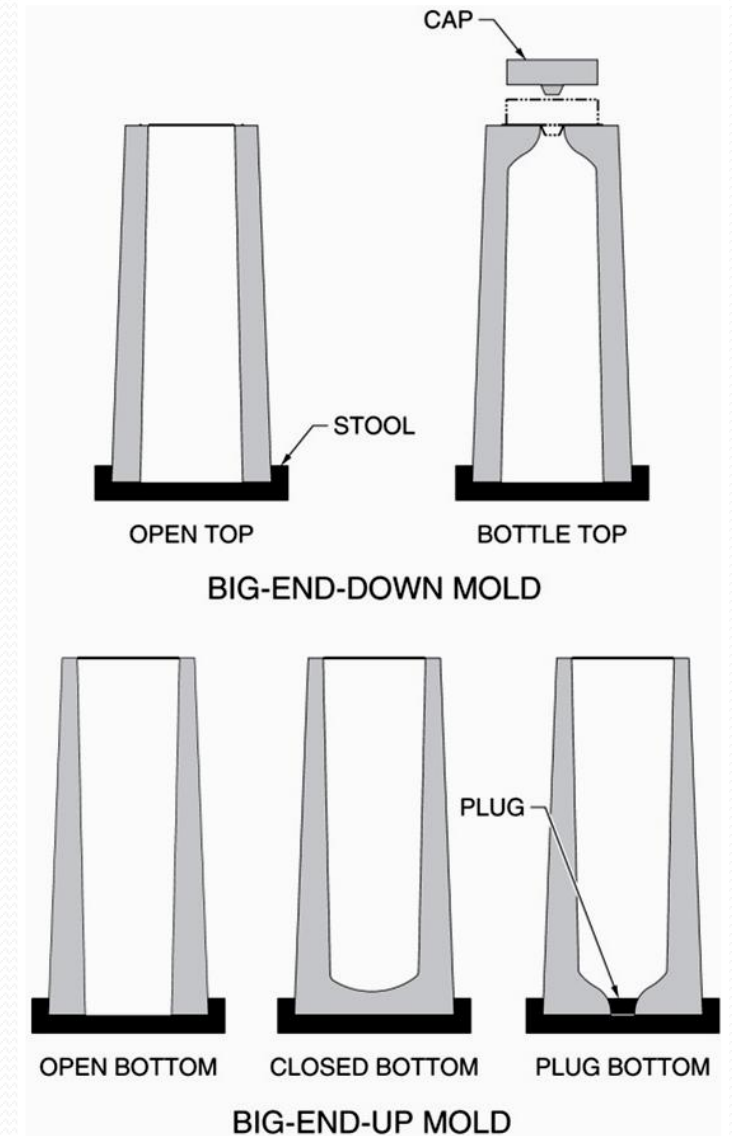
İngot kalıpları dökme demirden imal edilmiş içi boş kutulardır.

Kalıp, içinde katılaşan çelikten en az 1.5 kat daha ağırdır.

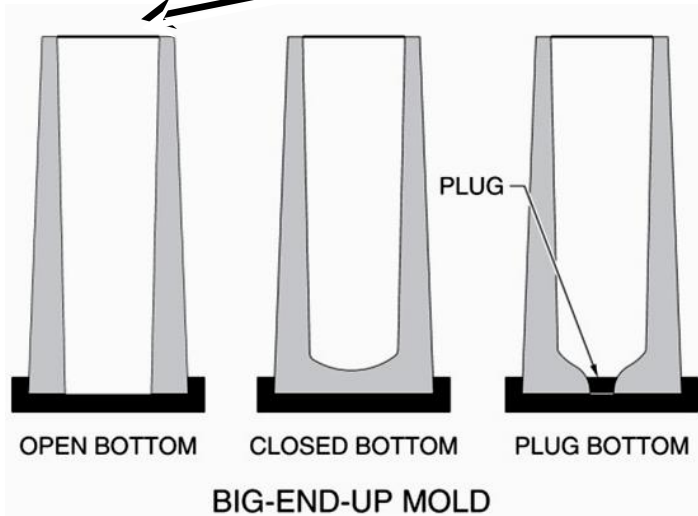
Kalıp katılaşan ingotun rahat çıkması için açılı imal edilir.

2 esas kalıp şekli büyük ağız altta ve büyük ağız üstte tipleridir.

Kalıp bir altlığın üzerine yerleştirilir ve döküm yapılır.



# Çelik ingot

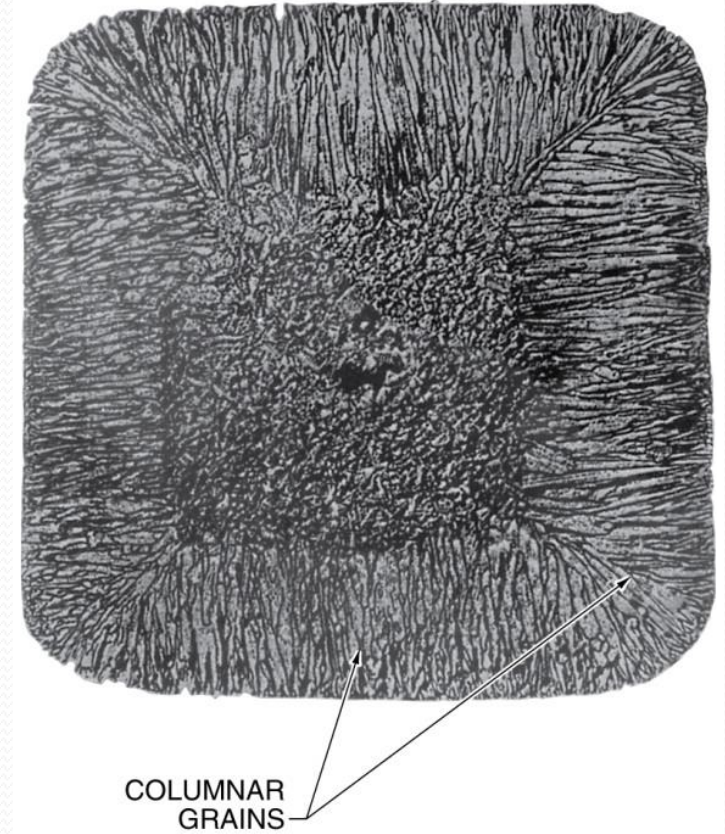




# Kesit yapısı

Kalıp ile temas ederek katılaşılan yüzey tabakası, 1-2 cm derinliğe kadar eş eksenli tane yapısındadır. Kesitin daha içinde kolonsal tane yapısı başlar. Taneler dendritik karakterdedir ve kalıp duvarına dik, ısı akışına ters yönde büyümüşür.

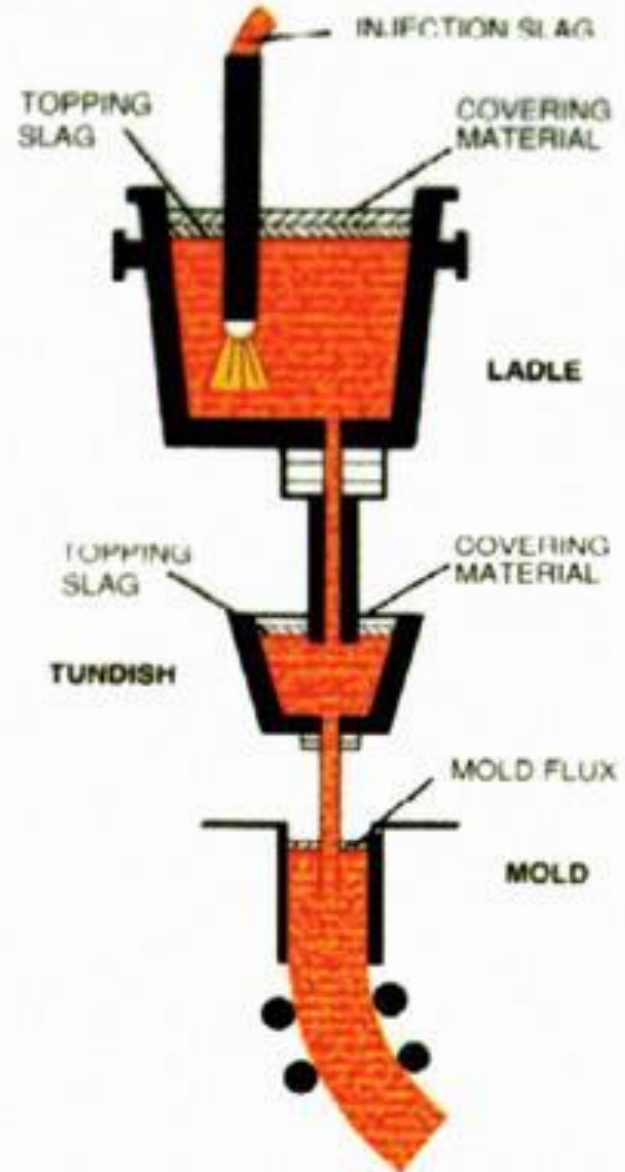
İngot kimyasal bileşim yönünden heterojendir ve segregasyona uğramıştır. Dendritler arasında ve ingot yüzeyinde metalik olmayan kalıntılar vardır.



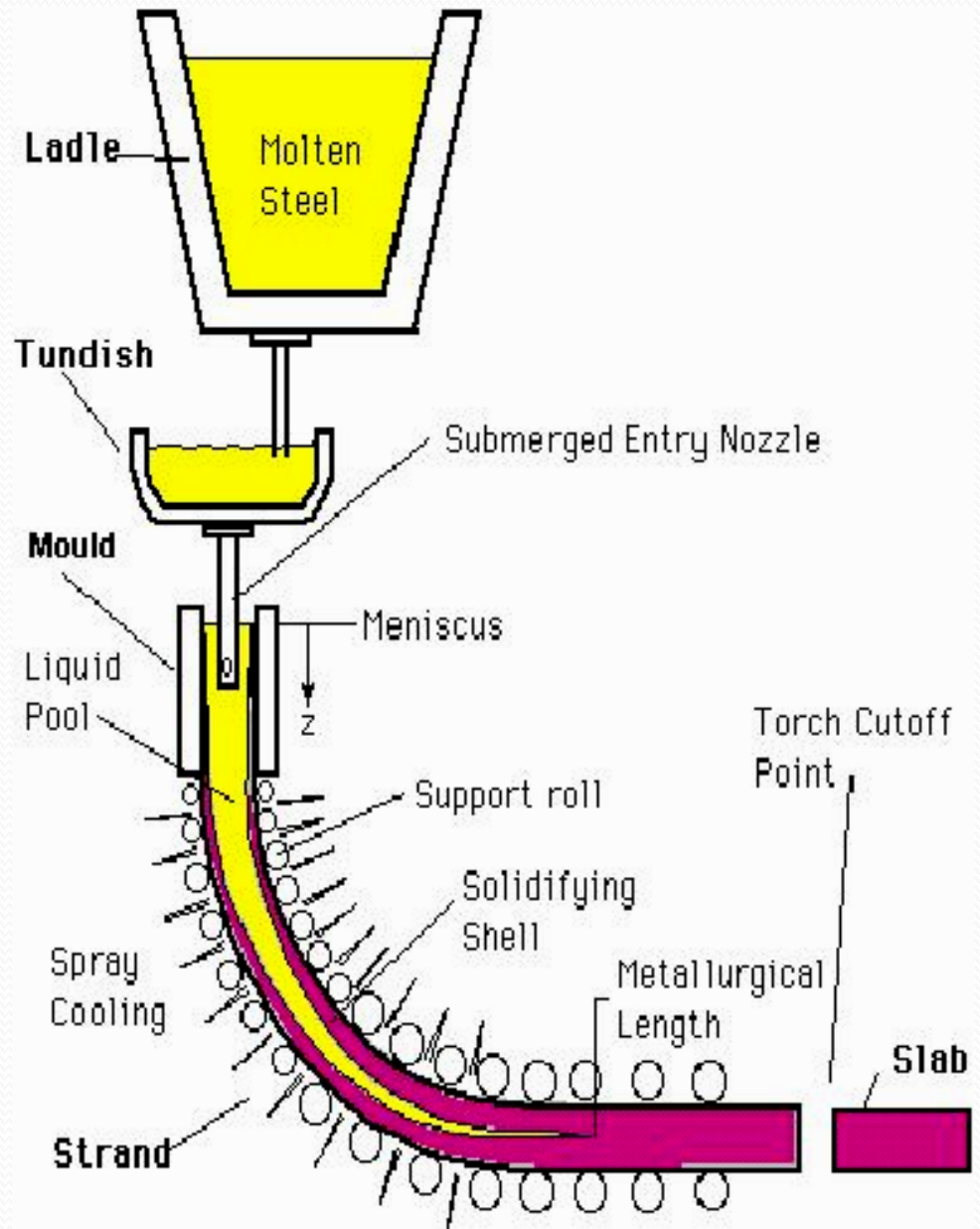
# Sürekli döküm

Sürekli döküm teknolojisinde ingot aşaması atlanmış olur. Metal sürekli olarak akıtıldığı kalıp içinde katılaşır.

Döküm hızı  $\sim 2.5$  cm/s  
Katı metal daha sonra son şekli veren “pinch” merdaneler arasında geçer.



# Sürekli döküm



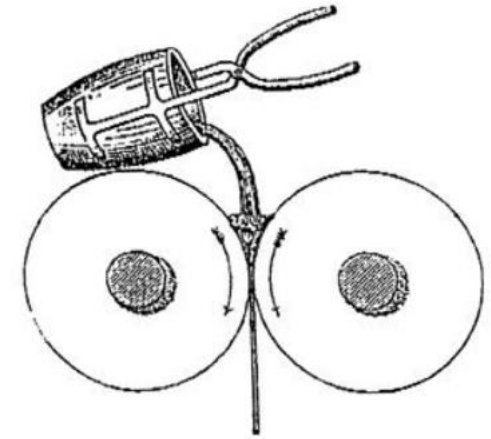
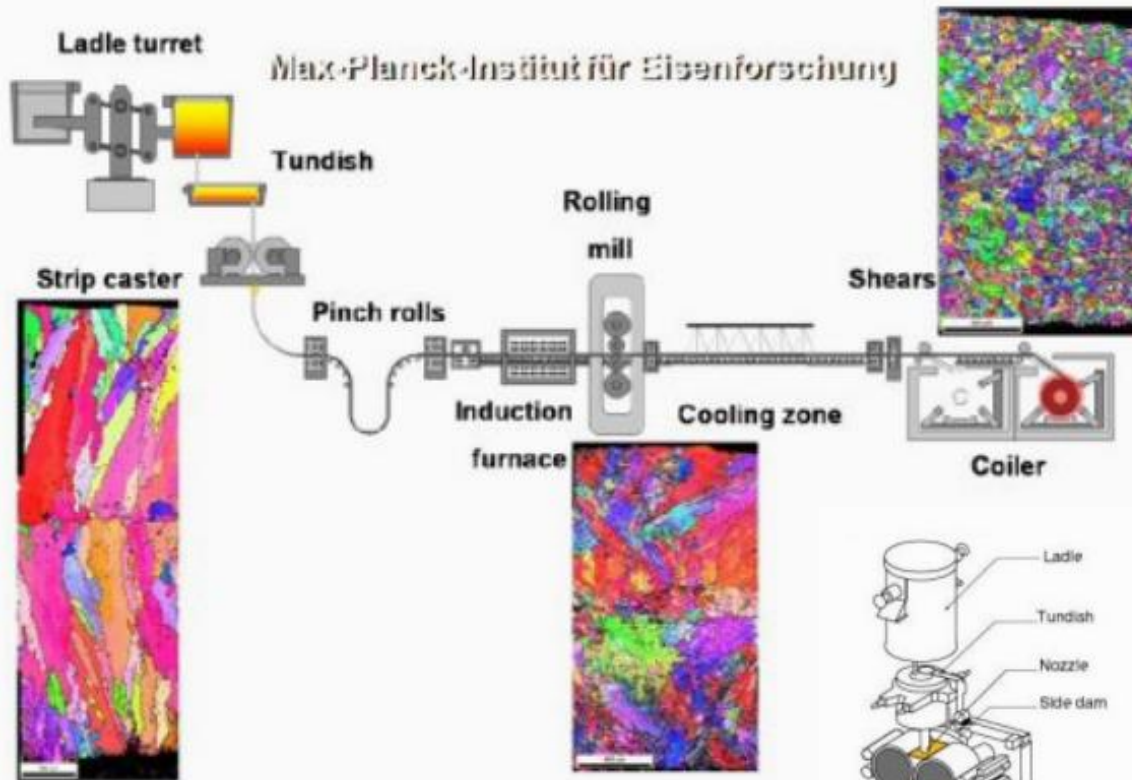
# Sürekli döküm

- İngot aşaması atıldığı için daha ekonomiktir.
- Metal ingot teknolojisine kıyasla daha homojen bileşimde ve özelliklerde ürün elde edilir.

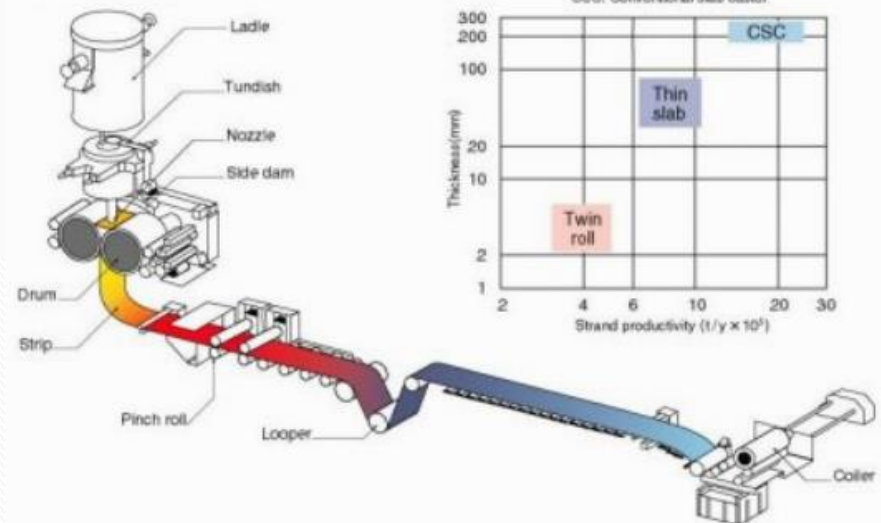




# Sürekli döküm

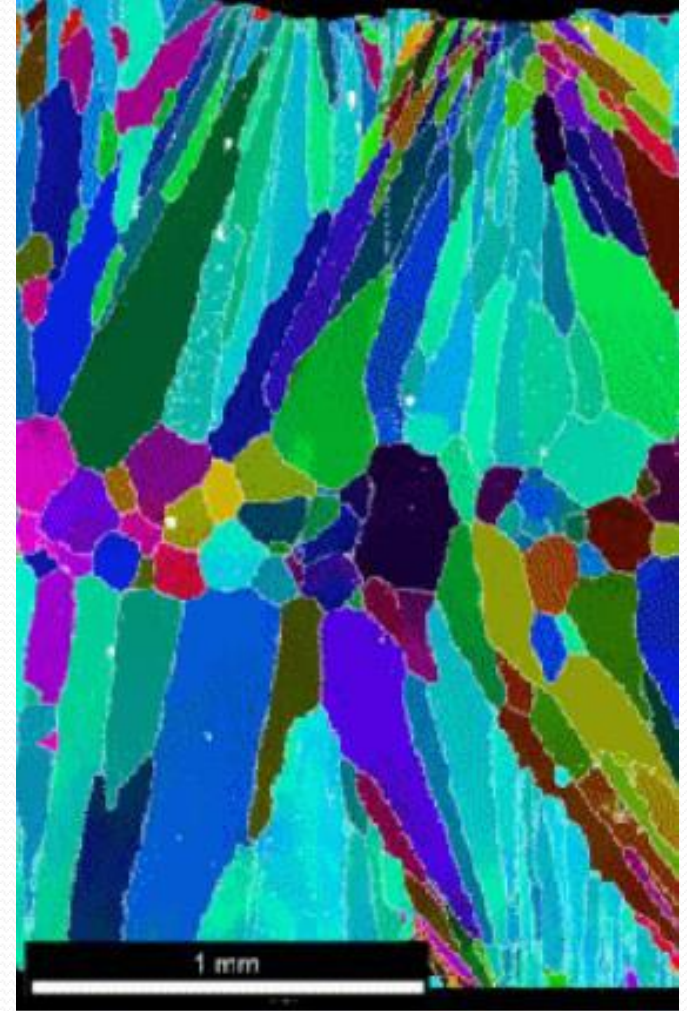


Sir Bessemer's original drawing of twin-roll casting design.



# Sürekli döküm

Sürekli döküm teknolojisi ile üretilmiş ferritik paslanmaz çelik şerit kesit yapısı



Strip cast ferritic Fe-Cr stainless steel.

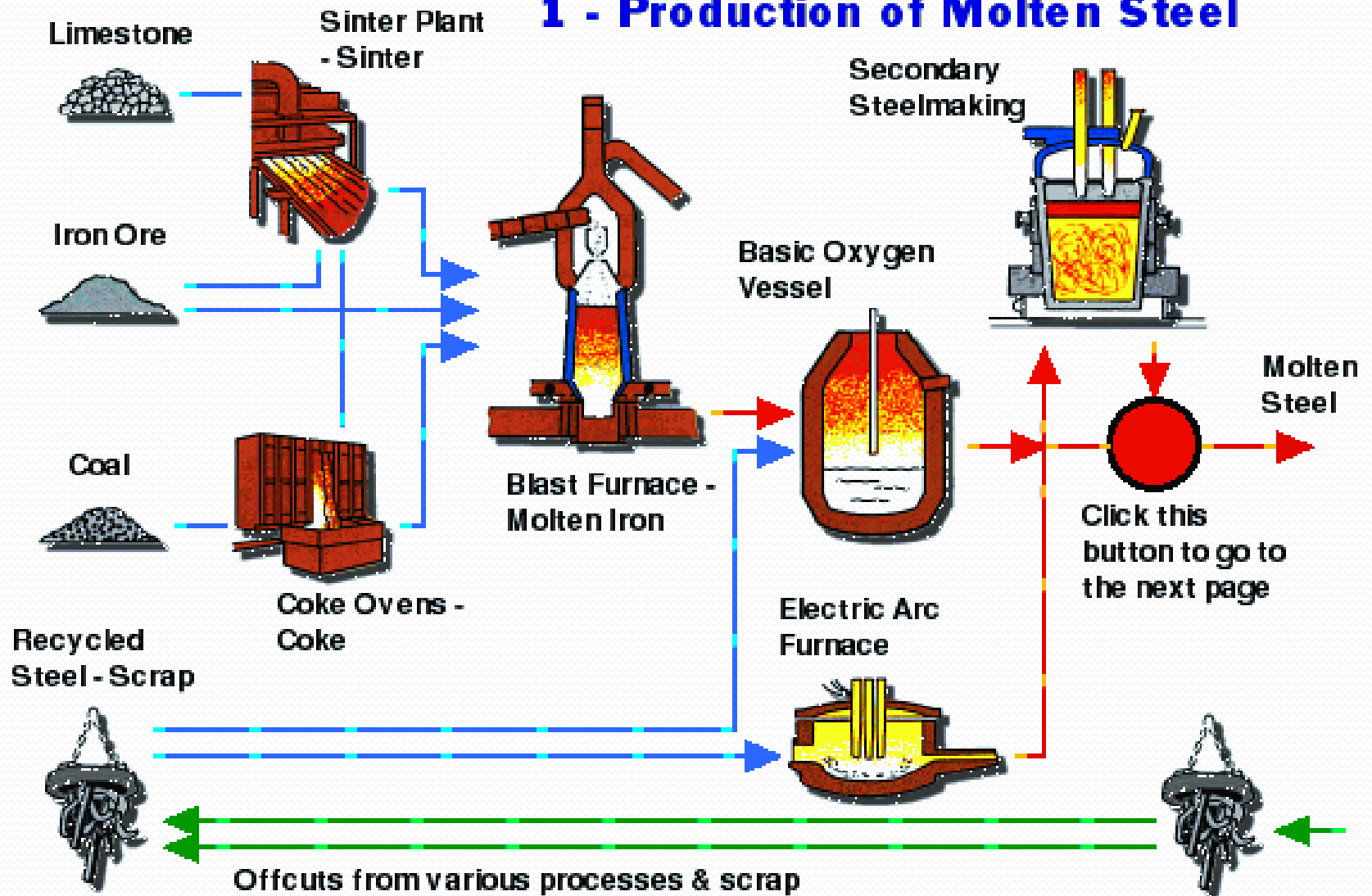


# Sürekli döküm avantajlar

- enerji tasarrufu (1 milyon BTU/ton)
- az hurda-yüksek verim (%20'ye kadar)
- Yüksek işçi üretkenliği (-%15 işçilik)
- Daha kaliteli çelik
- Daha az çevre kirliliği
- Daha düşük yatırım maliyeti
- Daha fazla hurda kullanma imkanı

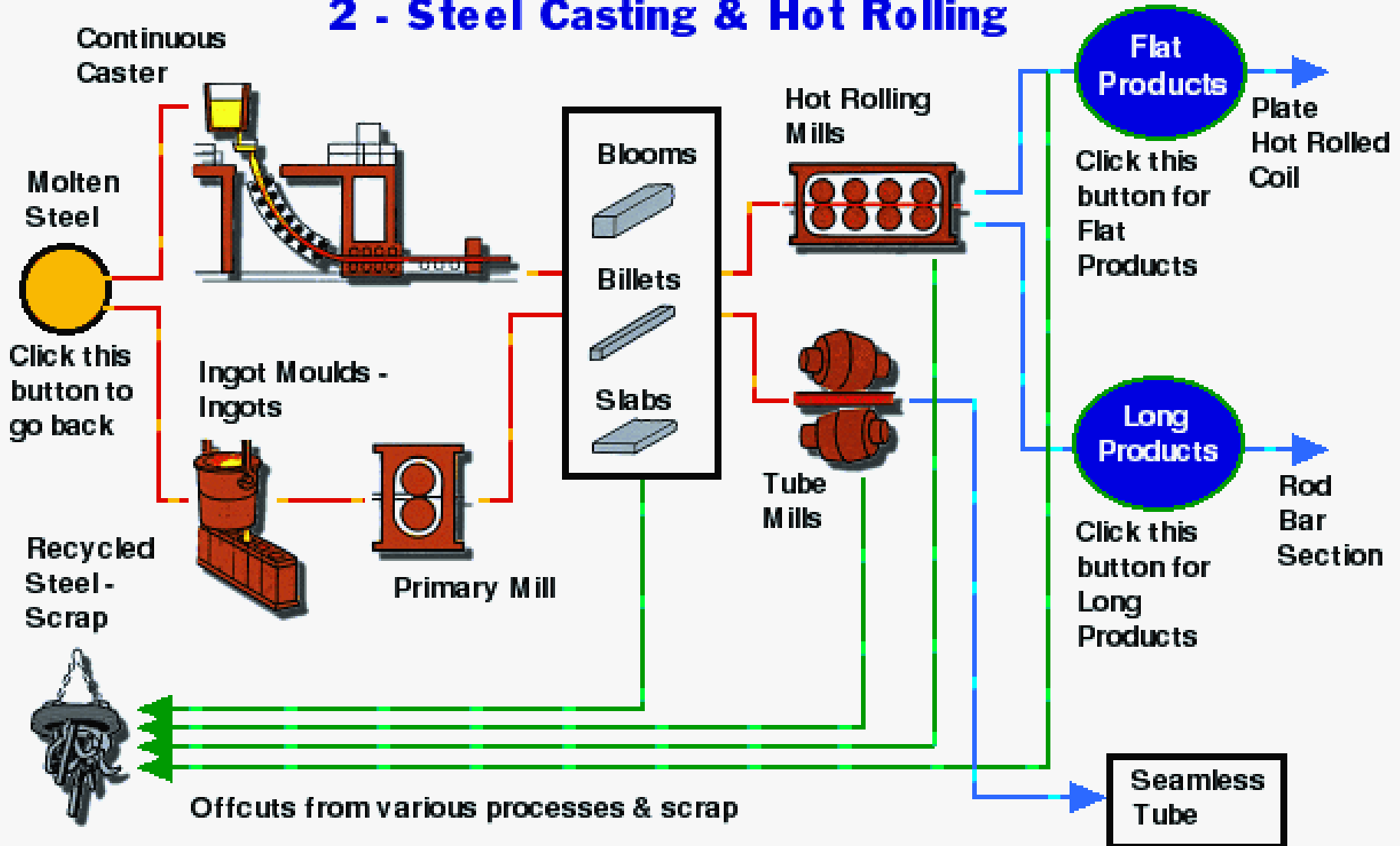
# Üretim akışı

## 1 - Production of Molten Steel

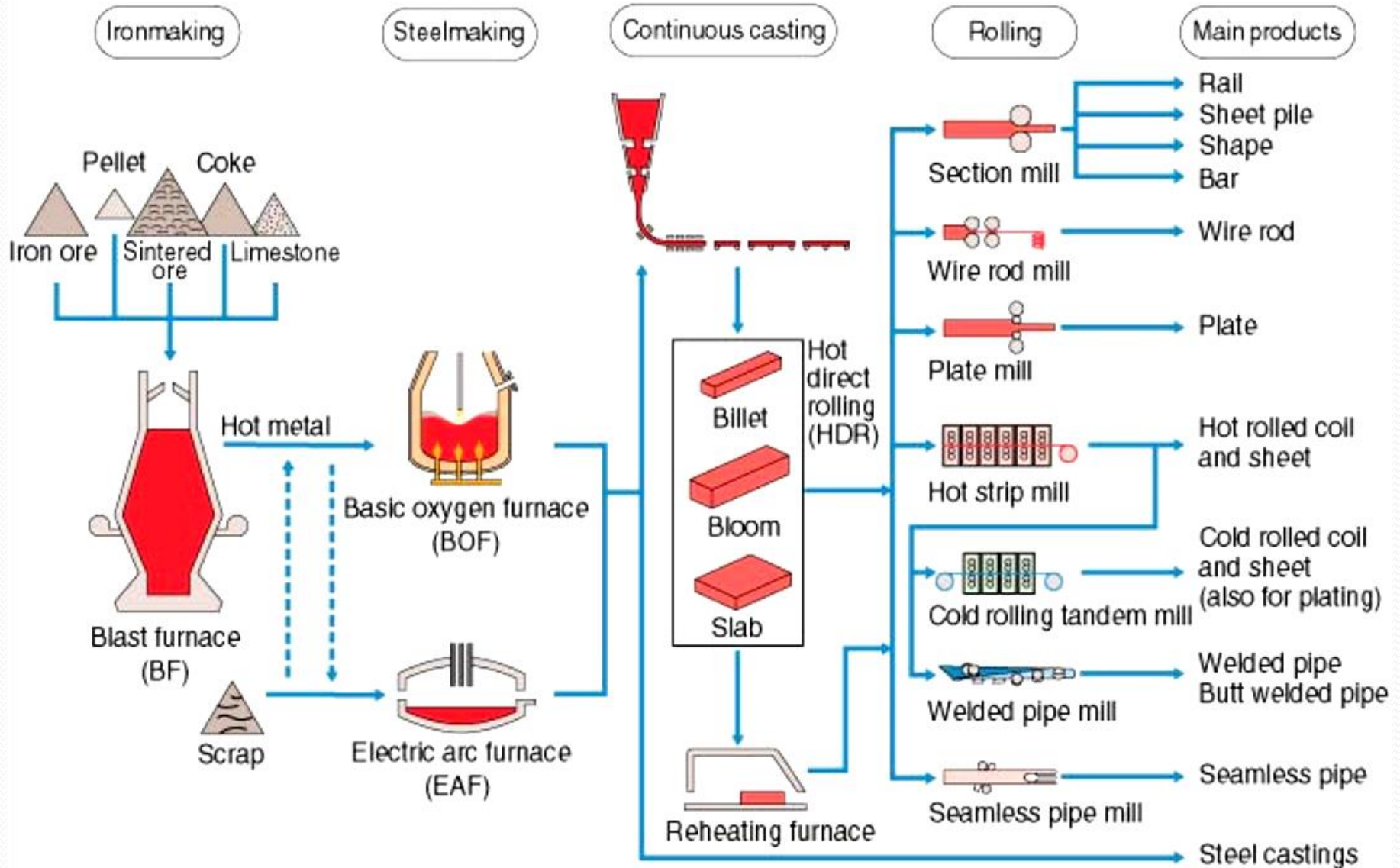


# Üretim akışı

## 2 - Steel Casting & Hot Rolling



# Üretim süreçleri

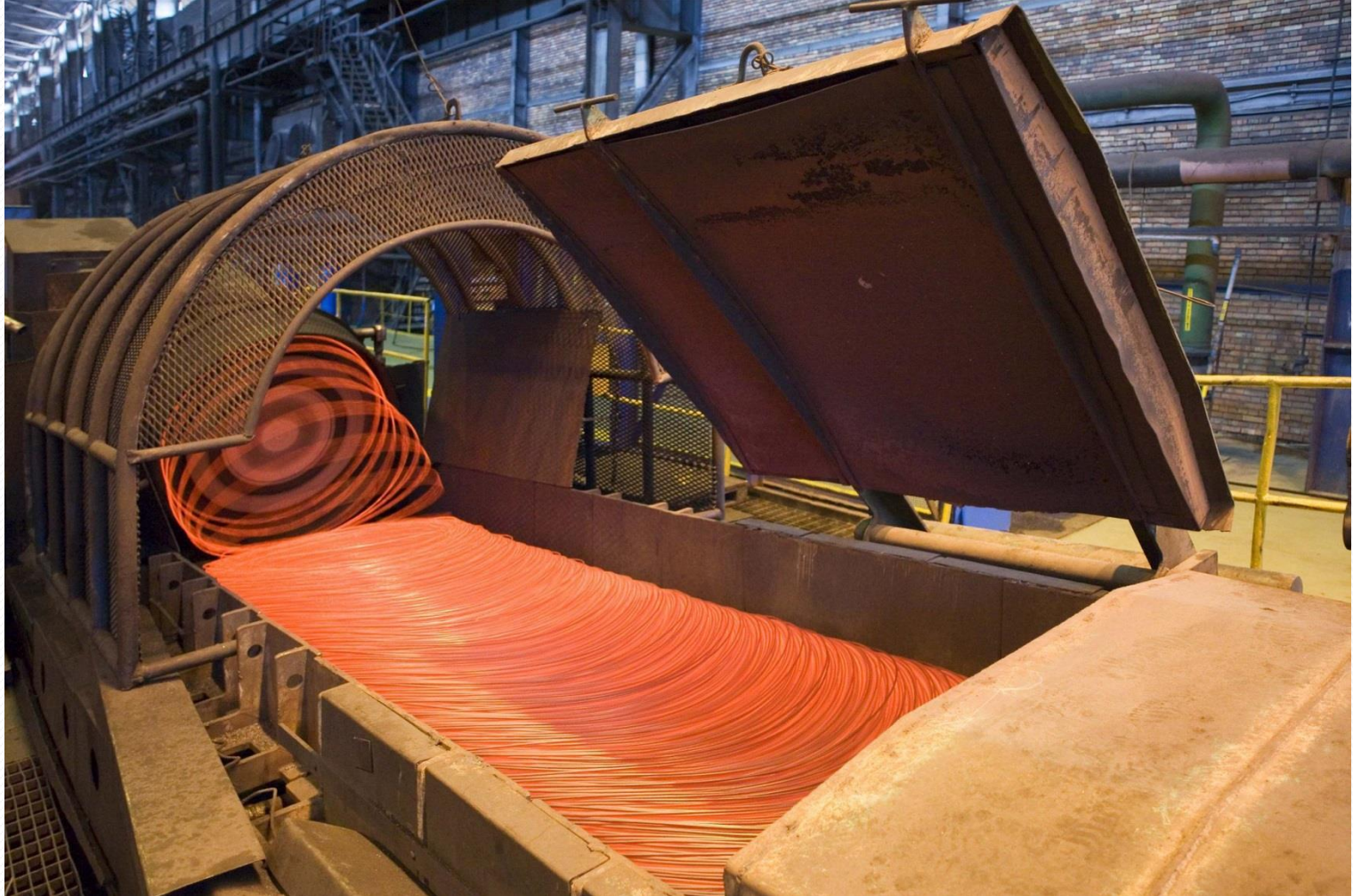


# Soğuk haddelenmiş yassı ürünler





# uzun ürünler - tel, filmaşın, kord



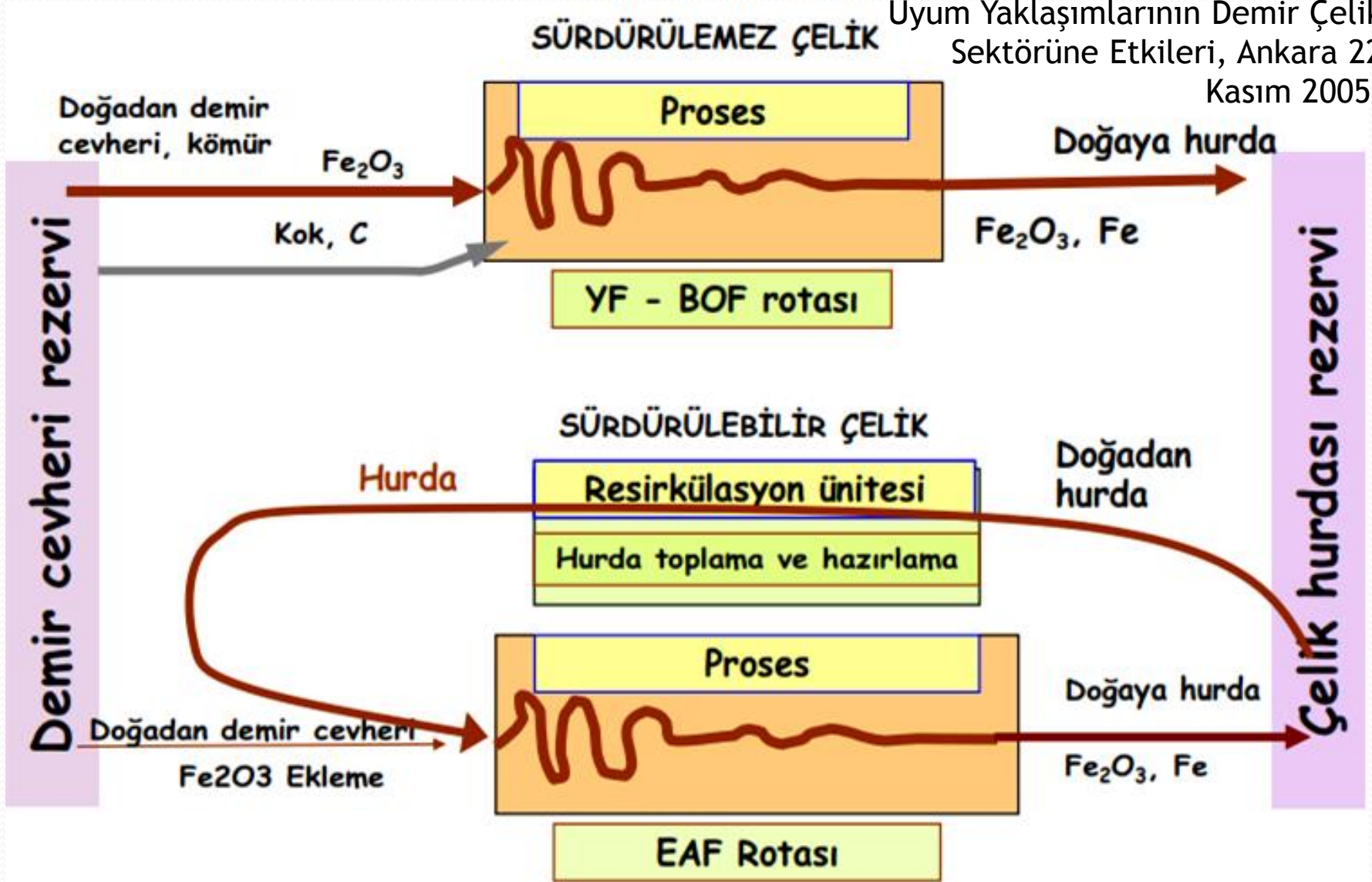


# uzun ürünler - kütük, çubuk



# Demir-Çelik sanayi

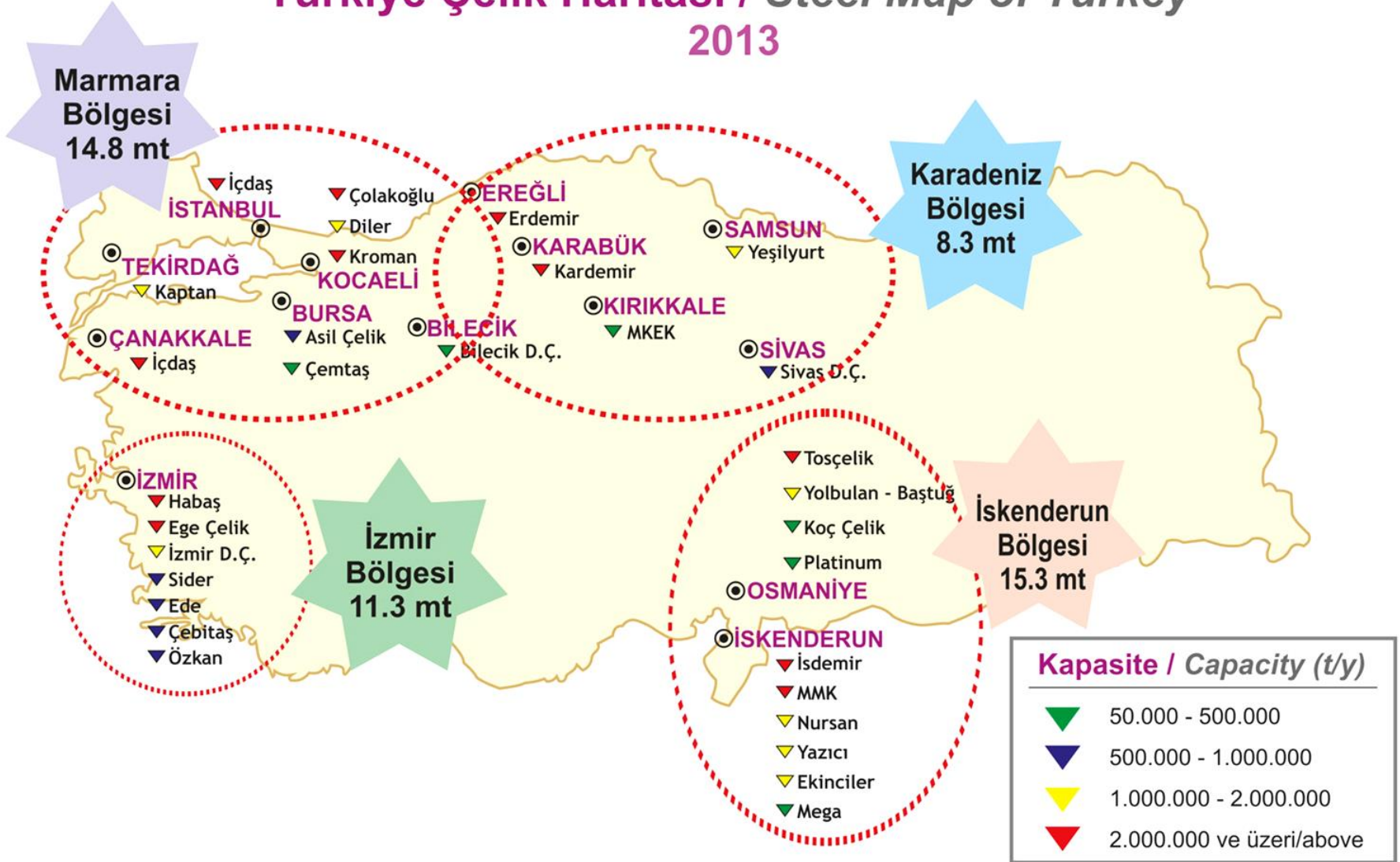
Yılmaz, M., İklim Değişikliğine AB Uyum Yaklaşımlarının Demir Çelik Sektörüne Etkileri, Ankara 22 Kasım 2005,





# TR demir-çelik haritası

## Türkiye Çelik Haritası / Steel Map of Turkey 2013



# Demir-Çelik sanayi

uzun ürün üreten ilk entegre demir çelik tesisi olan **Karabük Demir Çelik Fabrikaları (KARDEMİR)** 1937 yılında, yassı ürün talebini karşılamak için kurulan, ikinci entegre tesisi olan **Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR)**, 1965 yılında üretime başlamıştır.

1975 yılında ise, yine uzun ürün ve yarı ürün talebini karşılayabilmek amacıyla, Türkiye'nin üçüncü entegre tesisi, **İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İSDEMİR)** işletmeye açılmıştır.

1960'lı yıllardan itibaren, özel sektöre ait **elektrik ark ocaklı (EAO)** tesisler de faaliyete geçmiştir.

1980 yılında demir çelik sektörü, yıllık 4.2 milyon ton sıvı çelik üretim kapasitesine ulaşmıştır.



# Demir-Çelik sektörü kuruluşlarının faaliyete geçiş tarihleri

FİRMA	YIL
MKEK	1928
KARDEMİR	1939
ERDEMİR	1965
ÇOLAKOĞLU	1969
KROMAN	1969
İÇDAŞ	1970
ÇEMTAŞ	1972
İSDEMİR	1975
ASİLÇELİK	1979
EGE ÇELİK	1982
DİLER	1984
HABAŞ	1987
İDÇ	1987
ÇEBİTAŞ	1989
EKİNCİLER	1989

FİRMA	YIL
EKİNCİLER	1992
SİDEMİR	1994
YAZICI	1997
YEŞİLYURT	2002
KAPTAN	2005
NURSAN	2006
SİDER	2008
PLATİNUM	2008
BİLECİK A.Ş.	2009
TOSÇELİK	2009
MEGA	2010
ÖZKAN	2010
YOLBULAN	2010
MMJ-ATAKAŞ	2011

# Demir-Çelik sanayi

tesis	2000			2010		
	Kapasite, ton	Üretim, ton	KKO %	Kapasite, ton	Üretim, ton	KKO %
ASİL ÇELİK	260000	200148	77	485000	287463	59
ÇEBİTAŞ	700000	417160	60	750000	168800	23
ÇEMTAŞ	172000	133587	78	172000	141220	82
ÇOLAKOĞLU	1522000	1570053	103	3000000	2303745	77
ÇUKUROVA	1775000	439167	25	-	-	-
DİLER	906000	262794	29	1500000	1301266	87
EDE	-	-	-	780000	85084	11
EGE ÇELİK	-	-	-	2000000	613686	68
EGE METAL	840000	559387	67	-	-	-
EKİNCİLER	1000000	404227	40	1000000	684431	68
HABAŞ	1530000	1324024	87	4800000	2726629	57
İÇDAŞ	1800000	1384678	77	5267600	3612700	69
İLHAN	-	-	-	200000	56696	28
İZMİR DÇ	850000	742548	87	1500000	1095584	73
KAPTAN	-	-	-	1350000	1073799	80
KROMAN	1100000	626023	57	1350000	1084000	80

# Demir-Çelik sanayi

tesis	2000			2010		
	Kapasite, ton	Üretim, ton	KKO %	Kapasite, ton	Üretim, ton	KKO %
MKEK	60000	5763	10	60000	3531	6
NURSAN	-	-	-	1200000	931559	78
ÖZKAN				700000	140770	20
SİDER				720000	686939	95
SİVAS				550000	432431	79
TOSÇELİK				2000000	1320000	66
YAZICI	817000	824271	101	1000000	984712	98
YEŞİLYURT	300000	202367	67	1000000	426242	43
YOLBULAN				1500000	638620	43
DİĞER				500000	105000	21
<b>EAO</b>	<b>13632000</b>	<b>9096197</b>	<b>67</b>	<b>33384600</b>	<b>20904907</b>	<b>66</b>
ERDEMİR	3000000	2388009	80	3850000	3538898	92
İSDEMİR	2200000	1965100	89	4000000	3564495	89
KARDEMİR	1000000	875429	88	1500000	1134566	76
BOF	6200000	5228538	84	9350000	8237959	88
<b>TOPLAM</b>	<b>19832000</b>	<b>14324735</b>	<b>72</b>	<b>42734600</b>	<b>29142866</b>	<b>71</b>

# Demir-Çelik sanayi

## ÇELİKHANE KAPASİTESİ, ÜRETİMİ VE KAPASİTE KULLANIM ORANI (KKO)

Türkiye genelinde  
3 tanesi entegre tesis (BOF),  
23 tanesi EAO'lu  
ve 3 tanesi indüksiyon (İO) olmak üzere,  
kurulu 29 tesis bulunmaktadır.

# Demir-Çelik sanayi

- Türkiye dünyada 10. sırada çelik üreten ülkedir.
- 43 milyon ton üretim kapasitesine sahiptir.
- Türkiye’de 2011 yılında kabaca 31 milyon ton çelik üretilmiştir.
- Ancak üretiminde ürün dengesizliği vardır, uzun ürünün payı yüksektir.
- Son yıllarda yassı çelik üretiminde artışlar vardır.
- Yassı çelik üretimindeki artışlar daha çok elektrik ark fırını ile yapılan üretimlerle sağlanmaktadır.



# Dünya demir-çelik üretimi

## Ham Çelik Üretimi (Milyon Ton)

SIRA	ÜLKE	2000	PAY (%)	2008	PAY (%)	2009	PAY (%)	00-09 (%)
1	Çin	127,2	15,0	500,3	37,6	567,8	46,3	346,4
2	Japonya	106,4	12,6	118,7	8,9	87,5	7,1	-17,8
3	Hindistan	26,9	3,2	57,8	4,3	62,8	5,1	133,5
4	Rusya	59,1	7,0	68,5	5,2	60,0	4,9	1,5
5	ABD	101,8	12,0	91,4	6,9	58,2	4,7	-42,8
6	Güney Kore	43,1	5,1	53,6	4,0	48,6	4,0	12,8
7	Almanya	46,4	5,5	45,8	3,4	32,7	2,7	-29,5
8	Ukrayna	31,4	3,7	37,3	2,8	29,9	2,4	-4,8
9	Brezilya	27,9	3,3	33,7	2,5	26,5	2,2	-5,0
10	<b>Türkiye</b>	<b>14,3</b>	<b>1,7</b>	<b>26,8</b>	<b>2,0</b>	<b>25,3</b>	<b>2,1</b>	<b>76,9</b>
11	İtalya	26,7	3,2	30,6	2,3	19,8	1,6	-25,8
12	Tayvan	16,9	2,0	19,9	1,5	15,9	1,3	-5,9
13	İspanya	15,8	1,9	18,6	1,4	14,4	1,2	-8,9
14	Meksika	15,6	1,8	17,2	1,3	14,0	1,1	-10,3
15	Fransa	21,0	2,5	17,9	1,3	12,8	1,0	-39,0
<b>DÜNYA</b>		<b>847,1</b>	<b>100,0</b>	<b>1.329,0</b>	<b>100,0</b>	<b>1.226,5</b>	<b>100,0</b>	<b>44,8</b>

# metal sektörü-ihracat

	ÜRÜN GRUBU	2012 MAYIS	2013 MAYIS	DEĞİŞİM	2012 MAYIS	2013 MAYIS	DEĞİŞİM
		Miktar (Ton)	Miktar (Ton)	%	Değer (bin \$)	Değer (bin \$)	%
1	DEMİR ÇELİK ÇUBUK	770.798	814.524	6	510.229	484.702	-5
2	DEMİR ÇELİK DİĞER	92.037	101.751	11	119.003	134.704	13
3	DEMİR ÇELİK PROFİL	154.702	173.018	12	115.659	124.413	8
4	DEMİR ÇELİK BORU	125.780	134.426	7	114.897	121.221	6
5	DEMİR ÇELİK İNŞAAT AKSAMI	59.823	57.156	-4	115.321	116.637	1
6	DEMİR ÇELİK KÜTÜK	195.455	132.285	-32	123.832	73.295	-41
7	DEMİR ÇELİK DİĞER (DEMİR DEMİRDİŞİ)	17.462	22.585	29	49.095	62.628	28
8	DEMİR ÇELİK YASSI SICAK	80.645	98.359	22	56.434	62.590	11
9	DİĞER EŞYA METALLERDEN DİĞER	13.156	13.564	3	53.917	60.241	12
10	ALÜMİNYUM ÇUBUK & PROFİLLER	13.230	13.391	1	55.845	56.129	1
11	DEMİR ÇELİK YASSI KAPLAMA	61.570	57.466	-7	59.874	53.685	-10
12	ALÜMİNYUM SAÇ & LEVHA	13.811	16.170	17	41.558	47.864	15
13	DEMİR ÇELİK FİLMAŞIN	97.668	63.687	-35	66.571	38.425	-42
14	BAKIR ÖRME HALATLAR	4.367	4.597	5	39.203	38.367	-2
15	ALÜMİNYUM DİĞER	6.612	6.747	2	30.185	34.773	15
16	MOBİLYALAR (METAL)	6.442	8.015	24	26.500	33.679	27
17	BAKIR DİĞER	5.350	4.351	-19	43.178	32.348	-25
18	DİĞER EŞYA DİĞER (DEMİR)	10.302	14.663	42	24.584	30.065	22
19	BAKIR TELLER	3.680	3.666	0	32.263	28.999	-10
20	DEMİR ÇELİK SOBA.OCAKLAR	7.669	6.679	-13	30.532	27.299	-11
	<b>TOPLAM</b>	<b>1.820.541</b>	<b>1.838.827</b>	<b>1</b>	<b>1.915.442</b>	<b>1.885.776</b>	<b>-2</b>

# metal ihracatı-illere dağılım

	İL ADI	2012 MAYIS Miktar (ton)	2013 MAYIS Miktar (ton)	DEĞİŞİM %	2012 MAYIS Değer (bin \$)	2013 MAYIS Değer (bin \$)	DEĞİŞİM %
1	İSTANBUL	1.141.306	1.010.907	-11	1.091.409	969.068	-11
2	KOCAELI	45.725	48.009	5	115.895	119.866	3
3	HATAY	141.860	172.178	21	105.255	118.572	13
4	ANKARA	58.499	61.958	6	110.271	111.085	1
5	İZMİR	98.870	113.941	15	91.654	100.214	9
6	DENİZLİ	55.463	67.317	21	68.089	75.790	11
7	ŞIRNAK	77.425	104.008	34	53.116	63.591	20
8	BURSA	27.666	23.586	-15	48.969	48.845	0
9	KAYSERİ	17.196	20.080	17	35.098	40.739	16
10	GAZİANTEP	32.037	37.693	18	30.711	32.931	7
11	KARABÜK	27.347	40.897	50	19.610	29.285	49
12	ZONGULDAK	17.859	30.155	69	14.595	24.798	70
13	MARDİN	20.835	21.315	2	15.276	15.288	0
14	ADANA	5.346	8.814	65	8.825	12.601	43
15	SAKARYA	4.116	5.631	37	9.399	11.086	18
16	SAMSUN	2.608	9.526	265	5.176	10.468	102
17	HAKKARİ	6.903	8.276	20	6.269	10.192	63
18	KONYA	3.332	3.448	3	9.003	10.044	12
19	MANİSA	3.502	3.381	-3	8.531	9.352	10
20	TEKİRDAĞ	1.872	1.811	-3	9.492	7.787	-18
	<b>Toplam</b>	<b>1.820.541</b>	<b>1.838.827</b>	<b>1</b>	<b>1.915.442</b>	<b>1.885.776</b>	<b>-2</b>

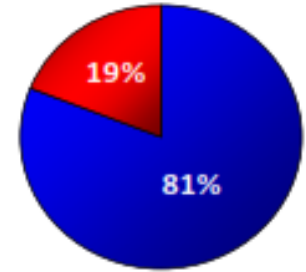
# Türkiye çelik sektörü



T.C. BAŞBAKANLIK  
DIŞ TİCARET MÜSTEŞARLIĞI

## Türkiye Çelik Sektörü

■ Uzun ■ Yassı

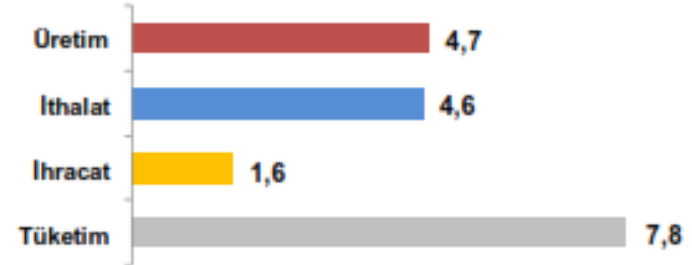
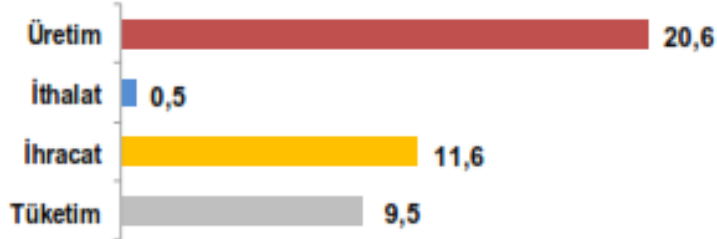


### Çelik Üretimi

25,3 Mt

Uzun Ürünler  
20,6 Mt

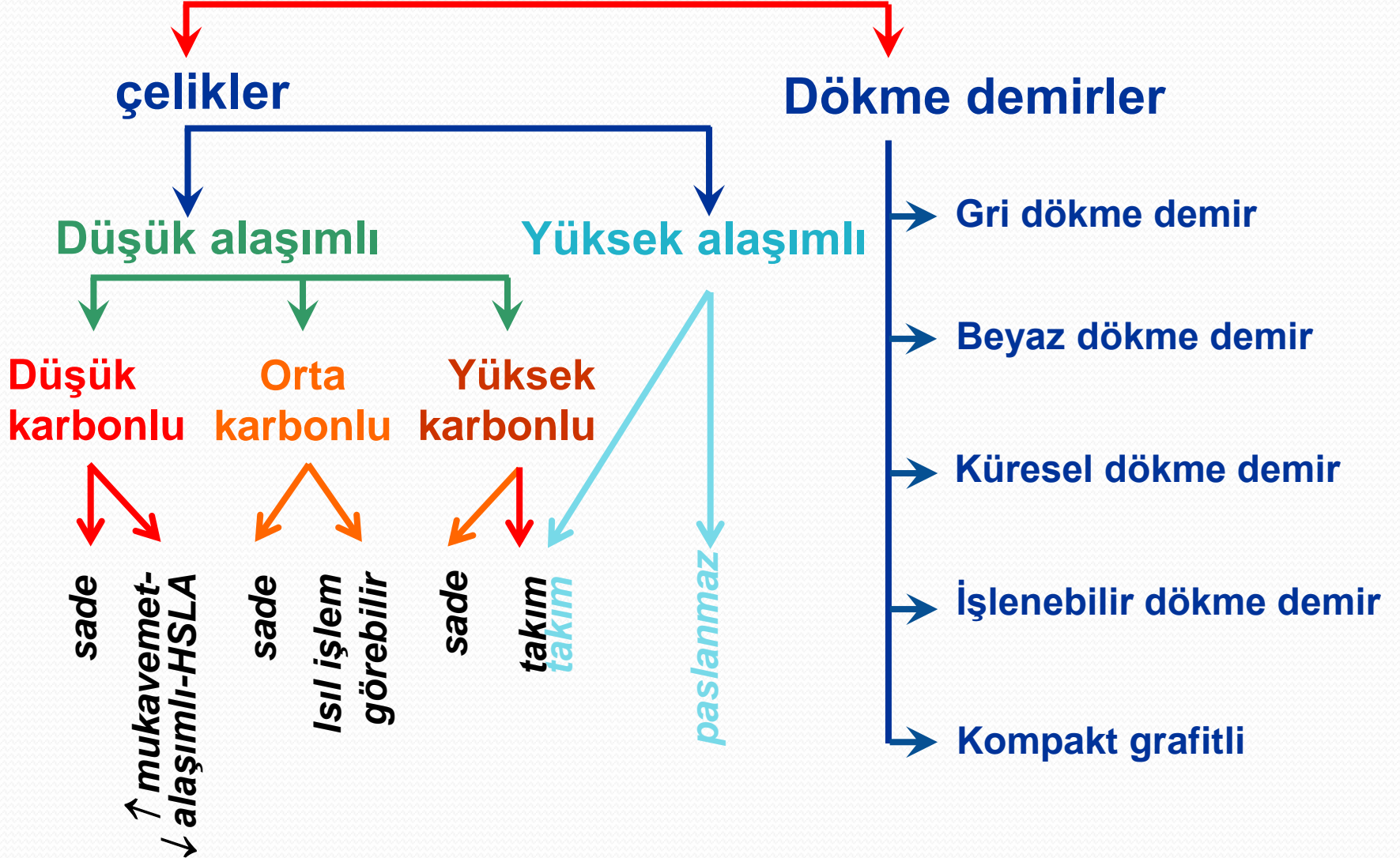
Yassı Ürünler  
4,7Mt



17,3 Mt

### Çelik Tüketimi

# Demir esaslı malzemeler





# elik & dökme demir

- Çelikler ve dökme demirler en yaygın ve en ucuz metalik malzemelerdir.
- Her ikisinde başlıca alaşım elementi karbondur.
- aralarındaki en önemli fark karbon miktarıdır.

**Çelikler** :  $C \leq 1.5$  (2) %

**dökme demirler** :  $2 \leq C \leq 4\%$

# Çelikler & dökme demirler

- **Çelikler** yüksek miktarlarda diğer alaşım elementleri de içerirler.
- **eliklere** soğuk ve/veya sıcak şekillendirme uygulanabilir.
- **Dökme demirler** gevrek tir ve soğuk veya sıcak şekillendirme uygulanamaz.
- **Dökme demirler** sadece döküm halinde kullanılırlar.

# Demir esaslı malzemeler

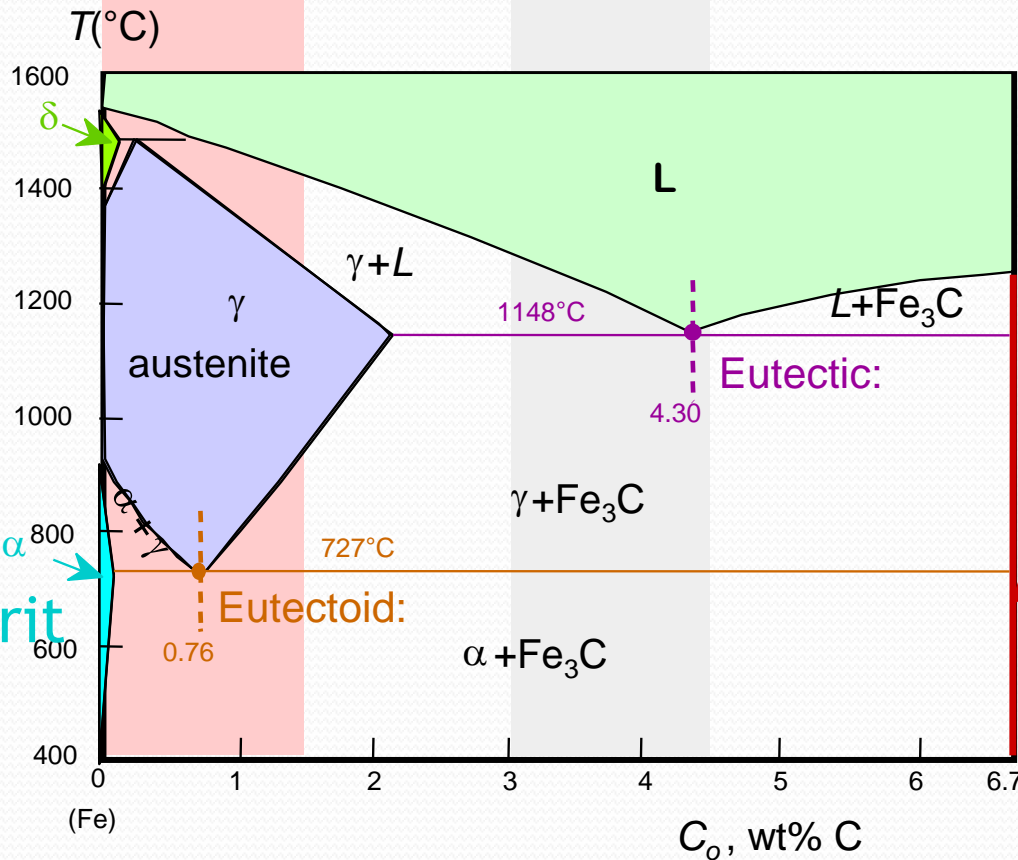
çelikler  
<1.4 wt% C

Dökme demirler  
3 - 4.5 wt% C

mikroyapı:

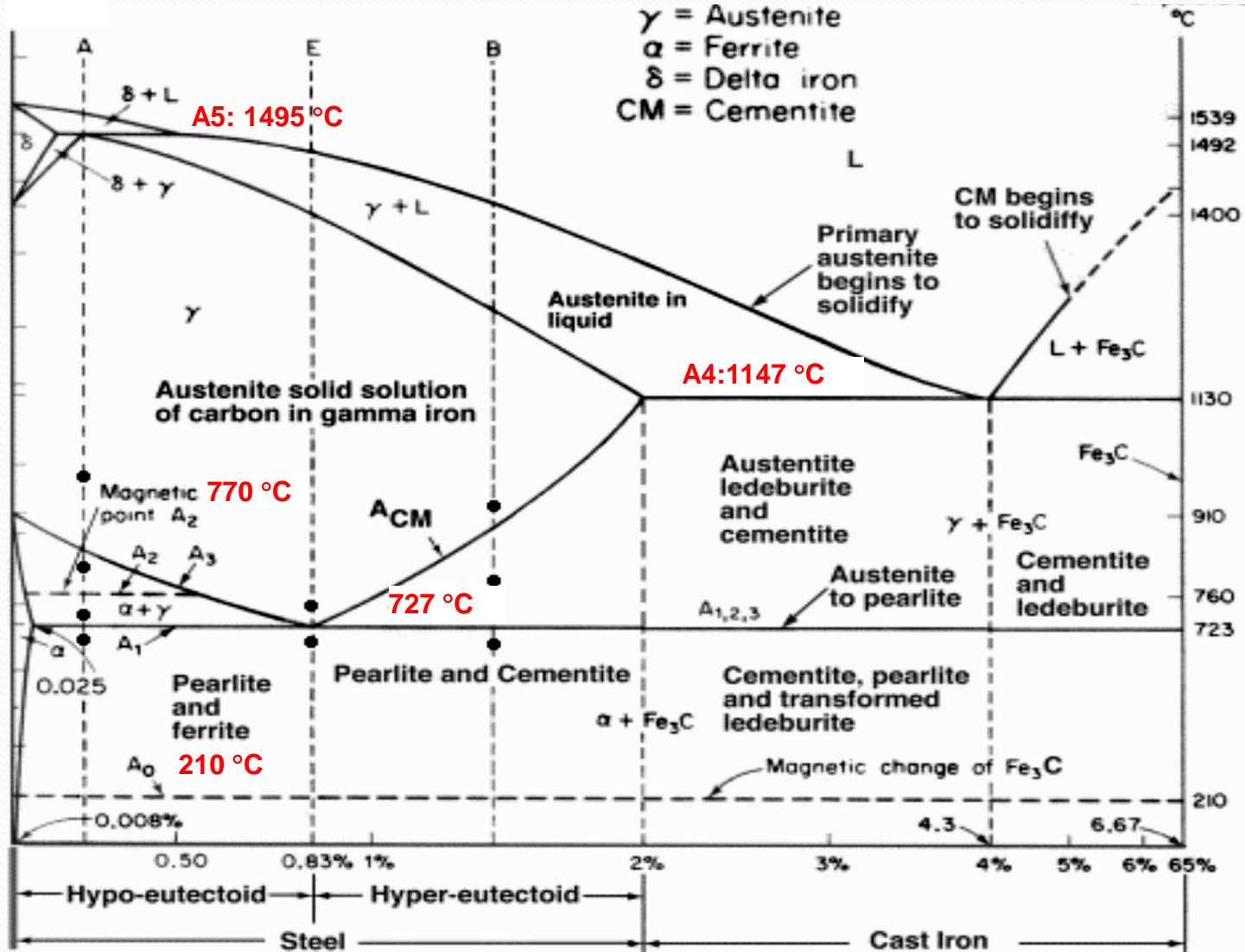
çelikler  
ferrit  
ostenit  
perlit  
martensit  
sementit

Dökme demir  
ferrit  
grafit  
sementit



$\text{Fe}_3\text{C}$   
sementit

# Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramı



## Kritik sıcaklıklar

$A_0$  = sementitin  
 Curie sıcaklığı =  
 210°C

$A_1$  = ötektoid  
 sıcaklık = 727°C  
 alt kritik sıcaklık

$A_2$  = ferritin Curie  
 sıcaklığı =  
 768/770°C

$A_3$  = üst kritik  
 sıcaklık =  $\gamma + \alpha$  /  $\gamma$  faz  
 sınırı  
 bileşime bağlı = 910-  
 727°C

$A_4$  = ötektik sıcaklık  
 = 1147°C

$A_5$  = Peritektik  
 sıcaklık = 1495°C

# Demirin allotropik dönüşümleri

25 °C → 912 °C:

ferrit;  $\alpha$ -Fe : BCC

**912 °C'de:**

ferrit;  $\alpha$ -Fe → ostenit;  $\gamma$ -Fe

912 °C → 1394 °C:

ostenit;  $\gamma$ -Fe : FCC

**1394 °C'de:**

ostenit;  $\gamma$ -Fe →  $\delta$ -Fe; BCC

1394 °C → 1538 °C:

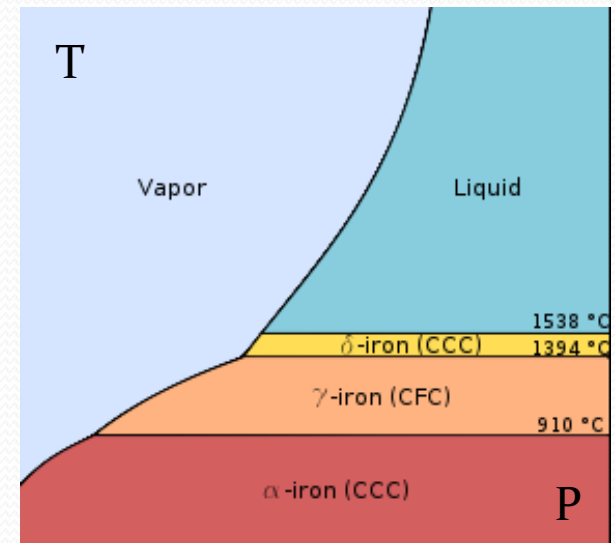
$\delta$ -Fe; BCC

**1538 °C'de:**

$\delta$ -Fe ergir!

$\delta$ -Fe esasen  $\alpha$ -Fe ile aynidir.

Teknolojik yönden önemi yoktur.





# Fe-C faz diyagramında reaksiyonlar

## Peritektik reaksiyon

**1495 °C**



## Ötektik reaksiyon

**1147 °C**



Ötektik sıcaklıkta oluşan ostenit-sementit faz karışımına **LEDEBURİT** denir.

# Fe-C faz diyagramında reaksiyonlar

Ötektoid reaksiyon

727 °C

$\text{katı}_1 \leftrightarrow \text{katı}_2 + \text{katı}_3$

$\gamma$  (0.77 wt% C)  $\leftrightarrow$   $\alpha$  (0.0218 wt% C) + Fe<sub>3</sub>C (6.67 wt% C)

$\gamma$  (100 wt%)  $\rightarrow$   $\alpha$  (89 wt% ) + Fe<sub>3</sub>C (11 wt%)

# Fe-C faz diyagramı

- Ticari saflıktaki demir ağı %0.008'den daha az C içerir ve oda sıcaklığında tamamen ferritten oluşur.
- ostenit fazı 727 °C'nin altında kararlı değildir.
- ostenitte karbonun en yüksek çözünürlüğü ağı %2.14 kadardır ve bu 1147 °C'de gerçekleşir.
- Bu çözünürlük sınırı ferritte olduğundan 100 kat daha fazladır.
- Ostenitte yüksek karbon çözünürlüğü YMK kristal yapısında olmasından ötürüdür. YMK kafesindeki arayer pozisyonları ferritin HMK kafesindekilerden çok daha geniştir.

# Fe-C faz diyagramı

- Ostenitin faz dönüşümleri çeliklerin ısıtılma işlemlerinde çok önemli bir yer tutar.
- Ostenit manyetik değil iken, ferrit manyetiktir.

# Çelikler

- Ağırlıkça % 0.008 ile 2.14 aralığında karbon içeren Fe-C alaşımlarına elik denir.
- Faz diyagramı itibarı ile % 2.14 kadar karbon ierebilecekleri halde, çeliklerde karbon miktarı nadiren ağ% 1'den daha fazladır.
- Çelikler, zellikler kazandırmak için diğer alaşım elementlerinin de ilave edildiği Fe-C alaşımlarıdır.
- Mukavemet kazandırmak için + karbon.
- Karbon sayesinde değişik ısıl işlemlerle çeliklere önemli seviyelerde mukavemet kazandırmak mümkündür.



# Çelikler

- Diğer başlıca alaşım elementleri:
- %2'ye kadar Mn
- %1'e kadar Si
- Cr, Ni, Mo ve değişik oranlarda diğer elementler
- Bir çok elik alaşımında mikroyapıda ferrit + sementit bulunur.

# Çeliklerin sınıflandırılması

- Çelik alaşımlarının sayısı  $>1000!$
- Keskin bir sınıflandırma imkansız!
- fakat, Çelikler genel olarak aşağıdaki gibi gruplanabilir:

Karbon çelikleri

alaşımli çelikler (düşük alaşımli)

paslanmaz çelikler

Takım çelikleri

özel çelikler

(yüksek alaşımli)

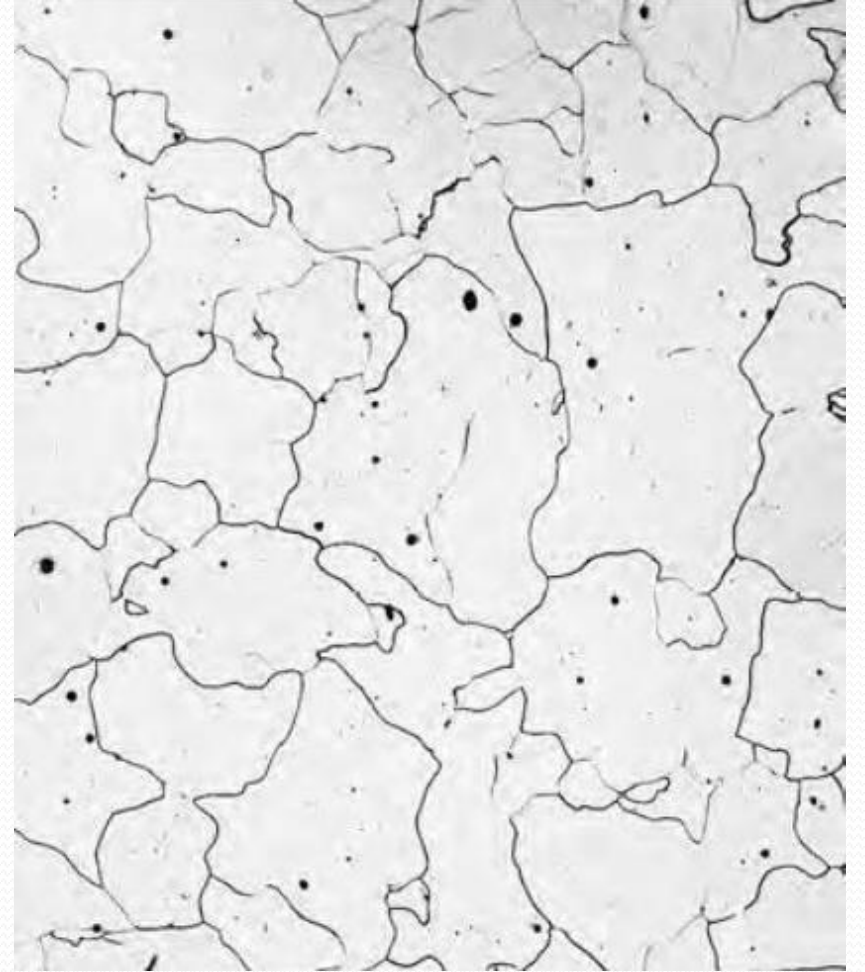
# Çeliklerin mikroyapısı

Çeliklerde 5 temel faz/yapı bulunur:

- ferrit
- ostenit
- sementit
- perlit
- martensit

# Ferrit / $\alpha$ -Fe

- Yüksek saflıkta demir
- HMK demirde karbonun arayerlerde çözünmesiyle oluşan katı eriyik fazı
- Oda sıcaklığında ferritte çok az karbon (ağ % 0.008 C) çözüdür
- C'un ferritte en yüksek çözünürlüğü ötektik sıcaklıkta (727 °C) ağ % 0.022 kadardır.



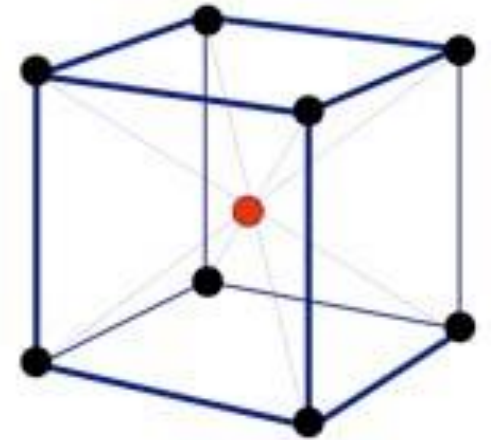
# Ferrit / $\alpha$ -Fe

- C atomlarını HMK kafes yapısında arayerlere sığdırmak güçtür.
- C ferritin mekanik özelliklerinde çok etkilidir.
- Ferritik çelikler yumuşak ve sünektir.
- 768 °C altındaki sıcaklıklarda manyetik özellik gösterir
- Yoğunluk: 7.88 g/cm<sup>3</sup>.
- 912 °C'de YMK kafes yapıli ostenite dönüşür.



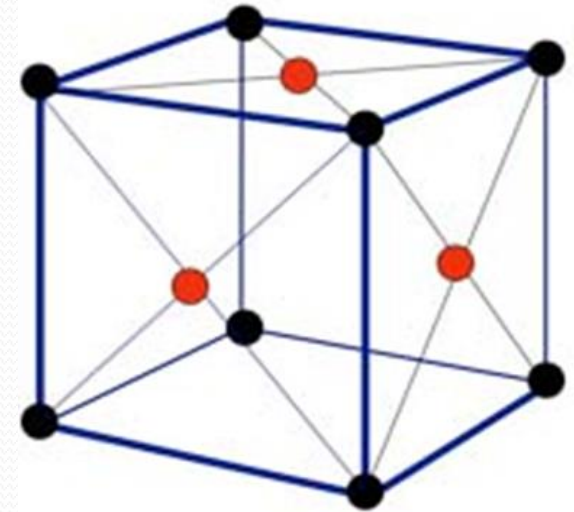
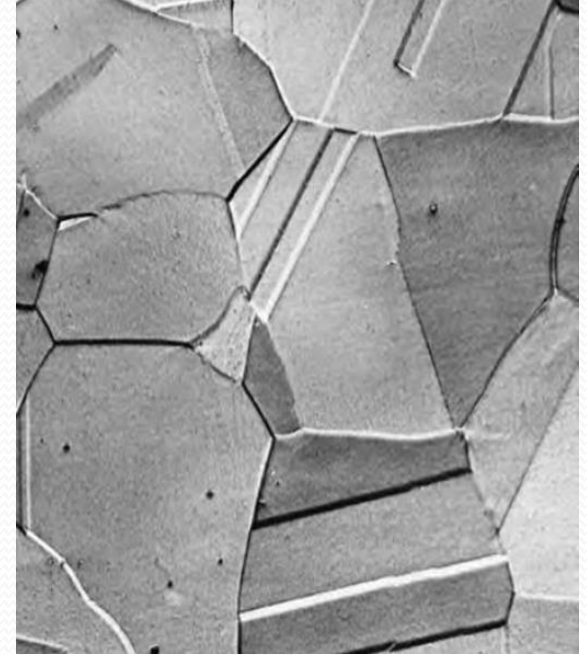
# Ferrit / $\delta$ -Fe

- karbonun hacim merkezli kübik kafes yapılı demir içinde çözünmesi ile oluşan ara yer katı eriyiği
- $\alpha$ -Fe ile aynı kristal yapıda
- Kafes sabiti  $2.89\text{\AA}$
- $1495\text{ }^\circ\text{C}$ 'de çözünürlüğü ağı % 0.09
- Yüksek sıcaklıklarda kararlı;  $T > 1394\text{ }^\circ\text{C}$
- $1539\text{ }^\circ\text{C}$ 'de eriyor.
- Duplex çeliklerde oda sıcaklığında rastlanabilir.

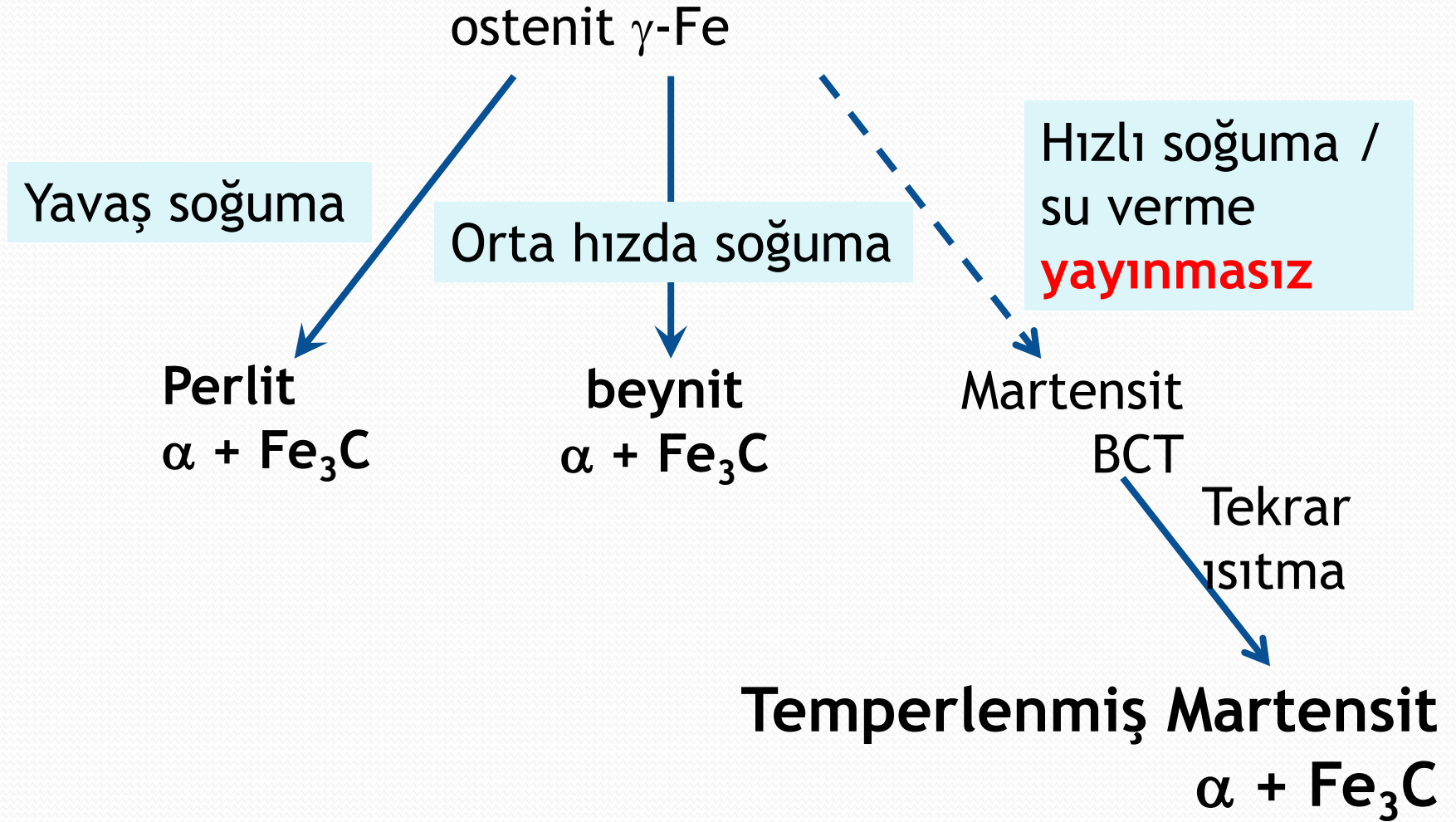


# ostenit / $\gamma$ -Fe

- YMK kristal yapısında
- Demir-karbonun ara yer katı eriyiği
- Karbonun max çözünlüğü 1147 °C'de at %2.14 wt.
- 1395 °C'de HMK yapılı  $\delta$ -ferrite dönüşüyor.
- Ötektik sıcaklığın (727 °C) altında kararlı değil - hızlı soğutulmadığı takdirde!
- Malzeme yüksek sıcaklıklardan soğutulduğunda dönüşüyor!



# ostenitin dönüşümü



# Sementit-Fe<sub>3</sub>C

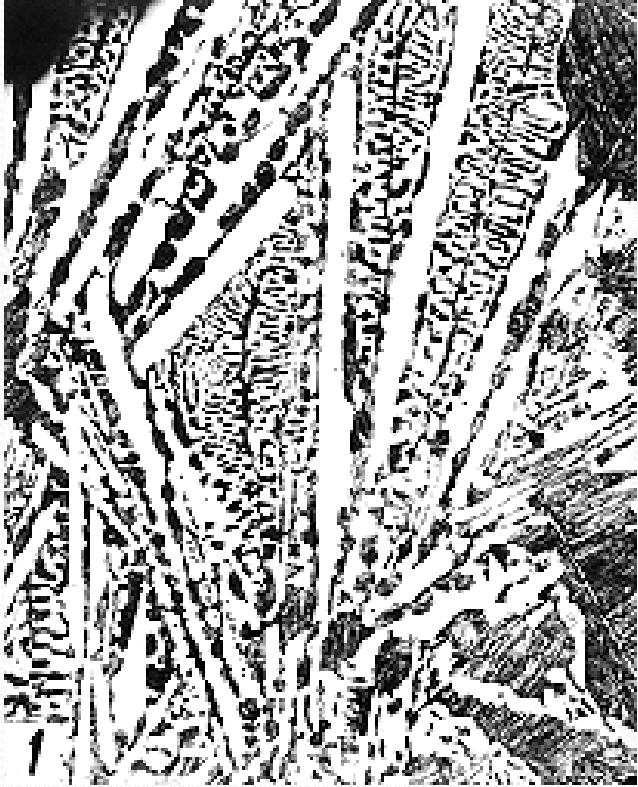
- Ağ %6.67 C ile Fe arasında var olan ara yer bileşiği
- Birim hücrede 12 Demir ve 4 Karbon atomundan oluşan ortorombik yapı
- ötektoid sıcaklığın (727 °C) altında ferrit içinde karbon çözünürlüğü aşıldığında oluşur ( $\alpha$ +Fe<sub>3</sub>C faz bölgesi içinde kalan bileşimler için!).
- Fe<sub>3</sub>C 727 °C ile 1427 °C arasında  $\gamma$ -ostenit fazı ile birlikte bulunur.

# Sementit-Fe<sub>3</sub>C

- Çok sert ve kırılgan!
- Mukavemeti arttırır fakat
- Sünekliği ve tokluğu düşürür.
- Yarı kararlı; oda sıcaklığında sonsuza kadar bileşik olarak kalır.
- Fakat 650-700 °C'de birkaç sene içinde çok yavaş şekilde  $\alpha$ -Fe and karbona (grafit) dönüşür.

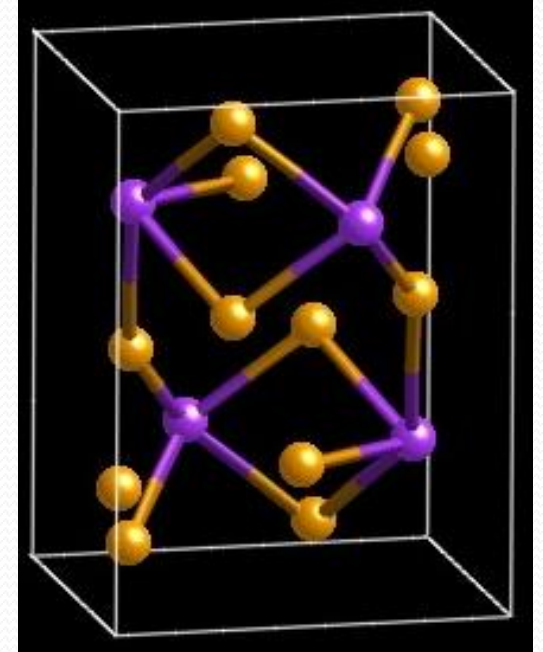
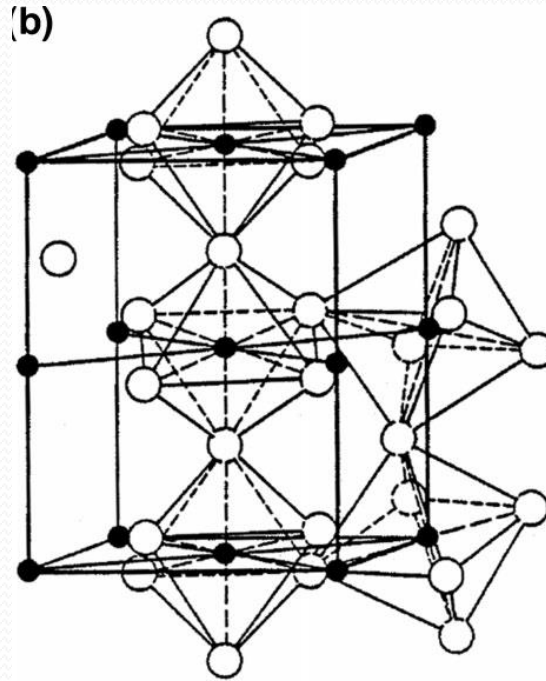


# Sementit-Fe<sub>3</sub>C



Sementitin  
Ortorombik kristal yapısı

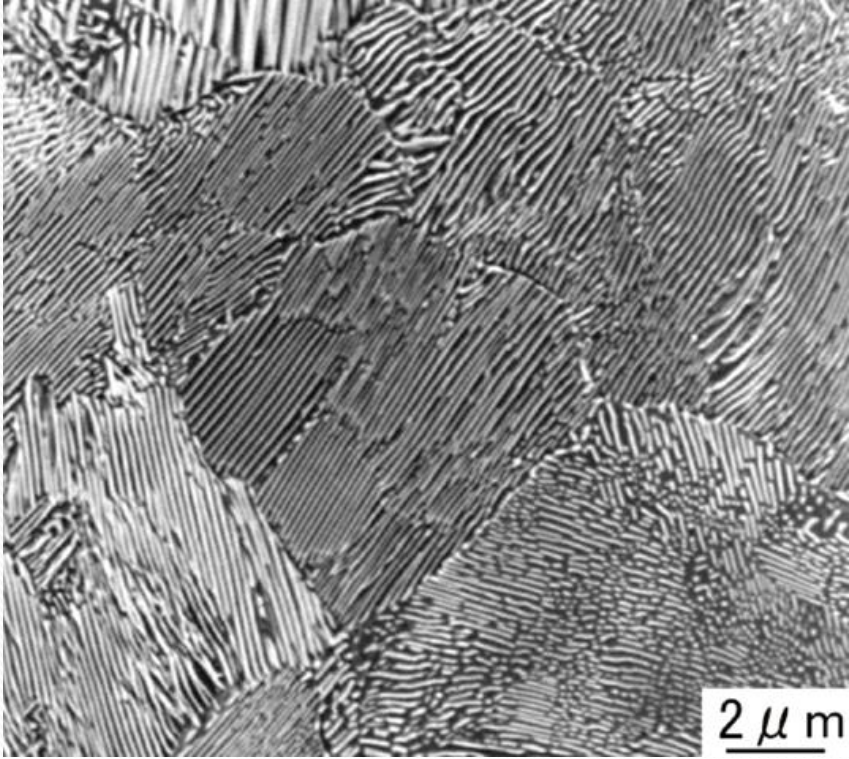
Sementit-ostenit ötektik karışımını gösteren bir beyaz dökme demir örneği



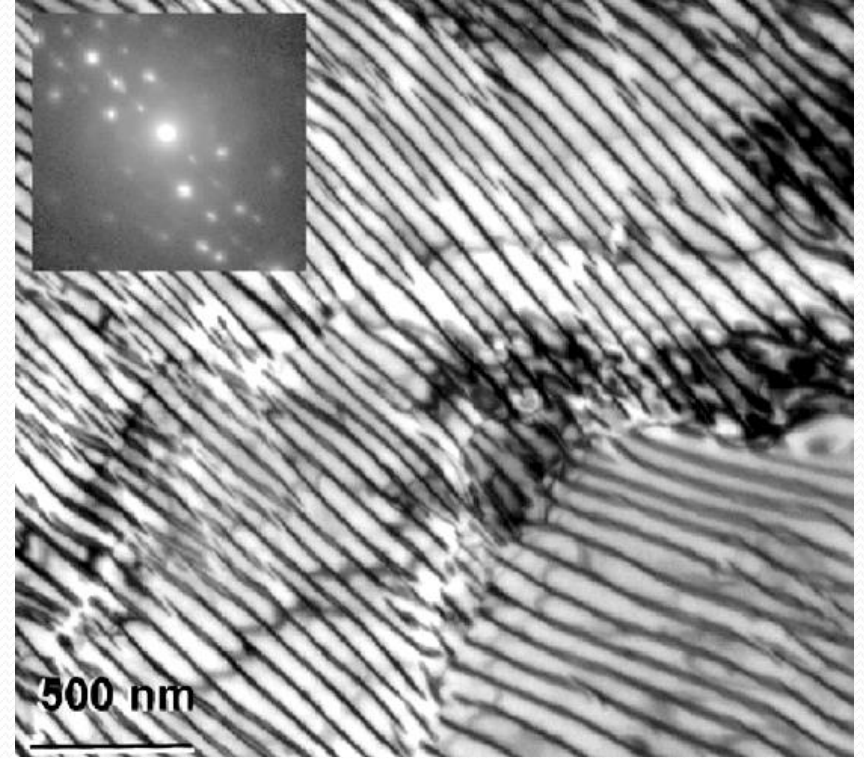
# perlit

- Sıralı ferrit ve sementit tabakalarından oluşan lamine bir yapı.
- Yavaş soğuma sırasında ostenit ötektoid sıcaklığın ( $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) altına soğuduğunda ötektoid reaksiyonla oluşur.
- Perlit sementitin yüksek sertliği ile ferritin sünekliğini bir araya getirir. Bu sayede çelikler çok geniş bir yelpazede mekanik özellikler sunabilmektedir.
- Laminar yapı tıpkı kompozit malzemelerde olduğu gibi çatlak ilerlemesine engel oluşturur. Bu sayede perlit çeliğe tokluk kazandırmış olur.

# Perlit mikroyapısı



Perlit kolonilerinin optik mikroskop görüntüsü



sıralı ferrit ve sementit tabakalarından oluşan perlitin 2-boyutlu elektron mikroskop görüntüsü

# beynit

- eliklerde alaşım miktarına bağlı olarak 250-550 °C aralığında oluşan iğnemsisi bir yapıdır.
- Beynit oluřma sıcaklık aralıėı perlit oluřum aralıėından daha dūřuk, martensit aralıėından daha yūksektir.
- Sade karbon çeliklerinde sıcaklık 727 °C altına dūřtūėunde ostenitin dōnūřtūėu yapılardan biridir.
- Sūrekli soėutmada oluřtuėunda beynitin oluřması için gerekli soėutma hızı perlit için gerekli olandan daha yūksektir, martensit için gerekli soėutma hızından daha dūřuktur.

# beynit

- Mikroyapı yönünden temperlenmiş martensite benzer.
- Sıralı sementit ve dislokasyon yoğunluğu yüksek ferrit tabakalarından oluşan ince lameller yapı.
- Ferritteki dislokasyon yoğunluğu beynitteki ferriti normal ferritten daha sert yapar.
- Birçok alaşım elementi beynitin kritik oluşum sıcaklığını düşürür. Bu anlamda en etkili element karbondur.



# beynit

- Işık mikroskopunda beynit, zayıf yansıtma kapasitesinden ötürü martensitten daha koyu görünür.
- Sertlik yönünden beynit, perlit ve martensit arasında bir yerdedir.

# Perlit vs beynit mikroyapıları

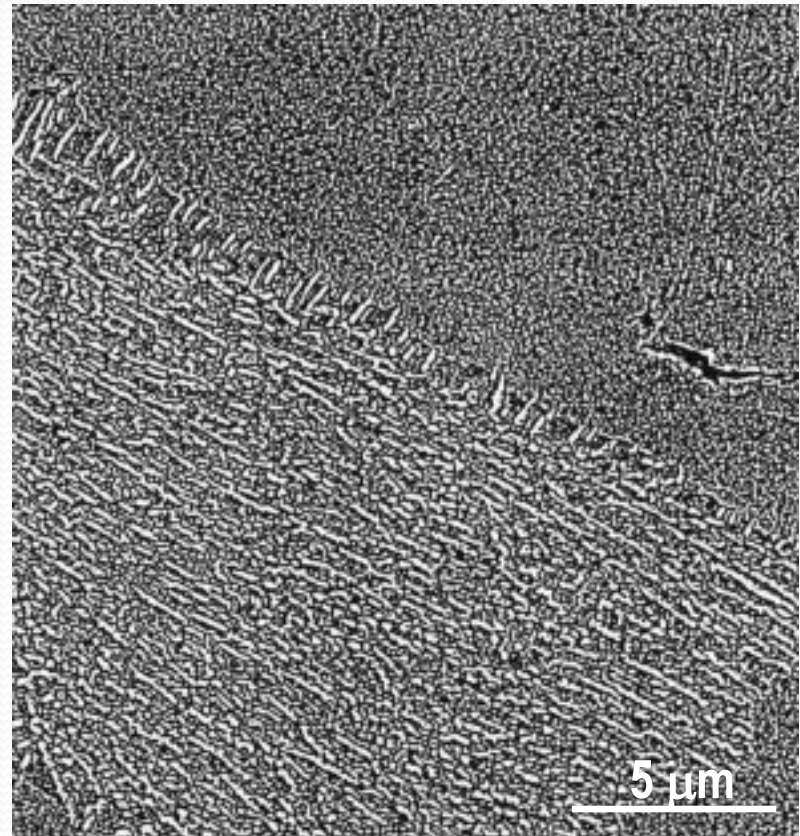
- Gerek perlit gerek beynit ferrit ve sementit tabakalarından oluşur.
- Perlit ostenit tane sınırlarında önce sementit sonra ferritin çekirdeklenmesi ile oluşur.
- Beynit de ostenit tane sınırlarında oluşur. Ancak bu kez önce ferrit sonra sementit çekirdeklenir.
- Ostenitin Beynite dönüşümü, Perlite dönüşmesine göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir.
- Bu nedenle beynitte lameller yapı daha incedir.

# Perlit vs beynit mikroyapıları

perlit



beynit



# martensit

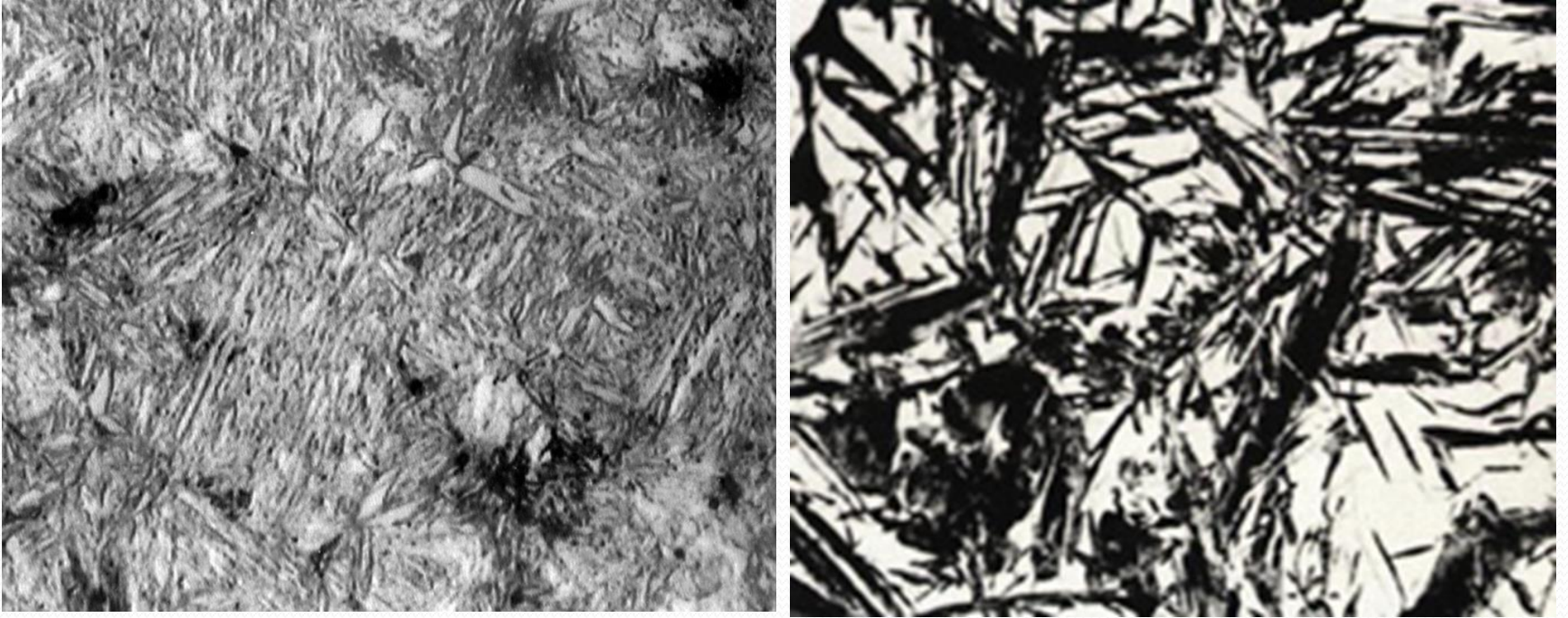
- Demir ve karbondan oluşan iğnemsî morfolojide bir yapı.
- Ostenitten sadece yüksek hızlarda soğutma ile oluşur.
- Ostenit hızla soğutulduğunda C atomları  $Fe_3C$  düzeninde yerleşmek üzere yayınma için yeterli zaman bulamazlar.
- YMK kafes yapılı ostenit bu şartlarda karbonca aşırı doymuş ve gerinime uğramış HMK kafes yapılı bir ferrite dönüşür. Oluşan kayma deformasyonu çok sayıda dislokasyonun oluşmasına yol açar. Bu çeliklerde en önemli sertleşme mekanizmasıdır.

# martensit

- Makul özellikler için kullanılmadan önce temperlenmesi gerekir.
- Perlitik bir çelikte ulaşılabilen en yüksek sertlik 400 Brinell iken martensitik bir çelikte bu değer 700 Brinell'dir.
- Martensitik dönüşüm martensit başlama sıcaklığında ( $M_s$ ) başlar ve martensit bitiş sıcaklığında ( $M_f$ ) sona erinceye kadar sürekli artarak devam eder.
- Martensit mükemmel mukavemet değerleri ( $>3500$  MPa) ve tokluk özelliklerini bir arada sunduğu için çelik teknolojisinin en önemli yapısal unsurudur.



# Martensit mikroyapısı

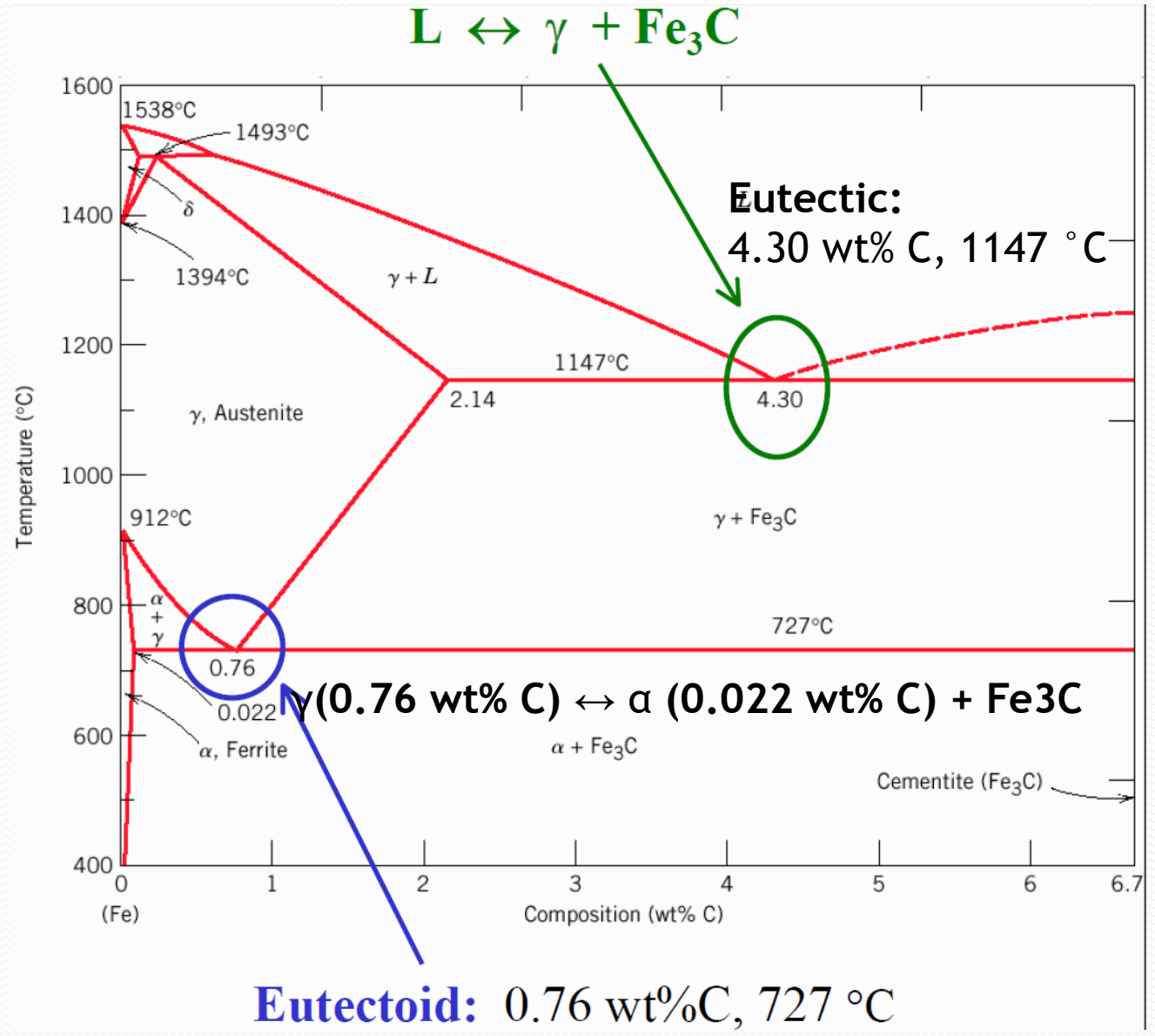


0.35%C çeliği; 870 °C'den suda soğutulmuş!

martensitin iğnemsisi yapısı; aradaki beyaz bölgeler kalıntı ostenit!

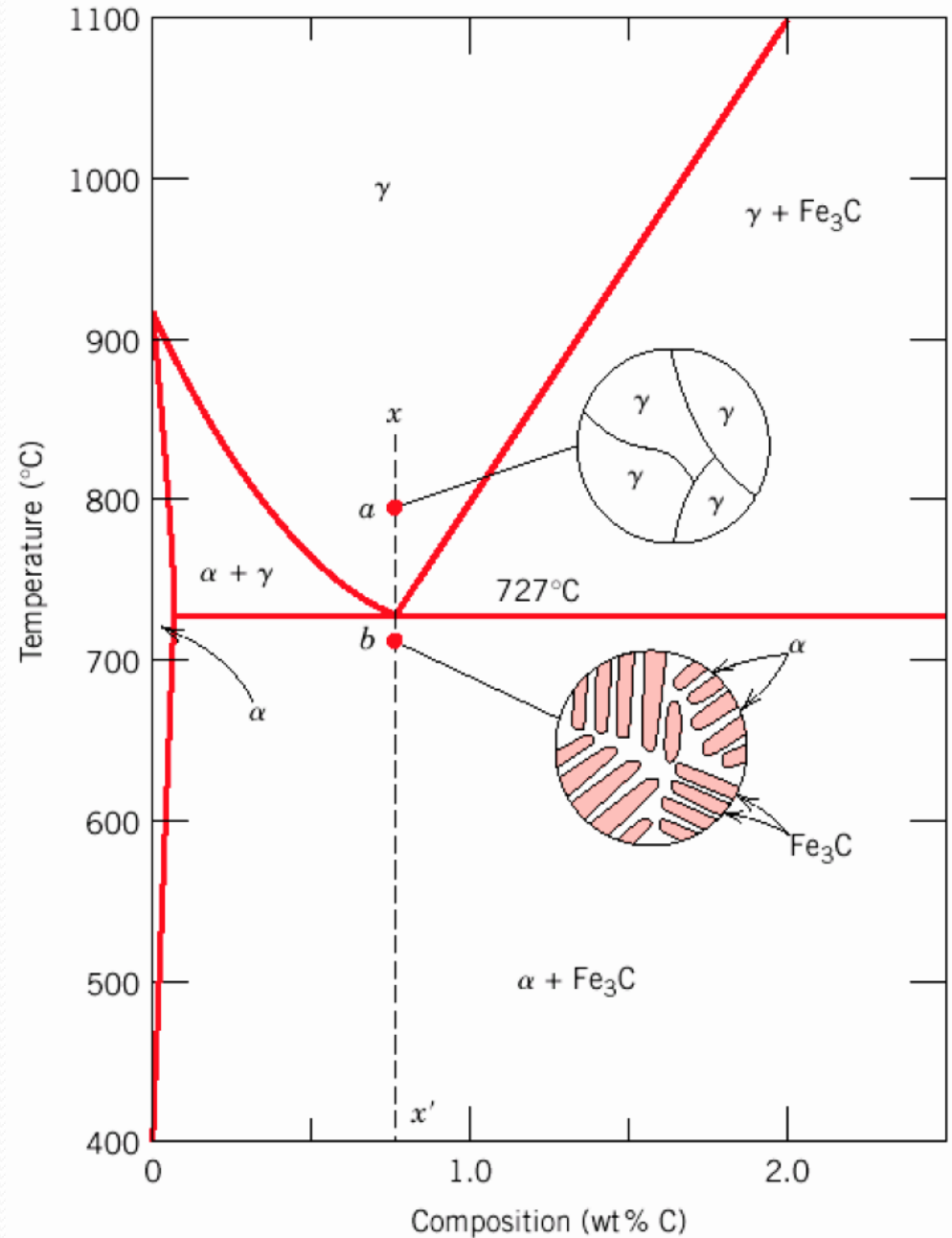
# Fe-Fe<sub>3</sub>C sisteminde ötektik ve ötektoid reaksiyonlar

Ötektik ve ötektoid dönüşümler çeliklerin ısıtıl işlemin uygulamalarında önemli rol oynar.



**Eutectoid:** 0.76 wt%C, 727 °C

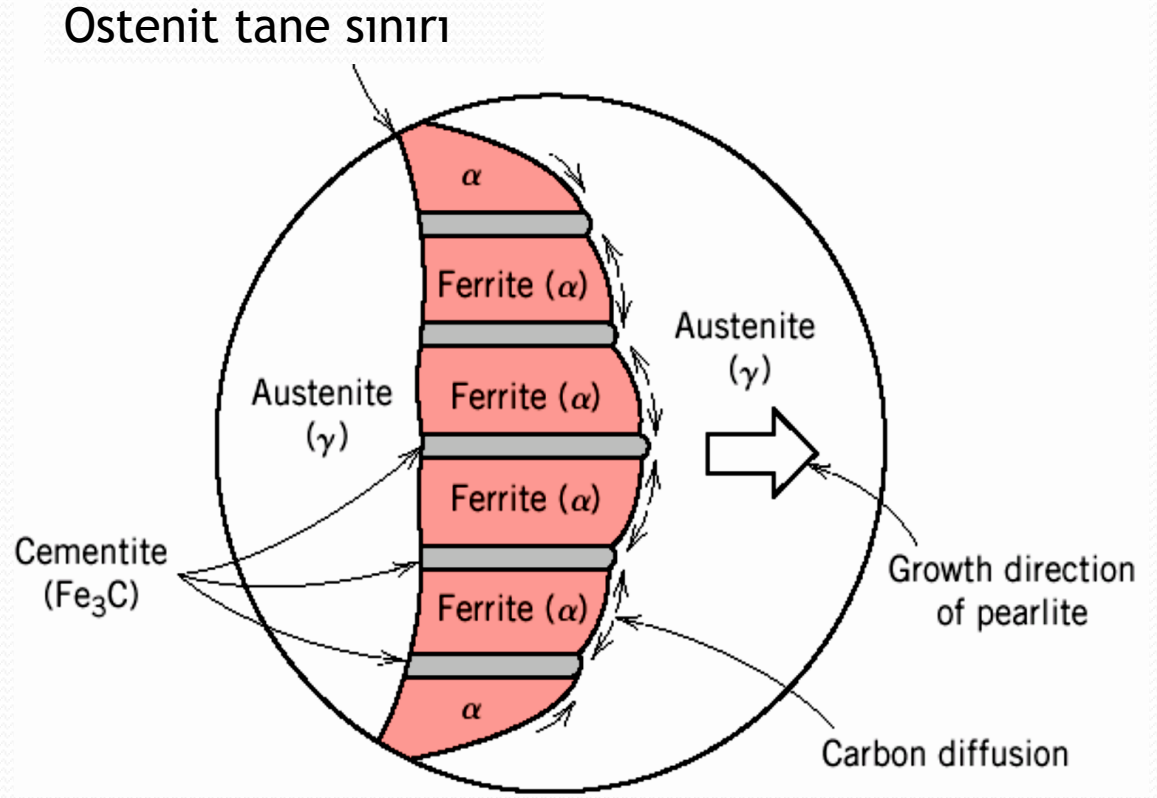
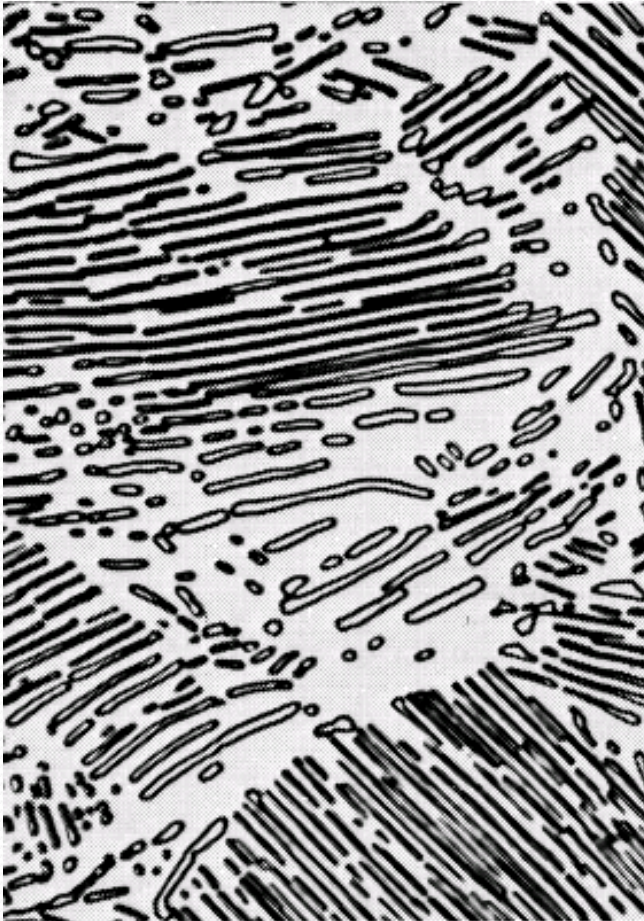
# Ötektoid çelik





# Ötektoid çelik

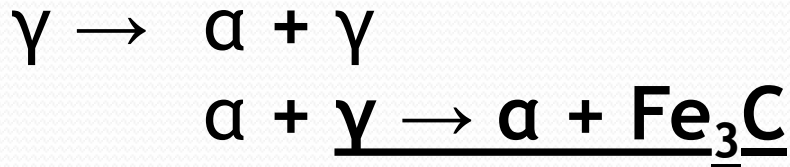
Ötektoid bileşimdeki (ağ %0.76 C) çelik yavaş soğutulduğunda:  
 $\alpha$ -ferrit (ağ %0.022 C) + sementit (ağ %6.7 C)



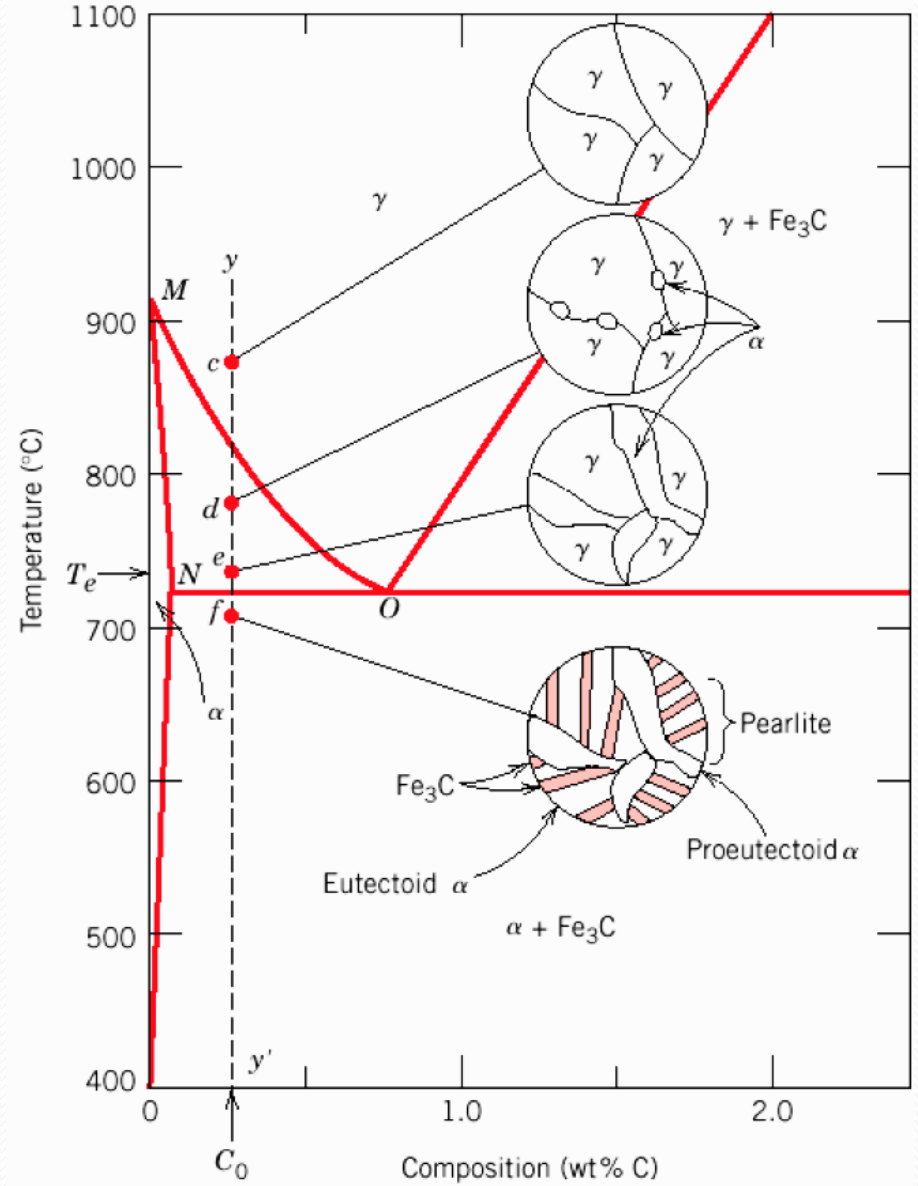
Koyu bölgeler sementit açık bölgeler ferrit tabakası

# Ötektoid-altı çelikler

Ötektoid noktanın solundaki bileşimler ötektoid-altı çelikler: (ağ 0.022 - 0.76 % C)



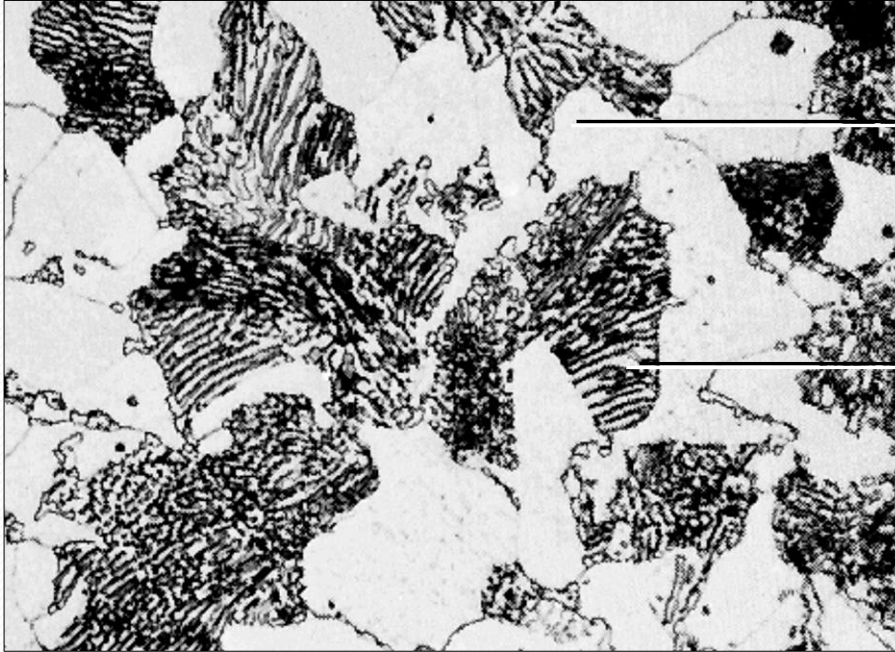
ağ 0.30 % C çelik: perlit  
+ pro-ötektoid ferrit





# Ötektoid altı çelik

Ötektoid altı çelikler ötektik noktanın üstünde oluşan ferrit ile ötektoid dönüşüm sırasında sementit ile birlikte oluşan ötektoid ferrit içerirler.

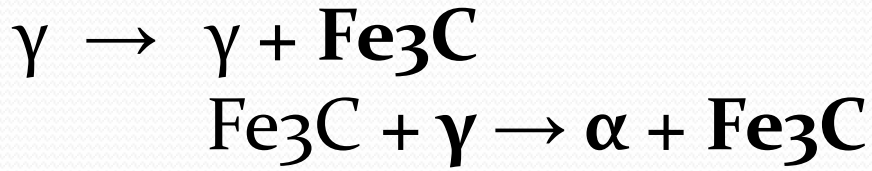


→ Ötektoid ferrit

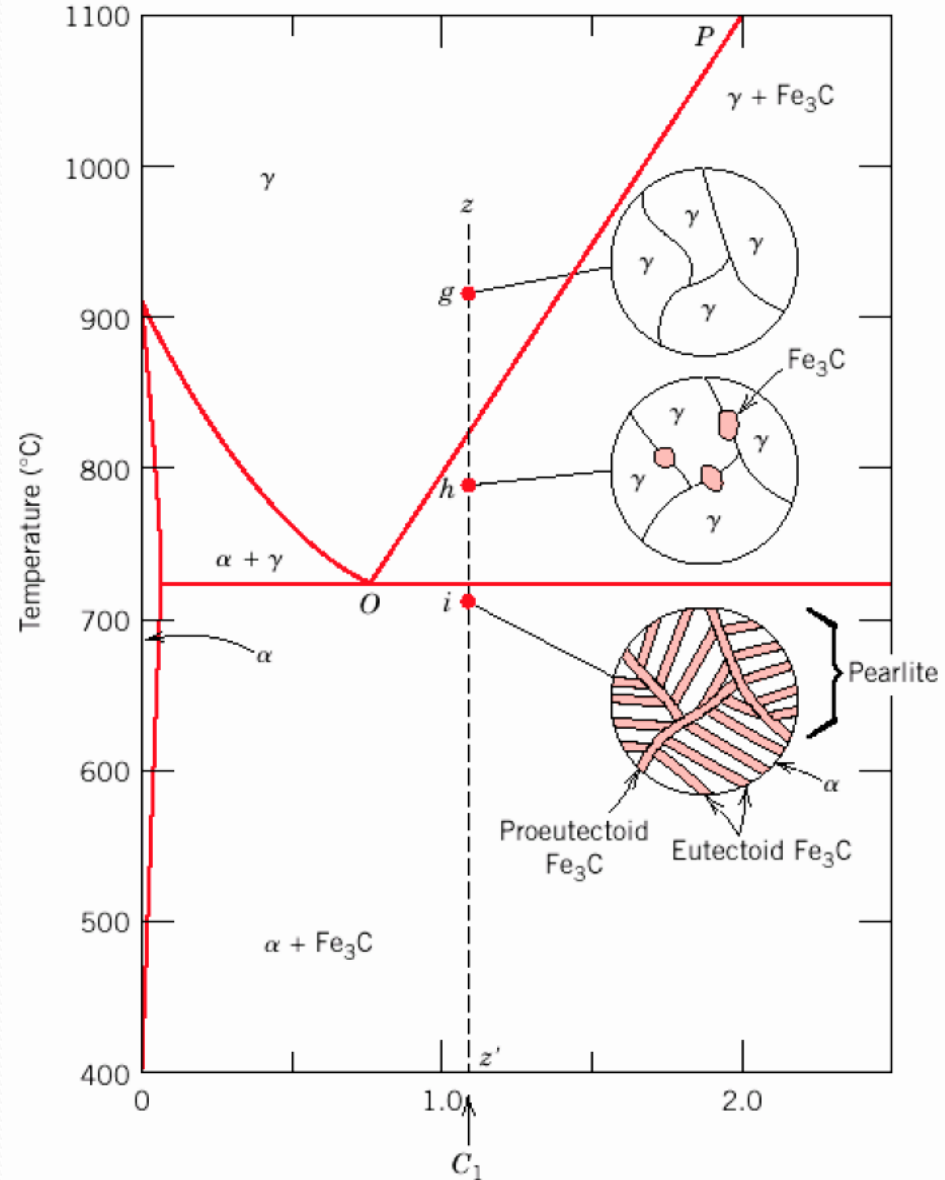
→ Ötektoid altı ferrit

# Ötektoid üstü çelikler

Ötektoid noktanın sağındaki bileşimler ötektoid-üstü çelikler: (ağ 0.76-2.14 % C)

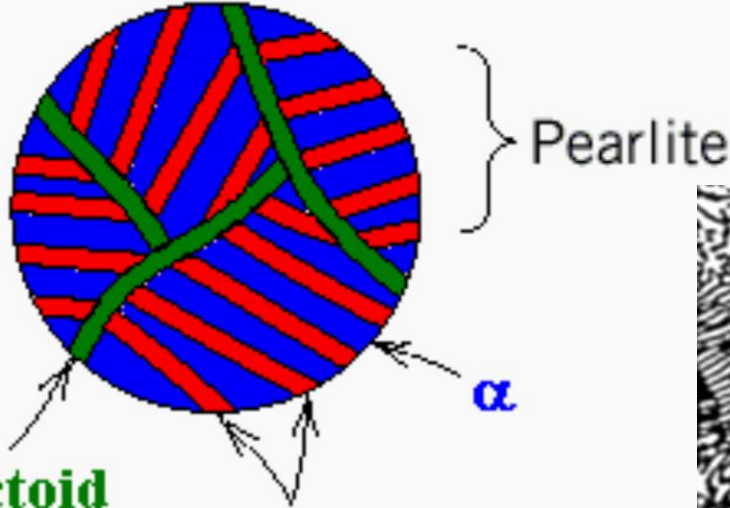


ağ %1.2 C çeliği: perlit kolonilerini çevreleyen beyaz ötektoid-öncesi sementit



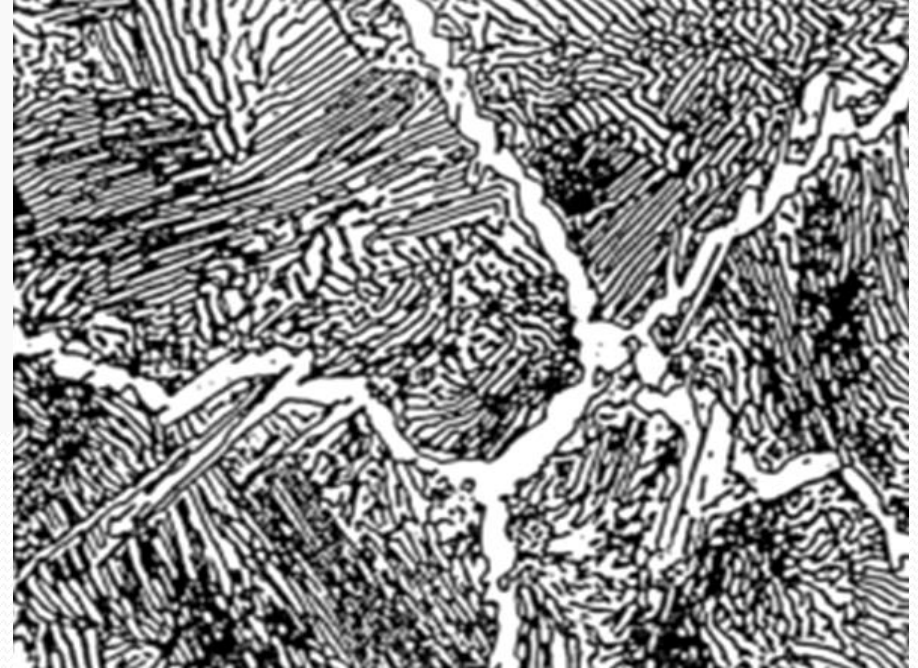
# Ötektoid üstü çelikler

Ötektoid üstü çelikler ötektik noktanın üstünde oluşan sementit ile ötektoid dönüşüm sırasında ferrit ve sementit tabakalarından oluşan perlit kümeleri içerirler.

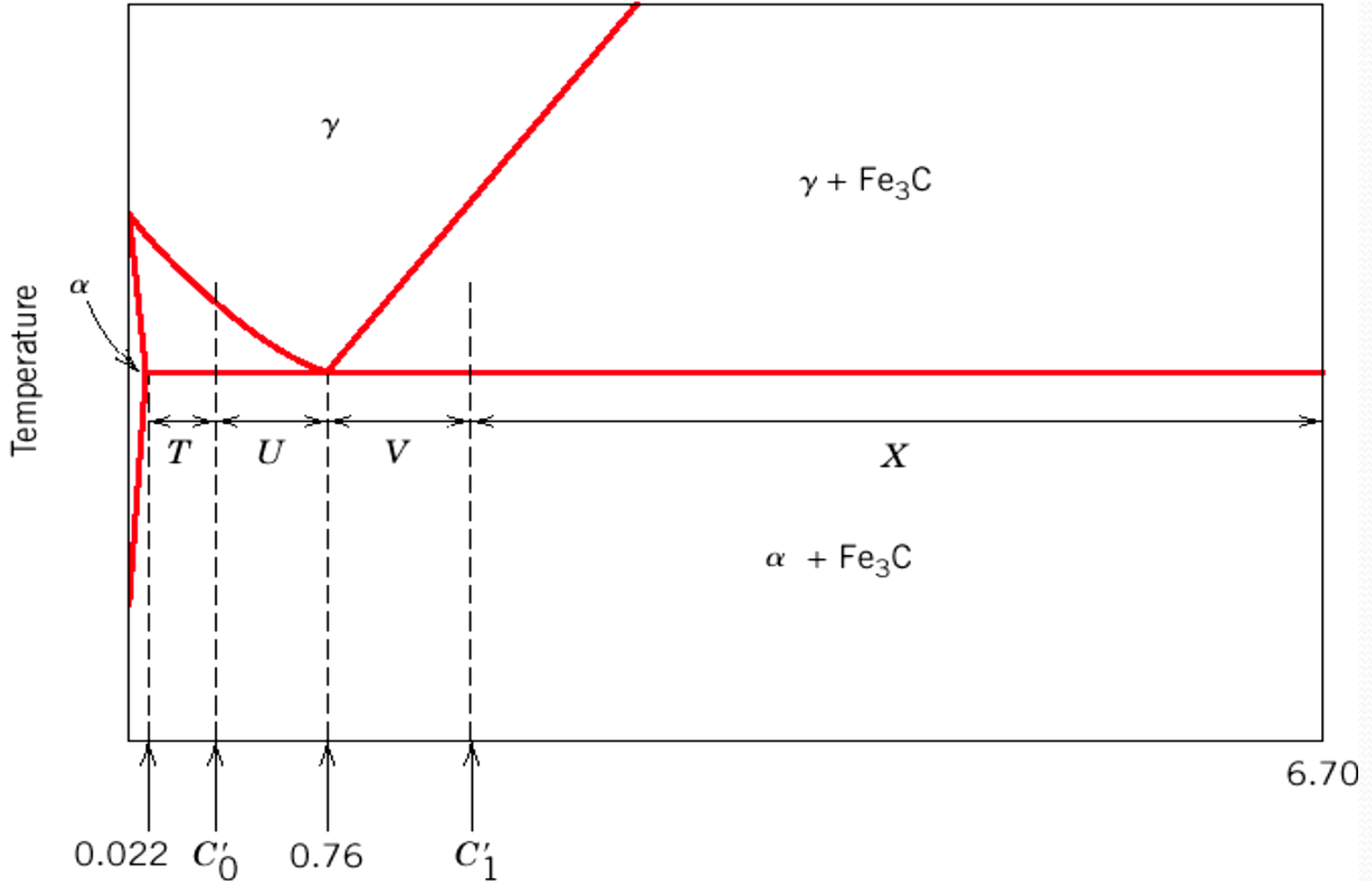


Proeutectoid  
 $Fe_3C$

Eutectoid  $Fe_3C$



# Ötektoid öncesi faz (ferrit veya sementit) ve perlit miktarının hesaplanması





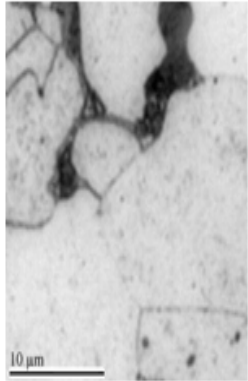


# metalik malzemeler

## 2.10.2014



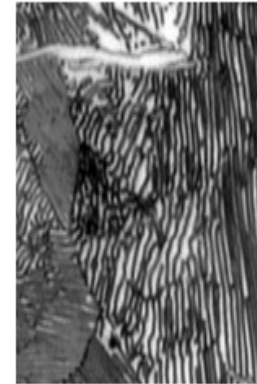
# Sementit metalografisi



Ferrite and blackish Pearlite grains  
at 0.1 % C



Ferrite and more blackish Pearlite grains  
at 0.4% C



Pearlite and (white) cementite  
at 1.3% C.

Interestingly, cementite seems to be black for hypoeutectic steel and white for hypereutectic steel. Six sources ignore the obvious problem with pictures like these. The resolution of the apparent paradox (probably) is as follows: Both, ferrite and cementite are "white". The black part comes from the *boundaries* between ferrite and cementite (a simple optical effect at high magnifications).

# Çeliklerin ısııl işleme

Çeliklerin özelliklerini değiştirmek için uygulanan ısııl işlemler 2 grupta toplanır:

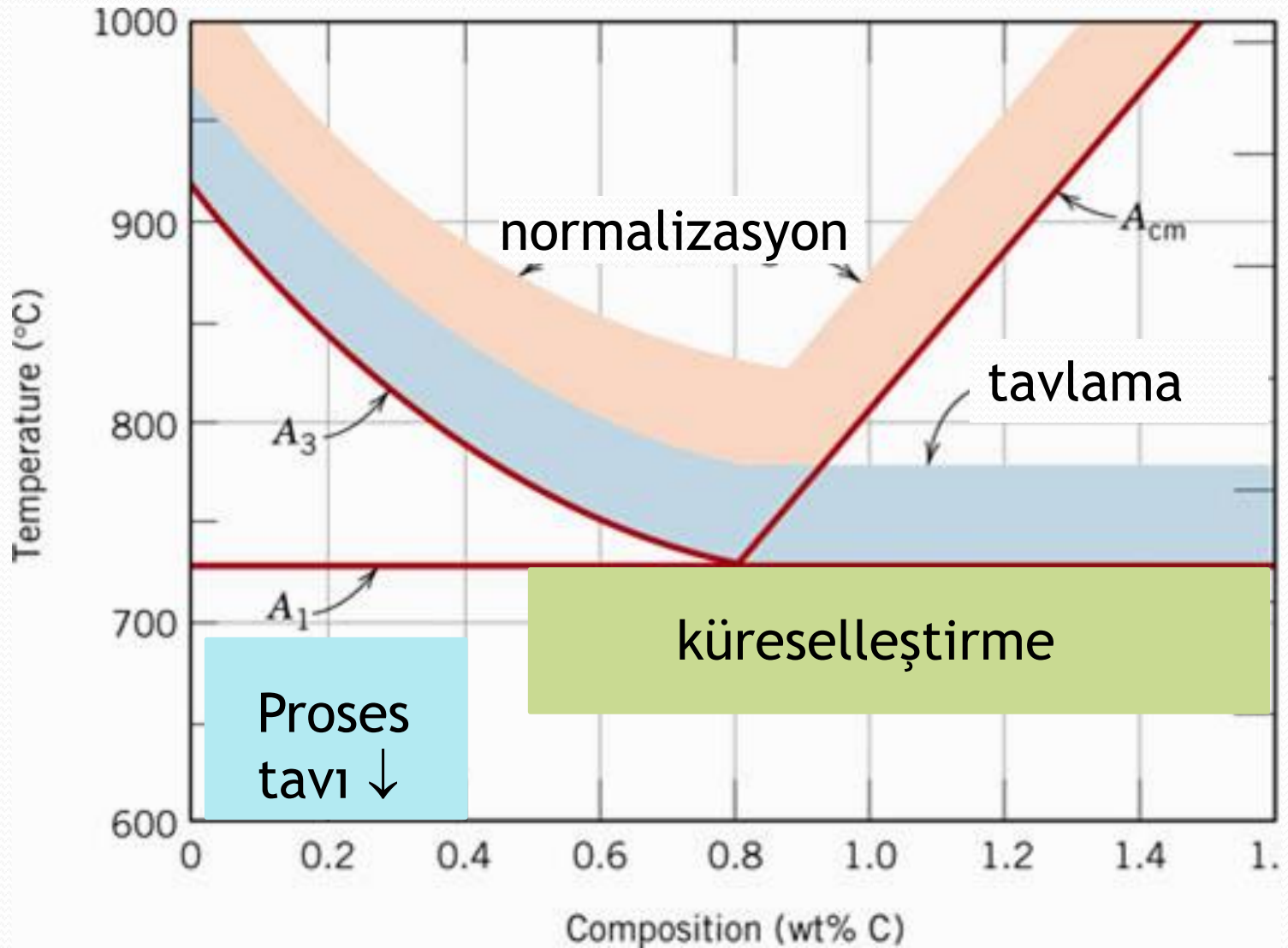
**sertleştirme için:**

**Isıtma ve hızlı soğutma-su verme**

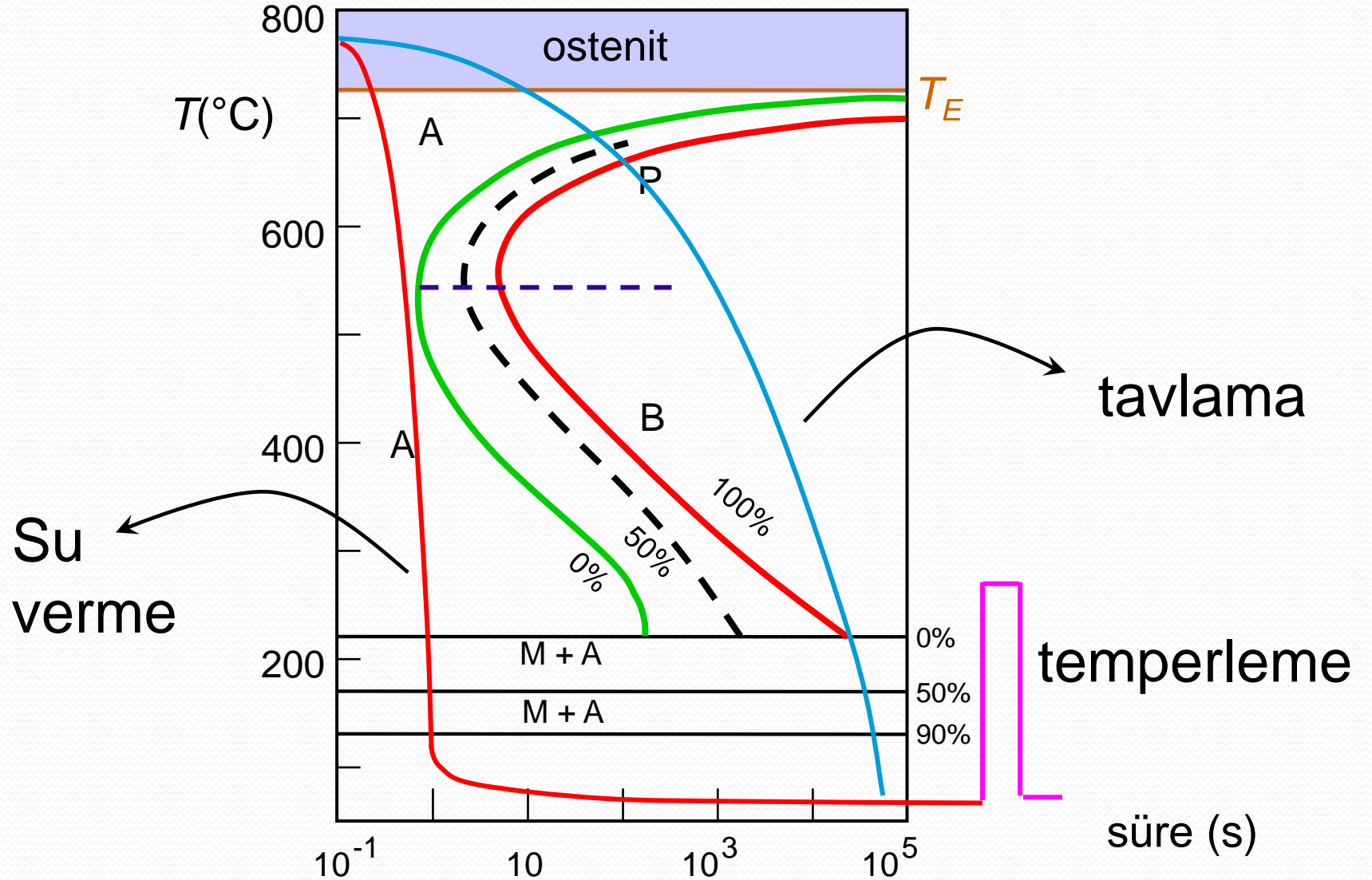
**kırılganlığın telafisi için:**

**Isıtma ve yavaş soğutma**

# Isıl işlemler

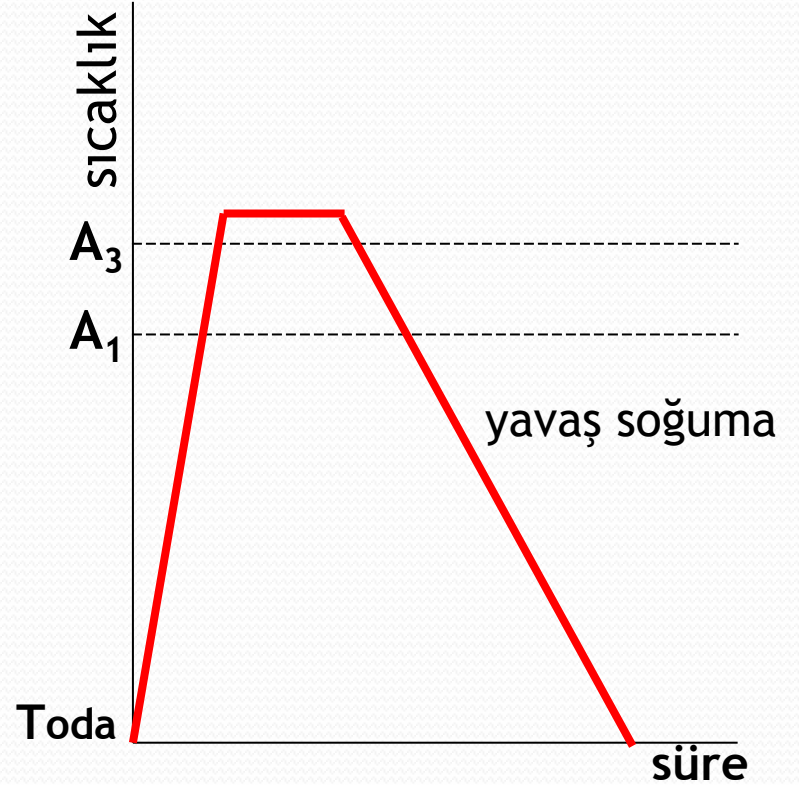


# Isıl işlemler



# normalizasyon

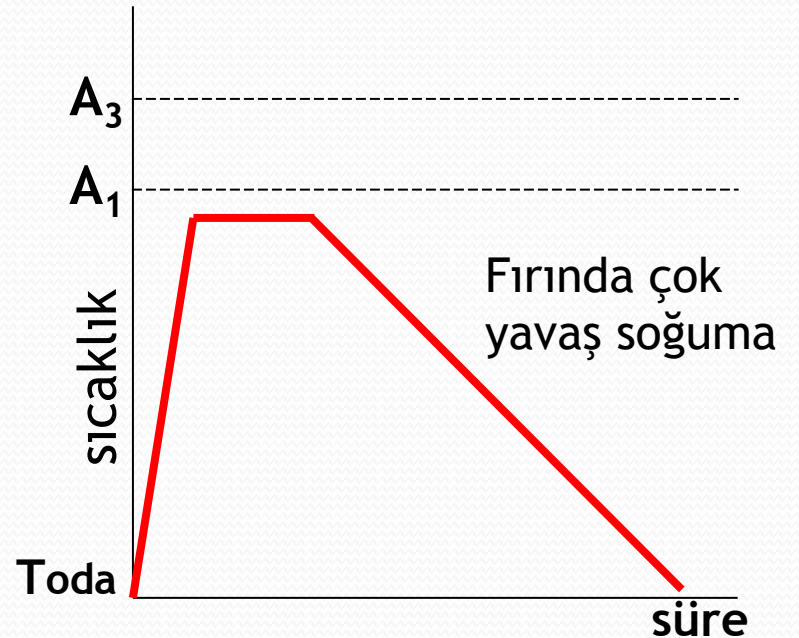
- Parça üst kritik sıcaklığın ( $A_3$ ) üstüne ısıtılarak tamamen ostenite dönüştürülür.
- Havada yavaş soğutulur.
- Yapı ince eş eksenli perlite dönüşür.
- Soğuk veya sıcak şekil verilmiş çeliklere süneklilik ve işlenebilirlik kazandırmak için uygulanır.





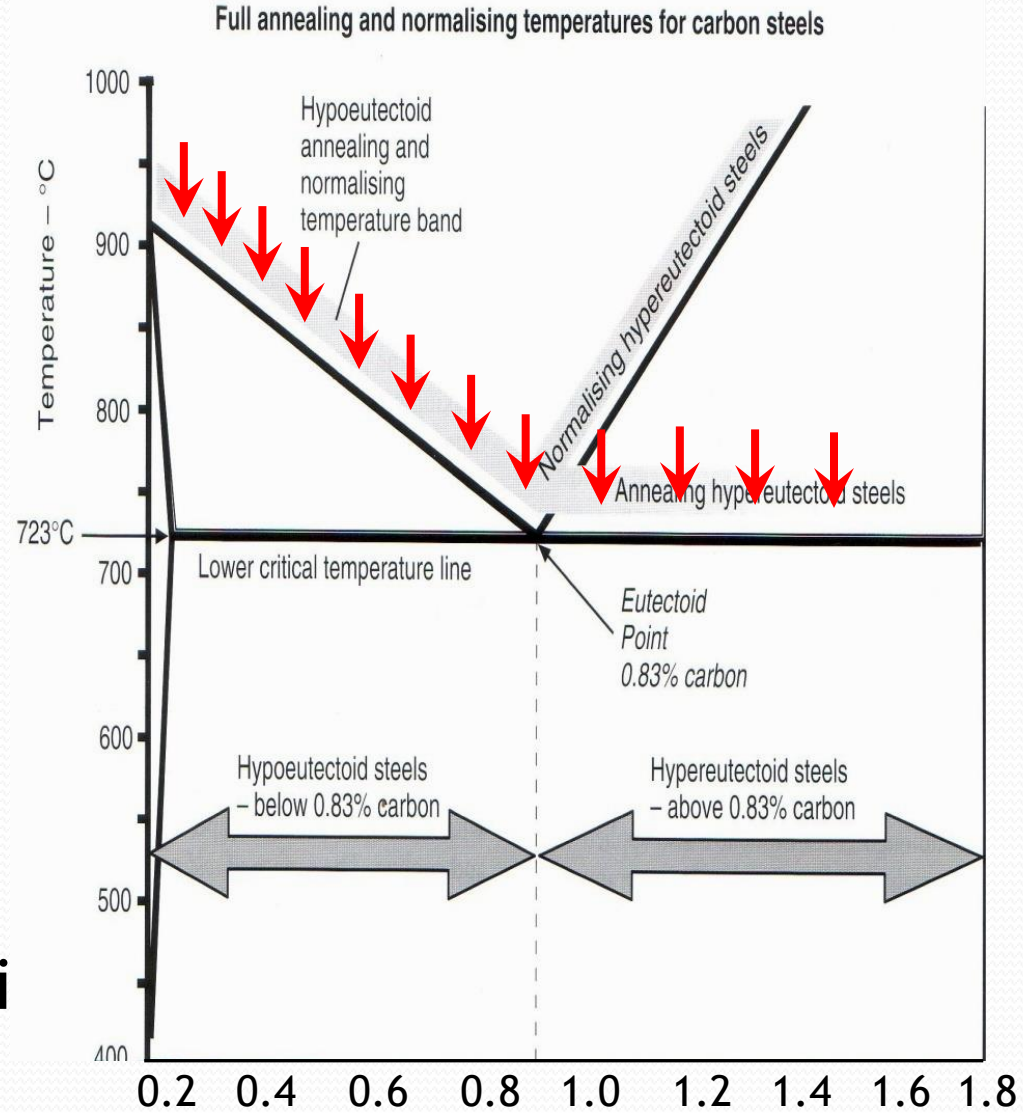
# küreselleştirme

- $C > \%0.6$  içeren çeliklere uygulanır.
- Parça alt kritik sıcaklığın altına ( $650-700^{\circ}\text{C}$ ) ısıtılır.
- Fırında çok yavaş soğutulur.
- Yapıdaki sementit tamamen küreselleşir.
- Orta ve yüksek karbonlu çeliklerin işlenebilir hale getirilmesi için uygulanır.

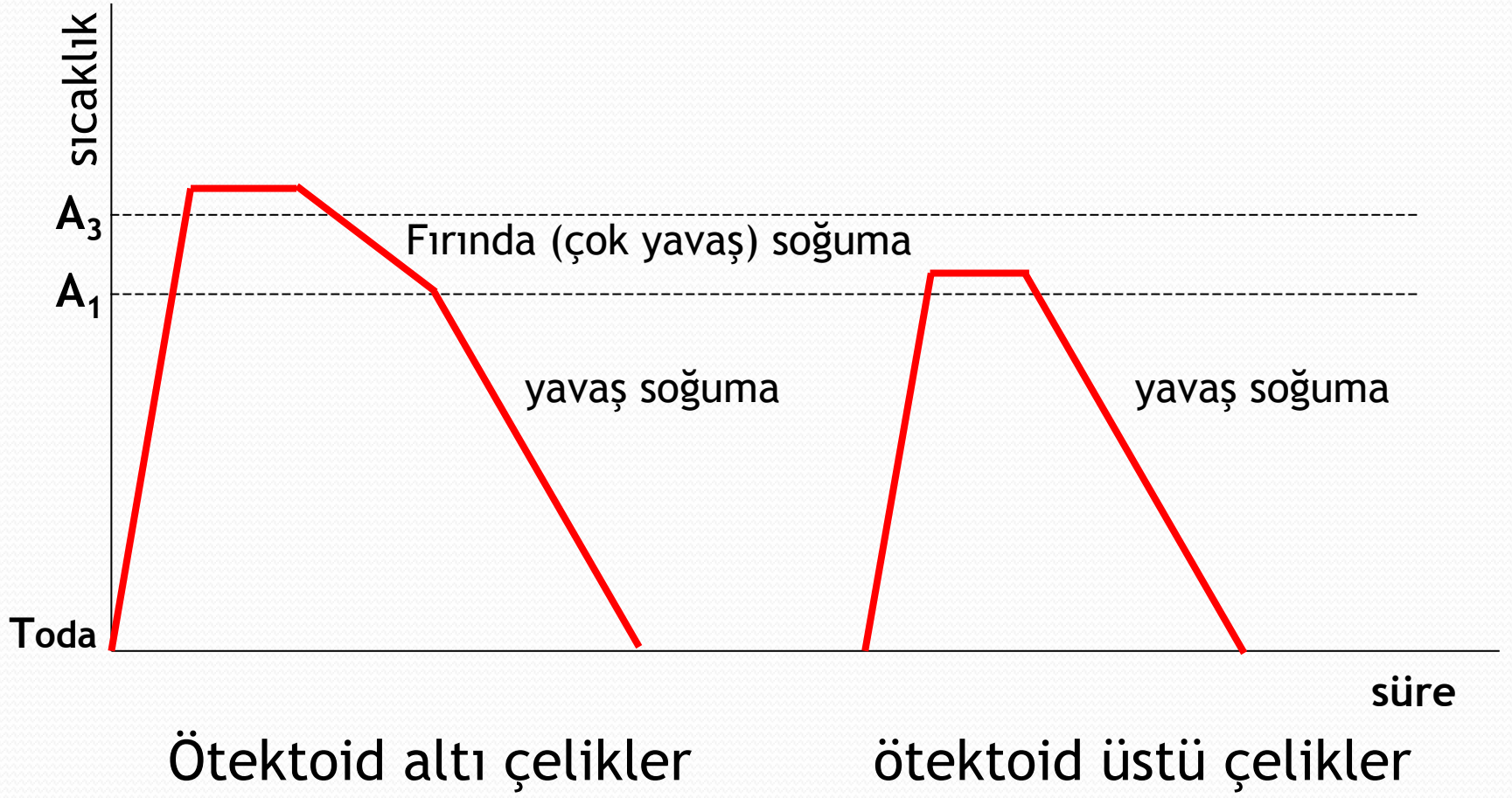


# tavlama

- Ötektoid altı çelikler üst kritik sıcaklığın, ötektoid üstü çelikler alt kritik sıcaklığın üstüne ısıtılarak bu sıcaklıkta bekletilir,
- Fırında çok yavaş soğutulur.
- Yapı iri taneli perlite dönüşür.
- Döküm ve dövme parçaların işlenebilirliğini arttırmak için uygulanır.



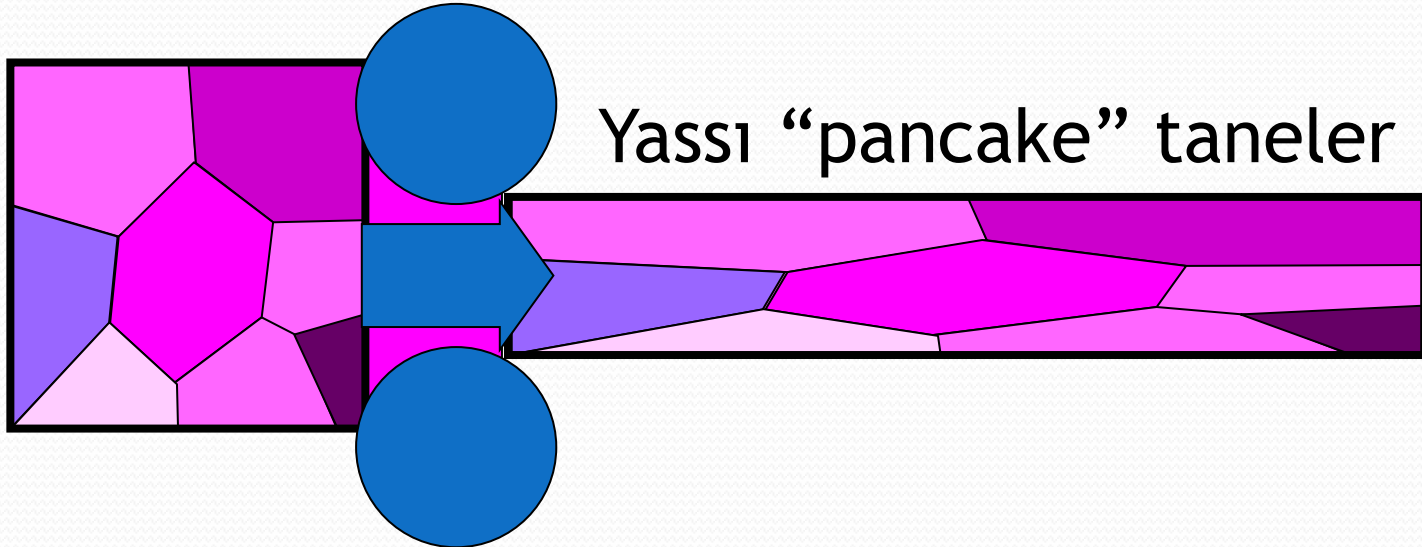
# tavlama



# Yumuşatma tavlı

düşük karbonlu çelikler soğuk işlemlerle sertleşirler.  
Bu sırada süneklik düşer.

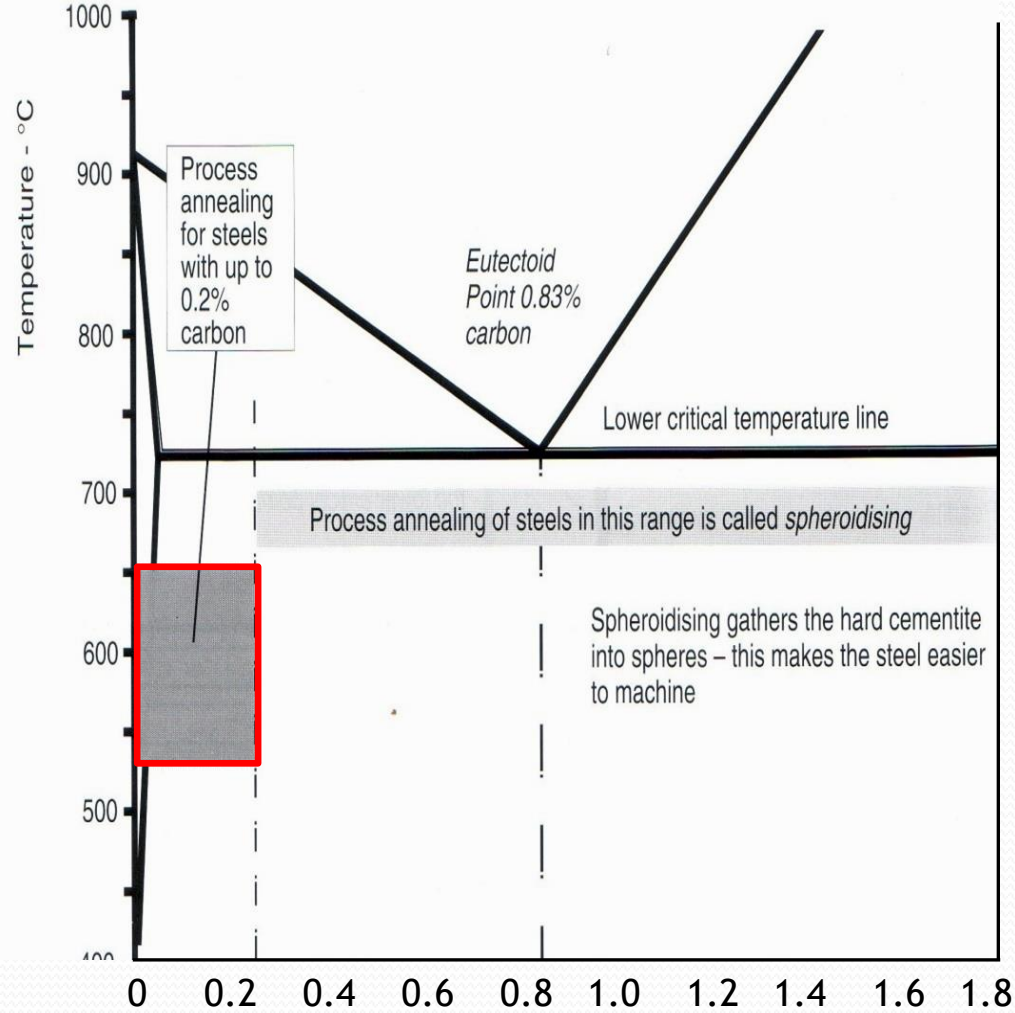
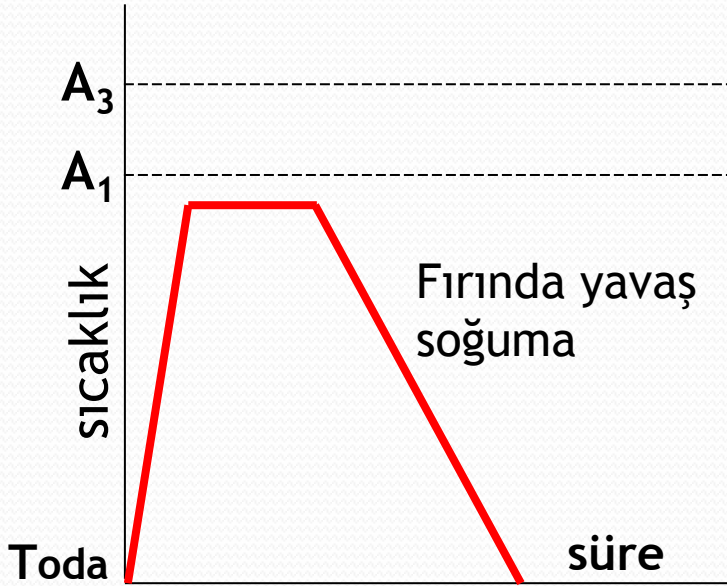
Parçanın yeniden kristalleşerek yumuşaması gerekir.  
Soğuk işlemlerden sonra düşük karbonlu çeliklerde  
yumuşatma için uygulanır.



# yumuşatma tavi

Parça, üst kritik sıcaklığın altına ısıtılır. Fırında çok yavaş soğutulur.

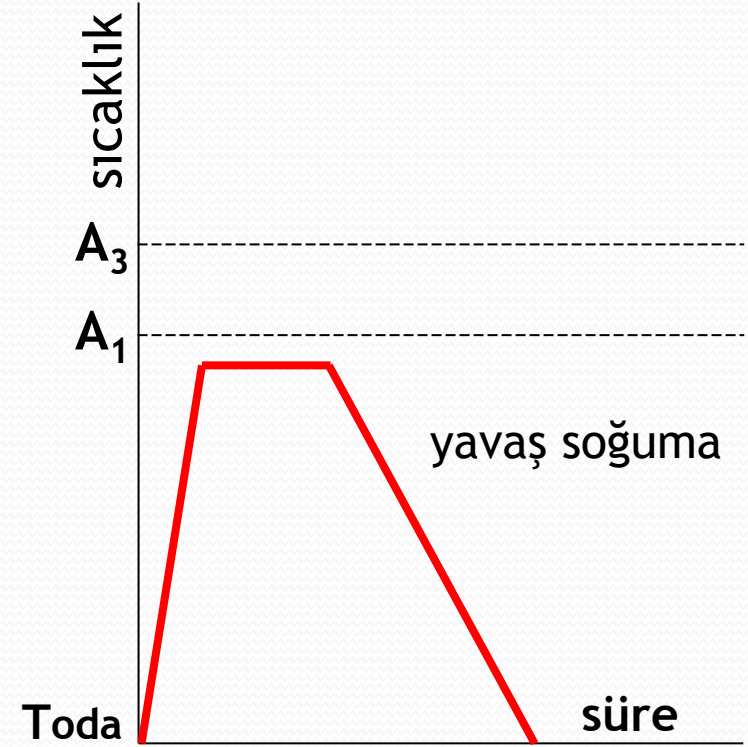
Yapı tamamen eş eksenli perlite dönüşür.



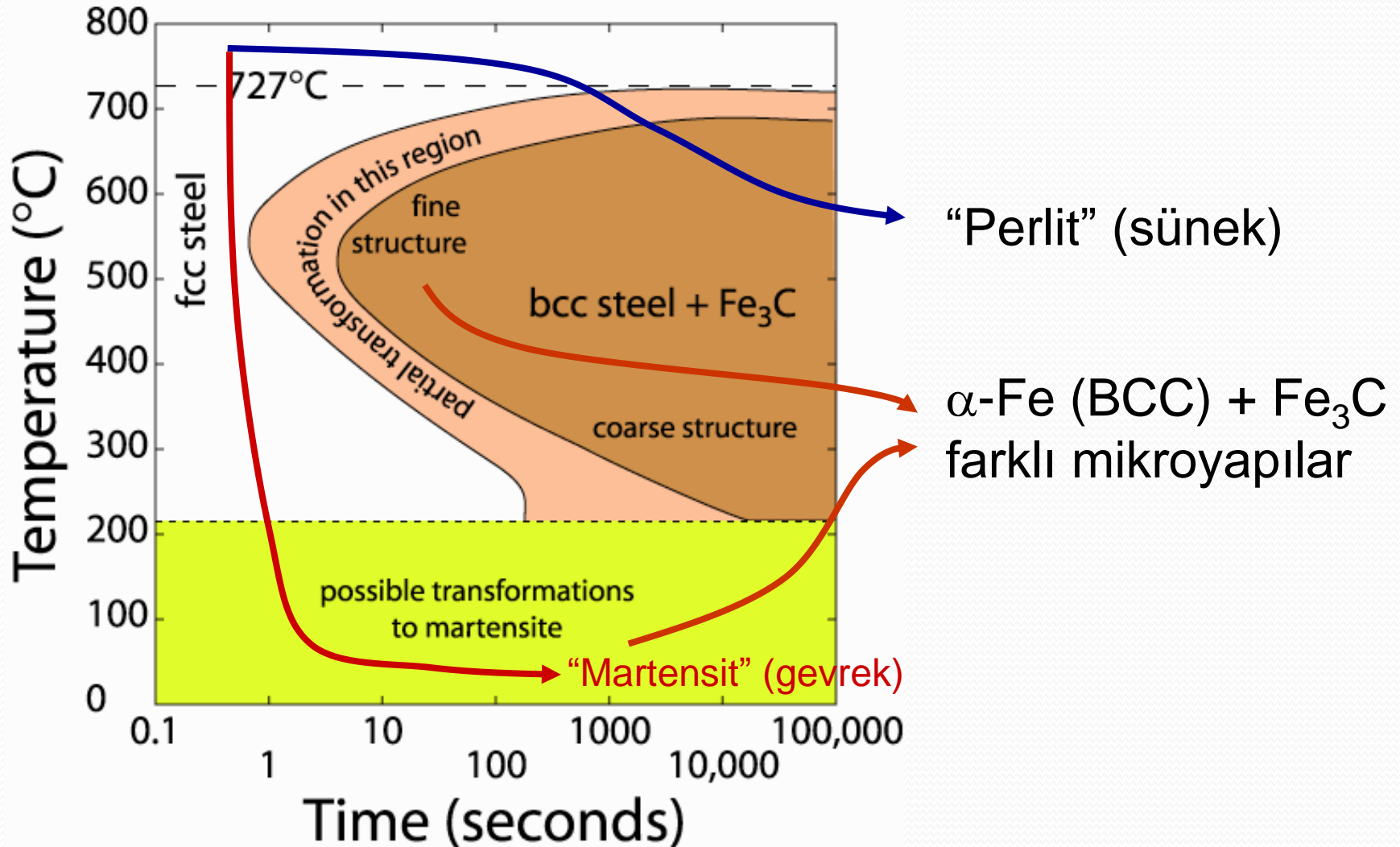


# Gerilim giderme tavrı

- kaynak işlemi ve talaşlı imalat sonrasında kalıntı gerilmeleri gidermek için uygulanır.
- Parça alt kritik sıcaklığın altındaki bir sıcaklığa ısıtılır.



# Su verme ile sertleştirme

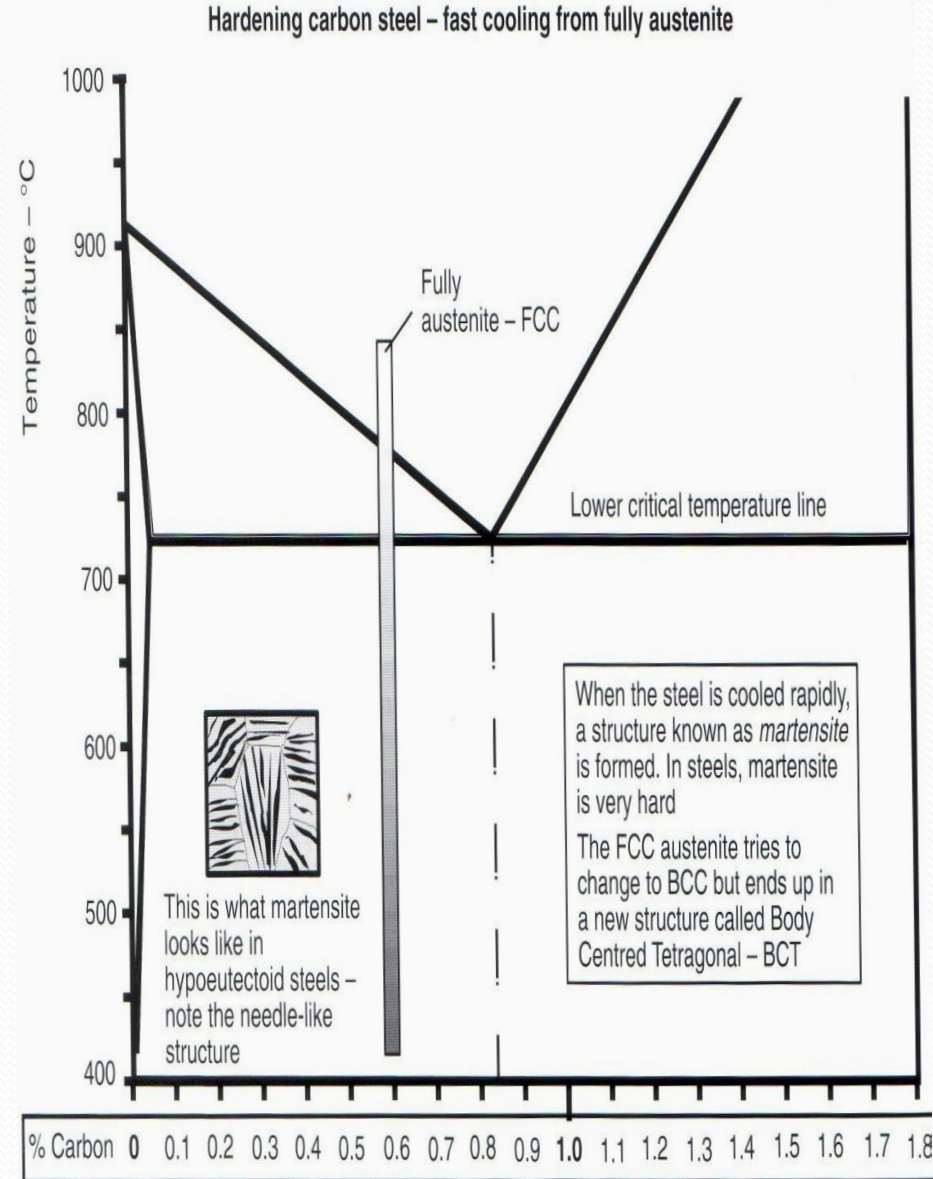


# Su verme ile sertleştirme

- Orta ve yüksek karbonlu çelikler (0.4 - 1.2%) kızıltaşıncaya kadar ısıtılıp suda soğutulularak sertleştirilir.
- Su verme ile sertleşme için önce tamamen ostenite dönüşüm sağlanmalıdır.
- Su verme sırasında ostenit ya kısmen ya da tamamen martensite dönüşür.
- Tamamen martensitik bir yapı ancak hızlı soğutma koşullarında gerçekleşir.
- Bu kritik soğuma hızı olarak anılır.

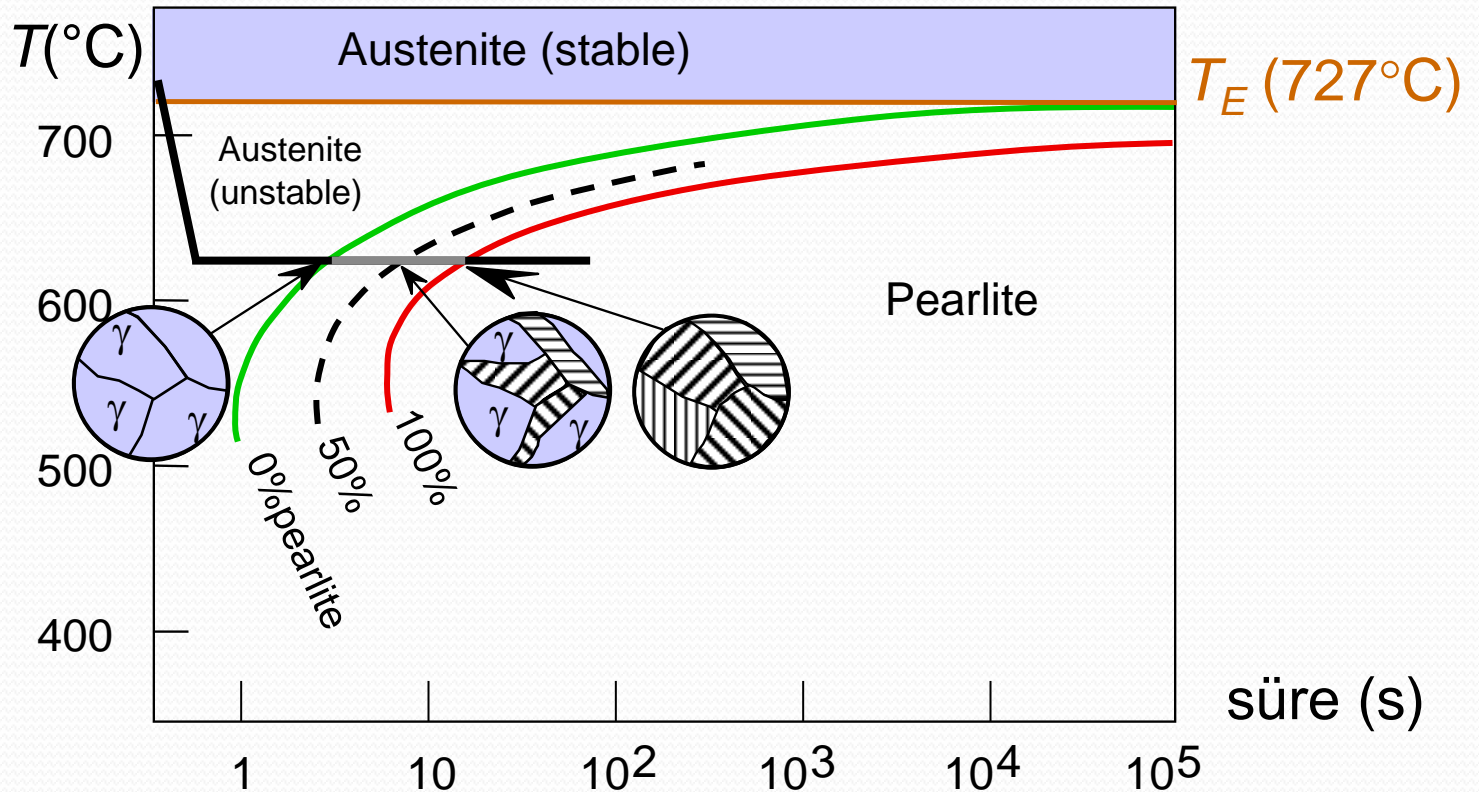
# 0.6% karbon çeliğinin sertleştirilmesi

- Çelik 780 °C üstüne ısıtılır. Karbon ostenit fazı içinde çözünür.
- oda sıcaklığına hızla soğutulduğunda  $\gamma \rightarrow \alpha$  dönüşümü önlenir.
- HMT kafesli farklı bir yapı elde edilir. İğnesel morfolojileri bu yapıya martensit denir.
- Martensit çok sert ve kırılgandır.



# Ostenit → Perlit

- ötektoid çelik,  $C_0 = 0.76$  ağırlık % C
- hızla  $625^\circ\text{C}$ 'ye soğutulup bekletilirse..

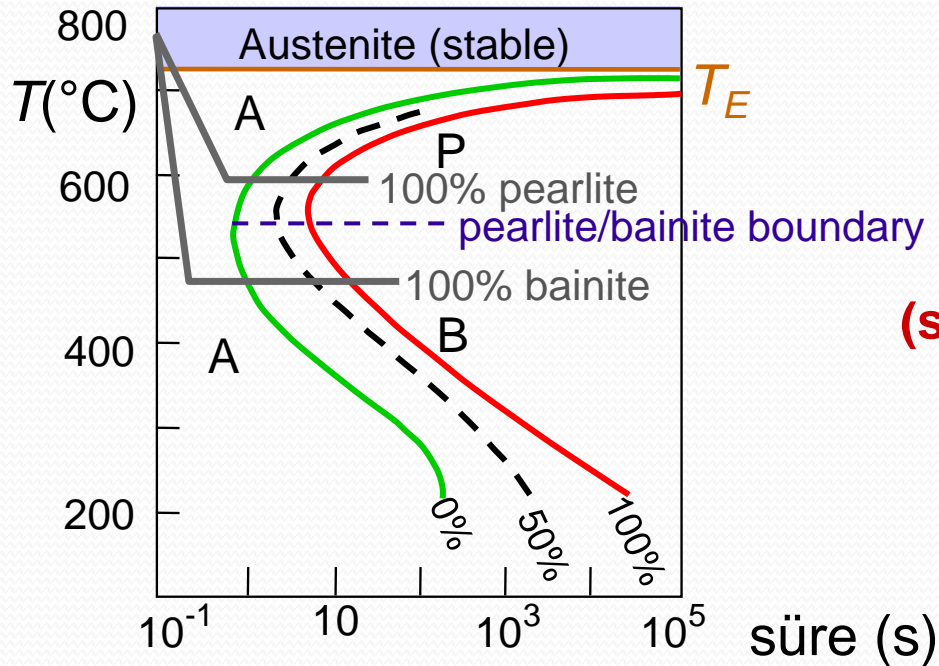




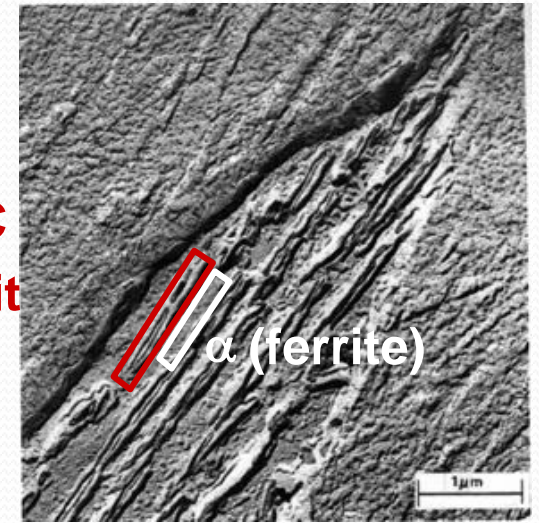
# Ostenit → Beynit

- ötektoid çelik,  $C_0 = 0.76$  ağırlık % C
- hızla  $475^\circ\text{C}$ 'ye soğutulup bekletilirse..

$\alpha$  levhaları +  $\text{Fe}_3\text{C}$  çubukları / difüzyon kontrollü



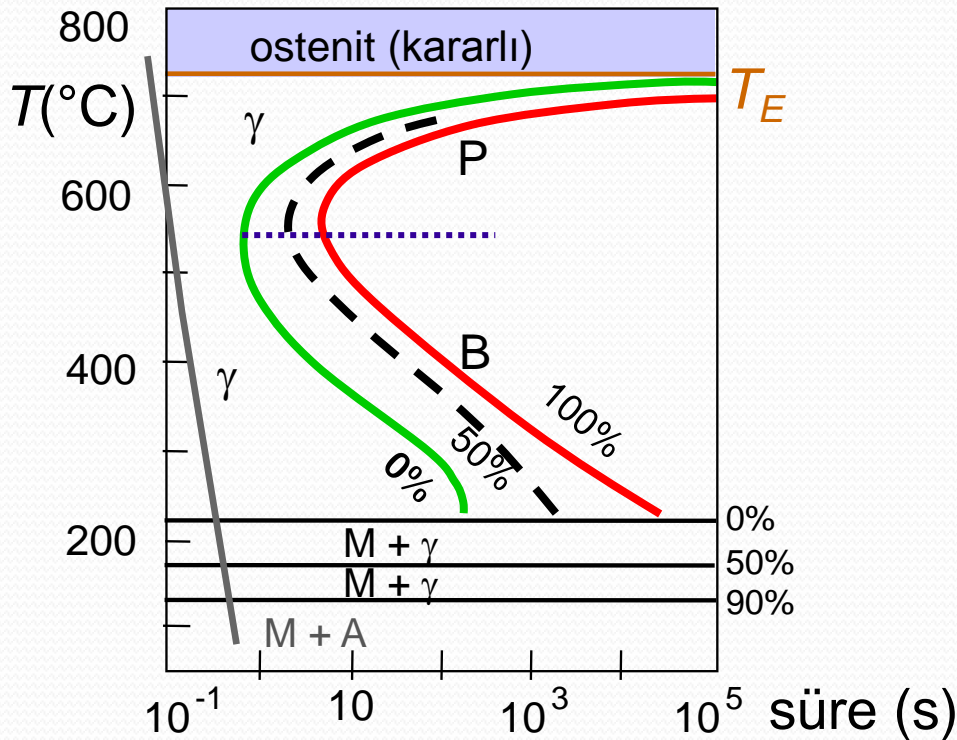
$\text{Fe}_3\text{C}$   
(sementit)



5 μm

# Ostenit → martensit

- ötektoid çelik,  $C_0 = 0.76$  ağırlık % C
- hızla oda sıcaklığına soğutulursa...  
% dönüşüm sadece T'a bağlı!

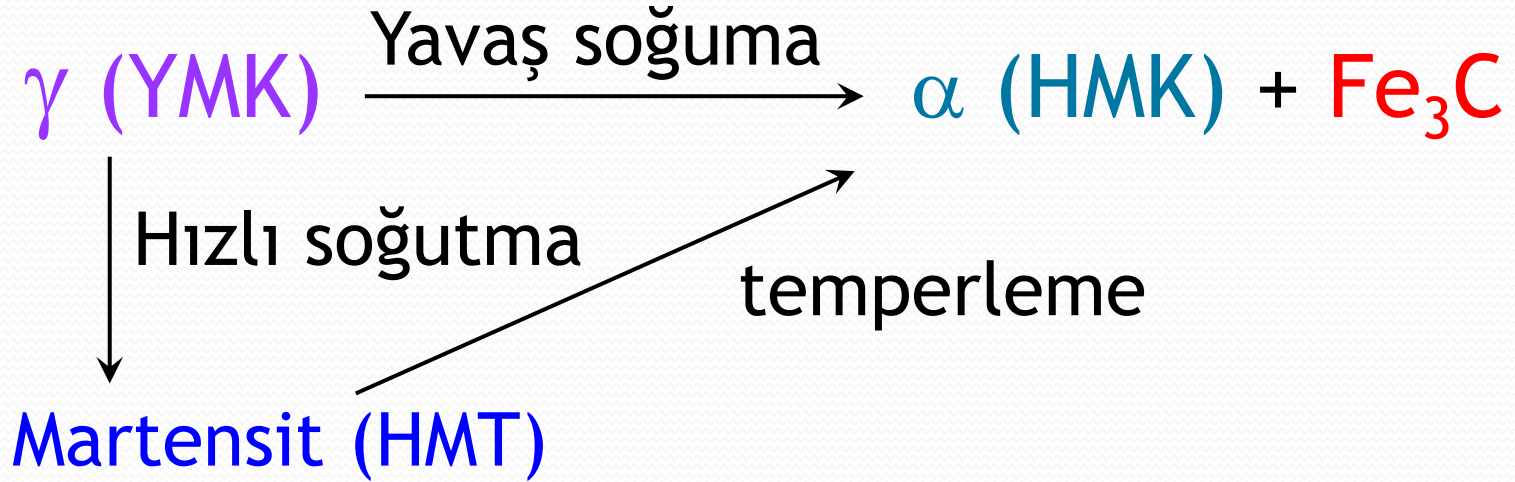


60  $\mu$ m



— Martensit iğneleri  
— ostenit

# Martensit oluşumu

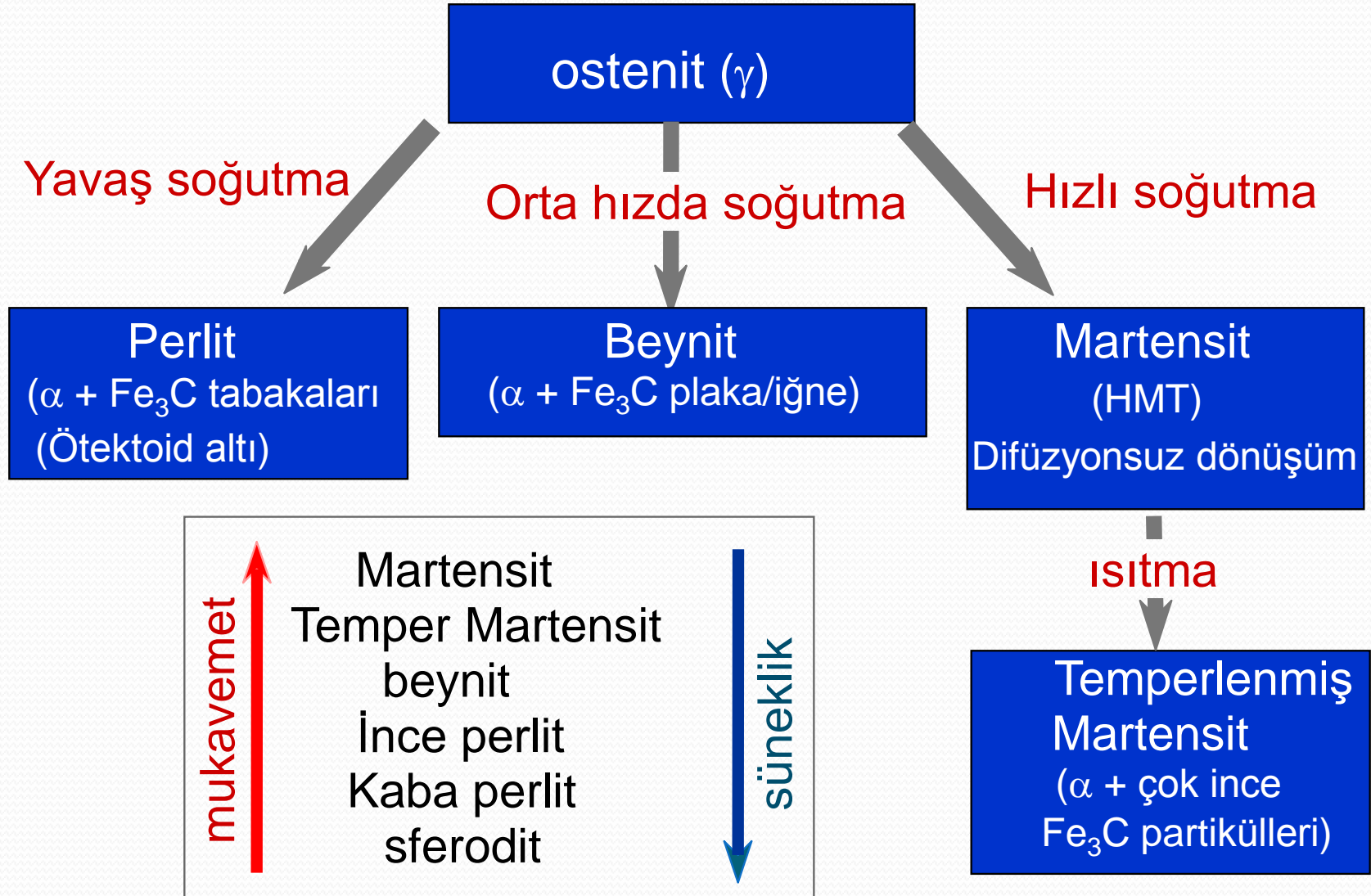


HMT eğer  $C > 0.15$  ağı%

Difüzyonsuz dönüşüm

HMT  $\rightarrow$  az sayıda kayma düzlemi  $\rightarrow$  sert, gevrek

# Ostenitten dönüşüm

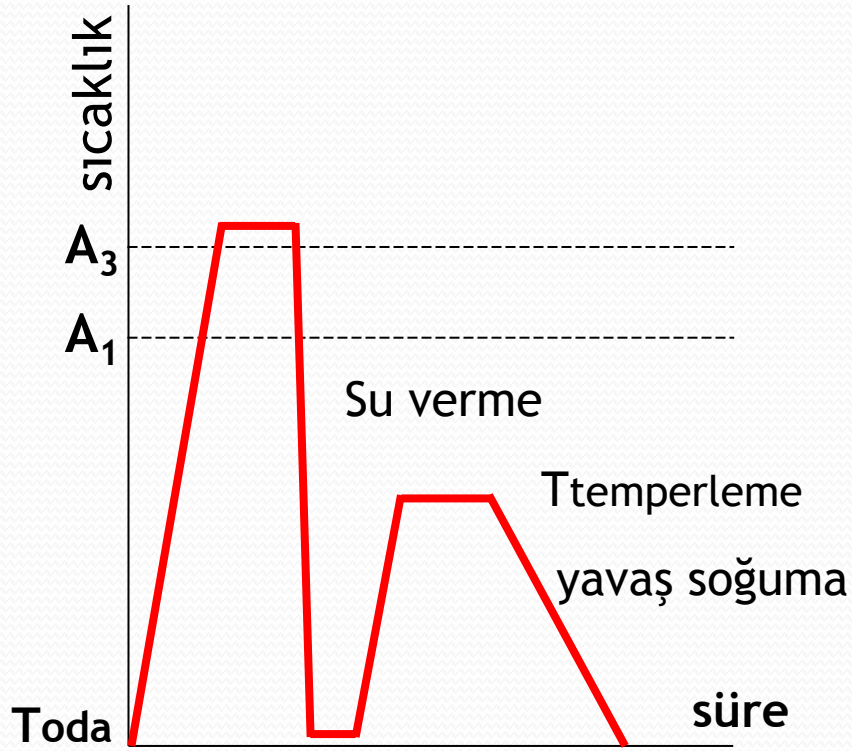


# Temperleme

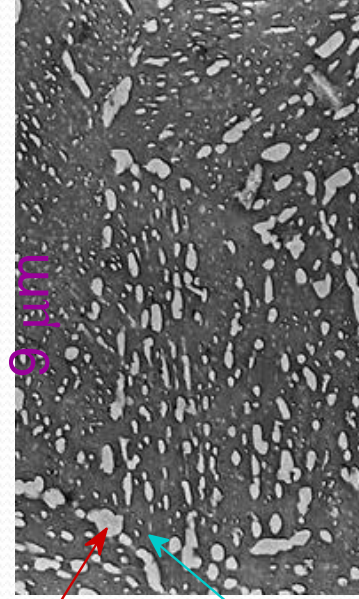
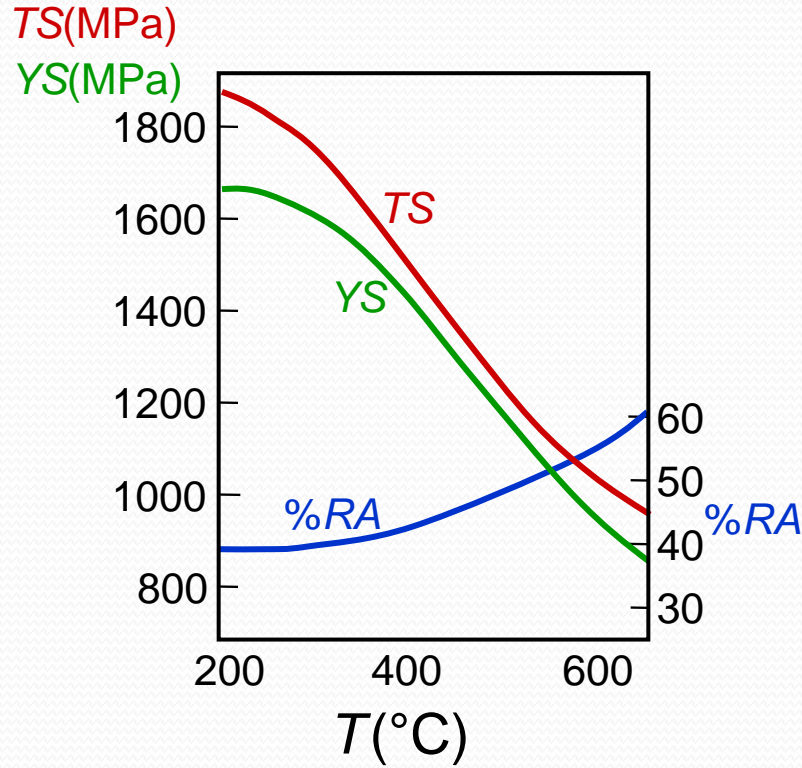
- martensitin gevrekliği sertleştirilmiş çelikleri bir çok uygulama için riskli yapar.
- bu nedenle sertleřtirilmiř çelikler daha dūřuk bir sıcaklıđa ısıtılarak sertlik bir miktar dūřrölerek çeliđe tokluk kazandırılır.
- metal 220-300 °C civarına ısıtılır ve soğutulur.
- Temperleme dediđimiz bu iřlem martensitin bir kısmının beynite dōnūřmesine neden olur.
- Su verme sırasında oluşan iç gerilmeleri azaltır.



# Su verme+temperleme



# Temperleme



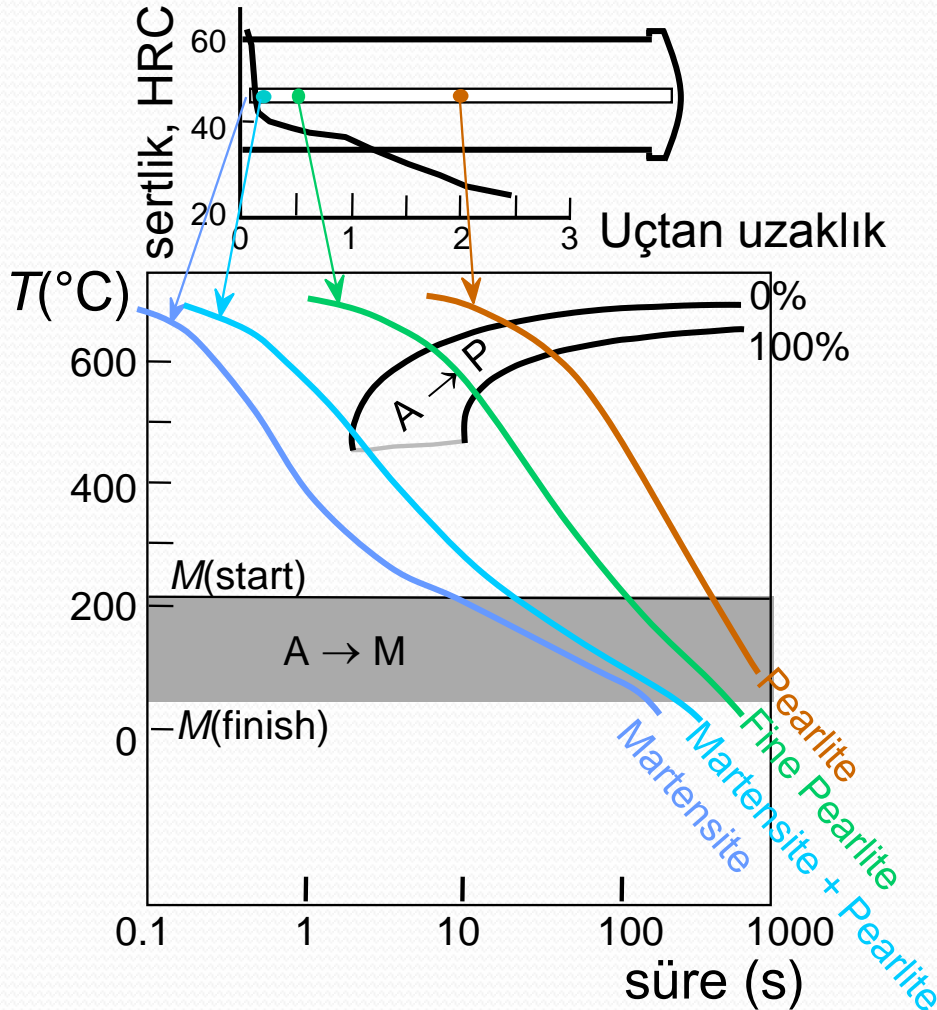
- Ferrit ile çevrelenmiş çok küçük sementit partikülleri oluşur.
- Akma ve çekme değerleri düşer; uzama değerleri artar.

# sertleşebilirlik

- Çeliğin bileşimine bağlı!
- Ni, Cr ve Mo ilavesi ostenitin diğer fazlara dönüşümünü geciktirerek daha fazla martensit oluşmasına imkan tanır.
- Isıl işlem uygulanan çeliklerin çoğu sade karbon çeliklerinden ziyade alaşımlı çeliklerdir.

# Sertlik mesafe ile neden değişir?

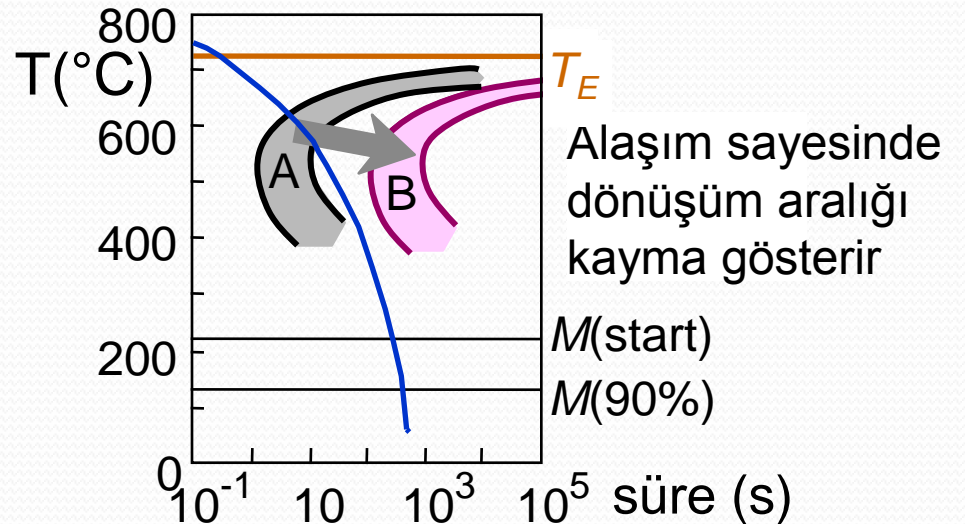
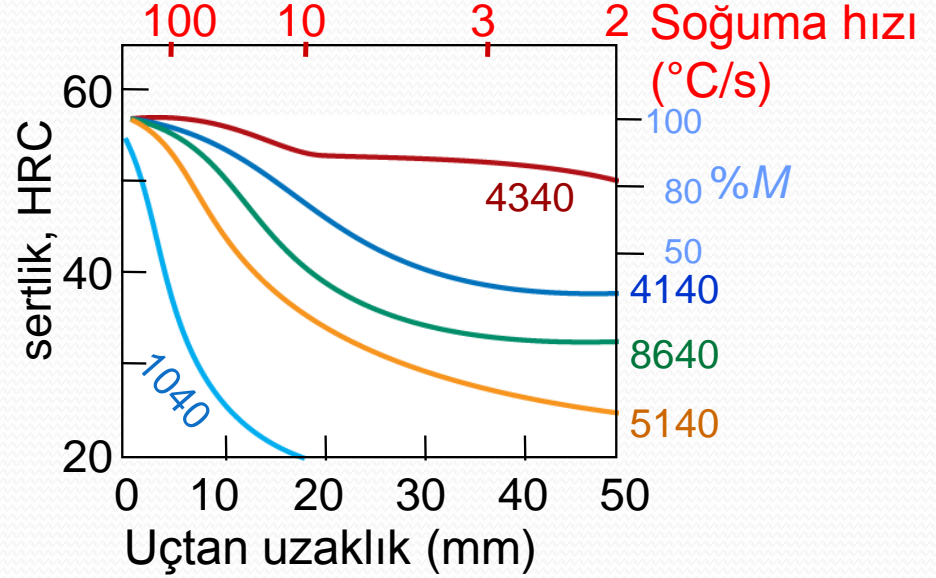
- uçtan mesafe ile su verme hızı değişir.



- Kütle etkisi nedeniyle büyük parçalara su verildiğinde arzu edilen soğuma hızlarına kesitin sadece bir kısmında ulaşılabilir.
- Bu nedenle yüzeyde hedeflenen sertleşme sağlanırken merkez yumuşak kalır.

# Alaşıma göre sertleşebilirlik

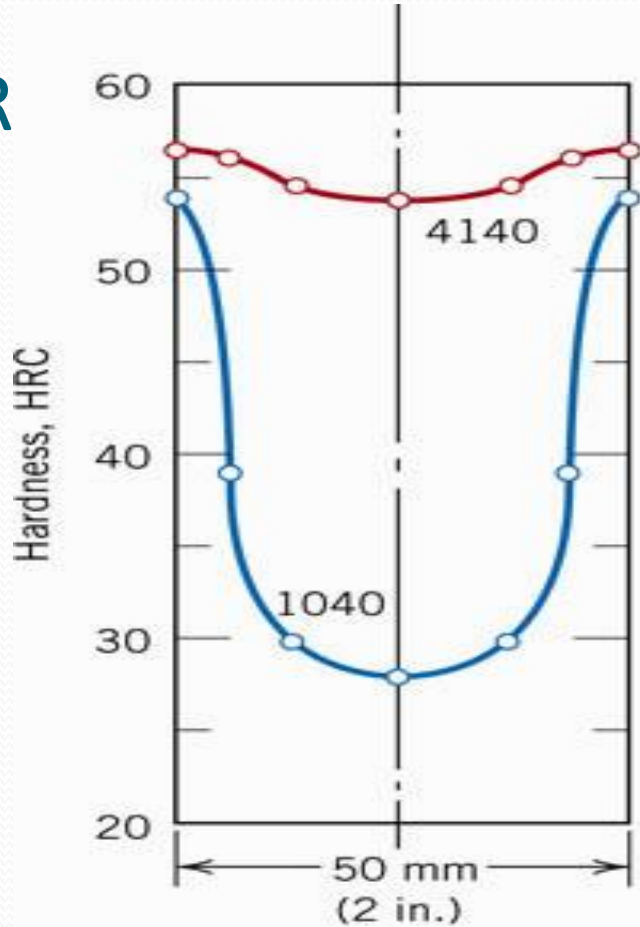
- $C = 0.4 \text{ wt\% C}$
- "Alaşımli çelikler"  
(4140, 4340, 5140, 8640)  
Ni, Cr, Mo (0.2-2 ağı%)  
bu elementler burunu kaydırırlar.  
martensitin oluşması kolaylaşır.



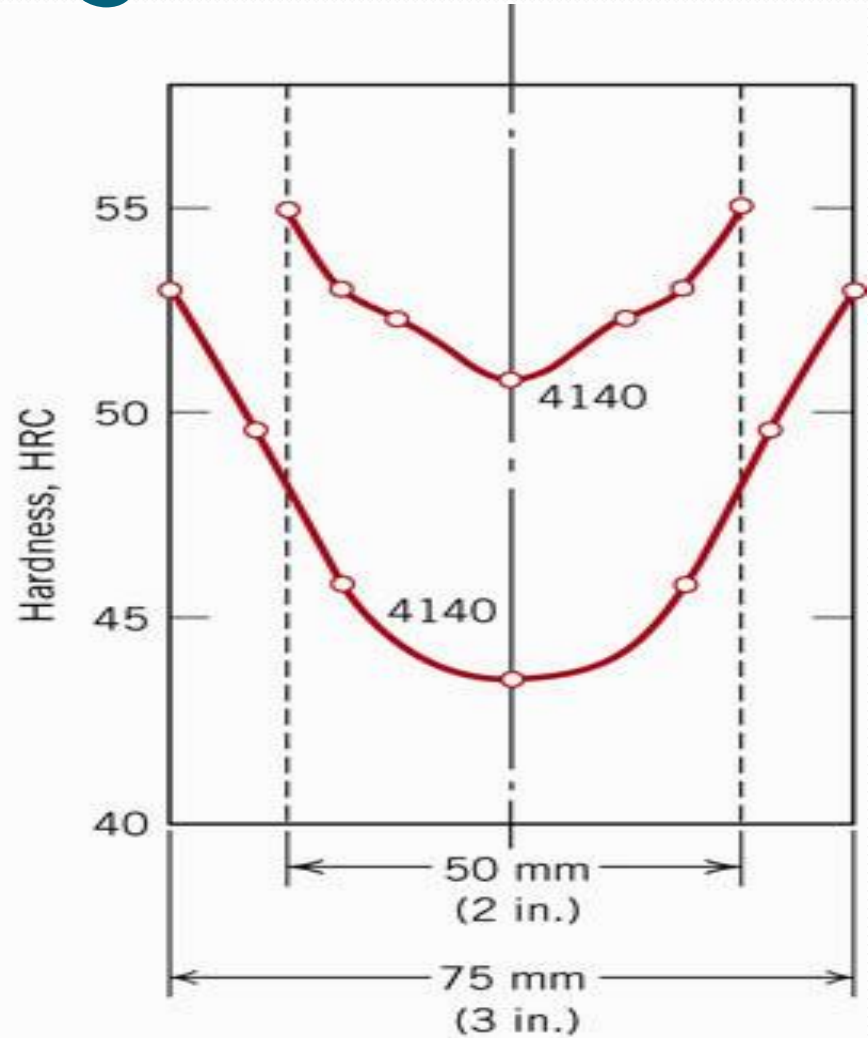


# Kesitte sertlik dağılımı

R



(suda su verilmiş)



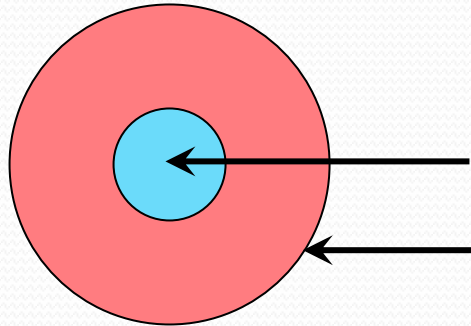
(yağda su verilmiş)

# Su verme ortamı & parça Şekli

- su verme ortamının etkisi

ortam	Soğuma	sertlik
hava	yavaş	düşük
yağ	orta	orta
su	hızlı	yüksek

- parça Şekli etkisi:  
yüzey/hacim  $\uparrow$ : soğuma hızı artar / sertlik artar



bölge	Soğuma	sertlik
merkez	yavaş	düşük
yüzey	hızlı	yüksek

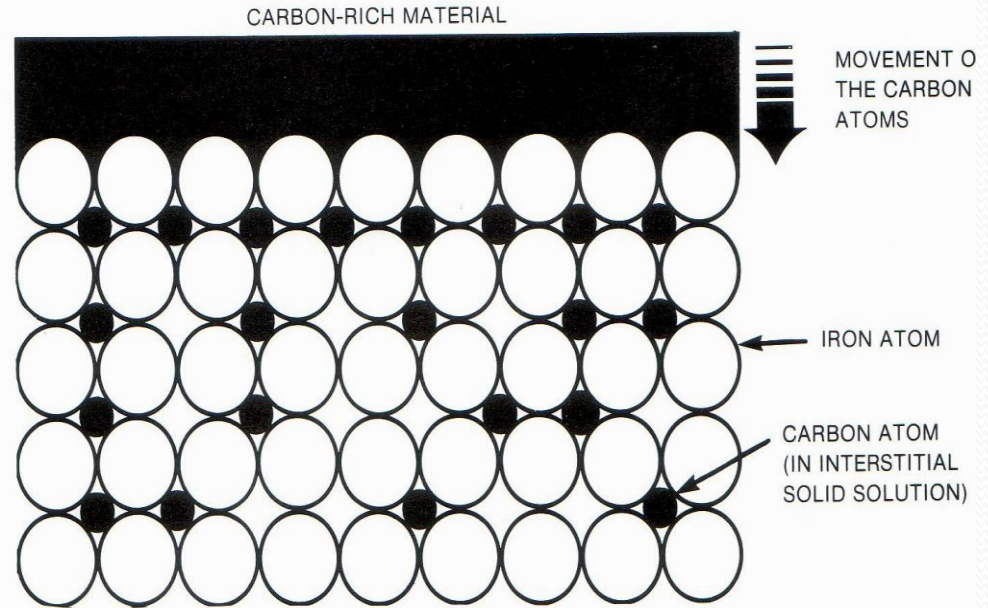
# sementasyon

- Düşük karbonlu çelikler az miktarda karbon nedeniyle ısıl işlemle sertleştirilemezler.
- Sementasyon ile yumuşak merkezi çevreleyen sert bir yüzey elde edilmesi mümkündür.
- Dıştan karbon yüklenmesi uygulamasına karbürleme denir.

<b>Nüfuz derinliği (mm)</b>	0,5	1	1,5	2	2,5
<b>Sementasyon süresi (Saat)</b>	$(0,5^2 \cdot 4)=1$	$(1^2 \cdot 4)=4$	$(1,5^2 \cdot 4)=9$	$(2^2 \cdot 4)=16$	$(2,5^2 \cdot 4)=25$

# sementasyon

- Parça 900 °C'deki fırında karbonca zengin bir bileşik içine gömülür.
- Zamanla karbon çeliğin yüzeyine nüfuz eder.
- Parça fırında ne kadar süreyle tutulursa o kadar derine nüfuz eder.
- Çatlamları önlemek için tane küçültme uygulanmalı.



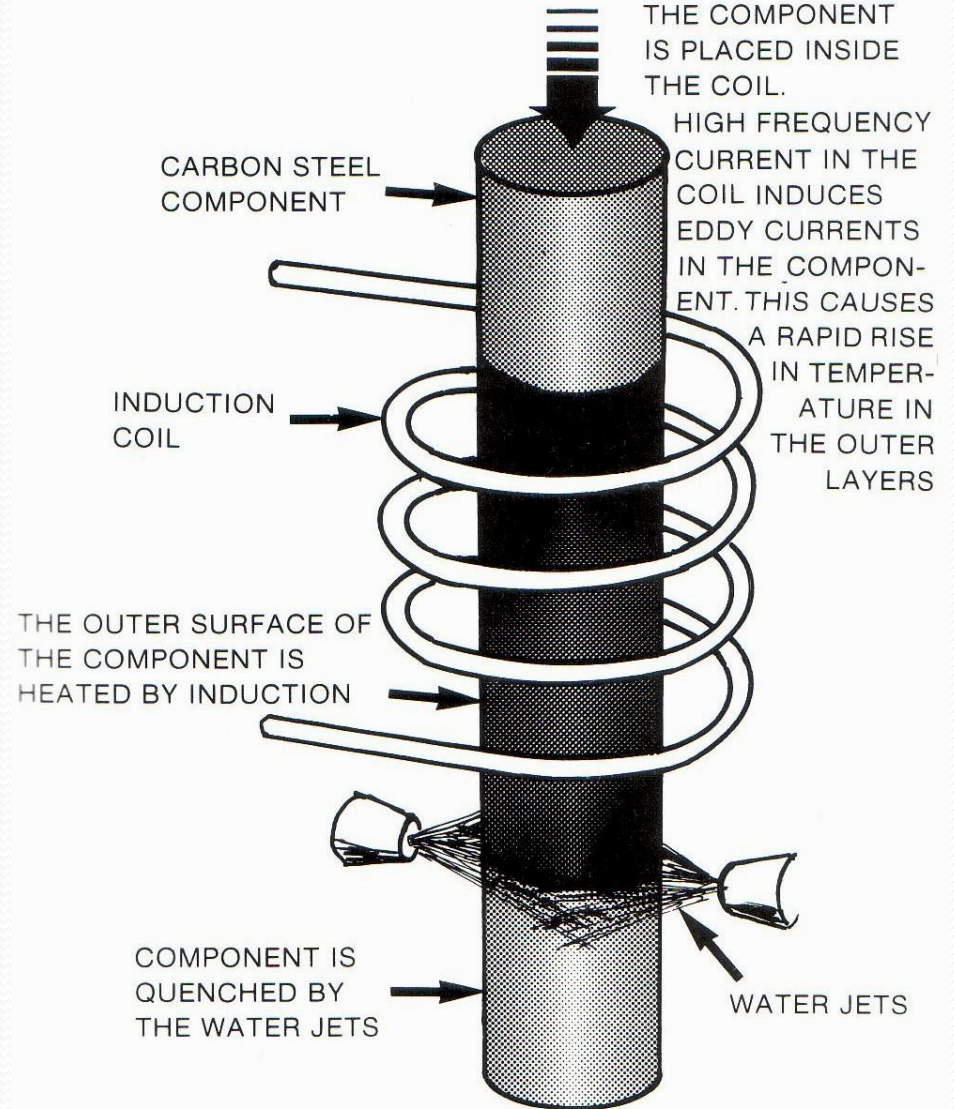
# sementasyon / nitrasyon

- **Tuz banyosu karbürizasyonu.**  
Çelik parça 900 °C'de eriyik tuz banyosuna (sodyum siyanad, sodyum karbonat ve sodyum klorür) daldırılır. Bir saat içinde yüzeyde ince bir karbon-zengin tabaka oluşur.
- **Gaz karbürizasyonu:**  
çelik parça sızdırmaz bir fırın içinde karbon monoksit ile muamele edilir.
- **Nitrasyon:**  
500 °C'ye setlenmiş fırın içinde amonyak gazı sirkülasyonu içinde 500 saat bekletildiğinde yüzeyde nitrürler oluşur.



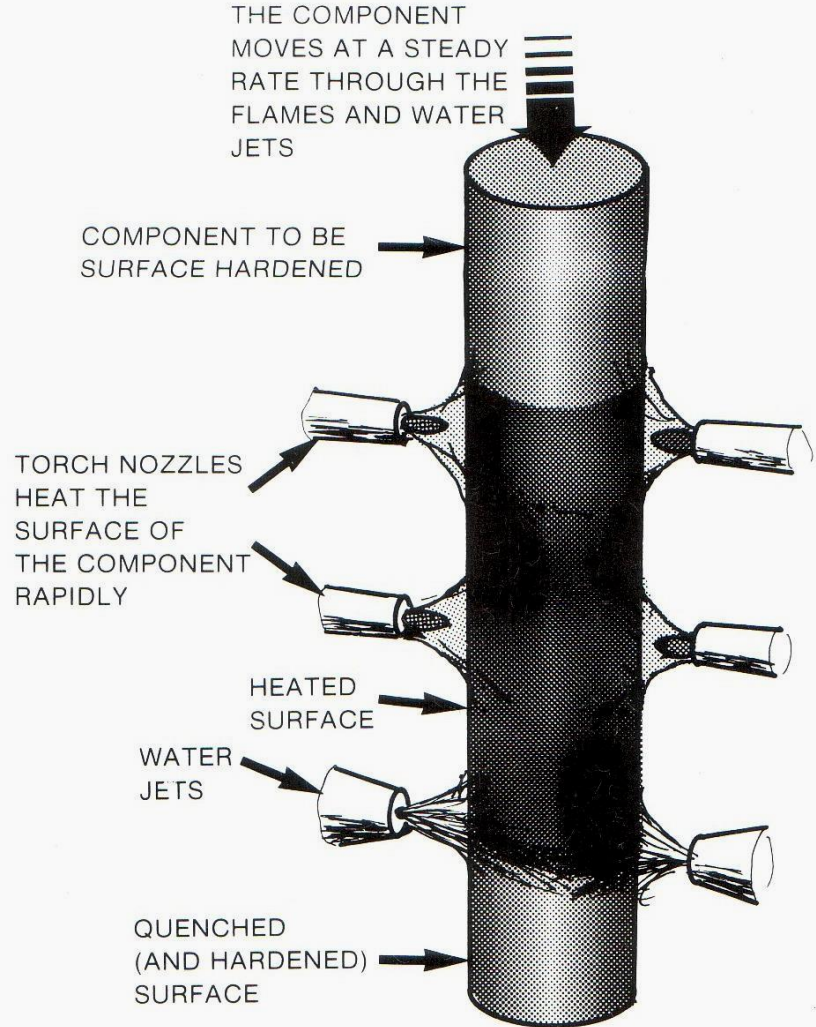
# İndüksiyon sertleştirme

- Eddy akımları çeliğin yüzeyini şürtle ısıtır. Isınan parça su jeti ile hızla soğutulur.
- Yumuşak bir merkez üstünde sert bir dış yüzey elde edilir.



# Alev sertleştirmesi

- Alev parçanın dış yüzeyini st kritik sıcaklığın üstüne ısıtır. Parça merkezi kondüksiyon ile ısınır.
- Su jeti parçayı süratle soğutur.

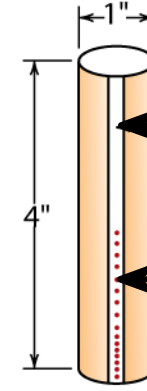
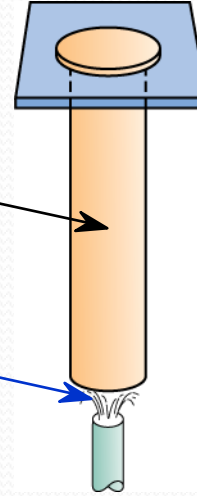


# sertleşebilirlik

- martensit oluşturma kapasitesi
- Jominy testi ile ölçülür.

Numune  $\gamma$  Faz bölgesine ısıtılır

24°C su



Torna ile düzleştirilir  
Rockwell C sertlik ölçümleri

- sertlik vs su verilmiş uçtan mesafe



# Çeliklerde alaşım elementleri

## Karbon

- Düşük miktarlarda  $\alpha$ -Fe ve  $\gamma$ -Fe ara yer katı eriyiklerini oluşturur.
- Yüksek miktarlarda sementit- $\text{Fe}_3\text{C}$  bileşimini oluşturur.
- $\alpha$ -Fe ve  $\gamma$ -Fe fazlarının sertliğini ve sertleşme kabiliyetini artırır.
- Aşınma direncini artırır.
- Sünekliği ve tokluğu düşürür.
- Kaynaklanabilirliği düşürür.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## mangan

- başlıca alaşım elementi.
- sertliği ve sertleşme kabiliyetini artırır.
- Zayıf bir karbür yapıcıdır (demirden daha fazla!).
- MnS oluşturarak kükürdün neden olduğu gevrekliği azaltır.
- Yüksek miktarlarda ilave edildiğinde aşınma direnci yüksek ostenitik çelik yapar.
- Çeliğin talaşlı imalat kabiliyetini arttırır.
- Ergimiş çeliği deoksidize eder.
- Kaynaklanabilirliği azaltır.



# Çeliklerde alaşım elementleri

## silis

- başlıca alaşım elementidir.
- Katı eriyik mukavemetini arttırır.
- Sertliği ve sertleşme kabiliyetini arttırır.
- Ergimiş çelikte oksijeni giderir (deoksidan) ve  $\text{SiO}_2$  kalıntıları oluşturur.
- Karbür yapmaz.
- Oksidasyon direncini arttırır.
- Elektrik ve manyetik özellikleri iyileştirir; histerisis kayıplarını azaltır/ elektrik çelikleri

# Çeliklerde alaşım elementleri

## silis

- Talaşlı imalat kabiliyetini olumsuz etkiler.
- Soğuk işlenebilirliği azaltır.
- **Dökme demirlerde grafitleşmeyi arttırır.**

# Çeliklerde alaşım elementleri

## fosfor

- Bir çok çelikte empürite olarak kabul edilir.
- Düşük karbonlu çeliklere mukavemeti ve sertliği arttırmak için ilave edilebilir.
- Sünekliği ve tokluğu ciddi seviyelerde düşürür.
- Talaşlı imalat kabiliyetini artırır.
- Korozyon direncini artırır.
- Temper gevrekliğini tetikler.
- Yüksek miktarda ise, özellikle dökme demirlerde arzu edilmeyen  $Fe_3P$  bileşimini oluşturur.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## kükürt

- Bir çok çelikte impürite olarak kabul edilir.
- Gevrekliğe neden olur. Sünekliği ve darbe direncini düşürür.
- Mn ile birlikte bulunduğu işlenebilirliği artırır.
- Bazı işlenebilir çelikler %0.08 ile 0.15 kadar S içerir.
- Yüzey kalitesini olumsuz etkiler.
- Kaynaklanabilirliği azaltır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## nikel

- Birçok çelikte başlıca ve gerekli alaşım elementidir.
- Katı eriyik mukavemeti ve sertliğini artırır.
- Sertleşebilirliği artırır.
- Özellikle düşük sıcaklıklarda tokluğu artırır.
- karbür yapmaz.
- Yüksek kromlu paslanmaz çelikleri ostenitik yapar.
- Korozyon direncini artırır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## krom

- Bazı düşük alaşımlı çeliklerde ve tüm paslanmaz çeliklerde önemli bir alaşım elementidir.
- Katı eriyik mukavemetini ve sertliğini bir miktar artırır.
- Sertleşme kabiliyetini artırır.
- Korozyon direncini ve yüksek sıcaklık oksidasyon direncini artırır.
- Karbür yapıcıdır (Mn'dan daha fazla!)
- Krom karbürler aşınma direncini artırır ve yüksek sıcaklık dayanıklılığı kazandırır.



# Çeliklerde alaşım elementleri

## krom

- Tokluğu arttırır.
- Karbürizasyonu hızlandırır.
- Su alma derinliğini arttırır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## molibden

- Bazı düşük alaşımlı çeliklerde ve takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir.
- Katı eriyik mukavemeti ve sertliğini artırır.
- Sertleşebilirliği artırır.
- Kuvvetli bir karbür yapıcıdır (Cr'dan daha fazla!)
- Yüksek sıcaklık özelliklerini ve sürünme direncini artırır.
- Temper gevrekliğini azaltır.
- Paslanmaz çeliklerde korozyon direncini artırır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## molibden

- Aşınma direncini artırır.
- Tokluğu artırır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## bakır

- Bir çok çelikte sıcak yırtılmaya yol açtığı için empürite elementi olarak kabul edilir.
- atmosferik korozyon direncini arttırır.
- Özel çeliklerde ısıl işlem sonrası yaşlanma ile yüksek mukavemet ve sertlik için kullanılır.
- Sünekliği düşürmeden mukavemeti arttırır.
- Karbür yapmaz.
- Sıcak işlenebilirliği düşürür.
- Yüzey kalitesini azaltır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## kobalt

- Isıya dayanıklı çeliklerde ve bazı takım çeliklerinde önemli bir alaşım katkısıdır.
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve sertliği artırır.
- Zayıf bir karbür yapıcıdır.
- Sertleşebilirliği düşürür.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## tungsten

- Bazı çeliklerde gerekli bir alaşım elementidir.
- Katı eriyik mukavemeti ve sertliği arttırır.
- Sertleşebilirliği arttırır.
- Kuvvetli bir karbür yapıcıdır.
- Karbürleri takım çeliklerinde aşınma direnci verir.



# Çeliklerde alaşım elementleri

## vanadyum

- Mikro alaşımlı çeliklerde önemli bir alaşım elementidir.
- Taneleri küçülterek mukavemeti ve sertliği artırır.
- Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini önleyerek sertliği, tokluğu, aşınma direncini artırır.
- Setleşebilirliği artırır.
- Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır.
- Karbür de yapar.
- Temperleme direncini artırır/yüksek sıcaklıkta mukavemet kaybını azaltır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## niyobyum

- Mikro alaşımlı çeliklerde önemli bir alaşım elementidir.
- Tane yapısını kontrol ederek mukavemeti ve sertliği artırır.
- Sertleşebilirliği artırır.
- Kuvvetli bir karbür yapıcıdır; nitrür de yapar.
- Darbe tokluğunu artırır.
- Geçiş sıcaklığını düşürür.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## alüminyum

- Nitrasyon uygulanan çeliklerde ve derin çekilebilir çeliklerde önemli bir alaşım elementidir.
- Taneleri küçülterek mukavemeti ve sertliği artırır.
- Etkili bir deoksidandır.
- İstenmeyen Alüminyum oksit kalıntıları oluşturur.
- Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır.
- Karbür yapmaz.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## titanyum

- Mikro alaşımlı çeliklerde önemlidir.
- Taneleri küçülterek mukavemeti ve sertliği artırır.
- Sertleşebilirliği artırır.
- Kuvvetli karbür ve nitrür yapıcıdır.
- Çeliklerde nirojeni bağlama görevini üstlenir. (bor ilave edilmiş çeliklerde boru nitrojenden korur.
- Aynı zamanda kuvvetli bir deoksidandır.
- Kükürtle birleşerek titanyum sülfitleri oluşturur.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## kalsiyum

- Çeliklere sülfid kalıntılarının şekil kontrolü için ilave edilir. (kükürt ile birleşerek yuvarlak deforme edilemez sülfidler oluşturur.)
- Kuvvetli bir deoksidandır.
- Kalsiyum oksit yapar ve kalsiyum alüminat kalıntıları oluşturur.
- Tokluğu geliştirir; şekil alabilirliği ve işlenebilirliği artırır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## zirkonyum

- Çeliğe sülfid kalıntılarının şekil kontrolü için ilave edilir. (yuvarlak, deforme edilemez zirkonyum sülfidler oluşturur!)
- Kuvvetli bir deoksidandır.
- Zirkonyum oksit oluşturur.
- Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır.



# Çeliklerde alaşım elementleri

## bor

- İşlenebilirliği ve şekillenebilirliği azaltmadan sertleşebilirliği artırır.
- Diğer elementlerin sertleşme kabiliyetini arttırmasına yardımcı olur.
- Nötronlara geçirimsizliği sayesinde nükleer reaktör yapısal uygulamalarına aday çeliklere ilave edilir.

## bizmut

- Çeliklerde işlenebilirliği arttırır.
- Kurşuna benzer etkisi vardır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## azot

- Bazı mikro alaşımlı çeliklerde mukavemet arttırmak ve tane boyutu kontrolünde faydalı olan nitrürleri oluşturmak için kullanılır.

## magnezyum

- Dökme demirlerde grafit nodülleri oluşturmak için kullanılır.

## selenyum

- Çeliklerde işlenebilirliği artırır.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## seryum

- Çeliklere sülfid kalıntı kontrolü için ilave edilir. Yuvarlak, deforme edilemez seryum sülfid kalıntıları yapar.
- Kuvvetli bir deoksidandır.
- Yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı çeliklerde tokluğu arttırır.
- Dökme demirlerde grafit morfolojisini değiştirir.

# Çeliklerde alaşım elementleri

## kurşun (Pb)

- Çeliklerde çözünmez.
- İşlenebilirliği arttırır.
- Sıvı metal gevrekliğine neden olur.

## telüryum

- Çeliklerde işlenebilirliği arttırır.
- Şekil verilebilirlik iyileşir.
- Tokluk artar.

# Kalıntı elementler



- Çelik üretiminde bazı elementler metalik yapıda kalır.
- Bunlar olumsuz etkileri nedeniyle istenmeyen fakat tamamen giderilemeyen safsızlıklardır.
- Bu elementlerin başlıcaları: oksijen, hidrojen, antimon, arsenik ve kalaydır.

# Kalıntı elementler

Kükürt, Fosfor, Kalay, Arsenik ve antimon tane sınırlarına segregasyon olarak taneler arasındaki bağı zayıflatıyorlar. Çelik bu yüzden gevrek hale geliyor.

Bu sorun hemen değilse bile bir temperleme işleminden sonra ortaya çıkabilir.

Bu şekilde ortaya çıkan gevrekliğe temper gevrekliği deniyor.



# Çeliklerde empüriteler

## oksijen

- Mn, Si, Al, Ti vb elementlerle birleşerek oksit kalıntıları oluşturur.
- Bu şekilde tokluk ve yorulma direncini düşürür.
- Çeliklerde sıvı aşamada alüminyum ve silis ilavesi ile deoksidasyon yapılarak kontrol edilir.
- Veya vakum uygulaması ile de kontrol edilebilir.

# Çeliklerde empüriteler

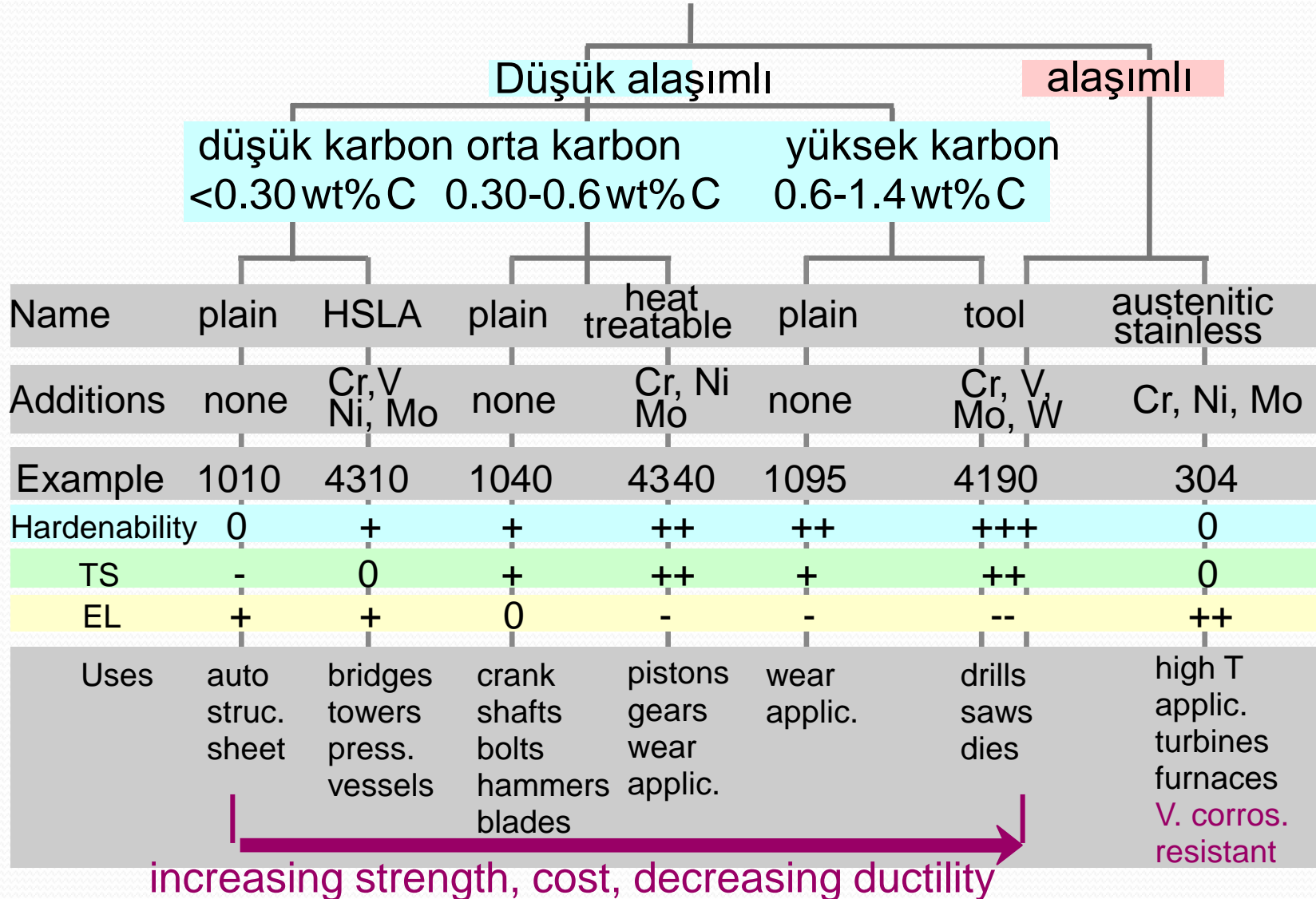
## hidrojen

- Çelik yapısına geçtiğinde çatlak oluşmasına neden olur.
- Çeliklerde vakum gaz giderme pratiği ile kontrol edilir.
- Ostenit-ferrit dönüşümünden sonra yavaş soğutma uygulaması da hidrojen sorunlarının kontrolü için faydalıdır.

## Kalay, Antimon, Arsenik

- Temper gevrekliğine neden olur.

# Çeliklerin sınıflandırılması



# Karbon çelikleri

- En ucuz, en çok kullanılan çelik grubu.
- Karbon oranı arttıkça ısıl işlemde sonra sertlik, mukavemet ve aşınma direnci de artıyor!
- Karbon miktarına göre sınıflama

**düşük karbonlu çelikler:  $0.05 \leq C \leq 0.30$  ağı%**

**orta karbonlu çelikler :  $0.30 \leq C \leq 0.60$  ağı%**

**yüksek karbonlu çelikler:  $0.60 \leq C$**

# Karbon çelikleri

Karbon çeliklerinde bulunan diğer alaşım elementleri:

Mn < 2.0 ağı%

S < 0.35 ağı%

P < 0.60 ağı%

Si < 0.35 ağı%

diğer elementler üzerinde kontrol uygulanmamakla birlikte genellikle ağı% 2'den daha az miktarlarda bulunurlar.

# Düşük karbonlu çelikler

- yumuşak «mild» çelikler!
- en yaygın, en çok üretilen, en ucuz çelik
- mikroyapı tipik olarak ferrit + perlit
- $Mn < a\grave{g} \%0.4$
- düşük mukavemet ve sertlik değerlerine sahip fakat sünek-tok ve şekil vermek kolay!
- Sertlik ve mukavemet soğuk deformasyonla!
- Tipik değerler: akma: 275 MPa; çekme: 415-550 MPa, uzama: %25



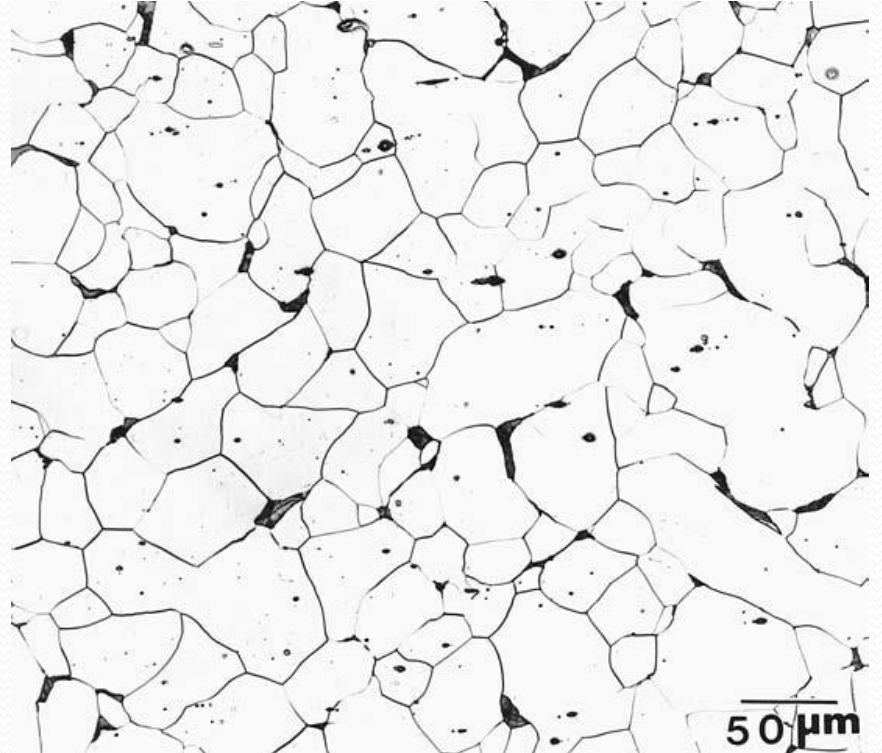
# Düşük karbonlu çelikler

- Kaynaklanabilirlik iyi!
- Isıl işlem uygulanmaz: ısıl işleme martensit oluşturmak ve bu şekilde sertlik arttırmak imkansız!
- gerektiğinde yüzey sertliği karbürleme ile...!  
(böylece sünek-tok bir taban + sert bir yüzey kombinasyonu ve ekonomik!)

# Düşük karbonlu çelik mikroyapısı

Düşük karbonlu AISI/SAE 1010 çeliğinde açık renkli ferrit taneleri ve aralarda koyu renkli perlit kümeleri

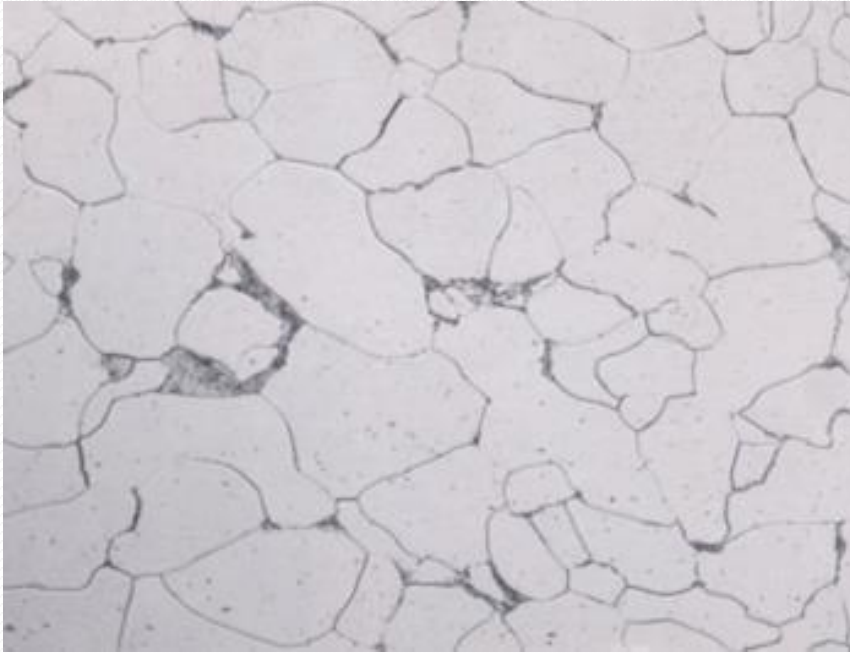
Mikroyapı  
bileşenleri:  
Ötektoid altı  
ferrit  
+ perlit



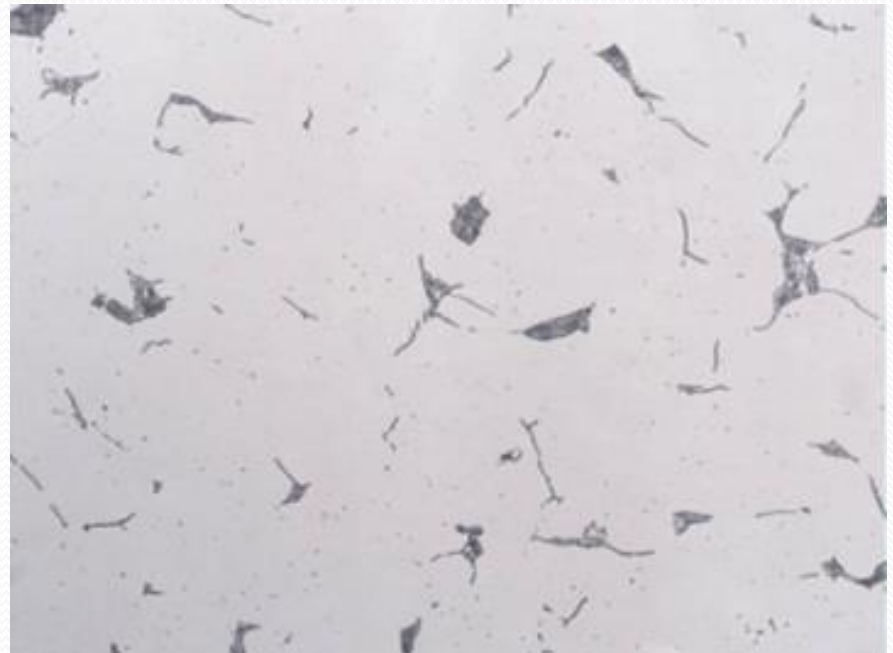
# Düşük karbonlu çelik mikroyapısı

1008 karbon çeliği

2% Nital



% 4 Pikral



Pikral ince sementit partiküllerini ve perlit kümelerini gösteriyor. Nital ferrit tane sınırlarını ve perlit kümelerini gösteriyor fakat özellikle tane sınırlarındaki sementit partikülleri ayırt edilemiyor. 500X.

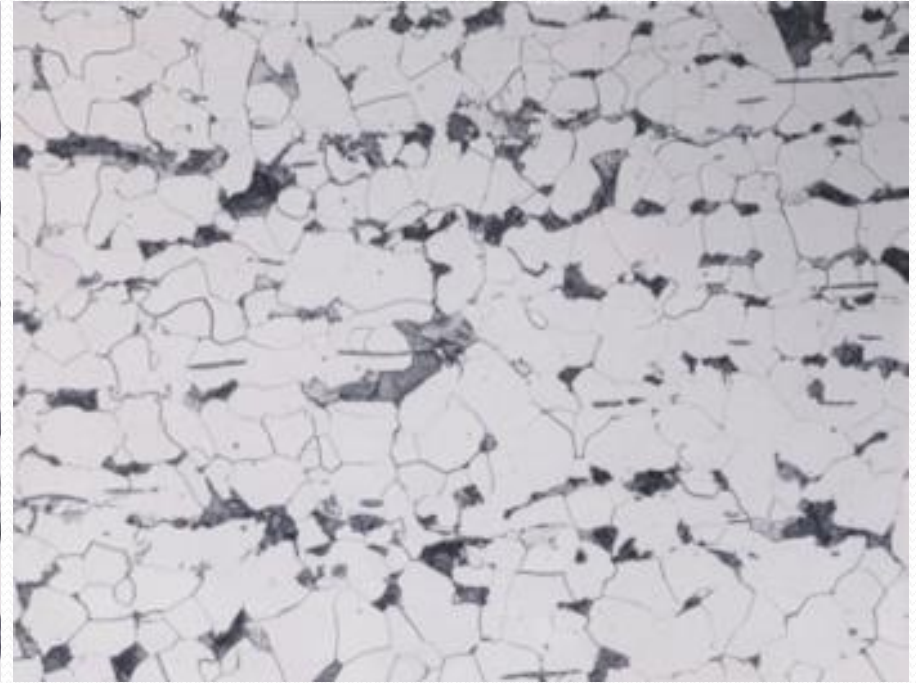
# Düşük karbonlu çelik mikroyapısı

Sıcak haddelenmiş 1010 karbon çeliğinin mikroyapısı

% 4 Pikral



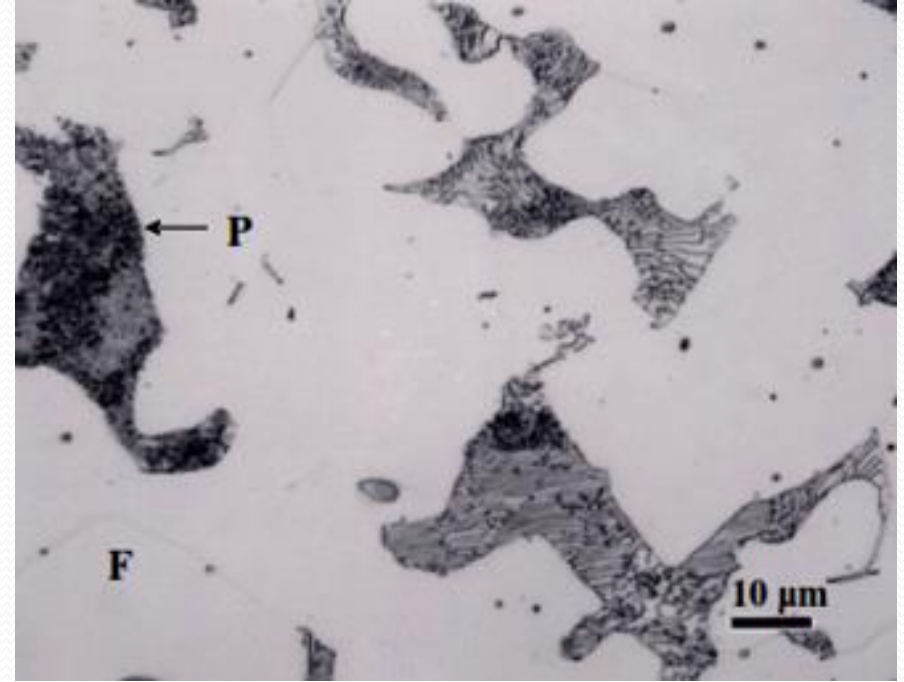
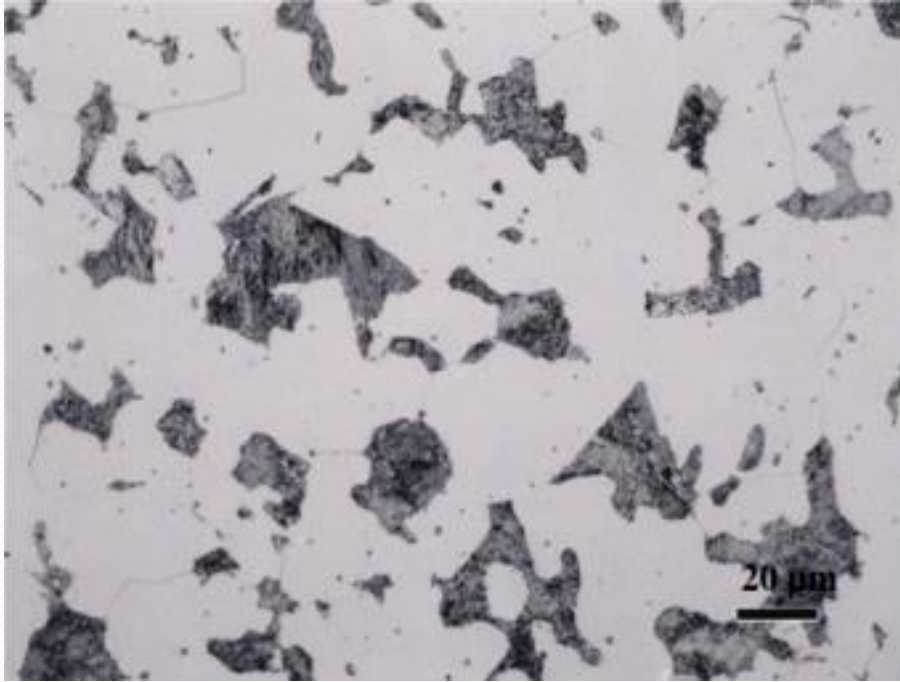
2% Nital



**Pikral çözeltisi sementit ve perliti gösteriyor fakat ferrit tane sınırlarını açığa çıkarmıyor. Nital ile ferrit tane sınırları ve perlit görülüyor fakat ince sementit partikülleri zor görünüyor. 500X.**

# Düşük karbonlu çelik mikroyapısı

1018 karbon çeliği; 900 °C'den fırında soğutulmuş!



4% pikral ile dağlanmış. Sertlik 117 HV.

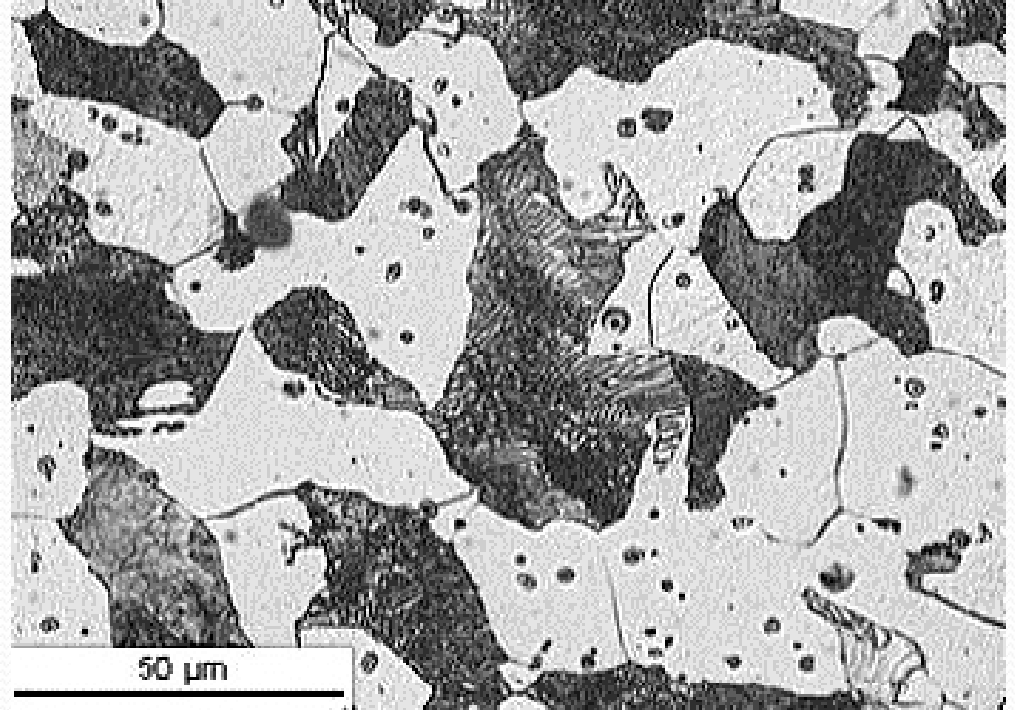


# düşük karbonlu çelik mikroyapısı

$C > 0.20$  ağı%: Ferrit + perlit

Karbon miktarı bir miktar daha yüksek olduğu için perlit miktarı fazla.

Beyaz ferrit taneleri içindeki noktalar oksit ve sülfid gibi metalik olmayan kalıntılar



0.23 C / 0.25 Si / 0.40 Mn



# Düşük karbonlu çelikler ( $C < 0.20$ )

1010/1018/1020 otomotiv ve beyaz eşya sektöründe kullanılır. Levhalara basit eğme ve şekillendirme uygulandığı için bu çelikler tercih edilir.



# düşük karbonlu çelikler ( $C < 0.2$ )



Boru ve boru hatları  
Yapısal profiller





# düşük karbonlu çelikler ( $C < 0.2$ )



İnşaat, gemi ve otomotiv sektöründe yapısal levha ve profil

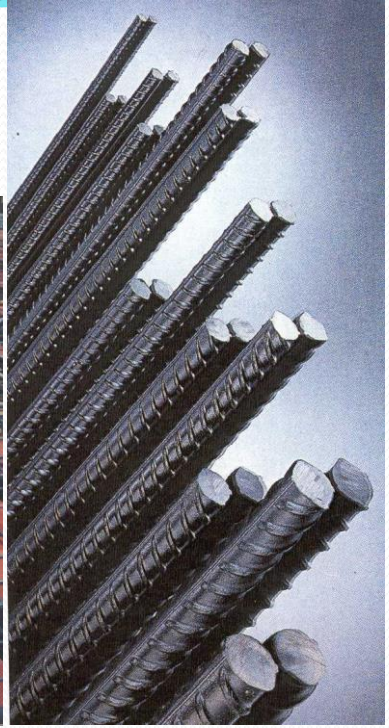
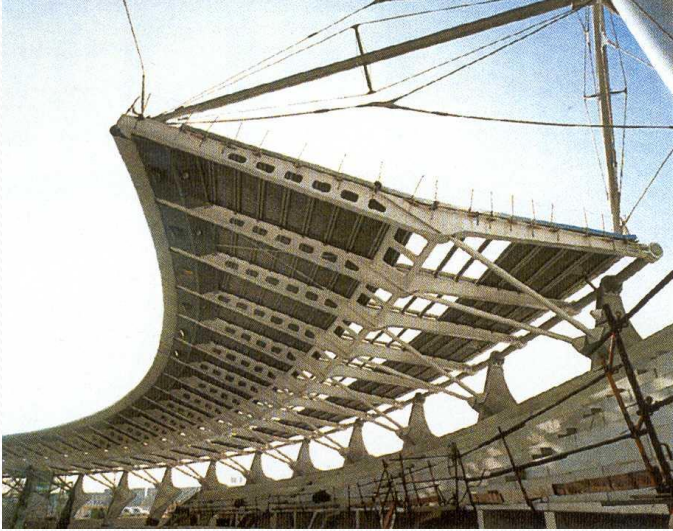
# düşük karbonlu çelikler (C<0.2)

İnşaat sektörü  
Köprü ve bina  
profilleri





# düşük karbonlu çelikler



# Düşük karbonlu çelikler (C<0.2)

Perçin  
Vida  
Çivi  
somun





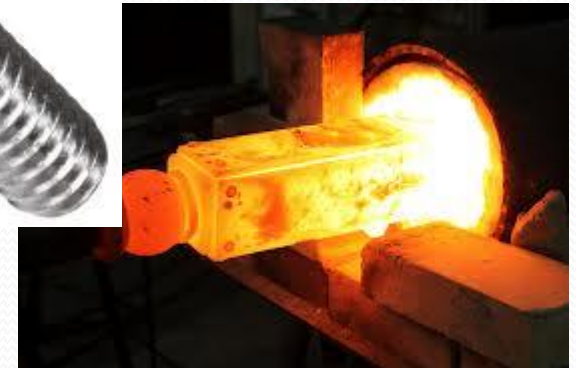
# Düşük karbonlu çelikler (C>0.2)



Dişli,  
şaft-mil

Cıvata

Dövme parça



# Düşük karbonlu çelikler (C>0.2)



Köprü  
İnşaat sektörü  
Kaynaklı konstrüksiyonlar



# düşük karbonlu çelikler

Düşük karbonlu “karbürsüz” beynitik ray çelikleri





# Orta karbonlu elikler

- C: % 0.30-0.60
- Mn: % 0.6-1.65
- dayanıklı ve sünek
- aşınma direnci yüksek
- akma: 300-600 MPa; ekme: 400-800 MPa, uzama: %25
- Mn, Cr, Ni ve Mo ilavesi ısıl işleme sertleşmeyi arttırır ve çeşitli mukavemet-süneklilik değerleri elde edilir.
- Titizlikle uygulandığında kaynaklanabilirlikleri iyidir.

# Orta karbonlu elikler

- Sertleşmeleri sınırlıdır fakat ısıı işlem uygulanır.
- Sadece ince kesitler ısıı işlem görebilir ve hızlı soğutma için su verme titizlikle uygulanmalıdır.
- su verme ve temperleme ile mekanik özellikler geliştirilir; temperlenmiş halde kullanılırlar.
- Isıl işlem uygulandığında düşük karbonlu çeliklerden daha mukavemetlidirler.
- yüksek mukavemet ile birlikte sünekliliğin de önemli olduğu uygulamalar için seçilirler.

# Orta karbonlu elik mikroyapısı

Orta karbonlu AISI/SAE 1040 eliğinde beyaz renkli ferrit taneleri ve koyu renkli perlit kümeleri

Mikroyapı  
bileşenleri:  
Ötektoid altı  
ferrit  
+  
daha fazla perlit





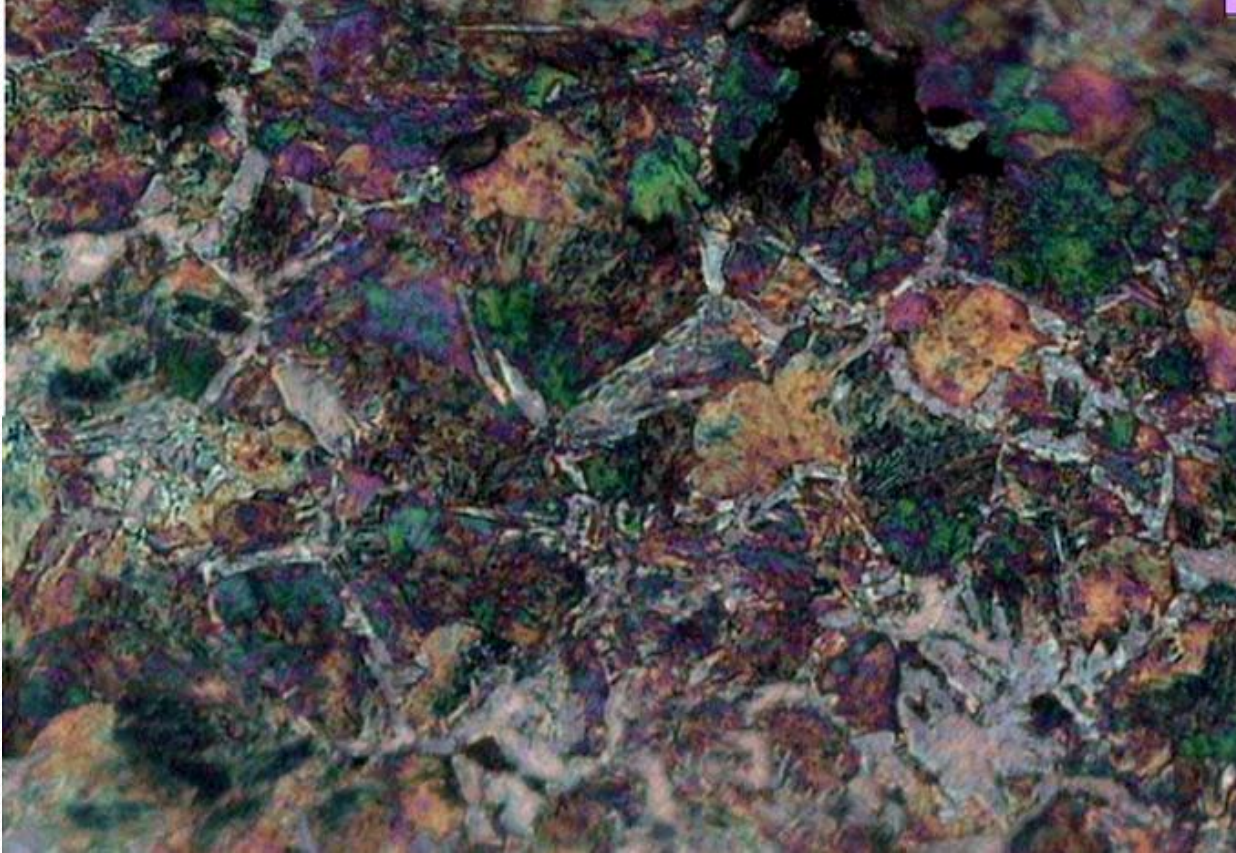
# orta karbonlu elik mikroyapısı



0-5-0.6 C/0.15-0.35 Si/0.60-0.90Mn

Mikroyapı: perlit ve ferrit (kahverengi renkli alanlar)

# orta karbonlu elik mikroyapısı

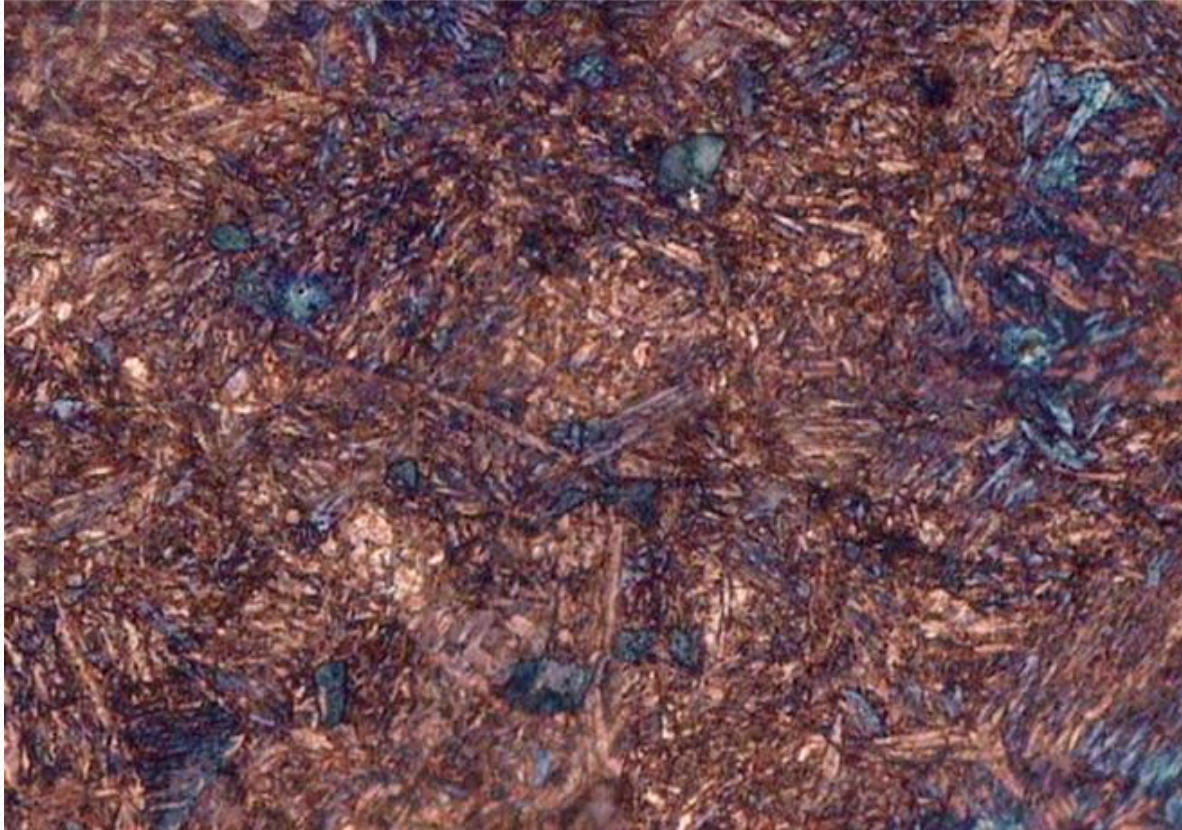


0-5-0.6 C/0.15-0.35 Si/0.60-0.90Mn

Mikroyapı martensit ve ferritden oluşuyor.



# orta karbonlu elik mikroyapısı



0-5-0.6 C/0.15-0.35 Si/0.60-0.90 Mn  
Mikroyapı: temperlenmiş martensit.

# orta karbonlu elikler (C:0.3-0.4)



Biyel kolu  
krank kolu ve  
muylusu  
perno  
Aks-mil  
Dövme parça-alet





# orta karbonlu elikler (C:0.4-0.5)



Dişliler  
Oto aksı  
Krank mili  
Ray



Buhar kazanı  
Matkap ucu  
tornavida



# orta karbonlu elikler (C:0.5-0.6)



Çekiç  
balta vb  
Darbeli takım  
alet





# Orta karbonlu elikler



Tren vagonlarında aks ve tekerler orta karbonlu elikten

Orta karbonlu çelikten imal edilmiş borular



# Orta karbonlu elikler

Ağır iş makineleri  
Madencilik donanımları  
Vinç



# Orta karbonlu çelikler





# Orta karbonlu elikler

- Snekligi sayesinde tabaka haline haddelenmesi ve diş açılması gibi operasyonlar mukavemet kaybı yaşanmadan mümkündür.
- Orta karbonlu çeliklerin snekligi bu çeliklerin basınçlı kaplarda gövde malzemesi olarak kullanılacak tabaka levha haline getirilmesine (hadde) imkan tanır.
- Ancak Orta karbonlu çelikler martensitik yapıları ve buna bağlı gevreklikleri ve çatlama riskleri nedeniyle soğuk sıvı ve gaz taşıyan tankların imalatında kullanılamazlar. burada paslanmaz çelikler tercih edilir.

# Yüksek karbonlu çelikler

- Karbon miktarı:  $0.6 \leq C \leq 1.0$  wt%
- Karbon çelikleri arasında en sert, en mukavemetli fakat sünekliği en düşük çeliklerdir.
- Yüksek karbon sayesinde ısıtılma işlemi çok yüksek sertlik değerlerine ulaşılabilir.  
Soğuk deformasyon mukavemeti daha da artırır.
- yüksek aşınma direnci

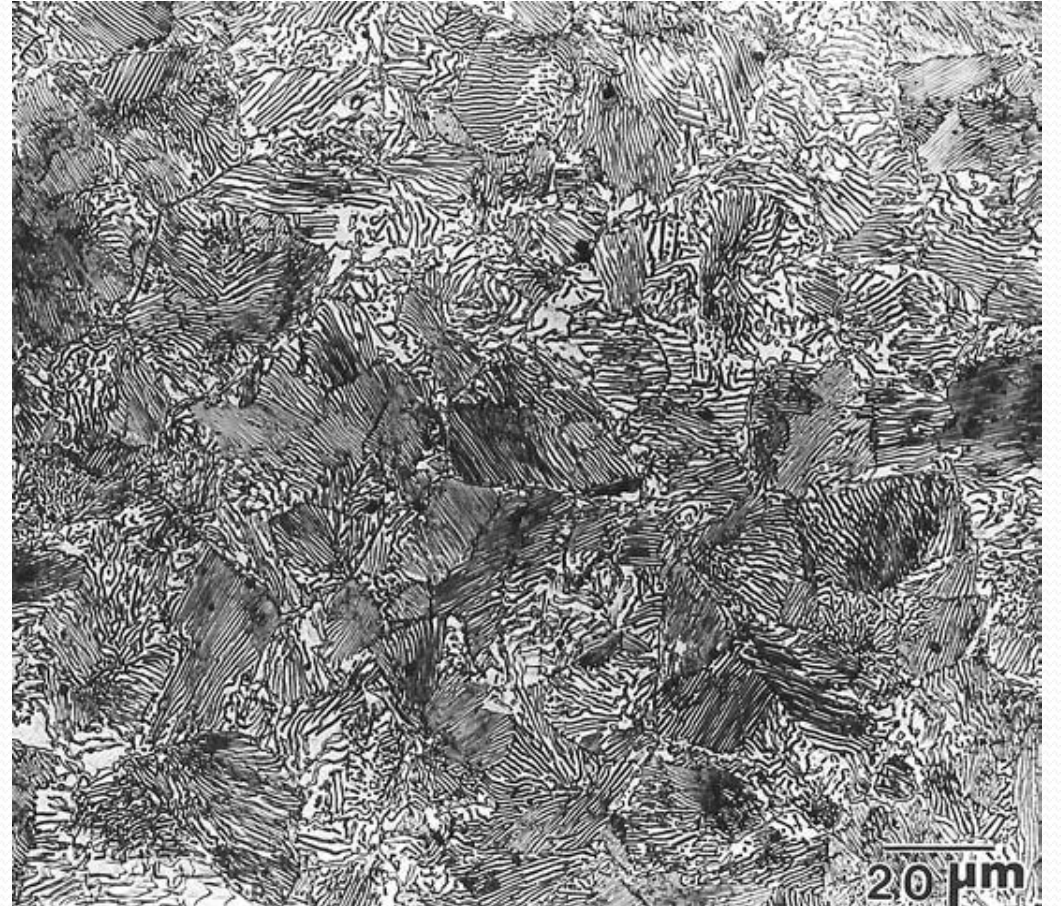


# yüksek karbonlu çelikler

- yay ve yüksek mukavemetli çelik kord ve kabloların üretiminde kullanılır.
- Hemen her zaman ve özellikle aşınma direnci ve keskin kesme kenarlarının korunması gerektiği durumlarda sertleştirilmiş ve temperlenmiş halde kullanılırlar.
- Çok yüksek C içeriği yüzünden kaynak uygulanamaz.

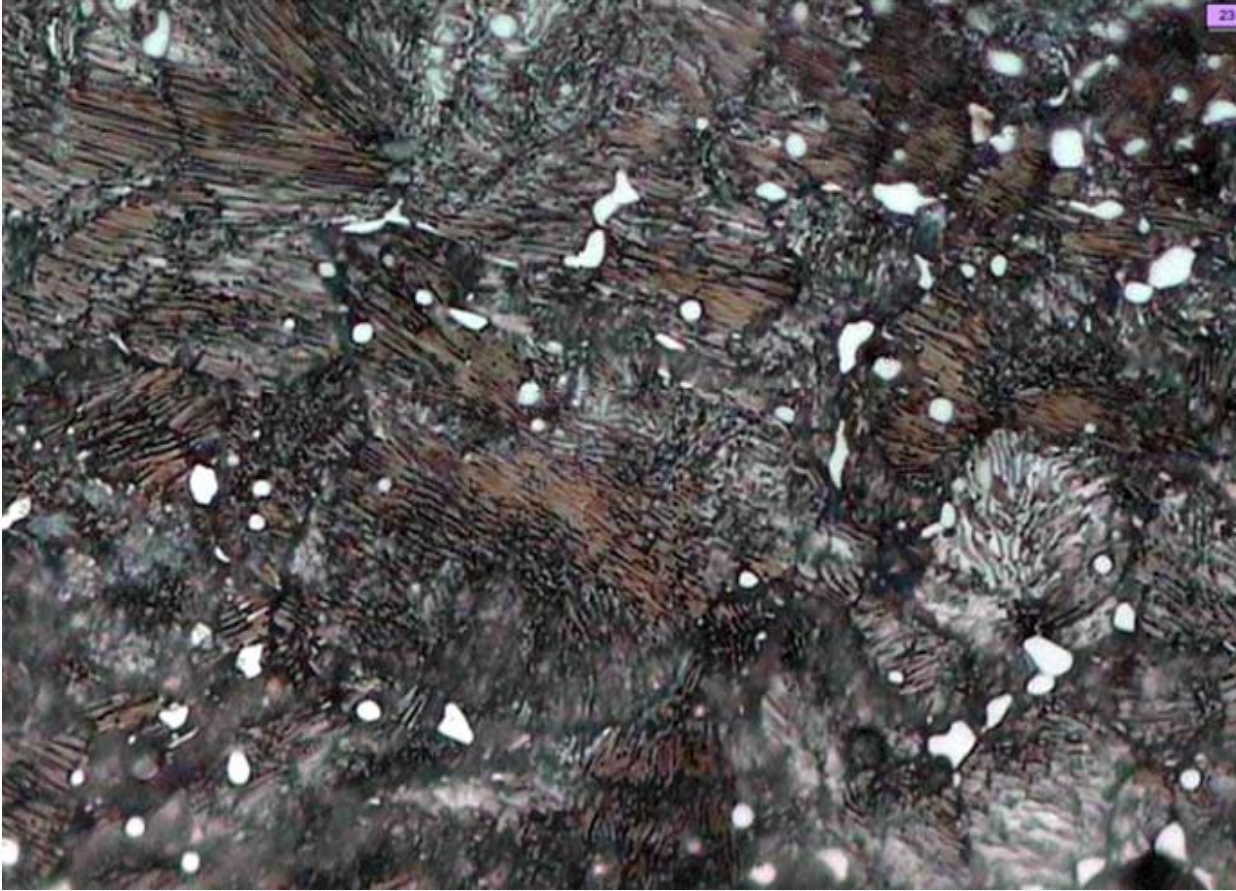
# Yüksek karbonlu çelik mikroyapısı

Yüksek karbonlu AISI/SAE 1095 çeliğinde çok ince perlit yapılı matris (ferrit ve sementit kombinasyonu) ile tane sınırlarında yerleşmiş sementit bileşimi





# yüksek karbonlu çelik mikroyapısı



0-9-1.3 C/0.15-0.35 Si/0.30-0.50Mn

Perlitik matris ve beyaz alanlar sementit.

# yüksek karbonlu çelikler

Tipik uygulama alanları:

Kesme takımları

Kalıp çelikleri

sert ve aşınmaya dirençli karbürler ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{V}_4\text{C}_3$ ,  
and WC) için Cr, V, W ve Mo gibi karbür yapıcılar

Gergili beton çelikleri

Dövme çelikleri

Yay çelikleri

Ray çelikleri

Taş işçiliği çivileri

Lastik kord çelikleri (yüksek mukavemetli tel)

bıçak, jilet, testere

# yüksek karbonlu çelikler



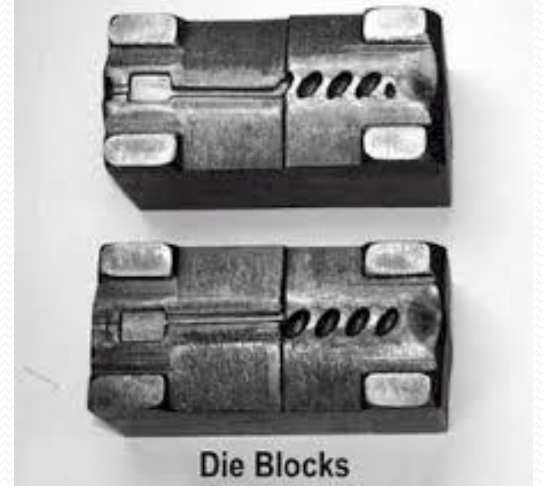


# yüksek karbonlu çelikler



# yüksek karbonlu çelikler 0.6-0.7

Pres kalıbı  
Dövme kalıbı  
Tornavida  
Sofra bıçağı



# yüksek karbonlu çelikler 0.7-0.8

Zımba

Keski

Çekiç

Kesme aletleri

Giyotin bıçağı

Makas

İngiliz anahtarı



# yüksek karbonlu çelikler 0.7-0.8

Mengene  
Testere  
Levye  
Torna ucu  
Perçin setleri  
anvil





# yüksek karbonlu çelikler 0.8-0.9

Kaya kırıcılar

Balta

Yay

Tahta işleme takımları

Tel kalıpları

Dövme kalıpları

Giyotin bıçakları





# yüksek karbonlu çelikler 1.2-1.3

Torna kalemleri  
Matkap uçları



# yüksek karbonlu çelikler 1.3-1.4

Matkap uçları

Jilet/traş bıçağı

Engravers tool

Ameliyat aletleri

Muhtelif bıçak

Delme aleti

Tel çekme kalıbı

metal işleme torna

kalemleri



# yüksek karbonlu çelikler 1.4-1.5

Jilet

Ustura

Çelik kesme bıçakları

Tel çekme kalıbı

Kıyma makine bıçakları



# Karbon çeliği gösterilişleri

SAE-AISI: 4 haneli kodlama: **AISI XXXX**

İlk hane ana alaşım grubunu gösteriyor.

İkinci hane alt alaşım grubunu gösterir.

10 -- düz karbon çelikleri

11 -- tekrar sülfürlenmiş karbon çeliği

12-- tekrar sülfürlenmiş ve fosforlanmış çelik

13-- Mn karbon çeliği

15-- yüksek Mn'lı karbonlu çelikler

Son 2 hane karbon miktarını gösterir.

SAE 1005-1095: düz karbon çelikleri

C miktarı ağ% 0.05-0.95 arasında!

# Karbon çeliği gösterilişleri

AISI: (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) kodları önemini giderek kaybediyor.

SAE : (Otomotiv Mühendisleri Birliği) daha yaygın!

UNS: Unified numbering system yaygınlaşıyor.

UNS G 10200 : SAE 1020



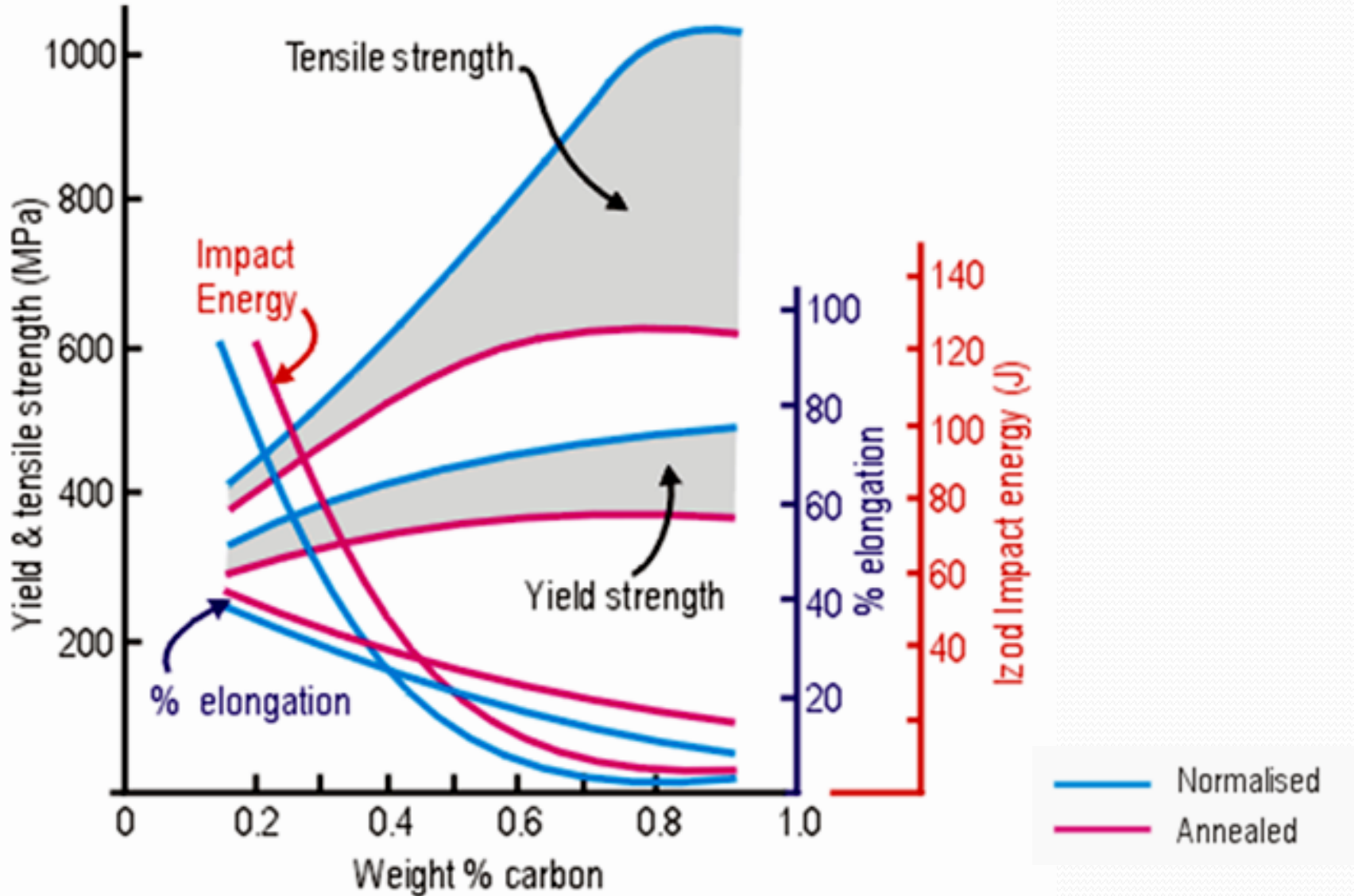
# Karbonun etkisi

Normalize edilmiş (havada soğutulmuş) çelik:

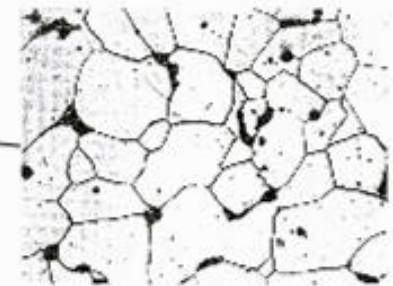
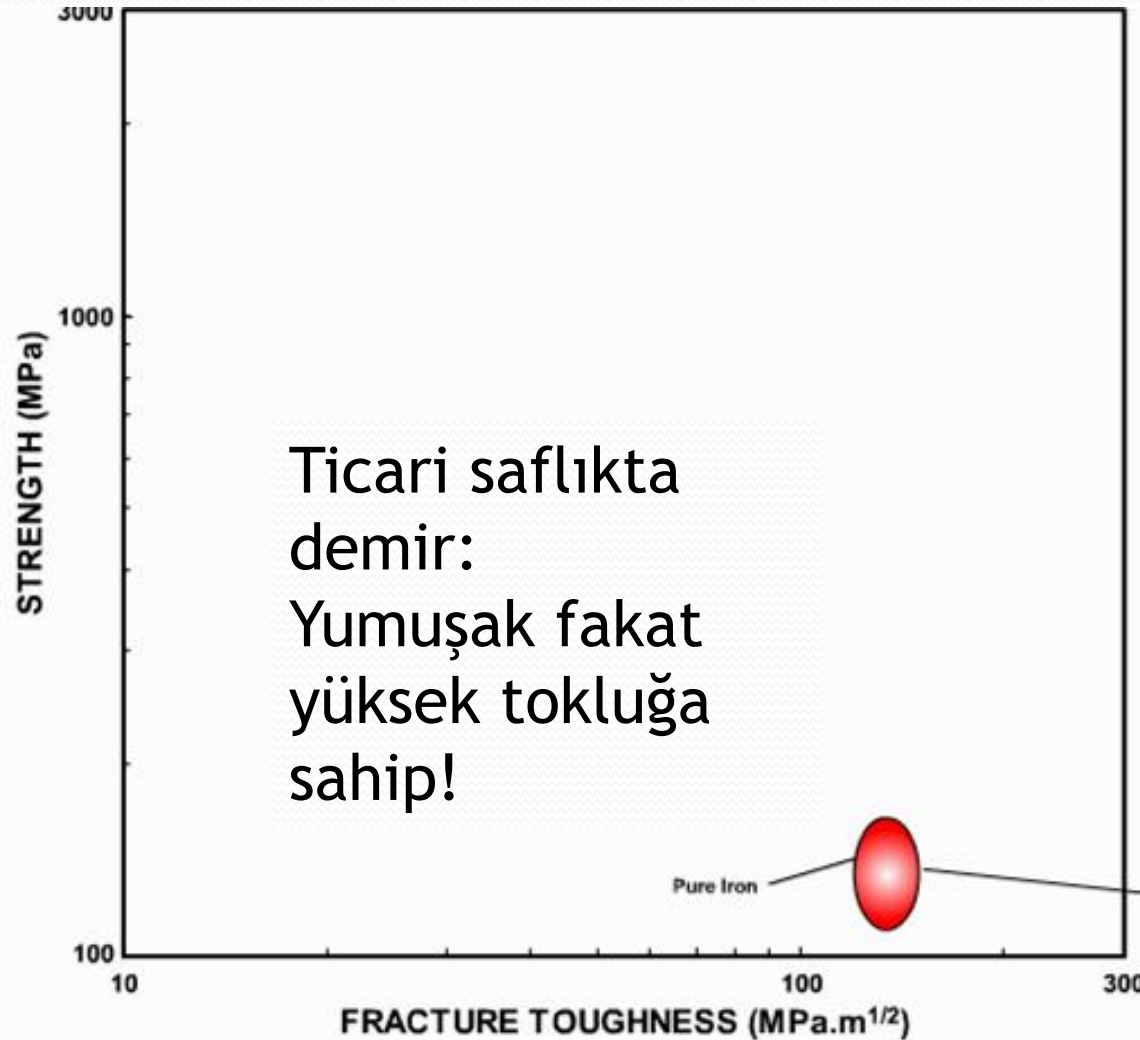
Karbon miktarını arttırmak demir karbür (sementit/ $Fe_3C$ ) oranını arttırır. Demir karbür sertleştirici bir faz olduğuiçin bu şekilde mukavemet de artar.

Ancak ferrit-sementit arayüzeyleri çatlak çekirdeklenmesi için ideal ara yüzeylerdir. Bu nedenle demir karbür oranının artması ile mukavemet artarken kırılma tokluğu düşer.

# Karbonun etkisi

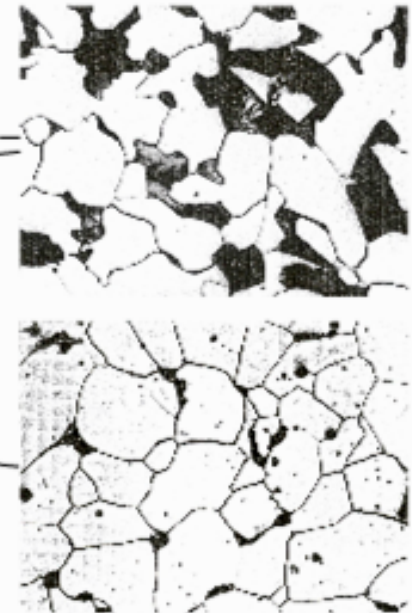
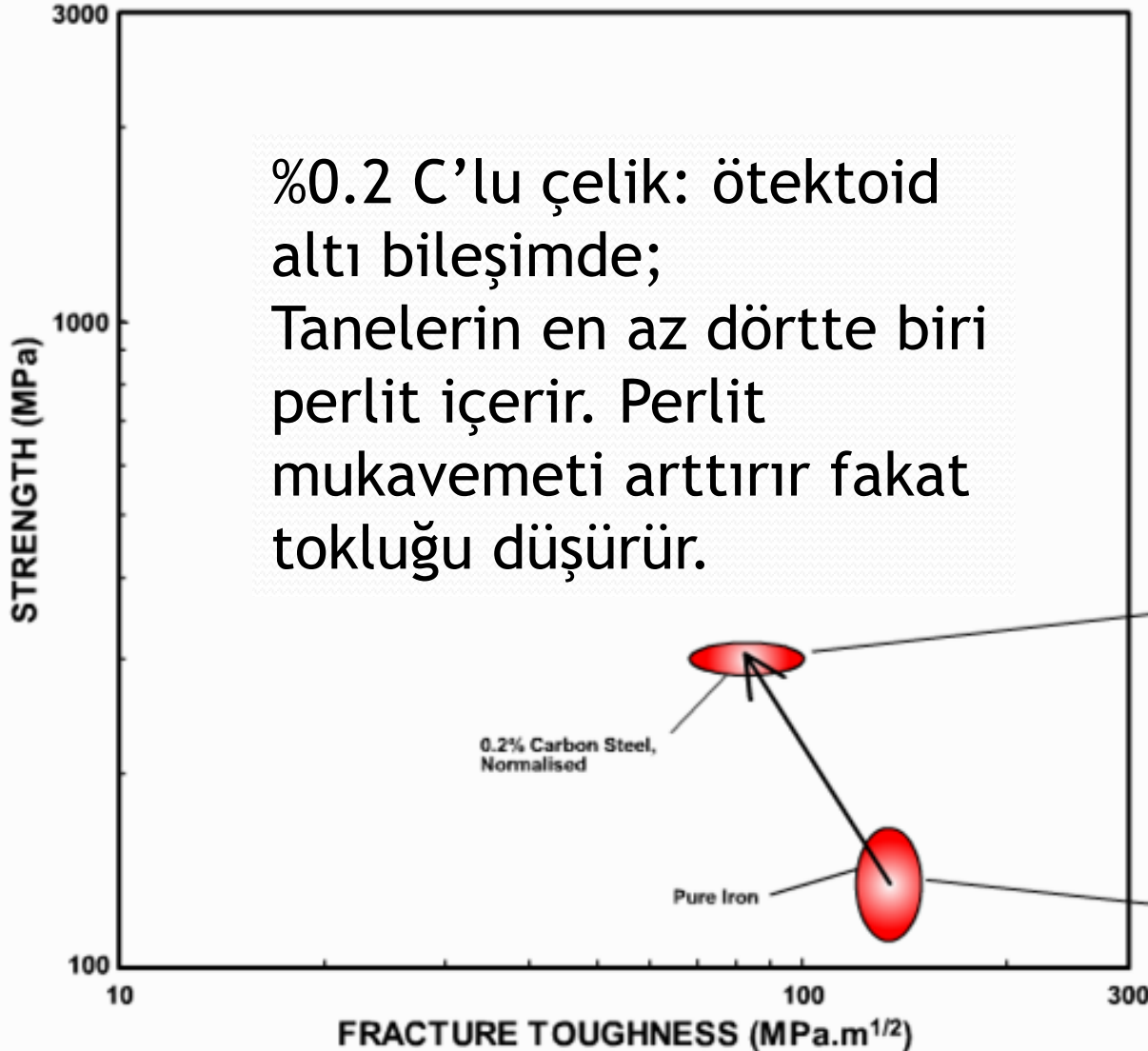


# Karbonun etkisi



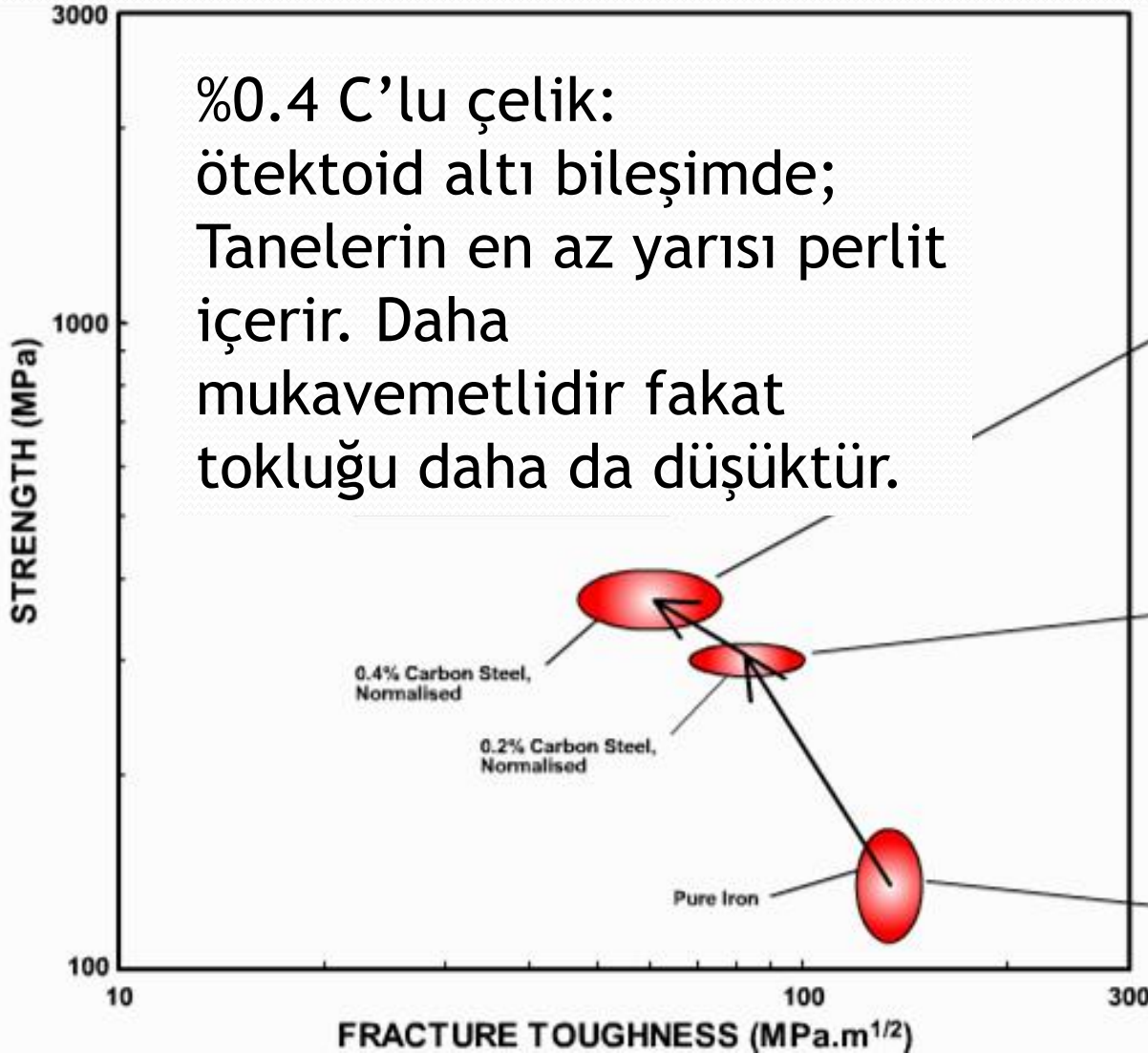
# Karbonun etkisi

%0.2 C'lu çelik: ötektoid altı bileşimde;  
Tanelerin en az dörtte biri perlit içerir. Perlit mukavemeti artırır fakat tokluğu düşürür.



# Karbonun etkisi

%0.4 C'lu çelik:  
ötektoid altı bileşimde;  
Tanelerin en az yarısı perlit  
içerir. Daha  
mukavemetlidir fakat  
tokluğu daha da düşüktür.

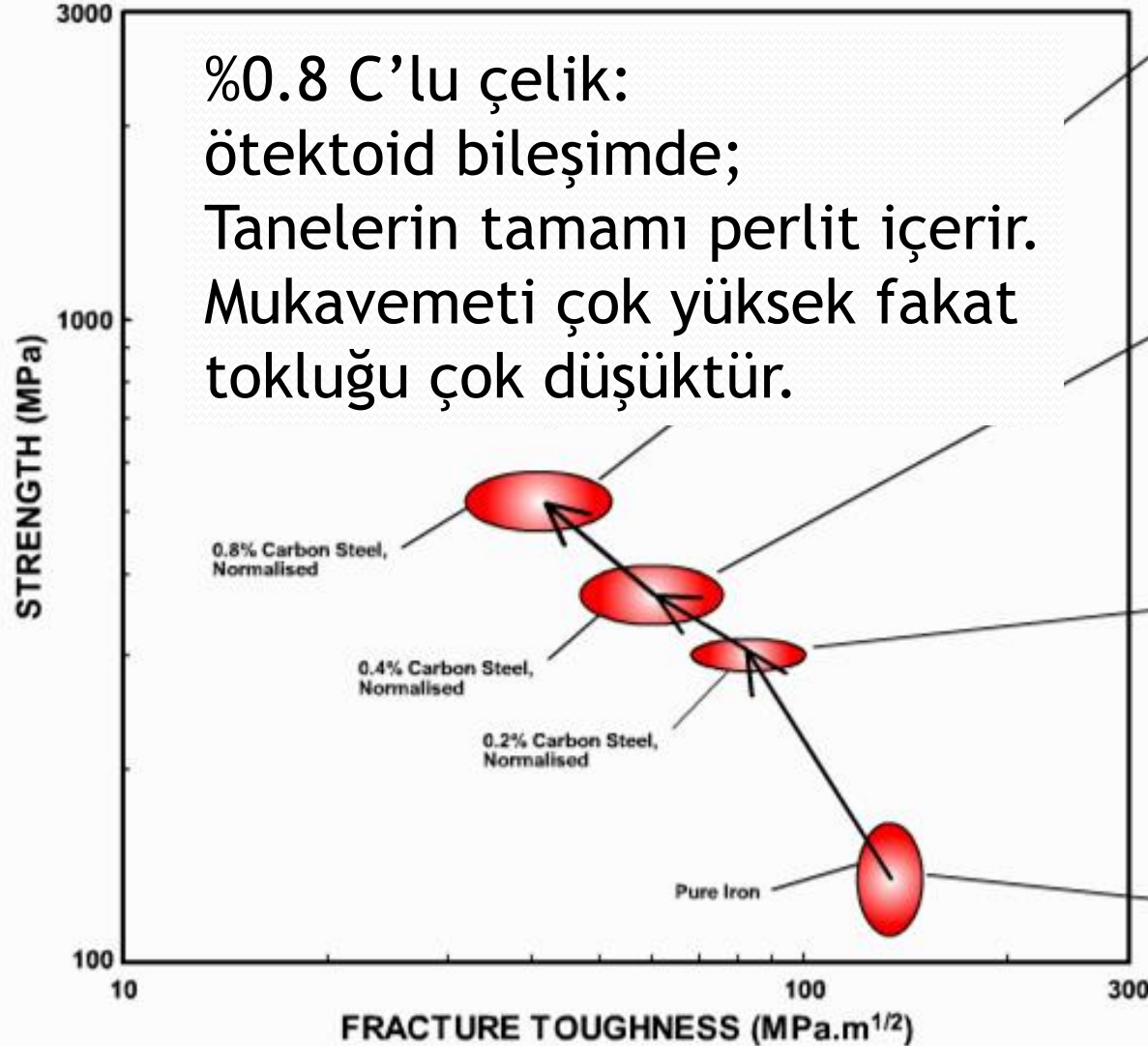




# Karbonun etkisi



## STRENGTH - FRACTURE TOUGHNESS



# Karbonlu elikler-zet

## Düşük karbon

- Şekillendirme ve kaynak işi kolay
- Sertleştirme soğuk deformasyonla
- Yapı: ferrit + perlit

## Orta karbon

- Su verme ile Beynit ve martensit oluşur!
- Mukavemet ve süneklik arasında denge gözetilmeli

## Yüksek karbon

- Şekil vermek zor; tokluk düşük!
- Sertlik ve aşınma direnci yüksek!
- Su verme ile kolayca martensit oluşur fakat gevrek!

## Diğer mühendislik malzemelerine göre

- Yüksek mukavemet, yeterli tokluk, geri kazanılabilir ve ucuz
- Kolayca paslanır, yüzeyin korunması gerekir!

# Karbonlu çelikler-maliyet

## Cost comparison

Metal	Price (US\$/tonne)	Price relative to carbon steel
Carbon steel	225	1
Aluminum	1000	4
Stainless steel	650	3
Copper	2300	10
Zinc	998	4
Nickel	6200	28
Magnesium	2600	12
Tin	5400	25
Titanium	6612	30

# Arayersiz (IF) elikler

Eser miktarda arayer elementleri (karbon ve azot) ile üretilen elikler.

Kalan arayer atomlarını bağlamak için az miktarda Ti ve Nb ilave ediliyor.

Arayer atomları olmadığı için bu çelikler çok yumuşak ve sünek.

Yaşlanma sertleşmesi göstermezler; fırınlama yapılamaz.

Arayer atomları olmadığı için şekillendirme sırasında akma noktası uzaması-Lüders bantları da oluşturmazlar.

# Arayersiz (IF) elikler

Karbon atomları ferrit matriste arayerlere kolayca yerleşirler.

Malzeme çok düşük miktarda karbon içeriyorsa (<50 ppm) arayerlerin büyük çoğunluğu boş kalacaktır.

Bu ferritik çelikler yüksek şekil alma kabiliyeti ve derin çekilebilirliği ile otomotiv panel uygulamaları için çok caziptir.

Bu kadar düşük karbon sıra dışı bir itina gerektirir. Sıvı elik vakuma konarak CO gaz giderme üzerinden karbonsuz ve azotsuz bırakılır.



# Arayersiz (IF) elikler

Otomobil gövde panel uygulamaları



# yumuşak elikler

Tasarımda kullanılacak malzemedede çekme dayanımı, aşınmaya karşı direnç, sıcaklığa duyarlılık, çekme veya uzamadan kaynaklanacak sorunlar söz konusu değilse kalitesiz yumuşak çelikler kullanılabilir. öp tenekesi, bahçe parmaklığı gibi kullanım yerlerinde aranacak özellik sadece korozyona karşı dayanıklılık ise bu gibi yerlerde düşük karbonlu elik kullanılması aynı zamanda malzemenin kolay kaynak yapılabilmesini, yumuşak olduğundan kolay şekil verilebilmesini ve böylece hem işçilikten hem malzeme maliyetinden tasarruf edilebilmesi sağlanmış olur.

# yumuşak çelikler

Düşük karbon çeliği olarak belirtilen bu çelikler içeriğinde %0.05-%0.15 arasında karbon içermekte olup SAE1010 standartlarında tanımlanmışlardır.



# otomotiv elikleri

Mukavemeti yüksek  
ekillenebilirliği yüksek  
hafif  
Koroyona dayanıklı  
Yüzey boya tutar- przly  
Kaynaklanabilirliği yeterli



olarak otomotiv endüstrisinde kullanılan sacların  
C% si genellikle 0.25% nin altında tutulur ve çekme  
muvemetini arttırmak için az miktarda alaşım  
kullanılır.

# otomotiv elikleri

Otomotive yönelik geliştirilen malzemeler genel olarak HSLA (High strength low alloy) olarak adlandırılır. Bunlardan 6 mm den ince saclar ASTM A1008 ve A1008M spesifikasyonları ile 6 mm den kalın plakalar ise ASTM A656 ve A656M spesifikasyonları ile tanımlanmış ve SAE standartlarında SAE 942X ile SAE 980X arasında derecelendirilerek yayınlanmışlardır.





# Kolay kaynak çelikleri

Çelikte karbon oranı ve kalınlık arttııa kaynak edilebilirlik zorlaşır ve ancak bir takım önlemler alınması ile gerekleēebilir. 20 mm den ince malzemelerde C% 0.25 den az ise herhangi bir nleme gerek kalmadan malzemeyi kaynak etmek mümkün olur. Bu tip çeliklere kolay kaynak çelikleri denir. Silolar, basıncısız kaplar, şaseler, genel amaçlı konstrüksiyonlar için kolay kaynak çelikleri seçilir. Kolay kaynak edilebilir çelikler için W.S.Nr: 1.0301 (C10), W.S.Nr: 1.0401 (C15), W.S.Nr: 1.1121 (Ck10) rnek olarak gösterilebilir.

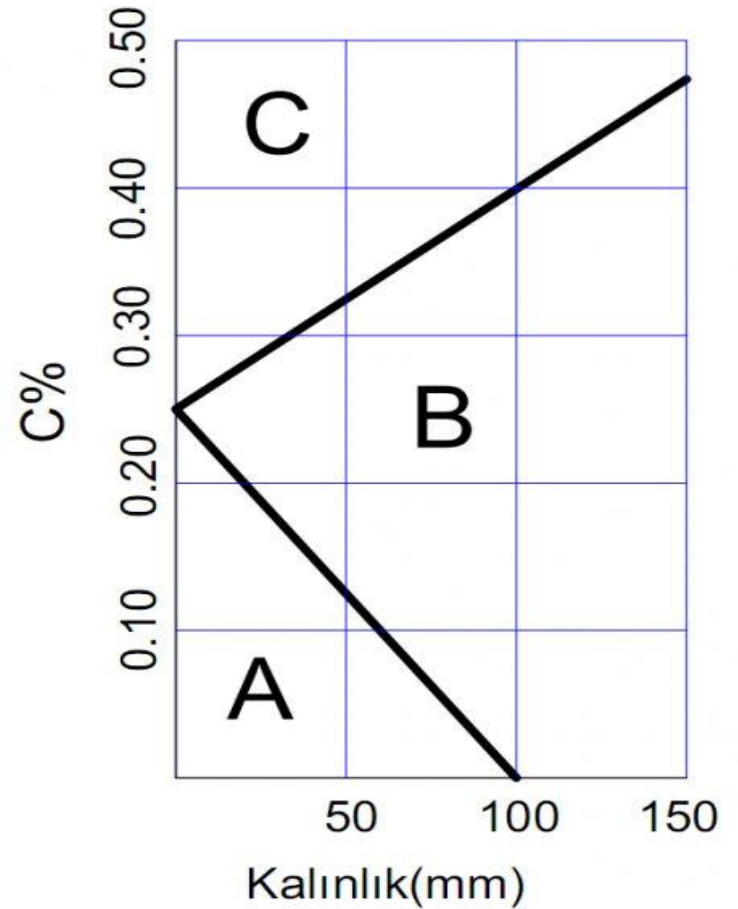
# Kolay kaynak elikleri

Bir malzemenin kalınlık- C% si değerleri

A:önlem alınmadan kaynak edilebilir demektir.

B: kaynaktan önce ön ısıtma yapılmalıdır.

C: kaynaktan önce ön ısıtma, kaynaktan sonra gerilim giderme tavlı yapılmalıdır.



# Kolay kaynak çelikleri

kaynak edilecek malzeme alaşımlı bir elik ise bu diyagramı kullanmak için önce eş değer karbon oranı (EC) bulunmalıdır.

Düz karbonlu eliklerde  $EC = \%(C + Mn/4 + Si/4)$

Düşük alaşımlı eliklerde  $EC = \%(C + Mn/6 + Cr/S + Mo/4)$

Düşük alaşımlı çeliğin kimyasal bileşenlerine göre hesaplanan EC değeri hangi düz karbonlu eliğin EC değerine yaklaşık olarak denk geliyorsa ilgili düşük alaşımlı elik için aynı EC değerindeki karbonlu elik için uygulanan kaynak yöntemi uygulanır.

# Karbon eşdeğeri

Karbon eşdeğeri (KE) =

$$\%C + 1/6 \%Mn + (1/5(\%Cr + \%Mo + \%V)) + (1/15(\%Ni + \%Cu))$$

**KE < 0.14**

mükemmel kaynaklanabilirlik

**0.14 < KE < 0.45**

martensit oluşma olasılığı daha fazla; ön ısıtma ve düşük hidrojenli elektrod gerekir.

**KE > 0.45**

kaynak çatlakları muhtemel; 100-400 °C aralığında ön ısıtma ve hidrojeniz elektrodlar gerekli!

# Yapı elikleri

275 MPa'dan daha yüksek akma dayanımına sahip karbon ve düşük alaşımlı çelikler aşığıdaki gibi de sınıflandırılırlar:

- Haddelenmiş karbon-mangan elikleri (13XX ve 15XX)
- Isıl işlemlı karbon elikleri\*
- Isıl işlemlı düşük alaşımlı elikler\*
- Haddelenmiş yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı (HSLA) elikler (mikroalaşımlı çelikler olarak da bilinirler!)



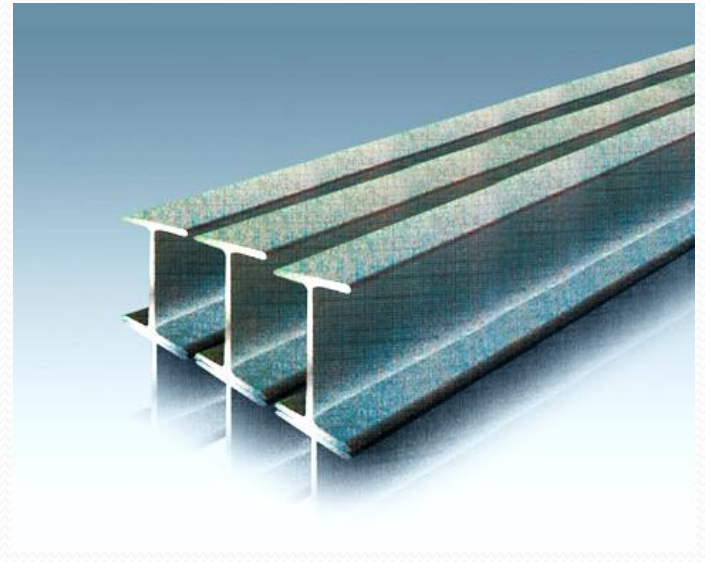
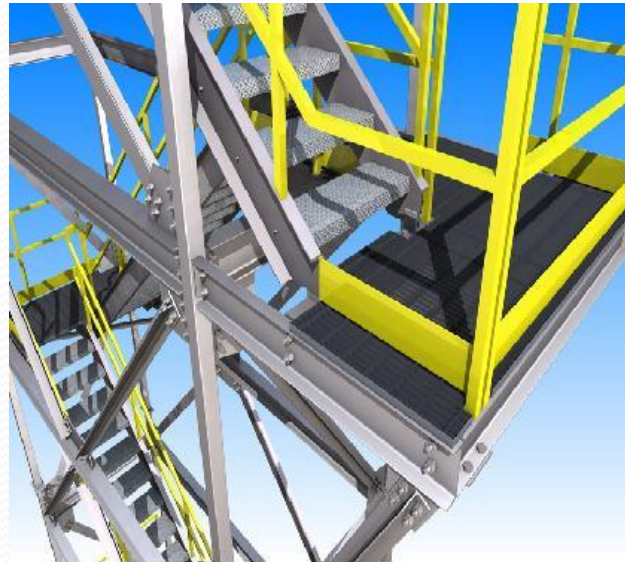
# yapı elikleri

Bir yapı çeliğinin belirtilen mukavemet değerleri sıcak veya soğuk haddeden geçerek almıŐ olduğu form için geçerlidir. EĞer Yapı eliği tornada veya frezede talaş kaldırılarak inceltilecek olursa ortaya çıkacak olan mukavemet değerleri katalogda belirtilen değerlerden çok daha dŐŐuk olur unkŐ yapı çeliklerinde i kısımlardaki mukavemet değerleri kabuktaki mukavemet değerlerinden çok daha dŐŐuktur.



# yapı elikleri

Bu nedenden yapı çeliklerine kesme ve delik delme işlemleri hariç talaş kaldırmalı işlemler ve ısıl işlemler uygulanamaz. Yapı elikleri temin edilmiş olduğu formda kesilir, bükölür, delinir ve kaynak edilebilir.



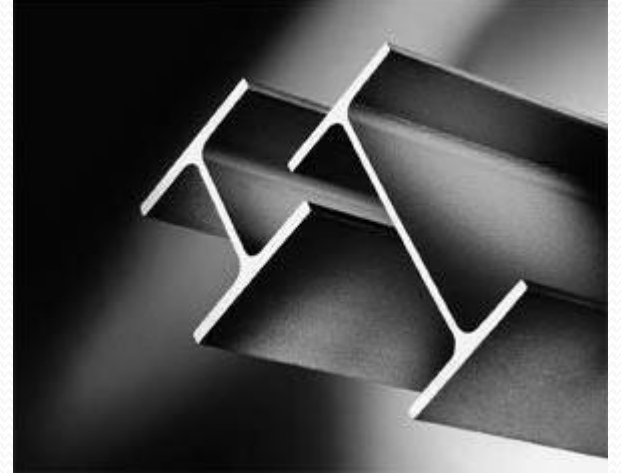
# yapı çelikler

elik üretilirken içinde bir miktar oksijen kalır. Üretim esnasında deoksidasyon yöntemi ile oksijenin giderilmesi gerekir.

U harfi: Deoksidasyon yapılmamış: Kaynar elik,  
R harfi: Deoksidasyon yapılmış: Durgun elik

Genellikle %0.25 den daha düşük karbonlu çelikler kaynar elik olarak üretilirler Kısa gösterimde,

# yapı çelikler



# imalat elikleri

Sementasyon elikleri

Karbonlama yöntemi ile kabuk sertleştirilebilir  
imalat elikleri

Nitrürleme yolu ile kabuk sertleştirilebilir  
imalat elikleri

Otomat elikleri



# sementasyon çelikleri

içeriğinde % 0.29 dan daha az Karbon olmasına rağmen karbonlama yöntemi ile yüzeydeki karbon oranı %1 e kadar arttırılabilen, daha sonra su verilerek yüzeyi 65 HRC değerine kadar sertleştirilebilen çeliklerdir.

yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir.

# sementasyon çelikleri

yüzeyde aynı sertlik değeri verecek yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına nazaran, Őu avantajları sağlar:

Sementasyon işlemi parça kısmen veya tamamen son Şeklini aldıktan sonra uygulandığı için, parçanın işlenmesi oldukça kolaydır.

Sementasyon işlemi sonrasında, çekirdek bölgesi yumuŐaklıęını koruyacağından, sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmalar azdır. Semente edilmiş çeliklerin iç kısımları kolayca işlenebilir.

# sementasyon çelikleri

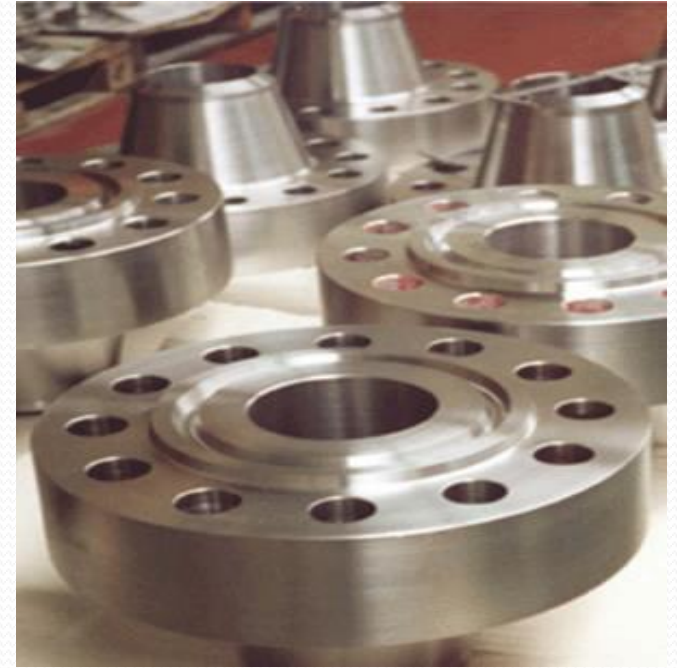
Sementasyon eliklen, yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur. Bu grup çeliklerin en önemli özelliği: Düşük karbon nedeni ile ‘tokluk’ özelliğidir.

Bu elik türleri yüzeyinde aşınmaya maruz kalacağı için yüzeyin sert, ağır yükler taşıyacağı veya şoklara maruz kalacağı için iç yapı tokluğunun fazla olması istenen parçalar için kullanılır

# sementasyon elikleri

Bu elikler sade Karbon eliği olabildiği gibi Alaşımlı elik de olabilir. Türkiyede en çok kullanılan seimentasyon elikleri:

- C10 (1.0301)
- C15 (1.0401) SAE 1020
- 21 Ni Cr Mo2 (1.6523) veya muadili: SAE 8620
- 16 Mn CrS 5 (1.7139) veya muadili SAE 5115
- 15 Cr3 (1.7015) veya muadili SAE 5015
- SAE 4320
- SAE 3315 (DIN 14 NiCr14)
- SAE 3415 (DIN 14 NiCr 18)
- SAE 4120 (DIN 20 CrMo5)



# sementasyon çelikleri





# imalat çelikleri-nitrasyon

Yüzey sertliğinin arttırılması için uygulanan bir diğer yöntem Nitrüleme yöntemidir.

Bu yöntemde azota zengin ortamda malzeme 600°C de uzun bir zaman bekletilerek malzeme yüzeyinde azot miktarı arttırılarak yüzeyin su

verilmeden sertleştirilmesi

sağlanır. Aşınma ve yorulma

direncinin çok yüksek ve

yüzey sertliğinin 72 HRC

sertliklerine kadar çıkması

gereken makina parçaları

için bu tip çelikler kullanılır.



# otomat elikleri

Karbonlu eliklerin tezgahlarda kolay işlenebilirliğini sağlamak için içeriğine kurşun, kükürt, fosfor katılarak talaşın uzamadan kırılması sağlanır. Bu tip çeliklere otomat çelikleri denir. Bu elikler genellikle soğuk haddelenmiş olarak piyasaya sürülür.

Türkiyede yaygın kullanımı olan otomat çelikleri şunlardır.

- SAE 1113 (DIN 9 S 20)
- SAE 1117 (DIN 15 S 20)
- SAE 1137 (DIN 35S 20)



# metalik malzemeler

## 9.10.2014

# Neden alaşımlı çelikler?

- maliyet artar fakat daha üstün özellikler!
- korozyon direnci artar; Cr ile paslanmaz çelikler elde edildiği gibi..
- sertleştirilebilirlik artar. Takım eliklerinde olduğu gibi..
- ferrit fazının (katı eriyik) sertliği artar..
- gevrek  $Fe_3C$  bileşiği yerine alaşım karbürleri (WC, TiC vb) oluşur ve çeliğin kırılđanlıđı azalır.

# Neden alaşımlı elikler?

- Süneklilik + mukavemet + işlenebilirlik bir arada!
- Mukavemet + Kaynaklanabilirlik bir arada (Martensit yerine katı eriyik ve okelme sertleşmesi)!
- Kesitte homojenlik (Daha düşük soğuma hızlarında martensit oluşturma kapasitesi; böylece iri, büyük kesitli parçaların yüzeyinde olduğu gibi merkezinde de sertleşme)
- Düşük sıcaklıklarda ostenitik yapı kararlı; oda sıcaklığında manyetik olmayan elik gerektiğinde..



# Alaşım elementlerinin etkileri

- Al İnce tane; deoksidan!
- Cr 0.5-2% - sertleşebilirlik  
4-18% - korozyon direnci
- Cu 0.1-0.4% korozyon direnci
- Mn 0.25-0.4% - S ile birleşerek gevrekliği önler.  
mukavemet ve şok darbe direnci
- Mo 0.2-5% - kararlı karbürler, sertleşebilme
- Ni 2-5% - mukavemet, yorulma direnci, tokluk;  
12-20% - korozyon direnci
- Si 0.2-0.7% - mukavemet, 2% - yay,  
>2% - manyetik özellikler,  
İnce taneli yapı, sertleşme kabiliyeti

# Alaşım elementlerinin etkileri

- S 0.08-0.15% - işlenebilirlik
- Ti - C'ü asal karbürlerde bağlar, Cr'lu çeliklerde martensit sertliğini azaltır.
- Bi işlenebilirlik
- Pb işlenebilirlik
- B 0.001-0.003% - etkili sertleştirici
- W yüksek sıcaklık sertliği, aşınma direnci
- V kararlı karbür; süneklik ile birlikte mukavemet, yorulma direnci, ince tane yapısı; darbe direnci

# Önemli not!

- Martensit ve beynit yapılarının sertliği karbon miktarı tarafından belirlenir, alaşım elementlerinin değil!
- Alaşım elementlerinin rolü, su verme sırasında martensit ve beynitin oluşmasına hizmet etmektedir.
- Miktarını arttırmak, oluşma şartlarını kolaylaştırmak vb.

# az alaşımlı elikler

## Tasarım:

Karbonu dūřuk tut;  
kaynaklanabilirliğe ve Şekil alma kabiliyetine zarar  
veren martensit oluşumunu önle;  
mukavemeti alaşımlama ile arttır.

Martensit oluşumu yerine, alaşımlama ile

**Katı eriyik sertleşmesi**

**Çökeltme sertleşmesi:**

**Tane boyutu sertleşmesi**

# az alaşımlı çelikler

## Katı eriyik sertleşmesi

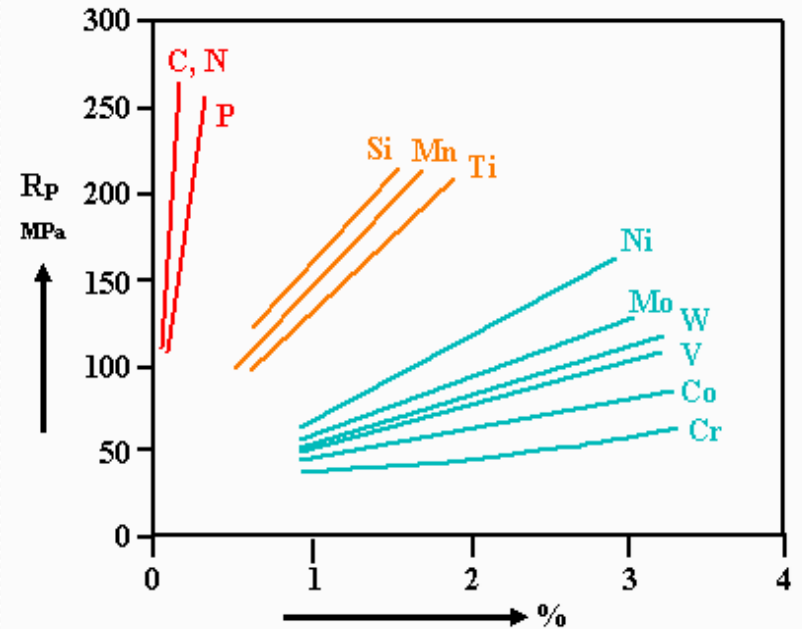
arayerlere yerleşen karbon ve azot dışındaki bütün elementler yer alan katı eriyiği oluşturur.

**C ve N akma dayanımı üzerinde en etkilidir!**

P da etkili fakat tane sınırlarında toplanırsa tehlikeli!

Katı eriyik sertliği:

**Mn, Ti, kısmen Ni ve V**





# az alaşımlı çelikler

**ökelleme sertleşmesi için yöntem:**

**Yapıda alaşım elementlerinin sert ve küçük karbürlerini oluşturmak,**

**sementitin yassı iri plakalar yerine küçük partiküller şeklinde oluşmasını sağlamak,**

# az alaşımlı çelikler

alaşım elementlerinin metallerarası bileşiklerini, boritlerini oluşturmak katı eriyik sertleşmesinden daha etkili!

## Katı eriyik <çökeltme sertleşmesi

%0.005 kadar **B**, veya %0.1 kadar **Nb** veya **V** mukavemeti belirgin şekilde arttırır.

%0.1 kadar Nb ilavesi ile oluşan 1 nm boyutta NbC partikülleri: akma dayanımını **20 MPa**→**200 MPa**,

# az alaşımlı çelikler

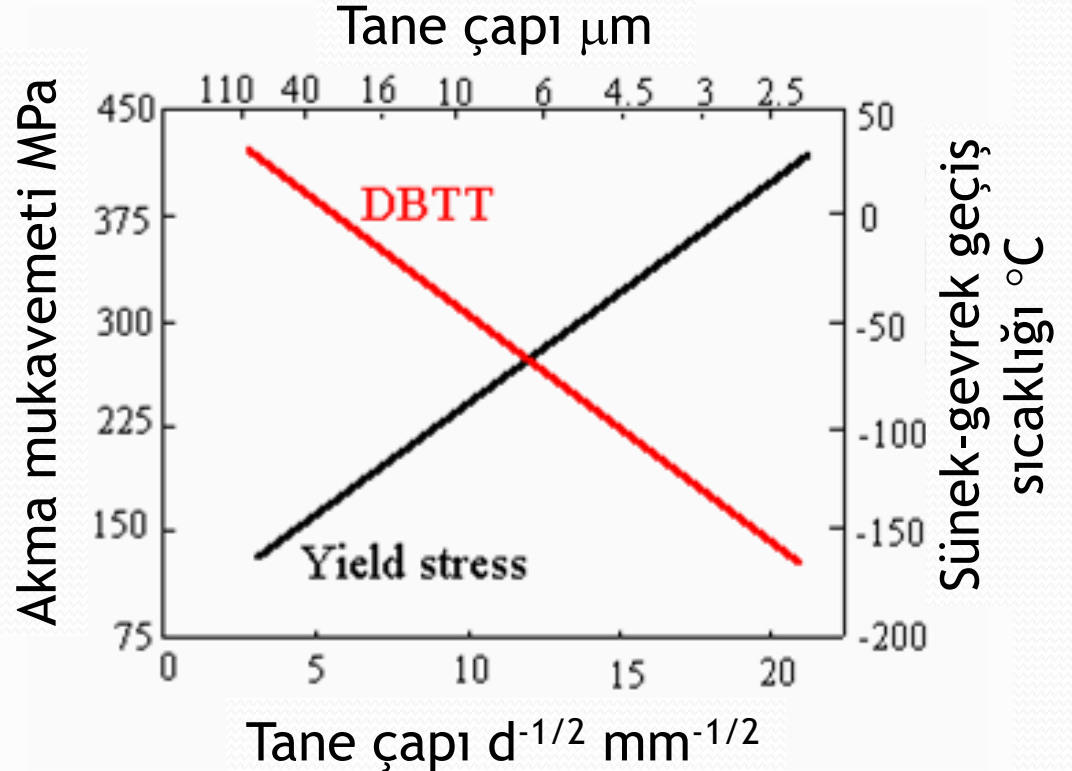
- Mikro alařımlı çelikler titizlikle tasarlandığında dūřuk karbonlu çeliklerden çok daha yūksek mukavemetlere sahip olabilirler.
- Ancak maliyet artar!
- Mikroalařımlı elikler otomobil gōvdelerinde alūminyum rekabetine karřı geliřtirilmiř!
- İmalat kolaylığı sağlarken yūksek mukavemet sayesinde kesitte incelme ve dolayısı ile hafifleme sağlarlar.

# az alaşımlı çelikler

## Tane boyutu sertleşmesi

Tane yapısını küçültmek çeliklerde mukavemet ile birlikte sünekliği de arttırmanın yegane yoludur.

Ancak, çeliklerde kimyasal tane küçültme (Nb, Al, Ti etkisi) çok belirgin değil! Termomekanik yöntemler daha ön planda!



# az alaşımlı çelikler

eliklerde mukavemet arttırmanın 4 yolu vardır:

- (i) Katı eriyik sertleşmesi
- (ii) ökeltme sertleşmesi
- (iii) Deformasyon sertleşmesi
- (iv) Tane küçültme (Hall-Petch)

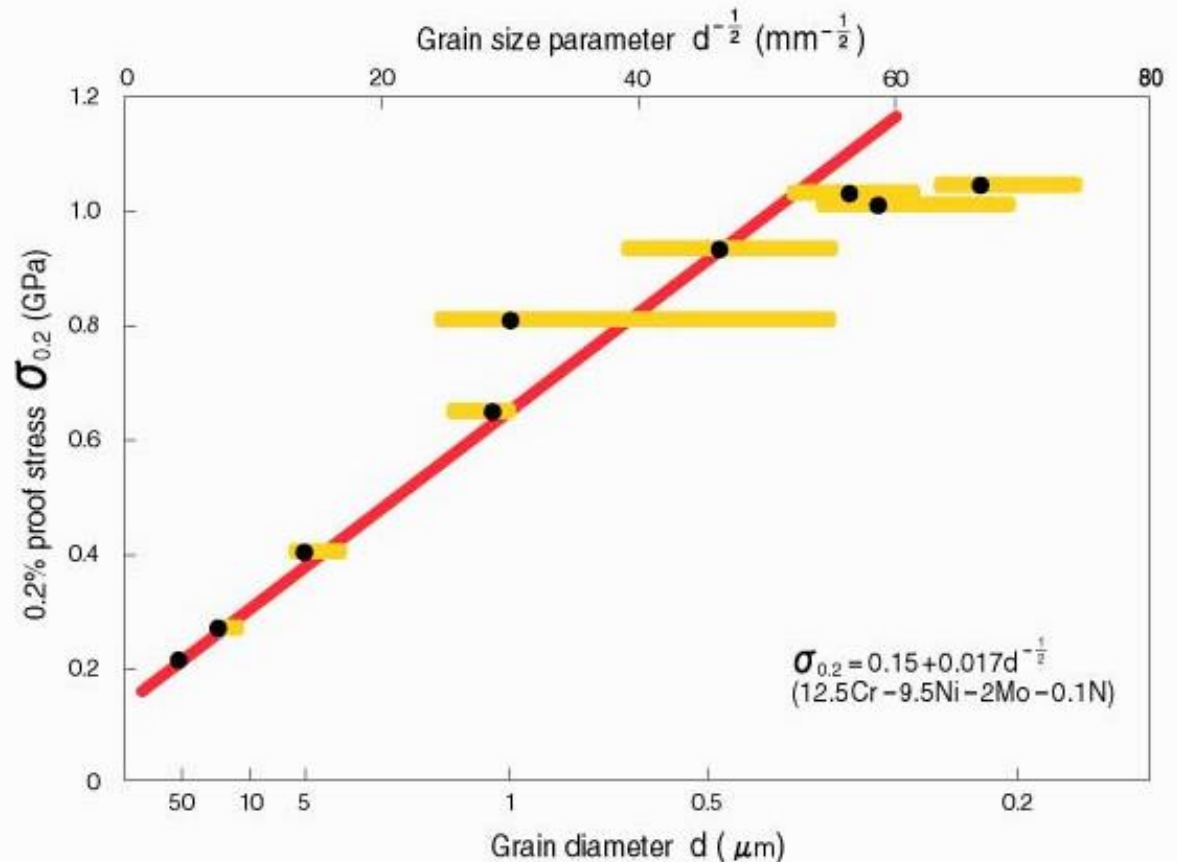
İlk üç seçenekte sertlik/mukavemet artarken süneklik, tokluk düşer.

Tane küçültme ile hem mukavemet hem de süneklik, şekil verilebilirlik ve tokluk artar.



# az alaşımlı çelikler

the yield stress is increased by about 350 MPa due to grain refinement from 20 $\mu\text{m}$  to 1 $\mu\text{m}$ . This increase means that the yield stress can be almost doubled in a plain carbon steel.



# HSLA elikleri

- kimyasal bileşimden ziyade, mukavemet, tokluk, şekil verilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve korozyon dayanıklılığı için tasarlanmış!
- az miktarda alaşım katkısı ile birlikte **kontrollü haddeleme ve hızlandırılmış soğutma gibi kontrollü üretim prosesleri ile 345-620 MPa seviyelerine kadar (sade karbon çeliklerine göre yüksek) mukavemet!**
- HSLA çeliklerinin geleneksel düşük karbon çeliklerine göre üstünlüğü yüksek mukavemet-ağırlık oranıdır.

# HSLA elikleri

- HSLA elikleri karbon çeliklerine göre daha iyi mekanik özellikler ve korozyon direnci sağlar.
- Şekil verilebilirlik ve kaynaklanabilirlik için C 0.05-0.25% aralığında tutulmuŐtur.
- %2'ye kadar Mn ve az miktarda Cu, Ni, Nb, N, V, Cr, Mo, Ti ve Zr bulunur.
- Cu, Ti, V ve Nb sertleştirme için ilave edilir.
- Bu elementler ferrit-perlitten oluşan matris yerine ferrit içinde dağılmış ince karbürlerden oluşan bir yapı elde etmek için kullanılır.

# HSLA elikleri

- Böyle bir yapı perlitin tokluk düşürücü etkisini azaltırken tane yapısını küçölterek mukavemeti artırır.
- İnce dağılımlı karbürlerle çökeltme sertleşmesi de sağlanır.
- Cu, Si, Ni, Cr ve P korozyon direncini artırır.
- Zr, Ca ve nadir toprak elementleri ile sülfid kalıntılarının morfolojileri iyileştirilir ve şekil alma kabiliyeti artırılır.
- Yüksek gerilmelere maruz kalan yapısal uygulamalar için uygundur.

# HSLA elikleri

- Açık hava elikleri
- Mikroalaşımlı ferrit-perlit elikleri
- Haddelenmiş perlitik elikler
- İğnesel ferrit (düşük karbonlu beynitik) eliler
- Dual faz elikleri
- Kalıntı şekil kontrollü elikler



# Açık hava çelikleri

korozif atmosferlerde çelik uygulaması için 2 seçenek var:

Sıradan çelik + yüzey kaplama (boyama, elektro kaplama veya anti-korozyon tabakası ile kaplama)  
Paslanmaz çelik veya açık hava çeliği kullanmak



Çeliğe atmosferik korozyon önleyici alaşım elementleri (**Cu**, Cr, P, Ni) ilave edilir!  
İlk aşamada atmosfer çeliği de normal karbon çeliği gibi paslanacaktır; ancak 1 yıl kadar sonra paslanmış yüzey daha fazla paslanmaya izin vermeyen bir koruyucu görevi görecektir.

# Açık hava çelikleri

Açıkta boyanmadan iklim koşullarına direnç gösterebilen yapı çeliklerine “weathering steels” denir. Çelik konstrüksiyon binalarda korozyona karşı boyanmadan direnç gösteren bu çelikler ASTM spesifikasyonlarında A 242, A588 olarak sınıflandırılırlar.



# Açık hava çelikleri



# Mikroalaşımlı çelikler (HSLA)

- Sertleşme mekanizmaları: Çökelme sertleşmesi + Tane boyutu kontrolü
- sıcak hadde çeliğinde C ve Mn'ı arttırmadan yüksek mukavemet için Nb, V ve/veya Ti gibi karbür veya karbo-nitrür yapıcı elementlerden çok az seviyelerde ( $\leq 0.10\%$ ) ilave edilir.
- Yapı: ferrit+perlit
- Akma: ısıl işlemsiz 500-750 MPa
- Kaynaklanabilirlik iyi

# mikro alaşımlı çelikler:

- Vanadium-mikro alaşımlı çelikler
- Niobium-mikro alaşımlı çelikler
- Niobium-molybdenum çelikler
- Vanadium-niobium mikro alaşımlı çelikler
- Vanadium-nitrogen mikro alaşımlı çelikler
- Titanium-mikro alaşımlı çelikler
- Niobium-titanium mikro alaşımlı çelikler
- Vanadium-titanium mikro alaşımlı çelikler



# haddelenmiş perlitik elikler

Karbon-mangan elikleri:

Mukavemeti, tokluğu, Şekil verilebilirliği ve kaynaklanabilirliği arttırmak için **az miktarda diğer alaşım elementleri içerebilirler.**

# iğnesel ferrit çelikleri

%0.05'den az karbon içeren çelikler

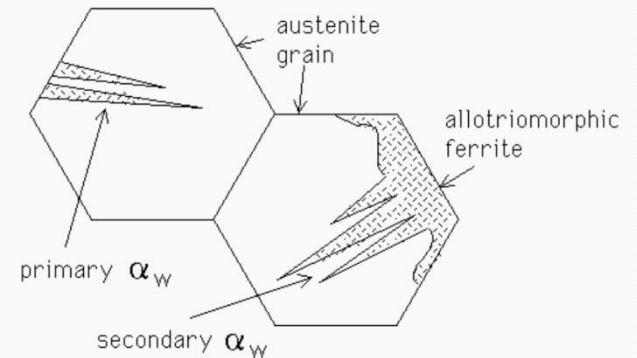
Az karbonlu bey nitelik çelikler de denir.

Akma mukavemeti 690 MPa'a kadar çıkar.

Birbirini kitleyen (interlocking) kaotik ferrit iğneleri çatlamaı yavaşlatır ve tokluğu arttırır.

Oksit ve sülfid kalıntılarının ferriti çekirdeklendirme rolü olduğu bilinir.

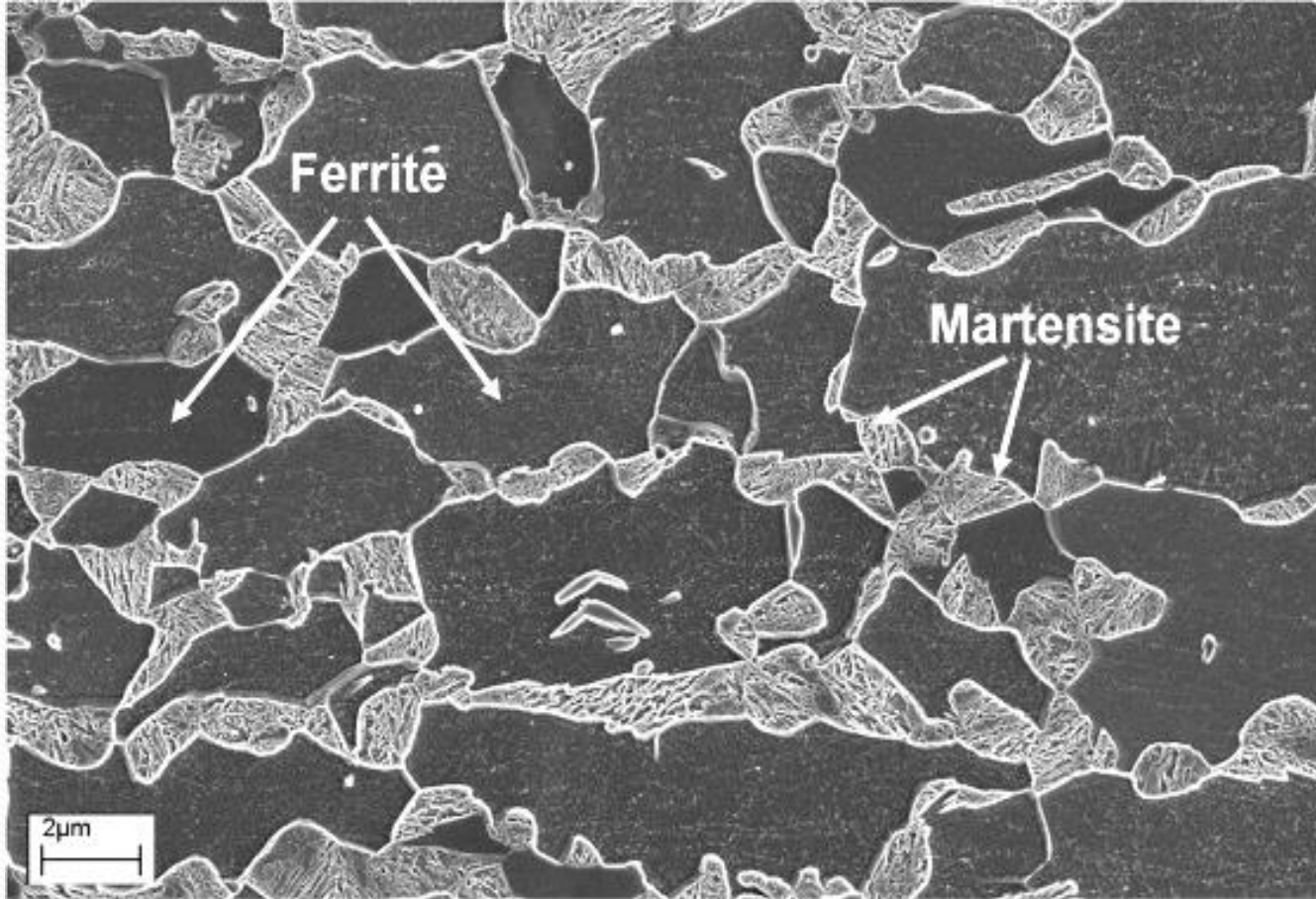
Mukavemet , kaynaklanabilirlik, tokluk ve şekil verilebilirlik üst düzeydedir.



# Dual faz çelikleri

- Tipik bileşim: 0.12 %C, 1.7 %Mn, 0.58 %Si, 0.04 %V
- Mikroyapı: ferritik matriste gömülü martensit adacıkları
- ~800 °C'de,  **$\gamma$ - $\alpha$  faz bölgesinde ( $A_3$ - $A_1$  arasında)** ısıtıldıktan sonra su verilerek oluşturuluyor.
- Ferrit bu ısıl işlemde etkilenmezken ostenit taneleri martensite dönüşüyor.
- Daha sonra düşük sıcaklıkta temperleme ile süneklik artırılıyor.
- 415-900 MPa aralığında akma dayanımı ve mükemmel deformasyon sertleşmesi kapasitesi ile preslenerek üretilen otomobil gövde panelleri için ideal!

# Dual faz çelikleri-mikroyapı



# Dual faz elikleri

B sütunu



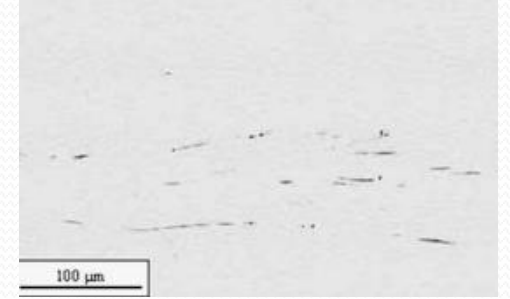
1.35mm kalınlıkta  
sactan imal edilen  
tampon





# Kalıntı şekil kontrollü çelikler

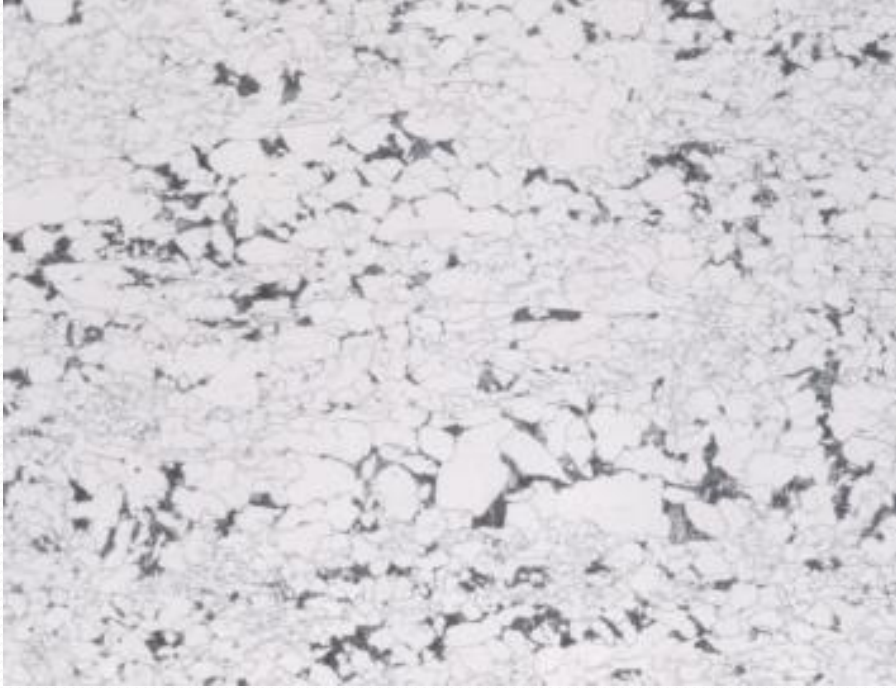
Ca, Zr, Mg, Ti ve nadir toprak elementleri ilave edilerek sülfid kalıntılarının uzun zincirlerden küçük dağınık küresel taneciklerine dönüştüğü, yüksek süneklik ve kesit boyunca yüksek tokluk sunan çelikler.



Sıcak haddelenmiş çeliklerde Mekanik özelliklerin yöne bağlılığını etkileyen faktörlerin başında Mn sülfid kalıntılarının hadde yönünde uzaması gelir. Mn sülfitler yerine daha kararlı ve ergime noktası daha yüksek ve orijinal küresel şekillerini koruyan sülfitler oluşturmak için, örneğin %0.03-0.04 Ce ilavesi etkili!

# mikroyapılar

HSLA -- Dupleks tane yapısı



Nb ile sertleştirilmiş HSLA çeliği: dupleks tane boyut dağılımı. Mikroyapı: ferrit ve perlit. Dağlama önce 4% picral sonra 2% nital. 200X ve 500X.

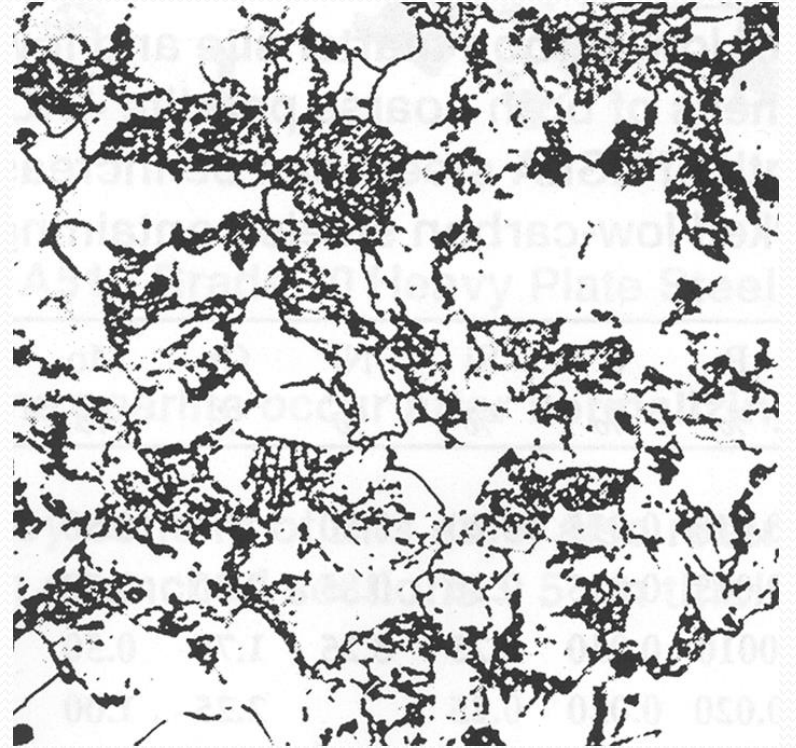
# mikroyapılar

A533 B kalite HSLA çelik

Su verme ile ferritin yanısıra bir miktar beyrit oluşması ve sertleşme kapasitesi için az miktarda Ni ve Mo içerir.

Temperleme ile tokluk arttırılırken sıcak işlenmiş karbonlu çeliklere denk sertlik elde edilir.

900 °C'den su verilmiş ve 620 °C'de temperlenmiş mikroyapı





# HSLA elikleri

Akma: 400-800 MPa

Çekme: 600-900 MPa

Uzama: %25

Nükleer taşıtlar, tesisler

Kimya sektörü ve

rafinerilerde yapısal

Basınçlı kaplar

Buhar jeneratörleri

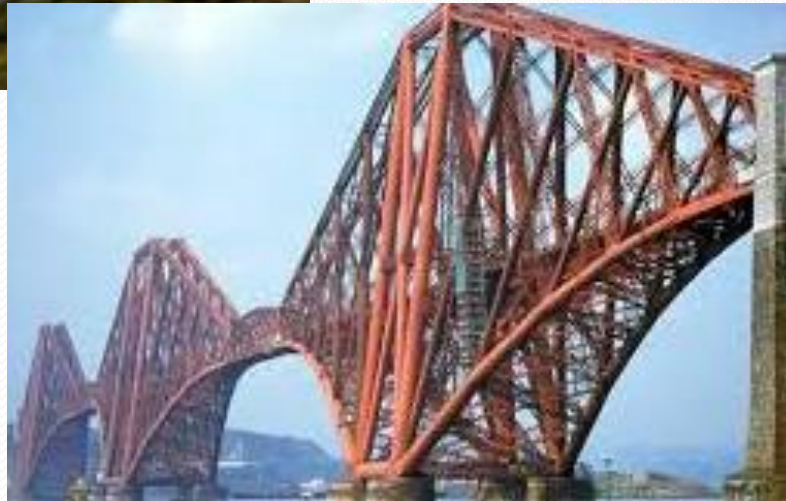
Krojenik tanklar



# HSLA elikleri



köprü ve bina inşaatı  
Atmosferik korozyona  
dayanıklısıdır ve bu sayede  
uzun ömürlüdüür.





# HSLA elikleri

Kaynaklı konstrüksiyonlar  
Gemi gövdesi  
Deniz platformları



# HSLA uygulamalar

Zırh çeliği  
Petrol ve doğal gaz  
boru hatları  
Madencilik ekipmanları  
İnşaat ve tarım  
makinaları



# HSLA elik rnekleri

AISI/SAE	UNS	Ni	Cr	Mo	other
40xx	G40xx0			0.20-0.30	
41xx	G41xx0		0.80-1.10	0.15-0.25	
43xx	G43xx0	1.65-2.00	0.40-0.90	0.20-0.30	
46xx	G46xx0	0.70-2.00		0.15-0.30	
48xx	G48xx0	3.25-3.75		0.20-0.30	
51xx	G51xx0		0.70-1.10		
61xx	G61xx0		0.50-1.10		0.10-0.15V
86xx	G86xx0	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	
92xx	G92xx0				1.80-2.20Si

# düşük karbonlu ve az alaşımlı yüksek mukavemet çelik kompozisyonları

gösteriliş		bileşim		
AISI/SAE #	UNS #	C	Mn	diğer
<b>düşük karbon çelikleri</b>				
1010	G10100	0.10	0.45	
1020	G10200	0.20	0.45	
<b>Yüksek mukavemet, az alaşımlı çelikler</b>				
A36	K02600	0.29	1.00	0.20 Cu (min)
A516 Grade 70	K02700	0.31	1.00	0.25 Si
A440	K12810	0.28	1.35	0.30Si (max), 0.20Cu (min)
A633 Grade E	K12002	0.22	1.35	0.30 Si, 0.08 V, 0.02 N, 0.03 Nb
A656 Grade 1	K11804	0.18	1.60	0.60 Si, 0.1 V, 0.20 Al,0.015 N

# düşük karbonlu ve az alaşımlı yüksek mukavemet çeliklerinin özellikleri

gösteriliş		Mekanik özellikler			
AISI/SAE #	UNS #	UTS-MPA	YS-MPa	EL-%	uygulama
<b>Düşük karbonlu çelikler</b>					
1010	G10100	325	180	28	Otomotiv sacları, tel, çivi
1020	G10200	380	225	25	Boru, yapısal levha
<b>HSLA çelikleri</b>					
A36	K02600	400	220	23	Yapısal-köprü ve bina
A516 Grade 70	K02700	485	260	21	Düşük T basınçlı kap
A440	K12810	435	290	21	yapısal
A633 Grade E	K12002	520	380	23	Yapısal-düşük T
A656 Grade 1	K11804	655	552	15	Tır ve vagon gövdesi



# Karbon ve az alaşımlı çelik örnekleri

AISI/SAE	UNS	Ni	Cr	Mo	diğer
10XX	G10XX0				
11XX	G11XX0				0.08-0.33S
12XX	G12XX0				0.10-0.35S 0.04-0.12P
13XX	G13XX0				1.6-1.9Mn
40XX	G40XX0			0.2-0.3	
41XX	G41XX0		0.8-1.1	0.15-0.25	
43XX	G43XX0	1.65-2.00	0.40-0.90	0.20-0.30	
46XX	G46XX0	0.70-2.00		0.15-0.30	
48XX	G48XX0	3.25-3.75		0.20-0.30	
51XX	G51XX0		0.70-1.10		
61XX	G61XX0		0.50-1.10		0.10-0.15V
86XX	G86XX0	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	
92XX	G92XX0				1.80-2.2Si

# Karbon ve az alaşımlı çelik örneklerin mekanik özellikleri- Yağda su verilmiş ve temperlenmiş

AISI	UNS	UTS MPa	YS MPa	EL %	Uygulama alanları
1040	G10400	600-780	430-585	33-19	Krank mili, civata
1080	G10800	800-1310	480-980	24-13	Çekiç, levye
1095	G10950	760-1280	510-830	26-10	Bıçak, testere
4063	G40630	786-2380	710-1770	24-4	Yay, takım aletleri
4340	G43400	980-1960	895-1570	21-11	Burç, uçak boru-tüpleri
6150	G61500	815-2170	745-1860	22-7	Şaft, piston, dişli

# TRIP elikleri

TRIP: "Transformation induced plasticity."

C: 0.12 - 0.55 wt.%; Mn: 0.20 - 2.5 wt.%; Si: 0.40 - 1.8 ağ%.

**Otomotiv sektöründe yaygın kullanımı olan yüksek mukavemet çeliği!**

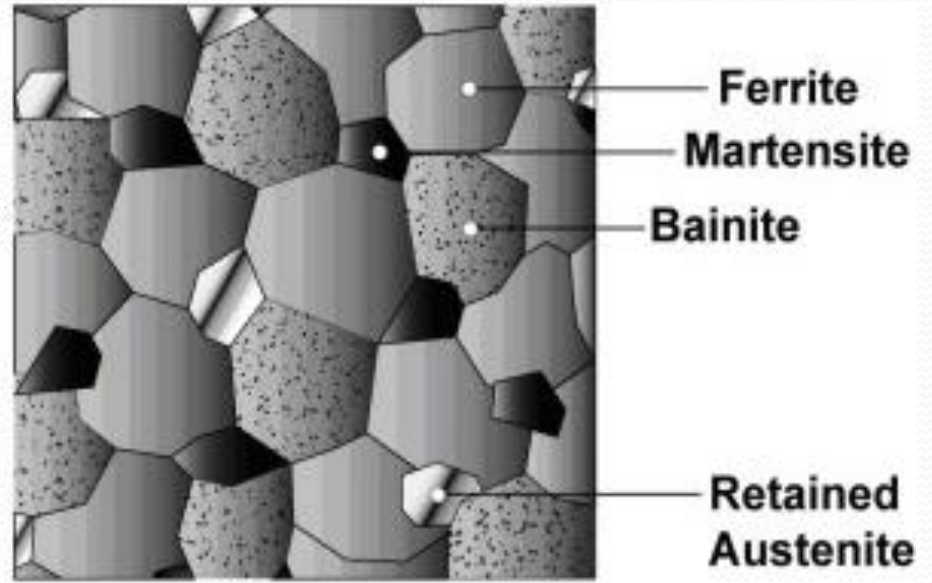
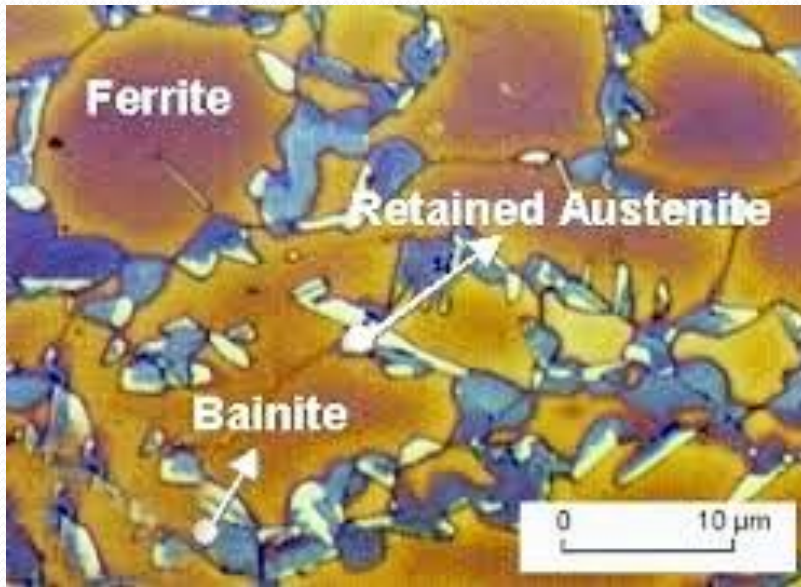
Mukavemet ve sünekliliğin mükemmel bir kombinasyonuna sahip!

Yüksek deformasyon sertleşmesi kapasitesi ve yüksek mukavemet ile enerji sönümlenme uygulamaları için ideal!

deformasyon sonrasında boya-fırınlama sertleşmesi!

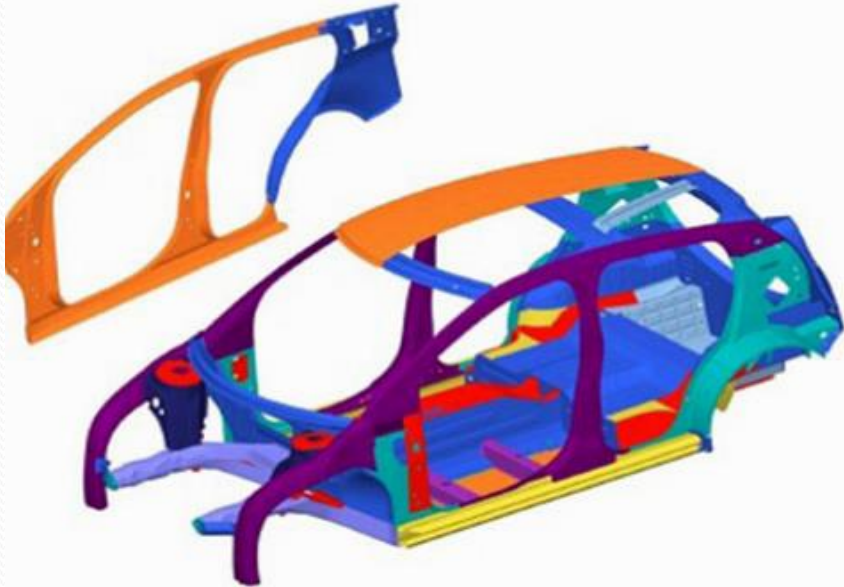
# TRIP çelikleri

Mikroyapı: ferritik bir matriste kalıntı ostenit  
Plastik deformasyon sırasında kalıntı ostenit  
martensite dönüşür!  
Kalıntı ostenit + beynit ve martensit fazları



# TRIP elikleri

Otomobil B-sütunu  
Güvenlik kirişleri  
Uzay kafes profilleri  
Tampon parçaları  
Enerji sönmleme  
elemanları



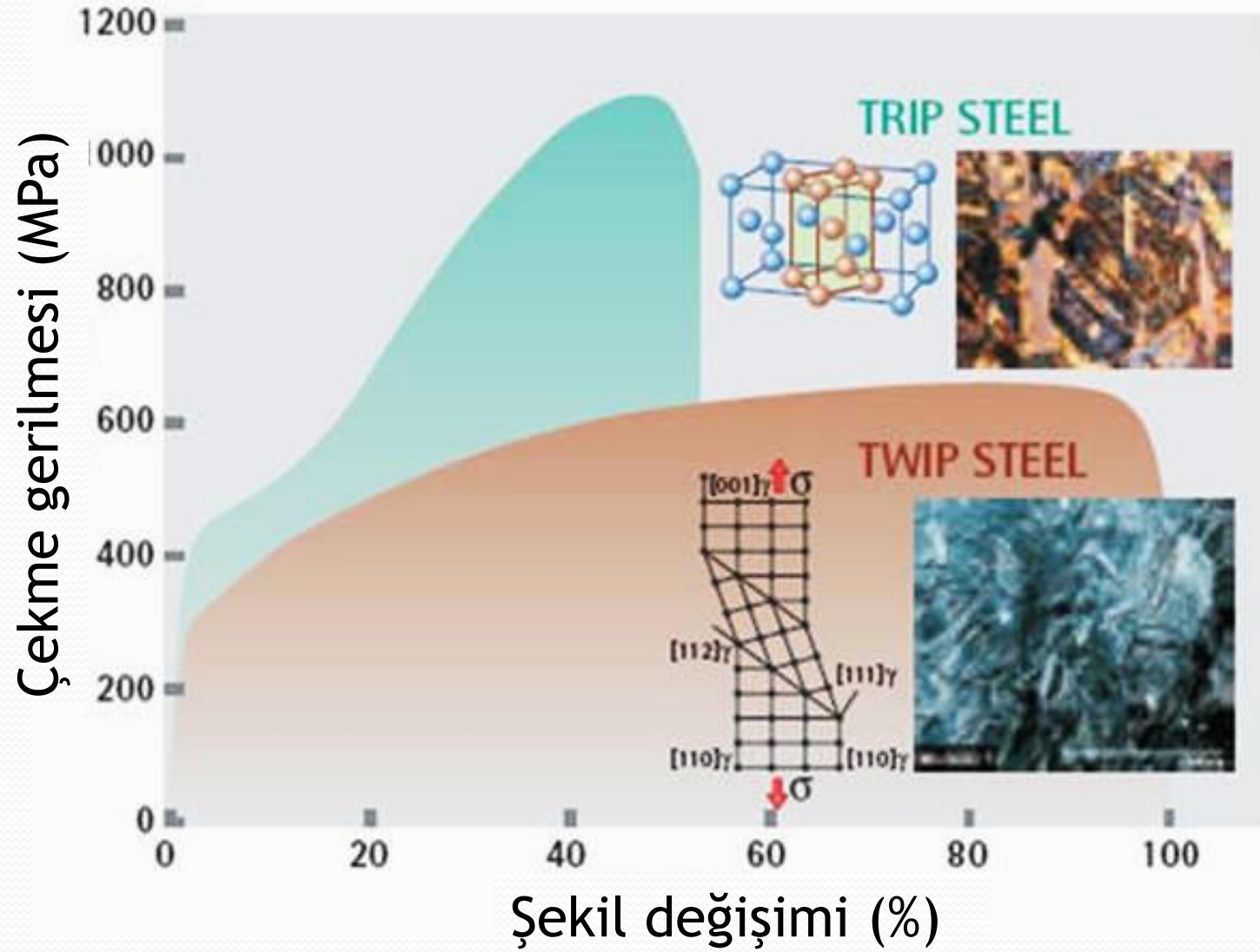


# TWIP elikleri

kayma ve/veya mekanik ikizlenme ile deformasyona uğrayan ostenitik çeliklerdir.

Ostenitik elikler mükemmel mukavemet ve süneklik ile birlikte aşınma ve korozyon dirençleri sayesinde bir çok uygulama için cazip bir malzeme seçeneğidir. Yüksek Mn'lı TWIP elikleri geleneksel yüksek mukavemet çeliklerine kıyasla en az 2 kat daha yüksek enerji sönlüme kapasiteleri ve çarpışma güvenliği sağlama kabiliyetleri ile otomotiv uygulamaları için idealdir.

# TRIP/TWIP çelikleri



# fırınlama sertleşmesi

Oto panellerinde kullanılan düşük karbonlu çeliklere uygulanan teknolojik bir işlemdir.

Preste şekillendirme aşamasında kullanılan çelik düşük karbonlu olması sayesinde kolayca şekil verilebilir.

Pres işleminde saca kazandırılan dislokasyonların hareketi boya fırınlama aşamasında dislokasyonlara çökelen karbon atomlarının kilitleyici rolü yüzünden zorlaşır.

Boya fırınlama aşamasında akma dayanımı en az 27-55 MPa kadar daha artar. Bu şekilde gövde panellerinin vuruksarbe dayanımı da artmış olur.

Çelik düşük karbonlu olduğu için kaynak kabiliyeti de yüksektir.



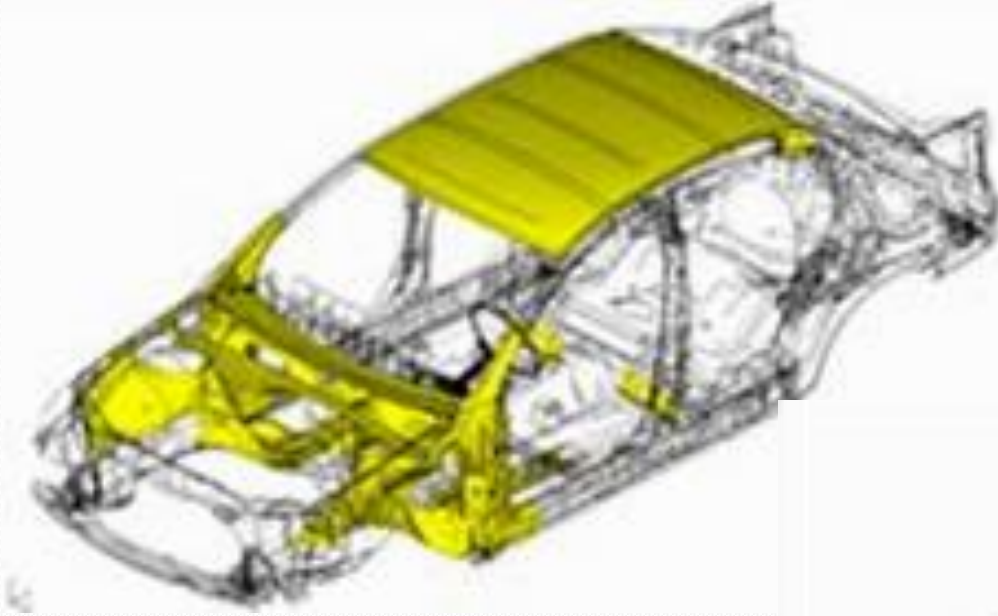
# fırınlama ile sertleşen çelikler

Parça şekillendirme sırasında deformasyonla ve daha sonraki fırınlama gibi bir düşük sıcaklık operasyonu sırasında yaşlanma ile bir ciddi miktarda sertleşme tecrübe eden çelikler.

Çözeltide yeterince yaşlanma sertleşmesi sağlayacak kadar C ve N bulunduran çeliklere fırınlama ile sertleşebilir çelikler denir.

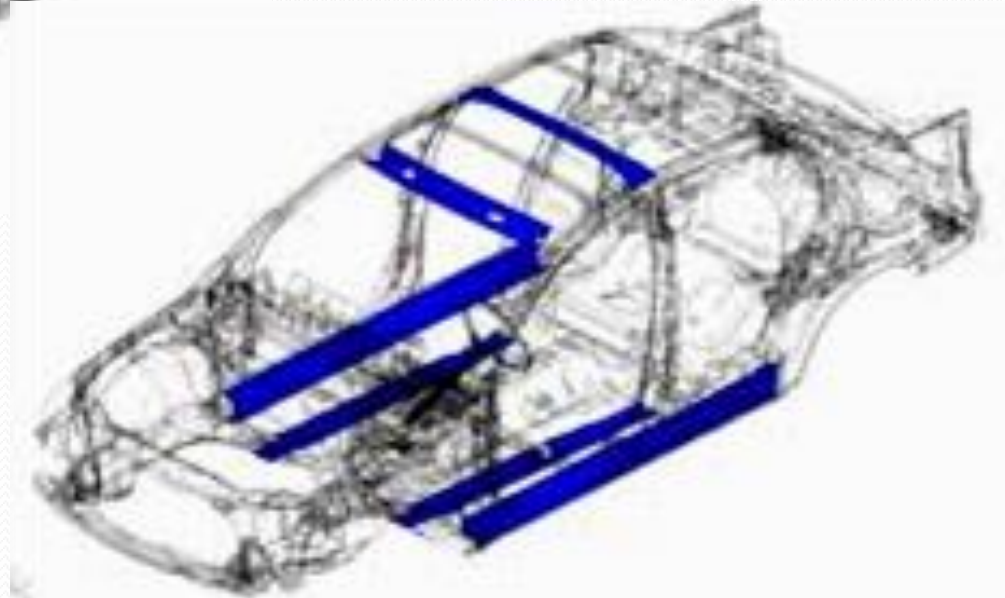
Alüminyumla söndürülmüş ve azotla birleşerek yeterli miktarda AlN yapacak kadar Al'u olan çelikler.

# Az alaşımlı otomotiv elikleri



Bake hardenable steel

Dual faz eliği





# Bor çelikleri

Bor çelikleri abrasif aşınmaya karşı mükemmel direnç gösterirler.

Düşük-Orta karbonlu çelikler + bor →  
ısıtılma işleminde sertleşme kapasitesi ↑

Çok daha yüksek karbon içeren çeliklere ve nispeten daha pahalı olan düşük alaşımlı çeliklere kıyasla daha yüksek sertleşme gösterirler.

**Tipik bileşim:**

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	B
0.250	0.200	1.100	0.020	0.005	0.025	0.400	0.001
0.300	0.350	1.300	max.	max.	0.065	0.600	0.004

# Bor elikleri

Kürek, Pulluk, saban gibi tarım aletleri

im biçme makinesi bıçakları

Tarım makine parçaları

Maden makineleri

Otomotivde güvenlik kirişleri

Beton karıştırıcıları gövdeleri



# Az alaşımlı otomotiv çelikleri



# az alaşımlı elikler

Ni elikleri,  
Ni-Cr elikleri,  
Mo elikleri,  
Cr-Mo elikleri

Diğer belli başlı gruplar

düşük karbonlu su verilmiş ve temperlenmiş  
(QT) elikler

orta karbonlu, ultra yüksek mukavemetli çelikler  
rulman çelikleri

ısıya dayanıklı Cr-Mo elikleri



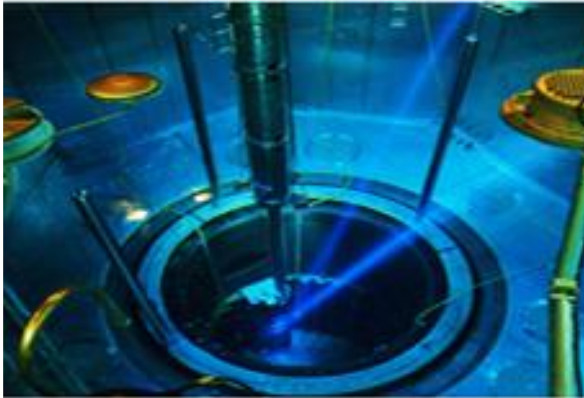
# Cr-Mo ısıya dayanıklı çelikler

- 0.5% ~ 9% Cr ve 0.5% ~ 1% Mo
- C < 0.20%
- Yeterli kaynaklanabilirlik ve yüksek alaşım içeriği sayesinde yüksek sertleşebilirlik
- Cr ile oksidasyon/korozyon direnci
- Mo ile yüksek sıcaklık mukavemeti
- Yüksek sürünme mukavemeti
- normalize ve temperlenmiş/su verilmiş ve temperlenmiş ve tavlanmış halde kullanılırlar!



# Cr-Mo ısıya dayanıklı elikler

Uygulama: Petrokimya endüstrisinde, buhar kazanlarında, yüksek sıcaklık yapısal uygulamalarında, fosil yakıt ve nükleer santrallerde



# Nikel (düşük sıcaklık) çelikleri

- Düşük sıcaklık çeliği
- Karbon çeliğine 2.5% ile 3.5 % Ni ilave edilerek düşük sıcaklık tokluğu iyileştirilmeye çalışılmıştır.
- Ni ferriti kuvvetlendirirken,  $A_3$  sıcaklığını düşürerek tane yapısını küçültür.
- Normalizasyon, su verme ve temperleme işlemleri düşük alaşımlı düşük sıcaklık çeliğinin üretiminde mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için standart işlemlerdir.
- Düşük sıcaklık yapısal uygulamalarında kullanılır.

# düşük karbonlu su verilmiş ve temperlenmiş çelikler

- Yüksek akma (350 - 1035 MPa) ve çekme mukavemeti ile iyi tokluk, süneklik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik
- Uygulama alanına bağlı olarak bu özelliklerin değişik kombinasyonlarına göre hazırlanabilirler.
- Bu gruptaki bazı çelikler savunma sanayinde,
- çoğunlukla tabaka levha olarak kullanılırlar.
- Bazıları döküm / dövme parça şeklindedir.

# yüksek çekme ve akma mukavemetli çelikler

- Mn, Ni, Cr, ve Mo ilavesi  
Ferrit matrisin mukavemetini ve, Sertleşme eğilimini arttırır; ve Tane boyutu kontrolü sağlar.
- Kaynak yapılmış halde, bu çelikler yüksek mukavemet, korozyon direnci, darbe dayanıklılığı gerektiren uygulamalar için uygundur.
- Kaynaklı halde akma mukavemeti 480-830 MPa, çekme mukavemeti 620-1150 MPa seviyesindedir.

# Orta karbonlu ultra yüksek mukavemetli elikler

- Akma mukavemetleri 1380 MPa'ı geçen yapısal çeliklerdir.
- Bir çoğunun bileşimi firmalara özeldir.
- Bilet, bar, çubuk, dövme parça, tabaka levha tp ve kaynak teli şeklinde uygulanır.



# Islah elikleri

- Makine retiminde kullanılmak üzere su verilerek sertlikleri derinlemesine arttırılabilen elikler.
- Bu elikler sade karbonlu elik (rnek: 1035) olabildiği gibi alaşım çeliği (rnek: 4340) de olabilir.
- Alaşım elikleri Ni, Cr, Mo, V, W gibi elementler içeren çeliklerdir.
- Bu eliklerin imalat çelikleri grubunda verdiğimiz çeliklerden en önemli farkı derinlemesine (tam) sertleēebilir elik olmalarıdır.

# İslah elikleri

- Alaşımly eliklerin derinliğine sertleşebilme yeteneği Cr, Ni, Mo gibi elementler sayesinde düz karbonlu çeliklere göre daha fazladır.
- Gerek sade karbonlu çeliklerde, gerekse az alaşımly çeliklerde su verilerek kabuk sertliği ancak belli bir derinliğe kadar sağlanabilmektedir.
- Tam sertleşebilir alaşım çeliklerinde ise bu derinlik daha fazla olup ASI/SAE normunda bu derinliği garantili olarak sağlayan malzemeler SAE standart gösterimde sonlarına H harfini alırlar. Örnek: SAE 1040H, SAE 4140H, SAE 5160H.

# Islah elikleri

NORM	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
3130	0.25-0.32	0.15-0.35	0.50-0.90	0.60-0.70	-	1.25-1.75
3230	0.28-0.36	0.15-0.35	0.50-0.90	0.55-0.95	-	2.25-2.75
3315	0.10-0.17	0.15-0.35	0.50-0.90	0.55-0.95	-	3.25-3.75
3330	0.27-0.35	0.15-0.35	0.50-0.90	0.55-0.95	-	3.25-3.75
4130	0.25-0.34	0.15-0.35	0.60-0.90	0.80-1.10	0.15-0.25	-
4140	0.35-0.44	0.15-0.35	0.60-0.90	0.80-1.10	0.15-0.25	-
5140	0.35-0.44	0.15-0.35	0.60-0.90	0.80-1.10	-	-
8640	0.35-0.44	0.15-0.35	0.70-1.00	0.40-0.60	0.15-0.25	0.40-0.70

P: en çok 0.04

S: en çok 0.04

# Soğuk çekme (transmisyon) çelikleri

- oda sıcaklığında bir veya birkaç kalıptan geçirilerek şekil verilen İmalat ve ıslah çelikleri
- Soğuk çekmeden maksat ısıl işlem olmadan malzemenin akma ve kopma mukavemetlerini arttırmaktır.
- Sıcak haddelenmiş sacın sadece inceltilerek mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerekiyorsa çekme yerine oda sıcaklığında haddeleme yeterlidir. Bunlara ise soğuk haddelenmiş çelik denilir.

# Soğuk çekme (transmisyon) çelikleri

- hassas bir yüzey gerekmiyorsa bu çelikler yüzeyleri işlenmeden de kullanılır.
- Talaşları soğuk çekmeden sonra daha kolay kırıldığı için tezgahlarda işlenebilirliği yüksektir.
- Soğuk haddeleme veya çekmede ezme oranı genellikle 8% mertebesinde dir. Çünkü mukavemet değerlerinde en hızlı artma bu orana kadardır.
- Eğer gerekmiyorsa bu oran %15'i geçmemelidir. Yüksek oranda bir ezme yapılmışsa mutlaka yumuşatma tavlaması da yapılmalıdır.



# yay elikleri

- Yay imalatında kullanılan çeliklerdir.
- Orta veya yüksek karbonlu düşük alaşımlı+ Mn + Si
- Akma dayanımı çok yüksektir.
- Yüksek akma dayanımı ciddi miktarda eğme ve bükmeden sonra orijinal Şekle dönmelerini sağlar!
- **Nikel önemli bir alaşım elementidir.**
- Türkiyede en çok kullanılan yay elikleri;
  - SAE 9245
  - SAE 9255
  - SAE 9265



# yay çelikleri



# yay elikleri

	C	Si	Mn	P (max)	S (max)	Cr	N (max)
1.0900	0.35-0.42	1.40-1.60	0.50-0.80	0.050	0.050	-	0.007
1.0902	0.42-0.50	1.50-1.80	0.50-0.80	0.050	0.050	-	0.007
1.0903	0.47-0.55	1.50-1.80	0.50-0.80	0.045	0.045	-	0.007
1.0970	0.35-0.42	1.50-1.80	0.50-0.80	0.045	0.045	-	0.007
1.1231	0.65-0.72	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.035	-	-
1.5028	0.60-0.70	1.50-1.80	0.70-1.00	0.035	0.035	-	-
1.7103	0.62-0.72	1.20-1.40	0.40-0.60	0.035	0.035	0.4-0.6	-

# Sıfır altı elikleri

Sıfır derecenin altında toklukların kaybetmeden çalışması gereken yerlerde kullanılacak eliklerin Nikel ile alaşımlanmış olmaları gerekir.



# Sıfır altı çelikleri

Gazların sıvılaştırma sıcaklıkları ve düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan malzemeler

Gaz	Sıvılaştırma Sıcaklığı (°C)	Malzeme
Propan (LPG)	-42.1 ile - 45.5	İnce taneli çelikler %2.25 Ni çeliği
Propilen	- 47.7	
Karbondiyoksit	- 78.5	% 3.5 Ni çeliği
Etan	- 88.4	
Etilen (LEG)	- 103.8	% 5- 9 Ni çeliği
Metan (LNG)	- 163	
Oksijen	- 182.9	
Azot	- 195.8	Ostenitik paslanmaz çelikler %36 Ni- Fe (Invar)
Hidrojen	- 252.8	
Helyum	-268.9	Alüminyum alaşımları



# Yüksek sıcaklık çelikleri

Yüksek sıcaklıklarda mukavemet özelliklerini kaybetmeden bulunması gereken (fırın, ocak, kazan vs) yapı çelikleri

Türkiye’de yüksek sıcaklığa dayanıklı yapı çelikleri ERDEMİR de 6335, 6341, 6347, 6352 kalite olarak üretilmektedir.

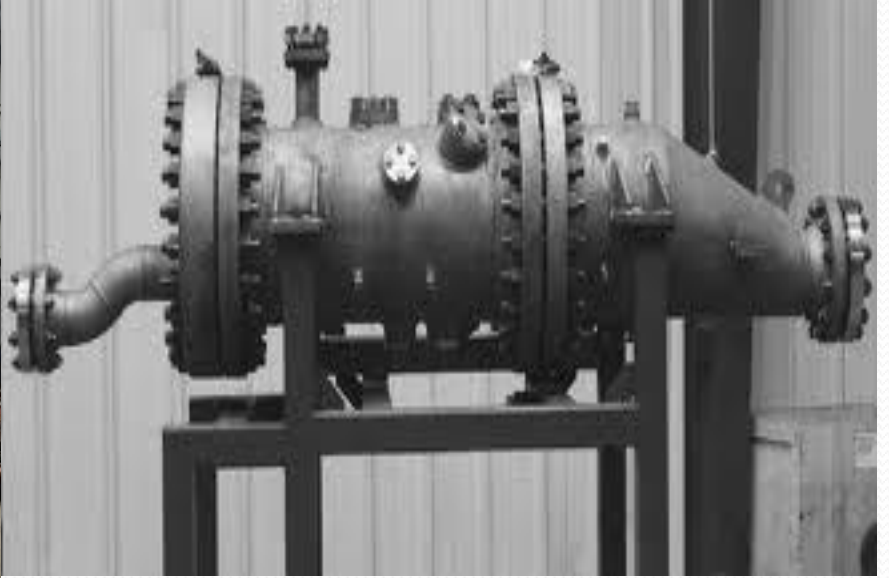


# Yüksek sıcaklık çelikleri

kod	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	Ni	V	diğer
1.0482	0,17-0,22	0,30-0,60	1,00-1,30	0,045	0,045	≅ 0,30	-	-	-	-
1.1181	0,32-0,39	≅ 0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	-	-	-	-	-
1.1191	0,42-0,50	≅ 0,40	0,50-0,80	0,035	0,030	-	-	-	-	-
1.4922	0,17-0,23	≅ 0,50	≅ 1,00	0,030	0,030	10,00-12,50	0,80-1,20	0,30-0,80	0,25-0,35	-
1.5404	0,17-0,25	0,15-0,35	0,50-0,80	0,035	0,035	0,20-0,40	0,45-0,55	≅ 0,30	0,25-0,35	-
1.5406	0,14-0,22	0,15-0,35	0,50-0,80	0,035	0,035	0,20-0,40	0,80-1,00	≅ 0,30	0,30-0,40	-
1.5415	0,12-0,20	0,10-0,35	0,40-0,90	0,035	0,030	≅ 0,25	0,25-0,35	≅ 0,30	-	Cu ≅ 0,30; + Al
1.5419	0,18-0,25	0,20-0,40	0,40-0,70	0,035	0,035	(≅ 0,30)	0,30-0,40	-	-	-
1.5423	0,12-0,20	0,15-0,50	0,50-0,80	0,040	0,040	-	0,45-0,65	-	-	-
1.6311	0,17-0,23	≅ 0,40	1,00-1,50	0,035	0,035	≅ 0,50	0,45-0,60	0,40-0,80	-	-
1.6368	≅ 0,17	0,25-0,50	0,80-1,20	0,035	0,035	≅ 0,30	0,25-0,40	1,00-1,30	-	Cu 0,50-0,80; Nb ~ 0,2
1.6513	0,24-0,34	0,15-0,40	0,30-0,60	0,035	0,035	1,00-1,30	0,20-0,30	1,00-1,30	-	-
1.7242	0,13-0,20	0,15-0,35	0,50-0,80	0,035	0,035	0,90-1,20	0,20-0,30	≅ 0,40	-	-
1.7258	0,20-0,28	≅ 0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	0,90-1,20	0,20-0,35	≅ 0,60	-	-
1.7335	0,08-0,18	0,10-0,35	0,40-1,00	0,035	0,030	0,70-1,10	0,40-0,60	-	-	Cu ≅ 0,30; + Al
1.7337	0,13-0,20	0,15-0,35	0,50-0,80	0,035	0,035	0,90-1,20	0,40-0,50	≅ 0,40	-	-
1.7350	0,19-0,26	0,15-0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	0,90-1,20	0,40-0,50	≅ 0,60	-	-
1.7380	0,06-0,15	≅ 0,50	0,40-0,70	0,035	0,030	2,00-2,50	0,90-1,10	-	-	Cu ≅ 0,30; + Al
1.7709	0,17-0,25	0,15-0,35	0,35-0,85	0,030	0,035	1,20-1,50	0,65-0,80	-	0,25-0,35	-
1.7711	0,36-0,44	0,15-0,35	0,35-0,85	0,030	0,035	0,90-1,20	0,60-0,75	-	0,25-0,35	-
1.7715	0,10-0,18	0,10-0,35	0,40-0,70	0,030	0,035	0,30-0,60	0,50-0,70	-	0,22-0,32	-
1.7733	0,20-0,28	0,15-0,35	0,30-0,60	0,035	0,035	1,20-1,50	0,50-0,60	(≅ 0,60)	0,15-0,25	-
1.8070	0,17-0,25	0,30-0,60	0,30-0,60	0,035	0,035	1,20-1,50	1,00-1,20	≅ 0,60	0,25-0,35	-
1.8817	≅ 0,19	0,20-0,50	1,40-1,70	0,035	0,035	-	0,20-0,50	-	≅ 0,20	N ~ 0,15; + Al

# Basınçlı kap çelikleri

Yüksek basınç altında çalışacak kazan ve kaplarda kullanılması gereken çeliklerde dikkat çeken alaşım elementleri: Cr, Mo ve V.



# Basınçlı kap çelikleri

kod	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	Ni	V	diğer
1.7218	0,22-0,29	≤ 0,40	0,60-0,90	0,035	0,030	0,90-1,20	0,15-0,30	-	-	-
1.7259	0,22-0,30	0,15-0,35	0,50-0,70	0,035	0,035	1,50-1,80	0,20-0,25	-	-	-
1.7273	0,20-0,28	0,15-0,35	0,50-0,80	0,035	0,035	2,30-2,60	0,20-0,30	≤ 0,80	-	-
1.7276	0,08-0,12	0,15-0,35	0,30-0,50	0,035	0,035	2,70-3,00	0,20-0,30	-	-	-
1.7281	0,12-0,20	0,15-0,35	0,30-0,50	0,035	0,035	2,00-2,50	0,30-0,40	-	-	-
1.7362	≤ 0,15	0,30-0,50	0,30-0,60	0,035	0,035	4,50-5,50	0,45-0,65	-	-	-
1.7766	0,15-0,20	0,15-0,35	0,30-0,50	0,035	0,035	2,70-3,00	0,20-0,30	-	0,10-0,20	-
1.7779	0,17-0,23	0,15-0,35	0,30-0,50	0,035	0,035	3,00-3,30	0,50-0,60	-	0,45-0,55	-
1.8212	0,18-0,25	0,15-0,35	0,30-0,50	0,035	0,035	2,70-3,00	0,35-0,45	-	0,75-0,85	W 0.30-0.45

# süpab çelikleri

motor ve kompresörlerde kullanılırlar.

temel özellikler

korozyona karşı direnç

darbelere dayanıklılık

valf ile valf yatağının sızdırmazlığı için çok

yüksek yüzey hassasiyetinde işlenebilirlik

uzun ömürlü

Chemical composition [% nominal]							
C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Ni	Mo
1.00	0.30	0.45	0.015	0.006			
0.75	0.30	0.40	0.018	0.005		2.00	
0.38	0.45	0.55	0.025	0.015	13.5		1.00
0.21	0.40	0.45	0.025	0.015	13.2		





# Manyetik alandan etkilenmeyen elikler

Elektronik sanayinde, jeolojik incelemelerde, bilimsel araştırmalar yapan gemilerin döner ekipmanlarında (şaft vs.), navigasyon hizmetlerinde kullanılan uydularda manyetik alanlardan etkilenmeyen elik kullanılması gerekmektedir.



# Rulman elikleri

% 0.10-0.20 aralığında karbon içeren sadece yüzeyi sertleştirilmiş ve % 1.0 kadar karbon içeren derinlemesine sertleştirilmiş çeliklerdir.

Rulmanlarda kullanılan bilya ve makaraların imalatında kullanılır. Bu elikler Islah elikleri grubuna aittir.



# Rulman elikleri

kod	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	Ni	diğer
1.3501	0.90-1.05	0.15-0.35	0.25-0.45	0.030	0.025	0.40-0.60	-	<0.30	Cu<0.30
1.3503	1.00-1.10	0.15-0.35	0.25-0.45	0.030	0.025	0.90-1.15	-	-	-
1.3505	0.90-1.05	0.15-0.35	0.25-0.45	0.030	0.025	1.40-1.65	-	<0.30	Cu<0.30
1.3520	0.90-1.05	0.50-0.70	1.00-1.20	0.030	0.025	1.40-1.65	-	<0.30	Cu<0.30
1.3536	0.90-1.05	0.20-0.40	0.60-0.80	0.030	0.025	0.90-1.65	0.20-0.35	<0.30	Cu<0.30
1.3543	0.95-1.10	<1.00	<1.00	0.040	0.030	16.0-18.0	0.35-0.75	<0.50	Cu<0.30
1.3549	0.85-0.95	<1.00	<1.00	0.045	0.030	17.0-19.0	0.90-1.30	<0.30	V:0.07-0.12
1.3551	0.77-0.85	<0.25	<0.35	0.015	0.015	3.75-4.25	4.00-4.50	-	V:0.90-1.10

# Maraging elikleri

Karbonsuz Fe-Ni alaşımları

Diğer alaşım elementleri: Co, Mo, Ti ve Al

Martensit + yaşlandırma sertleşmesi

820°C'den oda sıcaklığına havada soğutma ařırđ

doymuş katı eriyikte Mo ve Co'un bulunduğu yumuşak bir martensitik yapı verir.

480-500°C'de temperleme sonucunda Ni-Mo, Fe-Mo ve Fe-Ni bileşiklerinin öknelmesi ile etkin bir sertleşme yaşanır.

Akma dayanımı: 1400-2400 MPa Ultra Yüksek muk!

mükemmel tokluk özellikleri

kaynaklanabilirlik

# Maraging elikleri

yüksek mukavemet (400 °C'ye kadar)  
yaşlandırma öncesinde şekil verilebilirlik  
Maraging eliklerinde çatlak ilerleme hızı karbon çeliklerine kıyasla 10 kat daha yavaş!  
Kolay kırılmama özelliği ile yaralanmaları önlediğinden eskrim sporu kılılarında tercih edilir  
Ameliyat aletlerinde de kullanılır.  
Kritik bir kullanım alanı da uranyum zenginleştirmede gaz santrifüjleridir.  
Bu nedenle ticareti ABD tarafından yakından izlenir.



# Maraging elikleri

Havacılık sekt6r6  
yapısal panel ve profil  
Kanat bağlantı parçaları vb  
6zel takım aletleri  
6zel makine parçaları  
Ekstr6zyon pres zımbaları



# Maraging elikleri

Eskrim kılıçları

Golf sopası

silahlarda ateşleme pimleri

Füze-roket gövdeleri



# hadfield çelikleri

%0.8 - 1.25 C, %11 ile 15 Mn

Yüksek darbe direnci (darbe sırasında sertliği kırılmalık olmadan 3 kata kadar artar!)

Yüksek aşınma dayanımı

Düşük sıcaklıklarda dayanıklılık

Yüksek tokluk

Manyetik değil

İşlenebilirliği düşük (bazı uygulamalarda sorun!)

Tav ile yumuşatılmaz ve işlenebilirlik için özel takımlar gerekir.



# hadfield çelikleri

Madencilik sektörü  
Beton karıştırıcılar  
Taş kırıcılar  
Kumlama kabinleri  
(shot pinning)  
Krojenik yapısal



# Damascus çeliği

Ortadoğu'da kılıç yapımında kullanılan özel “antik” çelik.

yüzeyde su akış hatlarını andıran desenler. yüksek toklukları, çok keskin yapılabilmeleri, parçalanmaya dirençleri ile efsane olmuştur. Damascus çeliği hem süperplastik özelliklere sahip hem de çok sertti. Damascus çeliği döneminde Hindistan'da geliştirilen «wootz» çeliğinden imal edilirdi.





# Damascus çeliği

Günümüzde yapılan araştırmalar bu çeliğin nano karbon tüpleri içerdiğini göstermiştir.

Ergitme sırasında karbürleyici olarak çeliğe biyolojik katkılar yapıldığı tahmin ediliyor.

Bitki fiberlerinden karbon nanotüpleri yapılabildiği biliniyor. Elde edilen ingotlar tekrar tekrar dövülerek kılıç yapılırdı.



# Paslanmaz elikler

- Paslanmaz eliklerin yüzeyinde oksijen içeren atmosferlerde ince, sert ve yüzeye tutunması mükemmel koruyucu  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  filmi oluşur.
- $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bir çok kimyasal ve elektrolitik korozyon tehdidine karşı çok kararlıdır. Hasara uğradığında hemen yenilenir.
- Yüzey çizildiğinde koruyucu oksit tabakası pasivasyon ile kısa sürede tekrar oluşur ve yüzeyi korumaya devam eder.
- Pasivasyon ile koruyucu tabakanın oluşması için Cr oranının en az %10 ile %12 kadar olması gerekir.

# Paslanmaz elikler

- Paslanmaz elikler çeşitli korozyif ortamlarda ve özellikle atmosferik koşullara karşı çok dayanıklıdır.
- Başlıca alaşım elementi en az %11 kadar Cr'dur.
- Korozyon direnci ayrıca Ni ve Mo ilavesi ile arttırılabilir.
- Ayrıca yüksek mukavemet ve sünelik de gösterirler.



# Paslanmaz elikler

- Paslanmaz elikler karbon miktarı arttıkça korozyon direnci dūştūğünden genel olarak daha az karbon içerirler.
- Karbon krom ile reaksiyona girer ve karbür oluřturur. Bōylece koruyucu oksit filmini oluřturan etkin Cr miktarı dūřtūğünden korozyon direnci de dūřmūř olur.



# Paslanmaz elikler

Paslanmaz elikler ana faz yapısı üzerinden aşağıdaki gruplara ayrılır:

ostenitik

ferritik

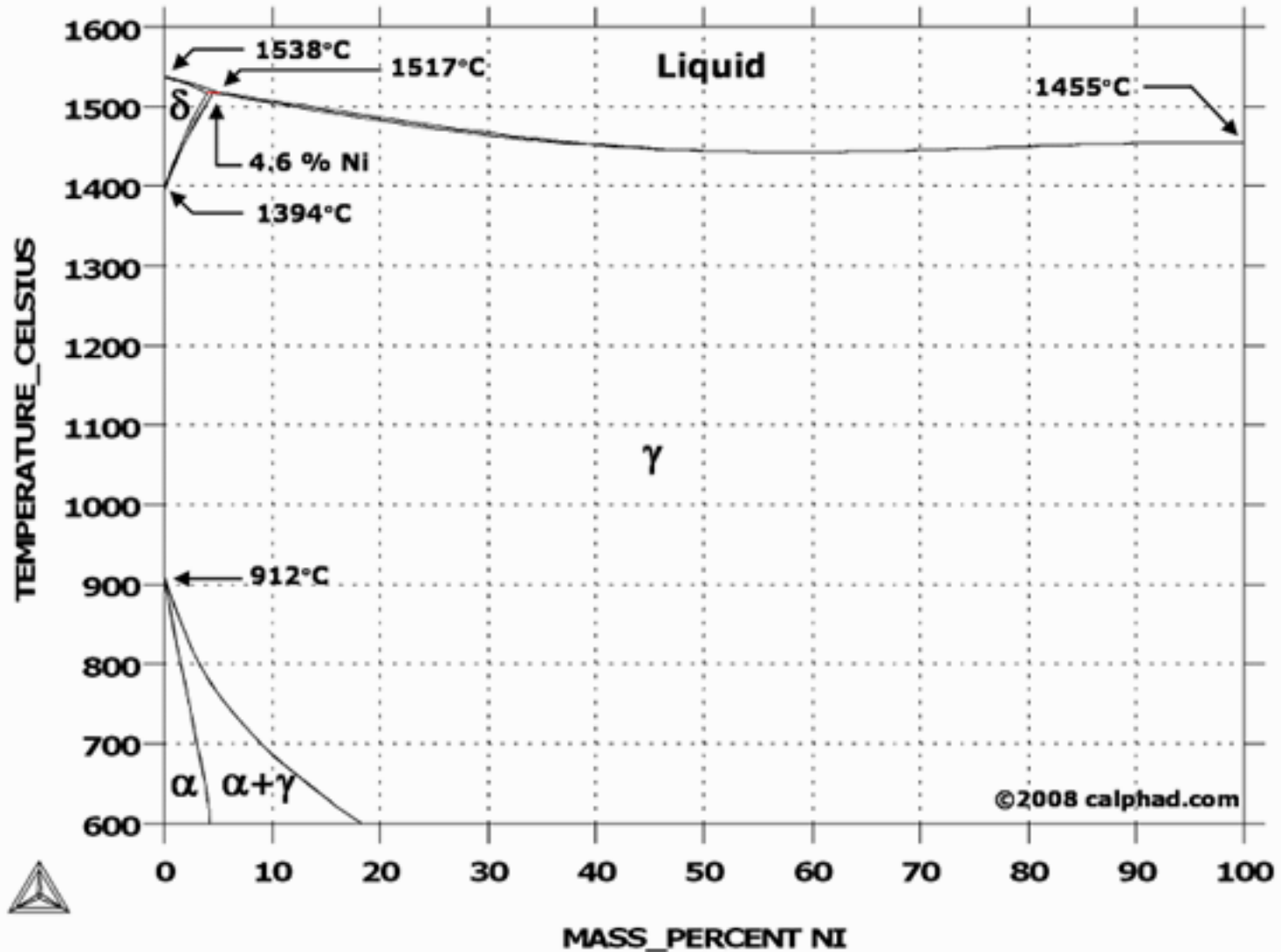
martensitik

okelme sertleşmeli





# Ostenitik paslanmaz çelikler



# Ostenitik paslanmaz çelikler

- ostenitik paslanmaz çelikler ostenit fazını kararlı kılan Ni ilavesi ile elde edilir.
- 18% Cr ile birlikte 8% Ni ve 0.03% C içeren ostenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığına kadar ostenitik kalırlar.
- Soğuma sırasında faz dönüşümü yaşanmadığından düşük sıcaklıklarda kırılma yaşamazlar.
- Hem Cr hem de Ni içerdikleri için tüm paslanmaz çelikler arasında korozyona en dayanıklı olan çeliklerdir.
- Paslanmaz elikler arasında en fazla üretilenlerdir.

# Ostenitik paslanmaz elikler

- Hemen hiç karbür oluşmadığından korozyona direnç ile birlikte yüksek süneklik yüksek şekil alabilirlik ve makul seviyelerde mukavemet gösterirler.
- Mukavemet katı eriyik sertleşmesi ve soğuk deformasyonla sağlanır. Isıl işleme sertleşme bu çeliklerde mümkün değildir.
- Yüksek Ni ve Cr yüzünden diğer paslanmaz çeliklere göre daha pahalıdır.
- TiC veya NbC oluşturan düşük miktarlarda Ti veya Nb ilavesi ile korozyon direncini eksiltmeden çökeltme sertleşmesi de kazandırılabilir.

# Ostenitik paslanmaz çelikler

diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özellikler

- Korozyona karşı yüksek dayanımları olması,
- Tokluklarının yüksek olması
- Mıknatıslanmamalarıdır.

Bu malzemeler Petrokimya ve gıda sanayisinde kullanılırlar. Genellikle 8% Ni, 18% Cr içerirler.

Piyasada AISI 301, 302, 303, 304, 305, 308, 309, 310, 314, 316, 317, 321, 329, 347, 348 kalite olarak bilinen paslanmaz elikler Östenitik paslanmaz çeliklerdir.



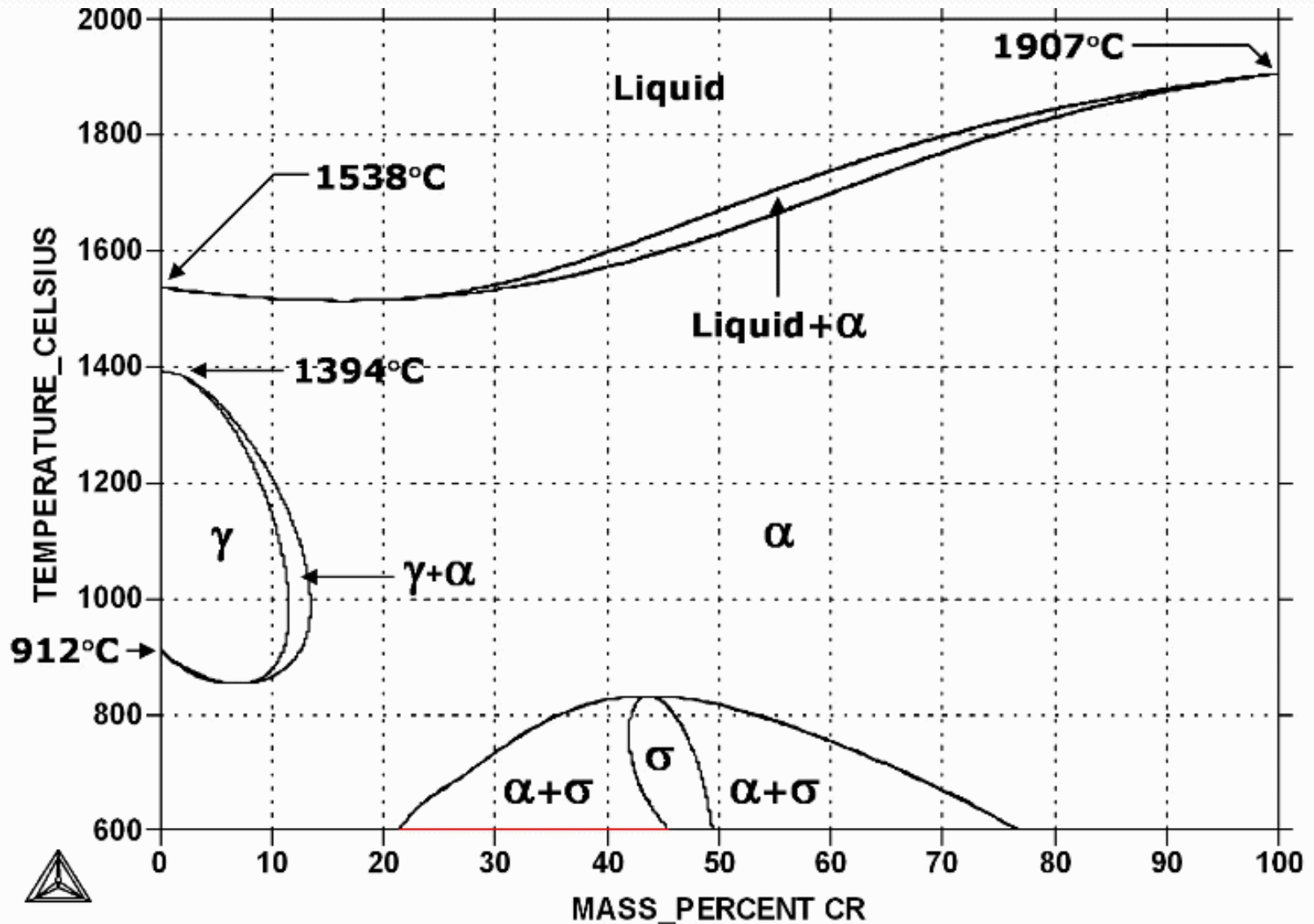
# Ostenitik paslanmaz elikler

Gıda işleme tesis ve donanımları-kaynaklı  
Kimyasal tesisler  
Krojenik tesis ve araçlar





# ferritik paslanmaz çelikler



# ferritik paslanmaz elikler

- Krom HMK kafes yapısına sahip olduğundan ferrit yapıcı bir elementtir. Ferriti kararlı kılarken osteniti de azaltır; bu sayede ferrit faz alanı oda sıcaklığına kadar devam eder. Bu nedenle Cr ilavesi ile üretilen çeliklerde ferrit kararlı fazdır.
- $Cr \geq 12$  ağ% fazla olduğunda ostenit fazı oluşmaz.
- Ferritik paslanmaz elikler Ostenitiklerden daha düşük Ni içerirler.
- Ni içermedikleri için ostenitik çeliklerden daha ucuzdurlar.



# ferritik paslanmaz elikler

- Bir çok ferritik paslanmaz elik 30% kadar Cr ve 0.12% 'den daha az C içerirler.
- Yeterli mukavemet ve fakat HMK kristal yapısı yüzünden sadece mütevazi seviyede süneklik ve Şekil verilebilirlik gösterirler.
- Ostenitik paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon direncine gerek olmayan durumlarda tercih edilirler.
- Ferritik paslanmaz çelikler, ısıl işleme sertleŐtirilemedikleri için sertleştirme soğuk deformasyonla yapılır.

# ferritik paslanmaz elikler

Bu paslanmazlar ısıı işleme uygun değildir (sertlik verilemez) ve mıknatıslanırlar.

Eğer sertleştirilmeleri gerekirse soğuk haddeleme ile sertlik kazanabilirler.

Bu paslanmazlarda korozyon dayanımı ve tokluk dūřuktur. İçeriklerindeki C oranı 0.2% civarındadır. Otomotivde eksoz borularında ve kimyasallar için depo, tank vs imalatında kullanılırlar. Ayrıca ısı iletim katsayıları yūksek olduğundan kazan imalatı için uygundur.

Piyasada AISI 405, 430, 446 kalite olarak bilinen paslanmaz çelikler ferritik paslanmaz çeliklerdir.

# ferritik paslanmaz çelikler

Otomobil egsoz  
parçaları

Tarım ilacı tankları

Yüksek sıcaklık  
vanaları

Cam işleme kalıpları





# martensitik paslanmaz elikler

- ~750 °C üstünde ostenitleme ve ardından oda sıcaklığına su verme ile martensit yapısı oluşturularak üretilirler.
- Bu şekilde oluşturulan martensit yapılı çelikler temperleme ısıl işlemleri ile daha da sertleştirilebilirler.
- Bu elikler korozyona karşı diğer paslanmaz çelikler kadar dayanıklı olmamakla birlikte daha yüksek sertlik ve mukavemete sahiptirler.
- Tipik uygulamalar yüksek kaliteli bıçaklar, bilya ve rulmanlar, valf ve yaylardır.

# martensitik paslanmaz elikler

Bu paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği ısıl işlem yolu ile sertliklerinin arttırılabilmeleridir. İçeriğinde 0.40% karbon olan AISI 4140 de sertlik ısıl işlem yolu ile çok yüksek değerlere ıkarılabılır. Bunlarda Ni pek bulunmaz.

Bu paslanmazlar korozyona karşı en az direnç gösteren malzemelerdir.

Piyasada AISI 403, 410, 414, 416, 418, 420, 422, 431, 440, 501, 502 kalite olarak bilinen paslanmaz çelikler martensitik paslanmaz çeliklerdir.

# martensitik paslanmaz elikler

Ateşli silah namluları

Saat kayışları

Kesiciler

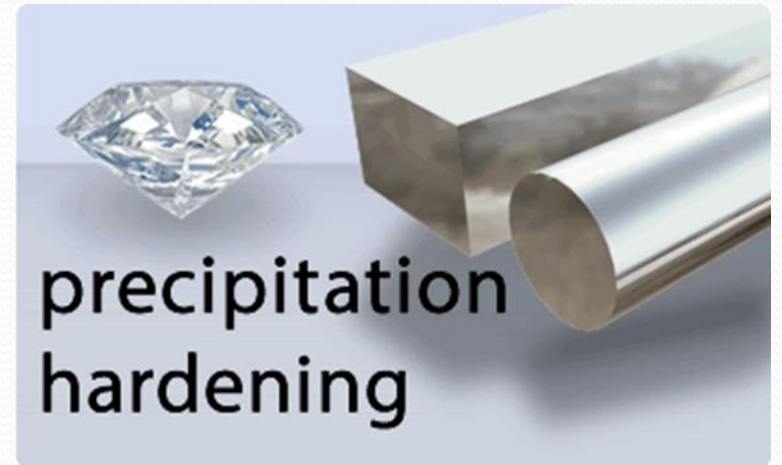
Bıçaklar

Ameliyat gereçleri



# Çökeltme sertleşmeli SS

- Bu kromlu ve nikelli çelikler hem ostenitik hem de martensitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özelliklerine sahiptirler.
- Yüksek mukavemetler için ısıl işleme uygundur.
- Çökelti dislokasyon hareketlerine engel olurken, mukavemet ve sertlik artar.
- Korozyona dirençli yapısal uygulamalara adaydırlar.
- Su verme işlemleri distorsiyonlara ve renk değişimlerine yol açmaz.



# Çökeltme sertleşmeli SS

- Bazı paslanmaz çelikler mekanik özelliklerini korudukları ve oksidasyona direnç gösterdikleri için yüksek sıcaklıklarda ve aşırı atmosferlerde kullanılırlar.
- Oksitleyici atmosferler için servis sıcaklığı üst sınırı yaklaşık 1000 °C'dir.
- Ultra yüksek mukavemetli paslanmaz çelik (17-7PH) olağanüstü mukavemetli ve korozyona dirençlidir.
- Bu çelikler gaz türbinlerinde, yüksek sıcaklık buhar kazanlarında, ısıtım fırınlarında, uçak, füze gövdelerinde ve nükleer güç santrallerinde kullanılırlar.



# Çökeltme sertleşmeli SS

Yaylar

Bıçaklar

Basınçlı kaplar



# Ni-Cr-Mo paslanmaz çelikleri surgical SS

Vücuda  
takılan küpe  
vb aksesuarlar



# paslanmaz çelikler

	AISI type	Usage
Martensitik Isıl işleme sertleştirilebilir!	410 420 440C	Genel amaç Isıl işleme sertleşebilir.
ferritik korozyona martensitiklerden daha dayanıklı fakat ısıl işleme sertleşmez!	405 430 446	Soğuk işleme sertleşebilir.
ostenitik korozyona en dayanıklı fakat işleme sertleşme!	201 202 301 302 302B 304L 310 316 321	Yüksek sıcaklıklar için Kaynak için modifiye Üstün korozyon direnci

# Paslanmaz çelik örnekleri

çelik	%C	%Cr	%Ni	diğer	UTS (MPa)	YS (MPa)	El (%)	durum
<b>ostenitik</b>								
201	0.15	17	5	6.5%Mn	655	310	40	tavlı
304	0.08	19	10		517	207	30	
“					1275	140	9	Soğuk deformasyon
304L	0.03	19	10		517	207	30	tavlı
316	0.08	17	12	2.5%Mo	517	207	30	tavlı
321	0.08	18	10	0.4%Ti	586	241	55	tavlı
347	0.08	18	11	0.8%Nb	620	241	50	tavlı
<b>Ferritik</b>								
430	0.12	17			448	207	22	tavlı
442	0.12	20			517	276	20	tavlı
<b>Martensitik</b>								
416	0.15	13		0.6%Mo	1241	965	18	Q + T
431	0.20	16	2		1379	1034	16	Q + T
440C	1.10	17		0.7%Mo	1965	1896	2	Q + T
<b>Yaşlanma sertleştirilmesi</b>								
17-4	0.07	17	4	0.4%Nb	1310	1172	10	yaşlandırılmış
17-7	0.09	17	7	1.0%Al	1654	1586	6	yaşlandırılmış

# paslanmaz çelik örnekleri

Type	UNS number	Composition (wt %) <sup>a</sup>							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
<i>Austenitic Types</i>									
201 <sup>b</sup>	S20100	0.15	5.5–7.5	1.00	16.0–18.0	3.5–5.5			
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0–20.0	8.0–10.5			
310	S31000	0.25	2.00	1.50	24.0–26.0	19.0–22.0			
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	2.0–3.0		
347 <sup>c</sup>	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0–19.0	9.0–13.0			
<i>Ferritic Types</i>									
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5–14.5				0.10–0.30
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0–18.0				
<i>Martensitic Types</i>									
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5–13.0				
501	S50100	0.10 min	1.00	1.00	4.0–6.0		0.40–0.65		
<i>Precipitation-Hardening Types</i>									
17–4 PH <sup>d</sup>	S17400	0.07	1.00	1.00	15.5–17.5	3.0–5.0		3.0–5.0	
17–7 PH	S17700	0.09	1.00	1.00	16.0–18.0	6.5–7.75			0.75–1.5

Source: Data from *Metals Handbook*, 9th ed., Vol. 3, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1980.

<sup>a</sup>Single values are maximum values unless otherwise indicated.

<sup>b</sup>0.25 wt % N.

<sup>c</sup>10 × %C = min Nb + Ta (optional).

<sup>d</sup>0.15 – 0.45wt % Nb+Ta.



# Paslanmaz elikler

- Paslanmaz elikleri otoyol yapılarında köprülerde beton donatısı olarak kullanmak son yıllarda yaygınlaşmıştır.
- tuz ve betonun kendisinin oluşturduğu risk göz önünde bulundurulduğunda paslanmaz çelikler karbon çeliklerine göre daha güvenli bir malzeme seçimidir.



# Paslanmaz eliklerin seçimi

## Servis sıcaklığı nedir?

Yüksek sıcaklıklarda genel olarak korozyon hızlanır. Bu nedenle daha üst kalite bir paslanmaz elik seçilmelidir. Düşük sıcaklıklarda kullanılacak ise tok ostenitik bir paslanmaz elik seçilmelidir.

## Mukavemet gereksinimi nedir?

Ostenitik, dupleks, martensitik ve çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler daha yüksek mukavemet değerleri verirler. Aralarından seçmek için kaynak ve şekil verme işlemleri dikkate alınır. Mesela, deformasyonla sertleştirilen ostenitik çelikler kaynak yapılacaksa kaynak işlemi sırasında mukavemet kaybı yaşanacağından uygun değildir.

# Paslanmaz eliklerin seçimi

## Hangi kaynak işlemi yapılacak?

Ostenitik paslanmaz çelikler genel olarak diğerlerinden daha yüksek kaynak kabiliyetine sahiptirler.

Ferritik elikler ince kesitlerde kaynaklanabilirler.

Dupleks elikler ostenitiklerden daha kaynaklanabilirdir.

Martensitik ve dupleks çeliklerin kaynaklanabilirlikleri sınırlıdır.

## şekil verme gereksinimi ne kadardır?

Ostenitik elikler diğerlerinde daha kolay şekil verilebilirler.

Ferritik elikler de bu anlamda yetersiz sayılmaz.

Fakat martensitik ve PH çeliklere şekil vermek gctr.

# Paslanmaz eliklerin seçimi

## Ürün biçimi nedir?

Bütün paslanmaz çelikler piyasada her şekil ve ölçüde bulunmaz.

Ostenitik elikleri hemen her şekil ve ölçüde bulmak mümkündür.

Ferritik elikler genellikle levha şeklindedir.

Martensitik elikler için durum tam tersidir. Bunlar çoğunlukla çubuk şeklindedir.

## Müşterinin performans beklentisi nedir?

Estetik beklentilerin yapısal özelliklere göre durumu nedir?

Tasarım ömrü belirtilir fakat garanti etmek güçtür.

Martensitik ve ferritik paslanmaz çelikler manyetik, ostenitik paslanmaz çelikler değildir.

# Takım ve kalıp çelikleri

- Yüksek alaşımlı ve yüksek oranda karbon içeren çeliklerdir.
- Normal ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet, darbe tokluğu ve aşınma direnci için tasarlanmış alaşımlı çelikler
- Diğer malzemeleri ve özellikle metalleri kesmek, şekillendirmek için kullanılırlar.
- Bu malzemelerin ıslah çeliklerinden en önemli farkı iç yapılarındaki temizlik nedeni ile belirtilen mukavemet ve sertlik değerlerinde sapmanın minimum olmasıdır.



# Takım ve kalıp elikleri

- Bu nedenle takım çelikleri ıslah çeliklerinden çok daha pahalıdır. Takım eliği pahalı olduğu için kullanıcıların takım çeliği satın alırken menşesine dikkat etmeleri ve mutlaka sertifika talep etmeleri gerekir.
- Bu malzemeler ısıl işlem görmemiş olarak satın alınır ve kullanıcı tarafından işlendikten sonra ısıl işlem uygulanır. Bu elik ancak ısıl işlemden sonra kendinden beklenen özellikleri sağlayabilir.

# Takım elikleri

Yüksek mukavemet

Yüksek sertlik

Yüksek tokluk

Yüksek süneklik

Yüksek aşınma direnci

Yüksek sıcaklıklarda çalışabilme

Yüksek ısı iletim kabiliyeti

Yüksek işlenebilirlik

Yüksek Parlatılabilirlik

Yüksek şekillendirilebilirlik

Düşük termal genleşme

# Takım çelikleri

Başlıca alaşım elementleri: W, Mo ve Cr

## **H-serisi (sıcak-iş çelikleri)**

yüksek sıcaklık uygulamaları için! Toklukları yüksektir ve çatlamaya ve aşınmaya yüksek direnç gösterirler.

## **S-serisi (şok dayanımlı çelikler)**

darbe toklukları yüksektir.

# Takım elikleri

1. Karbonlu takım elikleri
2. Yüksek hız takım elikleri
3. Soğuk iş takım elikleri
4. Sıcak iş takım elikleri.
5. Darbeye mukavim takım elikleri

# Karbonlu takım elikleri

- Bu takım eliklerine Su elikleri de denir.
- Karbon 0.16% ile 1.4% arasında değişir.
- Cr ve V (vanadyum) ok azdır.
- Karbonlu takım çeliği çok sert bir kabuk altında yüksek mukavemette bir merkez-altlık gerektiren yerlerde kullanılır.
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklı değildir.
- şekillendirme ve şişirme kalıpları, kesme kalıpları, ahşap işleme kesici takımları, eğe, kılavuz.



# Yüksek hız çelikleri

- Yüksek hız takım çelikleri derin sertleşebilir çeliklerdir.
- hepsinde 4% Cr bulunur.
- Sertlik ve mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda korurlar.
- yüksek karbonlu çeliklerden daha hızlı keserler.
- Freze çakıları, torna kalemleri, rayba, kılavuz, azdırmalar, zımba ve kalıplarda kullanılırlar.



# Yüksek hız çelikleri

2 gruba ayrılırlar:

## **M-serisi**

%10 kadar Mo içerirler.

T serisinden daha yüksek aşınma direncine sahiptirler.

## **T- Serisi**

% 12-18 kadar tungsten içerirler. Isıl işlemde daha az distorsiyona uğrarlar.

M serisinden daha ucuzdurlar.



# Soğuk iş Takım çelikleri

normal sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve aşınma direnci gösteren malzemelerdir.

Başlıca alaşım elementi Mn, Cr ve W dır.

Su verme sırasında çarpılma riskleri çok düşüktür.

Kullanıldığı yerler: Soğuk zimbalar, mastarlar, sac makasları.

Türkiyede en çok kullanılan soğuk iş takım çelikleri;

SAE 1390 : Karbon manganlı çelik

SAE 5190 : kromlu çelik

SAE 7245 : volframli çelik

SAE 512200

# Sıcak iş Takım çelikleri

Yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini, aşınmaya karşı dirençlerini ve tokluklarını kaybetmeden çalışabilirler.

karbon oranları düşük olup 0.3% ile 0.5% arasındadır. Başlıca elementleri Cr, W ve Mo dır.

- Darbelere karşı dayanıklı ancak yüksek sıcaklıklarda darbe mukavemetleri düşer.
- Yüksek sıcaklıklarda 40-55 HRC arası sertlik
- İşlenmeleri kolay
- Sıcaklıktan ötürü genleşmeleri düşüktür
- Su verme sırasında çarpılma minimum!
- 550°C de 1750-2500 (N/mm<sup>2</sup>) akma mukavemeti

# Sıcak iş Takım çelikleri

Kullanım yerleri: Beyaz eşya sektöründe extrusyon kalıpları, sıcak rulo sarma mandrelleri, sıcak makaslar, sıcak dövme kalıpları, vb.

ülkemizde en çok kullanılan Sıcak iş takım çelikleri

SAE 5330

SAE 7430 : volframlı çelik

SAE 7930 : volframlı çelik



# darbe takım çelikleri

Darbe takım çelikleri darbeli çalışacak takımların imalatında kullanılırlar. Bunlarda başlıca element silis(Si), Krom (Cr) ve Wolfram (W) dır. Bu çeliklerde karbon 0.5% yi geçmez. Aşınmaya karşı dirençleri orta seviyededir.

Kullanıldığı yerler: Keskiler, zımbalar, çekiçler.

Bunlarda yüksek sıcaklıklarda çalışma özellikleri yoktur.

Örnek: 1.2550 (60WCrV7)

<u>C</u>	<u>Si</u>	<u>Cr</u>	<u>V</u>	<u>W</u>
0.60	0.60	1.10	0.20	2.00

# Takım elikleri



# Takım elikleri



# Belli başlı takım çelikleri

AISI	UNS	C	Cr	Ni	Mo	W	V	uygulama
M1	T11301	0.85	3.75	0.3max	8.70	1.75	1.20	Matkap, testere, torna takımları
A2	T30102	1.00	5.15	0.3max	1.15	-	0.35	Kalıp malz
D2	T30402	1.50	12	0.3max	0.95	-	1.1max	Kesme ve çekme kalıpları
O1	T31501	0.95	0.50	0.3max	-	0.50	0.3max	Kesme takımları
S1	T41901	0.50	1.40	0.3max	0.5max	2.25	0.25	Matkap ve kesici
W1	T72301	1.10	0.15max	0.2max	0.1max	0.15max	0.1max	takım



# Çeliklerin AISI-SAE gösterilişleri

XXXX

İlk hanede çeliğin esas sınıfı gösterilir.

İkinci rakam bu ana sınıfın içindeki alt sınıfı ve ana alaşım elementinin miktarını ifade eder.

3. ve 4. haneler karbon miktarını gösterir ve kaynak işi yönünden önemlidir.

Carbon steels	10XX
Carbon steels, resulfurized	11XX
Carbon steels, resulfurized and rephosphorized	12XX
Manganese steels	12XX
Nickel steels	13XX
Nickel steels 3.50% Ni	2XXX
Nickel steels 5.0% Ni	23XX
Nickel chromium steels	25XX
Ni-Cr steels 0.7% Ni, 0.7% Cr	3XXX
Ni-Cr steels 1.25% Ni, 0.6% Cr	30XX
Ni-Cr steels 1.75% Ni, 1.0% Cr	31XX
Ni-Cr steels 3.50% Ni, 1.50% Cr	32XX
Carbon-molybdenum steels	33XX
Chromium-molybdenum steels	40XX
Chromium-nickel-molybdenum steels	41XX
Nickel-moly steels 1.65% Ni, 0.25% Mo	43XX
Nickel-moly steels 3.25% Ni, 0.25% Mo	46XX
Low chromium steels	48XX
Medium chromium steels	50XX
Carbon-chromium steels	51XX
	52XX



# Çeliklerin AISI-SAE gösterilişleri

## Karbon çelikleri

İlk rakam “1” dir: 10XX, 11XX ve 12XX’de olduğu gibi!

İkinci rakam prosesi tarif eder:

1: sülfürlenmiş: 11XX

2: sülfürlenmiş ve fosforlanmış: 12XX

## Mangan çelikleri

İlk rakam bir karbon çeliği olması sebebiyle yine “1”dir: 13XX’de olduğu gibi.

Mn karbon çeliklerinde doğal olarak bulunduğu için ayrı bir kod ile tanımlanmamıştır. İkinci rakam daima “3” tür.

# Çeliklerin AISI-SAE gösterilişleri

## **Nikel çelikleri**

İlk rakam “2” dir: 23XX ve 25XX’de olduğu gibi.  
İkinci rakam alaşımdaki Ni miktarını gösterir.

## **Nikel-krom çelikleri**

İlk rakam “3” tür: 31XX, 32XX ve 33XX’de olduğu gibi!

İkinci rakam Ni ve Cr miktarını verir.

## **Molibden çelikleri**

İlk rakam “4” tür: 40XX ve 44XX’de olduğu gibi!  
İkinci rakam molibden miktarını ifade eder.

# Çeliklerin AISI-SAE gösterilişleri

## **Krom çelikleri**

İlk rakam “5” tir: 51XX ve 52XX’de olduğu gibi.  
İkinci rakam alaşımdaki Cr miktarını gösterir.

## **Krom-vanadyum çelikleri**

İlk rakam “6” dır: 61XX’de olduğu gibi!  
İkinci rakam Cr ve V miktarını verir.

## **Tungsten-Krom çelikleri**

İlk rakam “7” tür: 72XX’de olduğu gibi!  
İkinci rakam W ve Cr miktarını ifade eder.

# Çeliklerin AISI-SAE gösterilişleri

## Silisyum-mangan çelikleri

İlk rakam “9” dur: 92XX’de olduğu gibi.

İkinci rakam alaşımdaki Si ve Mn miktarını gösterir.

## Üçlü alaşım çelikleri

Bu çelikler belli başlı 3 alaşım elementi içerirler.

İlk rakam öne çıkan alaşım elementine göre “4”,

“8” veya “9” olabilir: 61XX’de olduğu gibi!

İkinci rakam diğer alaşım elementlerinin miktarını verir.

# Çeliklerin UNS gösteriliş şekli

Birleştirilmiş kodlama sistemi / Unified Numbering System (UNS)

Her bir UNS numarası başta bir harf olmak üzere 5 haneli bir rakamdan oluşur.

Baştaki harf alaşımın ait olduğu metal grubunu ifade eder.

Karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler için tanımlama kodu G harfi ile başlar. Sonra 4 haneli rakamdan oluşan AISI/SAE numarası takip eder. Sonuncu hane «0» dir.

Takım çelikleri için UNS kodu T harfi ile başlar.



# Dövme demir

Çelik üretim teknolojisindeki gelişmelerden ve büyük miktarlarda nitelikli çelik üretilemeden önce işlenebilir çeliğin en önde ve yaygın türü dövme demirdi.

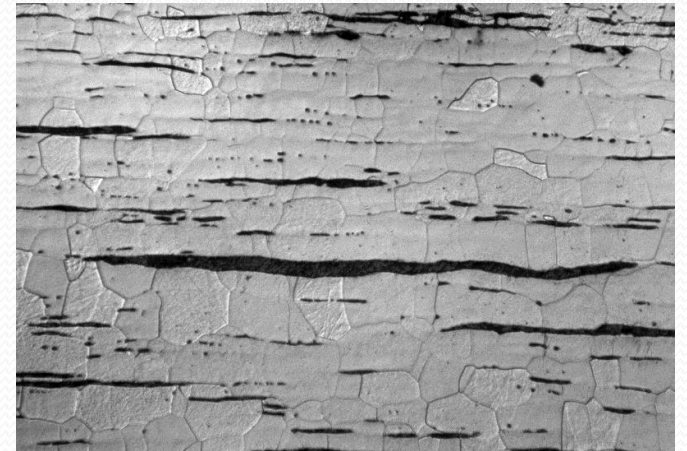
Dövme demir için talep savaş gemileri, demiryolu inşaatları için 1860 yılında en yüksek seviyeye çıktı. Daha sonra düşük karbonlu yumuşak çeliklerin gevreklik gibi kalite sorunları çözülüp bu çelikler ucuz ve bol hale gelince bu talep düştü.

Daha önce dövme çelikten imal edilen su ve buhar boruları, tren rayı, cıvata, zincir, çivi vb bir çok ürün bugün yumuşak çelikten üretilmektedir.

# dövme demir

- Çok düşük karbonlu ( $\sim$  %0.05) demir alaşımı
- Ağırlıkça %2'ye kadar cüruf kaynaklı fiber kalıntılar mevcut.
- Tok/sünek ve kolayca şekil verilebilir.
- MÖ 2000 yılından bu yana kullanılmış.
- Bir çok saf metalden daha dayanıklı.
- Silah, zırh yanısıra tencere vb yapımında.
- En büyük kısıt proses güçlükleri. Büyük parçaların imalatı zor.

Dövme demirin mikroyapısı: ferrit matriste uzamış cüruf kalıntıları

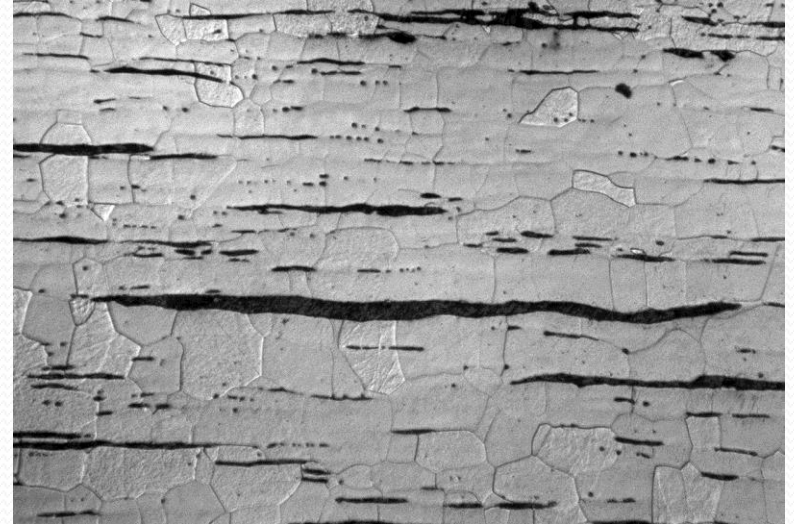


# Dövme demir

Uzamış cüruf kalıntıları sayesinde diğer demir esaslı malzemelerde rastlanmayan özellikler!

Yapıda her bir  $\text{cm}^2$  sinde 40000 kadar kalıntı var!  
ısıtıl işleme sertleşme sağlayacak miktarda karbon yok!

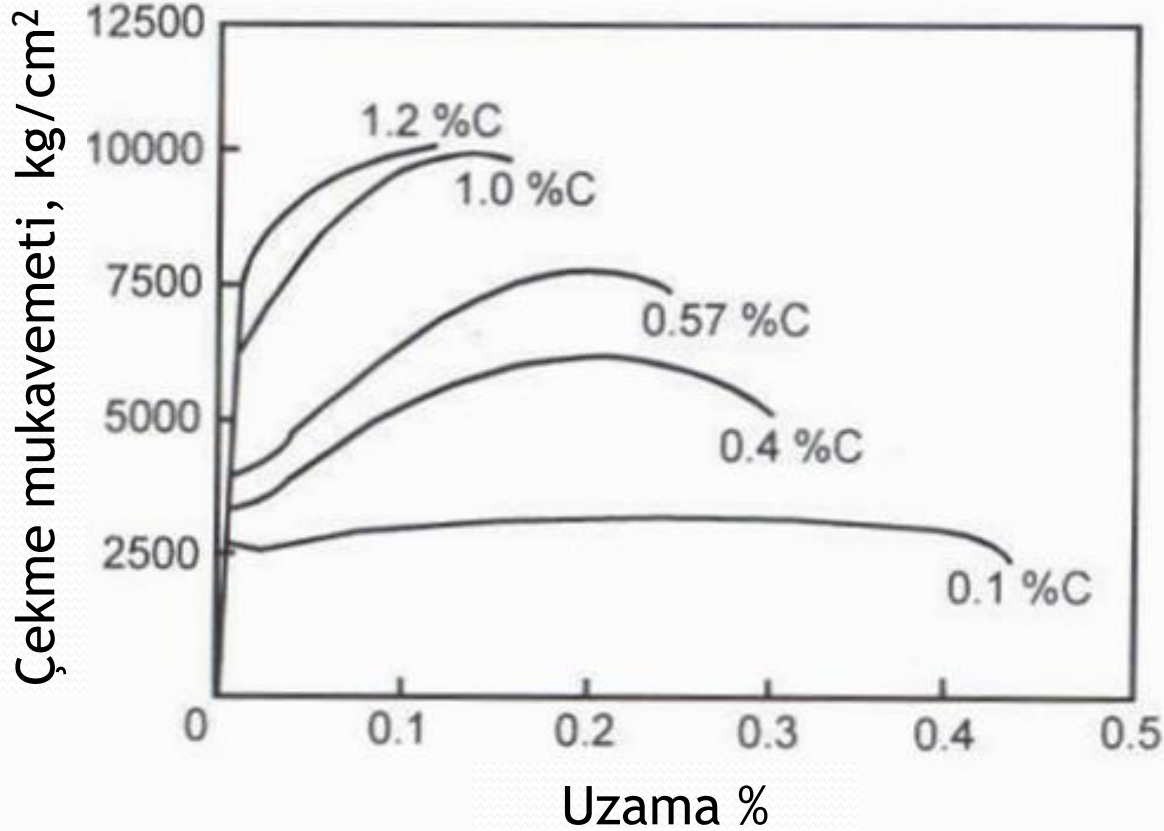
Düşük karbonun en önemli avantajı mükemmel kaynaklanabilirliğidir.



# Pik demir, yumuşak elik ve dövme demirin bileşimleri

malzeme	Fe	C	Mn	S	P	Si
Pik demir	91-94	3.5-4.5	0.5-2.5	0.02-0.1	0.03-0.1	0.25-3.5
Karbon eliği	98.1-99.5	0.07-1.3	0.3-1.0	0.02-0.06	0.002-0.1	0.005-0.5
Dövme demir	99-99.8	0.05-0.25	0.01-0.1	0.02-0.1	0.05-0.2	0.02-0.2

# Karbon miktarı-mukavemet

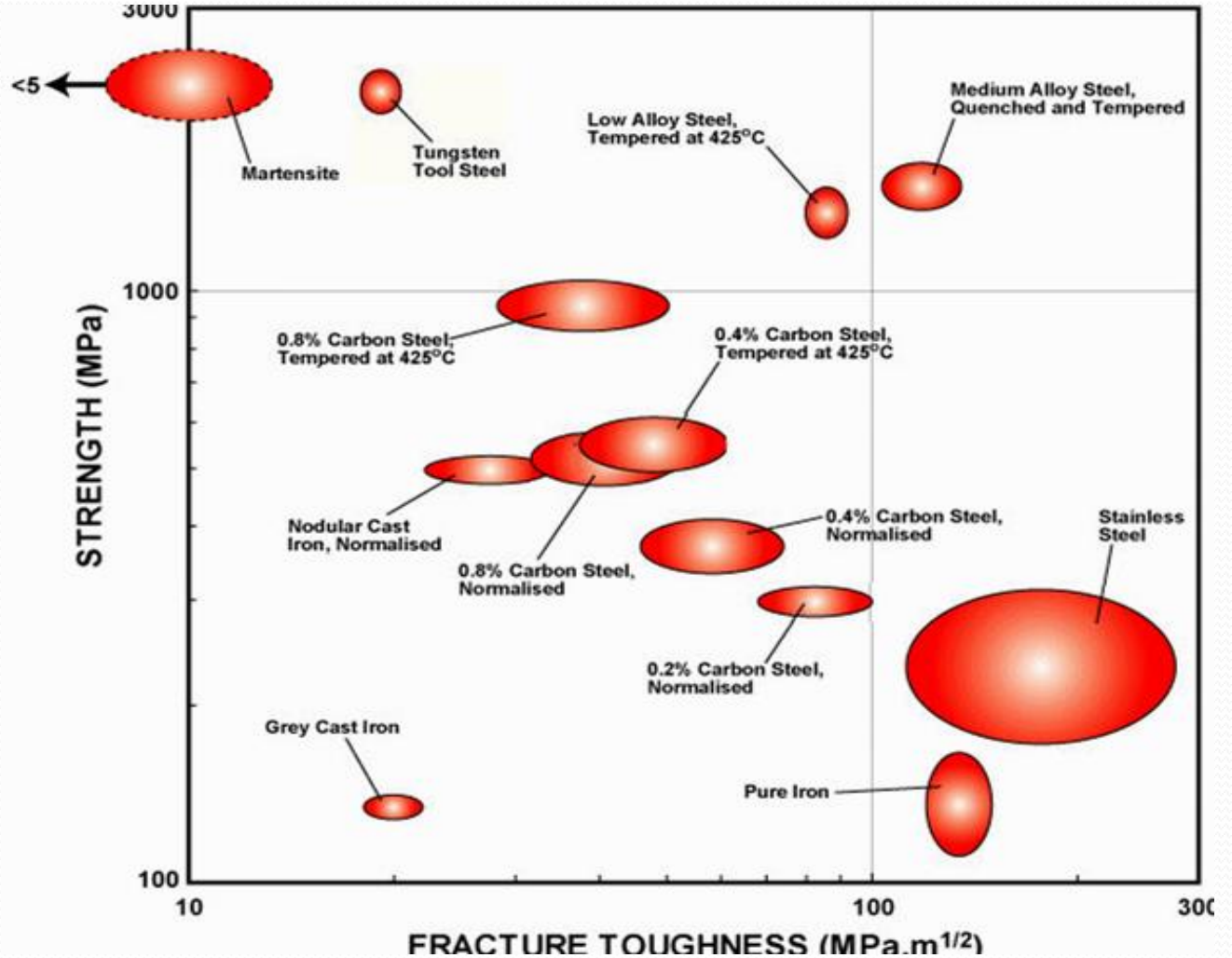


Sıcak şekil verilmiş karbon çeliklerine ait tipik gerilim-gerinim eğrileri



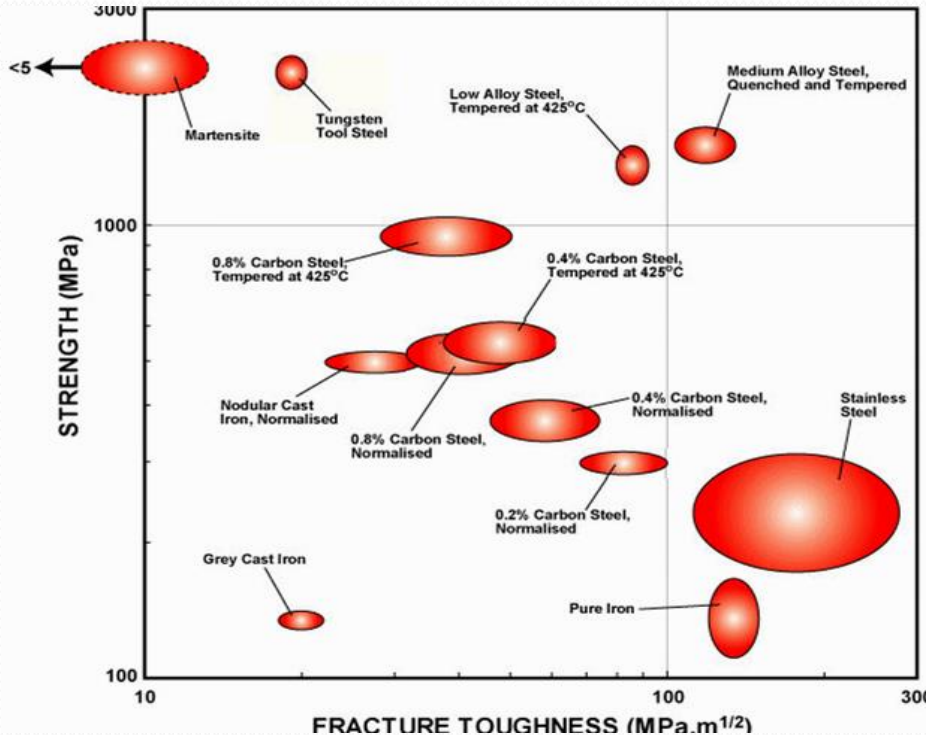
# Çeliklerin seçimi

İnşaat işlerinde I profilleri için en uygun çelik hangisidir?



# Çeliklerin seçimi

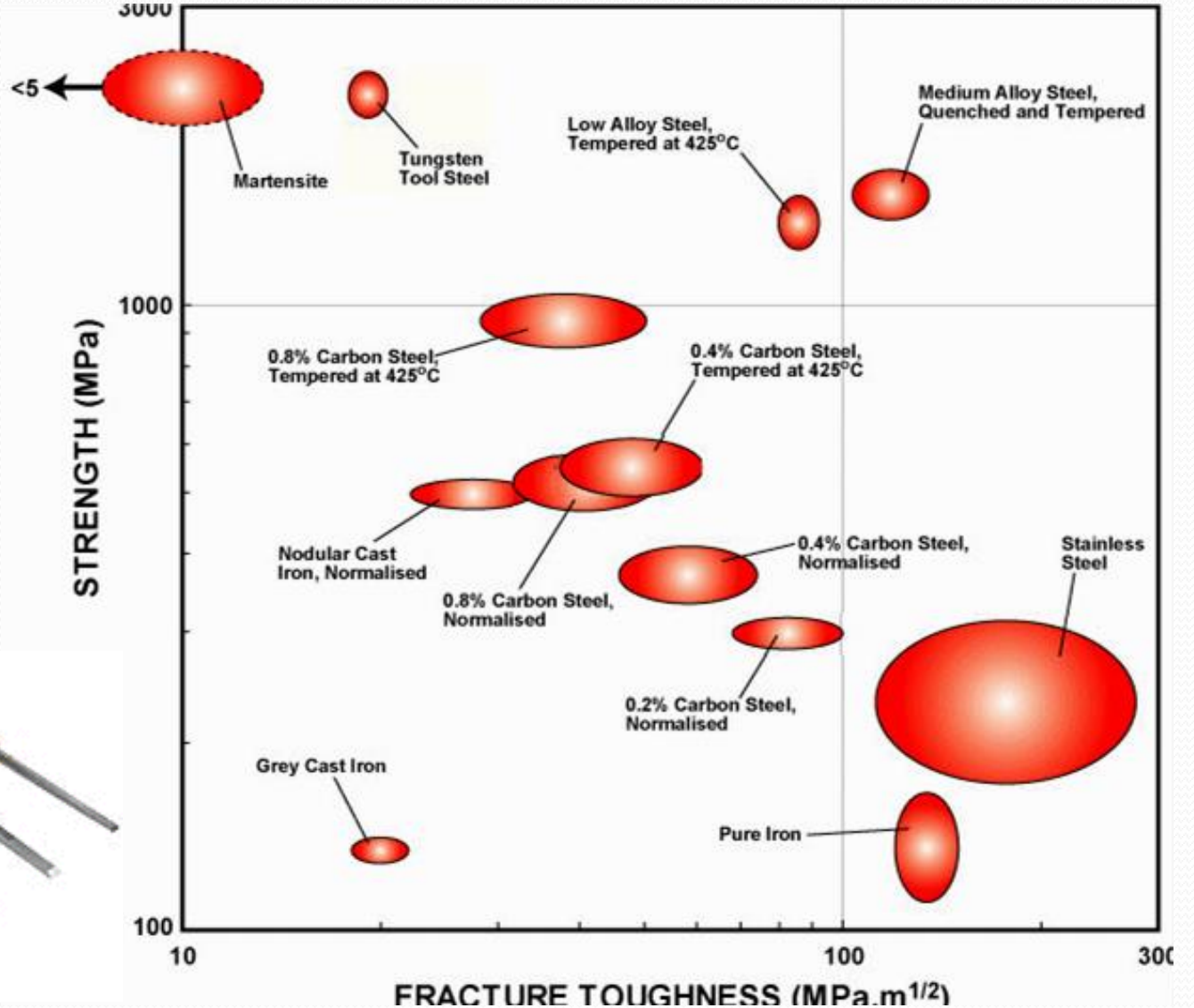
İnşaat işlerinde I profilleri için en uygun çelik hangisidir?



Düşük karbonlu /yumuşak çelik:  
Tokluğu mükemmel  
Mukavemet yeterli!  
Ucuz ve  
kaynak kabiliyeti  
yüksek

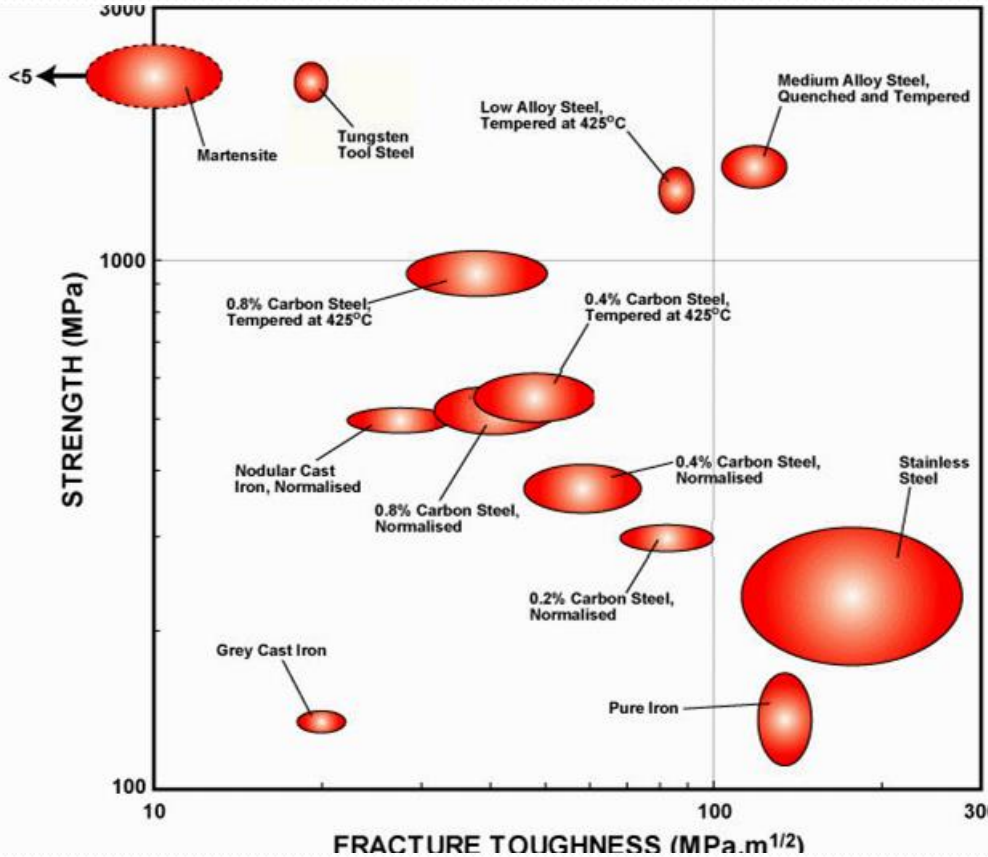
# Çeliklerin seçimi

Eğme vb el aletleri yapmak için hangi çeliği kullanırsınız?



# Çeliklerin seçimi

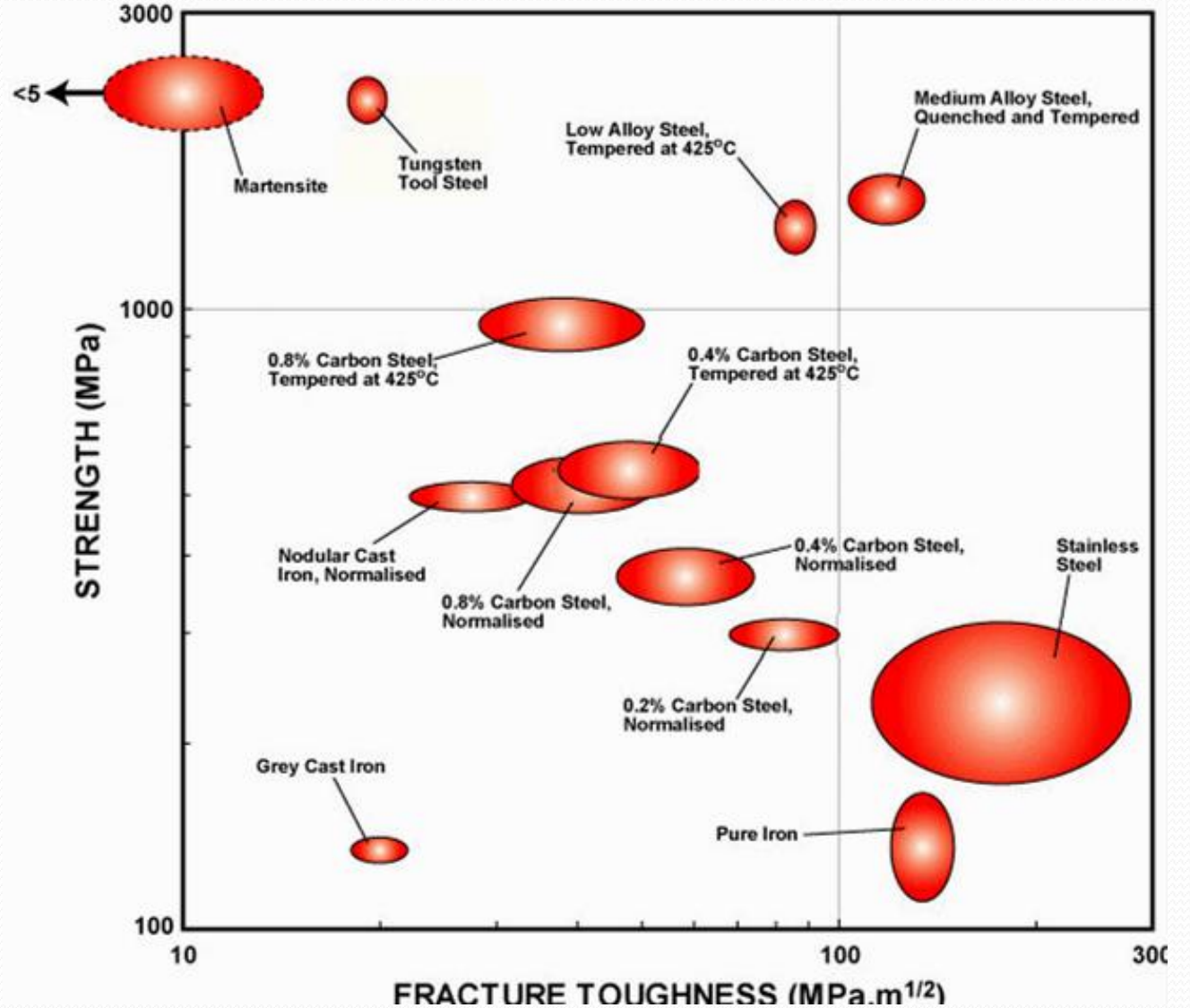
Eğme vb el aletleri yapmak için hangi çeliği kullanırsınız?



Normalizasyon uygulanmış %0.8 C'lu çelik yüksek mukavemet-sertlik ile birlikte makul seviyede tokluk da sağladığı için uygun bir seçimdir.

# Çeliklerin seçimi

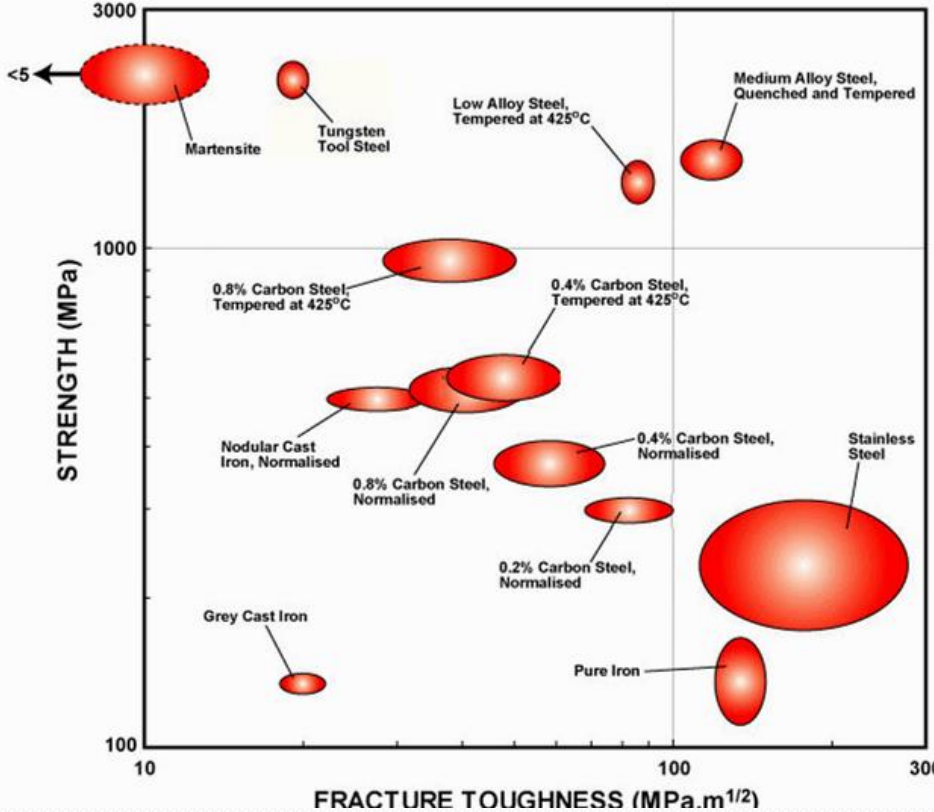
Ameliyat aletleri imal etmek için hangi çeliği seçerdiniz?





# Çeliklerin seçimi

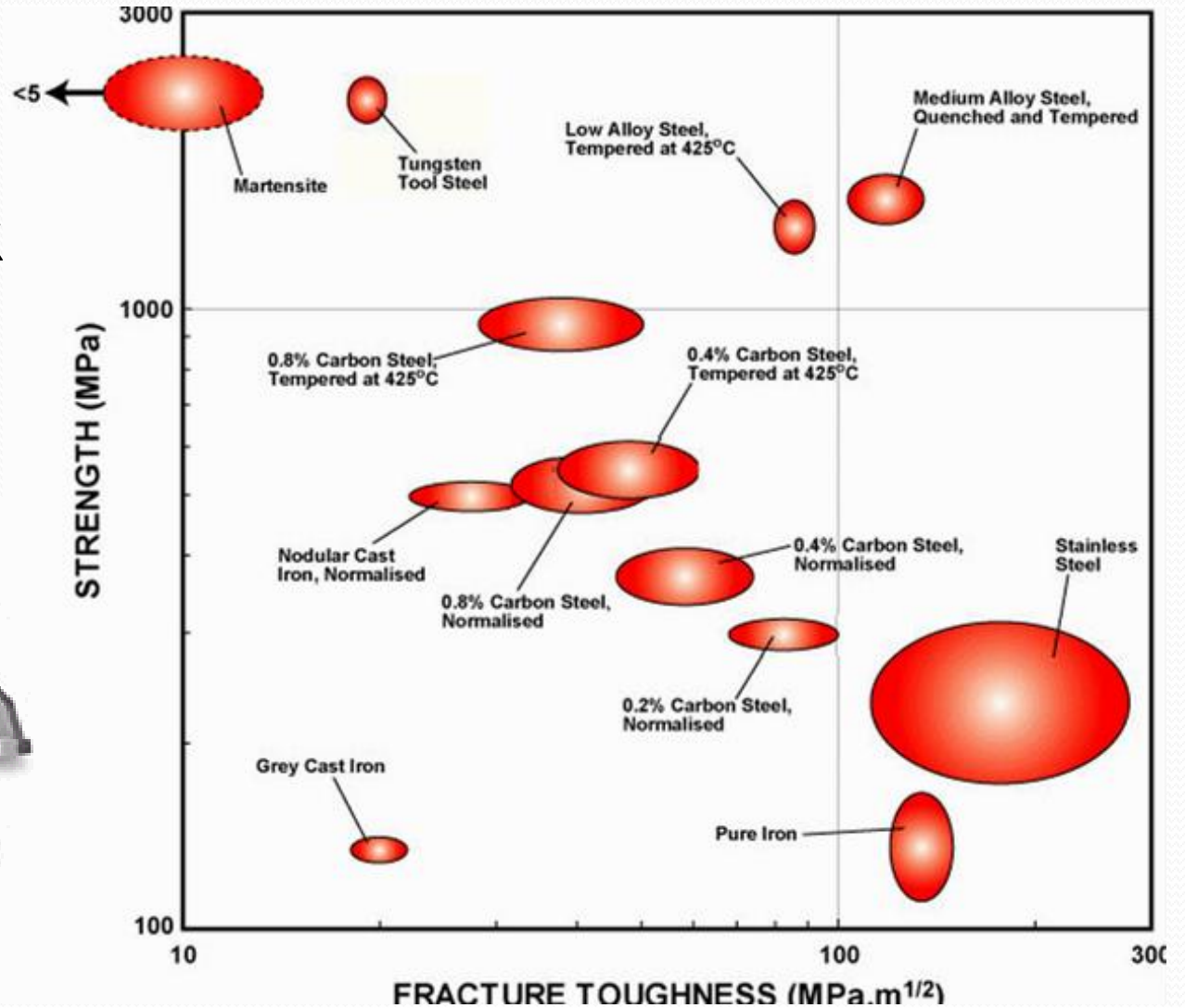
Ameliyat aletleri imal etmek için hangi çeliği seçerdiniz?



Paslanmadığı ve kolayca sterilize edilip tekrar kullanılabileceği için paslanmaz çelik en uygun malzemedir. Ayrıca tokluğu iyi ve mukavemeti yeterlidir.

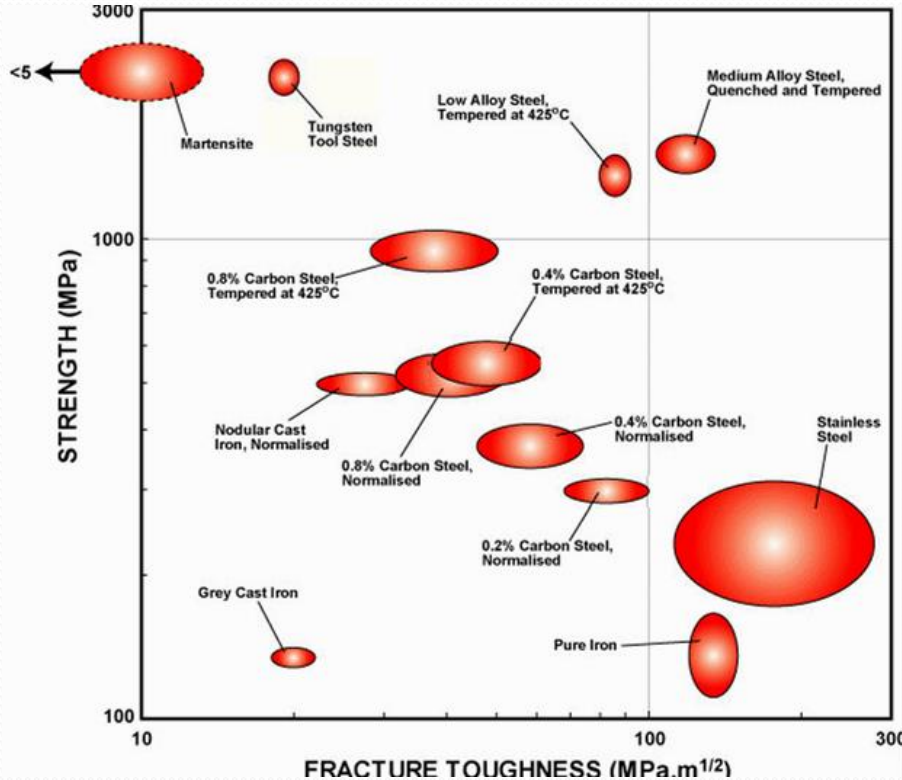
# Çeliklerin seçimi

Kesme  
takımları için  
en uygun çelik  
hangisidir?



# Çeliklerin seçimi

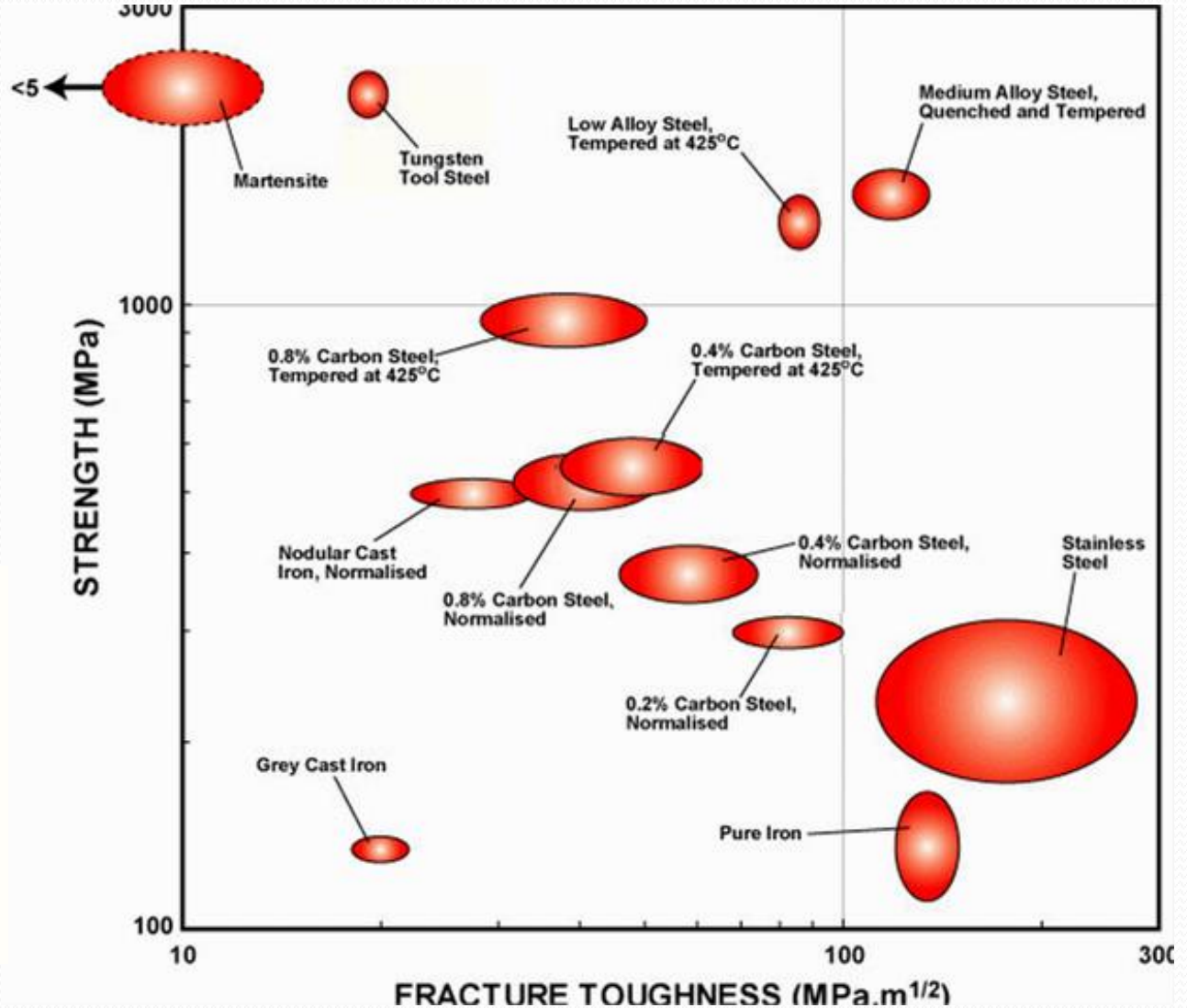
Kesme takımları için en uygun çelik hangisidir?



Tungsten takım çelikleri kesme işleri için gerekli yüksek sertliğe sahiptir. Ancak bir hayli kırılıgandır ve çoğu kez kesme takımının sadece uç kısmı takım çeliğinden imal edilir. Kalan kısmı karbon çeliğinden yapılır.

# Çeliklerin seçimi

mengene için  
en uygun  
malzeme  
hangisidir?

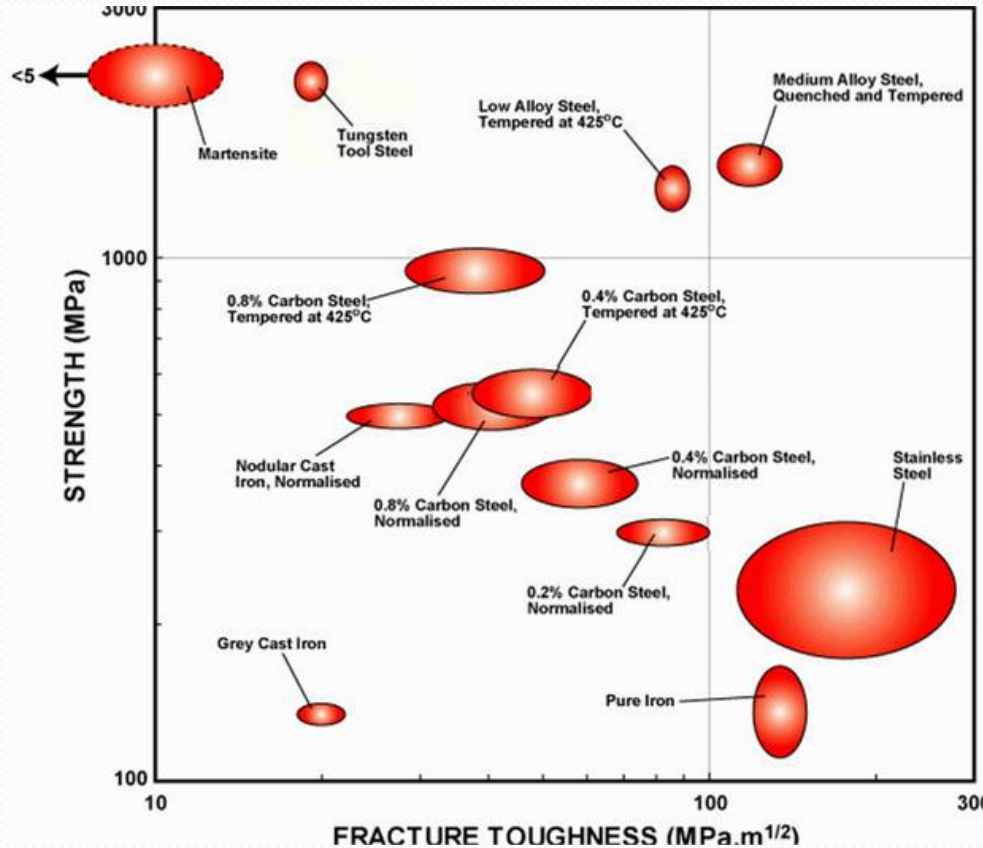


# Çeliklerin seçimi

Yandaki şekilde görülen mengene için en uygun malzeme hangisidir?



Küresel dökme demir bu iş için yeterli mukavemete ve ayrıca süneklığe sahiptir ve döküm yoluyla kolayca doğrudan son şekle üretilebilir. Gri dökme demir ise döküm yönünden uygun olmakla birlikte mukavemeti yetersiz kalır.





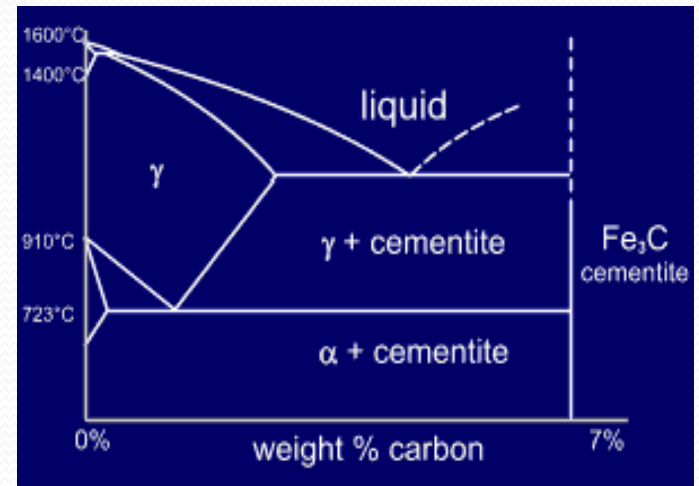
# Çelikler

Saf demir 910°C'ye ısıtıldığında

- a) büzülür
- b) genişir
- c) Hacmi sabit kalır
- d) Erir.

%1 C'lu çelikte karbon demirde aşağıdakilerden hangi sıcaklıkta tamamen çözünür?

- a) 723 °C
- b) 1000 °C
- c) 1400 °C
- d) Hiç biri



# Çeliklerin seçimi

**Motor kutusu (engine casing) için hangisini seçerdiniz?**

- a) Pure iron
- b) Fe-%1.3 C
- c) Fe-%3.5 C
- d) Hiç biri

**Haddelemiş çelik bağlantısı için hangisi?**

- a) Fe-%0.4 C
- b) Fe-%0.4 C- sementasyon uygulanmış
- c) Fe-%1.2 C
- d) Hiç biri

# Çeliklerin seçimi

**Boru anahtarı için hangisini seçerdiniz?**

a) Fe-%0.4C

b) Fe-%0.4C - sementasyon uygulanmış

c) Fe-%1.2C

d) Hiç biri



metalik malzemeler  
16.10.2014

# Dökme demirler

Dökme demirlerin çeliklerden farkı karbon miktarıdır.

En az %2 karbon ile birlikte diğer alaşım elementlerini içeren demir esaslı alaşımlardır.

Soğuk veya sıcak deformasyonla şekil verilemez, istisnasız olarak döküm halinde kullanılırlar.

Dökme demirler çeliklerle birlikte tüm metalik malzemeler arasında en çok üretilen, kullanılan ve en ucuz malzemelerdir.



# kısa tarihçe

- Dökme demirler ilk kez Çin'de MÖ 700-800 yıllarında kullanılmıştır.
- Bu tarihe kadar fırınlar yeterince yüksek sıcaklıklara çıkamıyordu.
- Dökme demirler basit aletlerde olduğu kadar, kritik uygulamalarda da (örnek: MS 56 yılında inşa edilen bir asma köprünün inşaatında) kullanılmaya başlandı.
- Ancak, dökme demirler MS 14. yüzyıla kadar büyük miktarlarda üretilmedi.

# Dökme demirler

- Dökme demirlerde başlıca alaşım elementleri **karbon ve silisyumdur**.
- Teorik olarak  $> a\%$  2.14 karbon; pratikte  $a\%$  3.0-4.5 karbon
- Aynı zamanda  $a\%$  1-3 kadar silis
- Bu anlamda teknik olarak dökme alaşımlar Fe-C-Si üçlü alaşımları olmakla birlikte, katılaşma süreci çoğunlukla Fe-C ikili faz diyagramı üzerinden takip edilir.

# Dökme demirler

- 1150 °C-1300 °C aralığında sıvı halde dirler ve kolayca dökülebilirler (ötekiğe yakın bileşimler)
- dökme demirler oldukça kırılğan olduklarından döküm zaten en uygun şekillendirme yöntemidir.
- Çok yüksek karbon nedeniyle çok gevrek
- Fakat ucuz
- İşlenebilir
- Aşınmaya dayanıklı
- Paslanma hassasiyeti düşük; hasar sebebi değil!

# Dökme demir üretimi

## Pik Demir

(91-94 Fe, 3.5-4.5 C, 0.5-2.5 Mn, 0.02-0.1 S, 0.03-0.1 P, 0.25-3.5 Si)



## Kupol ocağı

Tekrar ergitme  
Karbon kontrolü  
empüritelerin giderilmesi



## Dökme Demir

$\%2 < C < \%4 / \%0.1 < Si$

# Dökme demirler

Kupoldan alınan sıvı demir kalıplara dökülür. Katılaşma sırasındaki soğuma hızına bağlı olarak

**Gri dökme demir** (karbon rozetleri nedeniyle aşırı kırılğan)

**Beyaz dökme demir** elde edilir.

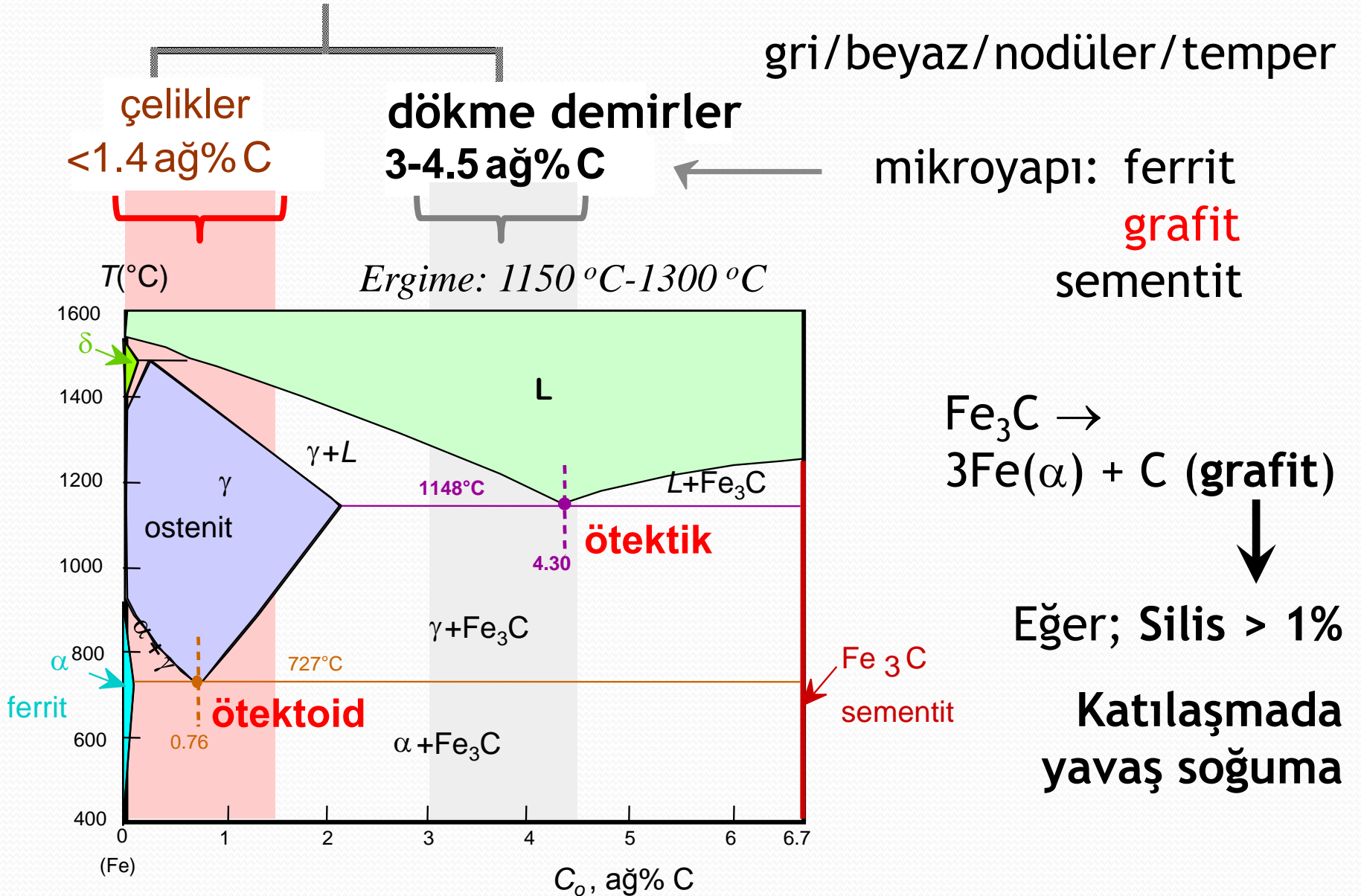
uygun kimyasal modifikasyonla/ısıl işlemle grafitin morfolojisi değiştirilebilir ve bu şekilde 2 dökme demir türü daha elde edilir:

**Küresel dökme demir** / kimyasal modifikasyon

**temper dökme demir** / ısıl işlem



# Demir esaslı malzemeler



# Dökme demirler

Sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yarı kararlı bir bileşik olup



şeklinde ferrit ve grafitte ayrışmaya niyetlidir.

Bu eğilim kimyasal bileşim ve soğutma hızı ile kontrol edilebilir.

$\text{Si} > \%1$   
yavaş soğuma } grafit oluşumu desteklenir.

Bir çok dökme demirde karbon grafit olarak bulunur.

Dökme demirlerde hem mikroyapı hem de mekanik özellikler alaşım bileşimine ve ısıl işleme bağlıdır.

# Soğuma hızının etkisi

- Yavaş soğutma grafit oluşumu destekler ve düşük sertlik verir.
- Hızlı soğutma karbür oluşumunu destekler ve yüksek sertlik verir.
- Kalın kesitler yavaş, ince kesitler hızlı soğur.
- Kum kalıplar yavaş soğur fakat metal bloklarla soğuma hızını arttırmak ve böylece beyaz dökme demir elde etmek için çilleme yapılabilir.

# Bileşimin etkisi

Karbon eşdeğeri, CE

$$CE = C + \frac{S + P}{3}$$

- CE > 4.3 (ötektik üstü) karbür veya grafit önce kristalleşir & gri dökme demiri destekler.
- CE < 4.3 (ötektik altı) sıvıdan ilk ostenit oluşur & beyaz dökme demiri destekler.

# gri dökme demir

- Gri dökme demirde karbon grafitik bir yapıya sahiptir.
- Sıvı demir yavaş soğutulduğunda serbest karbonun büyük bir kısmı büyük grafit kümeleri şeklinde katılaşır.
- %2-3 kadar silis katılaşma sırasında sementit yerine grafit oluşmasını sağlar.
- Gri dökme demir adını, parça kırıldığında kırılma yüzeyine hakim olan gri renkten alır.



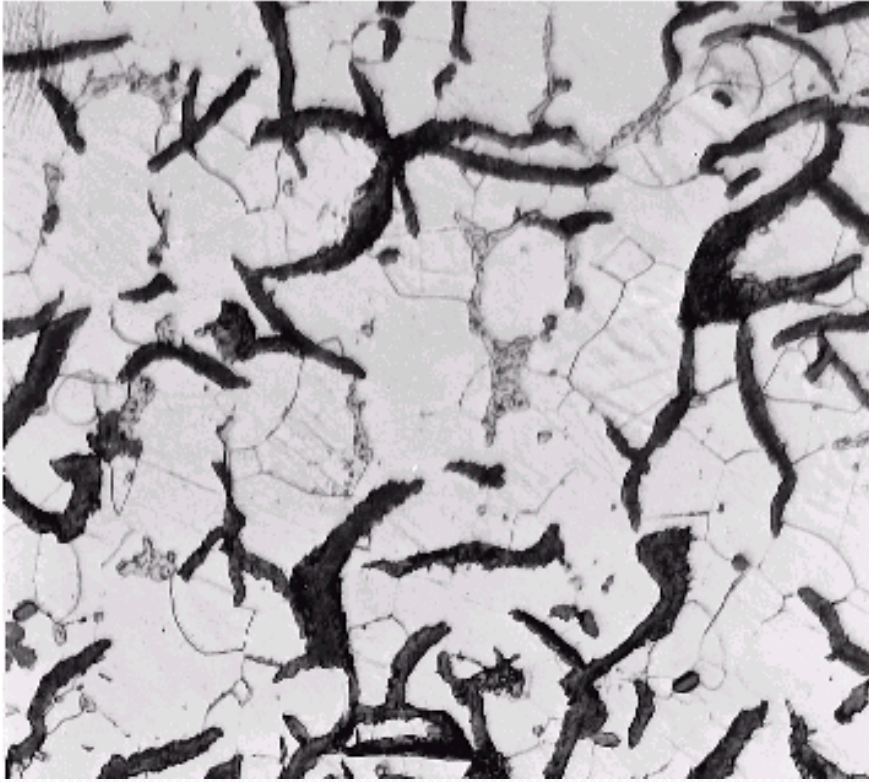
# gri dökme demir

- Grafit kümelerinin uçları sivridir ve gevrekliğe yol açarlar. Çatlak, çatlamayı yayan ve hızlandıran grafit kümelerini takip eder.
- Bu nedenle çekme yükleri altında zayıf ve kırılıgandır.
- En bilinen, en fazla üretilen dökme demirdir.
- Mukavemet ve süneklik basma yükleri altında çok daha yüksektir.

# gri dökme demir

- Grafit kümeleri parlatılmış yüzeyde ince çizgiler şeklinde görülür.
- Grafitin kendisi kayda değer bir mukavemet sahibi değildir.
- Bu nedenle grafit kümeleri boşluk gibi değerlendirilebilir.
- Kümelerin uçları bu durumda gerilme konsantrasyonuna neden olan köşeli boşluklar gibidir.

# gri dökme demir mikroyapısı



Tamamen ferritik  
matriste grafit kümeleri



%80 ferritik  
matriste grafit kümeleri

# Gri dökme demirin avantajları

- Grafitin enerji emme kapasitesi yüksek; titreşimleri sönmülemde çok etkili!
- Aşınmaya son derece dayanıklı (grafit yağlayıcılığı!)
- Sıvı halde akışkanlığı çok yüksek ve bu nedenle çok karmaşık parçaların dökümü mümkün!
- Katılama büzülmesi düşük, çekinti az!
- Tüm metalik malzemeler arasında en ucuz!
- Grafit kümeleri kolayca kırılıp ufalandığı ve bir çeşit yağlama görevi yaptığı için işlenebilirliği iyi!
- Kaynaklanabilirliği yüksek!

# Gri dökme demirin olumsuzlukları

- Mikroyapısı ve sivri grafit kümeleri nedeniyle düşük çekme dayanımı ve süneklik! basma yükleri altında performansları çok daha iyi.
- Darbe ve şok direnci hemen hemen hiç yoktur.



# grafit morfolojisi ve boyutunun etkisi

- Grafit morfolojisi ve matris karakteri gri dökme demirin fiziksel ve mekanik özelliklerini yakından etkiler.
- İri grafit kümeleri titreşim sönümlenme, boyutsal kararlılık, ısıl şok direnci ve işlenebilirlik yönünden avantajlıdır.
- Ancak, küçük grafit taneleri daha yüksek çekme mukavemeti, elastik modülü, çatlama direnci sağlar ve işlenmiş yüzey kalitesini arttırırlar.

# Isıl işlemin etkisi

- Gri dökme demirin mekanik özellikleri ısıl işlem ile kontrol edilebilir.
- Döküm halinde gri, dökme demir aşırı kırılgandır.
- Su vermeden sonra temperleme yapılırsa mukavemet ve süneklik arttırılabilir.
- Temperleme sonrası çekme mukavemeti döküm haline göre %35-45 kadar daha yüksek olur.
- Fakat sertlik ısıl işlemle düşer.
- Tokluk döküm hali değerlerine yaklaşır.

# Kimyasal bileşim / üretim

- 2.5 ile 4.0% C / 1 ile 3% Si (silis kritik)
- Dökme demirlerde Si grafiti kararlı yapan bir element ve karbonu sementit yerine grafit yapar.
- Soğutma hızı da grafit oluşumunu etkiler!
- Hızlı soğutma grafit oluşumunu azaltır ve hatta tamamen durdurur ve sementiti tercih eder (beyaz dökme demire meyilli!)
- Silis dökümde faydalıdır; akışkanlığı artırır korozyon direncini iyileştirir.

# Kimyasal bileşim

- İkinci alaşım elementleri: P, Mn and S.
- P kasıtlı olarak ilave edilmese de, bütün gri dökme demirlerde bulunur. P: 0.02-0.10%
- Akışkanlığı az da olsa arttırır.
- Çok yüksek olduğunda çekinti boşluğunu arttırır.
- Kükürt grafitin çekirdeklenmesinde kritik rol oynar.
- En olumlu etkiyi 0.05-0.12% seviyelerinde yapar.
- Kükürt miktarı Mangan sülfidlerin oluşmasını sağlamak için Mn miktarına göre ayarlanmalıdır.

# uygulamalar

Çekme mukavemetinin kritik olmadığı yapısal uygulamalar

silindir blokları

Pompa kutuları

Vana gövdeleri

Elektrik kutuları

Dekoratif döküm parçalar

Yüksek ısı iletkenliği ve spesifik ısı kapasitesi sayesinde pişirme amaçlı mutfak gereçleri ve fren diski

Titreşim sönümlenme kapasitesi nedeniyle makine bağlantı parçaları



# uygulamalar

silindir blokları

Pompa kutuları

Vanalar

Elektrik kutuları

Volan dişli kutusu

Makine-Tezgaah taban  
ve ayakları



# uygulamalar

Pişirme gereçleri  
Dekoratif döküm parçalar  
fren diski  
makine bağlantı parçaları  
volan



# Beyaz dökme demir

- Daha düşük silisle (<1.0 ağ% Si; grafitleştirici) ve daha hızlı soğutma ile karbon sıvı demirden grafit olarak değil yarı kararlı sementit ( $Fe_3C$ ) olarak çökeler.
- Sementit sıvı demirden iri partiküller şeklinde kristalleşir. Bu sementit ostenit ile birlikte ötektik yapı oluşturur. Soğuma sırasında ostenit martensite dönüşebilir.
- Kırılma sementit fazını takip ettiğinden beyaz renkte ve kristalli bir kırılma yüzeyi vardır. Beyaz dökme demirler adını buradan alır.



# Beyaz dökme demir

- Sementit yüksek sertliği ve bolca bulunması ile beyaz dökme demirin sertliğini arttırır.
- yüksek mukavemet-sertlik fakat yetersiz süneklik, kırılđanlık tipik özellikleridir.
- Esas itibarı ile işlenemez!
- Hızlı soğutma yüzünden iç gerilmeler yüksektir.
- Katılaşma sırasında grafitleşmeyi önlemek ve sementitin kararlılığını arttırmak için Cr içerir.
- Martensitik matris istendiğinde perlit oluşumunu önlemek için genellikle Ni, Mo, ve/veya Cu ile alaşımlama yapılır.

# Beyaz dökme demir türleri

- Nikel-Krom beyaz dökme demirler:

3-5%Ni, 1-4%Cr

ticari adı: Ni-Hard 1-4

- Krom-Molibden dökme demirleri (yüksek krom demirleri):

11-23%Cr, 3%Mo,

bazen Ni ve Cu ile de alaşımlanırlar.

- 25-28%Cr beyaz dökme demir:

ilave olarak 1.5%'a kadar Mo ve/veya Ni içerirler.



# Nikel-krom beyaz dökme demirler

- Ostenitin perlite dönüşmesini engellemek için %3-5 kadar Ni ile alaşımlanmıştır ve martensitik bir matrise sahiptir.
- Ni'in grafitleştirme kapasitesini bertaraf etmek ve karbür oluşumunu teşvik etmek için ayrıca %1.4-4 kadar krom ile alaşımlanmıştır.
- Karbon ile aşınma direnci artmakta fakat tokluk düşmektedir.
- Düşük maliyeti sayesinde madencilik öğütme donanımları için çanak ve bilya imalatında kullanılır.

# Yüksek kromlu beyaz dökme demirler

- Yüksek kromlu beyaz demirler çok büyük parçaların (10 tonluk pervane) kum kalıba dökülmesine imkan sağlar.
- Yüksek krom olduğunda beyaz demir elde etmek için soğutma hızları gerekmez
- Aşınma direnci mükemmeldir. Beyaz dökme demirler arasında aşınma direnci ve tokluk yönünden optimum değerlere sahiptir.
- Yüksek sertlikleri (1500-1800HV) Cr-karbürlerden ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) gelir.

# Yüksek kromlu beyaz dökme demirler

- Genellikle ötektik altı bileşimlerde üretilirler.
- Yüksek aşınma direnci için: 11-23%Cr, 3.5%Mo.
- Döküm halinde ostenitik veya ostenitik-martensitik, ısıl işleme martensitik matrisle temin edilir. Tüm beyaz dökme demirler arasında en sert olandır.
- Korozyon direnci için: 26-28%Cr 1.6-2.0%C.  
Korozyona en yüksek dayanıklılık için tamamen ostenitik matris tercih edilir. Fakat bu durumda aşınma direnci düşüktür.

# Yüksek kromlu beyaz dökme demirler

- Dökülebilirlik zayıf!
- Maliyet yüksek!
- Sadece yüksek sıcaklık uygulamalarına aday!
- 1040 °C'ye kadar yüksek oksitlenme direnci için 12-39% Cr ile alaşımlanır.

# Yüksek kromlu beyaz dökme demirler

Matris yapısına bağlı olarak 3 gruba ayrılırlar:

- Martensitik demirler 12-28%Cr içerirler!
- Ferritik demirler 30-34%Cr içerirler!
- ostenit fazını kararlı kılmak için 15 - 30% Cr ve 10-15%Ni ile alaşımlanmış ostenitik demirler.
- Tipik uygulamalar reküperatör tüpleri, fırın parçaları, cam şekillendirme kalıpları ve yanmalı motor parçaları



# Yüksek kromlu beyaz dökme demirler

## Uygulama alanları

Bir çok yapısal uygulama için aşırı kırılıgandır. Fakat yüksek sertlik, aşınma direnci ve oldukça düşük maliyeti ile aşınma direnci gerektiren, çamur pompaları, öğütücü çanak ve bilyaları, pervane vb uygulamalarda özellikle tercih edilir.

Yüksek bir tokluk gerektirmeyen çok sert ve aşınmaya çok dayanıklı yüzeyler için de (örneğin gadde merdaneleri) ideal bir malzeme seçeneğidir.

# Yüksek kromlu beyaz dökme demirler “chilled” döküm parça

- Kalın kesitli parçaları beyaz dökme demir yapısında katılaşacak şekilde hızlı soğutmak güçtür.
- Fakat hızlı soğutma ile iri bir döküm parçasının yüzeyinde beyaz dökme demir yapısı oluşturulabilir. Kesit merkezi ise daha yavaş katılaşacağı için parça içinde gri dökme demir yapısı oluşacaktır.
- Bu şartlarda üretilen parça sert bir yüzey ve daha tok bir iç yapıya sahip olur.

# beyaz dökme demir



Perlitik matriste (koyu renkli) ötektik karbür-  
sementit (beyaz renkli)



# Beyaz dökme demir uygulamalar

Pervaneler

“slurry” pompaları

Değirmen parçaları

Öğütme bilyaları

“shell”

kovanları



# Küresel dökme demir

- Gri dökme demire **ağ %0.05 kadar** Mg ve/veya Ce ilave edildiğinde grafit «flake» yerine kürecikler şeklinde oluşur.
- Grafitin küresel morfolojisi çatlak oluşumunu önler ve yüksek süneklik kazandırılır.
- Bu şekilde mukavemet 2 kat arttırırken, süneklik 20 kat iyileşir.
- Küresel dökme demirden imal edilen parçalar gri dökme demirden daha dayanıklı, daha sünek olup mekanik özellikler yönünden çelikleri andırırlar.
- Darbe ve yorulma direnci çok daha yüksektir.



# Küresel dökme demir

- Yüksek akışkanlık, mükemmel dökülebilirlik, fakat yüksek yüzey gerilimine sahiptirler. O nedenle, kalıp malzemesi yüksek yoğunluklu ve ısı iletkenlikte olmalıdır.
- Grafit nodüllerinin genişmesi demir matrisin büzülmesini telafi ettiğinden katılaşma çekintisi yok denecek kadar azdır.
- Çıkıcıya nadiren ihtiyaç olur.
- Çoğunlukla döküm halinde kullanılırlar.
- Ostemperleme dışındaki ısı işlemler yorulma direncini zayıflatır.

# Küresel dökme demir

- matris ısıtılma işlemine bağı olarak ya perlit ya da ferrittir. Döküm halinde matris perlitiktir. Dökümü takiben 700 °C’de birkaç saatlik bir ısıtılma işlemine ferrite dönüşür.
- Özellikler büyük ölçüde temper dökme demirlerinkine benzer.
- Fakat daha kalın kesitli parçaların bu yapıda ve bu özelliklerde elde edilmesi bir üstünlüktür (temper dökme demir beyaz dökme demirden elde edildiği için parça boyut ve kesit kalınlığı sınırlamaları vardır!)

# Küresel dökme demir uygulamaları

- Mukavemet ile birlikte sünekliğin de gerekli olduğu, talaşlı imalata uygun ve ucuz malzeme isteyen uygulamalar için ideal malzeme seçeneğidir.
- Değişik çapta borular satışların yaklaşık %44'üne denk gelir. Küresel dökme demirden en çok su ve kanalizasyon boruları imal edilir. Bu uygulamada çok daha hafif olan PVC, HDPE, LDPE ve polypropylene ile rekabet halindedir. Ancak plastik esaslılar eğilip büküldüğünden kolay hasar görür ve montaj sırasında aşırı dikkat gerektirirler.

# Küresel dökme demir uygulamaları

- Üretimin 29%'u hafif ticari araç ve otomobil uygulamalarında kullanılır. Küresel dökme demir, mukavemetin çeliğinkinden düşük fakat alüminyumdan daha yüksek olması gereken yerlerde tercih edilir. Diğer endüstriyel uygulamalar arasında kamyon ve arazi araçlarını, traktör parçalarını petrol kuyu pompalarını sayabiliriz.
- Kağıt üretim endüstrisi, tarım ve inşaat makineleri, dişli gibi güç aktarma organları, petrol sanayi parçaları diğer uygulama alanlarıdır.

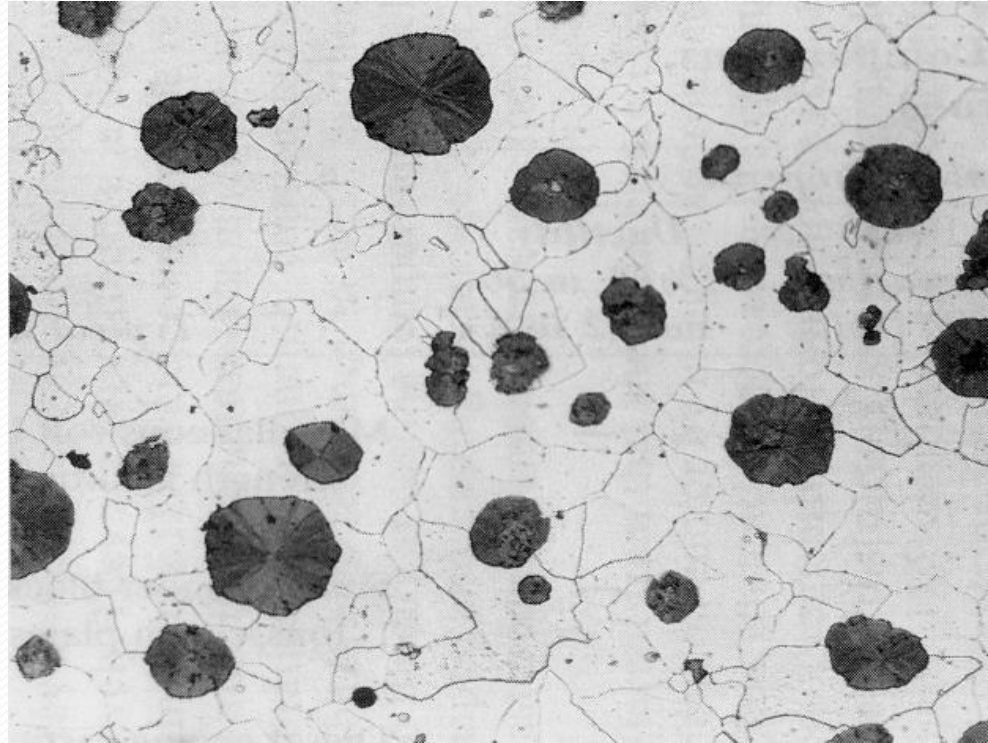
# Ostemperlenmiş küresel dökme demir

- ostemperleme: ostemperlenmiş küresel dökme demir imalatında uygulanır.
- 2 aşamalı bir ısıtma işlemidir.
- 1. aşama: 900° C'ye ısıtma ve bekletme.
- 2. aşama: su verme / genellikle tuz banyosunda ostemperleme sıcaklığında bekletme
- beynitik ve kararlı ostenitten oluşan matriste dağılmış grafit nodülleri.
- Yüksek çekme mukavemeti, yorulma direnci, tokluk, aşınma direnci.

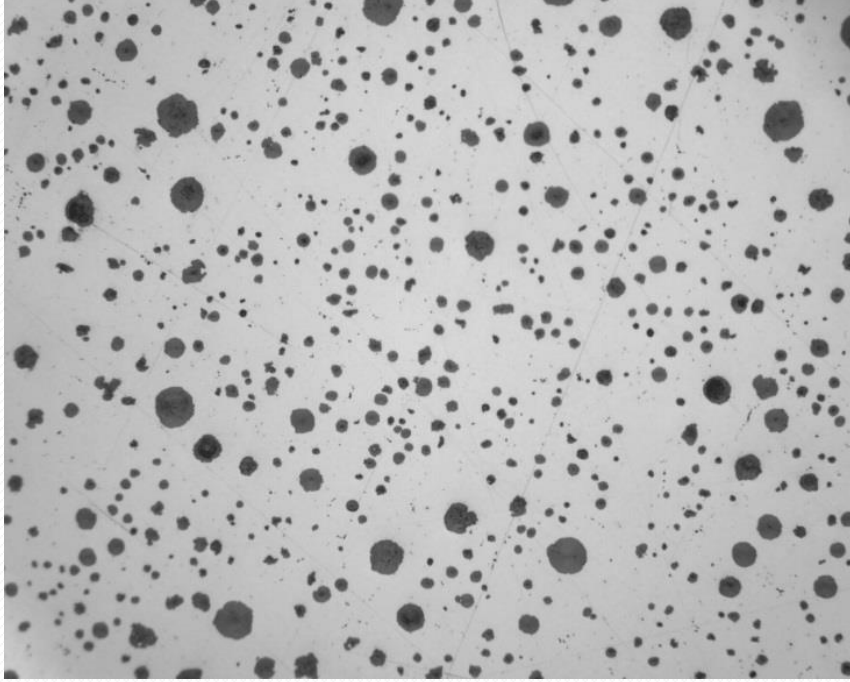


# Küresel dökme demir mikroyapıları

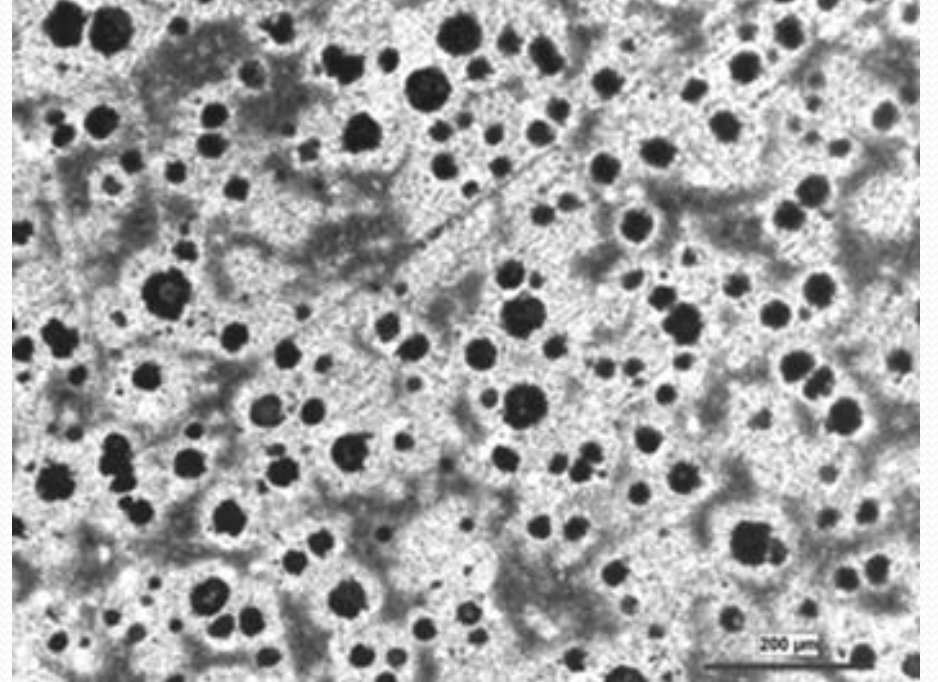
- Küresel dökme demir: ferritik matriste dağılmış grafit nodülleri



# küresel dökme demir mikroyapısı

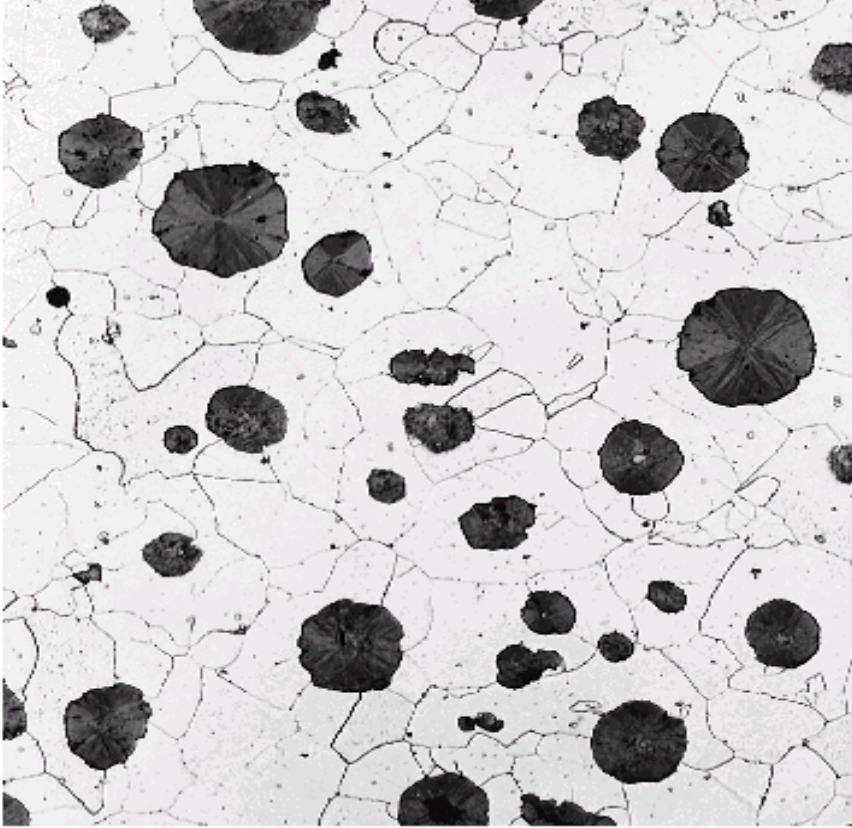


Ferritik matriste  
dağılmış grafit  
nodülleri, 100X

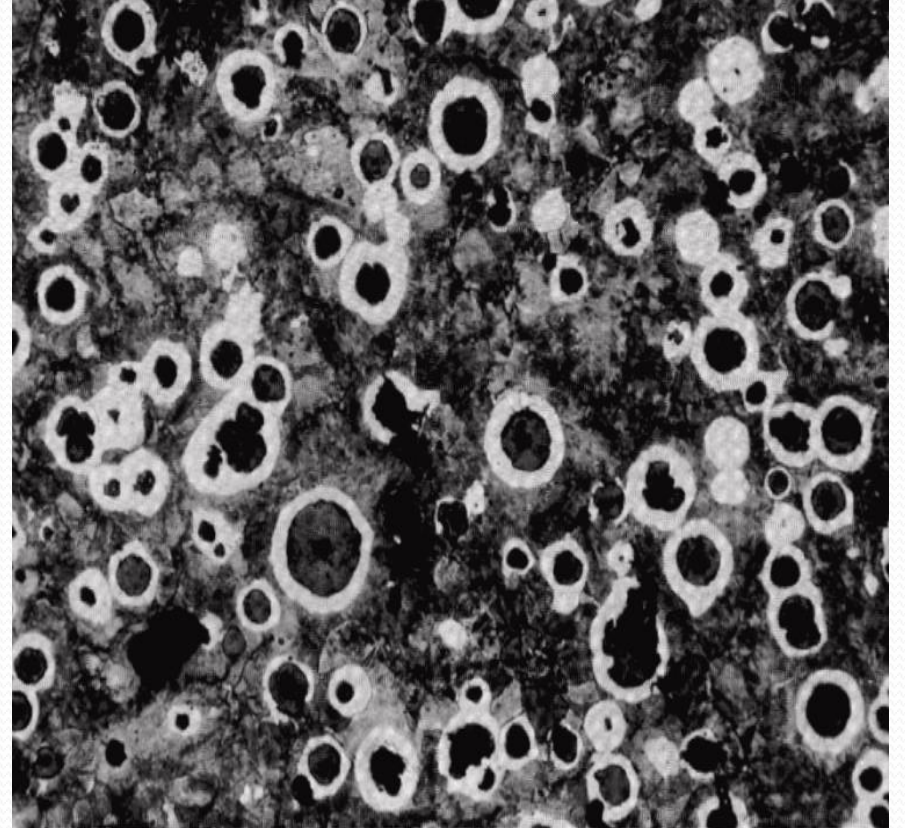


Ferritik-perlitik matris  
nodüller etrafındaki  
karbon tükenmişliğine  
dikkat!

# Küresel dökme demir



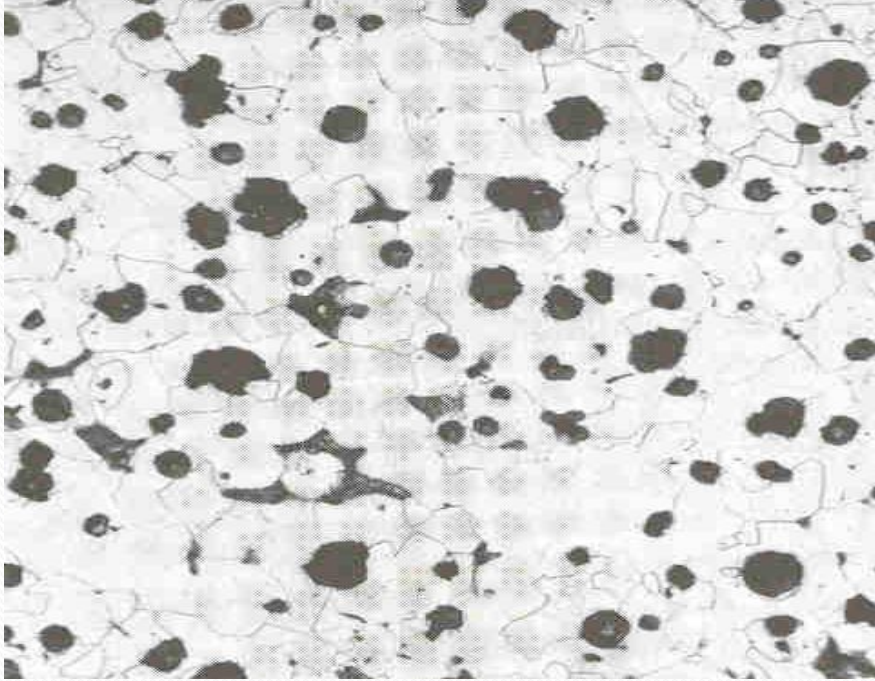
Ferritik matriste  
nodüler grafit taneleri



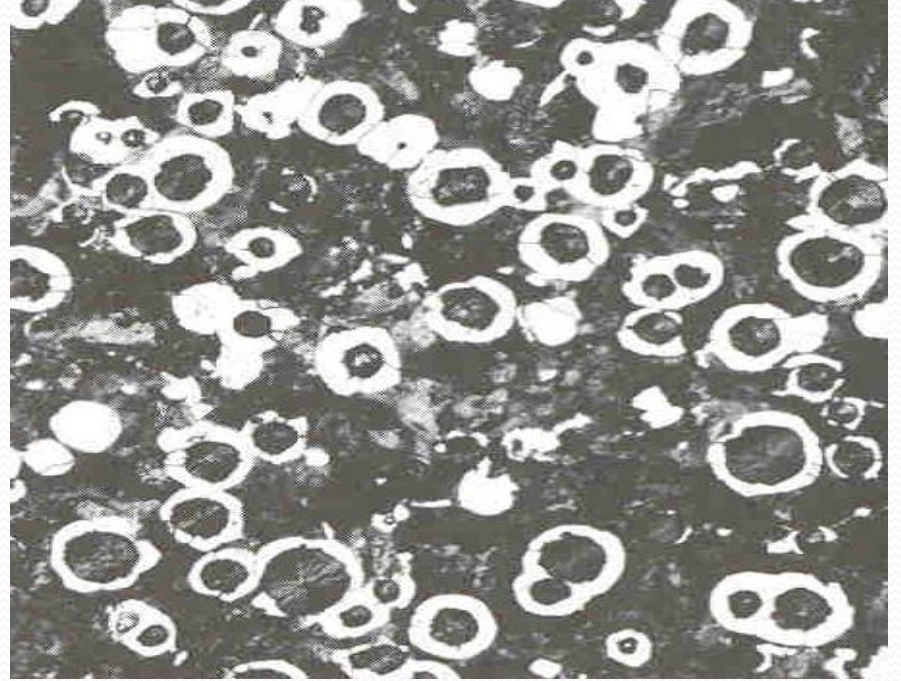
perlitik matriste  
nodüler grafit



# Küresel dökme demir

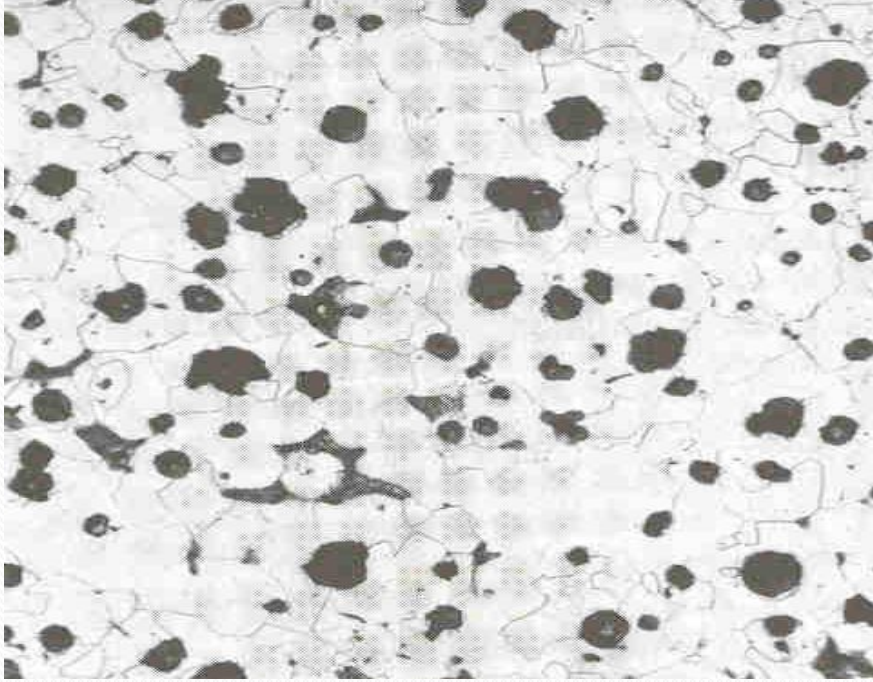


Ferritik matris  
Döküm halinde

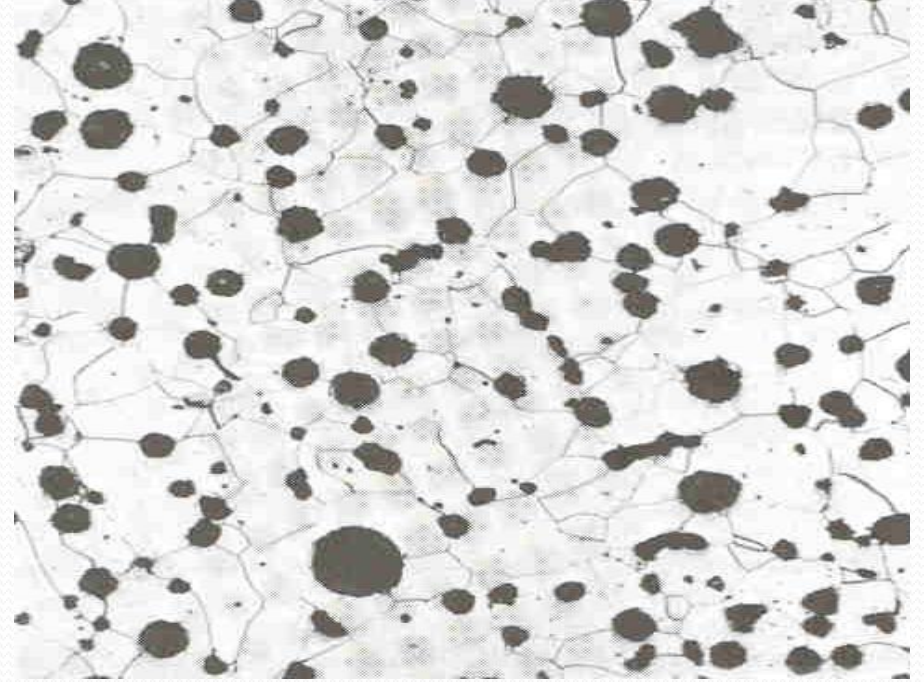


Perlitik matris  
döküm halinde  
Sertlik: 255 HB

# Küresel dökme demir



Ferritik matris  
Döküm halinde

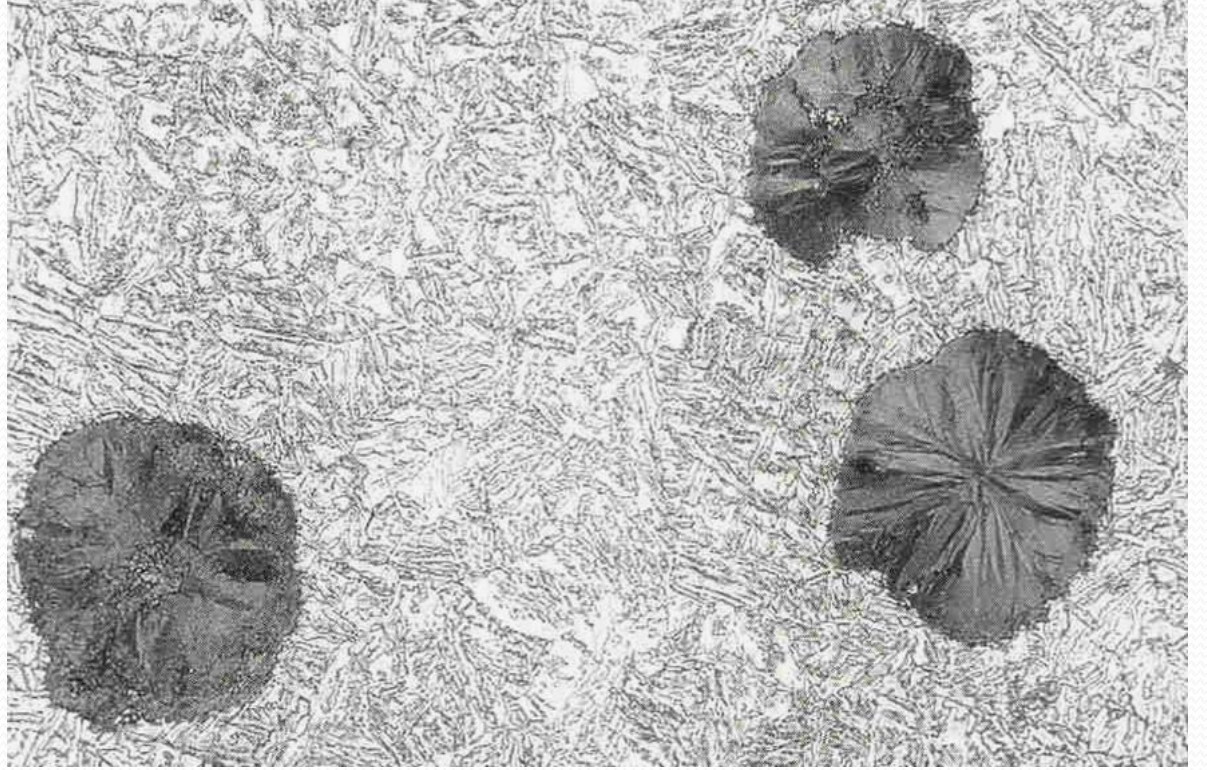


Ferritik matris  
700 °C'de 3 saat tavlanmış!



# Küresel dökme demir

östemperlenmiş  
küresel dökme  
demir:  
870°C'de 3 saat  
ostenitleme +  
385°C'de 2 saat  
östemperleme



beynitik/ferritik plakalar ve bu plakalar arasında  
ostenit ve küresel grafit kümeleri

# küresel dökme demir parçalar

Her türlü ve ebatda  
boru!



Boru bağlantı parçaları-  
kuma döküm

# temper dökme demir

- önce beyaz dökme demir olarak elde edilir;
- daha sonra grafit kümeleri ısıl işlemle küresel hale getirilir.
- Beyaz dökme demir olarak başlangıç yapı perlitik matriste yarı kararlı karbürden oluşmaktadır.
- 900 °C'deki tav işlemi ile kırılğan beyaz dökme demir yapısı işlenebilir bir yapıya dönüşmektedir.
- Karbon küçük küresel kümelerde toplanırken matris kullanılan ısıl işlem pratiğine göre ferrit veya perlitten oluşmaktadır.

# temper dökme demir

- Döküm ve ısıl işlemler tamamlandıktan sonra temper dökme demir soğuk işlemle şekil verilebilir; Sünekliği iyidir.
- temper dökme demirin deformasyon hızı duyarlılığı düşük olduğu için soğuk deformasyon mümkündür.
- temper dökme demirden imal edilecek bir parça için, beyaz dökme demirden hazırlandığı için bir boyut sınırı vardır.
- temper dökme demir küçük parçalar ve 6.35mm'den daha ince kesitler için iyi bir seçenektir.



# temper dökme demir

- Grafitin küreselleştirildiği diğer dökme demirlerden temper dökme demir imal etmek, hızlı soğutma sırasında karbürler oluşacağı için güçtür.
- temper dökme demir, düşük silis miktarı sayesinde, düşük sıcaklık ortamlarında diğer küresel dökme demirlerden daha yüksek kırılma tokluğuna sahiptir.
- Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı bir çok sünek dökme demirden daha düşüktür.



# temper dökme demir mikroyapısı

- Rozet şeklinde grafit kümelerinden oluşmaktadır.
- Tav işlemi sırasında karbon ister karbür şeklinde olsun ister perlitin içinde bulunsun, temper karbonu denilen bir forma dönüşmektedir.
- 3 gruba ayrılmaktadır:
  - ferritik
  - perlitik
  - martensitik

# temper dökme demir türleri

## Ferritik:

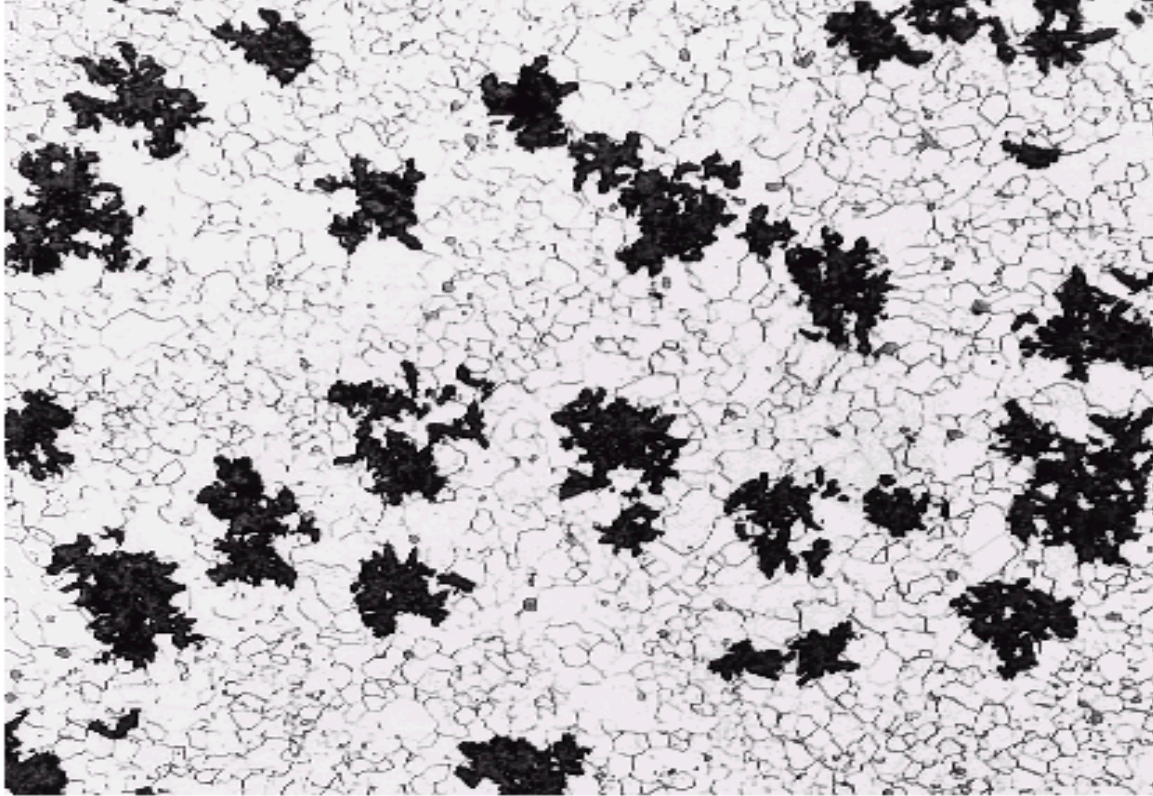
- Ferritik temper dökme demirler 2 aşamalı bir tav işlemi görürler:
  - 1.aşama: primer karbürleri temper karbonuna dönüştürür.
  2. aşama: ilk aşamada ostenitte çözünen karbonu temper karbonuna ve ferrite dönüştürür.
- Nihai yapı ferritik bir matriste temper karbonundan oluşur.

# temper dökme demir türleri

## Perlitik:

- 1. aşama:  
parça yaklaşık 870 °C'e yavaşça soğutulur.  
Ostenitin bileşik karbon miktarı %75'e düştüğünde  
döküm parça hava üflenerek soğutulur ve böylece  
temper karbon partikülleri etrafında ferrit oluşur.
- 2. aşama:  
Parçalar daha sonra spektlere temperlenir.

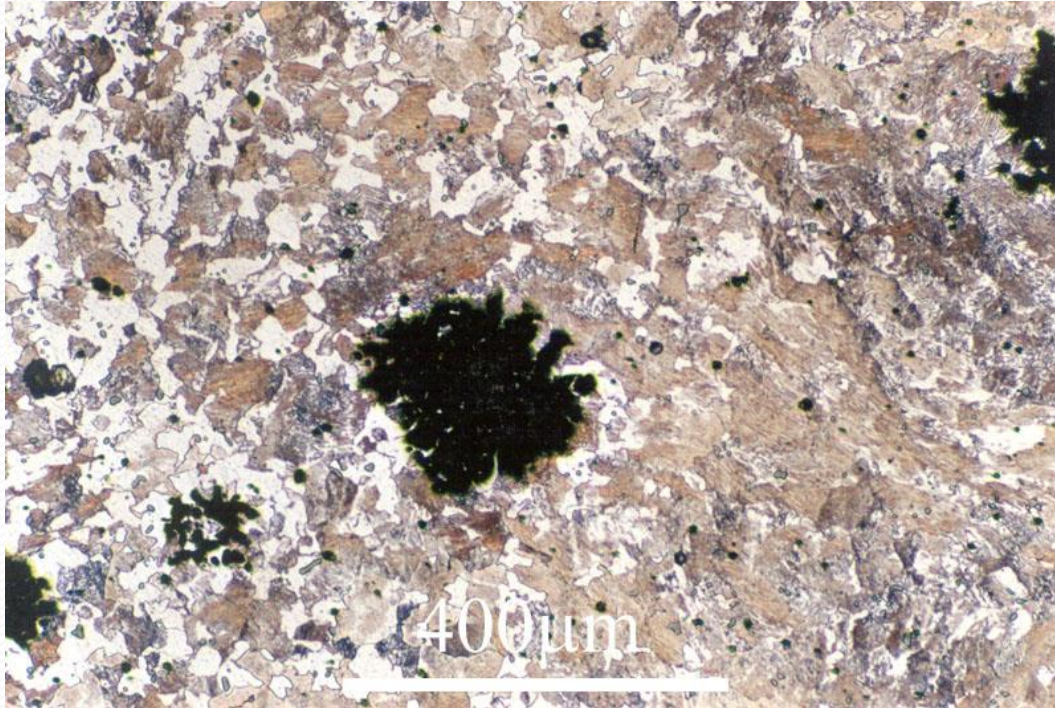
# temper dökme demir



Ferritik matriste koyu renkli grafit rozetleri

# temper dökme demir mikroyapısı

perlitik matris taneleri içinde dağılmış temperlenmiş grafit kümelerinden oluşur.





# uygulamalar

temper dökme demir yüksek mukavemet gerektiren fakat kırılmadan bir miktar esneyebilen küçük parçaların dökümünde kullanılır.

Tipik uygulamalar:

Elektrik bağlantı parçaları, el aletleri, boru bağlantıları, çit bağlantıları, tarım aletleri, madencilik ekipmanları, makine parçaları



# Gri dökme demir örnekleri

SAE kodu	UNS #	bileşim	Matris yapısı	çekme (MPa)	Akma (MPa)	Uzama (%)	Uygulama alanları
SAE G1800	F10004	3.4-3.7C 2.55Si 0.7Mn	Ferrit+ perlit	124			Mukavemetin kritik olmadığı dökme demir uygulamaları
SAE G2500	F10005	3.2-3.5C 2.20Si 0.8Mn	Ferrit + perlit	173			Küçük silindir blokları, silindir kapakları, pistonlar, debriyaj plakaları, vites kutuları
SAE G4000	F10008	3.0-3.3C 2.0Si 0.8Mn	perlit	276			Dizel motor dökümleri, gömlekleri, silindirleri ve pistonları

# küresel dökme demir örnekleri

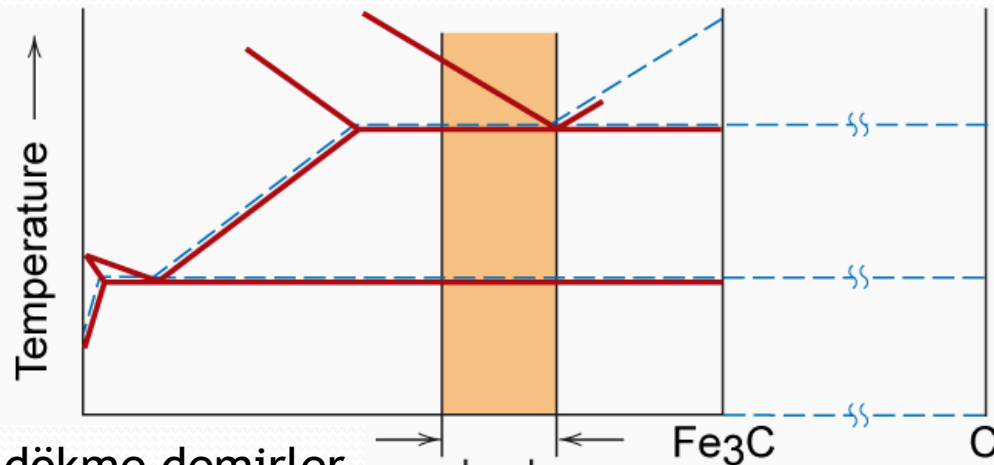
kod	UNS #	bileşim	Matris yapısı	çekme (MPa)	Akma (MPa)	Uzama (%)	Uygulama alanları
60-40-18	F32800	3.5-3.8 C, 2-2.8 Si, 0.05 Mg <0.20	ferrit	414	276	18	Valf ve pompa gövdesi gibi basınca maruz kalan döküm parçalar
100-70-03	F34800	Ni, <0.1 Mo	perlit	689	483	3	Yüksek mukavemetli dişli ve makine parçaları
120-90-02	F36200		martensit	827	621	2	Dişli, makara, plaka

# temper dökme demir örnekleri

kod	UNS #	bileşim	Matris yapısı	çekme (MPa)	Akma (MPa)	Uzama (%)	Uygulama alanları
32510	F22200	2.3-2.7 C, 1-1.75 Si, <0.55 Mn	ferrit	345	224	10	Oda ve yüksek sıcaklıklarda genel mühendislik uygulamaları
45006		2.4-2.7 C, 1.25-1.55 Si, <0.55 Mn	Ferrit + perlit	448	310	6	

# Dökme demirler - özet

Gf: flake grafit  
 Gn: küresel grafit  
 Gr: rozet grafit  
 $\alpha$ : ferrit  
 P: perlit



Ticari dökme demirler

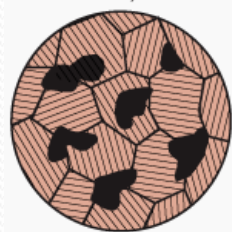
Fe<sub>3</sub>C

C

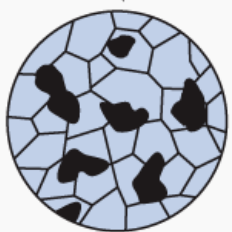
Mg/Ce

Reheat: hold at  
 ~700°C for 30 + h

Fast cool	Slow cool
P + G <sub>r</sub>	$\alpha$ + G <sub>r</sub>



Pearlitic malleable

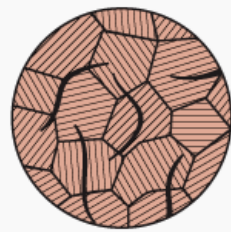


Ferritic malleable

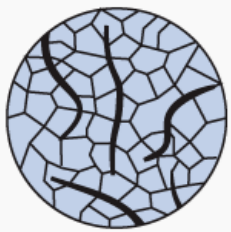
Fast cool	Moderate	Slow cool
P + Fe <sub>3</sub> C	P + G <sub>f</sub>	$\alpha$ + G <sub>f</sub>



White cast iron

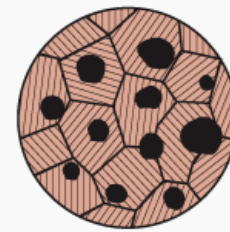


Pearlitic gray cast iron

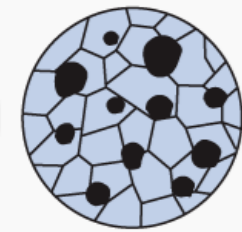


Ferritic gray cast iron

Moderate	Slow cool
P + G <sub>n</sub>	$\alpha$ + G <sub>n</sub>



Pearlitic ductile cast iron



Ferritic ductile cast iron



# Dökme demirlerde paslanma

- Nem > %65 olduğunda dökme demirler paslanırlar. Rutubette demir oksijen ile birleşerek oksitlenir ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).
- Paslanma atmosferde sülfür dioksit, amonyum sülfat gibi kirlilikler ve parmak izli yüzeylerde %58 seviyelerindeki nem seviyelerinde bile gerçekleşir.
- Havadaki nemim %30 altına azaltılmasının paslanmayı önlemede etkili olduğu anlaşılmıştır.

# grafitleşme

- Grafit kristalleri yerlerinde dururken, demir matris paslanır. Dökme demir parça şeklini korumaktadır ve fakat mekanik olarak demir kaybı nedeniyle artık daha zayıftır.
- Grafitleşme parça çok uzun sürelerle dışarıda bırakıldığında, asidik yağmur suları bir şekilde parçaya nüfuz ettiğinde gerçekleşir.
- Bu korozyon hadisesi galvaniktir. Bu kombinasyonda Karbon en asil demir ise en korozif bileşen olarak davranmaktadır.
- Dökme demirin mikroyapısı ve bileşimi korozyon hızı grafit yapısı ve miktarına bağlı olduğundan kritiktir.



demir-dışı metaller

# alüminyum



Discovery date	1825
Discovered by	Hans Oersted
Origin of the name	The name is derived from the Latin name for alum, 'alumen' meaning bitter salt.
Allotropes	-

13

Al

26.982

## Fact Box

Group	13
Period	3
Block	p
Atomic number	13
State at room temperature	Solid
Electron configuration	[Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
1	1 H 1.008																		
2	3 Li 6.94	4 Be 9.0122																	
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305																	
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.63	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798	
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.96	43 Tc [97.91]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29	
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 174.97	71 Lu 174.97	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po [209]	85 At [209.99]	86 Rn [222.02]
7	87 Fr [223.02]	88 Ra [226.03]	103 Lr [262.11]	104 Rf [265.12]	105 Db [268.13]	106 Sg [271.13]	107 Bh [270]	108 Hs [277.15]	109 Mt [276.15]	110 Ds [281.16]	111 Rg [280.16]	112 Cn [285.17]	113 Uut [284.18]	114 Fl [289.19]	115 Uup [288.19]	116 Lv [293]	117 Uus [294]	118 Uuo [294]	

Atom numarası: 13 Elektron konfigürasyonu : 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>1</sup>

Atom ağırlığı: 26.98 g

yoğunluk 2.7 g/cc .. ergime noktasında 2.375 g/cc

Ergime noktası: 660 °C

Buharlaştırma noktası: 2519 °C

Yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapısı

# Alüminyumun özellikleri

Oksidasyon halleri : +3, +2, +1 (1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>1</sup>)

Elektronegativite: 1.610

Elektron afinitesi: 41.747 kJ/mol

Atom çapı: 1.43 Å

Atom hacmi: 10.0 cc/mol

kafes sabiti: 4.049 Å

“bu değerli metal gümüşün beyazlığına, altının dayanıklılığına, demirin azmine, bakırın kaynaşmasına, camın hafifliğine sahip. Kolayca işlenebiliyor ve demirden 3 kat daha hafif olması gösteriyor ki, bizim füzemizin malzemesi olarak yaratılmış.

Jules Vernes, *“From the Earth to the Moon”*, 1865.



# rezervler

Oksijen ve silisyumdan sonra yer kabuğunda ağırlıkça %8.3'lük pay ile **3. sırada**

Oksijene karşı aşırı ilgisi nedeniyle element halinde bulunmaz; **oksitlerde ve silikatlarda** yer alır.

En önemli minerali **boksit**

Bilinen boksit rezervleri bugünkü hızda tüketildiği takdirde 100 yıl yetecek kadar!



# Kısa tarihçe

- Alüminyum 1808'de İngiliz bir elektrokimyacı, Sir Humphrey Davy, tarafından keşfedilmiştir. Bu keşiften 17 yıl sonra Danimarkalı bir bilim adamı, Oersted tarafından ilk kez küçük bir alüminyum peleti metalik olarak elde edilmiştir.
- Alüminyum metali ilk kez 1855'de Paris Fuarı'nda sergilenmiştir.
- O tarihlerde alüminyum altın, gümüş ve platinden daha kıymetli!
- 3. Napoleon silah yapımında gelecek vaat ettiği için alüminyum ile yakından ilgilenmiştir.

# Kısa tarihçe

- Deville adında bir Fransız alüminyumu 37 \$/kg maliyetle üretmeyi başarmıştır. Ancak ticarileşebilmesi için bu fiyat da yüksek kabul edilmiştir.
- 30 yıl kadar sonra Hamilton Castner adında Amerikalı bir kimyager üretim yöntemlerindeki iyileştirmelerle fiyatı 18 \$/kg'a kadar düşürmüştür..
- Ancak bu rakam da alüminyumun ticarileşmesine yetmemiştir. Bu tarihte yıllık alüminyum üretimi 15 tondu.

# Kısa tarihçe

- Fransa'dan Paul Louis Toussaint Hérault ve ABD'den Charles Martin Hall adlarında 2 genç araştırmacı birbirlerinden habersiz olarak alüminyumu ucuza üretmek için çalışmalar yapmaktaydı.
- 1886'da bu 2 genç adam yeni bir üretim prosesi geliştirmiştir.
- Birbirlerinden habersiz çalışmalarına karşın aynı adımları içeren bu yöntem onların isimleri ile anılır:
- Hall-Heroult yöntemi!

# Kısa tarihçe

- 1. dünya savaşı alüminyum üretimi ve tüketiminde dramatik bir etki yapmıştır. 1914 ve 1919 arasındaki 6 yıl içinde yıllık alüminyum üretimi 70800 tondan 132500 tona artmıştır.
- Savaş yıllarında büyüyen üretim kapasitesi savaş sona erdikten sonra sivil sanayide değerlendirilmiştir.
- Bu trend çok daha etkili bir biçimde 2. Dünya savaşında da tekrarlanmıştır.



# Kısa tarihçe

- Dünya alüminyum üretimi 1939'da 704 bin ton iken 1943'te 1,950,000 tona yükselmiş ve bu tarihte pik yapmıştır.
- 2. Dünya savaşında batı dünyası 4-5 yıl içinde üretim kapasitesini 3 kat arttırmıştır.
- Bu kapasite için yeni pazarların yaratılması gerekmiştir.
- Ancak alüminyuma talep hiç sıkıntı yaratmamış bu yeni kapasite birkaç yıl içinde eksiksiz olarak değerlendirilmiştir.

# Alüminyum hakkında...

- Alüminyum demirden sonra en çok kullanılan metaldir.
- Alüminyumun elde edildiği başlıca mineral boksittir.
- Alüminyum paramanyetiktir.
- Boksit üretiminde ilk 3 ülke, Avustralya, Gine ve Vietnam'dır.
- Alüminyum üretiminde Avustralya, Çin ve Brezilya önde gelmektedir.
- Hall-Heroult prosesinin keşfinden önce alüminyum altından bile daha pahalı olduğu için «metallerin kralı» denirdi.

# Alüminyum hakkında..

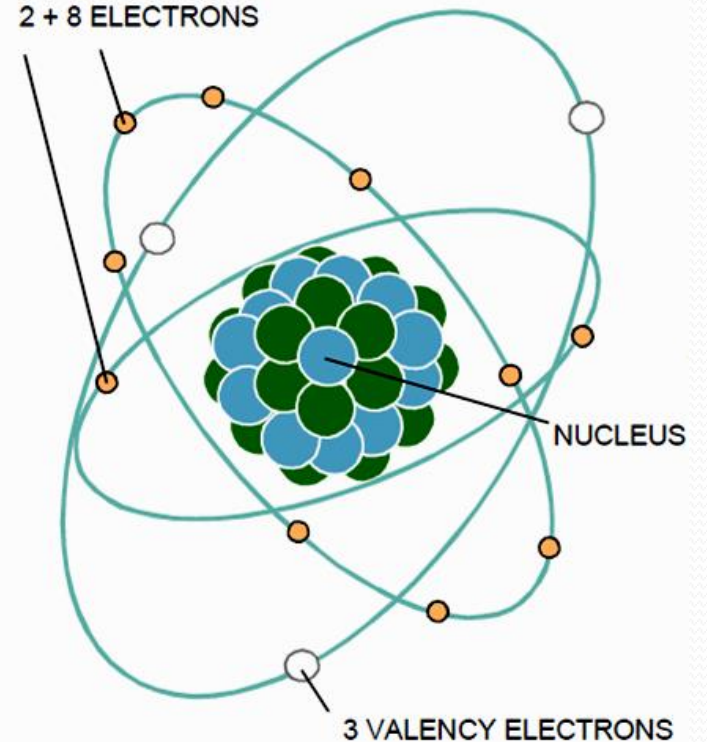
- 3. Asırdan Çin generali Chou-Chu'nun mezarında bulunan kıymetli bir mücevherin %85 alüminyum içerdiği belirlenmiştir.
- Alüminyum havai fişeklerde ve kıvılcım yapıcılarda yaygın olarak kullanılır.
- Uçak gövdesinin %80'i alüminyumdur.



# Atom yapısı

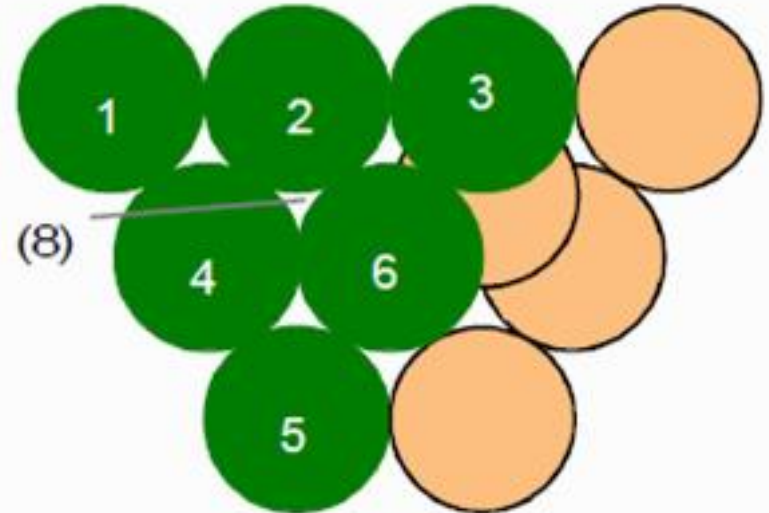
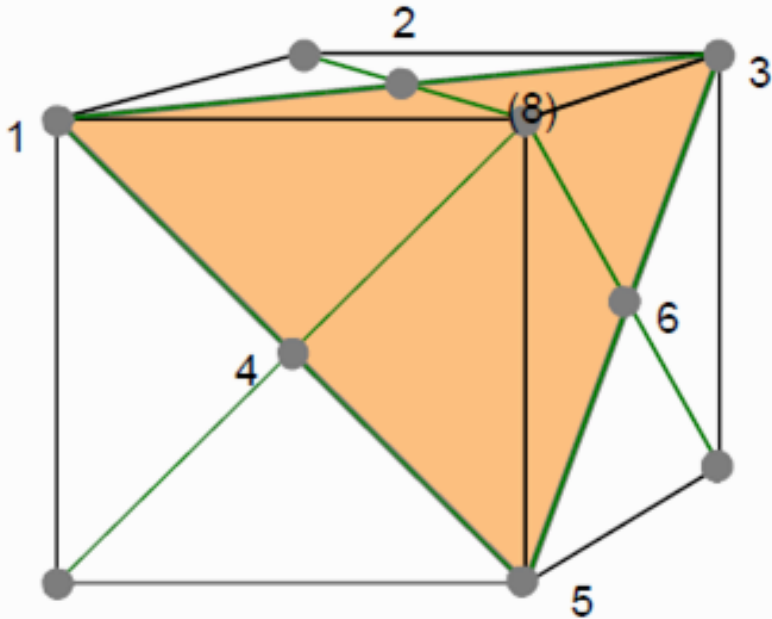
Alüminyumun atom numarası 13'dür.

Alüminyum atomunun 13 elektronu vardır. Tamamen dolu olan ilk 2 orbitalden sonra en dış orbitaldeki 3 valens elektronu alüminyumun diğer elementlerle nasıl etkileşim içinde olacağını belirler.



# Kafes yapısı

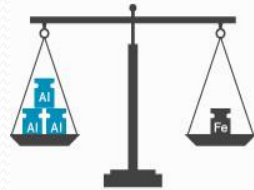
Alüminyumda atomlar, bakır, gümüş ve altında olduğu gibi yüzey merkezli kübik düzeninde yerleşmiştir. Kübün köşelerinde ve her yüzeyin merkezinde atomlardan oluşan bu düzen sayesinde alüminyum deformasyonu kolay sünek bir metaldir.





# Alüminyumun özellikleri

- Hafif olması alüminyumun anahtar özelliklerinden biridir.
- Yoğunluğu ( $2.7\text{g/cm}^3$ ) çeliğinkinin üçte biri kadardır.
- Alüminyumun yoğunluğu diğer elementlerle pek değişmez.
- Ancak Al-Li alaşımları %15 kadar daha hafiftir.
- Hafiflik sadece serviste değil, sevk ve montaj aşamasında da büyük bir avantaj sağlar.



**1**  
**3** the  
weight  
of **steel**

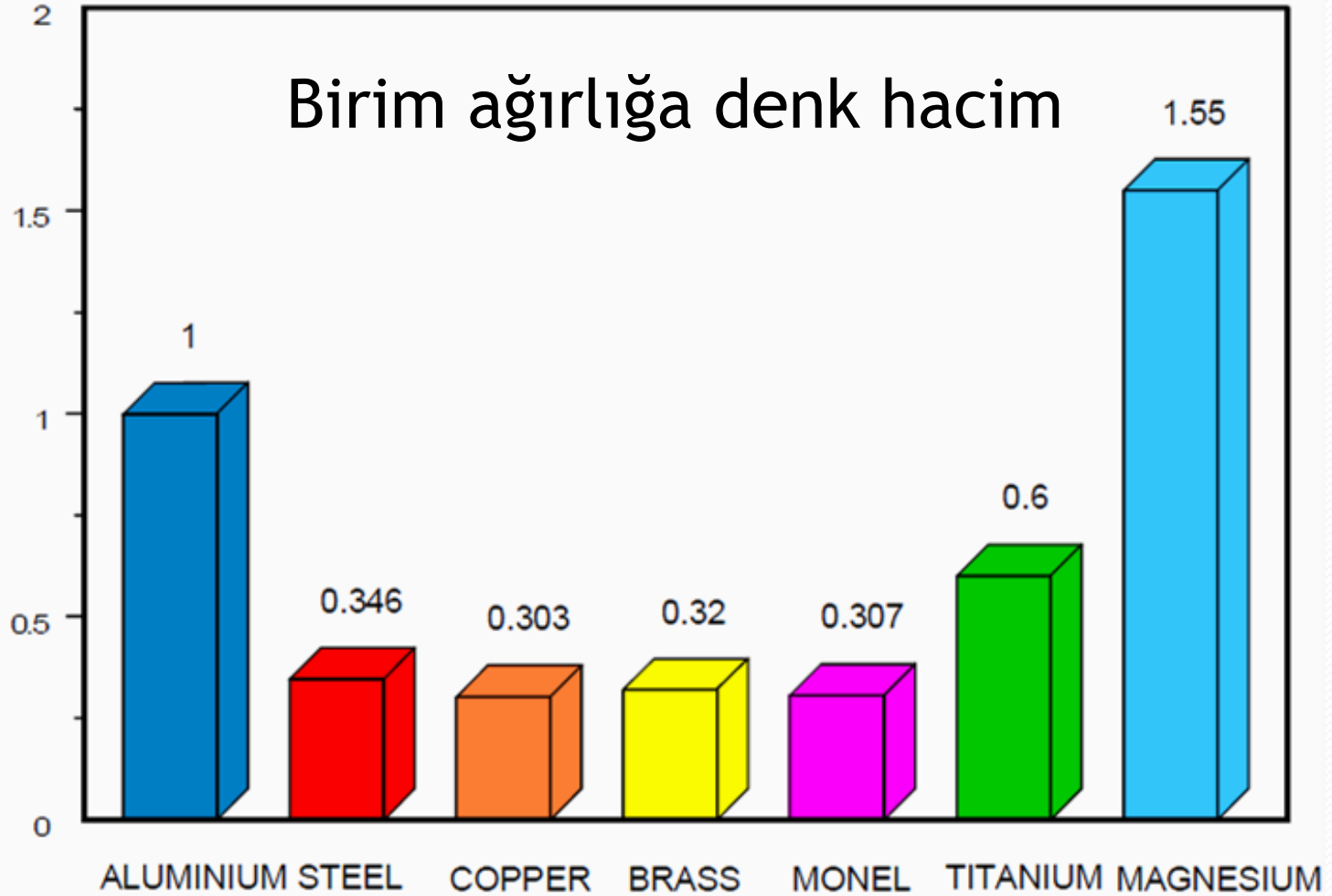


**STRONG  
AND LIGHT**

# Alüminyumun özellikleri

- Hafiflik bütün taşıtlarda kritik bir özelliktir.
- Taşıtlarda alüminyum kullanılması ölü ağırlıkları azaltarak, yakıt tüketimini ve emisyonları düşürür, taşıma kapasitesini arttırır.
- Alüminyumun dayanıklılığı da gözetilen bir dizi alaşımı son 60 yıl içinde uçak sanayinin gözdesi olmuştur.

# yoğunluk



# Alüminyumun özellikleri

## dayanıklı

- 70 ile 700 MPa arasında çekme mukavemetleri
- Bir çok çelikten farklı olarak, alüminyum düşük sıcaklıklarda kırılgan hale gelmez. Aksine, mukavemeti artar.
- Alüminyumun mukavemeti alaşımlama ile süneklikleri zarar görmeden arttırılabilir.
- Çok az miktarda alaşım ilavesi ile üçte bir ağırlıkta çeliğin mukavemet seviyeleri yakalanabilir.



STRONG  
AND LIGHT

# Alüminyumun özellikleri

## Sünek

- Alüminyum sünek bir metaldir.
- Gerek soğuk gerek sıcak şekil verme yöntemleri ile kolayca şekillendirilebilir.
- Alüminyum düşük ergime noktasına sahiptir ve döküm yoluyla da şekil verilebilir.
- Şekil alma kapasitesi yüksek olduğu için nihai ürüne ulaşmak kolay ve ucuzdur.
- Bu özelliği tasarımda ve entegrasyonda esnekliğe müsaade eder.



EASY TO  
FORM



# Alüminyumun özellikleri

## Mükemmel iletken!

- 99.99% saflıktaki alüminyumun iletkenliği bakırın %64'ü kadardır. (20 °C'de 63.8% International Annealed Copper Standard (IACS)).
- Ağırlığa göre normalize edildiğinde bakırdan 2 kat daha iyi bir iletkenidir.



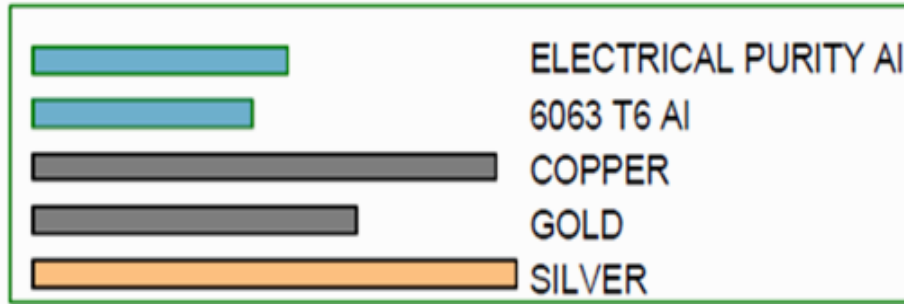
SUPERCONDUCTOR FOR  
HEAT AND ELECTRICITY



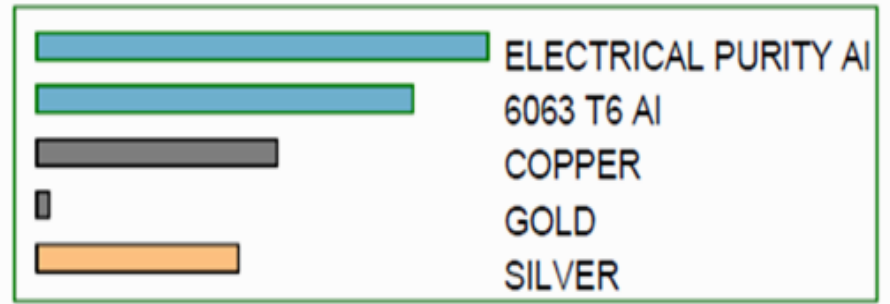
# Alüminyumun özellikleri

Diğer alaşım elementlerinin ilave edilmesi alüminyumun elektrik iletkenliğini düşürür. Katı çözeltideki elementler iletkenliği daha fazla etkilediğinden ısıtma işlemi de iletkenliği yakından etkiler.

CONDUCTIVITY OF METALS COMPARED



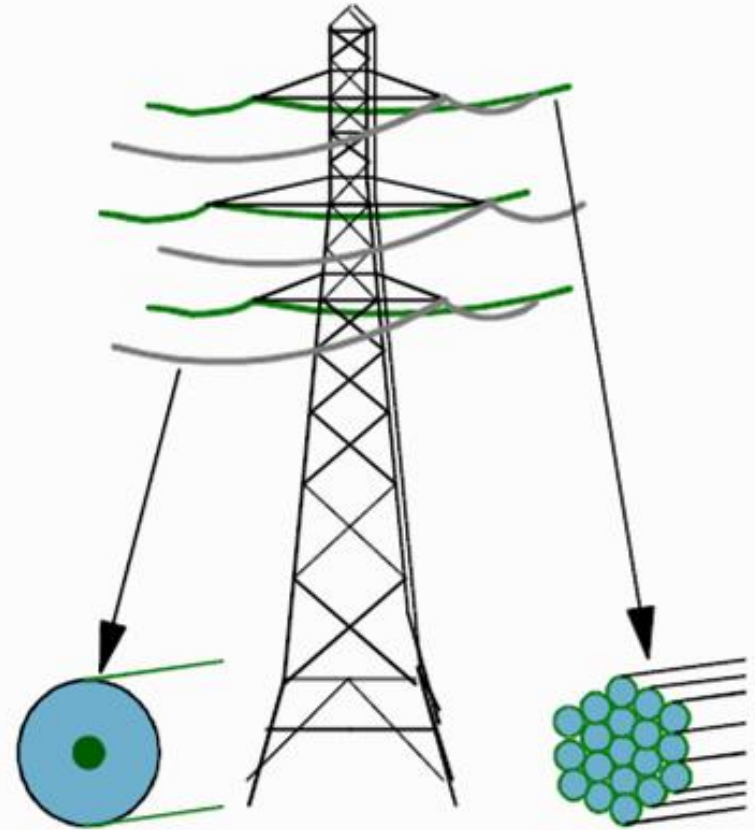
CONDUCTIVITY / UNIT WEIGHT



# Alüminyumun özellikleri

Elektrik iletkenliği ve düşük yoğunluğu alüminyumu elektrik endüstrisinde ve havai hatlarda en tercih edilen malzeme seçeneği yapmıştır.

Alüminyumdan elektrik nakil hatları ilk kez 1898 yılında ABD'de kullanılmıştır.



1350 ALUMINIUM  
WITH GALVANISED  
STEEL CORE

6061 ALLOY

# Alüminyumun özellikleri

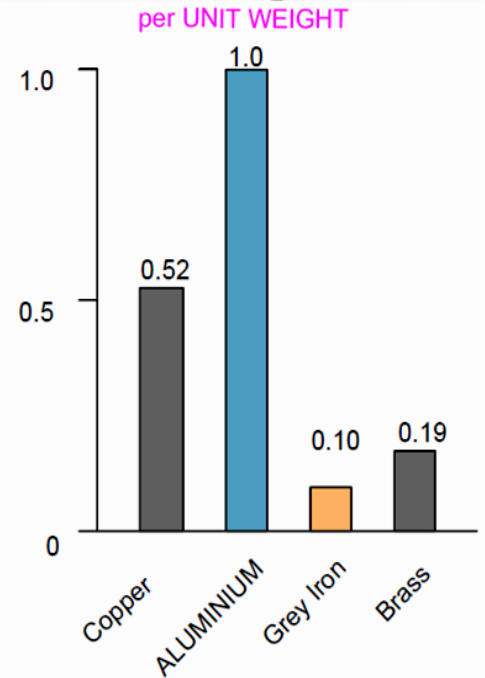
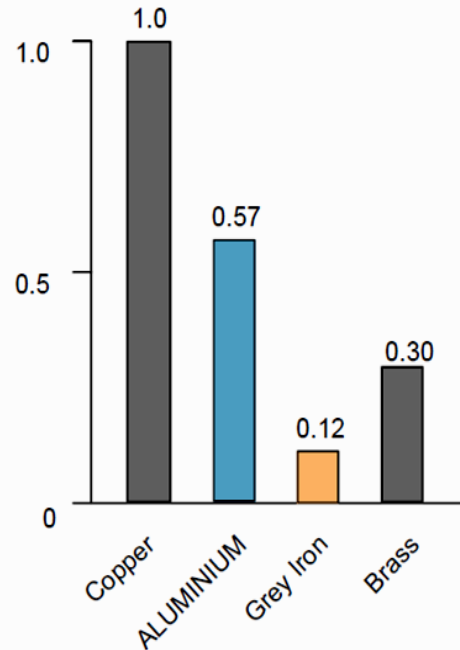
## Isı iletkenliği

%99.99 saflığındaki Alüminyumun ısı iletkenliği,

$\kappa$ : 61.9% IACS

Düşük yoğunluğu sayesinde kütleli ısı iletkenliği bakırınkinin 2 katıdır.

Alaşımlar elementleri ile bir miktar düşer.



# Alüminyumun özellikleri

- paslanmaz! / uzun ömürlüdür! / bakım gerektirmez!
- Alüminyum yüzeyinde hasar gördüğünde hemen yenilenen koruyucu bir oksit filmi vardır. Bu sayede korozyona karşı çok dayanıklıdır.
- Anodik oksidasyon gibi yüzey işlemlerine çok uygundur.
- Bu nedenle otomotiv gövde ve bina cephe uygulamalarında çok uzun ömürlüdür. Bakım ve onarımı gereksiz kılar.



LONG LIFE –  
LITTLE MAINTENANCE



# Alüminyumun özellikleri

- Alüminyum ve alaşımları hafif paramanyetiktir.
- Alüminyumun manyetik karakterinin zayıf olması savaş gemi gövdeleri için değerlidir. Alüminyum hem hafiftir hem de diğer manyetik olmayan alternatiflere göre daha ucuzdur.
- Bu özelliği ile “screening” fonksiyonları için elektronik donanımlarda tercih edilir.

# Alüminyumun özellikleri

**Yanmaz ve yangına dayanıklıdır**

Bu özelliği sayesinde inşaat işlerinde ve bina cephe giydirme uygulamalarında tercih edilir.

660 °C'de gaz çıkışı göstermeden ergimeye başlar.



# Alüminyumun özellikleri

## Mükemmel bir yansıtıcı!

- Hem ısıyı hem de ışığı yansıtır.
- Alüminyum üzerine düşen ışığın %75, ısının %90'ını yansıtır.
- Yansıtmadaki yüksek verimliliği enerji tüketimini azaltır.
- Hafifliği ile birlikte ampül şapkaları, kurtarma battaniyesi gibi uygulamalar için ideal bir malzemedir.



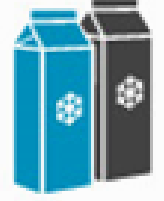
GREAT  
REFLECTOR

# Alüminyumun özellikleri

## Yansıtma ve yayıcılık

- Alüminyum yüzeylerin yayıcılık değeri anodik oksidasyon işlemi ile artırılabilir.
- Isı değiştiricilerin imalatında bu yöntem sık sık başvurur.
- Anodik kaplamalar emissivite değerlerini %35-65 seviyelerine yükseltir.
- Siyah anodik kaplamalar bu değeri %95'e kadar çıkarır.

# Alüminyumun özellikleri



PERFECT FOR  
FOOD PACKAGING

- Gıda ve içecek için mükemmel ambalaj malzemesi
- Alüminyum folyo tamamen geçirmez bir malzeme
- Toksik değil ve kokusuz.
- Tat, koku, ışık giriş ve geçişine izin vermez.
- Gıda ambalajı olarak israfı önler.
- Hafif olduğu için paketlemede ve nakliye aşamasında ciddi enerji tasarrufları sağlar.
- Geçirimsizliği soğutma gereksinimini azaltır.
- bu özelliklerini 7 mikrona inceltildiğinde bile korur.



# Alüminyumun özellikleri

## Geri kazanılabilir!

Alüminyum özelliklerinden hiçbir şey kaybetmeden %100 verimle geri dönüştürülebilir.

Alüminyumun hurdasından ergitme ile eldesi mineralinden üretimine göre 20'de 1 daha az enerji tüketir.

Bugüne değin üretilen alüminyumun %75'i hala kullanımdadır.



EASY TO  
RECYCLE



# Alüminyumun özellikleri

## Lineer genleşme

Diğer metallere göre alüminyum yüksek lineer genleşme gösterir. Tasarımlarda bu özelliği dikkate alınmalıdır.

## Talaşlı imalat

Alüminyum bir çok talaşlı imalat tekniğine (torna, delme, kesme, eğme vb) işlemede enerji sarfı düşüktür.

## Birleştirme

Kaynak ve yapıştırma vb birleştirme işlemlerine uygundur.

# Alüminyumun özellikleri

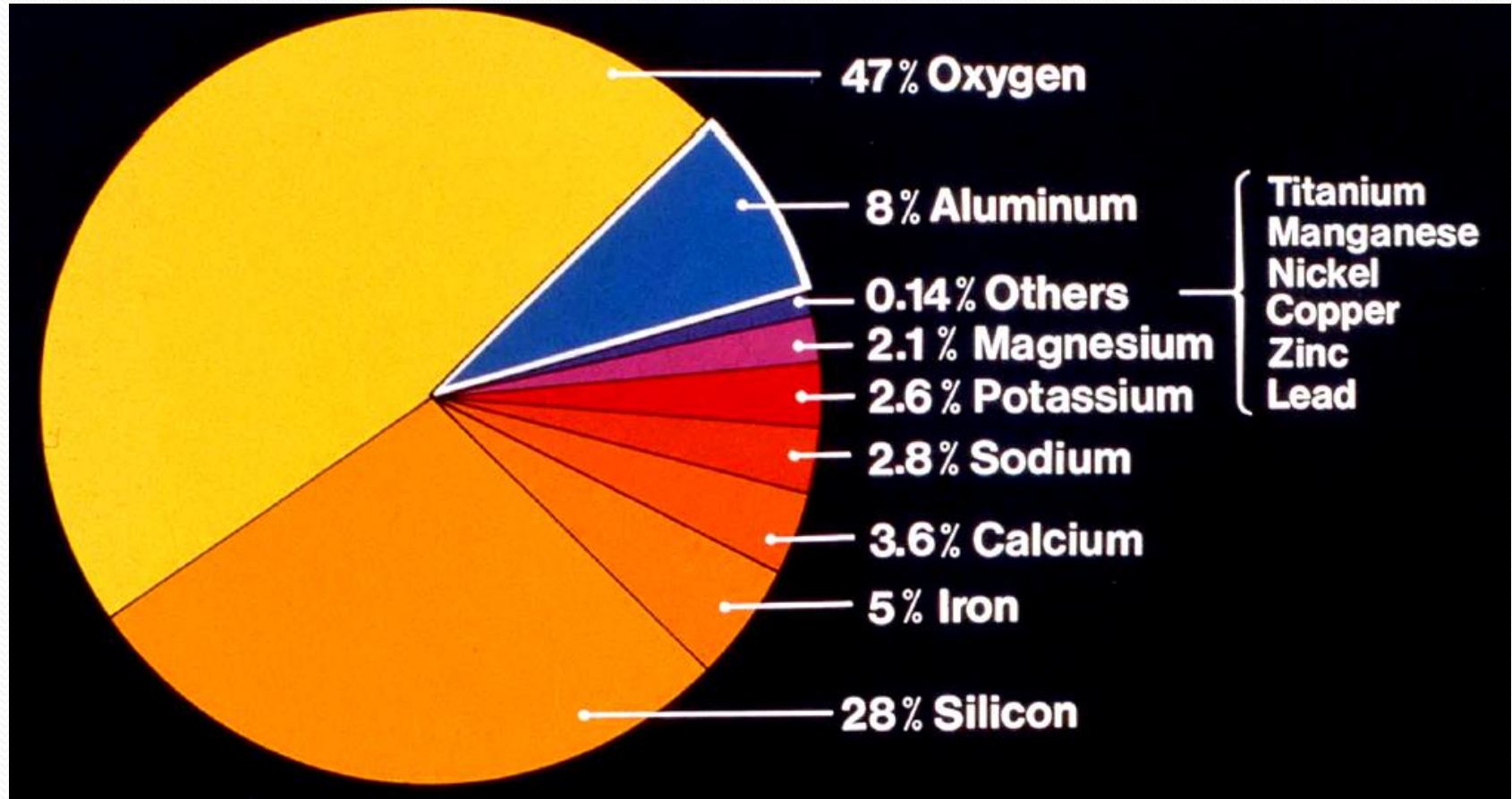
## **Eletromanyetik perdeleme**

Alüminyum elektromanyetik radyasyona karşı iyi bir kalkandır. İletkenlik arttıkça bu kapasite de artar.

## **Manyetik değil!**

Alüminyum manyetik değildir (esasen paramanyetiktir). Manyetik alanlarla etkilişimi önlemek için manyetik X-ışınları cihazlarında kullanılmaktadır.

# Yer kabuğundaki elementler



# boksit

Alüminyum boksitten üretilir. Boksit %40-60 kadar alüminyum hidroksit içerir; su molekülleri bağlanmış alüminyum oksit!

Boksitin diğer tipik bileşenleri:

demir oksit  
silisyum oksit  
titanyum oksit  
su



Little Rock, Arkansas'tan boksit



# Diğer mineraller

Feldspar, mika ve kil %15-40 arasında  $Al_2O_3$  içerir.



Feldspar  
Ontario, KANADA



mika  
Ontario, KANADA



kil  
ESTONYA

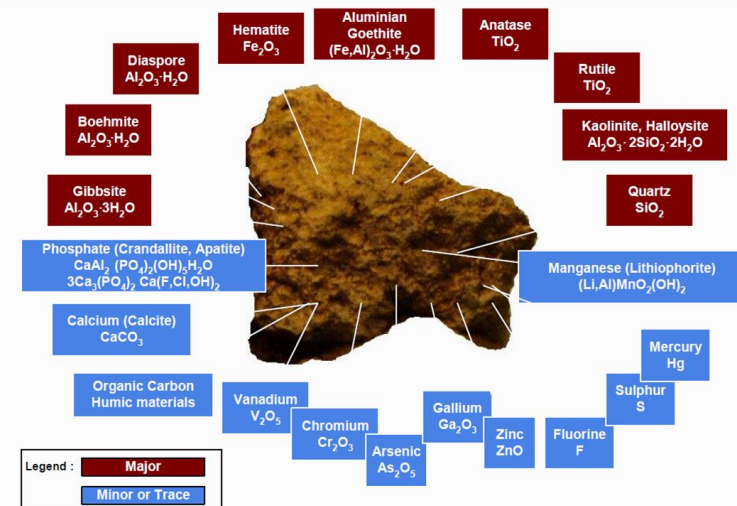
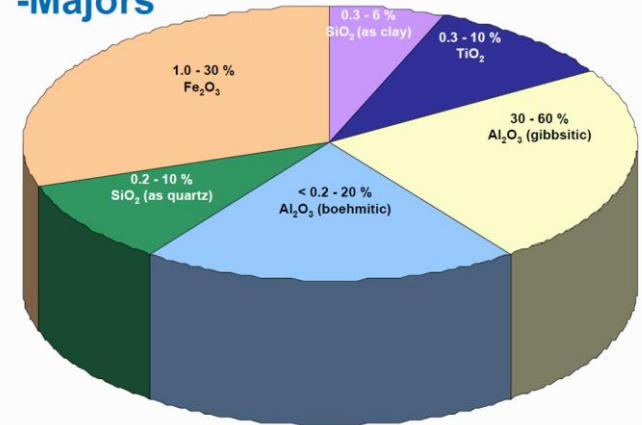
# Tipik boksit bileşimi

*bileşen*

*ağ%*

$\text{Al}_2\text{O}_3$	30-60
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1-30
$\text{SiO}_2$	<0.5-10
$\text{TiO}_2$	<0.5-10
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.02-1.0
$\text{CaO}$	0.1-2
$\text{V}_2\text{O}_5$	0.01-0.10
$\text{ZnO}$	0.002-0.10
$\text{Ga}_2\text{O}_3$	0.004-0.013
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.003-0.30
S	0.02-0.10
F	0.01-0.10
Hg (ppb)	50-1000

Bauxite: Typical Composition -Majors



# Boksit madenciliği

- En zengin ve en ekonomik boksit yatakları tropik ve tropik-altı bölgelerde yeryüzüne yakın yerlerde bulunur.
- Kil ve diğer mineraller de hesaba katıldığında alümina kaynakları neredeyse sonsuzdur.
- Boksit klasik madencilik pratikleri ile açık yataklardan elde edilmektedir. Sonra kırılır, öğütülür, yıkanır ve kurutulularak alüminanın diğer safsızlıklardan ayrılması için hazırlanır.



# Boksit madenciliği



Alcan AVUSTRALYA

Alcan quebec, KANADA



# Boksit madenciliği

Boksit madenciliğinin büyük bir bölümü yeryüzü yataklarında iken, güney Avrupa ve Macaristan'da yer altı madenciliği yapılmaktadır.



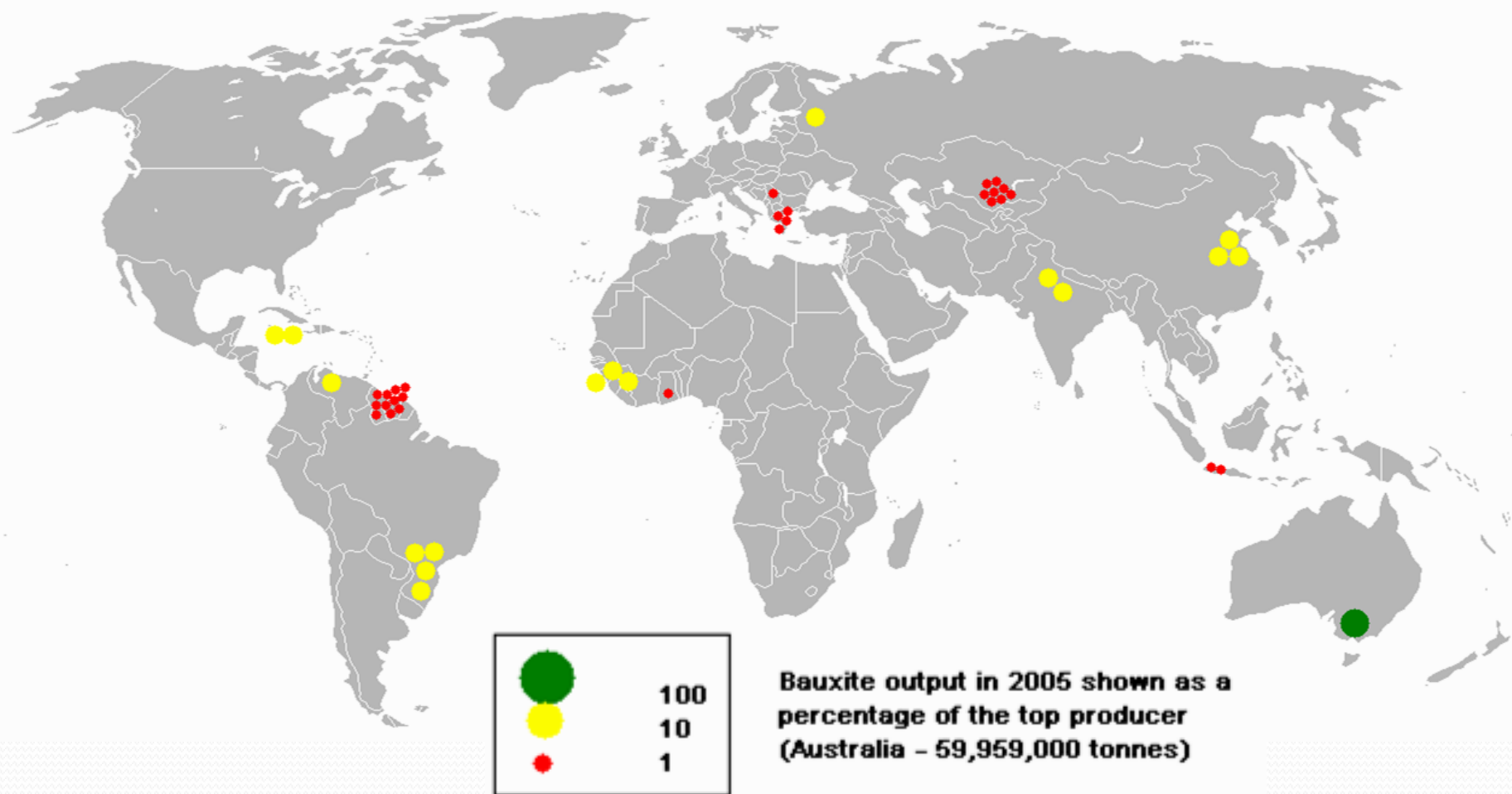


# Boksit madenciliği

- Global üretim: 130 milyon ton/yıl
- Üretimin %70'i Avustralya, Gine, Brezilya ve Jamaika



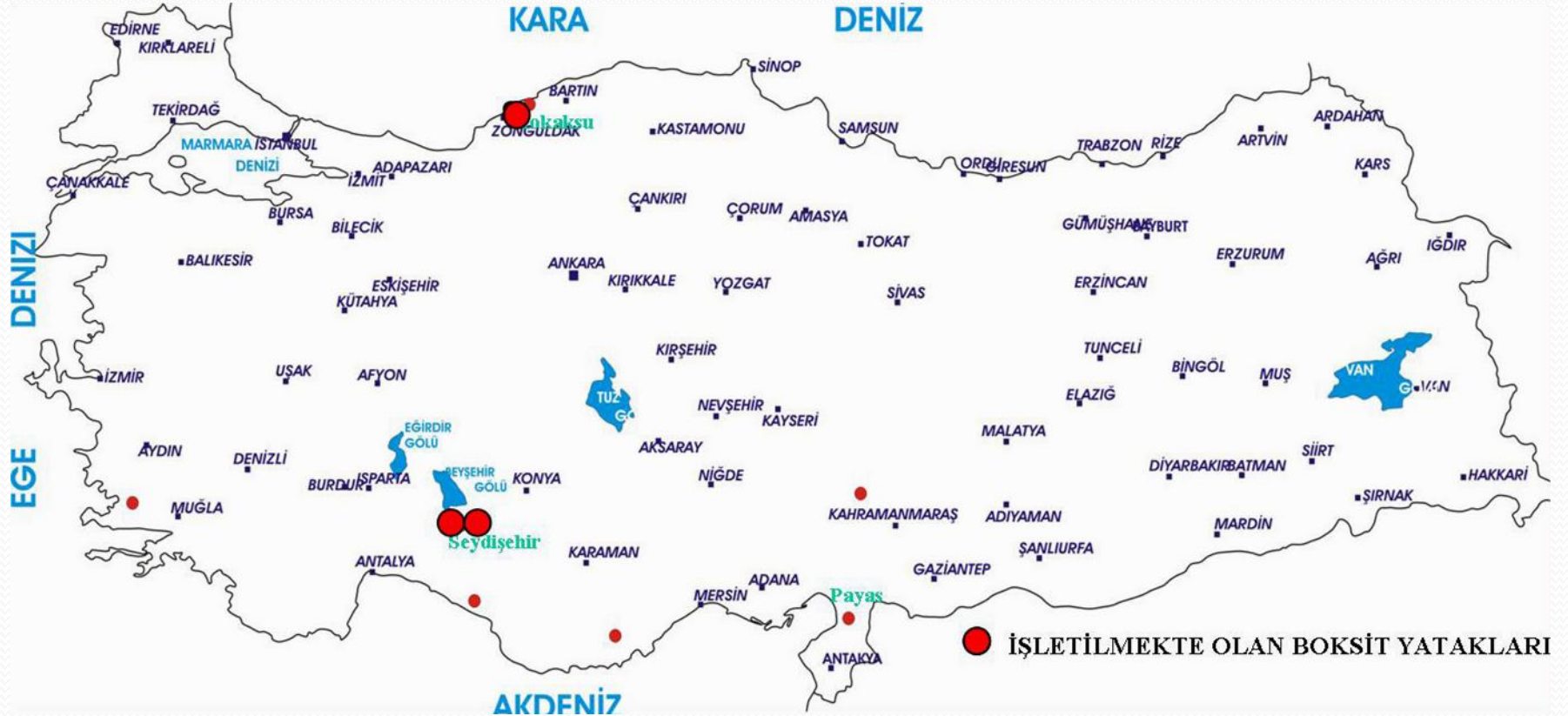
# Boksit madenciliği



# Boksit üretimi

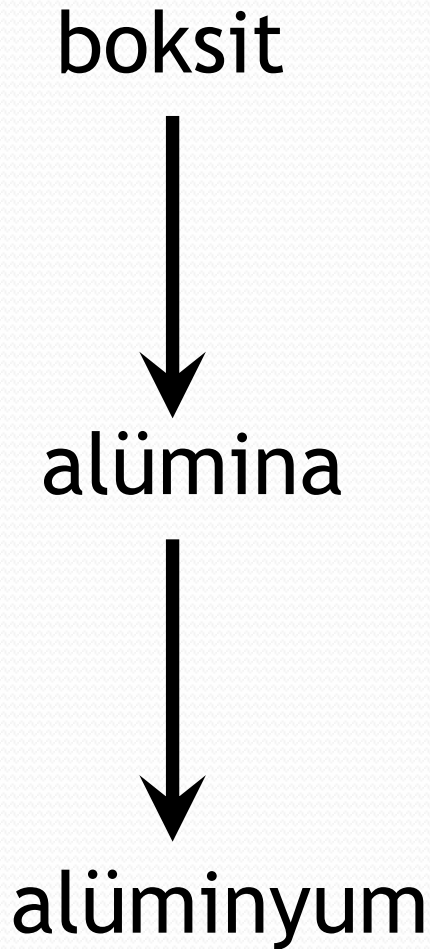
Ülke	Boksit Rezervi	Dünya Rezervlerinden Aldığı Pay
Gine	8,6 Milyar ton	%23
Avustralya	7,9 Milyar ton	%21
Vietnam	5,4 Milyar ton	%14
Brezilya	2,5 Milyar ton	%7
Jamaika	2,5 Milyar ton	%7
Çin	2,3 Milyar ton	%6
Hindistan	1,4 Milyar ton	%4
Guyana	900 Milyon ton	%2
Yunanistan	600 Milyon ton	%2
Surinam	600 Milyon ton	%2
Kazakistan	400 Milyon ton	%1

# Boksit rezervleri



Türkiye’de ise bilinen boksit rezervleri 68.910.000 tondur. Milas, Muğla / Seydişehir, Konya / Akseki, Antalya / Saimbeyli, Adana / İslahiye, Gaziantep / Hassa, Hatay

# Boksitten alüminyum üretimi



Alümina boksitten **Bayer prosesi** ile elde edilir (Josef Bayer tarafından Almanya'da 1888'de patentlenmiş!).


Alümininyum alüminadan **Hall-Heroult prosesi** ile elde edilir.  
1886

Ticarileşme: Pittsburg Red. Co.  
(Alcoa)



# Boksitten alüminyum üretimi

boksit



alümina

## Cevher zenginleştirme

Cevherin durumu ve kalitesine bağlı olarak yıkama yolu ile zenginleştirme yapılabilir. Cevher kırılıp öğütülerek tane boyutu küçültülerek kostik soda işlemine hazırlanır.

## Kostik işlem “digestion”

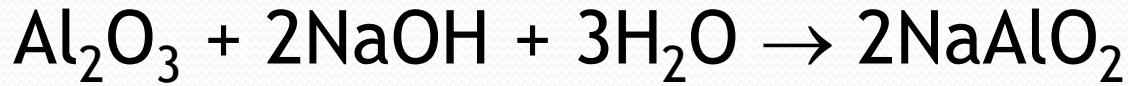
Filtreleme  
Çökeltme  
kalsinasyon



**BAYER**  
prosesi

# Kostik işlem “digestion”

- Öğütülmüş, yıkanmış ve kurutulmuş boksit kostik soda (NaOH) ile yüksek sıcaklıklarda ve buhar basıncı altında yıkanır.



- Boksit içindeki alüminyum oksit çözünebilir Na alüminata dönüşür ve diğer oksitli çözünmez bileşenlerden kostik soda içinde çözünerek ayrılır.
- Pişirme kazanındaki koşullar (konsantrasyon, sıcaklık ve basınç) boksit cevherinin özelliklerine göre ayarlanır.

# Kostik işlem “digestion”

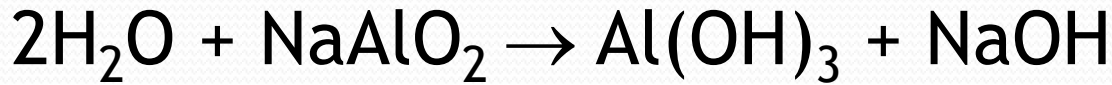
- Gibsit içeriği zengin cevherler için  $T=140^{\circ}\text{C}$   
Böhmit:  $200-240^{\circ}\text{C}$  aralığında
- Basınç:  $240^{\circ}\text{C}$ 'de yaklaşık 35 atm kadardır.
- Yüksek sıcaklıklar avantajlı görünmekle birlikte,  
Korozyon olasılığı artar!  
diğer oksitler de kostik içinde çözünebilir!

# filtreleme

- Böylece alümina çözündürülürken, çözünmeyen empüriteler **kırmızı çamur** adını verdiğimiz karışımda toplanır.
- Bu karışım kırmızı çamuru alüminyumlu çözeltiden ayırmak için filtrelenir.
- Alümina çözeltisi «**çökeltici**» adı verilen tanklar sevk edilir.

# Çökeltme

- Çökeltme tankında sıcak alümina çözeltisi soğumaya bırakılır.
- Kostik likör çözeltisindeki alüminyum hidrat çökeltilir:



- Bu aşamada alüminyum hidroksit ve sodyum hidroksit kristallerinin oluşmasını teşvik etmek için çözeltiliye az miktarda alüminyum hidroksit ilave edilir.
- Çökelen alüminyum hidroksit tank dibinde toplanır ve tanktan alınır.



# Çökeltme

- Hidrat kristalleri boyut sınıflaması yapılır. Küçük tanecikler tekrar çökeltme aşamasına döner.
- Çökeltme aşamasından çıkan çözünmez çamur yıkanarak kostik soda geri kazanılır ve bu soda prosese geri döner.

# kalsinasyon

- Ayrılan alüminyum hidroksit kostik soda kalıntılarını gidermek için yıkanır ve döner kalsinasyon ünitelerinde fazla suyu uçurmak için ısıtılır.

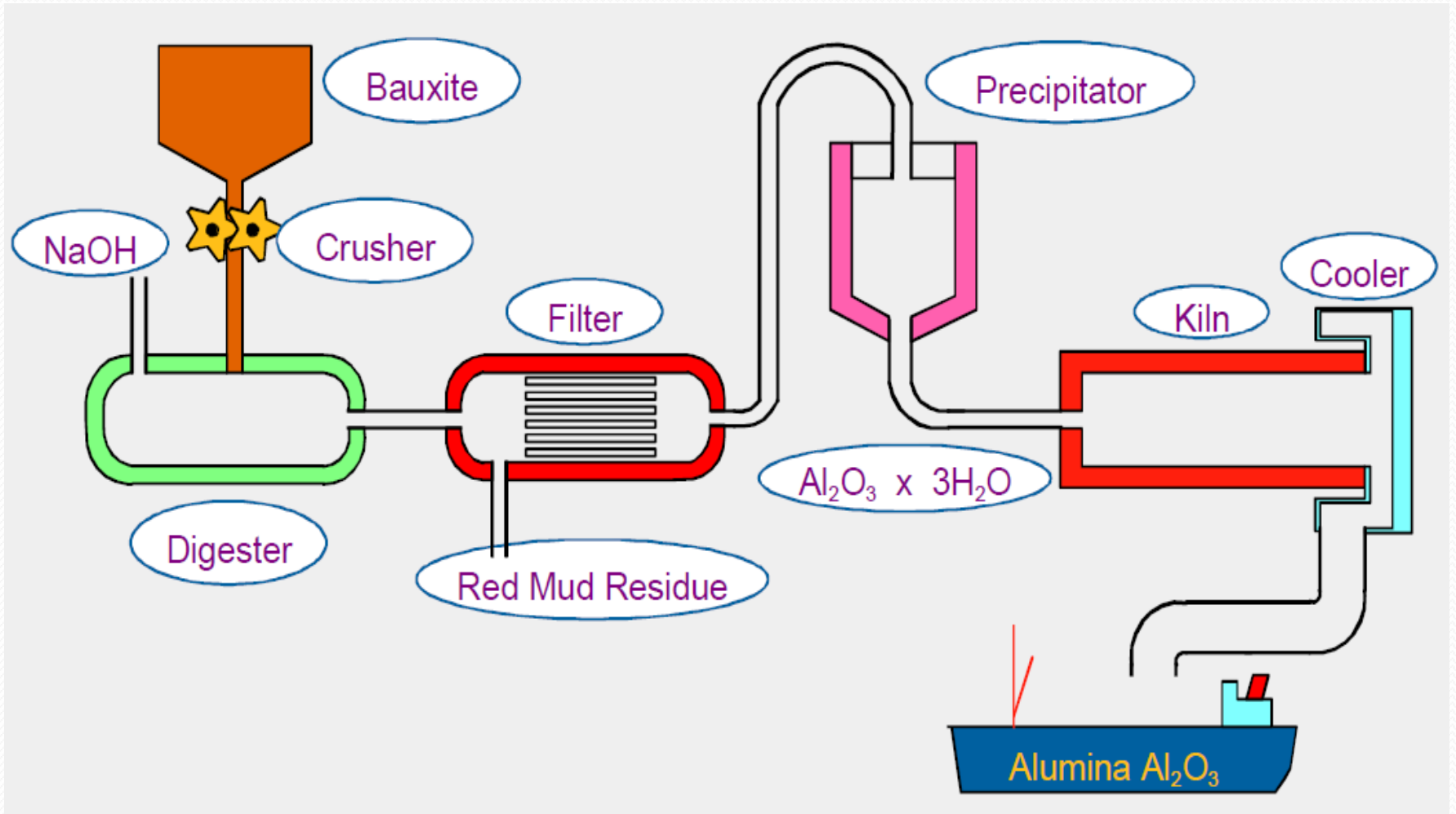


- Böylece beyaz kristalin toz görünümünde fakat camı çizecek kadar sert olan Alümina (alüminyum oksit) elde edilir. Yaygın olarak kullanılan abrasif korundum ve emery bir çeşit alüminadır.

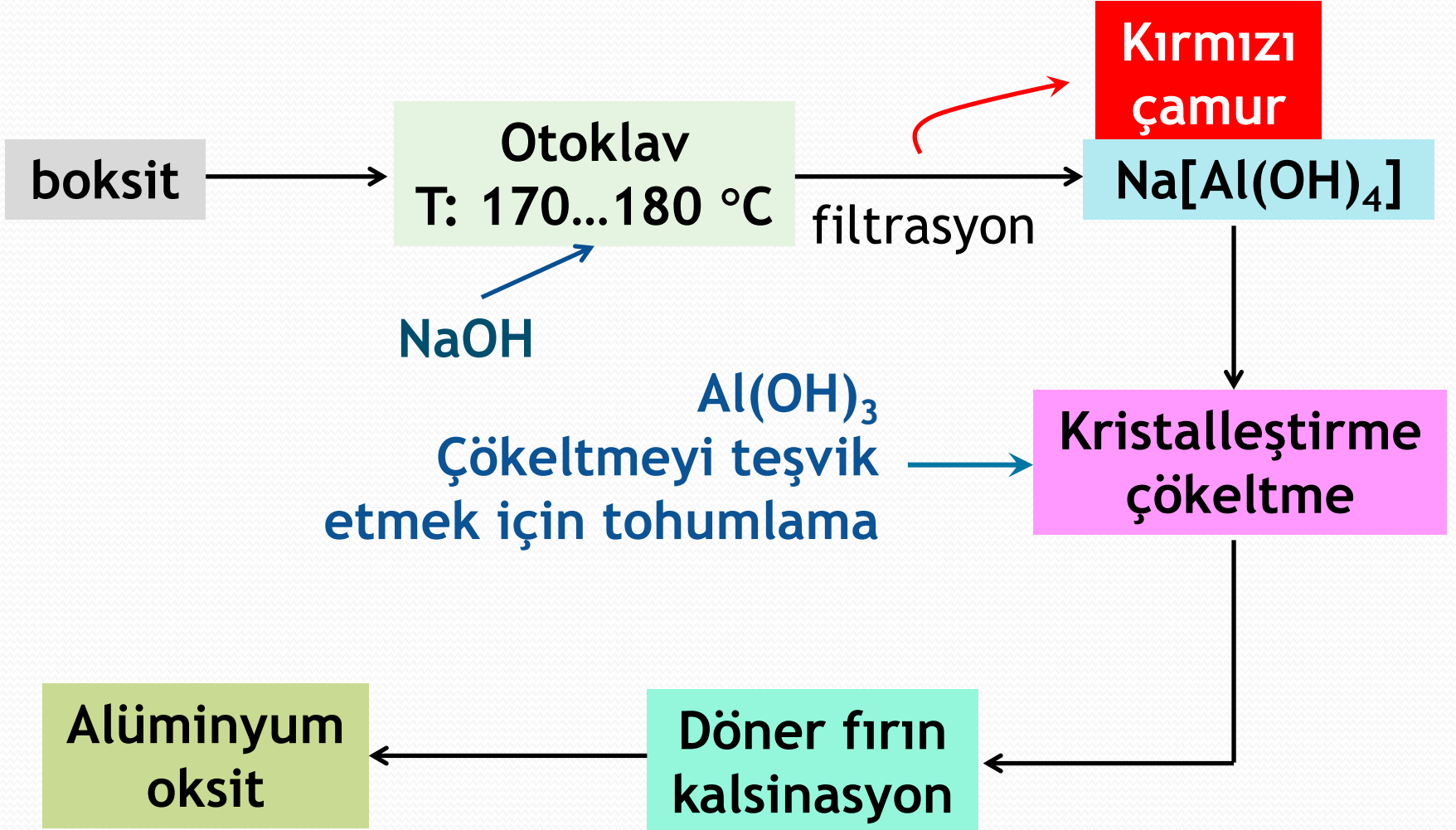
# kalsinasyon

- Rafine edilmiş alümina ağırlıkça yaklaşık eşit miktarlarda alüminyum ve oksijen içerir. Alüminyum metal elde etmek için bu ikisi birbirinden ayrılmalıdır.
- 4 ton boksitten 2 ton alümina, ondan da 1 ton alüminyum metal elde edilir.

# Alümina üretimi



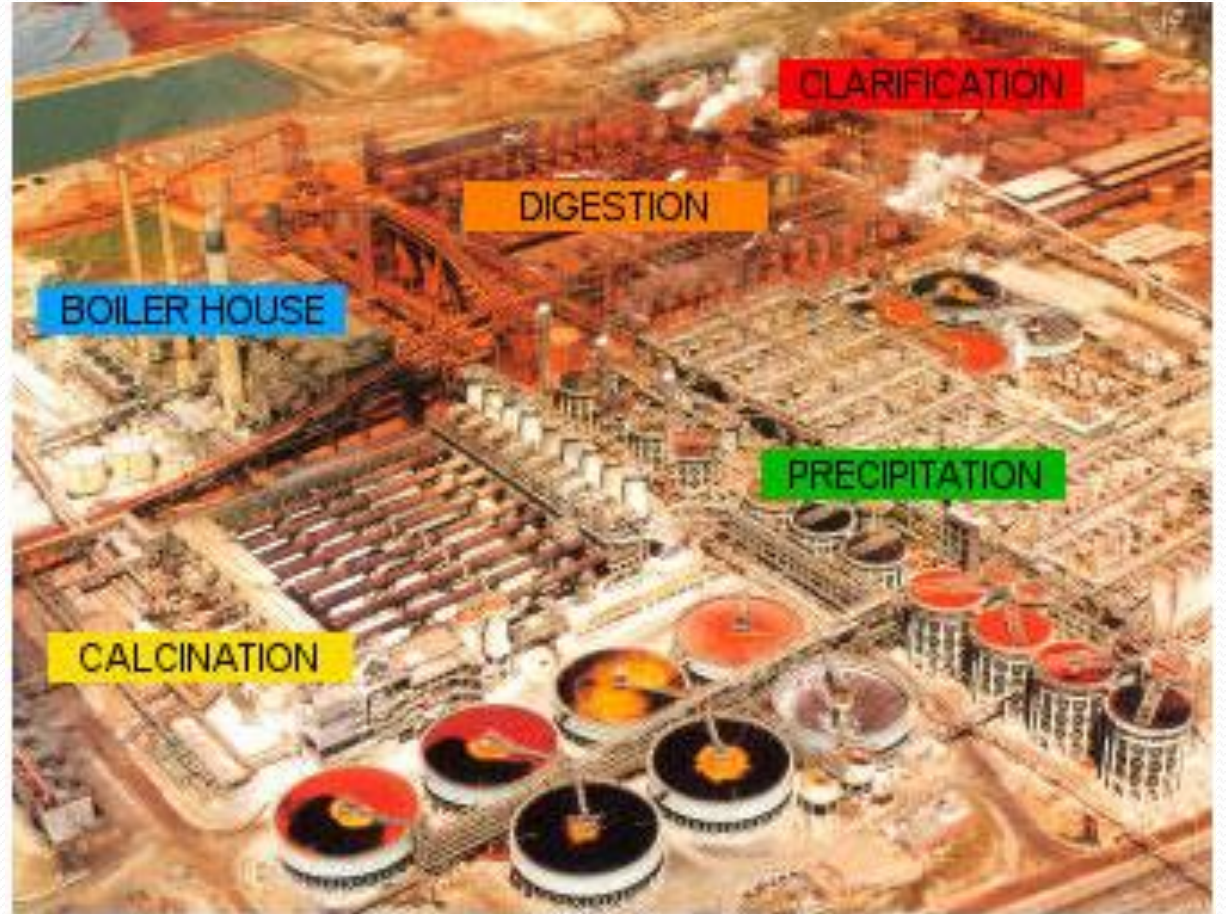
# Alümina üretimi





# Alümina üretimi

QAL Alümina  
işletmeleri  
Queensland  
Avustralya



# Alümina üretimi

Rusal Alüminyum (İrlanda) tesisleri: 1.800.000 ton/yıl alümina üretim kapasitesi. Avrupa'nın en modern tesislerinden biri





# Alümina üretimi

ETİ ALÜMİNYUM Seydişehir: 400 bin ton boksit işliyor!



# Alümina üretimi-kırmızı çamur

Kırmızı  
çamur  
sahası  
Stade,  
Almanya



Yılda 77 milyon ton ile alüminyum üretiminin en önemli sıkıntılarından biri kırmızı çamur'dur.

# alümina

Alüminyum metal üretmek için hammadde!  
Ayrıca, kıymetli özel bir bileşik ve ticari bir üründür.

Spark plug  
Yangın geciktirici  
Sentetik mermer  
Katalizör  
Diş macunu  
Alüminyum florür  
Seramik  
Refrakter  
imalatında kullanılır.





# Alümina bileşimi

Bileşenler	ağ% (oksit olarak)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (by diff.)	99.3-99.7
Na <sub>2</sub> O	0.30-0.50
SiO <sub>2</sub>	0.005-0.025
CaO	<0.005-0.040
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.005-0.020
TiO <sub>2</sub>	0.001-0.008
ZnO	<0.001-0.010
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.0001-0.0015
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.005-0.015
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.001-0.003
SO <sub>3</sub>	< 0.05-0.20

# Alüminadan ( $Al_2O_3$ ) alüminyum üretimi

Al-O bağı çok kuvvetli; ısıtma ile ayırmak güç, enerji sarfiyatı yüksek!

Alüminyum metal yaklaşık  $660^{\circ}C$ 'de,  
 $Al_2O_3$   $2015^{\circ}C$ 'lerde eriyor!

19. Yüzyılın ortalarında alüminayı kimyasal yöntemlerle parçalamak için geliştirilen yöntemler o kadar maliyetliydi ki, metalik alüminyum en az gümüş kadar pahalıydı. Az miktarlarda üretilen alüminyum sadece mücevher imalatında kullanılıyordu.



# Alüminadan alüminyum üretimi

Önceleri alüminadan alüminyum elde etmek için elektrik enerjisinden yararlanılması düşünülse de, yüksek enerji gereksinimi caydırıcı olmuş!

Alüminanın suda çözünmüyor olması ve yegane elektrik enerjisi kaynağı olan bataryalar bu yöntemi geçersiz kılmış!

1866'da Döner elektrik jeneratörü, dinamounun icadı bu sorunu kısmen çözüme kavuşturmuş!



metalik malzemeler  
23.10.2014

# Alüminadan alüminyum üretimi

1886'da birbirlerinden tamamen bağımsız olarak çalışmakta olan ABD'den Charles Martin Hall ve Fransa'dan Paul L.T. Heroult alüminanın Na-Al florür tuzu olan kriyolit içinde yaklaşık 950 °C'de çözündüğünü keşfetmiştir.

Kriyolit içinde çözünen alümina çözeltiden elektrik akımı geçirildiğinde kolayca alüminyum ve oksijene ayrılmaktadır.

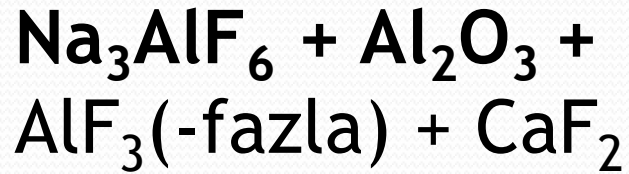
Kriyolit bu proses koşullarında kararlıdır. Üstelik alüminyumdan daha düşük yoğunluğa sahip olduğu için ayrışma sonrasında alüminyumun banyonun dibine çökmesine ve kolayca ayrılmasına izin vermektedir.



# Hall-Heroult Prosesi

Alüminayı alüminyuma redüklemek için elektrokimyasal proses

Alümina ergimiş kriyolit içinde çözündürülür:



$T = 960^\circ\text{C}$

$I = 200\text{-}240\text{kA}$

$E \sim 4\text{V}$

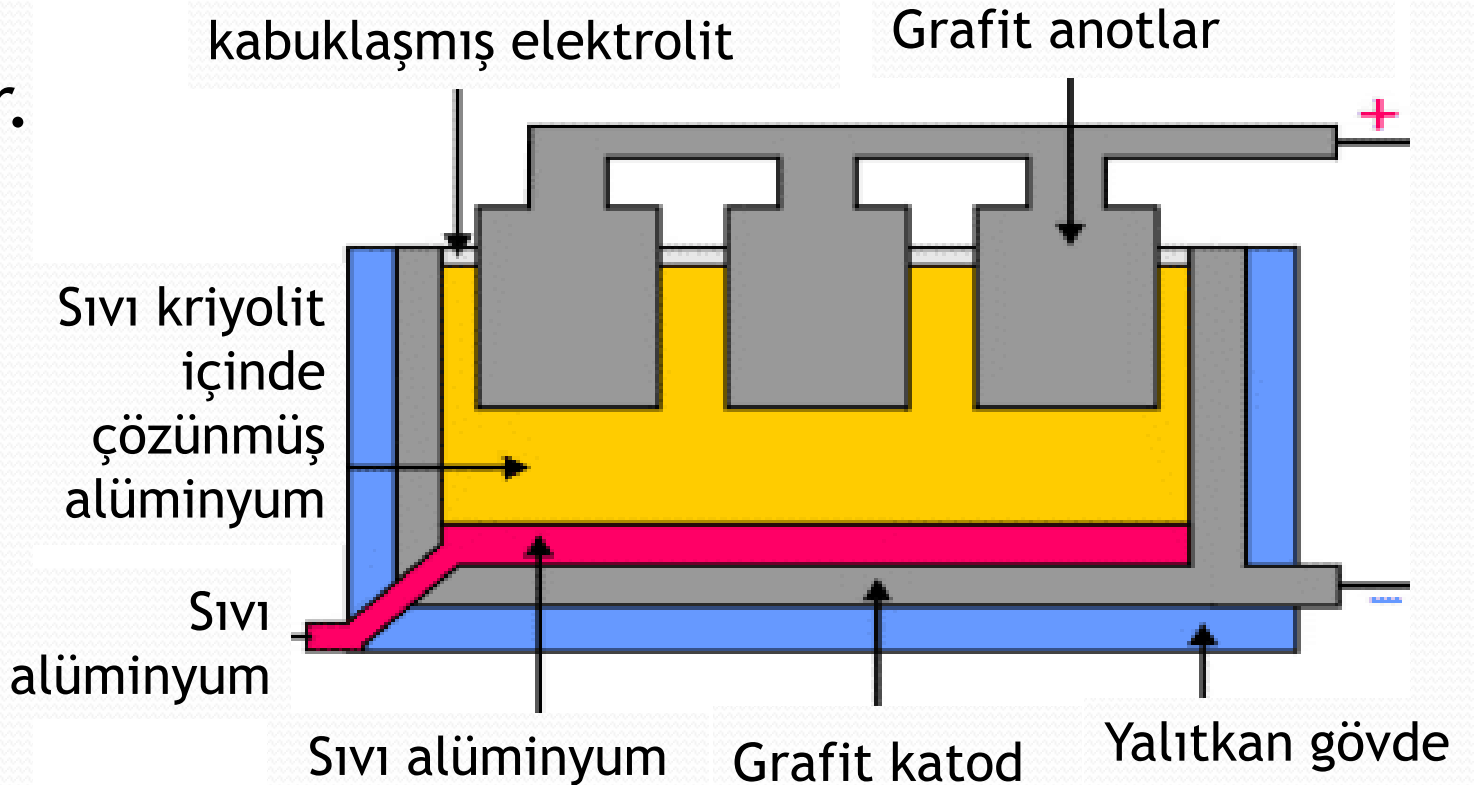


# Hall-Heroult Prosesi

Her hücrenin iç astarı katodu oluşturur.

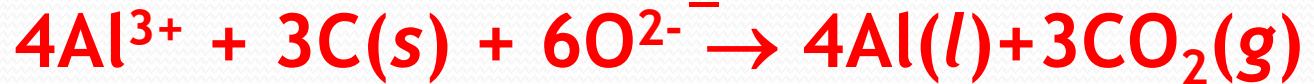
Anot da karbondan imal edilir.

Katot eriyik ile reaksiyona girmediğinden ömrü daha uzundur.



# Hall-Heroult Prosesi

Reaksiyonlar:



Alüminyum oksitten ayrılan oksijen iyonları negatif elektrik yüklü olup anotlara taşınır.

burada karbonla birleşerek  $\text{CO}_2$  ve  $\text{CO}$  oluşturur.

$\text{CO}_2$  ve  $\text{CO}$  kabarcıklar şeklinde yüzeye çıkar + alüminyum hücre dibinde toplanır.

# Hall-Heroult Prosesi

Hücre tabanında yeterli alüminyum eriyiği biriktiğinde bir sifon mekanizması ile alaşımlama yapılan işletmeye veya döküm ünitesine gönderilmek üzere hücreden aktarma potalarına alınır.

Hall-Heroult prosesi ile üretilen alüminyum %99'dan daha yüksek saflıktadır.

elektrik enerji gereksinimi çok yüksek!

Bu nedenle birincil alüminyum üretim tesisleri ucuz enerji kaynaklarına yakın konumlanmıştır.

# Hall-Heroult Prosesi

- Hall-Heroult prosesi yüksek miktarda elektrik tüketir fakat **voltaj sarfı düşüktür**. Bu sayede bir çok redüksiyon hücrelerini tek bir elektrik devresi üzerinde seri bağlayarak hücre hattı (potline) oluşturmak pratiklik ve ekonomi sağlar.
- Modern redüksiyon hücreleri 250 KA'de her biri 4-5 V seviyesinde çalıştırılır. Bu gibi hücreler  $\frac{1}{2}$  kg alüminyum için 6-7 KW elektrik tüketir.
- Çözeltiden geçen akıma karşı direnç çözeltiyi ısıtıp sıvı halde tutmaya yarar.



# Hall-Heroult Prosesi

Hall-Heroult prosesi sürekli olarak anot tüketir.

Bu nedenle anotları ya düzenli aralıklarla yenilemek ya da Soderberg anotlarında olduğu gibi kendi kendine pişen bir macun şeklinde anot tedarigi yapmak gerekir.

Yaklaşık  $\frac{1}{2}$  kg alüminyum için  $\frac{1}{4}$  kg karbon tüketilir.

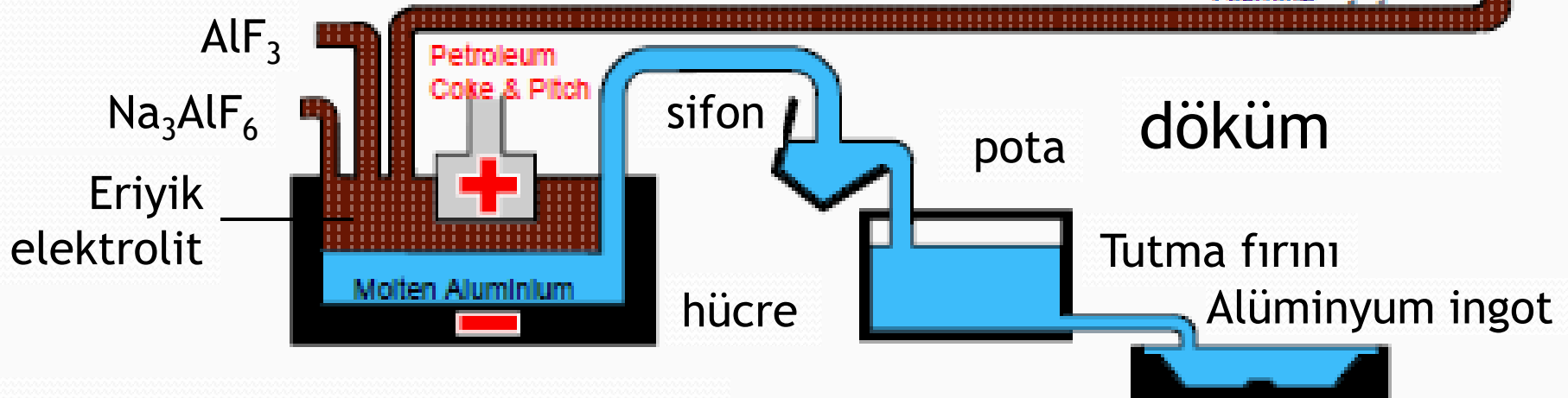
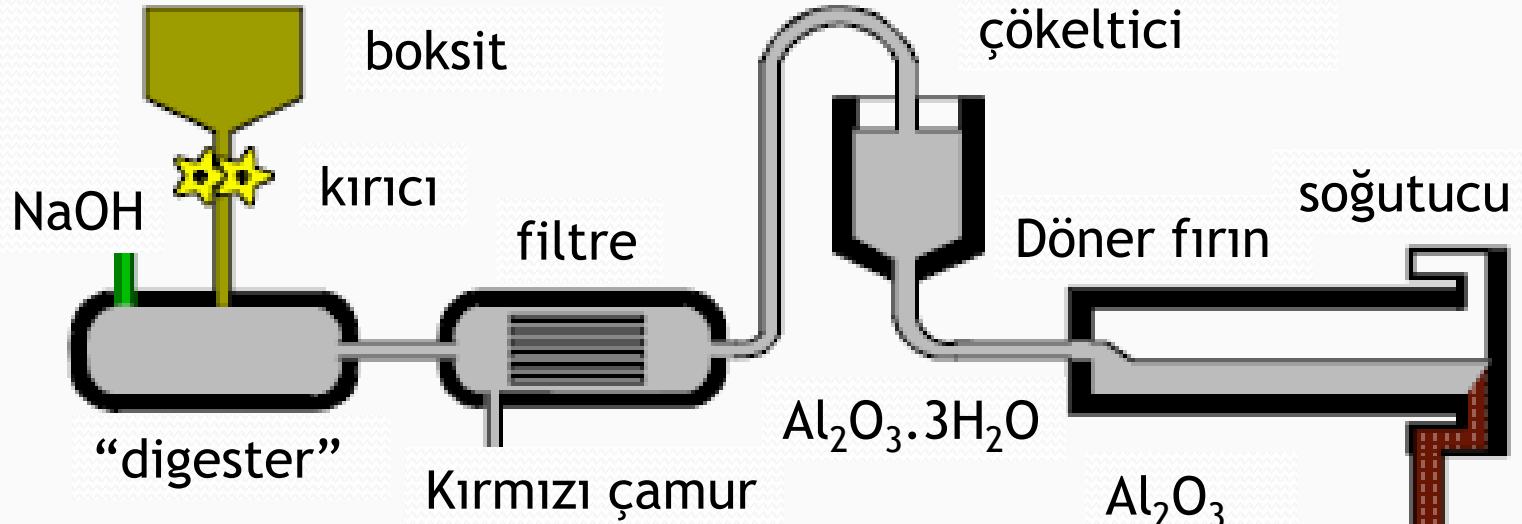
Alüminyum redüksiyon işletmeleri her biri 270-320 kg gelen ve 14 gün aralıklarla yenilenmesi gereken karbon anotları kendi bünyelerinde üretirler.

# Alüminyum üretimin ana hatları

- Alümina boksitten BAYER prosesi ile üretilir.
- Parçalanmış, öğütülmüş boksit kostik soda çözeltisi içinde çözündürülür.
- Alümina kostik sodada çözünerek sodyum alüminat likörü oluşturur.
- Bu çözelti filtreden geçirilerek safsızlıkları içeren kırmızı çamurdan ayrılır.
- Çözelti, alüminyum hidroksit şeklinde bulunan alüminyum içeriğini çöktürmek için muamele edilir.
- Çöktürülen kısım çözüldüğüden ayrılır ve alümina elde etmek için  $\sim 1000$  °C'de kalsine edilir.
- 2 kg alümina elde etmek için yaklaşık 4 kg boksit gerekir.

# Alüminyum üretimin ana hatları

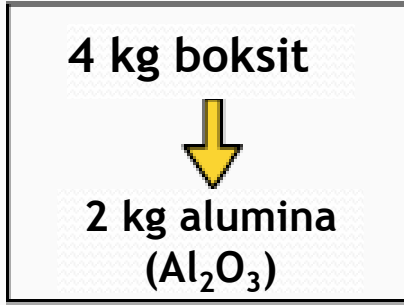
Kimyasal proses



elektrokimyasal proses

# Alüminyum üretimin ana hatları

Alümina üretimi

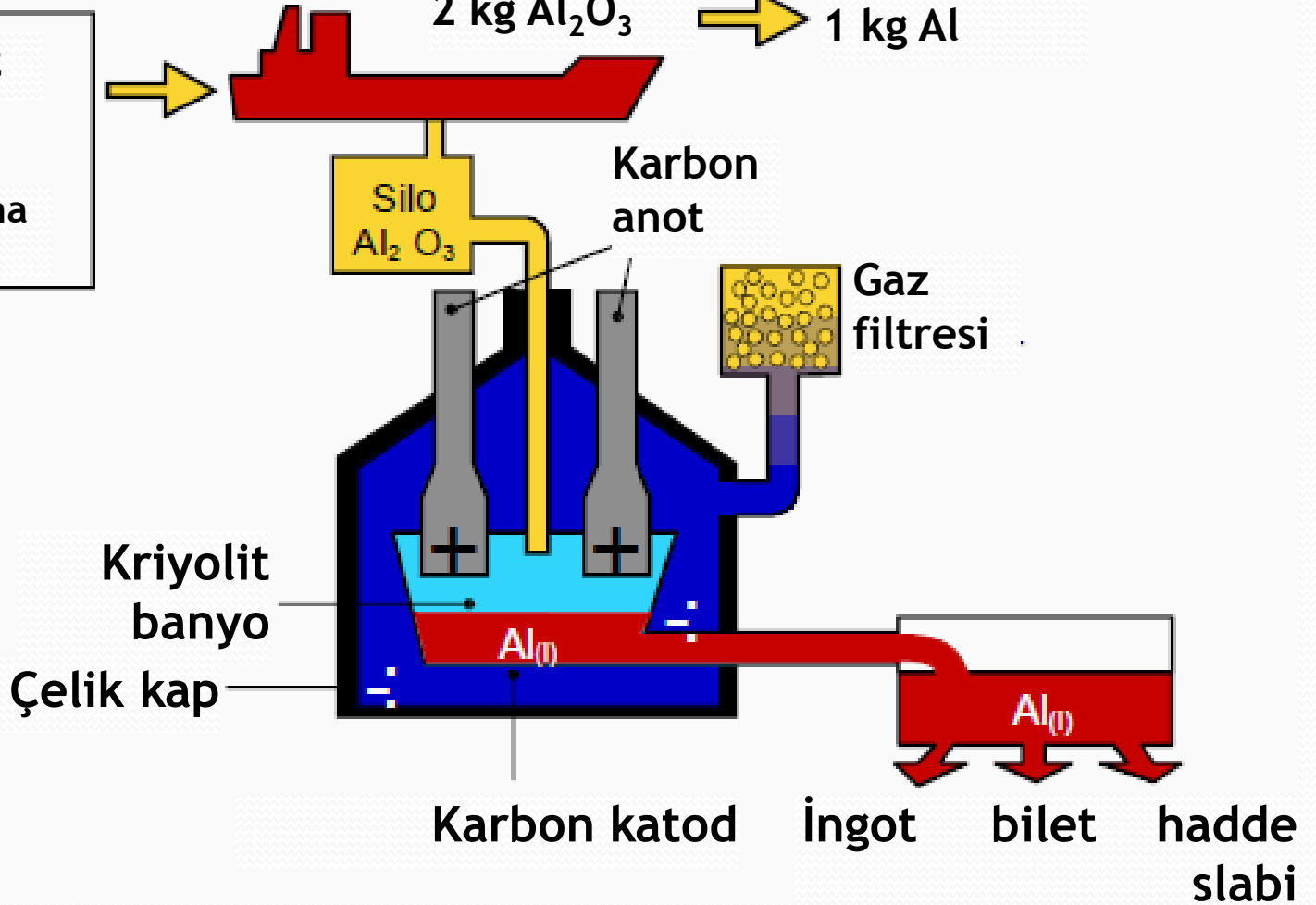


ergitme

2 kg  $Al_2O_3$

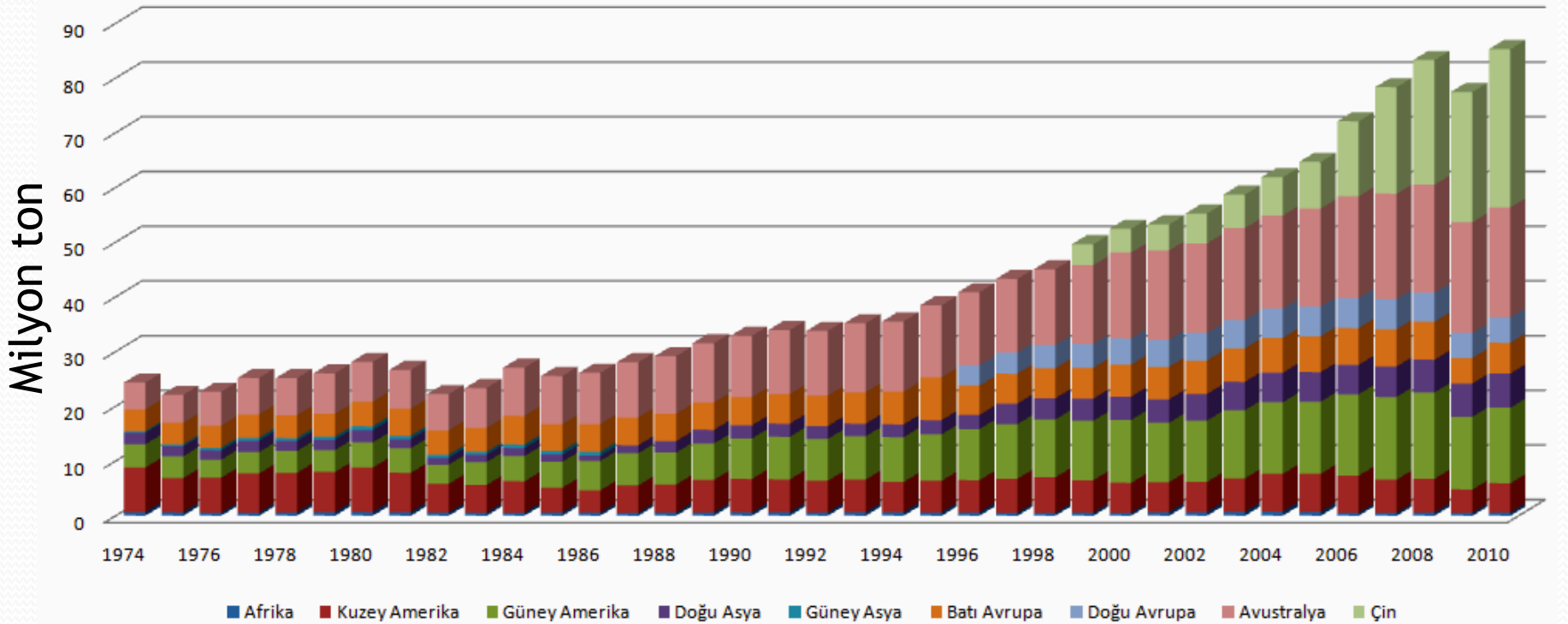
alaşımlama ve döküm

1 kg Al



# Alümina üretimi

Yıllara Göre Bölgesel Alümina Üretimi



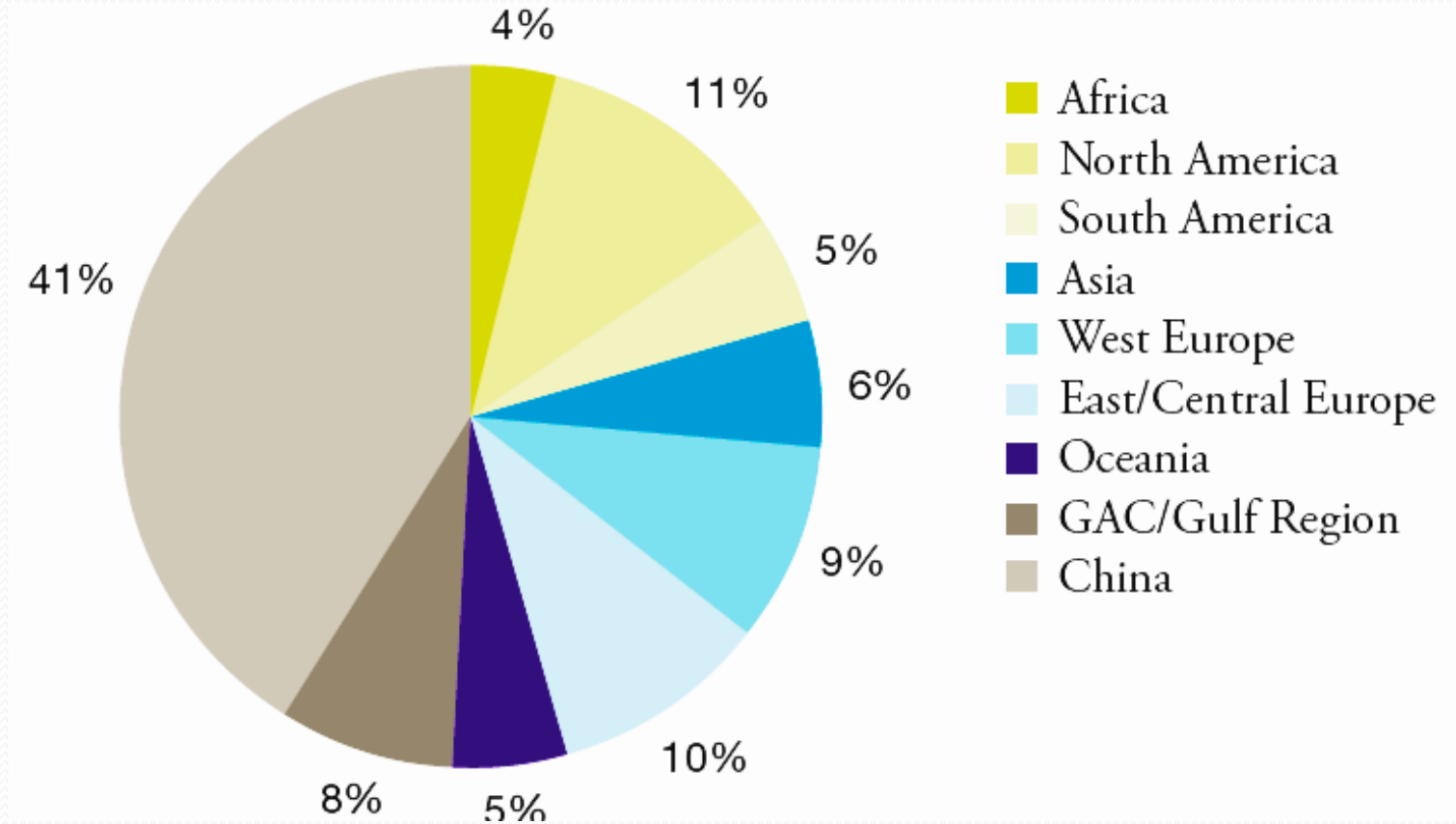


# Dünya alüminyum üretimi

Alüminyum üretimi 2011'de 44 milyon ton!

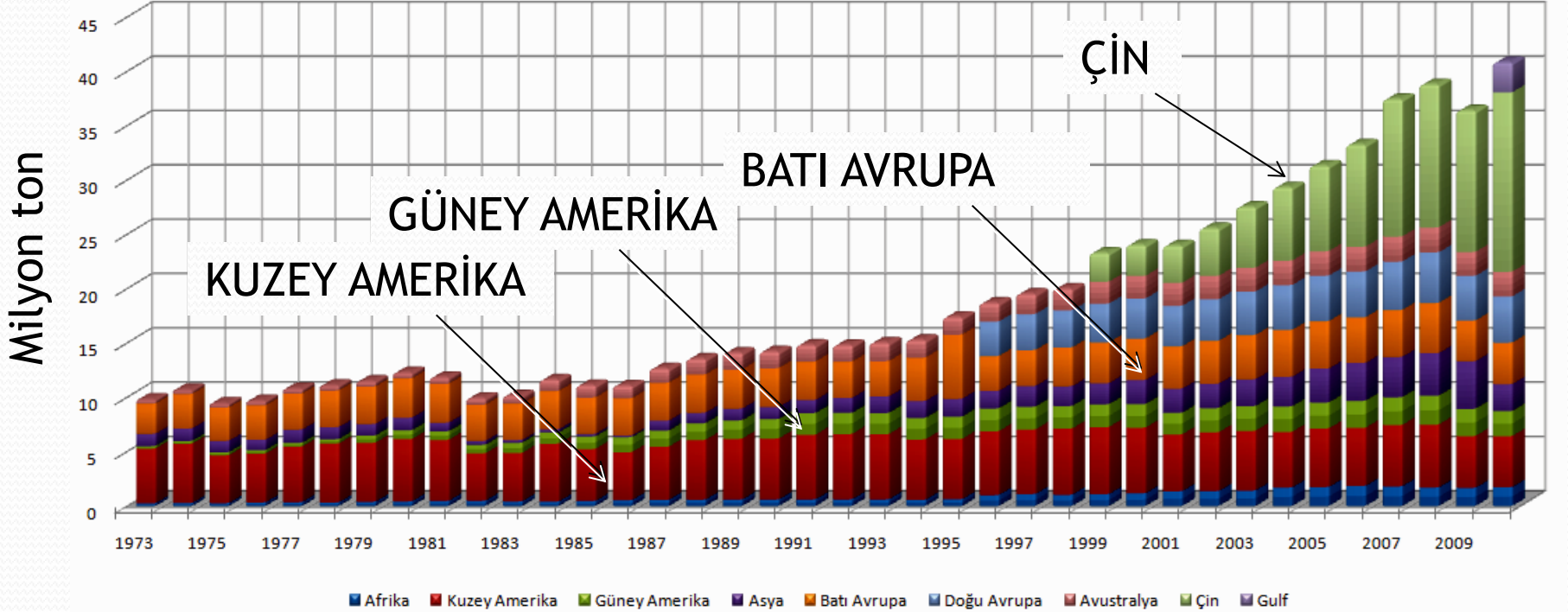
Son 20 yılda yıllık üretim artışı: %3-4

Çin en büyük üretici! + Körfez ülkeleri

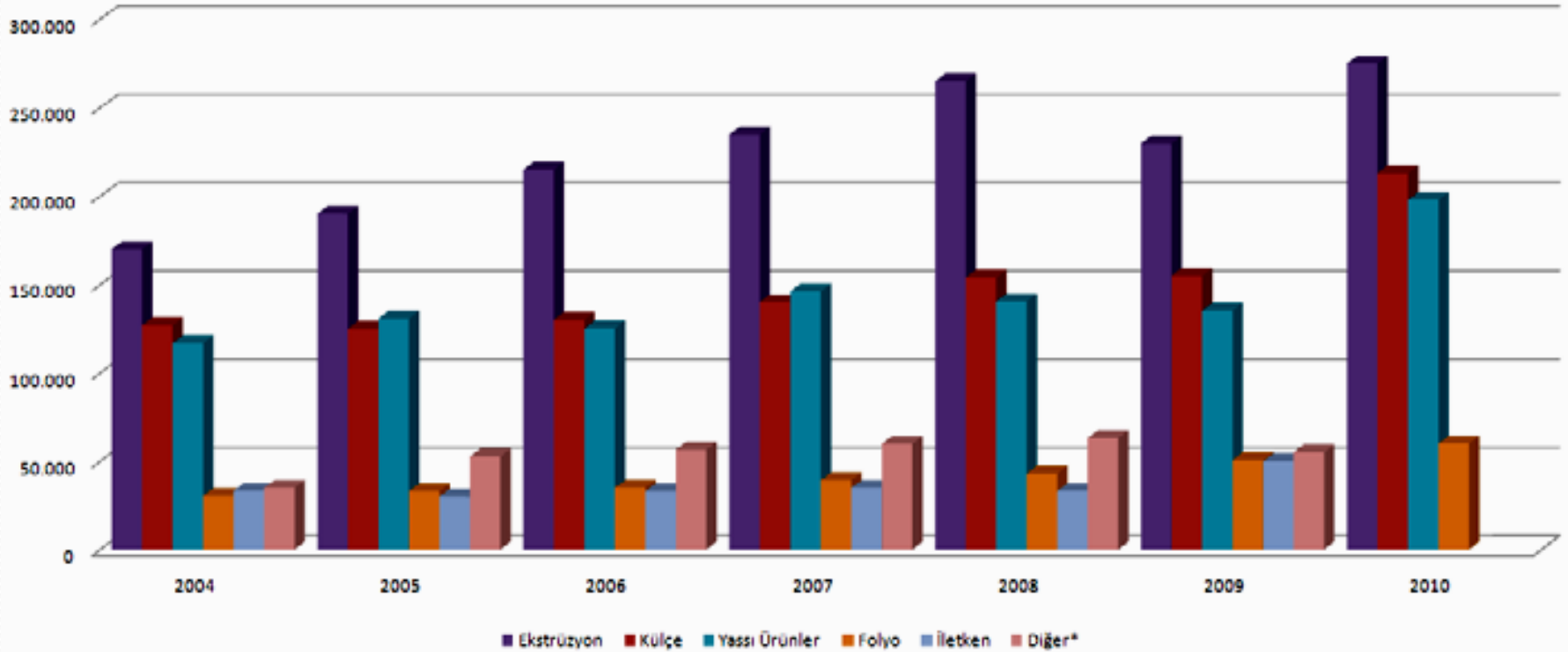


# Alüminyum üretimi

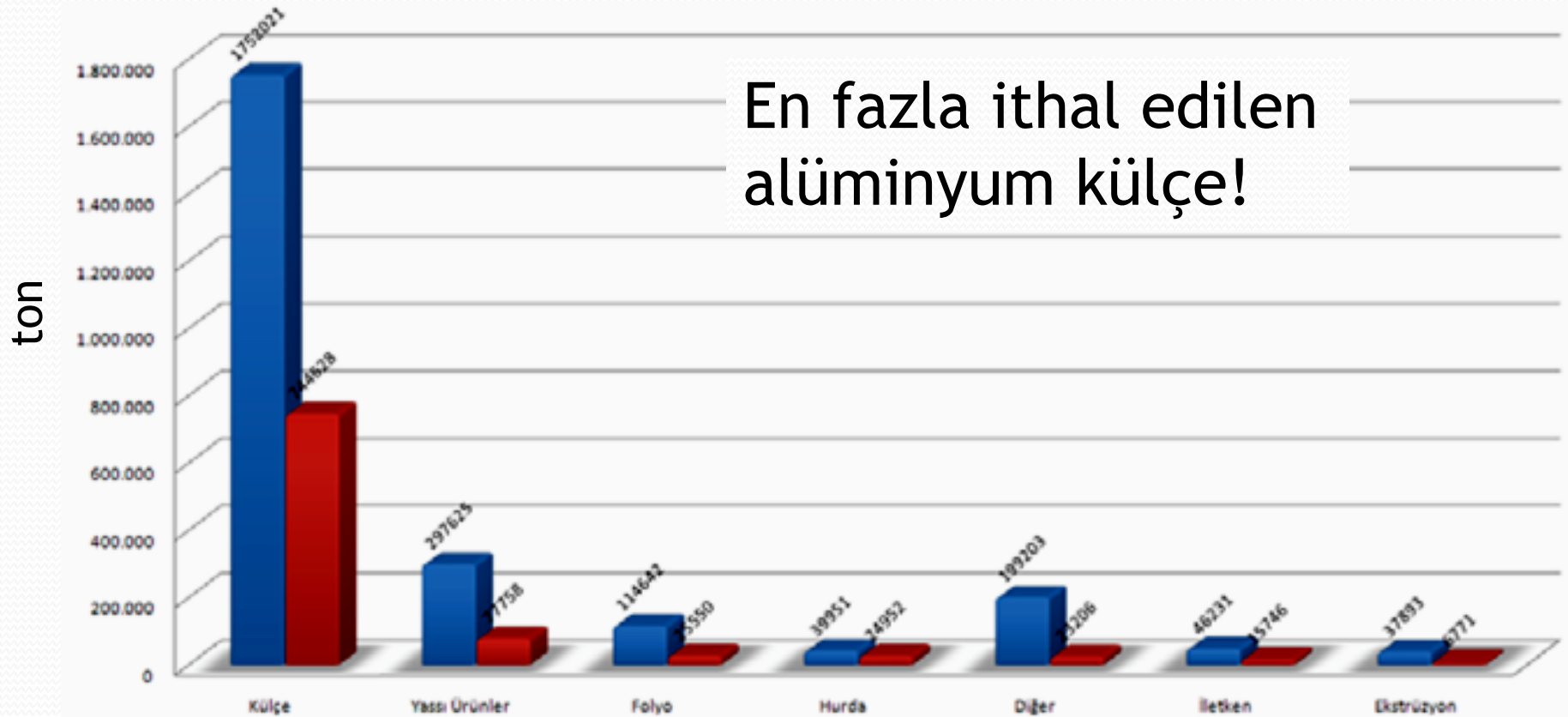
Yıllara Göre Bölgesel Primer Alüminyum



# Yıllara ve ürünlere göre alüminyum üretimimiz (Ton)



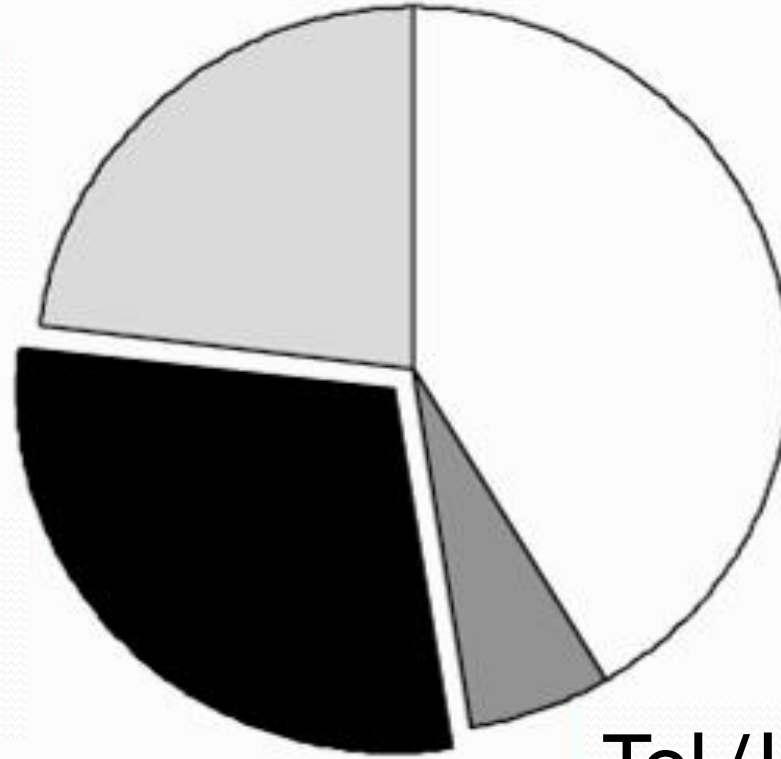
# ürünlere göre Türkiye alüminyum ithalatı (Ton)



# Alüminyum kullanım alanları

Döküm  
%23.1

profil  
%29.3



yassı  
%41.5

Tel/kablo  
diğerleri %6.1



# Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı

Kullanım alanı	Oran (%)
inşaat	25
ulaşım	24
ambalaj	15
Elektrik/elektronik	10
Genel mühendislik	9
Mobilya/ofis eşyaları	6
Demir çelik, metalurji	3
Kimya ve tarım ürünleri sanayi	1
diğer	7

# Türkiye’de Alüminyum Sanayi



# Alüminyum sektör rakamları

Birincil alüminyum üreten tek kuruluş: Eti Alüminyum A.Ş.

yılda 461.000 ton boksit/  
200.000 ton alümina /  
60.000 ton sıvı alüminyum

Firma sayısı > 1500

İstihdam > 30000

Üretim kapasitesi ~ 750.000 ton

Tüketim:

2006 446.000 ton

2007 526.000 ton

2008 556.000 ton

**Kişi başı tüketim ~ 9 kg**

**AB ~ 30kg**

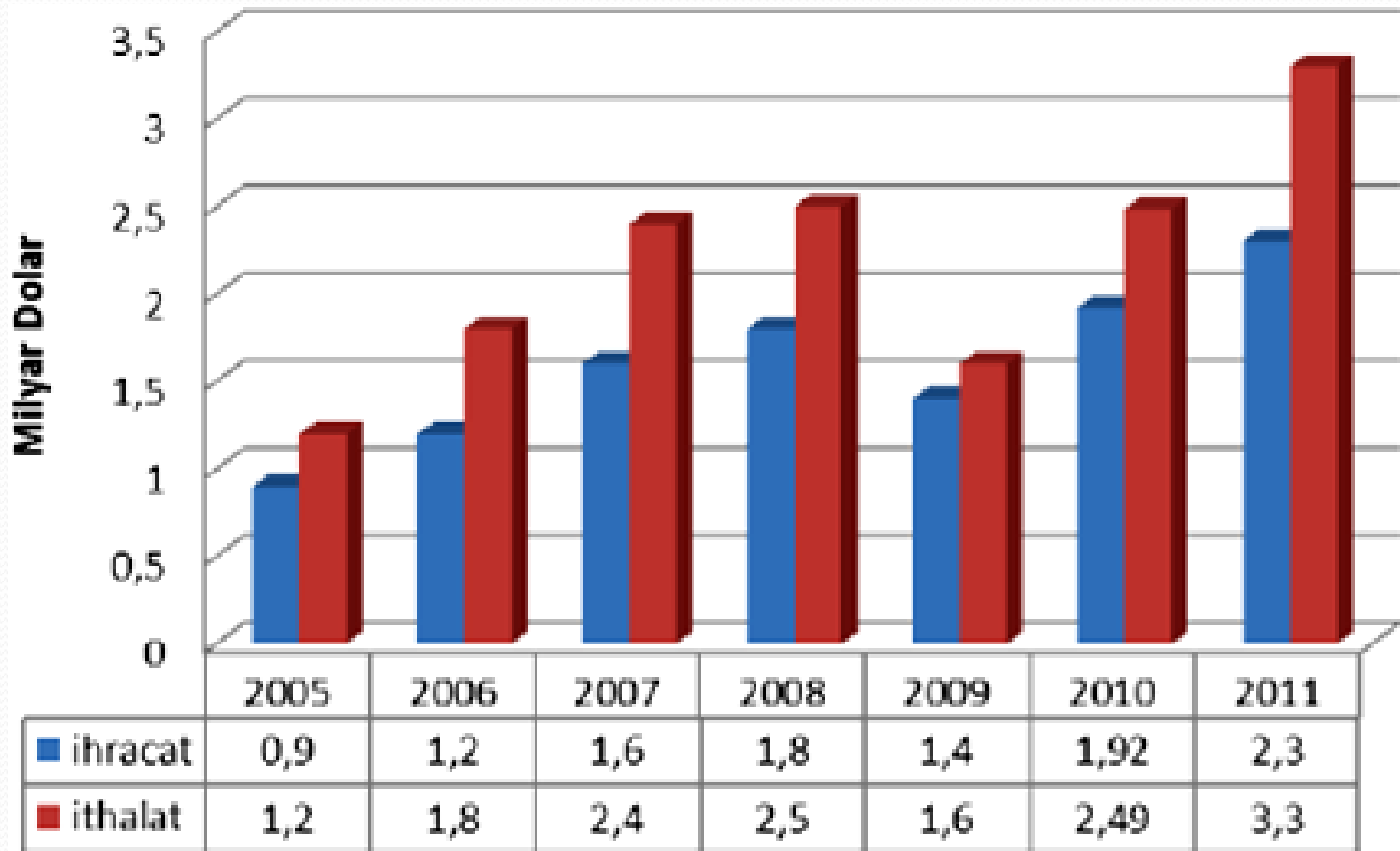
İş hacmi : 4 milyar ABD Doları

# Türkiye’de alüminyum üretimi (bin ton)

Üretim	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Değişim (%)(10/11)
Birincil Alüminyum	60,0	60,0	63,4	61,2	30,0	54,0	56,0	3,7
İkincil Alüminyum	65,0	70,0	80,0	94,0	120,0	150,0	265,0	10,0
Ekstrüzyon	190,0	215,0	235,0	265,0	230,0	275,0	290,0	5,5
Yassı (Levha, rulo)	128,1	125,4	146,0	140,6	135,2	198,0	224,0	13,1
Folyo	31,4	34,7	39,5	43,4	50,7	60,0	65,0	8,3
İletken	30,0	33,0	35,0	33,2	50,0	70,0	85,0	21,4
Diğer	52,8	56,5	59,8	63,3	55,0	-	62,0	6,9

Kaynak: TALSAD

# Türkiye Alüminyum Dış Ticareti (Milyar ABD Doları)





# Alüminyum üretim süreçleri

Primer üretim → 99.7 ağırlık%Al

Ergitme+Sıvı metal işlemleri

alaşımlama

döküm

Döküm alaşımları

Parça döküm

- Kum döküm
- Kokil kalıba döküm
- Basıncılı döküm

Döküm parçalar

Yarı sürekli döküm

Direkt çil  
(DC) döküm

Slab/ingot

sıcak-soğuk hadde/  
ekstrüzyon

Profil/levha/folyo

İşlem alaşımları

Sürekli döküm

İkiz merdane  
döküm/TRC

İkiz bant  
döküm/TBC

Rulo levha

Soğuk hadde

levha/folyo

# Alüminyumun ergitilmesi

Alüminyum külçe  
(primer üretim)

Hurda  
Geri dönüş



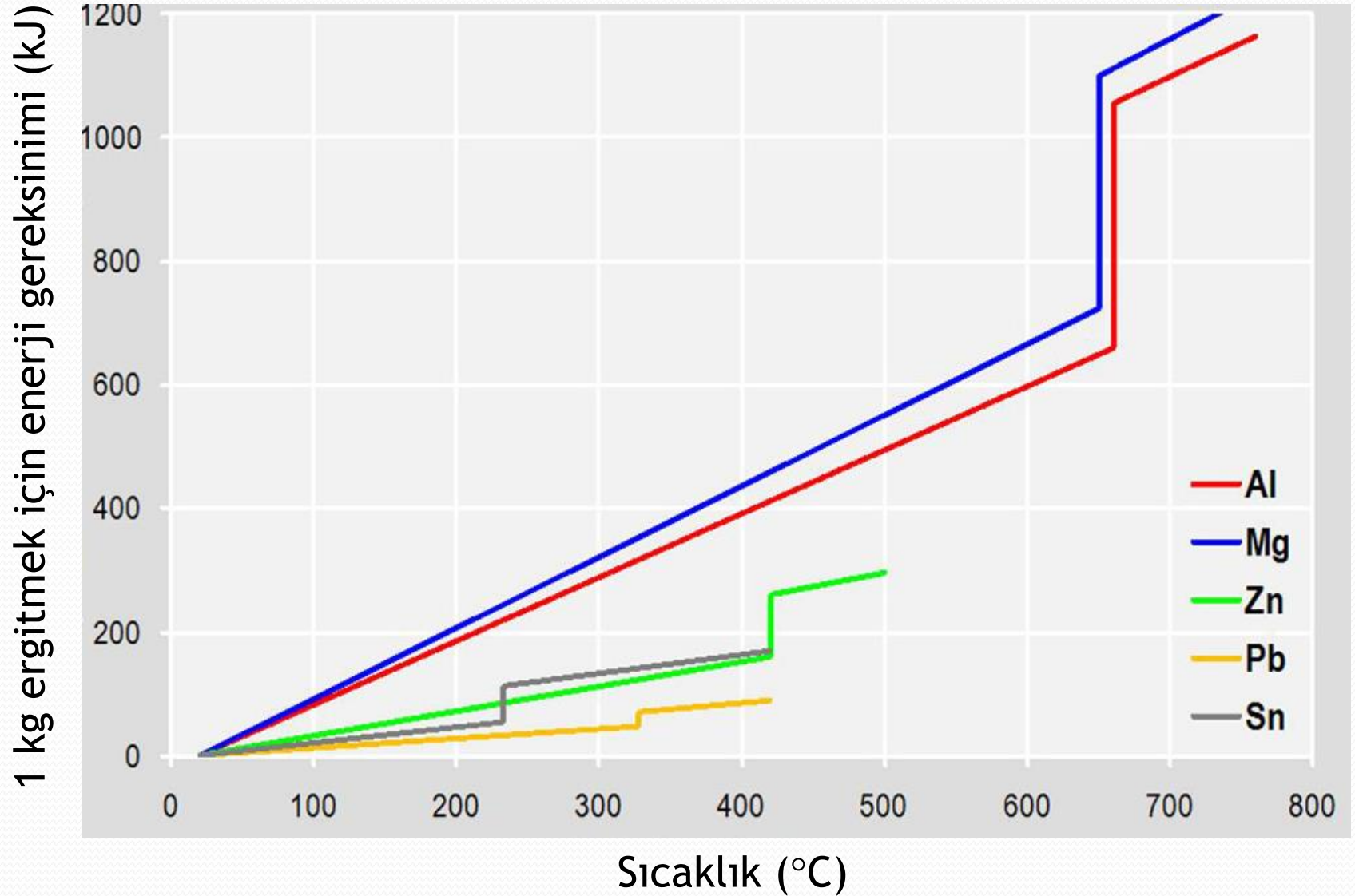
Teknolojik  
işlemler

Karıştırma/homojenleştirme  
etkin flakslama  
gaz + kalıntı giderme  
Cüruf çekme + filtreleme  
alaşımlama

# Alüminyumun ergitilmesi

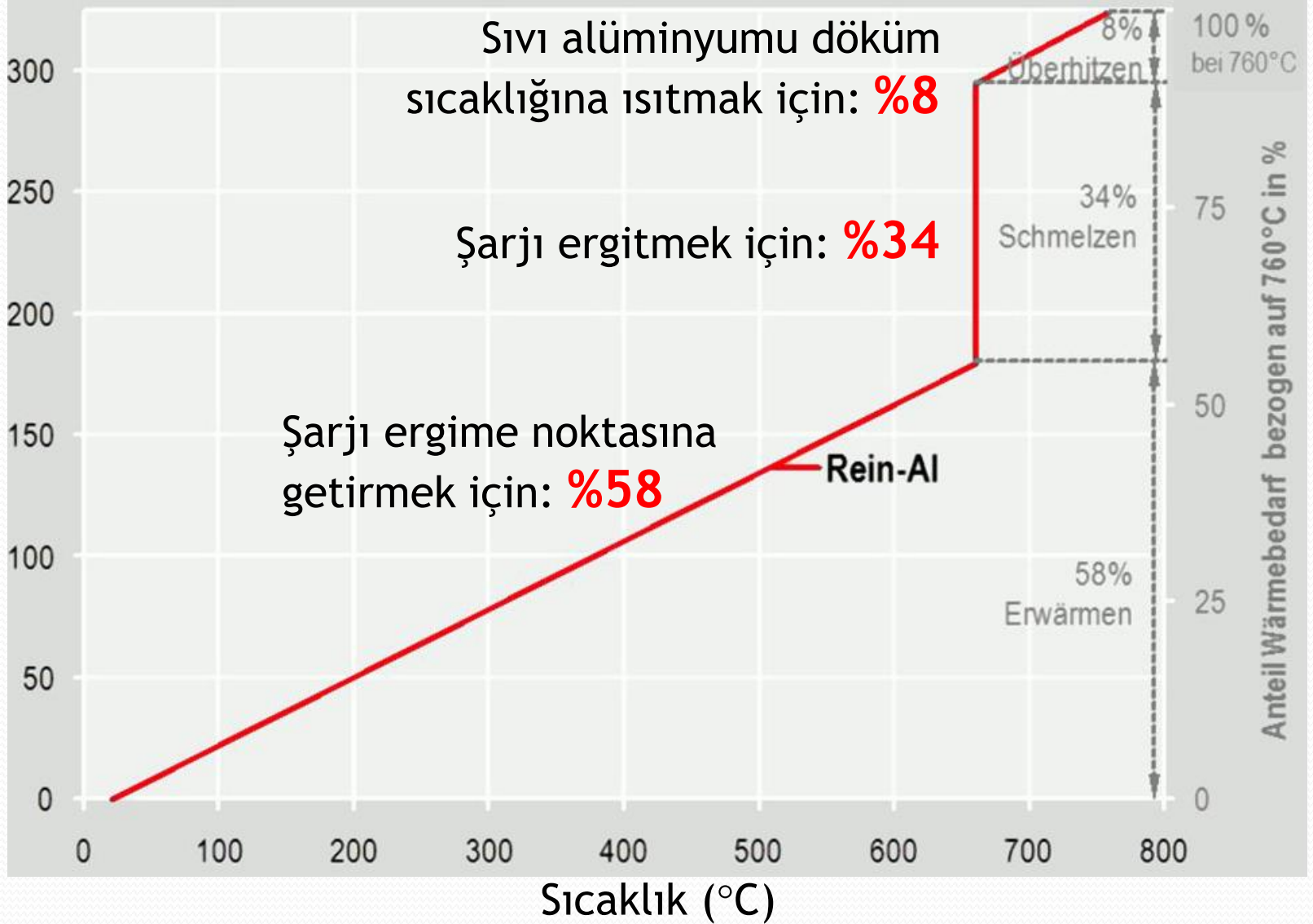
- Alüminyum dökümhanelerinde **ergitme ve ergitilen metalin bekletildiği tutma fırınlarının ayrı olması tavsiye edilir.**
- Ergitme fırınında ingot ve külçelerin, hurdaların ve işletme içi geri dönüşlerin ergitilmesi yapılırken tutma fırınında ergitme fırınından transfer edilen sıvı metal döküm sıcaklığında bekletilir ve her yönden döküme hazırlanır.
- enerji giderleri ve sıvı metal kalitesi göz önünde bulundurularak **ergitme için mazot/doğal gaz, tutma fırını için elektrik enerjisi tercih edilir.**
- Mazot ve doğal gaz yakıt olarak daha hesaplıdır.

# Alüminyumun ergitilmesi



# Alüminyumun ergitilmesi

1 ton alüminyum döküme hazırlamak için enerji gereksinimi (kwh)





# Reverber fırınlar

Yakıt: mazot, doğal gaz!

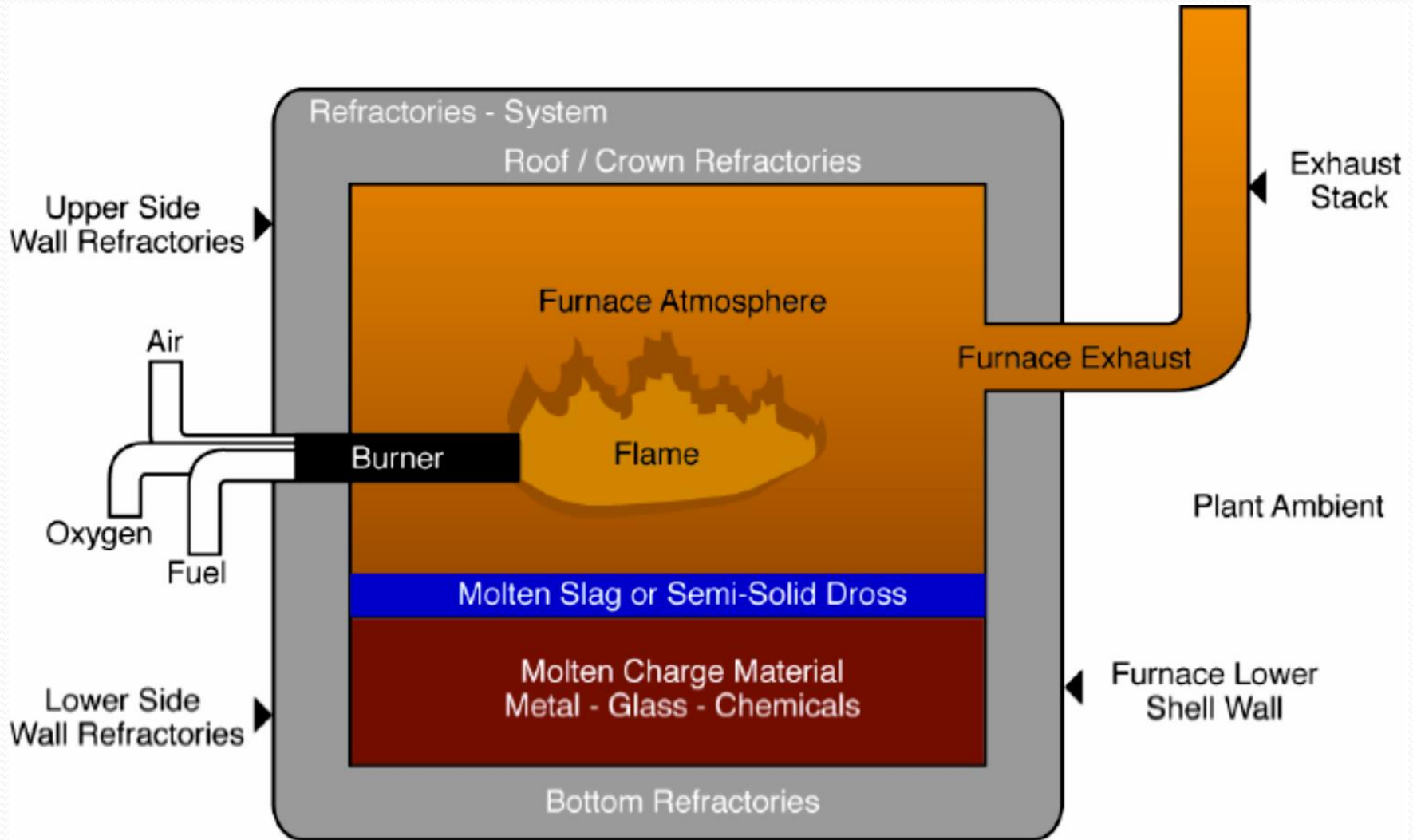
Duvarlara monte edilmiş brülörler

Isı transferi: fırın refrakterlerden radyasyon +  
brülörlerden konvektif ısı transferi

Kapasiteler <150 ton!



# Reverber fırınlar



# Reverber fırınlar

Ergitme verimleri tipik olarak 15%-39%  
Rekuperasyon ile verim ~ 10%-15% arttırabilir.

## Avantajları:

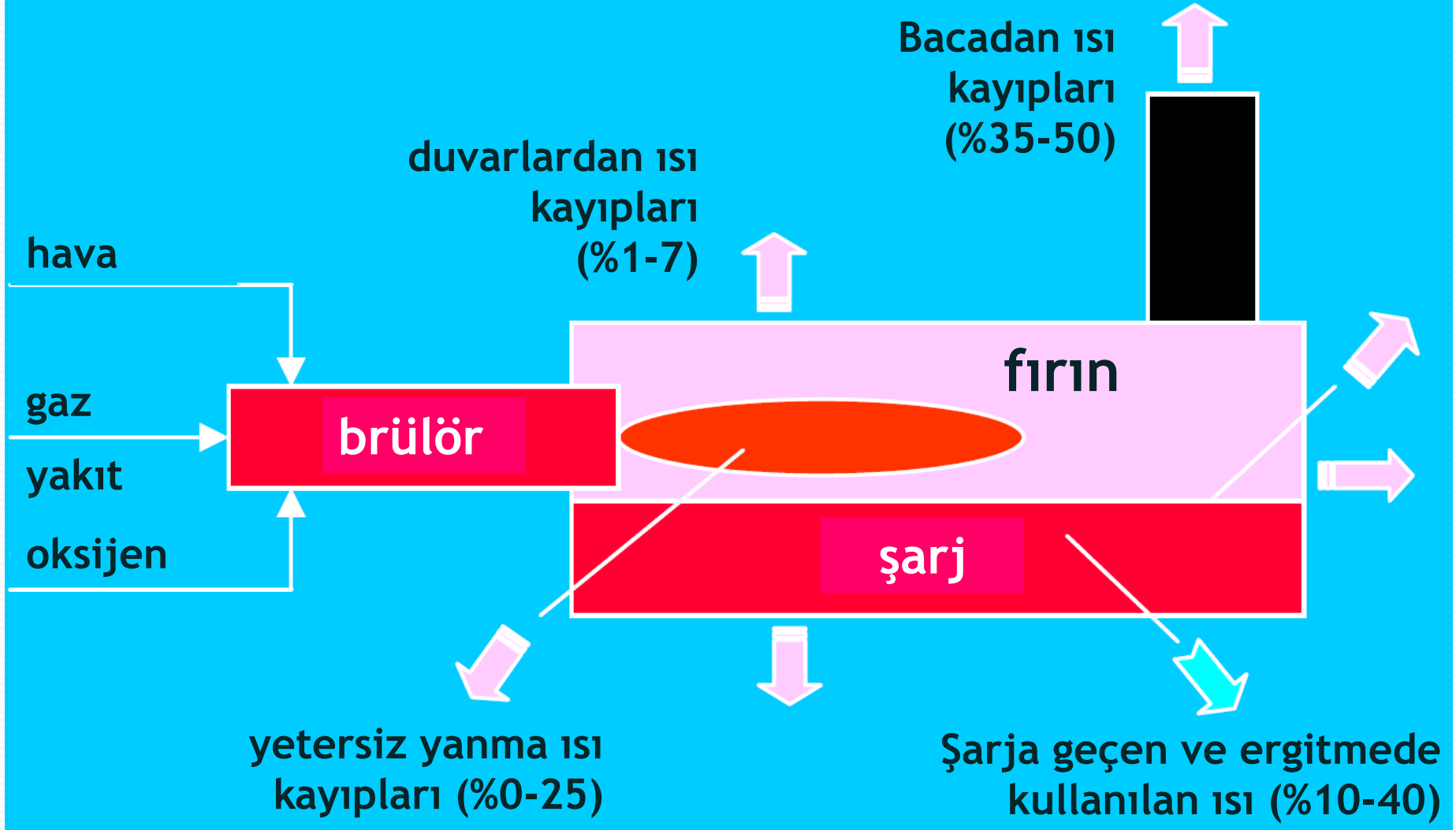
Tonaj: yüksek miktarda ergitme  
İşletme ve bakım maliyetleri düşük

## Dezavantajları:

aşırı oksitlenme kaybı  
düşük verim ve  
çok geniş alan ihtiyacı



# Reverberer fırınlar

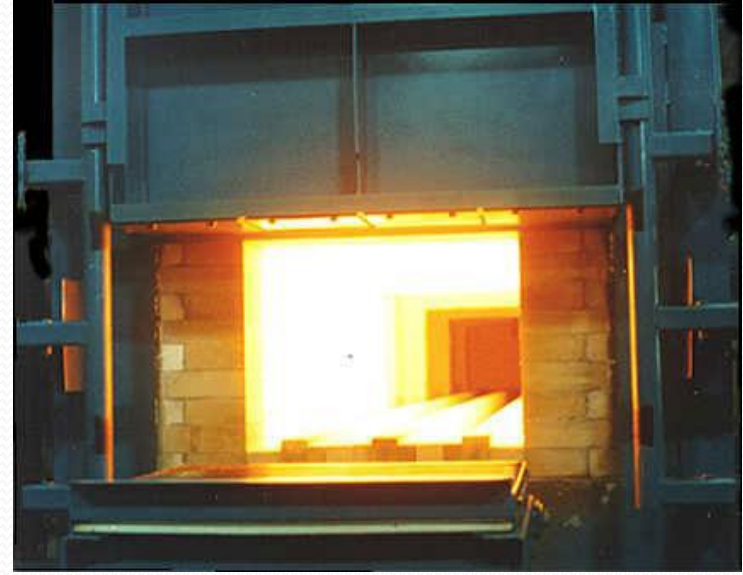
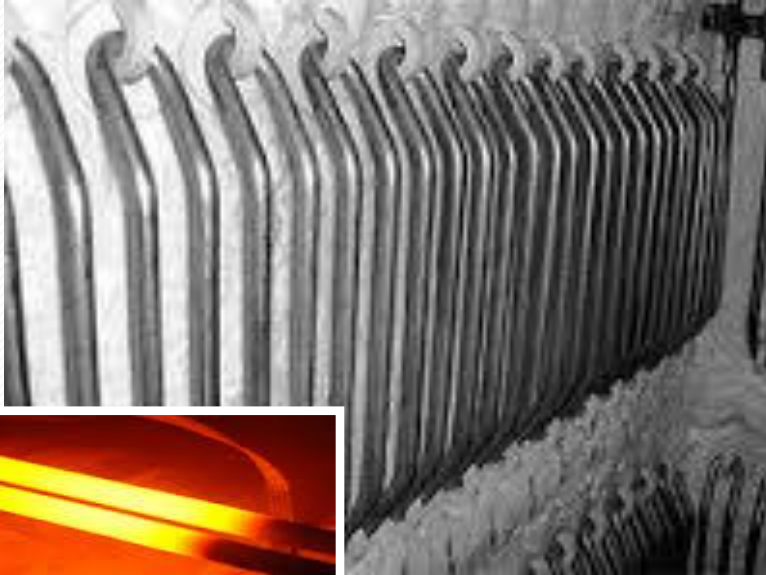


# Elektrikli reverber fırınlar

Ergitme fırını olarak uygulaması nadir!

Tutma fırını olarak tercih edilir.

Refrakter astarlı, banyo üstünde tavana monte edilmiş direnç ısıtma elemanları ile ısıtma yapan fırınlar.





# Elektrikli reverber fırınlar

## Avantajları:

baca emisyonları az  
oksitlenme kaybı az  
fırın temizliği gereksinimi ve sıklığı az

## Dezavantajları:

enerji giderleri yüksek,  
düşük üretim kapasitesi ve üretim hızı!  
Yatırım maliyeti yüksek,  
ısıtma elemanları sık sık değiştirilmeli  
emisyon kontrolü, metal kalitesi ve ergitme verimi  
önemli olduğunda küçük miktarlarda ergitmeler için  
kullanılır.

# Pota fırınlar / mazot-doğal gaz



# Pota fırınlar / mazot-doğal gaz

Dolaylı ısıtma yapan fırınlar (pota ısınıp şarjı ısıtıyor!)  
Sınırlı miktarda (<500 kg) ergitmeler için

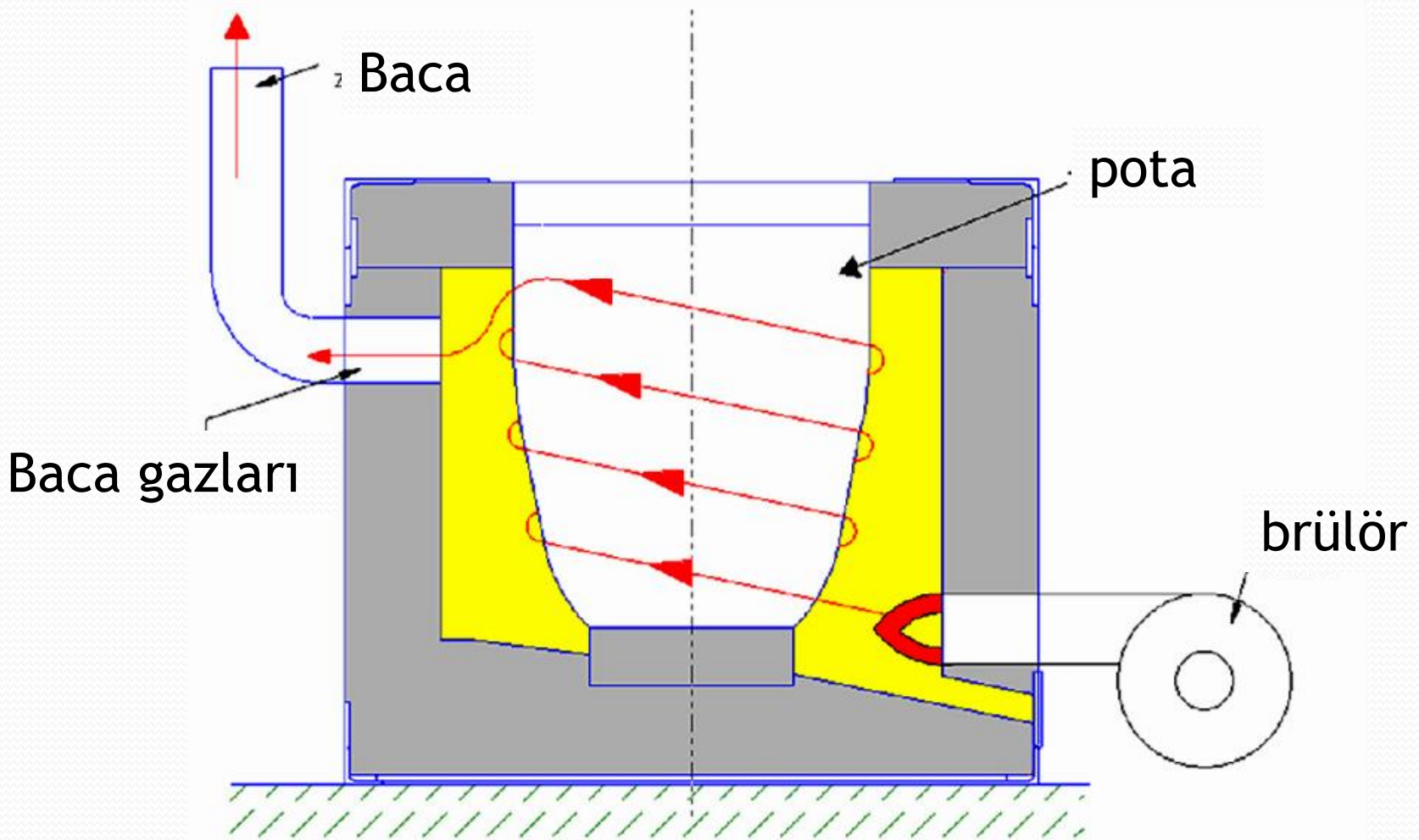
## Avantajlar:

Alaşım değişikliği seri şekilde yapılabilir!  
Bakım giderleri düşük!  
yatırım maliyeti düşük  
yer gereksinimi az!

## Dezavantajları:

Verim çok düşük (%12'ye kadar dūřebilir!)  
Emisyonlar fazla!  
Boyut sınırları!

# Pota fırınlar / mazot-doğal gaz



# Pota fırınlar / elektrikli

- Elektrikli pota fırınlar gazlı pota fırınlara benzer.
- Potayı ısıtan elektrik direnç elemanlarıdır.
- Gazlı ısıtmada olduğu gibi elektrik pota fırınları küçük kapasitelidir ve alaşım değiştirme gereksinimi yüksek olduğunda tercih edilir.

## Avantajları:

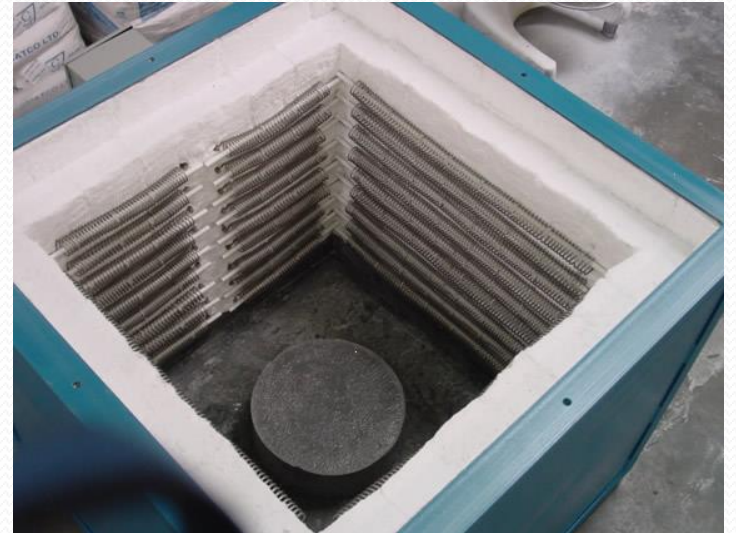
Emisyon çok az!

Oksitlenme kayıpları az!

## Dezavantajları:

Enerji giderleri yüksek

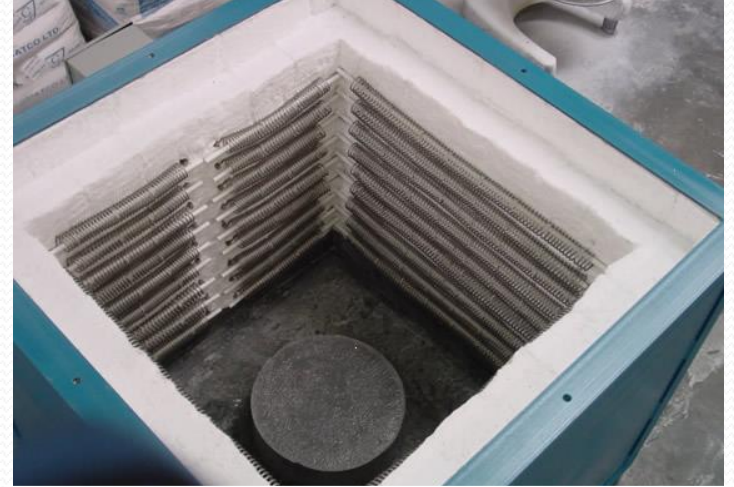
Boyut sınırlamaları





# Pota fırınlar / elektrikli

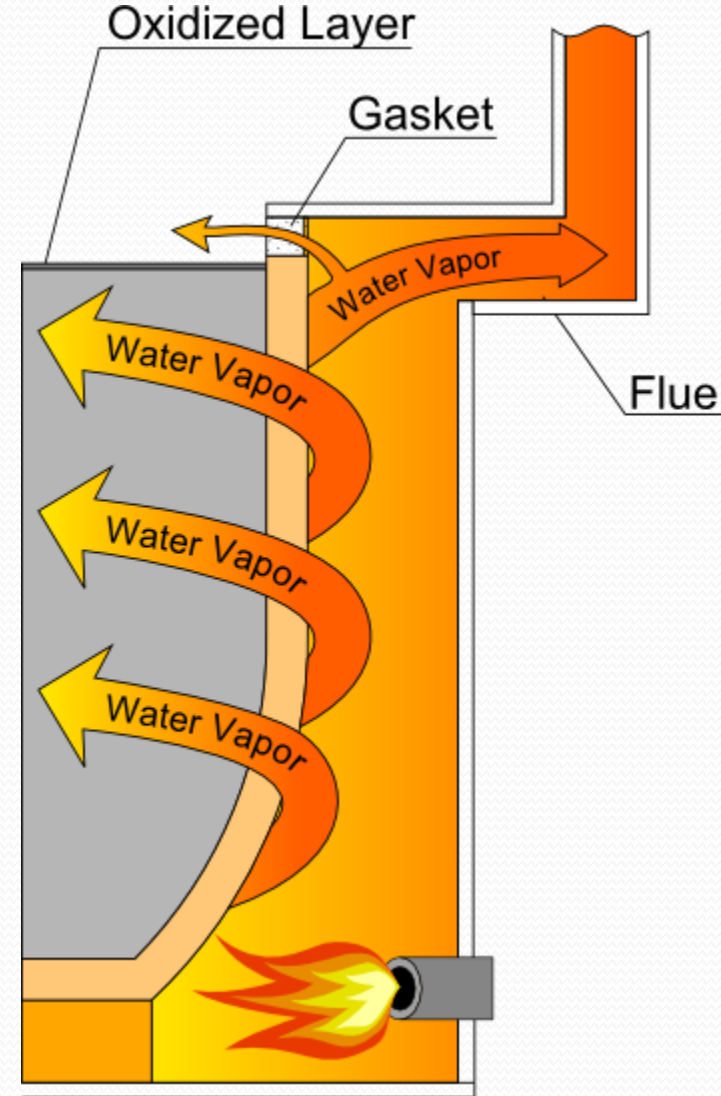
Pota fırınlar / Elektrik direnç ergitmesi



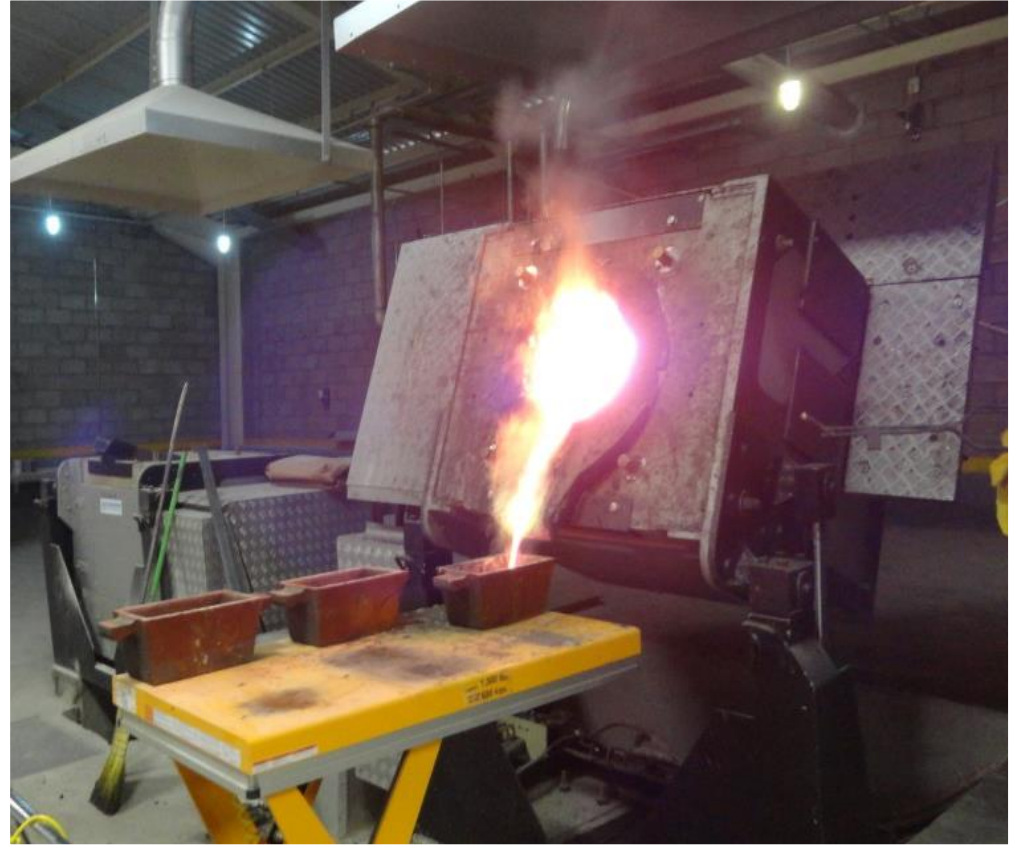
Sıvı alüminyumun yüzeyi  
temiz ve parlak: temiz  
ergitme koşullarının kanıtı

# Gaz/elektrikli pota fırınlar

- Gazlı ocaklardan alınan sıvı metalden dökülen parçalarda mekanik özellikler elektrikli fırında üretilenlerin en fazla %80'ine denk gelebilmiş.
- Gazlı fırında ergitilen alüminyum alaşımında kırılmalar istisnasız olarak oksit vb kalıntılarda, gaz gözeneklerinde veya alüminyum oksit filmlerinde!
- Elektrikli fırında ergitilen örneklerde ise bu kusurlara pek rastlanmaz.



# İndüksiyon ocakları





# İndüksiyon ocakları

- İndüksiyon ergitmesi ısı kaynağının sıvı alüminyumla doğrudan temas etmediği temiz bir ergitme yöntemidir.
- ısı kaynağı ile alüminyum metal temas halinde değildir.
- Elektrik iletkenliği olan metali ısıtmak için yüksek frekansta alternatif akım kullanılır.
- Isı doğrudan parça içinde üretildiğinden verim yüksektir.
- Bu özellik, ısının bir alevle veya ısıtma elemanında yaratıldığı ve sonra parçaya aktarıldığı diğer dolaylı ısıtma yöntemlerden farklıdır.

# İndüksiyon ocakları

## Avantajları

%60-75 verimlilik

Oksitlenme kayıplarının azalması

Düşük baca gazı emisyonları

temiz ve homojen alüminyum metali

Bu proses ayrıca sıvı alüminyumı karıştırarak homojenliğe katkı yapar.

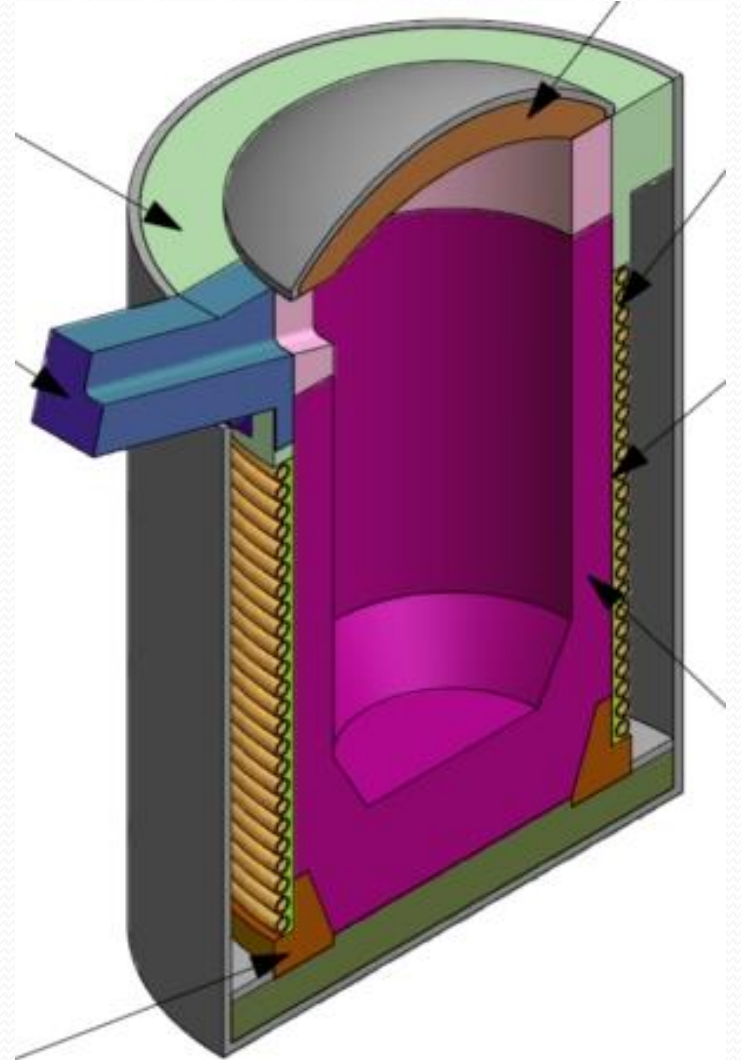
Hurda ve geri dönüşlerden alüminyum üretmek için en uygun yöntemdir.

Enerji tüketimi de diğer ergitme yöntemlerine göre daha azdır.



# Çekirdeksiz indüksiyon ocakları

- metal su soğutmalı alternatif akım taşıyan selenoid sarımın ortasına yerleştirilmiş bir pota içinde!
- Enerji sarfiyatı daha yüksek!
- Fakat daha uzun ömürlü!
- Potanın boşaltılması daha kolay!
- Banyo yüzeyindeki çalkantı fazla!



# Çekirdeksiz indüksiyon ocakları

Metali dış primer bobin üzerinden ısıtır.

Kanal fırınlardan daha az verimlidirler.

Ancak ergitme kapasitesi daha yüksektir.

İnce parça hurdaların ergitilmesinde tercih edilirler.

Bu uygulamada gazlı pota fırınlara maliyet yönünden daha avantajlıdır.

## **Avantajları:**

Ergitme verimi %50-70

Düşük emisyon / Düşük oksitlenme kaybı

Homojen alaşım

## **Dezavantajları:**

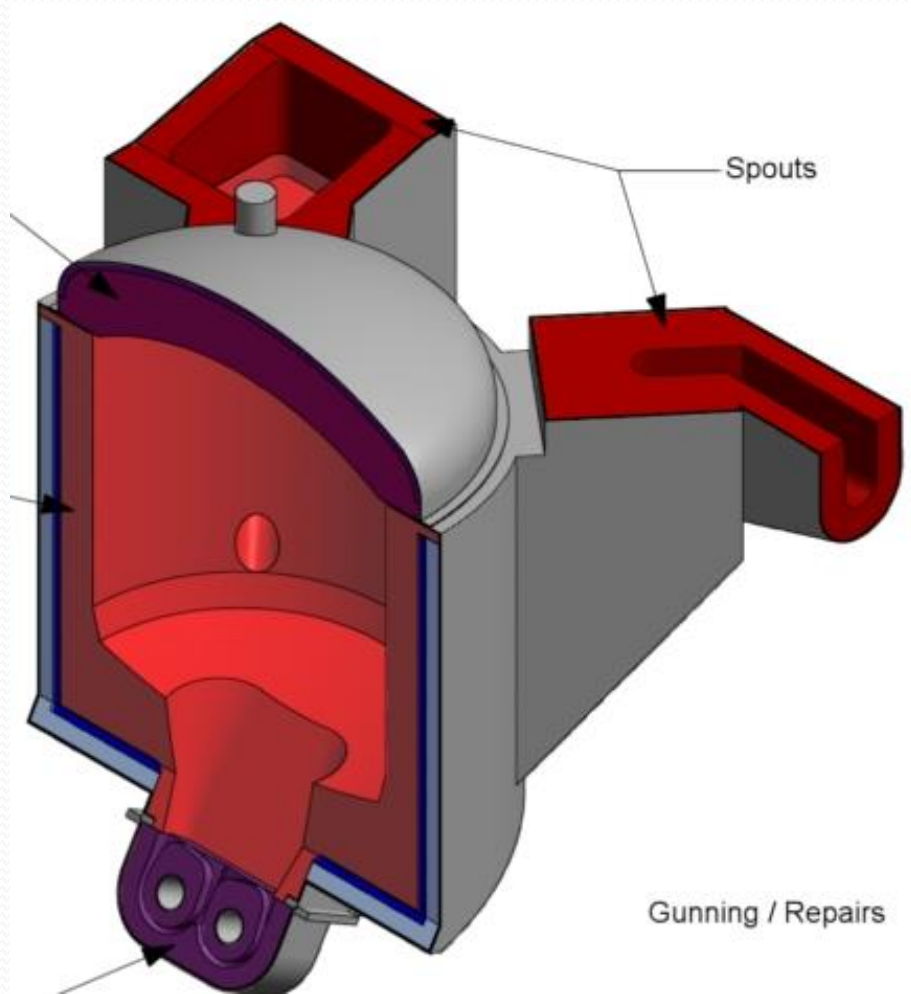
yüksek yatırım ve işletme maliyeti

# Kanal tip indüksiyon ocakları

- tutma fırını olarak kullanılırlar.
- 60 Hz frekansta çalışırlar.
- İndüktör genellikle pota (şarjın) altındadır
- banyo yüzeyi durgundur (Bu yüzden oksijene hassas olan Bakır alaşımları için tercih edilirler.
- Bununla birlikte banyoda türbülanssız bir karıştırma sağlarlar.
- Enerji verimliliği çekirdeksiz ocaklardan daha yüksektir.

# Kanal tip indüksiyon ocakları

Geometrik olarak tasarım ve konfigurasyon esnekliği



# İndüksiyon ocakları-karşılaştırma

Furnace with channel inductor	Furnace with coreless inductor
Cleaning cycles	
52 cleaning cycles 3 man-days each (1,248 h)	no cleaning cycles
52 production downtimes due to cleaning 2 x 24 h each (2,496 h)	no production downtime due to cleaning
Inductor change	
At least 5 inductor changes / shutdowns for repair 10 man-days each (400 h)	1/3 – 1 vessel change / shutdowns for repair (1-3 man days → 8-24 h / 3 staff)
5 production downtimes 5 x 24h each (120 h)	1/3 – 1 production downtimes 10-30 h
At least 5 repair deployments €10,000/piece each → €50,000	1/3 – 1 repair deployment €10,000/piece each → €3,300-10,000
Refractories	
5 levelling processes and conditioning work on rectangular flange 5 x 3 h (15 h)	1/3 – 1 levelling process and conditioning work on round flange 1-3 h



# Döner fırınlar

Döner devirmeli fırınlar 1-20 ton kapasite ile hurda, küçük parça geri dönüşlerin ergitilmesinde ve çürüftan alüminyum kazanılması için kullanılan ileri teknoloji ergitme donanımları



# Alüminyum hurdadan geri kazanım



 Aluminium scrap



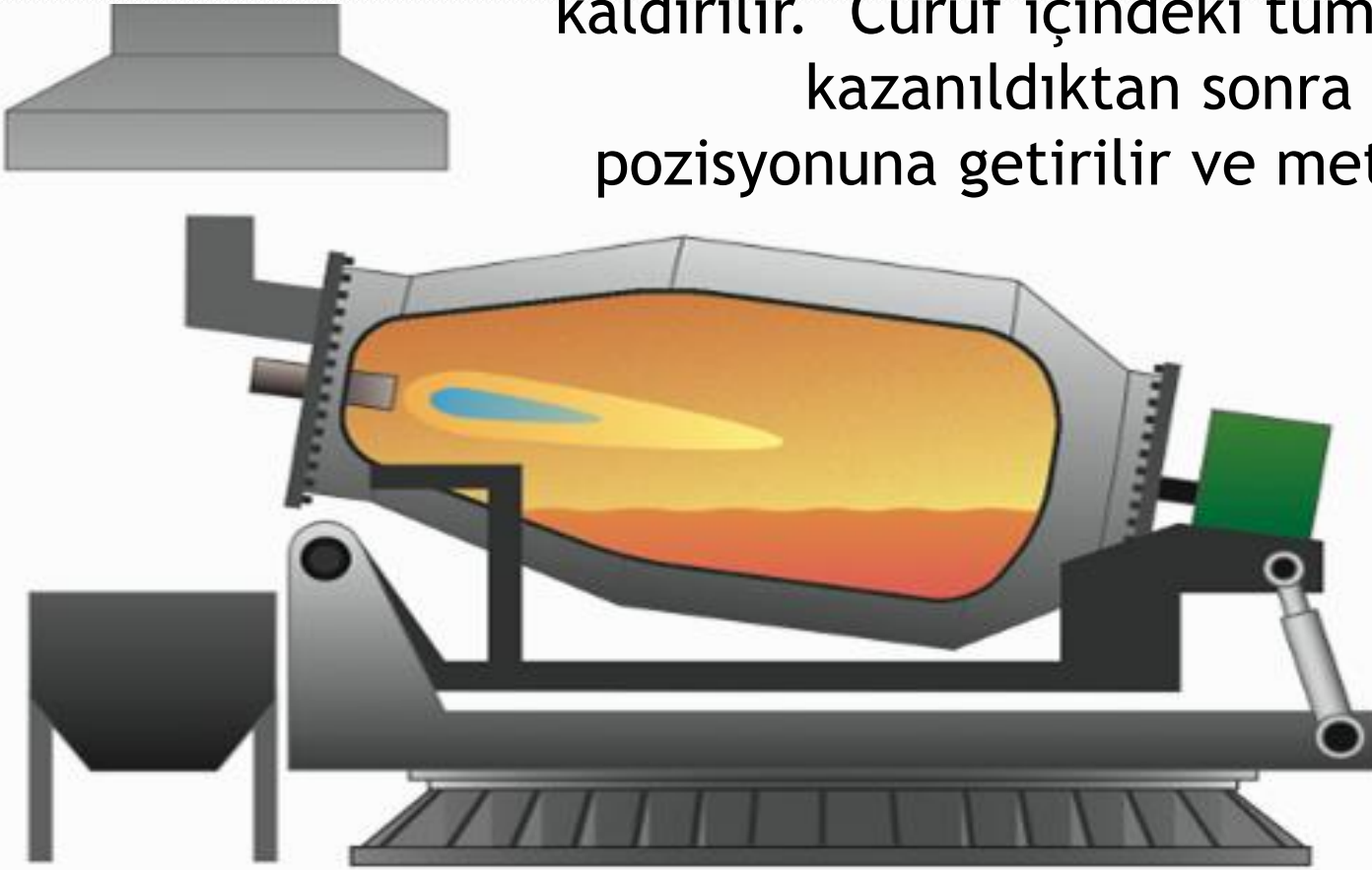
# Alüminyum hurdadan geri kazanım



- plastics
- thermal brakes
- coatings
- lacquer
- rubber
- oil

# Döner fırınlar

Cüruf ısıtılırken tam bir ısınma sağlanması için fırın yukarı doğru kaldırılır. Cüruf içindeki tüm alüminyum kazanıldıktan sonra fırın akıtma pozisyonuna getirilir ve metal kalıplara alınır.



# Döner fırınlar

- hurda ve cüruf (%35 ve üstünde mtal içerir) ergitmek için ideal!
- Şarj flaks tuzları ile birlikte!
- şarj fırınının dönmesi ile brülör alevi ile temasını arttırır ve refrakter ısisını daha çabuk alır.
- Kapasite 2-5 ton kadar.

## Avantaj

- Cüruf ve hurdayı proses etme kabiliyeti

## Dezavantaj

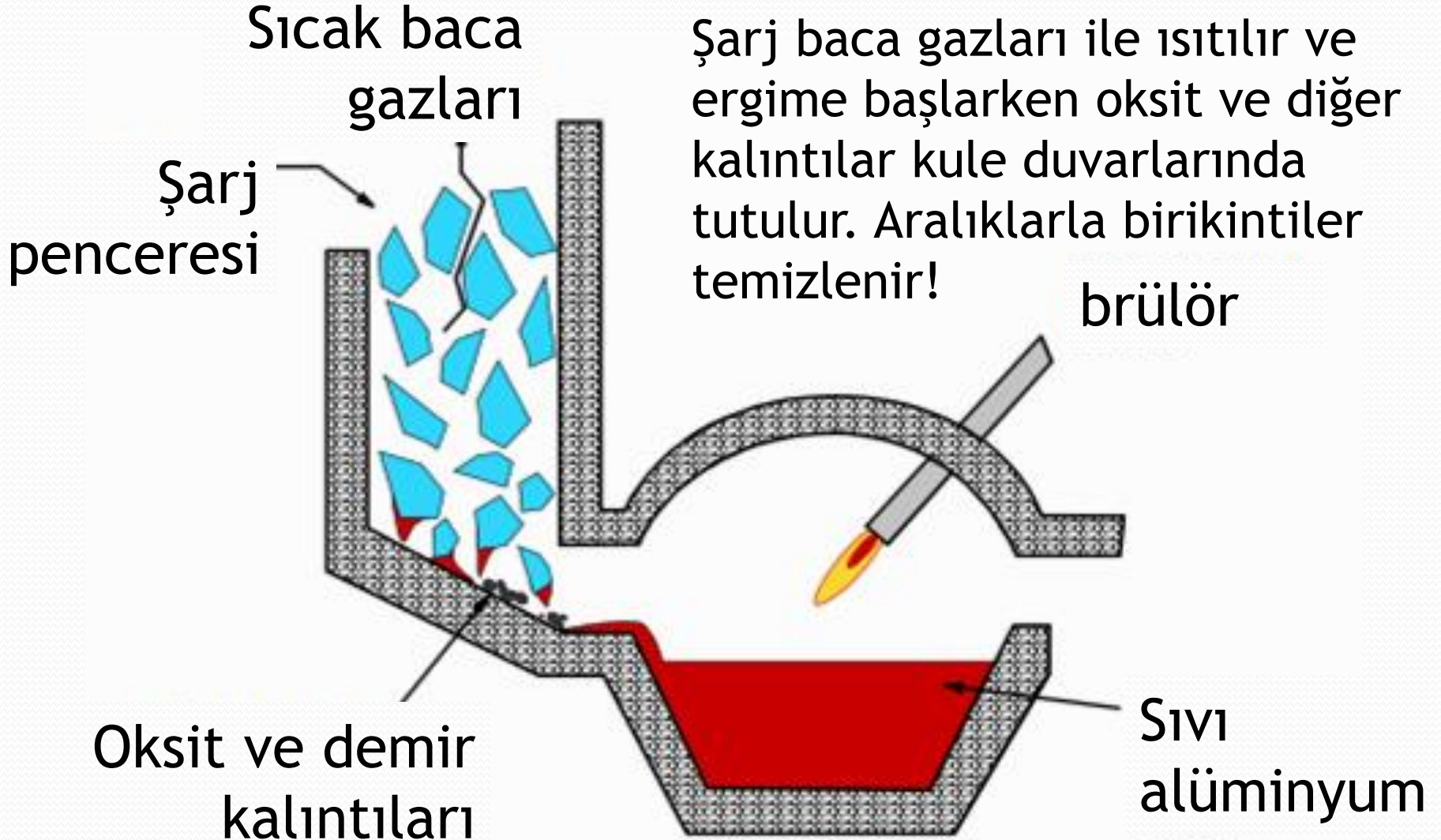
- Düşük verim
- Sık bakım ihtiyacı
- Tuz bakiyesi



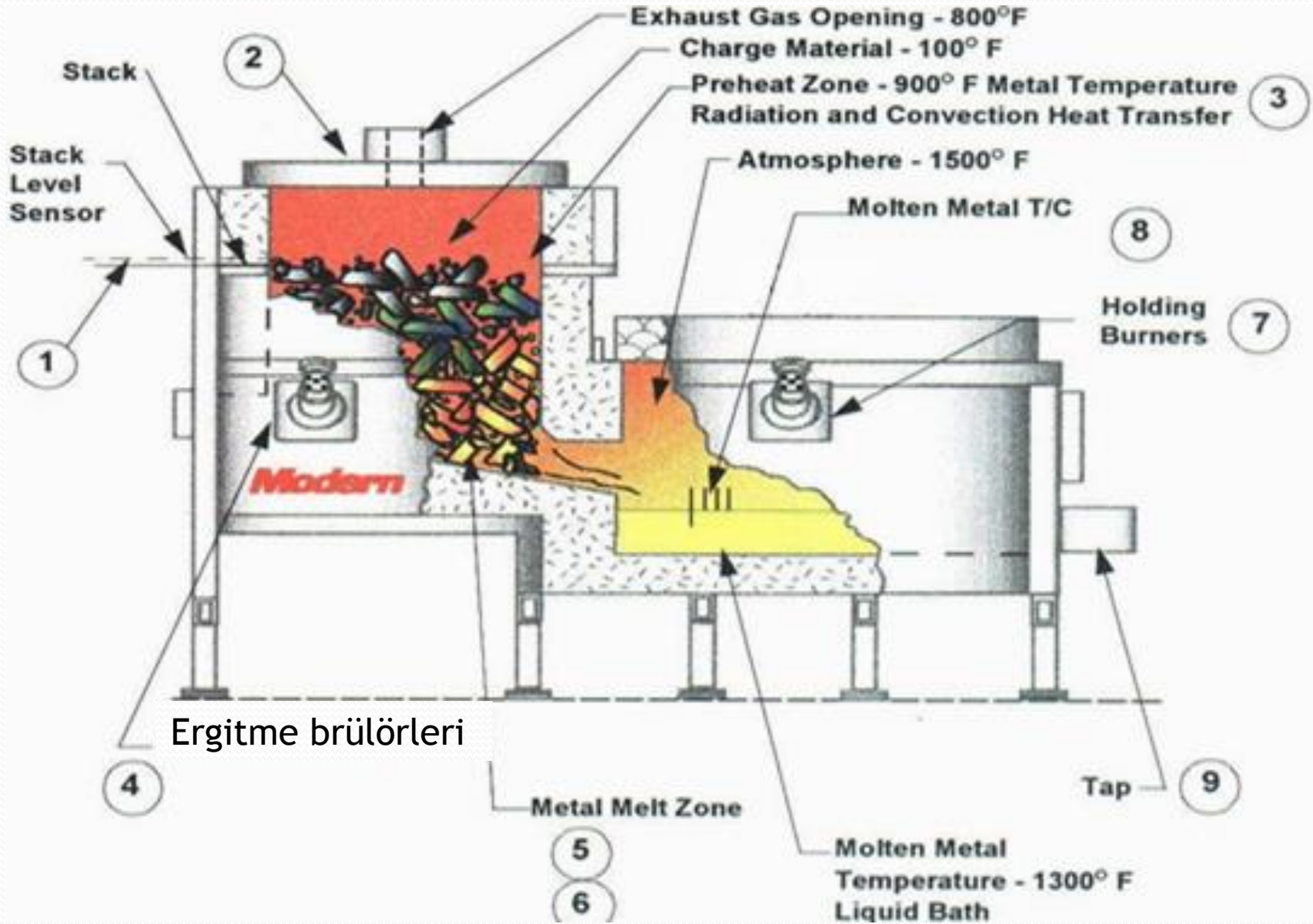
# Bacalı fırınlar

- Reverber fırınlara göre verimleri daha yüksektir.
- Baca gazlarından şarjın ısıtılmasında yararlanıldığında verim daha da artar.
- Şarj malzemeleri kolondan aşağı inerken ısınıp ergime bölgesine vardıklarında brülörler tarafından ergitilirler.
- Enerji verimi %40-50 seviyelerindedir.
- Metal kayıpları ise reverber fırınlarındaki %4-8 seviyesinden %1 ve daha aşağı düşer.

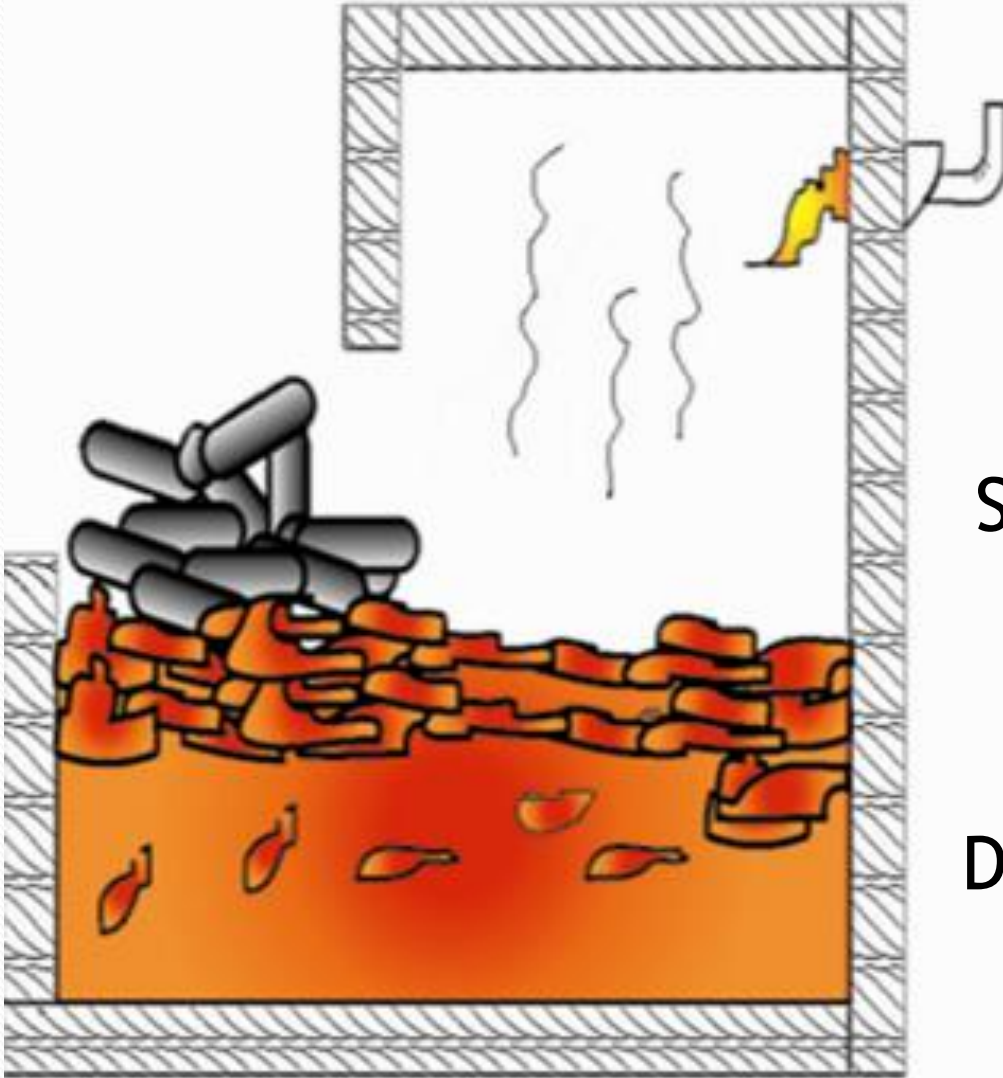
# Bacalı fırınlar



# bacalı fırınlar



# reverberer fırınlar



**Reverberer fırınlar**  
**Düşük ısı verimlilik**  
**%25 kadar**  
**Cürufta artış %3-7**  
**Sıvı metal sıcaklığında**  
**dalgalanma +/- 50° F**  
**daha fazla**  
**kirlenme/kalıntı**  
**Daha geniş yer ihtiyacı**  
**Daha fazla hidrojen**  
**gazı**

# Fırın karşılaştırması

Fırın - yakıt		kapasite	metal	kayıp	verim
<b>Pota (gaz)</b>		15 lbs - 1.5 tons	Aluminum	4-6%	7-19%
			Magnesium	4-6%	7-19%
			Copper-base	2-3%	7-15%
Cupola		100 lb/hr - 20 tons/hr	Iron	3-12%	40-50%
Direct Arc <sup>†</sup>		1.5 tons -100 tons	Steel	5-8%	35-45%
Immersion (low temperature melting)		1,600lb/hr	Zinc	N/A	63-67%
<b>indüksiyon</b>		2 lbs - 50 tons	Aluminum	0.75-1.25%	59-76%
			Copper-base	2-3%	50-70%
			Magnesium	2-3%	59-76%
			Iron	1-2%	50-70%
			Steel	2-3%	50-70%
<b>reverber</b>	<b>elektrik</b>	0.5 tons - 125 tons	Aluminum	1-2%	59-76%
			Zinc	2-3%	59-76%
	<b>gaz</b>	0.5 tons - 125 tons	Aluminum	3-5%	30-45%
			Zinc	4-7%	32-40%
<b>Döner fırın</b>		N/A	Aluminum	N/A	35%
<b>Sütunlu ocak</b>		1 ton/hr - 10 tons/hr	Aluminum	1-2%	40-45%



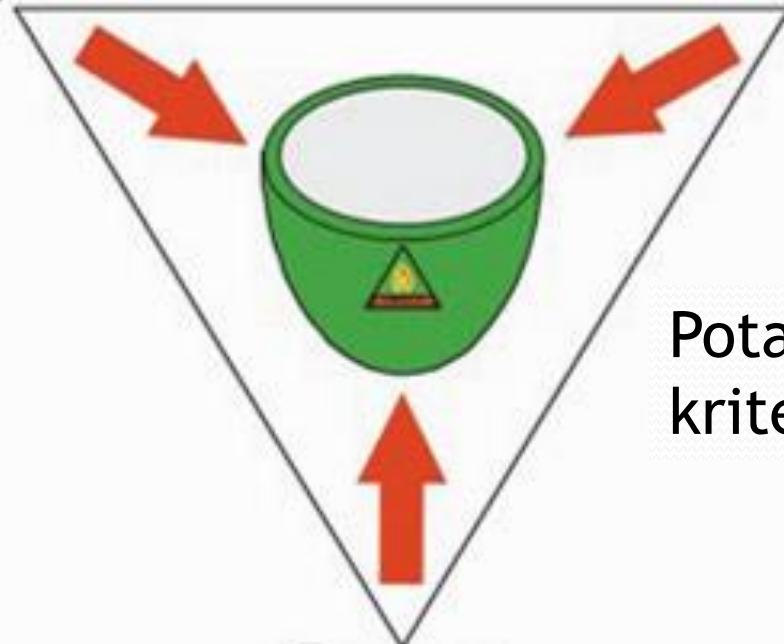
# Ergitme potası seçimi

Alüminyumun ergitilmesi ve sıvı halde tutulması işlerinde

Karbon bağlı  
seramik bağlı  
Kil-grafit ve  
Silisyum karbür  
potalar kullanılır.

metalurji

Çalışma  
İşartları



Pota seçim  
kriterleri

Fırın  
özellikleri

# Ergitme potası seçimi

- Gaz, mazot ve propanlı yakıt ile brülör alevinin etkilerine ve ısıya dayanıklı olmalıdır.
- Alevin fırın içinde dolaşarak yükselmesine izin vermek üzere konik olmalıdır. (Homojen ısınma)!
- Alevin oksitleme etkisine dirençli olmalıdır.
- Termal şok ve değişimlerden etkilenmemelidir.
- ısı iletkenliği yüksek olmalıdır (fırın içindeki ısının şarja iletilmesi ve homojen ısınma sağlanması)
- yüksek grafitli potalar hızlı ergitme için gerekli yüksek ısı iletkenliği yönünden avantajlıdır.

# Ergitme potası seçimi

- Elektrik direnç fırınlarında ergitme yavaş gerçekleşir.
- Bu nedenle daha yüksek ısı iletkenliği yüksek potalar tercih edilmelidir.
- grafit oranı yüksek karbon bağlı potalar uygundur.
- Bu fırınlarda kullanılan potalar direnç elemanları ile pota arasında sabit bir mesafe sağlamak için düz silindirik şekilde olurlar.
- Düşük frekans indüksiyon fırınlarında SiC içeriği yüksek potalar tercih edilirken, yüksek frekans fırınlarında yüksek kil içerikli potalar tercih edilir.

# Ergitme potası seçimi

- grafit oranı yüksek karbon bağlı potalar uygundur.
- Bu fırınlarda kullanılan potalar direnç elemanları ile pota arasında sabit bir mesafe sağlamak için düz silindirik şekilde olurlar.
- Düşük frekans indüksiyon fırınlarında SiC içeriği yüksek potalar tercih edilirken, yüksek frekans fırınlarında yüksek kil içerikli potalar tercih edilir.

# Ergitme potası seçimi

İndüksiyon ocakları için potalar çoğunlukla düz silindirik formdadır.

Ancak potanın fırın dışına alınması gerektiği durumlarda bobin sarımı konik potaya göre konik olarak yapılır.





# Ergitme potası seçimi

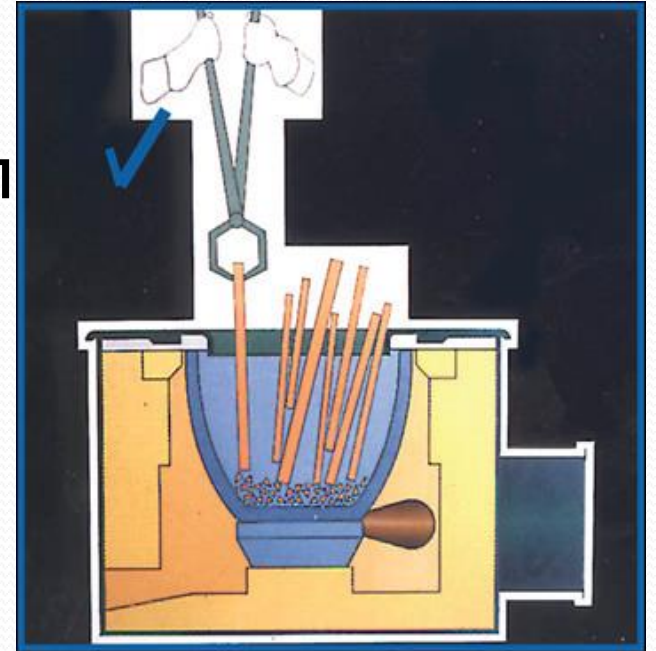
- Uygulamada sıcaklık değişimleri sık ve şiddetli ise termal şoka dayanıklı pota seçmek gerekir.
- Grafit yüksek ısı iletkenliği ve ıslanmazlık sağlar. Grafit yönlenmiş bir yapıda ise termal şok direnci de yüksek olacaktır.
- Bu özellik saniyeler içinde sıcaklığın birkaç yüz derece değiştii operasyonlarda kritiktir.

# Ergitme potası seçimi

Fırına her zaman sıvı metal şarj ediliyorsa fiziksel hasara dayanıklı bir potaya ihtiyaç yoktur. Ancak şarjın önemli bir kısmı ağır ve iri bloklar ise ve şarj için otomatik bir yükleme sisteminden

yararlanılmayıp insan marifeti ile yapılıyorsa mekanik dayanımı yüksek ve fiziksel hasara dayanıklı bir pota seçmek gerekir.

Yüksek karbon içeren ve grafit yapısı yönlenmiş olan potalar mükemmel darbe-mekanik şok direnci sağlarlar.



# Ergitme potası seçimi

- Bütün potalar kimyasallara ve korozyona belirli düzeyde dayanıklıdır.
- Ancak alüminyum ergitilmesinde kullanılan flakların bir kısmı ciddi şekilde koroziftir ve potanın kimyasal etkileşimlere dayanıklı olması arzu edilir.
- Bunun için potadan yoğun bir malzemedan yapılmış olması ve koruyucu bir sır ile kaplanmış olması gerekir.

# Ergitme potası seçimi

- Alüminyum alaşımlarında gaz giderme sıvı alüminyumdan asal gaz ve çoğunlukla azot geçirilerek yapılır. Bu işlem pota duvarlarını erozyona uğratır ve ayrıca kimyasal olarak da etkiler.
- Bu nedenle yoğun, mekanik olarak dayanıklı ve kimyasal ataklara dirençli potalar kullanılmalıdır. SiC esaslı potalar yüksek sıcaklık erozyonuna ve kimyasal korozyona dayanıklıdır.
- İzostatik presleme ile üretilmiş yoğunlaştırılmış grafit potalar da bu eroziv ve korozif koşullara dayanıklıdır.

# Ergitme potası seçimi

Cüruf çekilmesi

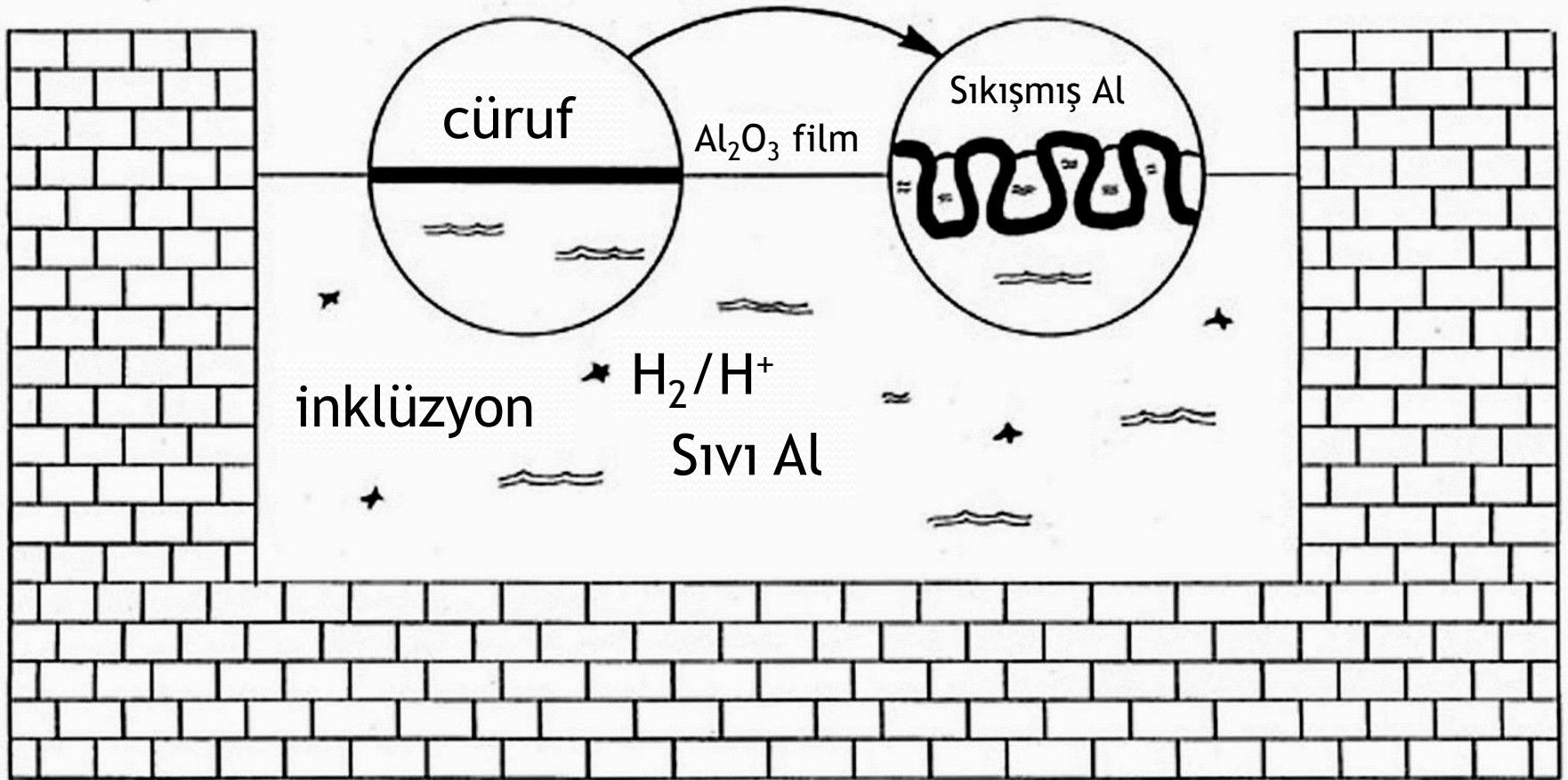
Yoğun ıslanmaz bir pota pota astarında cüruf birikmelerine engel olacak ve pota temizliğini kolaylaştıracaktır.



# Sıvı metal işlemleri

- gaz giderme
- rafinasyon-flaks uygulaması
- cüruf çekme
- karıştırma-homojenleştirme
- alaşımlama
  - bileşim ayarlaması
  - modifikasyon
  - tane küçültme
- filtrasyon
- sıvı metal kalite kontrolü

# alüminyum banyonunun durumu

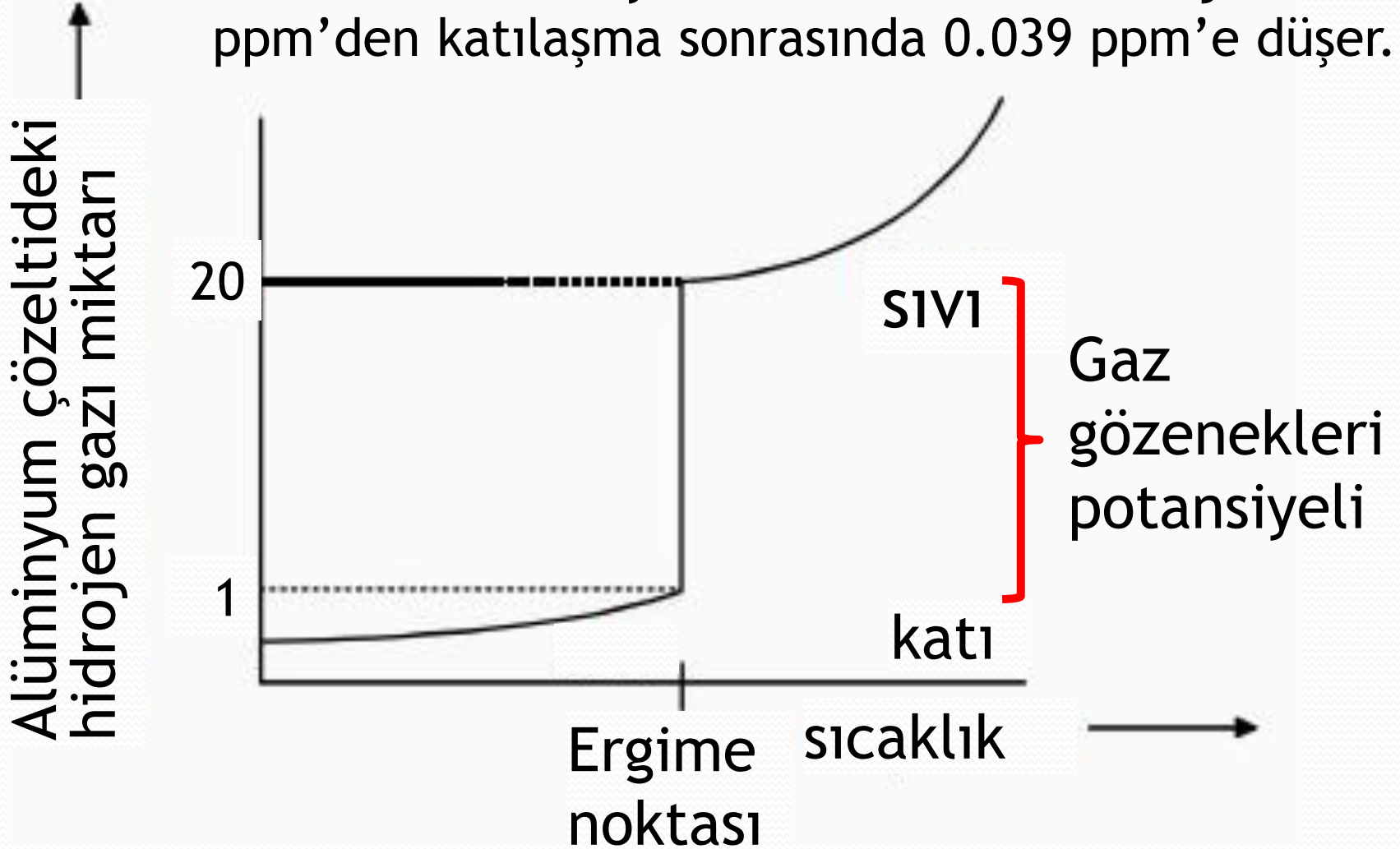


# hidrojen

- Alüminyumda çözünen yegane gaz [diğerleri gibi alüminyumla bileşik (azot AlN oksijen  $Al_2O_3$ ) oluşturmadığı için] **hidrojendir**.
- Sıvı alüminyumda H çözüneürlüğü yüksek vs katı alüminyumda H çözüneürlüğü düşük!
- Katılaşma sonrasında sıvı alüminyumdaki hidrojenin sadece 1/20 kadarı çözültide kalabilir.
- Kalan 19/20 H  $\rightarrow$   $H_2$   $\rightarrow$  gaz gözenekleri yapma riski yaratır

# hidrojen

660° C'de sıvı alüminyumda barınabilen hidrojen 0.69 ppm'den katılaşıma sonrasında 0.039 ppm'e düşer.



# hidrojen

- Sıcaklık artışı ile sıvı alüminyumun hidrojen çözme kapasitesi arttığından, banyo sıcaklığının gereksiz şekilde yükselmesine izin verilmemelidir!
- Banyoda oksit vb alüminyum tarafından ıslatılmayan kalıntılar) bulunduğunda aşırı gözenek!
- Kalıntı yok ise, katı alüminyumda çözünebilir ve üretim sürecindeki tav işlemlerinde





# hidrojen

Sıcak dökümhane ortamı rutubetlidir.

Rutubetin alüminyumla reaksiyonu alüminyumu oksitlerken hidrojen açığa çıkar ve bu hidrojen banyoda çözünür.



Hurdadan ergitme: 0.50 ml/100g

İşlem alaşımlarında: 0.18 ml/100 g

Döküm alaşımlarında: 0.40 ml/100g

# Gaz giderme (degassing)

Fırında seramik astarlı borularla banyo içinde asal gaz (argon/azot) verilir.

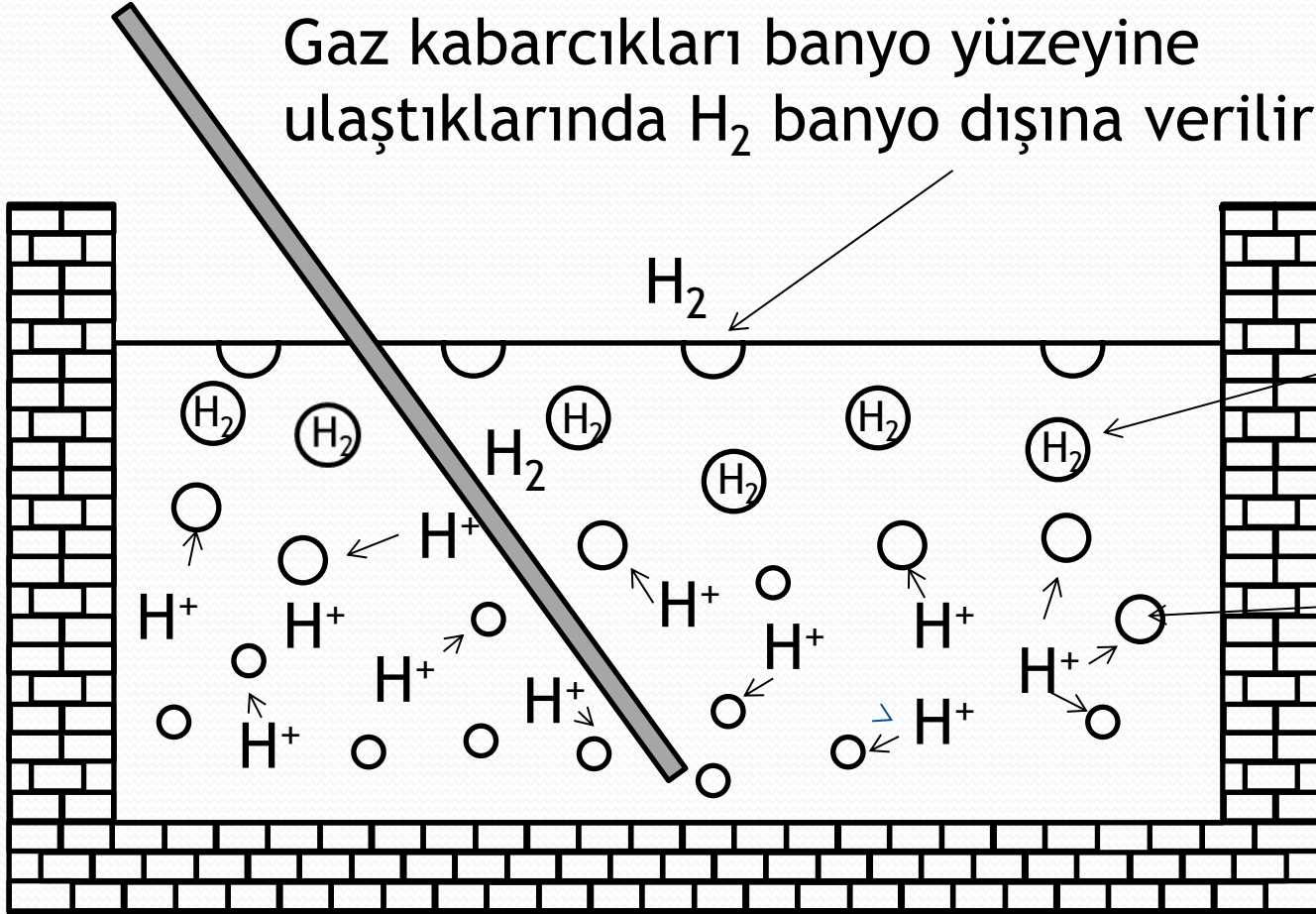
Bu işlem sırasında banyonun çalkalanmasına izin verilmemeli, yüzey durgunluğu bozulmamalıdır.

Aşırı kirli banyonun temizlenmesinde asal gazın içine az miktarda klor karıştırılabilir.



# Gaz giderme

Gaz kabarcıkları banyo yüzeyine ulaştıklarında  $H_2$  banyo dışına verilir!



Asal gaz kabarcığı:  $H_2$  dolmuş!

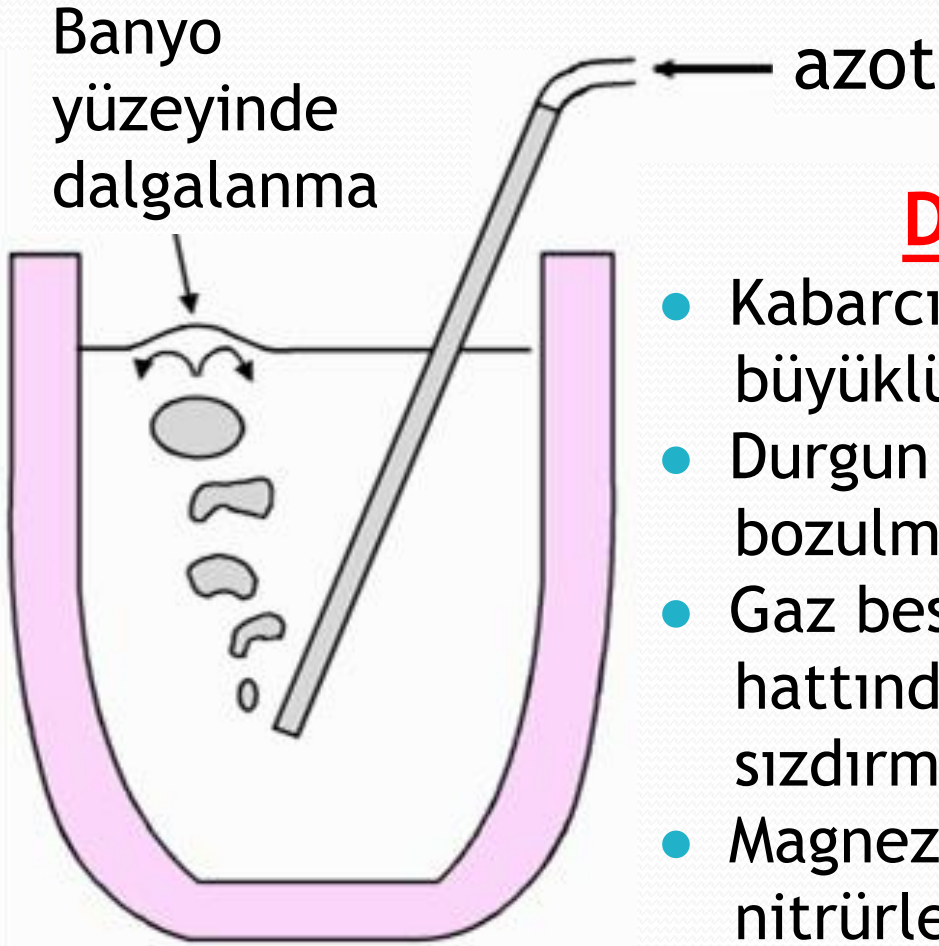
Asal gaz kabarcığı:  $H_2$  kısmi basıncı düşük!

$H^+$  gaz kabarcıklarına gider!

# Seramik boru ile gaz giderme

- Geniş ağızlı borularla oluşan iri asal gaz kabarcıklarının gaz giderme verimi çok düşük!
- Yüzeyde aşırı çalkantı-oksitlenme ve banyoya tekrar gaz girişi (Alüminyumun atmosfer rutubeti ile reaksiyonu aynı zamanda H kirlenmesine yol açan bir süreçtir:  $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H^+$ )
- Böyle bir uygulama yarardan çok zarar verir.

# Gaz giderme pratikleri-boru ile



## Dezavantajlar

- Kabarcıkların büyüklüğü → temizleme etkisi sınırlı
- Durgun yüzeyin bozulması → gaz kapma oksitlenme
- Gaz besleme hattında sızdırmalar → oksit kirlenmesi
- Magnezyum nitrürlerin oluşması → zayıf özellikler

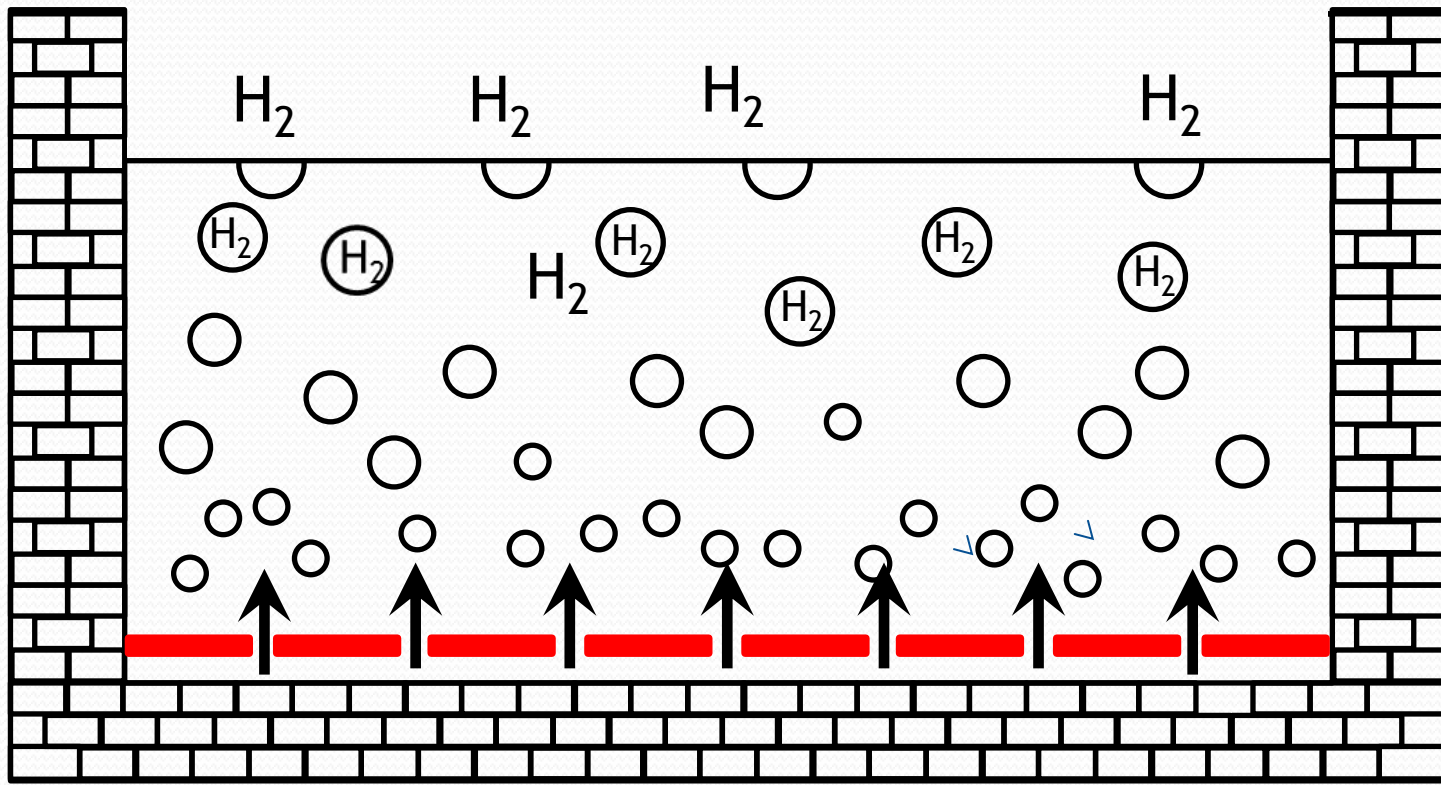


# “Porous plug” Gaz giderme

Fırın tabanına monte edilen seramik delikli plakalardan asal gaz verilmesi daha homojen ve verimli bir gaz giderme etkinliği sağlar.



# porous plug/delikli taban plakası

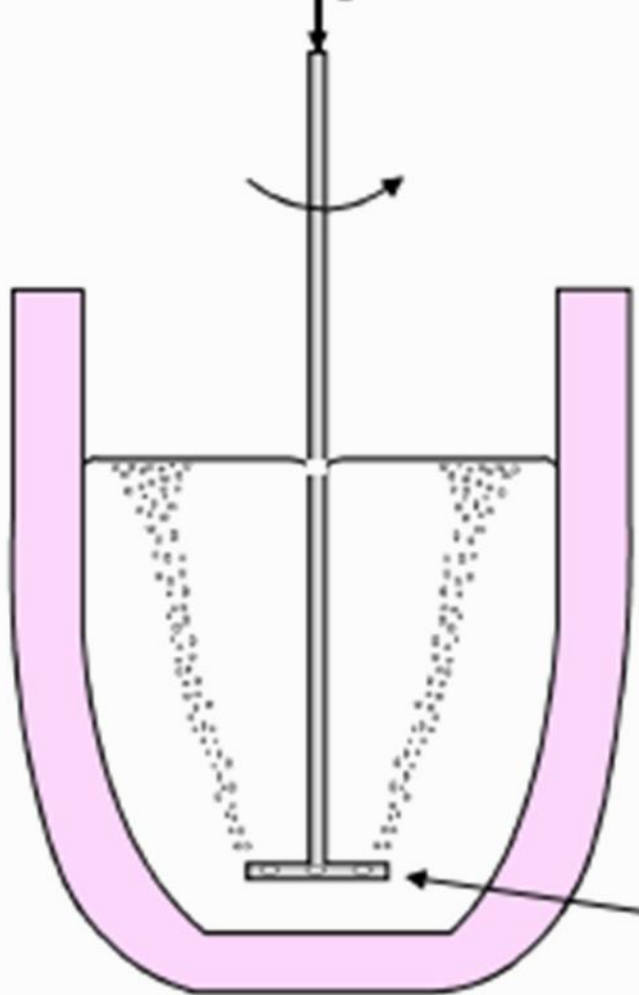


# gaz giderme

- Gaz giderme için azot gazı kullanıldığında ve banyo bir miktar Mg da içerdiğinde ortaya başka bir sorun çıkar.
- Banyoda gaz giderme sırasında ve sonrasında nitrürler oluşur. Nitrürlerin kırılgenliği yüzünden döküm parçanın mekanik özellikleri olumsuz etkilenir.
- Bu sorunun çaresi gaz giderme için gerçekten asal olan argon gazını kullanmaktır.

# Rotorlu gaz giderme

Asal gaz

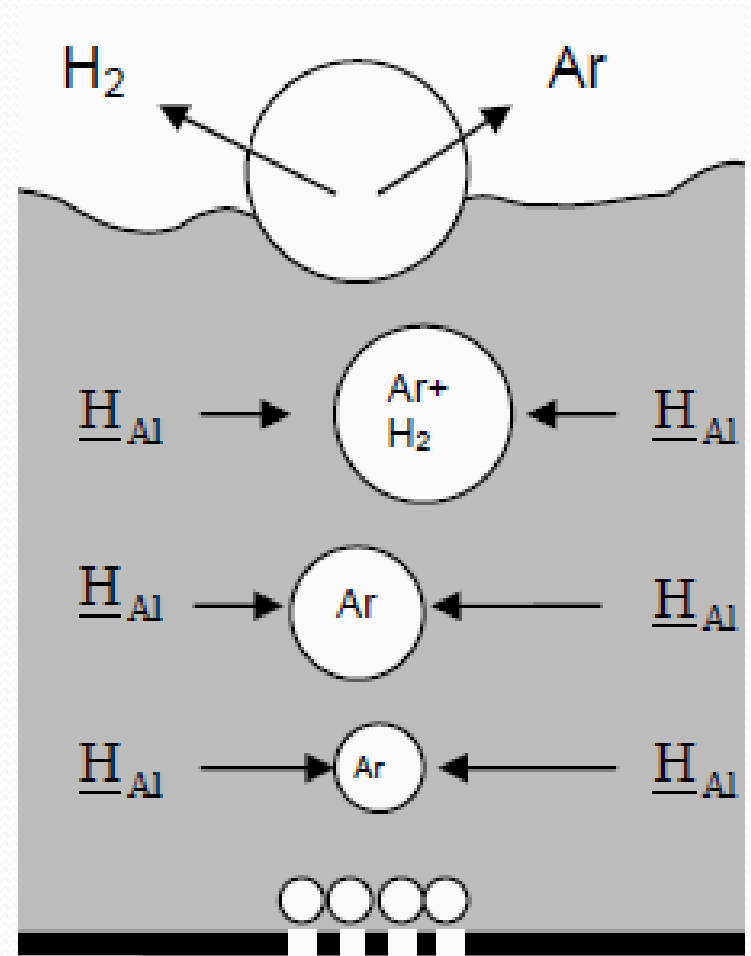
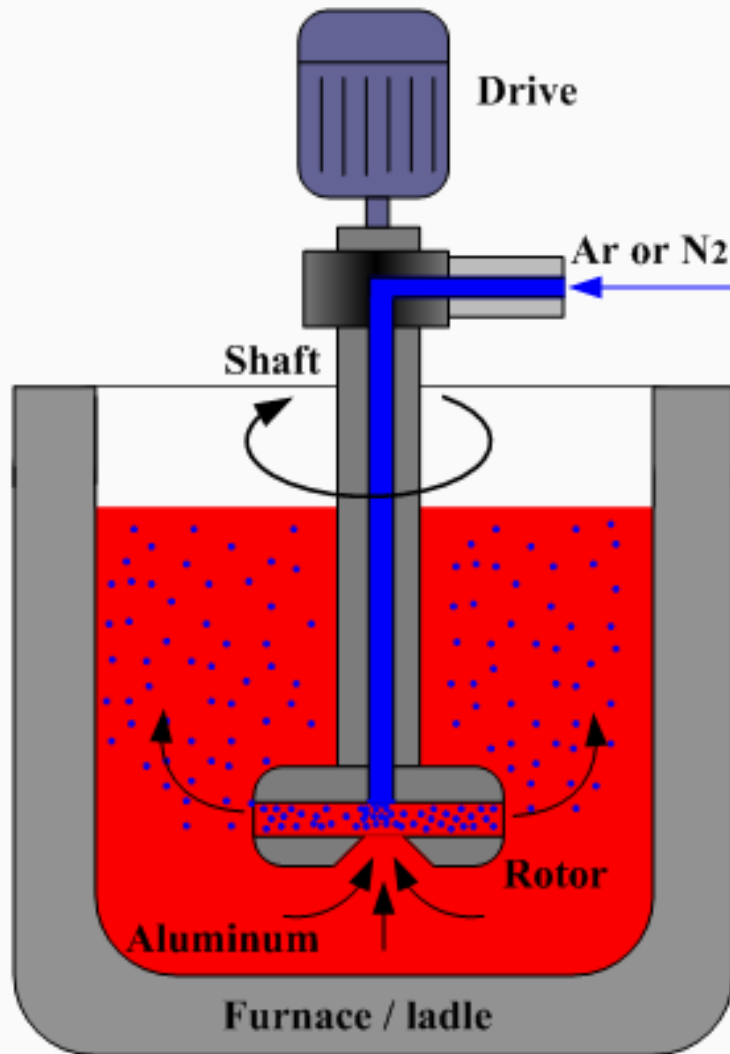


Döner  
difüzer

## Avantajları

- daha küçük asal gaz kabarcıkları //
- daha fazla temizleyici gaz yüzey alanı
- Etkin gaz giderme
- Çok daha az çalkantı
- Banyo yüzeyi durgun
- Oksitler homojen dağılımlı
- H<sub>2</sub> gözenekleri çok ince!
- TEMİZ METAL**

# Rotorlu gaz giderme

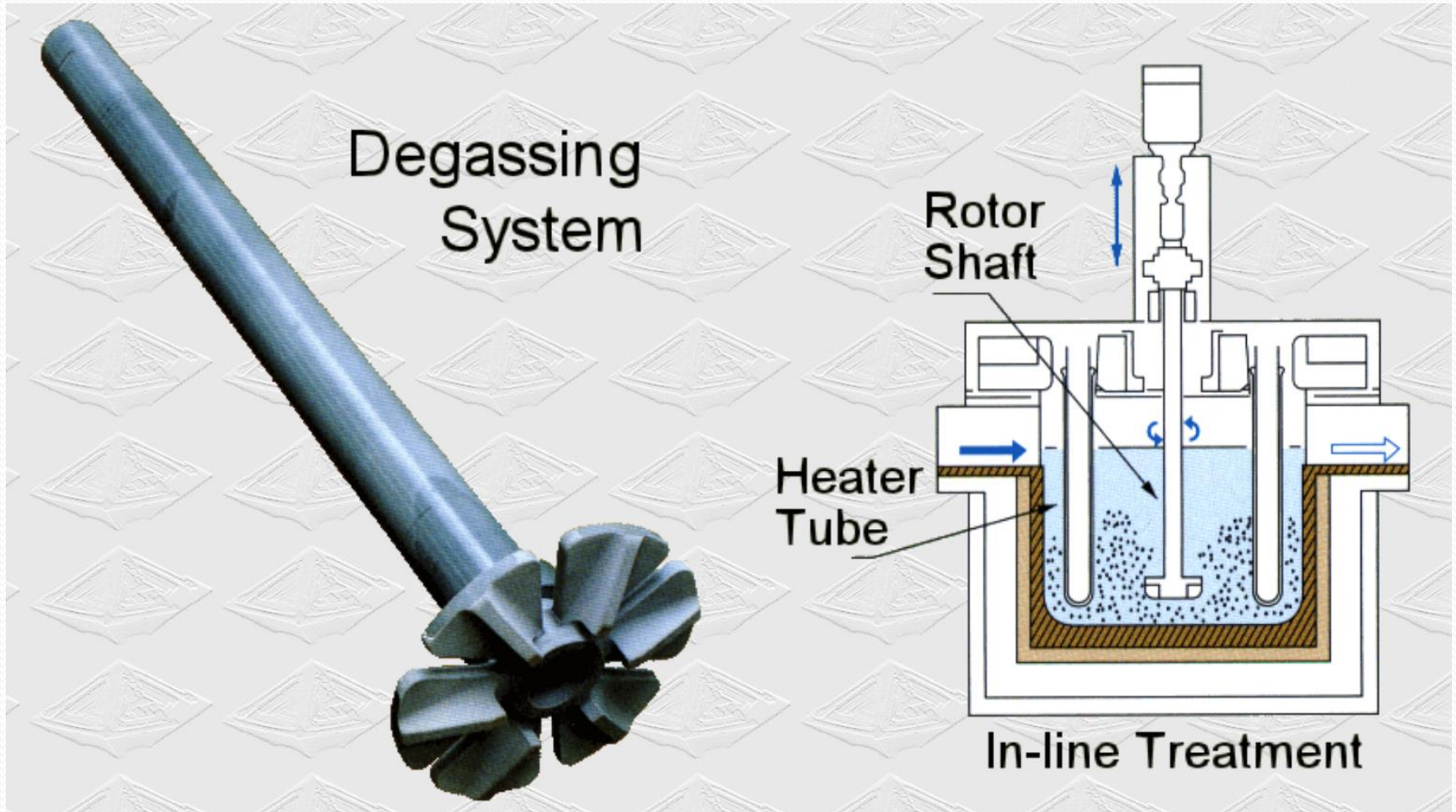




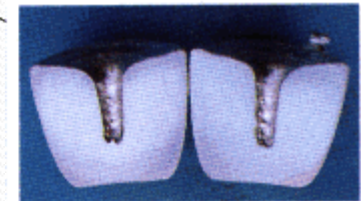
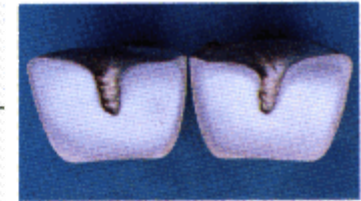
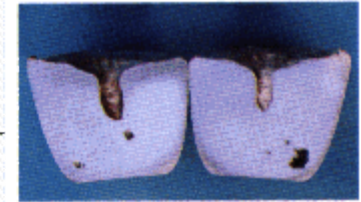
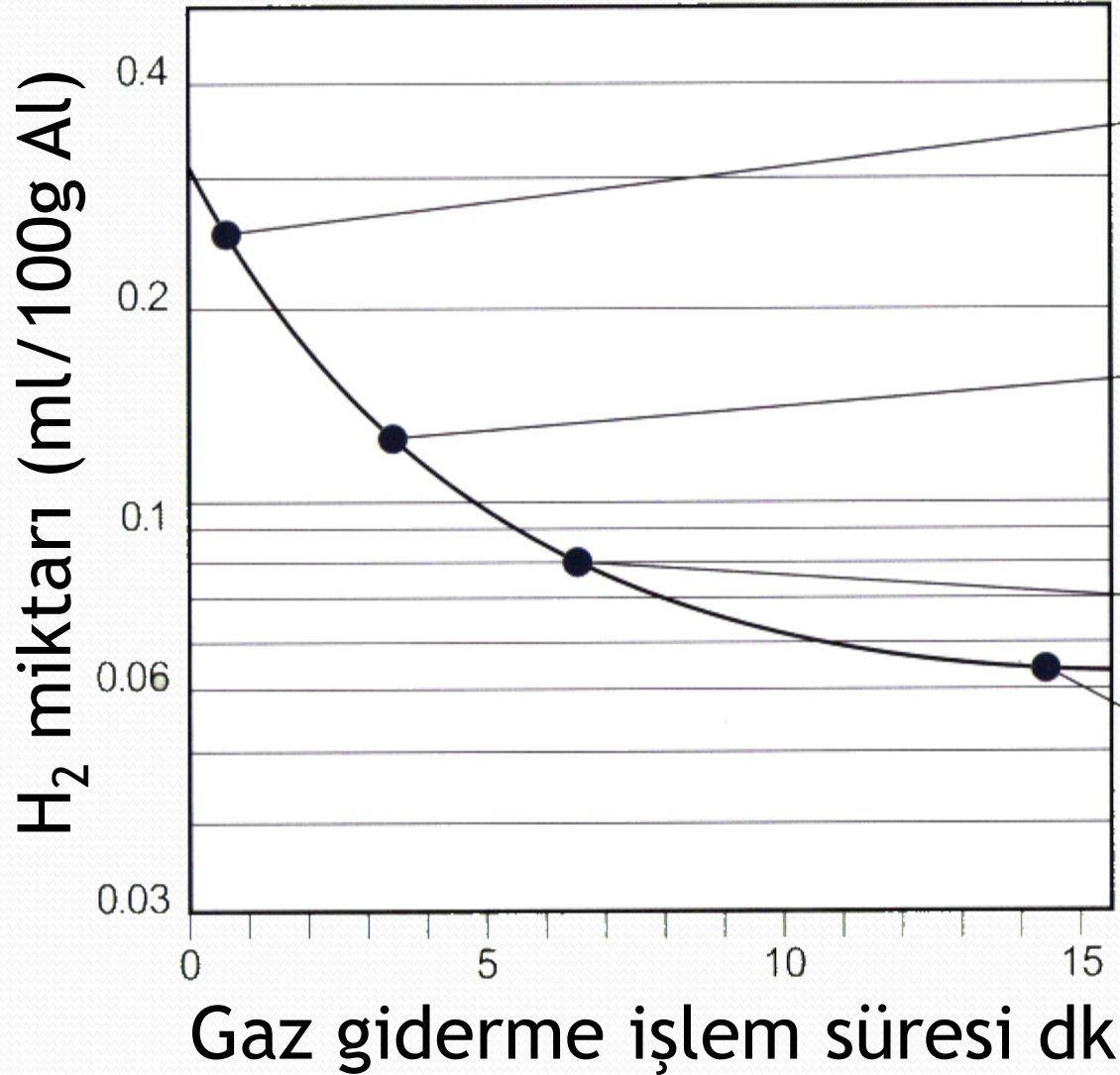
# Gaz giderme teknolojileri



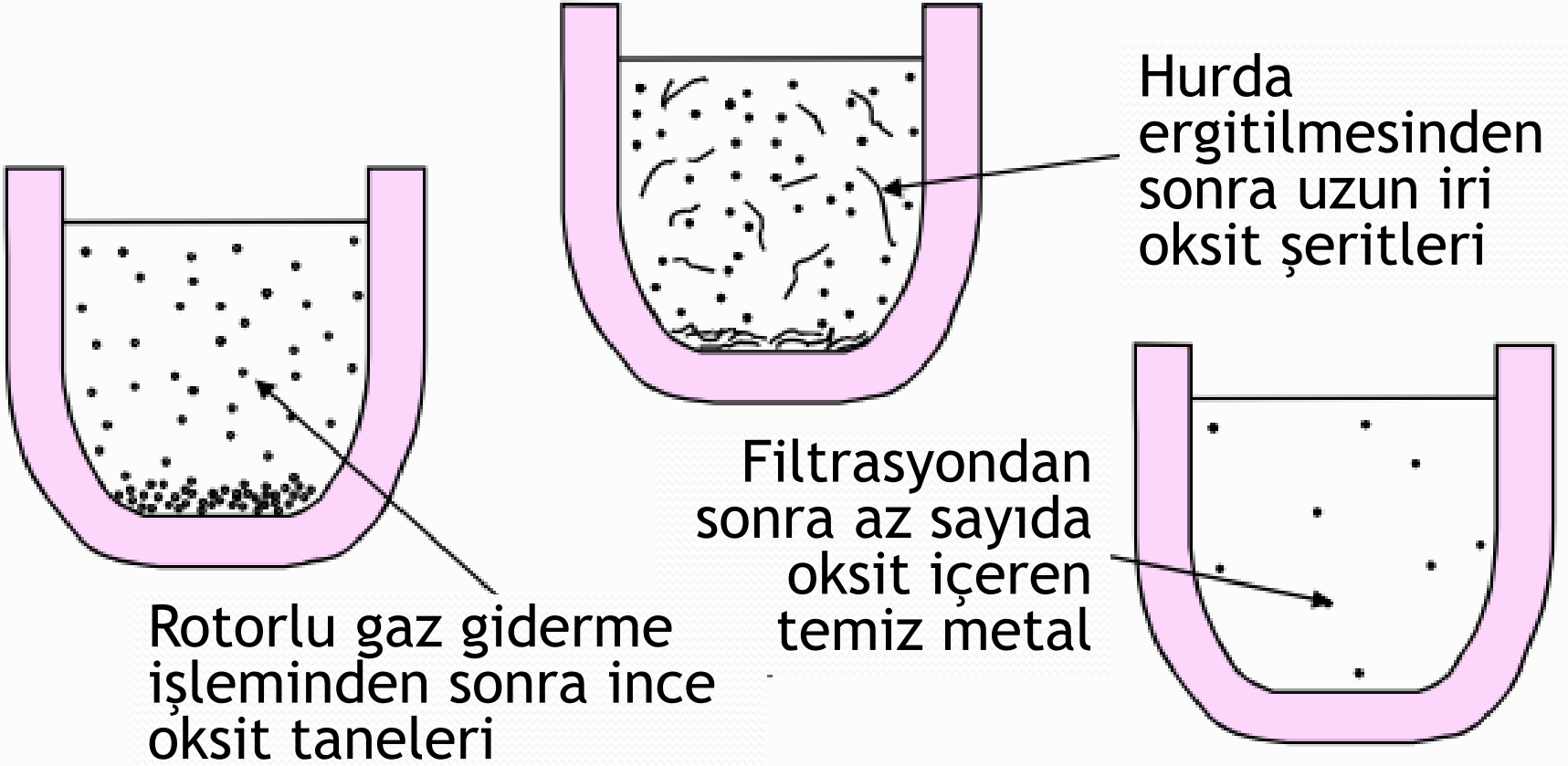
# Gaz giderme teknolojileri



# Gaz giderme



# Oksit kalıntıları





# Oksit kirlenmesi

- Oksitlerin önemli bir bölümü ergitilmek üzere fırına şarj edilen alüminyum külçe ve hurdalardan gelir (yüzey oksitleri!).
- Şarj maddeleri ergitildiğinde yüzey oksitleri serbest kalır ve banyoda dağılırlar.
- Önlemler alınmadığı takdirde bu oksitler parçalar veya aglomere olmuş filmler şeklinde döküm parçaya kadar geçerler.
- Bu sakıncalı durum şarj maddeleri doğrudan ergitme bölgesine alındığında ortaya çıkar. Şarj edilecek maddeler önceden ergitilerek oluşturulan bir banyo içinde şarj edildiklerinde iyileşme sağlanır.



# Oksitlenme

**Sıcaklık  $\uparrow$   $\rightarrow$  Oksitlenme  $\uparrow$**

fırınlarda

transfer sisteminde

rafinasyon istasyonunda **ISI KAYIPLARI ÖNLENMELİ!**

Sıcaklığın gereksiz yükselmesine izin verilmemeli!

Ergitme fırınında

$T < 760^{\circ}\text{C}$

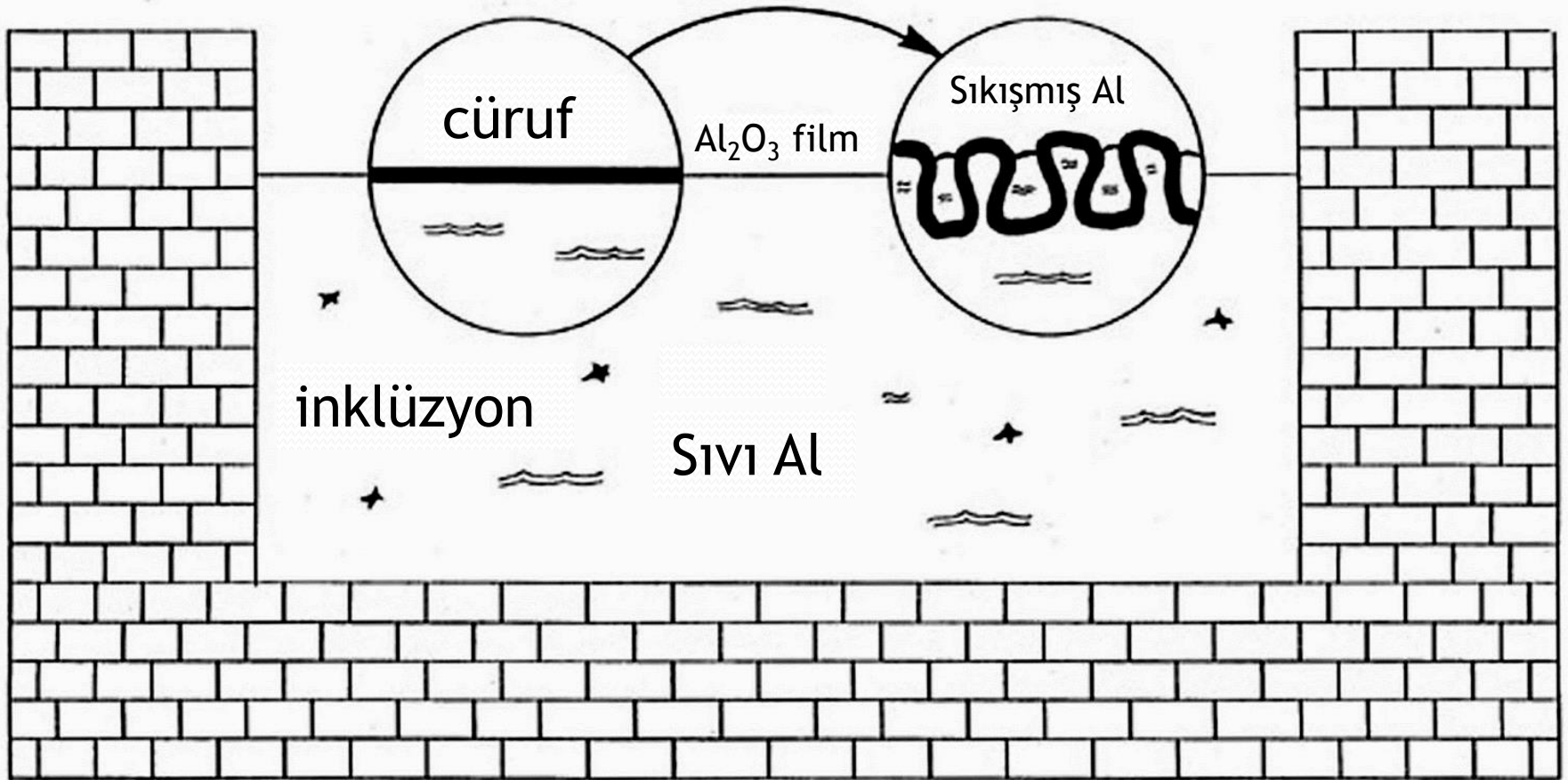
Tutma fırınında

$T < 730^{\circ}\text{C}$

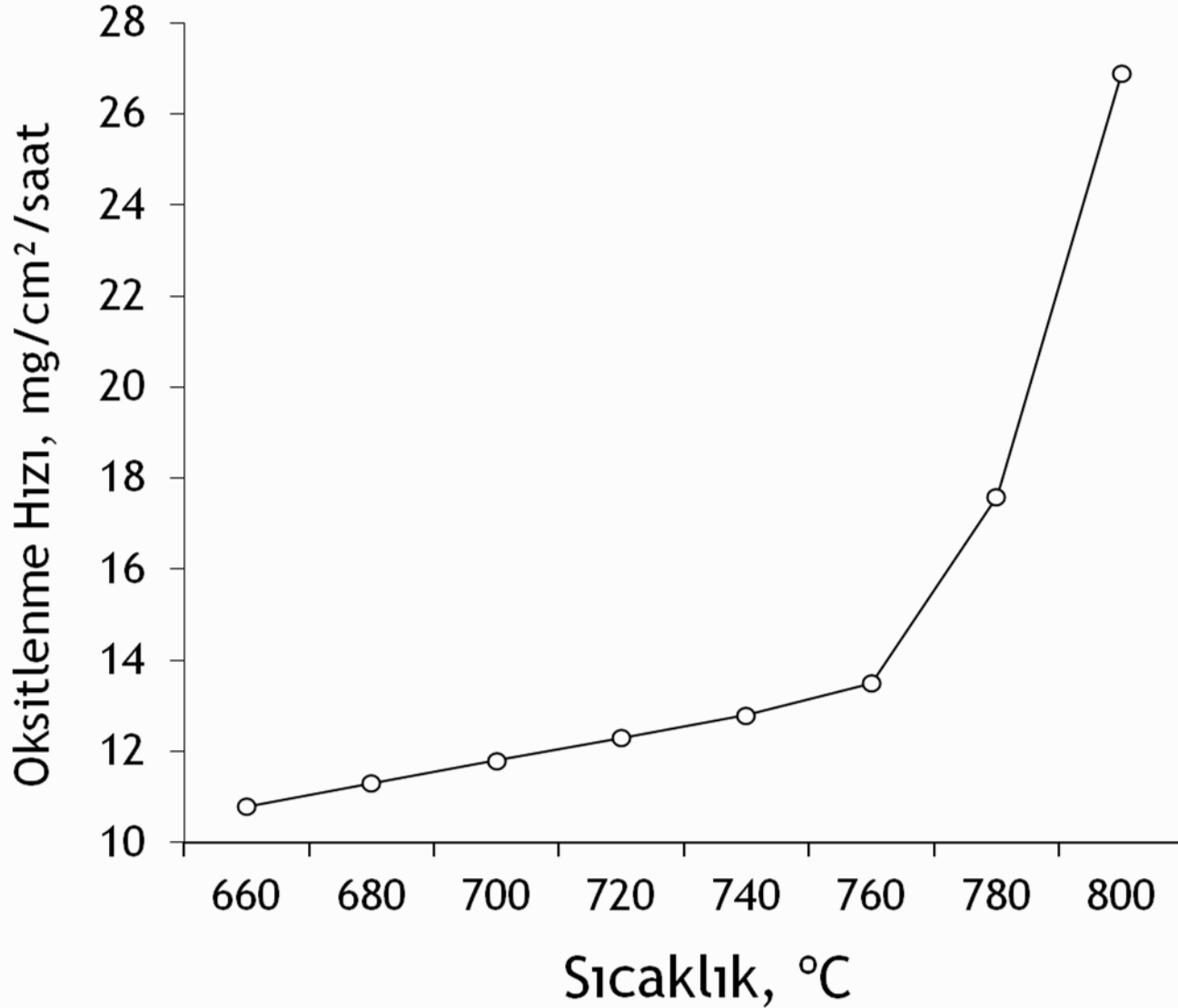
**SICAKLIK KONTROLÜ!**

**TEKNOLOJİK İŞLEMLERDE TİTİZLİK!**

# Oksitlenme

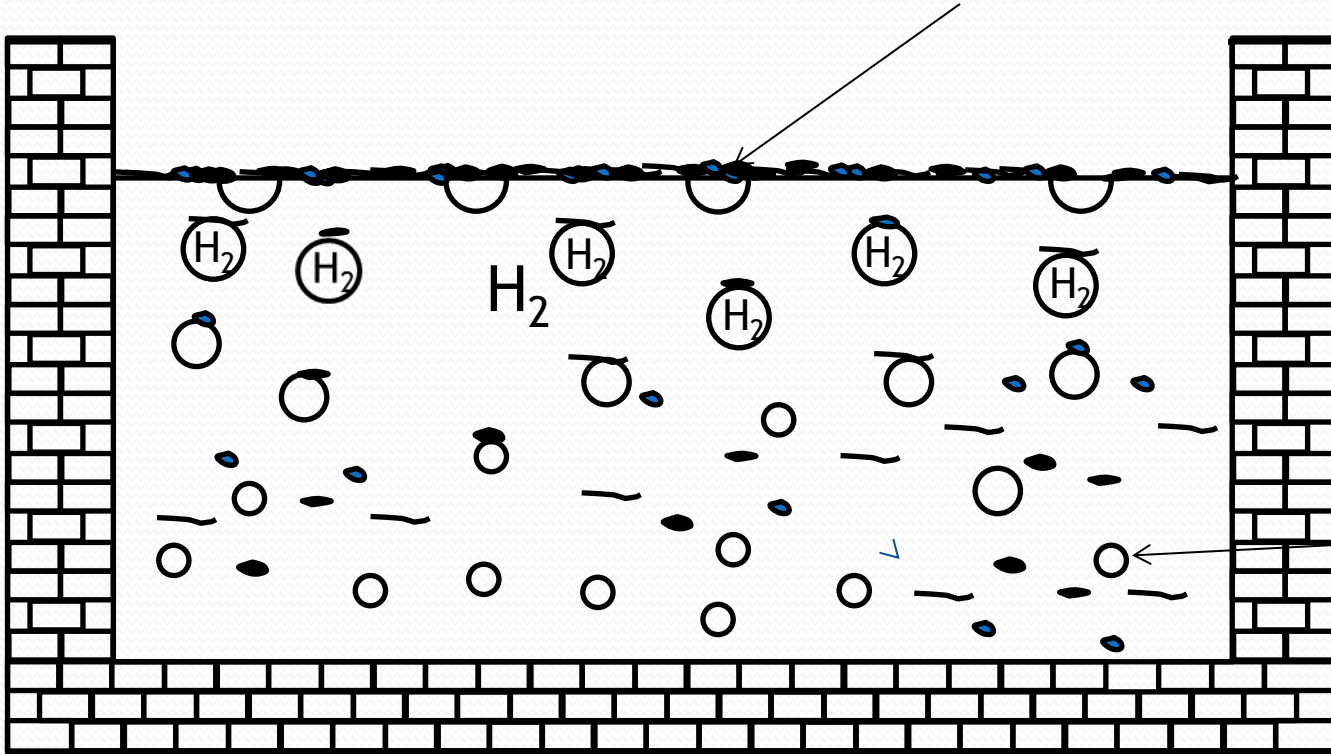


# Oksitlenme



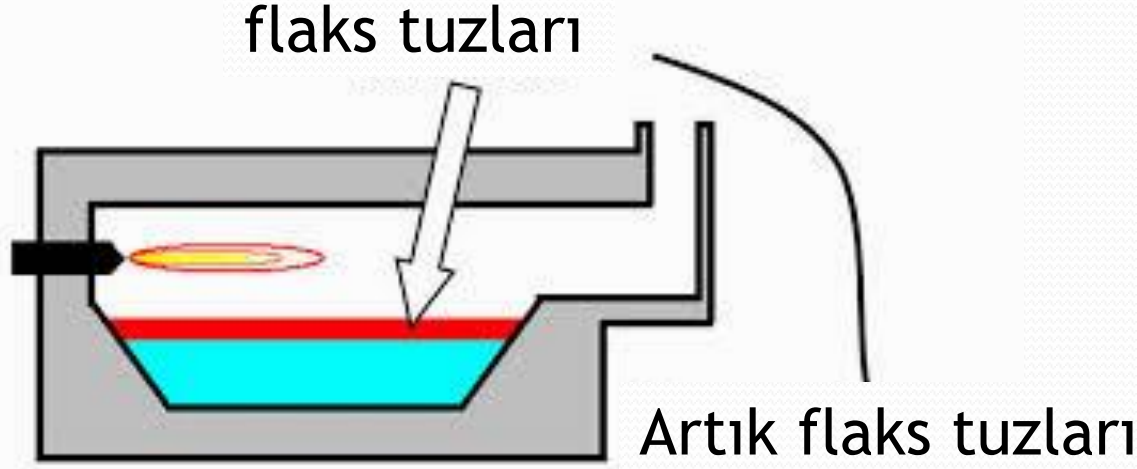
# Oksit temizleme

Gaz kabarcıkları banyo içinde askı halinde bulunan kalıntıları da banyo yüzeyine taşır!



Asal gaz kabarcığı

# flakslama



- NaCl-KCL tuzları
- Örtü flaksları
- Rafinasyon flaksları
- Cüruf çekme flaksları
- Duvar temizliği flaksları

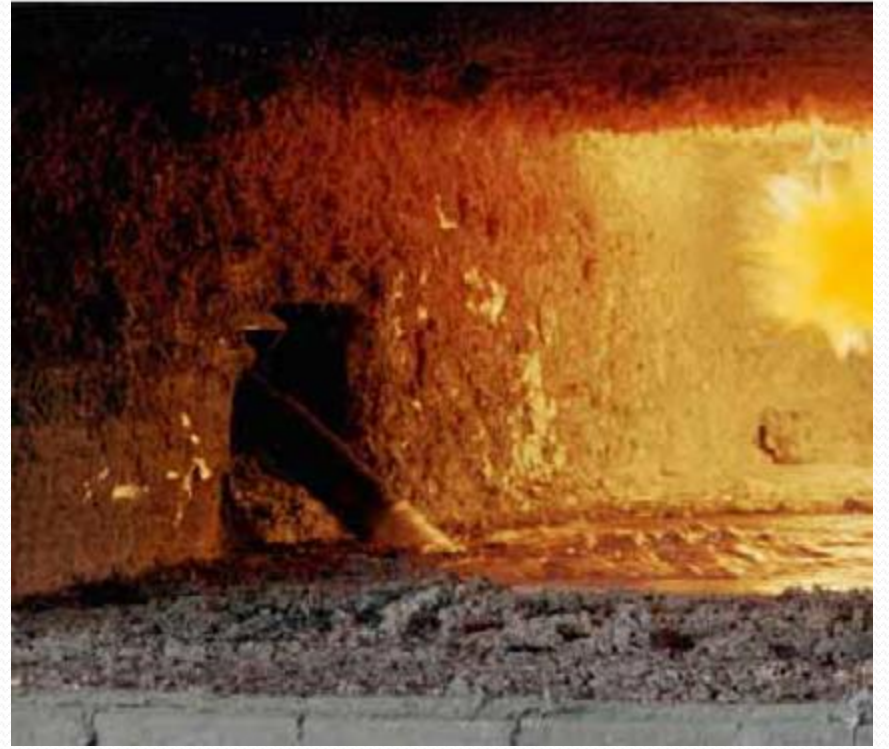




# Fırında gazlı flakslama

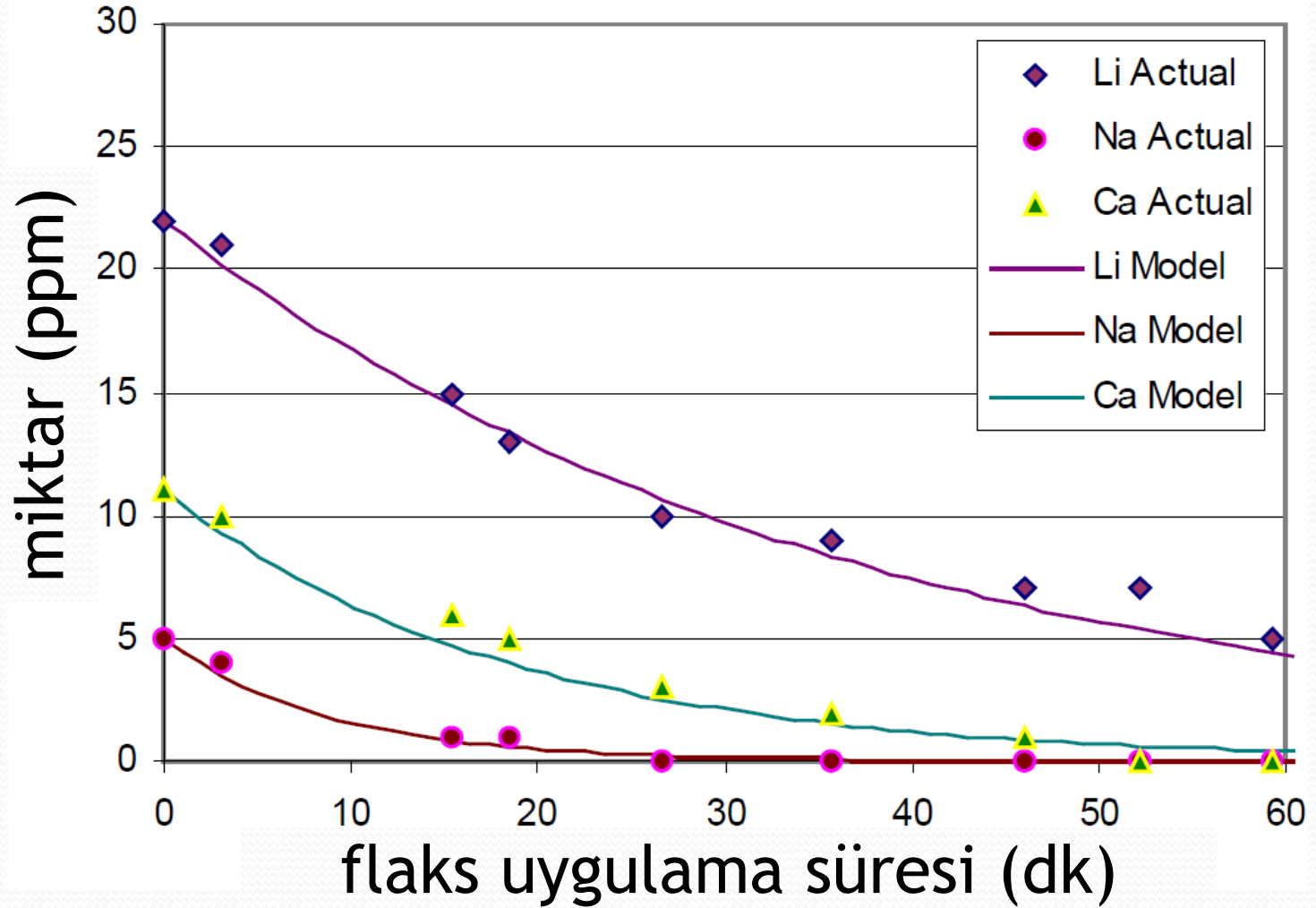


flakslamadan önce



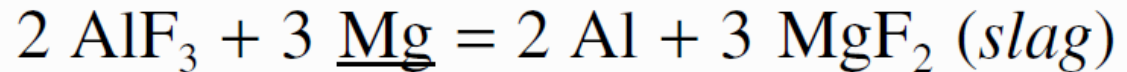
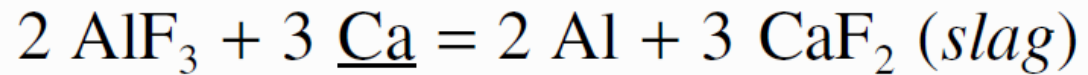
flakslamadan sonra

# Alkalilerin Cl<sub>2</sub>/Ar ile giderilmesi

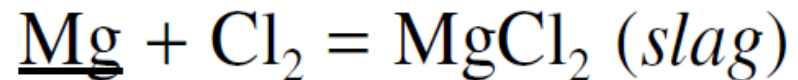
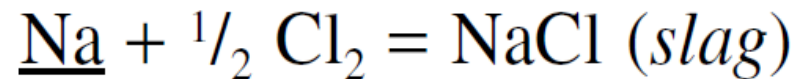
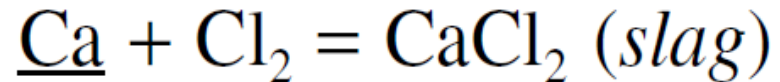


# Alkali giderme

Alkali ve toprak alkali metallerin flor flakslaması ile giderilmesi



Klor gazı ile giderilmesi



# tuzlarla flakslama

oksitlenme kaçınılmaz!

$$\begin{aligned} \rho_{\text{oksit}} \sim \rho_{\text{SIVİ AL}} &\Rightarrow \text{Askıda inklüzyonlar!} & \rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} \sim \rho_{\text{SIVİ AL}} \\ < \rho_{\text{SIVİ AL}} &\Rightarrow \text{Yüzer!} \\ > \rho_{\text{SIVİ AL}} &\Rightarrow \text{Dibe çöker!} \end{aligned}$$

- sıvı alüminyumun fırın atmosferi ile ilişkisini kesmek,
- banyoda askıda kalan oksitleri yüzdürmek,
- banyo yüzeyindeki cürufu dışarı kuru olarak almak için,
- fırın duvarlarını temizlemek için,

**flakslama vazgeçilmez!**

amacı - işlevi ile uyumlu olmalı!

**flaks seçimi kritik!**

# Flaks kalite özellikleri

- Ergime noktası sıvı alüminyumunkinden ( $660^{\circ}\text{C}$ ) düşük olmalı!
- Yoğunluğu sıvı alüminyumunkinden ( $\sim 2.3\text{g/cm}^3$ ) düşük olmalı!
- Fırın refrakterlerine karşı asal olmalı!
- Buhar basıncı düşük olmalı!
- Akışkanlığı yüksek olmalı!
- Geri kazanılabilir olmalı!
- Sağlık koduna uygun olmalı!
- Ucuz olmalı!



# Flaks kalite özellikleri

- Flaks karışımlarının tümü atmosfer nemini sünger gibi emerler:
- Nemli flaks yarardan çok zarar getirir!
- Paketleme ÖNEMLİ!
- Flaks fırına uygulama dosajlarında paketlenmeli!
- Flaks paketi uygulama anında açıklanmalı!
- (Açık olarak dökümhanede bekletilmemeli!)

# Flaks türleri

- Örtü flaksları
- Cüruf çekme flaksları
- Temizleme flaksları
- Duvar Temizliği flaksları

# Örtü Flaksları

sıvı alüminyumun fırın atmosferi ile ilişkisini kesmek için, işlem sıcaklıklarında sıvı halde olmalı

Terg  $\uparrow$   $\rightarrow$  Flaks-cüruf tabakası kıvamlı  $\rightarrow$  metal kaybı  $\uparrow$   
ıslak (alüminyumca zengin) cüruf

Terg  $\downarrow$   $\rightarrow$  Flaks-cüruf tabakası akışkan  $\rightarrow$  metal kaybı  $\downarrow$   
flaks inklüzyonları  
uygulama güçlükleri

NaCl + KCl : (%44 + % 56)      İkili Ötektik : 645°C

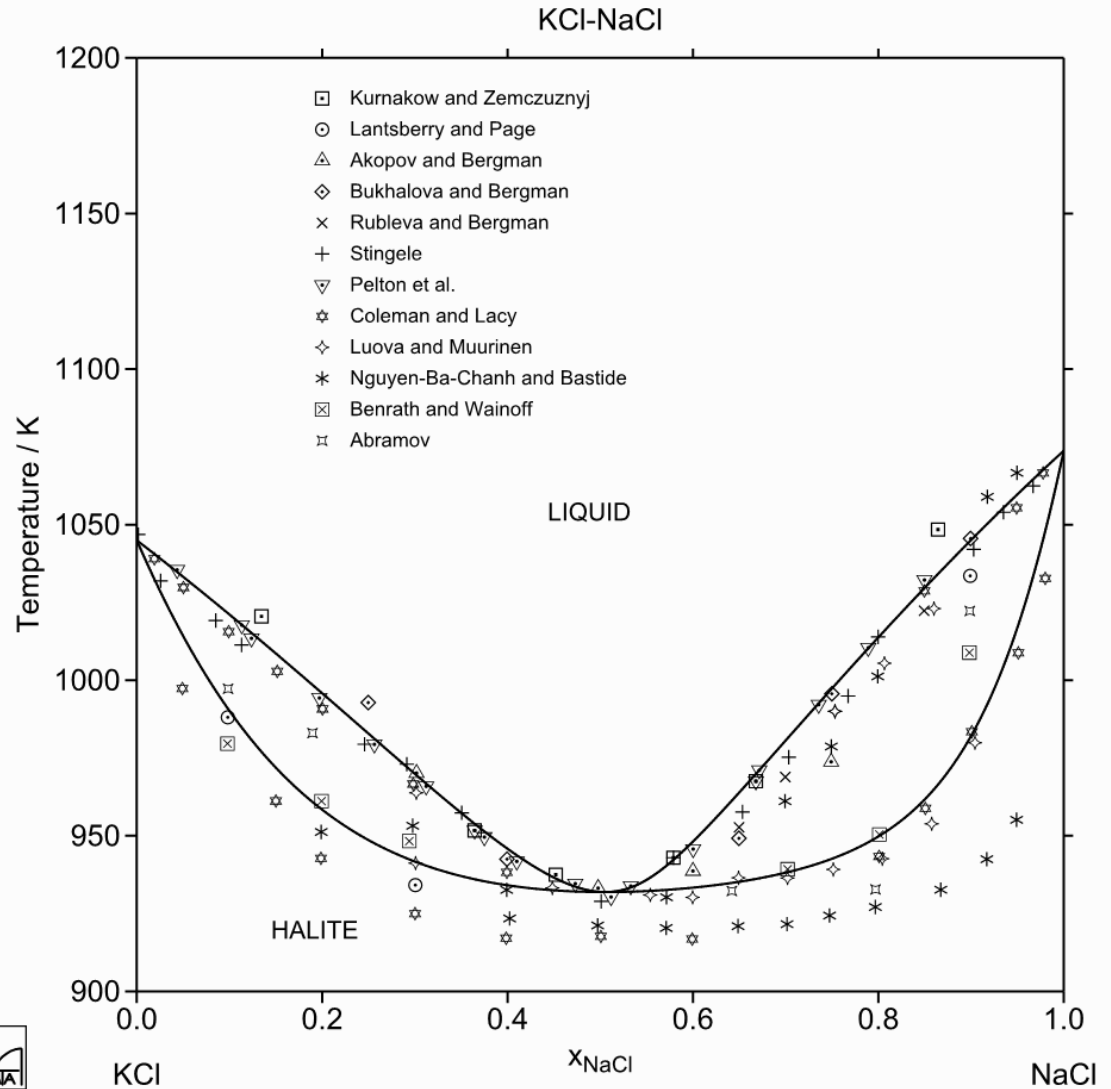
NaCl + KCl + NaF karışımı      Üçlü Ötektik : 607°C

Uygulamada örtü flaksı banyoya karıştırılmamalı!

Teknolojik işlemler tamamlandıktan sonra uygulanmalı!

# Örtü Flaksları

KCl-NaCl ikili  
faz sistemi



# Cüruf çekme flaksları

Cürufu kuru - en az metal kaybı ile - dışarı almak için

NaCl + KCl : Taşıyıcı

KNO<sub>3</sub> : (nitrat, sülfat, karbonatlar) oksijen taşıyıcı  
ekzotermik bileşikler → thermite reaksiyonu

$\Delta Q \rightarrow$  cüruf tabakasında yumuşama  $\rightarrow$

mekanik olarak sıkışan Al serbest kalır; banyoya geri döner!

Miktar  $\uparrow \rightarrow$  metal kaybı  $\uparrow$

Miktar  $\downarrow \rightarrow$  yumuşatma etkisi  $\downarrow \rightarrow$  metal kaybı  $\uparrow$

Florürlü bileşikler : oksit - metal ayrışmasına katkı!

Uygulama: Banyo yüzeyinde karıştırılır!

5-10 dk beklenir - flaksın yüzeye çıkması ve metalik Al'un banyoya geri dönmesi için

Cüruf çekilir!



# temizleme flaksları

Banyoda askıda kalan oksitleri yüzdürmek için  
(Transfer sistemine monte edilen rafinasyon istasyonlarında  
asal ve/veya aktif gazlarla sürekli ve/veya fırınlarda  
enjeksiyon yöntemi ile katı flaks karışımları)

NaCl + KCl : Taşıyıcı

Florürlü bileşikler : %20'ye kadar  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$



Flaks - metal, metal - oksit ara yüzey enerjisini düşürerek  
ıslanmanın gerçekleşmesini → oksit taneciklerinin  
banyodan; metalik Al'un cüruf tabakasından kolayca  
ayrılmasını sağlarlar!

# temizleme flaksları

Çözünürlükleri ↓ olduğundan oksit tanecikleri arasına sızarak oksit-metal arasında fiziksel ayrıştırma da sağlarlar!

Yüzeyi oksitle kaplı metal damlacıklarında oksit sıyırıcı!

Miktar ↑ → Terg(flörür) ↑ olduğundan → flaks akışkanlığı ↓  
→ metal kaybı ↑

Florürlü bileşikler arasında en etkili fakat en pahalı :  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$

Uygulama: Banyo içine karıştırma!  
Bekleme (5-10 dk) - oksitler yüzeye çıkar  
Cüruf çekme

# Duvar temizleme flaksları

Banyo duvarlarını temizlemek için  
(Fırın iç duvarlarında zamanla biriken oksitler, zaman içinde oksit oranı da arttığından sert korundum fazına dönüşürler!)

Temizleme işlemi planlı ve düzenli yapılmadıkça,  
metal kalitesi olumsuz etkilenir!  
fırın duvarları ancak kırıcılarla temizlenebilir! (hasar, vs.)

NaCl + KCl : Taşıyıcı

Oksijen taşıyıcı

ekzotermik bileşikler :  $\text{KNO}_3$ , Alkali karbonatlar

# Duvar temizleme flaksları

Uygulama / haftada bir :

Banyo seviyesi en aza düşürülür!

flaks fırın duvarlarına püskürtme ile uygulanır!

fırın kapakları kapatılır!

brülörler 10-15 dk sonuna kadar açılır!

(Sert tabakanın yumuşaması için duvarlar en sıcak durumda iken uygulanır!)

duvarlardan yumuşayan oksit tabakası kazınır!

cüruf çekilir!

# Flaks karakterizasyonu

**Mineralojik Analiz** : X-ışınları difraktometresi  
Karışımda mevcut bileşikler tanımlanır - amaca uygunluğu değerlendirilir!

**Termal Analiz** : Ergitilen flaks karışımı içine ısı çift yerleştirilir ve serbest soğumada T-t eğrisi kaydedilir-ergime davranışı, ergime noktası-aralığı belirlenir, irdelenir.

**Nem %si Analizi** : Flaks örneği geldiği gibi ve kurutulduktan sonra tartılır ve nem %si hesaplanır!

$$\frac{\text{Flaks örneği ağırlığı} - \text{kuru ağırlık}}{\text{Flaks örneği ağırlığı}} \times 100$$

**Geri Kazandırma Kapasitesi Analizi**



# Flaks karakterizasyonu

## Geri Kazandırma Kapasitesi Analizi :

50g folyo (13 $\mu$ m) kırpıntısı hazırlanır.

Bir pota içinde üstü flaks ile tamamen örtülerek eritilir  
Sıvı alüminyum üzerindeki flaks eriyiği alındıktan sonra  
soğuk bir yüzey üzerinde katılaştırılır.

Katılaştıran sıvı alüminyumun fiziksel özellikleri kaydedilir,  
ağırlığı (w) ölçülür.

$w < 50g$  ; çok parçalı katı  $\rightarrow$  rafinasyon kapasitesi  $\downarrow$

$w \sim 50g$  ; tek parça katı  $\rightarrow$  rafinasyon kapasitesi  $\uparrow$

# Cüruf çekme



# Cüruf çekme

Kötü bir ergitme pratiği ile hazırlanan banyodan başarısız bir pratikle çekilen ve dolayısı ile metalce zengin olan cürufa **ISLAK cüruf** denir.

Marifet

**KURU cüruf**  
çekmektir.





# Cüruf çekme

Cüruf banyodan çekildikten sonra daha fazla yanma kaybı olmaması için termite reaksiyonunu sonlandırmak üzere süratle soğutulmalıdır. Bunun için en basit yöntem cürufu soğuk ve eğimli bir beton yüzey üzerine yaymaktır.

Bu şekilde cüruf soğurken aralardaki sıvı alüminyum katı artıklar arasında sızar ve aşağı akar.

Asal gaz kabinlerinde soğutan teknolojiler de mevcuttur.

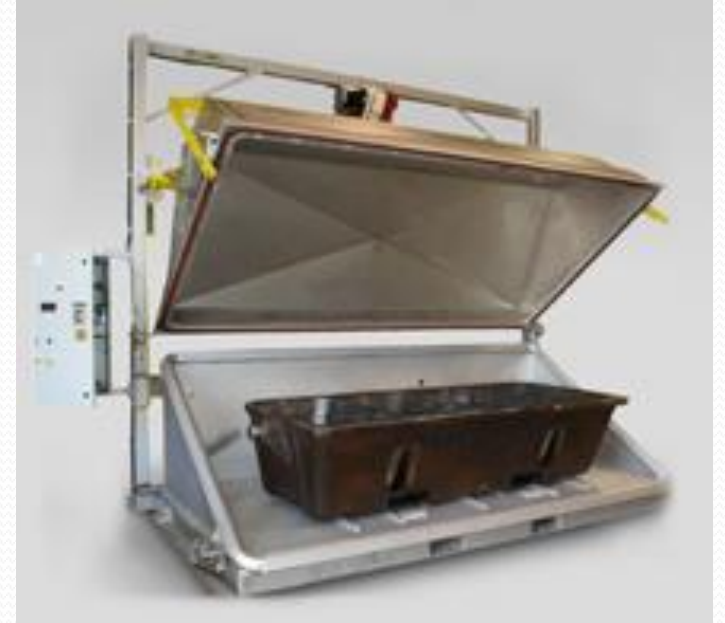


# Cürufu etkileyen faktörler

- Cüruf çekme sıcaklığı
- Cüruf çekmeden önce uygulanan flaks pratiği
- Cüruf çekme pratiği
- Cürufun soğutulma şekli ve şartları

## Cüruf soğutma pratikleri

- Havada soğutma
- Döner soğutucular
- Argon gazı altında soğutma
- Cüruf presleri





# Cüruf değerlendirme

Islak (white) cüruf

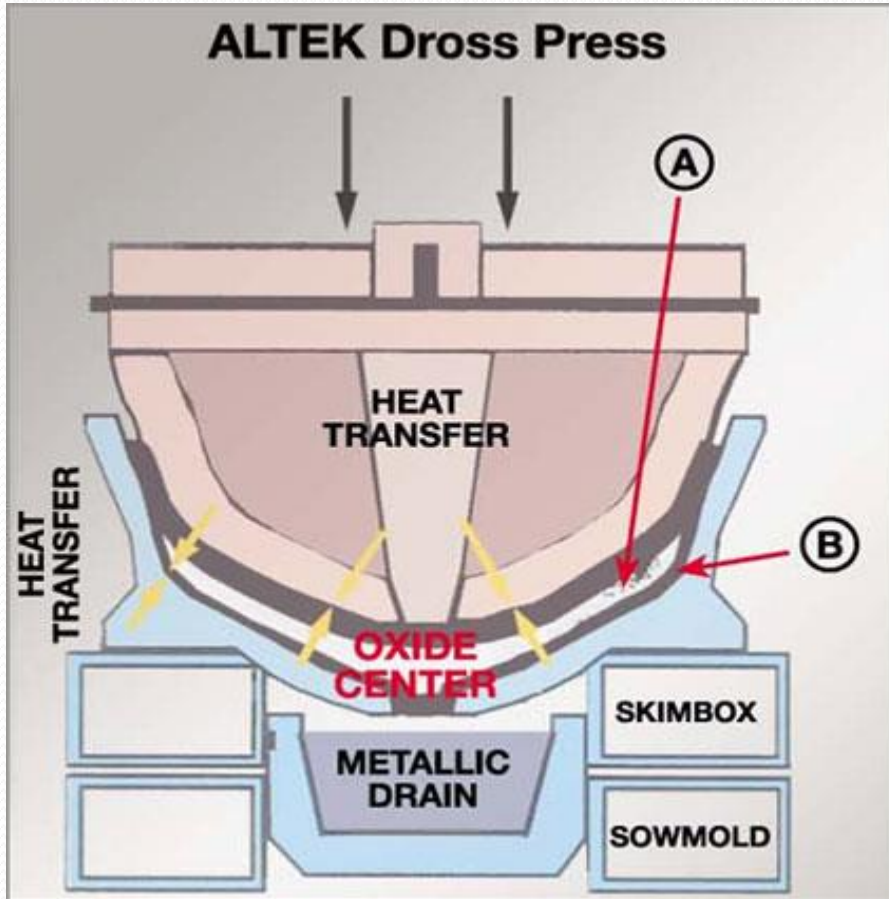


kuru (black) cüruf



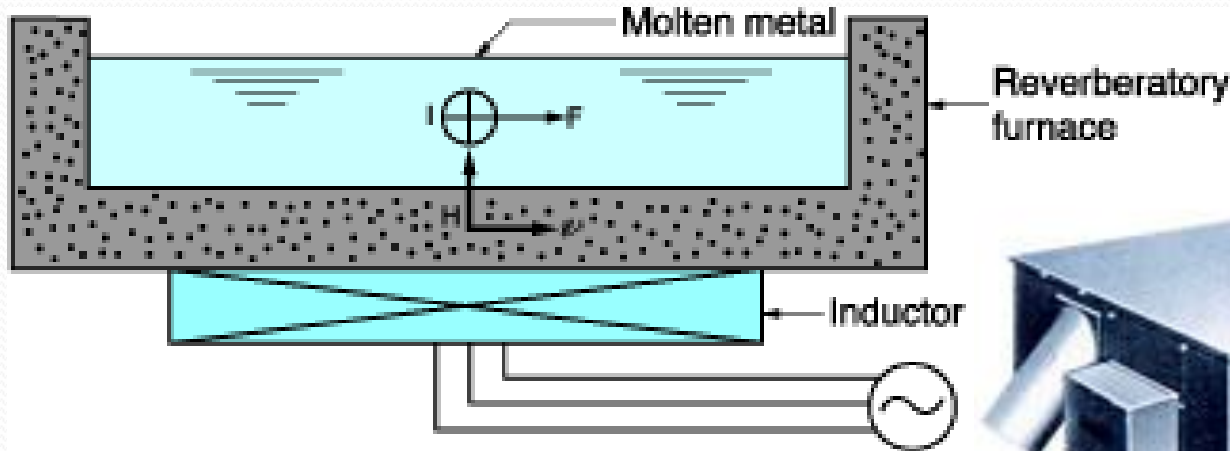
- cüruf miktarı üretimin %10'unu bulabilir.
- Cüruflar heterojen karakterdedir.
- kazanılabilecek metal %10 ile %70 arasındadır.

# Cüruf değerlendirme



# Banyo karıştırma

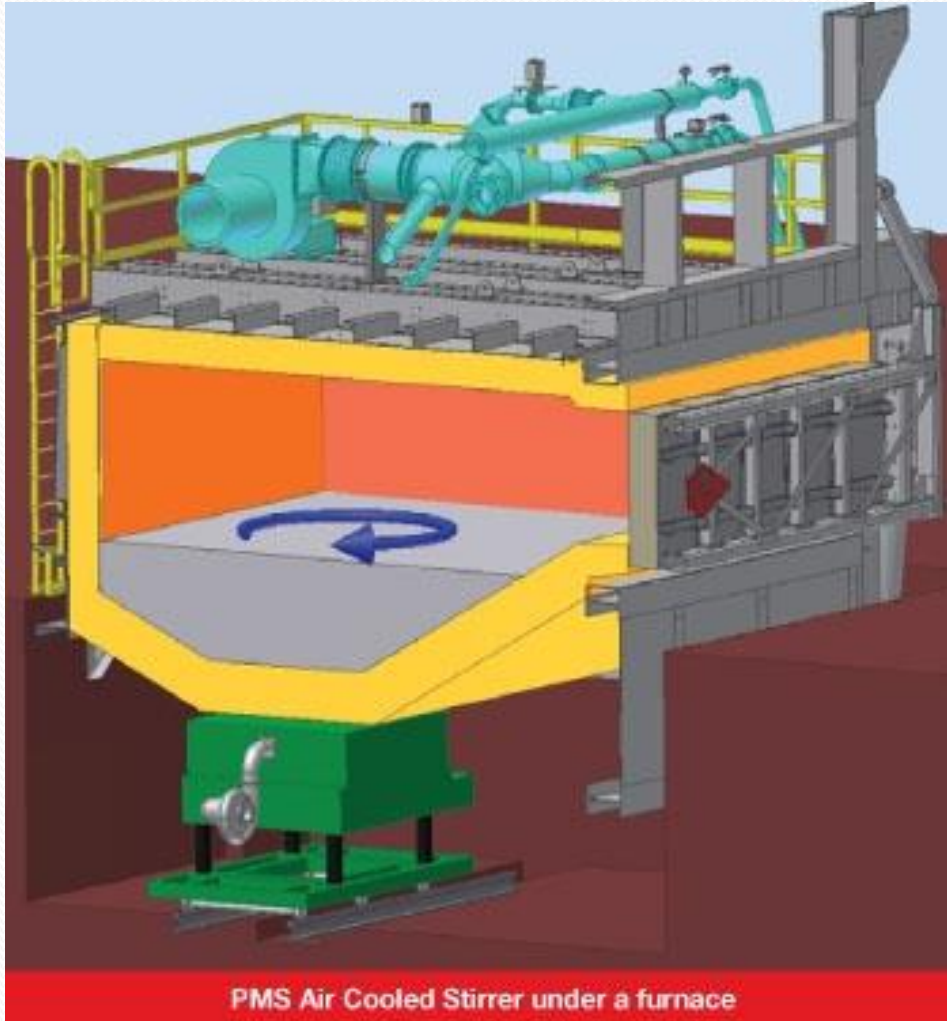
Daha düşük enerji sarfı ile daha hızlı ergitme  
Daha seri alaşımlama,  
Bileşimde homojenlik  
Banyo ısısının homojen dağılması  
Daha az oksitlenme



EMS



# Banyo karıştırma



PMS



# alaşımlama

element	Ergime noktası (°C)
Al	660
Fe	1535
Mn	1245
Cu	1083
Si	1410
Ti	1660
B	2300
Sr	769
<b>Mg</b>	<b>650</b>

Yüksek ergime noktasına sahip elementlerin alaşımlaması kesinlikle elementel katkı şeklinde yapılmamalıdır. Banyoda çözünmeleri zaman almakta analiz sonuçları yanıltıcı olmaktadır.



# Alaşımlama-master alaşımlar

Al-Sb	%8/%10/%15	Al-Mo	%10
Al-Be	%2.5/%5	Al-Ni	%20/%50
Al-Bi	%10	Al-Sc	%2
Al-B	%3/%4/%5/%6/%8	Al-Si	%20/%25/%30/%50
Al-Ca	%5/%6/%10	Al-Ag	%10
Al-Ce	%10	Al-Sr	%3.5/%5/%10/%15
Al-Cr	%5/%10/%20/%80	Al-Ti	%5/%6/%10/%80
Al-Co	%5/%10	Al-Ti-B	5/1, 3/1, 5/0.2
Al-Cu	%33/%50/%80	Al-Ti-C	3/0.15, 3/0.2
Al-Fe	%10/%20/%25/%30/%45/%80		
Al-Li	%2/%5		
Al-Mg	%20/%25/%50/%65/%75		
Al-Mn	%10/%15/%20/%25/%30/%60/%80		

# Alaşımlama-Master alaşımlar

Yüksek yüzdeliler  
element tozu ve flaks  
karışımı şeklindedir!



# Silis modifikasyonu

Modifikasyonu başarılı bir döküm alaşımı iyi modifiye edilmemiş benzerinden en az 3 kat daha yüksek süneklığe sahiptir.

Silis fazının modifikasyonu 3 şekilde gerçekleşir.

Soğutma modifikasyonu:

yüksek katılma hızlarında silis fazının şekli değişir.

Termal modifikasyon:

çözeltiye alma tavı ile değişir.

Kimyasal modifikasyon

+ 100-150 ppm Na, Sr, Sb, Ca, P

# Silis modifikasyonu

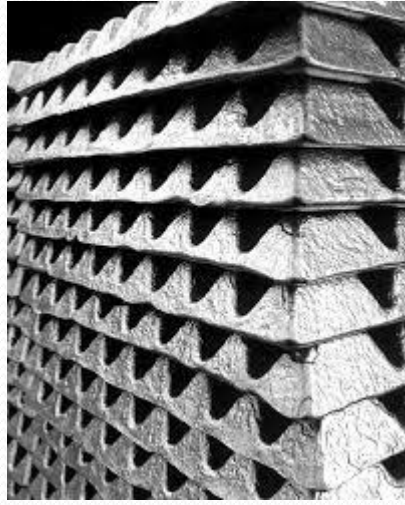
Ülkemizde silis modifikasyonu istisnasız olarak AlSr master alaşımları ile yapılmaktadır.

## Bileşim

AlSr10  
AlSr5

## Ürün şekli

külçe  
filmaşın





# Modifikasyon mekanizması

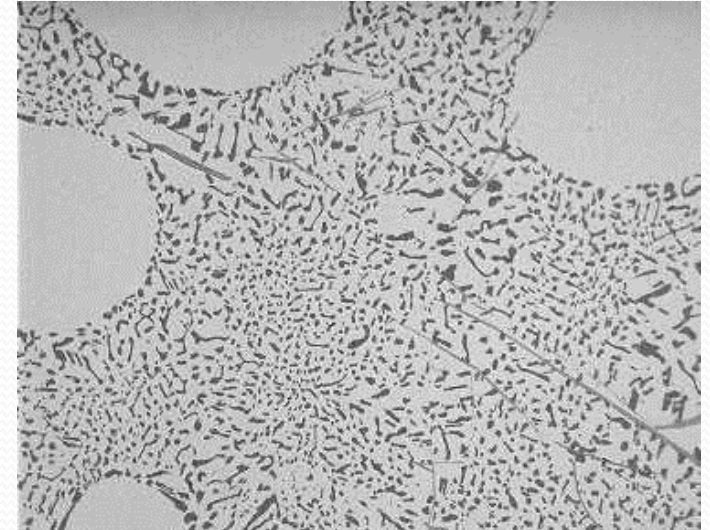
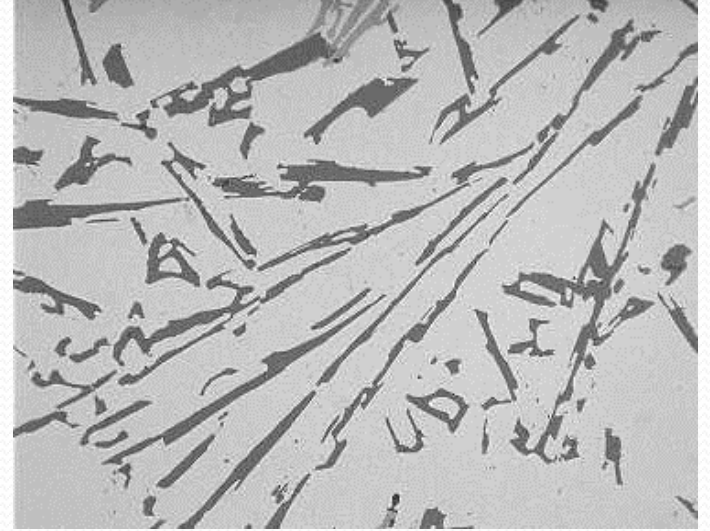
Ötektik silisin modifikasyon döküm parçanın süneklığı yönünden önemlidir.

Modifikasyon için 100 ppm kadar Na, Sr, Ca veya Sb ilave edilir.

Modifikasyonla silis lamelleri ince ipliksi bir dokuya dönüşür.

uzama değeriğini yükselir fakat gözeneklilik artar.

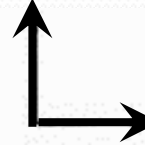
+100 ppm Sr



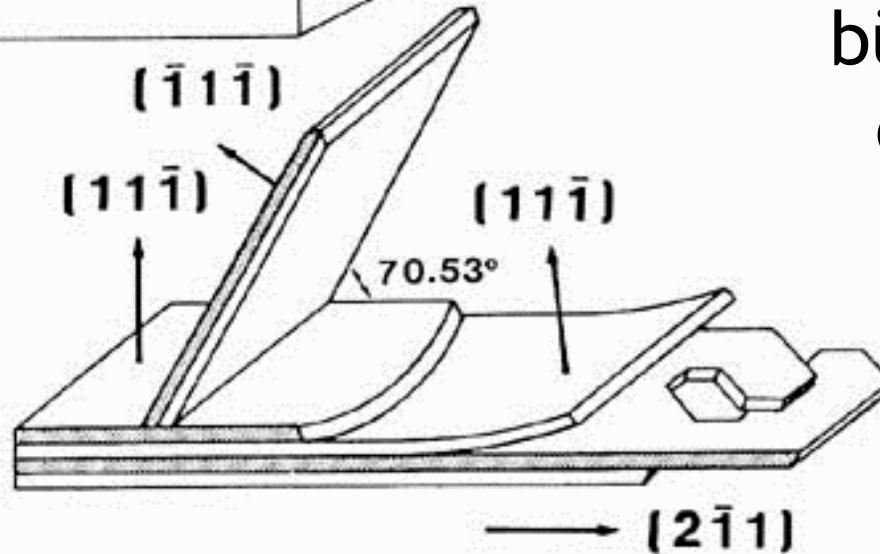
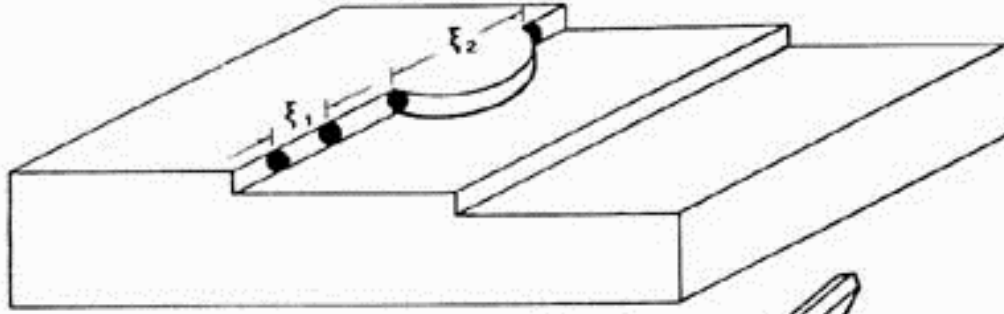


# Modifikasyon mekanizması

Büyüme yönü



Tabaka büyümesi



Modifikasyon elementleri büyüme yönünde çeşitlilik sağlar.



metalik malzemeler  
30.10.2014

# Tane küçültme

- ⇒ tane küçültme; neden?  
nasıl?
- ⇒ ticari tane küçültücüler
- ⇒ dökümhanelerde izlenen pratik
- ⇒ sürekli/yarı sürekli vs parça döküm
- ⇒ B ile tane küçültme
- ⇒ B ile tane küçültme mekanizması
- ⇒ değişik döküm alaşımlarında denemeler

# tane küçültme - neden ?

ince, eş eksenli ve homojen bir tane yapısı,

döküm parçanın sağlamlığını ve kalitesini arttırır:

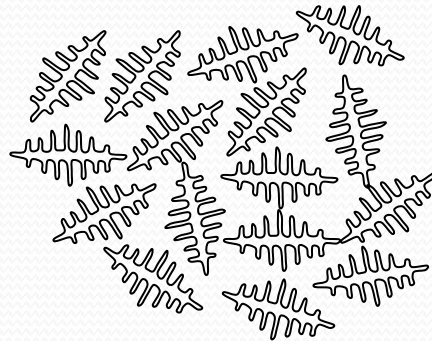
dendritlerin kavuşması daha yüksek katı oranında!

besleyicide sıvı metalin ömrü uzun!

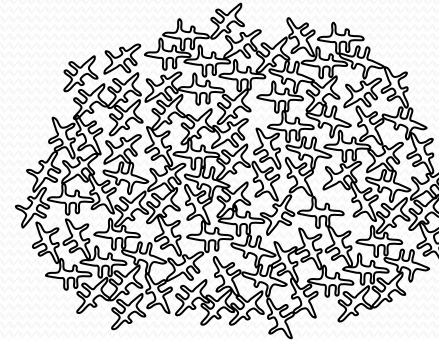
besleme ve kalıp dolumu daha başarılı!

✓ düşük çekinti

$F_s \sim 0.3$



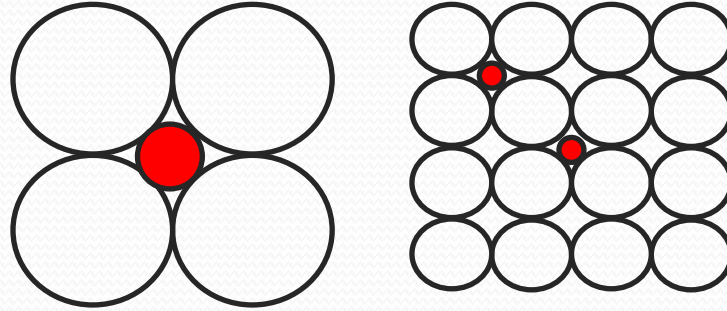
$F_s \sim 0.6$



# tane küçültme - neden ?

küçük taneler // küçük taneler arası gözenekler

✓ küçük/dağınık gözenekler



mikrosegregasyon = f(tane boyutu)

✓ düşük segregasyon

✓ üstün yüzey kalitesi

anodizasyon vb yüzey işlemlerine  
mükemmel uyum



# tane küçültme - neden ?

## üstün mekanik özellikler

izotropi

yüksek akma mukavemeti

süneklik

yüksek yorulma direnci

## verimli döküm işlemi

sıcak yırtılmaya çözüm!

düşük hurda oranları!

istikrarlı ve güvenilir!

# tane küçültme - neden ?

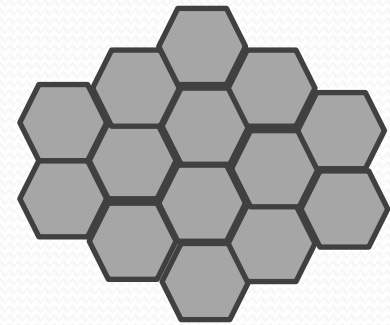
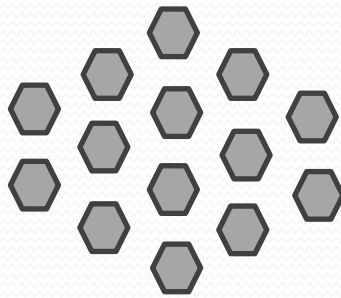
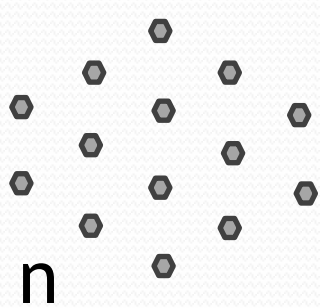
mekanik ve ısı işlemlere yatkınlık

- ✓ (kolay şekil verilebilirlik:  
dövme/hadde/ekstrüzyon)
- ✓ kolay homojenleştirme: kısa HT  
çevrimleri
- ✓ kolay çözeltiye alma: kısa çözelti  
işlemleri  
kısa sürede yaşlanma sertleşmesi

**kaliteli parça / verimli-ekonomik proses**

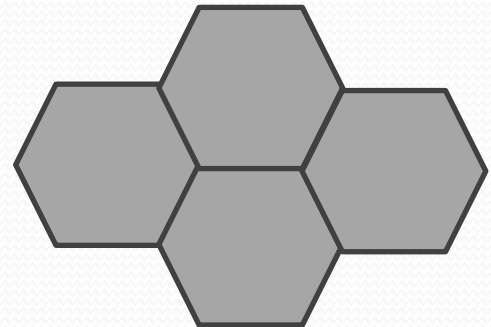
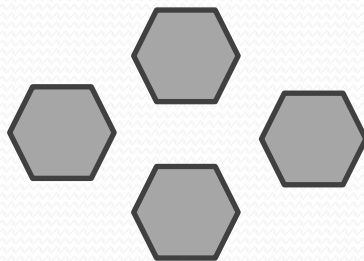
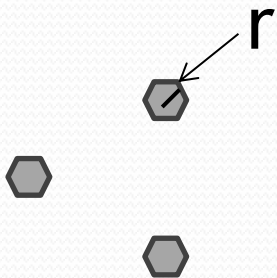
# tane küçültme - nasıl ?

–  $dn/dt \downarrow$   $dr/dt$



*ince taneli*

$\downarrow dn/dt$   $\uparrow dr/dt$



*iri taneli*

# tane küçültme - nasıl ?

↑ dn/dt

etkin çekirdek:

banyoda kararlı / çözünmez!

$\alpha$ -Al ile ↑ kristallografik uyum (>90%)

$\alpha$ -Al ile benzer yoğunluk:  $\rho_{\text{çekirdek}} \sim \rho_{\text{Al}}$

TiAl<sub>3</sub>: çözünür < 1500ppm Ti / 97.8%

**TiB<sub>2</sub>: çözünmez / 95.7%**

AlB<sub>2</sub>: çözünür < 220ppm B / 96.5% (Ti,Al)B<sub>2</sub>

özel durumlar için TiC!

# tane küçültme - nasıl ?

↓ dr/dt

katılaşma ısısı ve ısı transferi dengesi kritik!  
Açığa çıkan katılaşma ısısı = f(alaşım elementi paylaşımı).

**Katı-sıvı arayüzeyinde alaşım elementi paylaşımı büyümeyi yavaşlatır!: GRF**

<i>elem.</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>
<b><i>GRF</i></b>	0.1	2.8	2.9	3.0	3.3	3.5	5.9	246



# ticari tane küçültücüler

hızlı çekirdeklenme



etkin çekirdek  
 $TiB_2$

yavaş büyüme



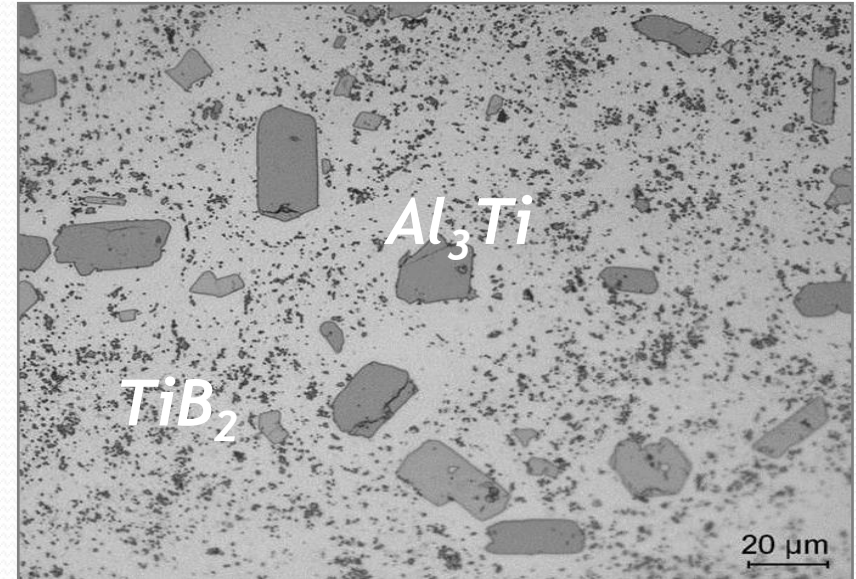
büyüme yavaşlatıcı  
ekstra Ti

Al-%1-10Ti-%0.2-3B

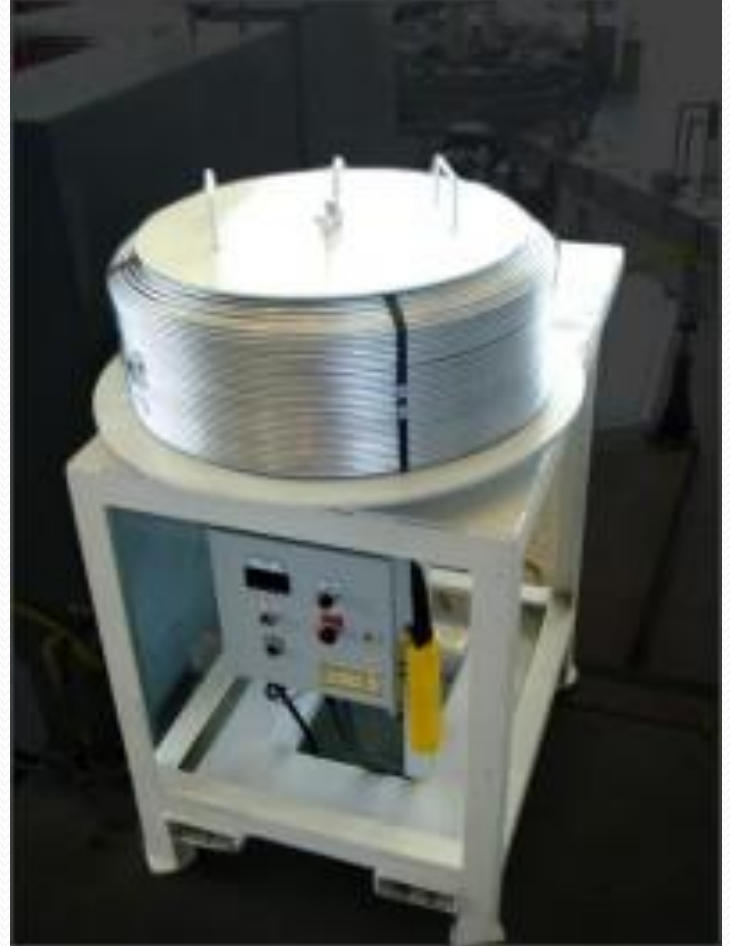
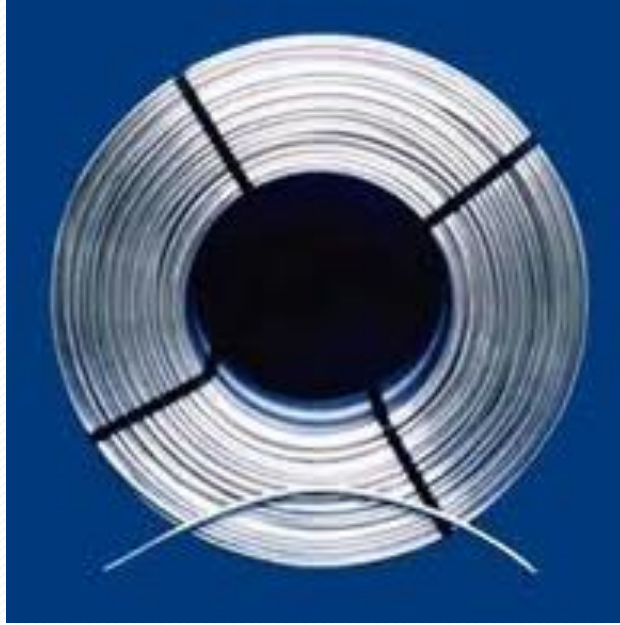
Al-5Ti-1B filmaşın :

2.2Ti ( $TiB_2$  çözünmez )

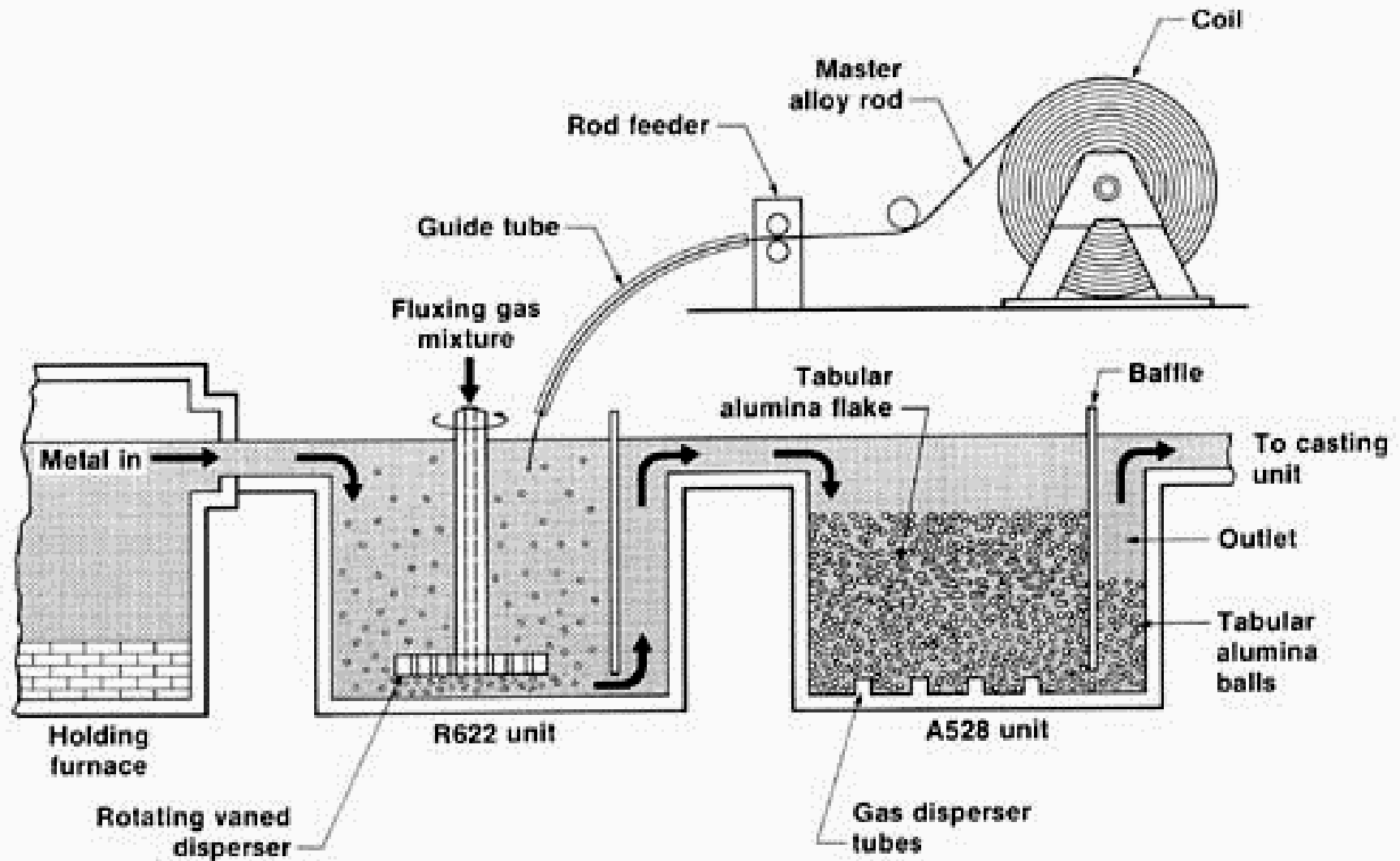
2.8Ti ( $TiAl_3$  çözünür)



# ticari tane küçültücüler









# Tane küçültme



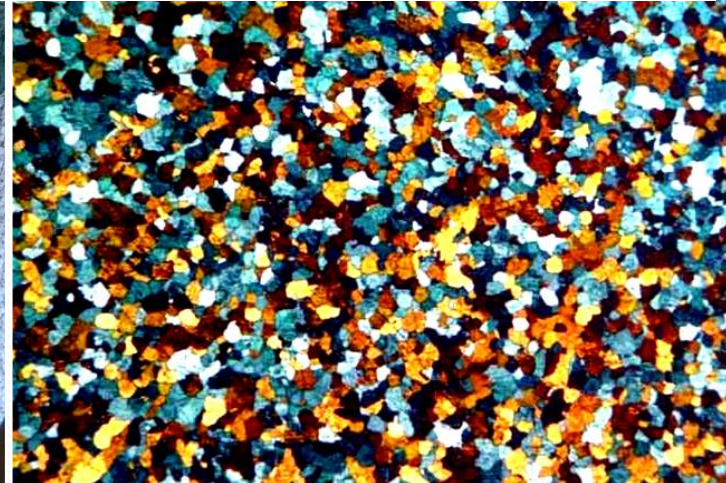


# İşlem alaşımlarında AlTi5B1

before addition	after addition / holding time (min)				
	2	5	10	15	30
					

*katkısız*

*ilaveden 2 dk sonra*



# sürekli/yarı-sürekli vs parça döküm

sürekli döküm	özellik	parça döküm
düşük	<i>katılaşma öncesi aşırı soğuma</i>	büyük
kısa	<i>aşılamadan katılaşmaya geçen süre</i>	uzun
yüksek	<i>alaşım bileşimi-saflık</i>	düşük
düşük	<i>alaşım bileşimi-Ti içeriği</i>	yüksek
işlem ?XXX	<i>alaşım</i>	<b>döküm ?XX</b>



# sürekli/yarı-sürekli vs parça döküm

**döküm alaşımları** yüksek miktarda Si

↑ akışkanlık / dökülebilirlik

↓ çekinti

↓ sıcak yırtılma

↓ yoğunluk

↑ mekanik özellikler

Si > %3;

Si, Ti ile Ti-Si bileşikleri oluşturur : **Si zehirlenmesi**

↓  $Al_3Ti$  ve  $TiB_2$  partikülleri / etkinlikleri zarar görür!

↓ tane inceltme kapasitesi / ↑ solma (↑ akışkanlık)

***∴ döküm alaşımlarında tane inceltme GÜÇ!***

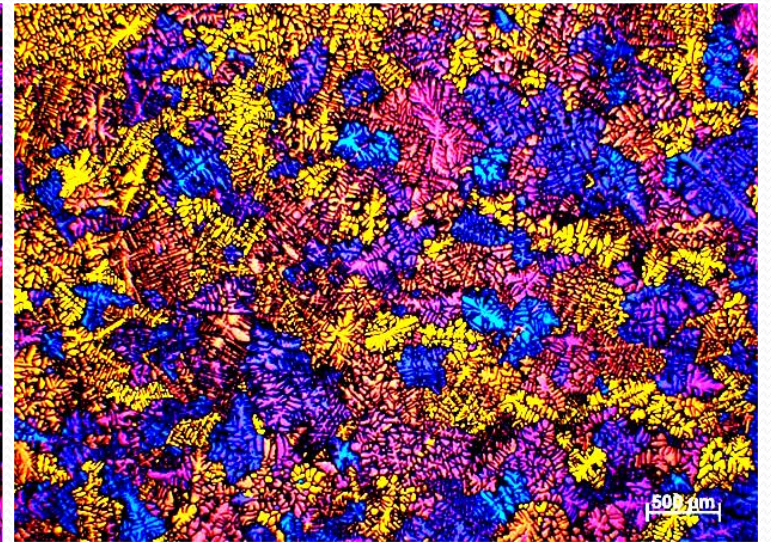
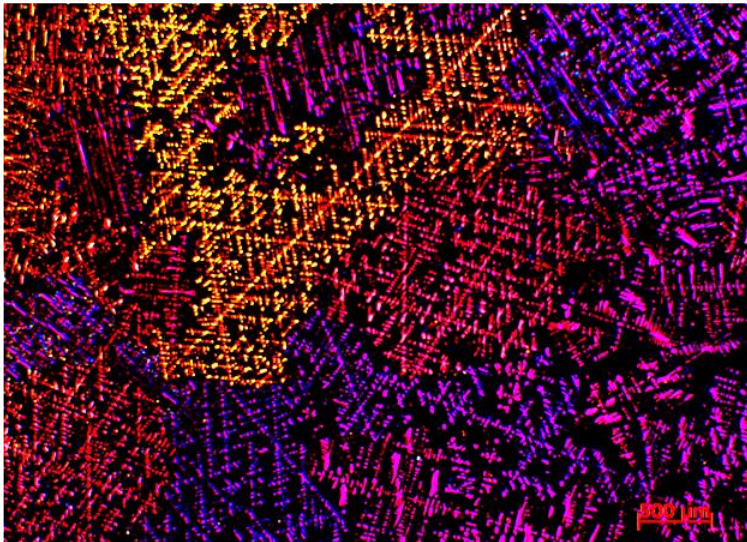
# Al-5Ti-1B / işlem vs döküm alaşımları

katkısız ilaveden 2 dk sonra

1050/3003/8011



AlSi7Mg





# parça dökümünde tane inceltme

sürekli dökümde uygulanan yöntemden aynen kopyalanmıştır!

Alüminyum dökümhanelerinde ağ% 0.1 kadar Ti içeren alaşımlı külçe kullanılır!

+ 0.2-0.4 ağ% Al-5Ti-1B filmaşın (2-4 kg/ton)

Al-5Ti-1B filmaşın      performans ↓      maliyet ↑

**Si'e rağmen etkili olabilecek alternatif tane incelticilere ihtiyaç var!**

# parça dökümünde tane inceltme

Al-B alaşımları! Yaklaşık 30 yıldır piyasada mevcut!

B çözeltideki Ti ile reaksiyona girerek “sludge” yapar!  
Sr ile reaksiyona girerek modifikasyona zarar verir!

B-zengin AlTiB tane incelticiler! : karma  $Al(Ti,B)_2$  !

Al-B alaşımları

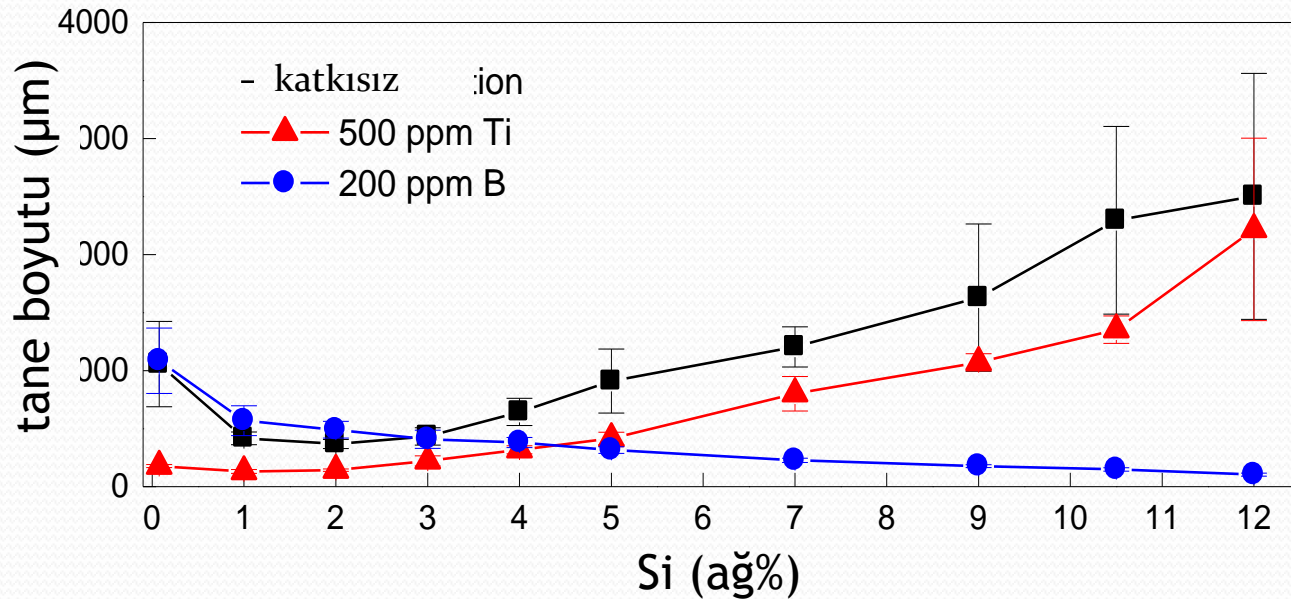
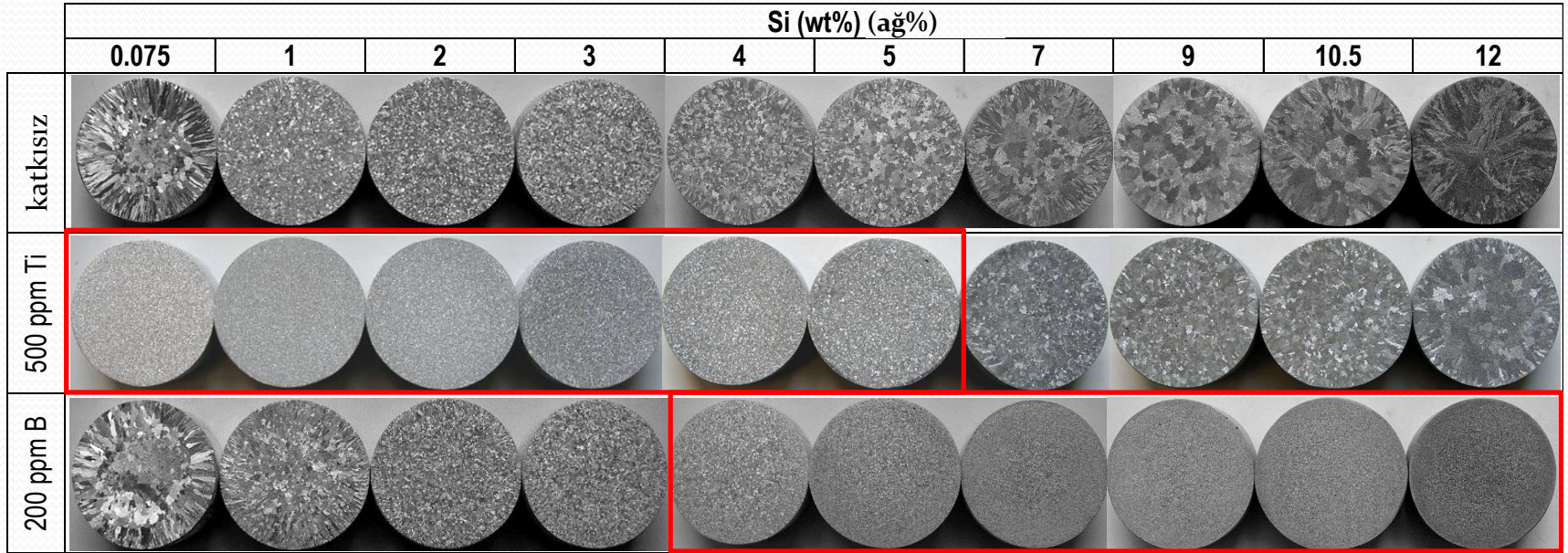
tane inceltici olarak kullanılmıyorlar!

iletken Al üretiminde Ti çöktürücüsü olarak kullanılıyorlar!

Dökümhaneler Ti’lu külçe kullanıyorlar!

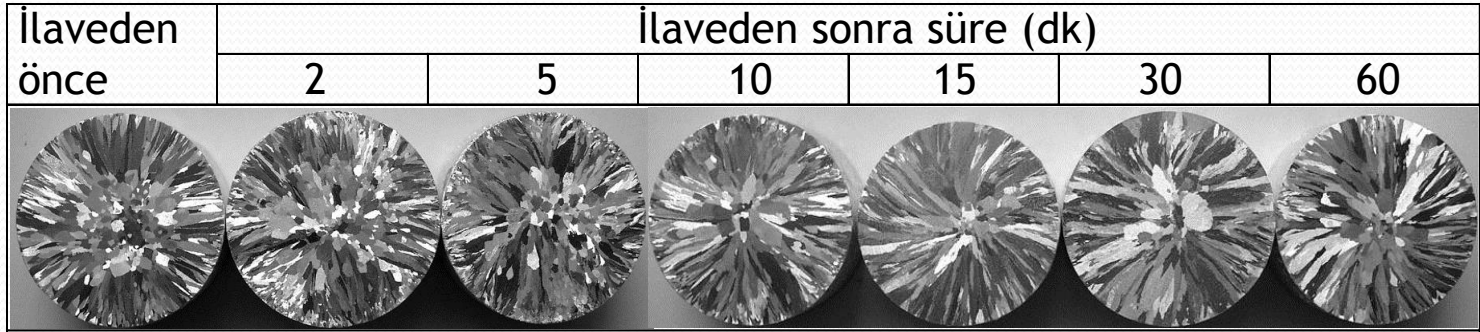
Ti’lu alaşıma B ilavesi // AlTiB ilavesinden farklı değildir!

# silis etkisi-Ti vs B ile birlikte



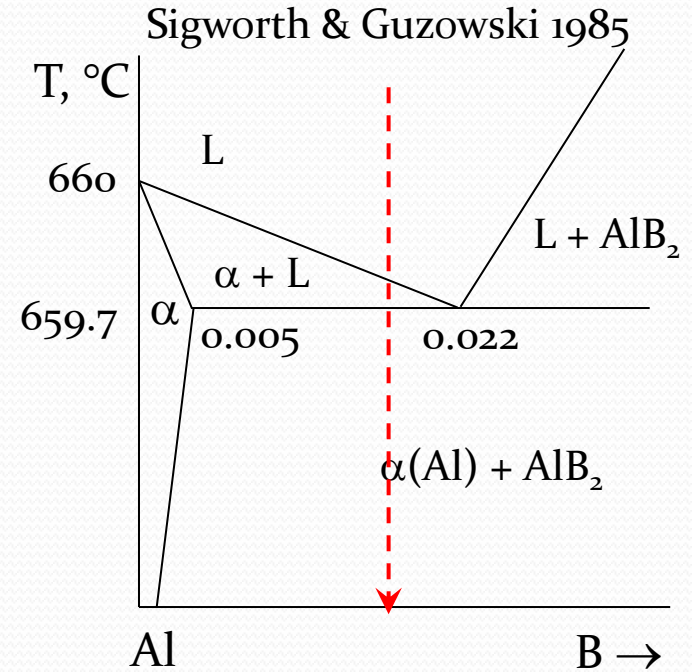
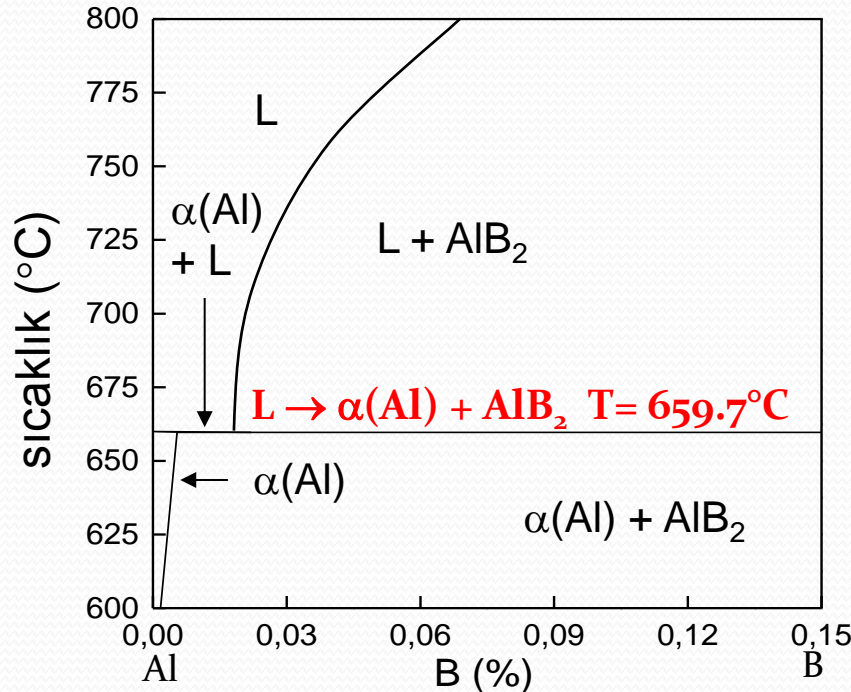


# saf alüminyum (99.7)

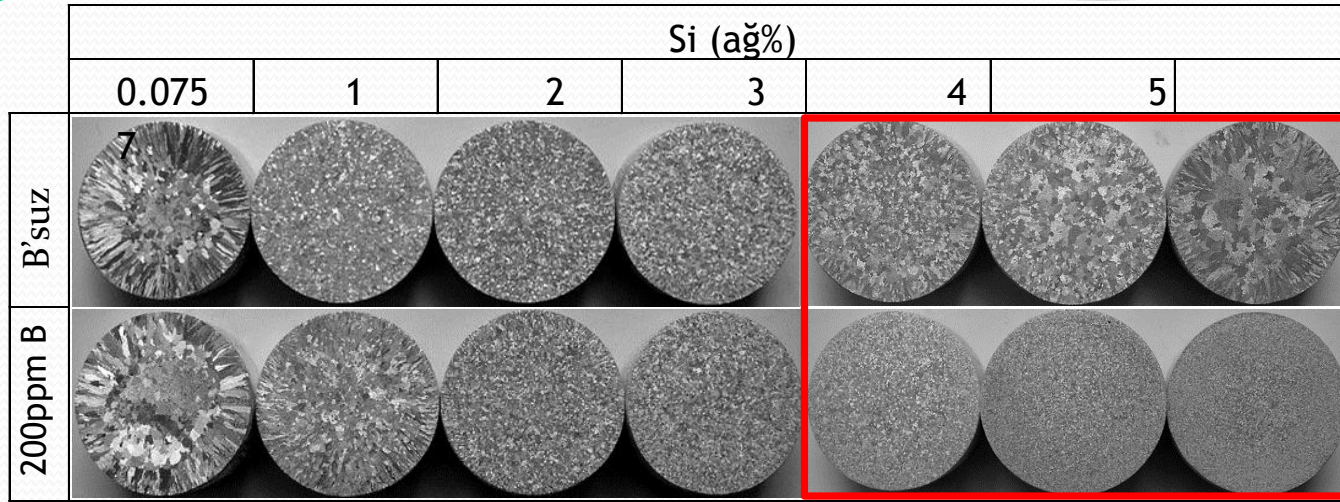


$AlB_2$  B < 0.022 ağı% iken sıvı alüminyumda kararlı değil!

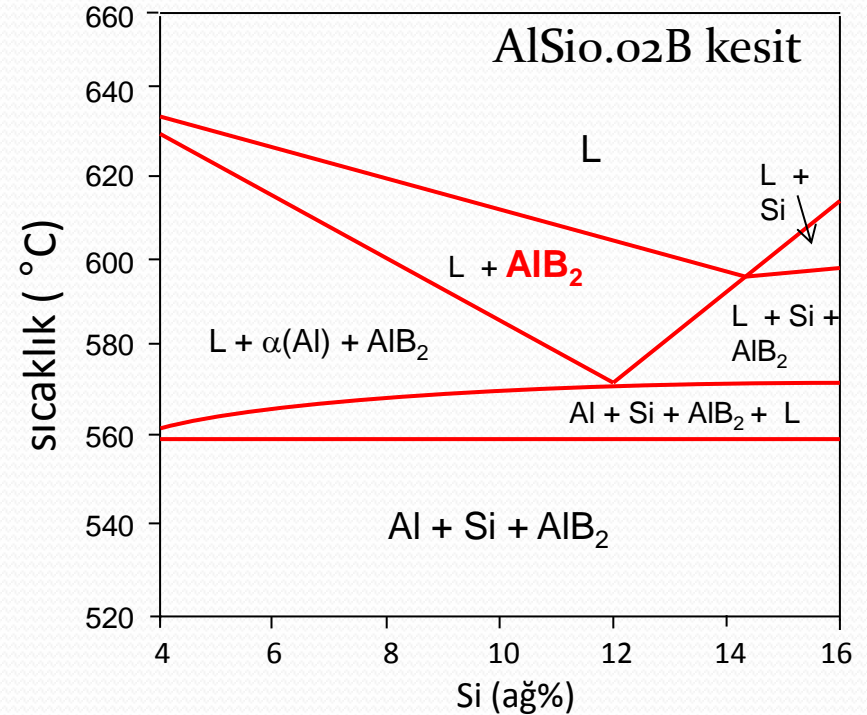
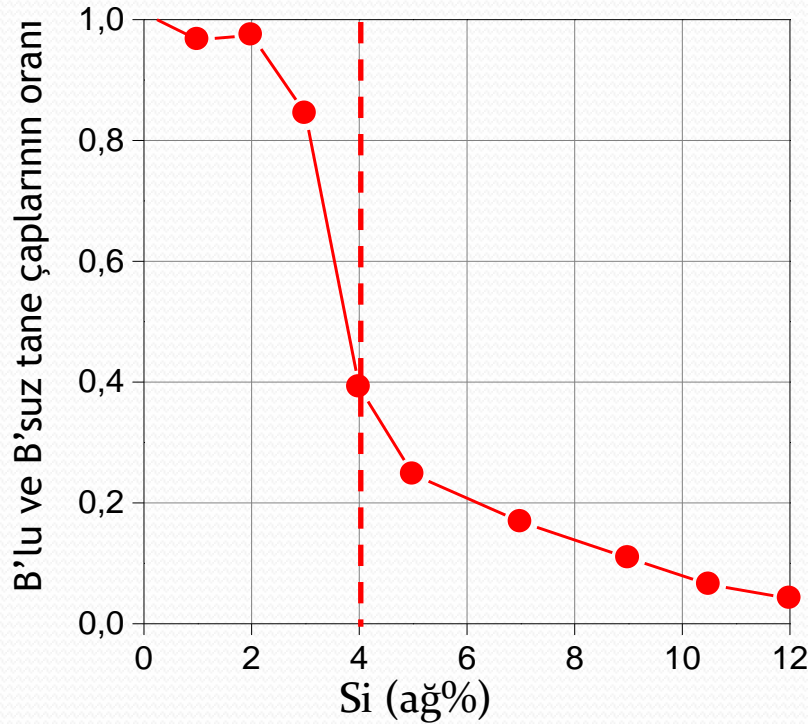
$\alpha(Al)$  ilk katılaşılan fazdır ve  $AlB_2$  tarafından çekirdeklendirilemez!



# B ilavesesi ile tane inceltme mekanizması



Al-Si-B üçlü sisteminde ağ %4 Si'den itibaren sıvıdan ilk katılan faz  $AlB_2$

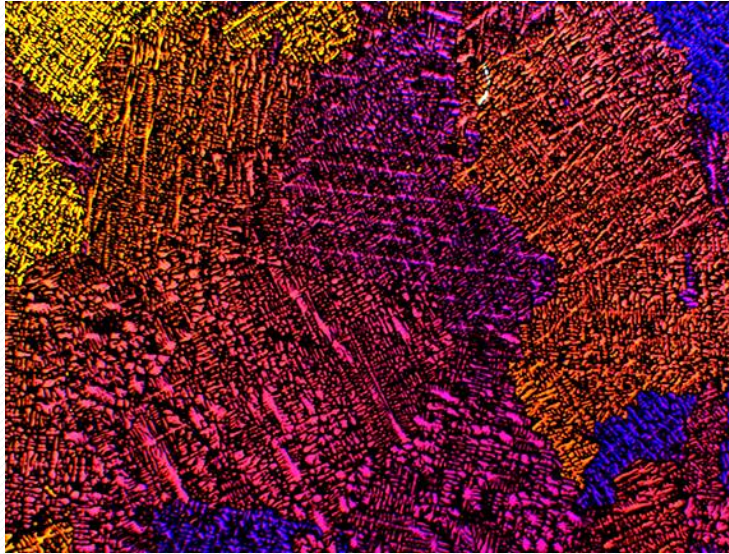




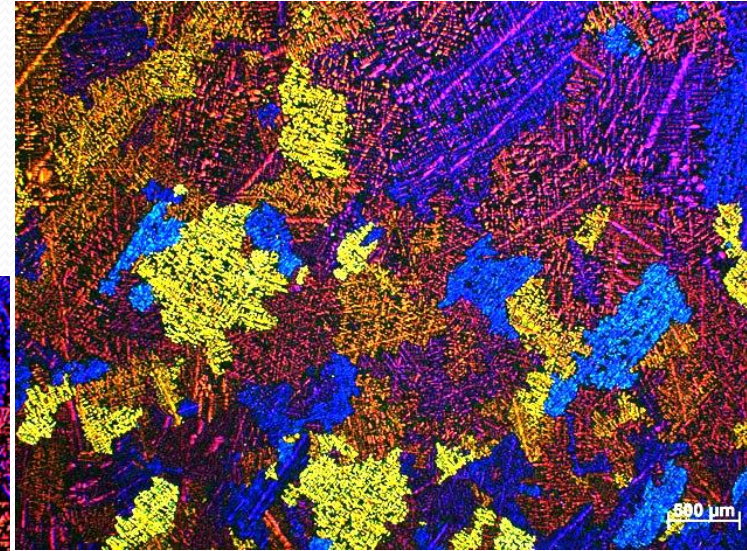
# tane küçültme

AlSi7Mg0.3

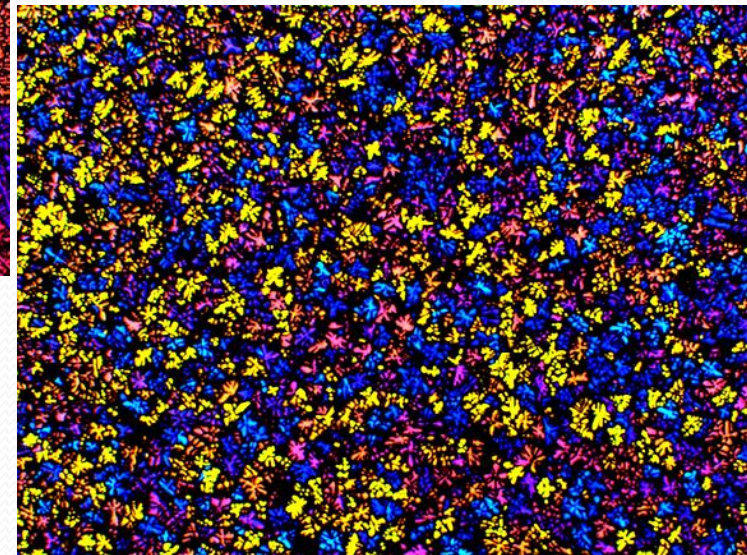
*ilaveden önce*



*ilaveden sonra*

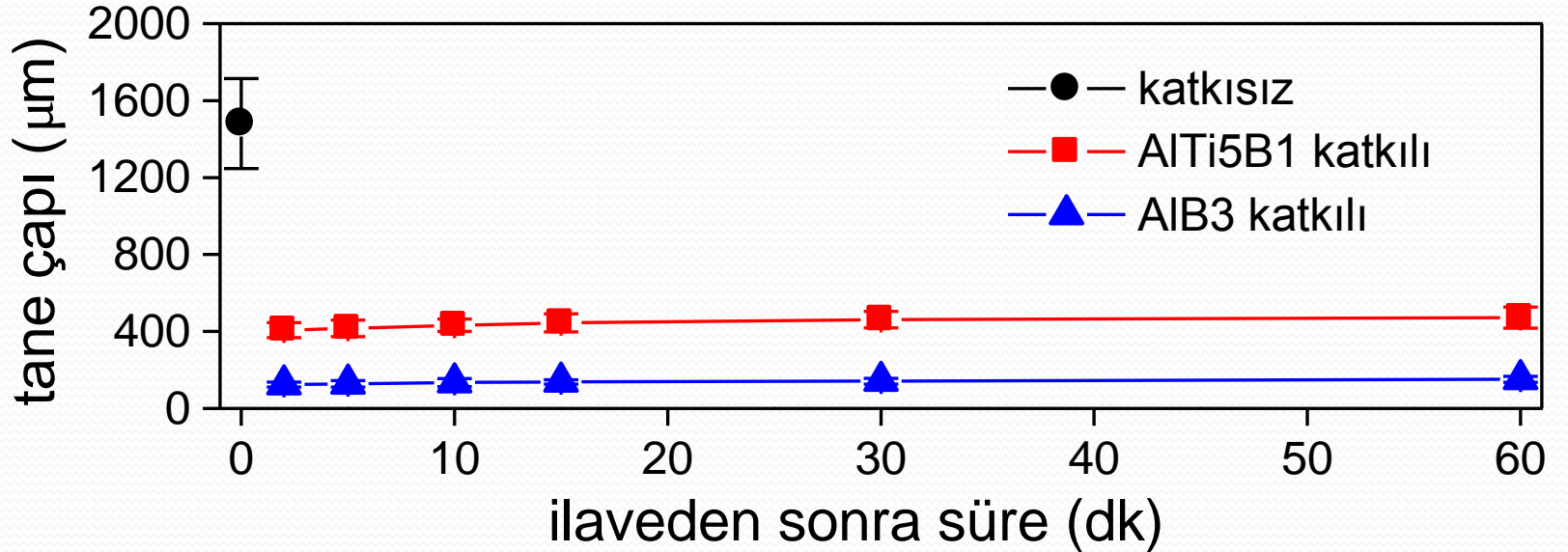
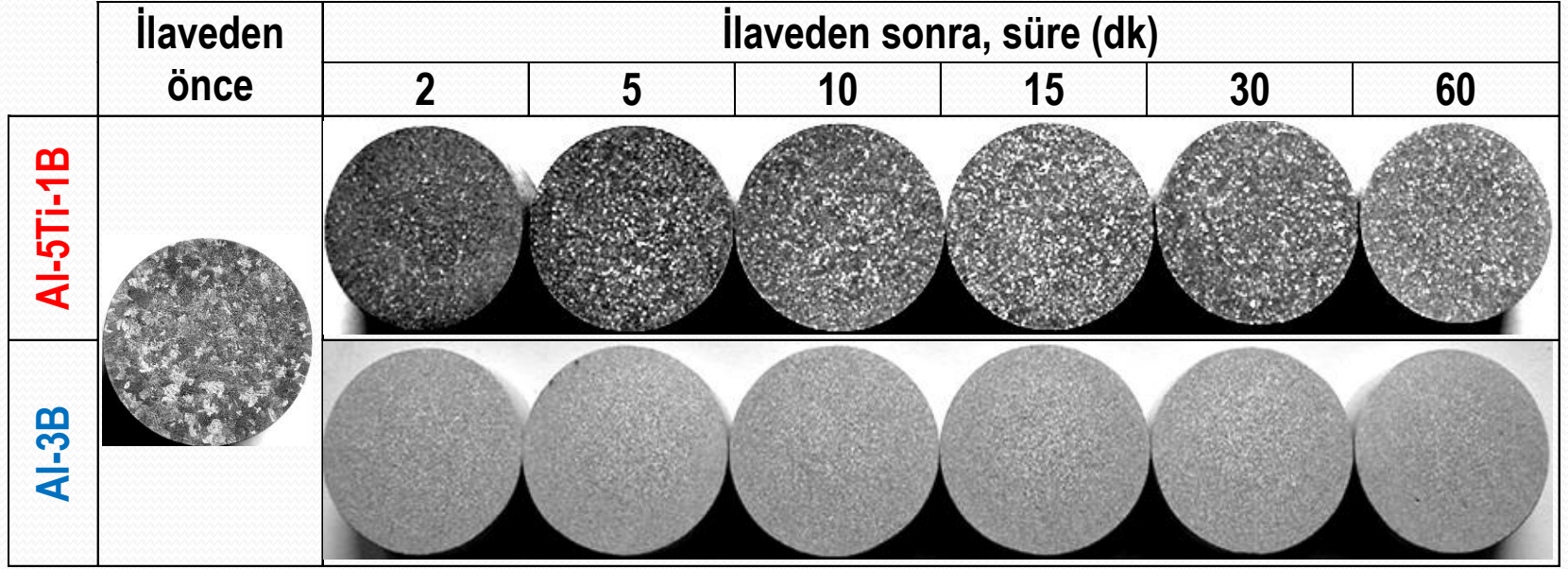


Al-5Ti-1B



Al-3B

# AlSi7Mg0.3

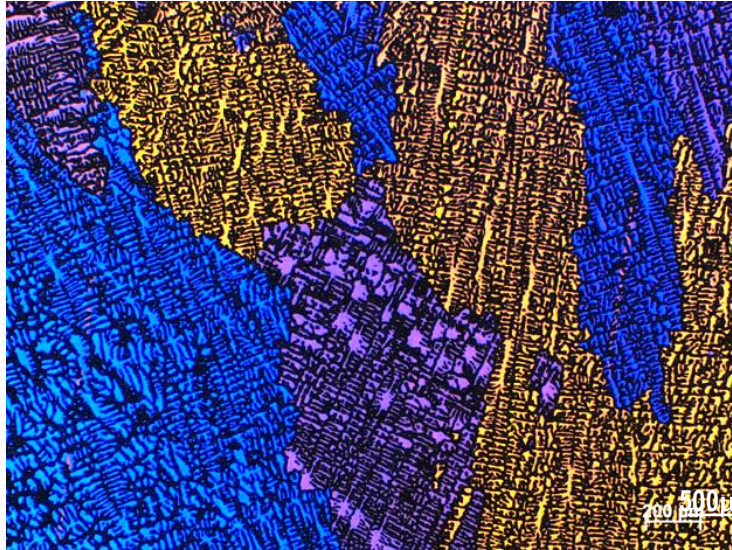




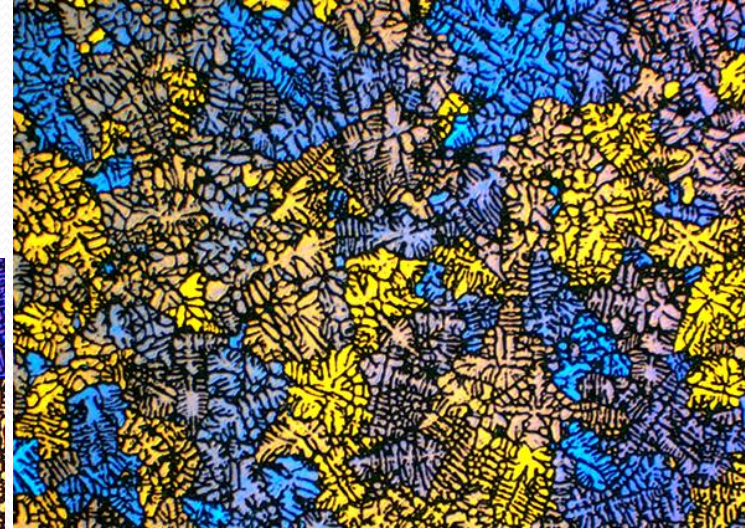
# tane küçültme

AlSi11Cu2

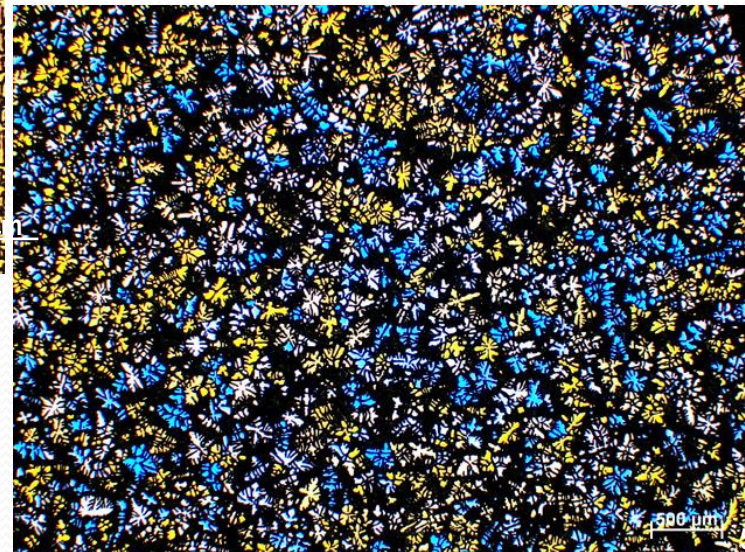
*ilaveden önce*



*ilaveden 2 dk sonra*



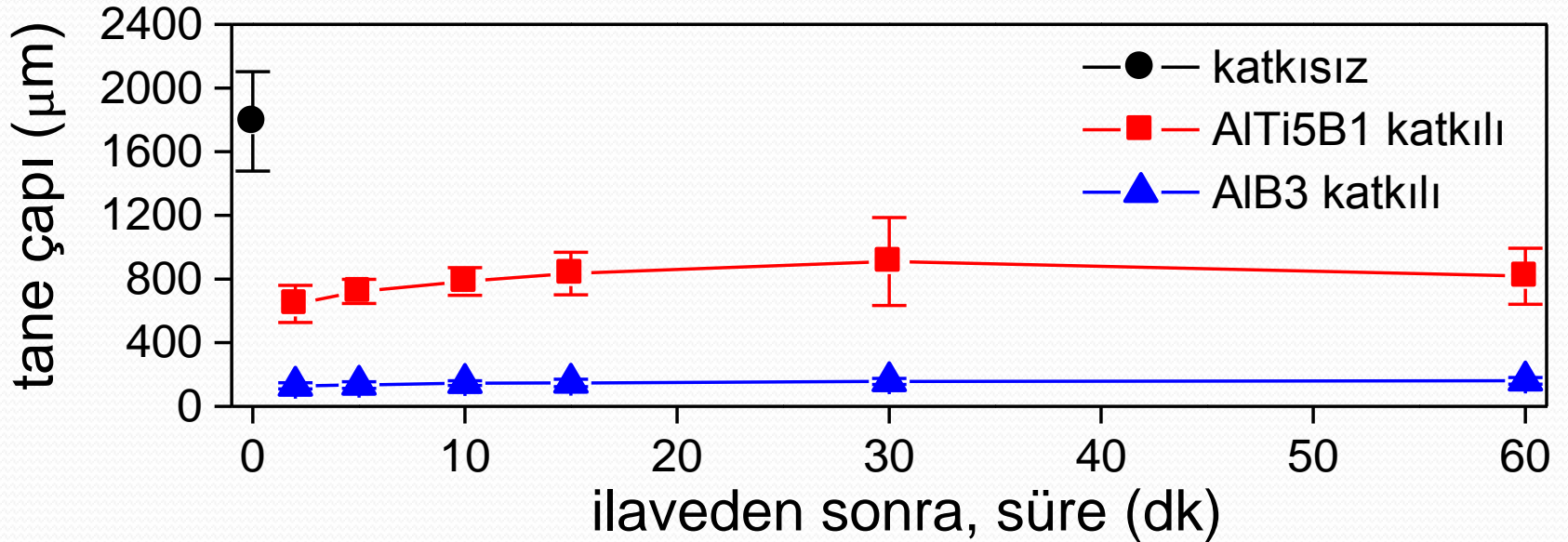
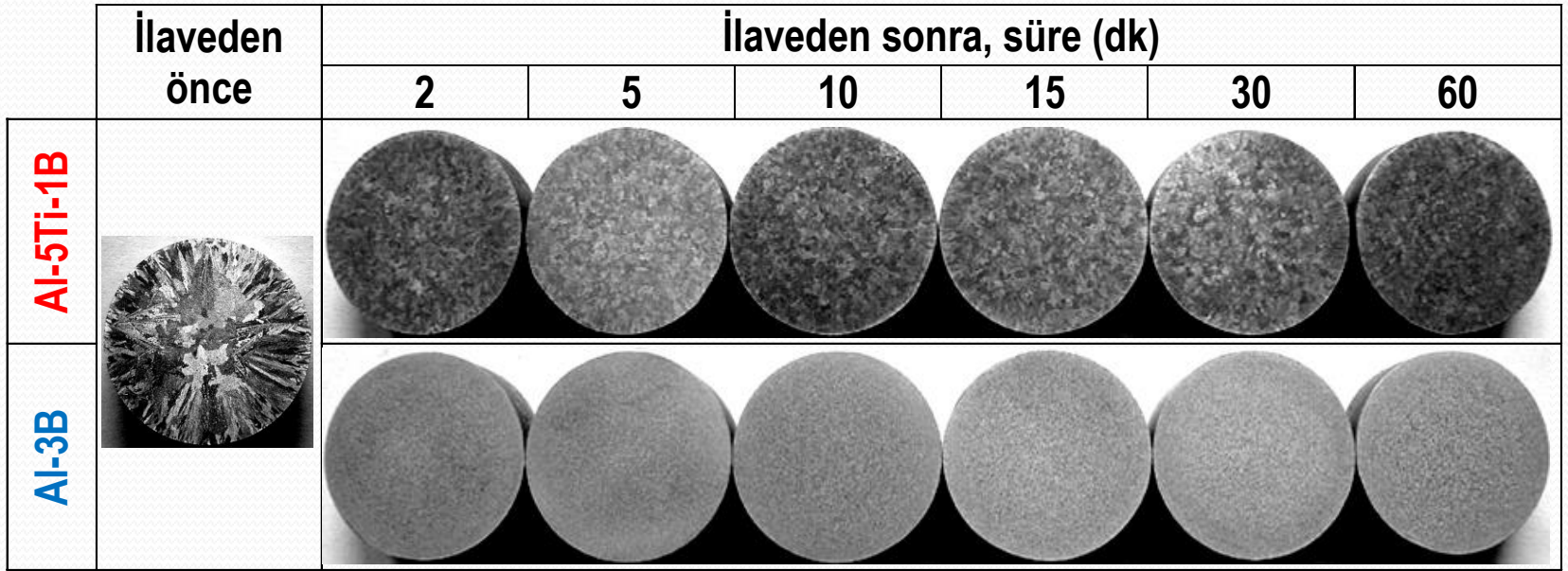
Al-5Ti-1B



Al-3B



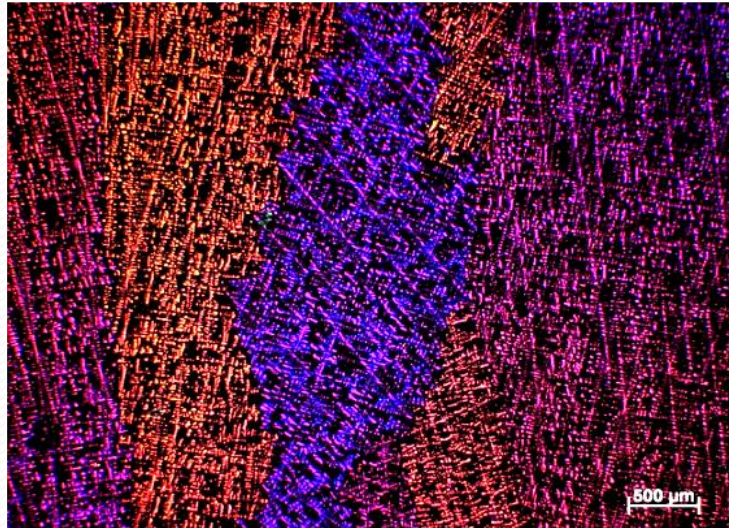
# AlSi11Cu2



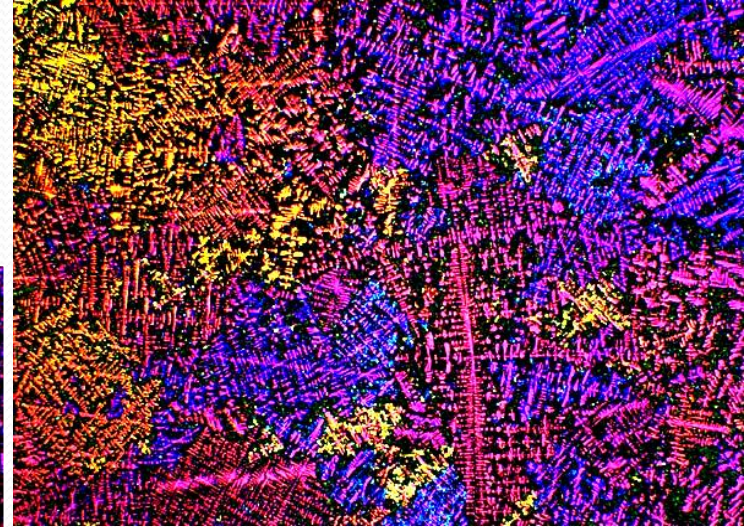
# tane küçültme

AlSi12CuFe

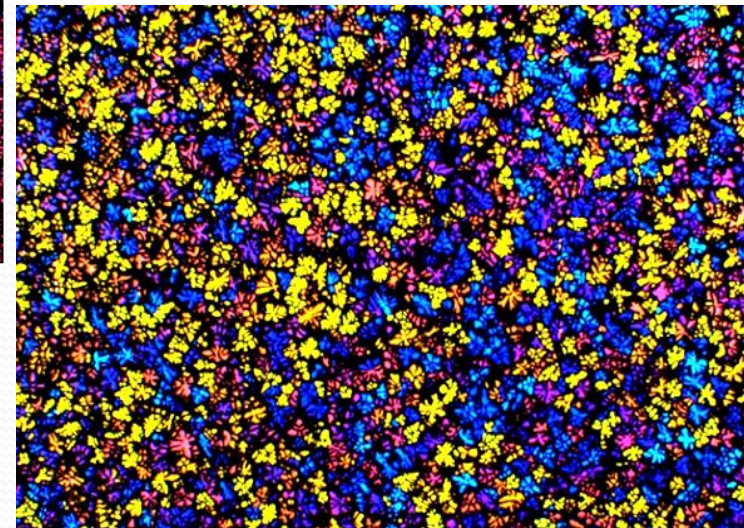
*İlaveden önce*



*İlaveden 2 dk sonra*



Al-5Ti-1B



Al-3B



# tane küçültme - özet

- döküm alaşımları için Al-B mükemmel bir tane inceltici!
- Al-B ile tane çapı Al-5Ti-1B ile elde edilenden en az 3 kat daha küçük!
- döküm parçalarda  $d < 200\mu\text{m}$  standart!
- $\text{AlB}_2$  taneciklerinin etkin çekirdeklenme yapabilmesi için alaşımın Ti %si kontrol edilmeli: ( $< 80$  ppm) yoksa  $\text{AlB}_2 \rightarrow \text{TiB}_2$
- $\text{AlB}_2$  tanecikleri alüminyum katılaşmaya başlamadan kısa süre önce oluştukları için Al-B ile tane inceltmede zamana bağlı performans kaybı yok!
- tekrar ergitmelerde aynı derecede etkili!

# Filtrasyona tabi kalıntılar

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  (özellikle hurda şarjı fazla olduğunda)
- Spineller ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  and  $\text{MnAl}_2\text{O}_4$ )
- $\text{Al}_4\text{C}_3$  (primer üretimden gelir; temizlenmemiş-yağlı-boyalı- hurda şarjı)
- Nitrürler
- Aşınma ve erozyon sonucunda refrakter parçaları
- Fe-Mn-Cr metallerearası bileşikleri: basınçlı dökümde (toleranslar yüksek; sorun daha belirgin!)

# Filtrasyonun faydaları

## Sıvı metal temizliği

Akışkanlık yüksek, besleme iyi ve döküm yapısı kaliteli

## Döküm yapısı temizliği

Mekanik özellikler (çekme, akma, yorulma sürünme dayanımı) gelişir!

Uzama ve süneklik değerleri özellikle yüksek; çoğu kez en az 2 kat!

Yüzey kaliteli-parlak yüzey

Anodizasyon kalitesi yüksek

Folyoda delik sayısı az; folyo üretiminde yırtılma az

Üretim firesi az



# filtrasyon

Filtrasyon seviyesi/uygulması = temizlik gereksinimi

Filtre türüne göre

- Fiberglas tekstil filtreler
- alümina bilyalı filtreler
- Seramik köpük filtreler
- bağlı partikül filtreler
- Kartujlu rijid filtreler

Filtreleme mekanizmasına göre

- Kek filtrelemesi : köpük filtreler
- Derin yatak filtrelemesi : kartuş filtreler

# Tekstil filtreler

Kritik olmayan ürünlerde fiberglas tekstil ürünlerden imal edilmiş filtreler kullanılır.



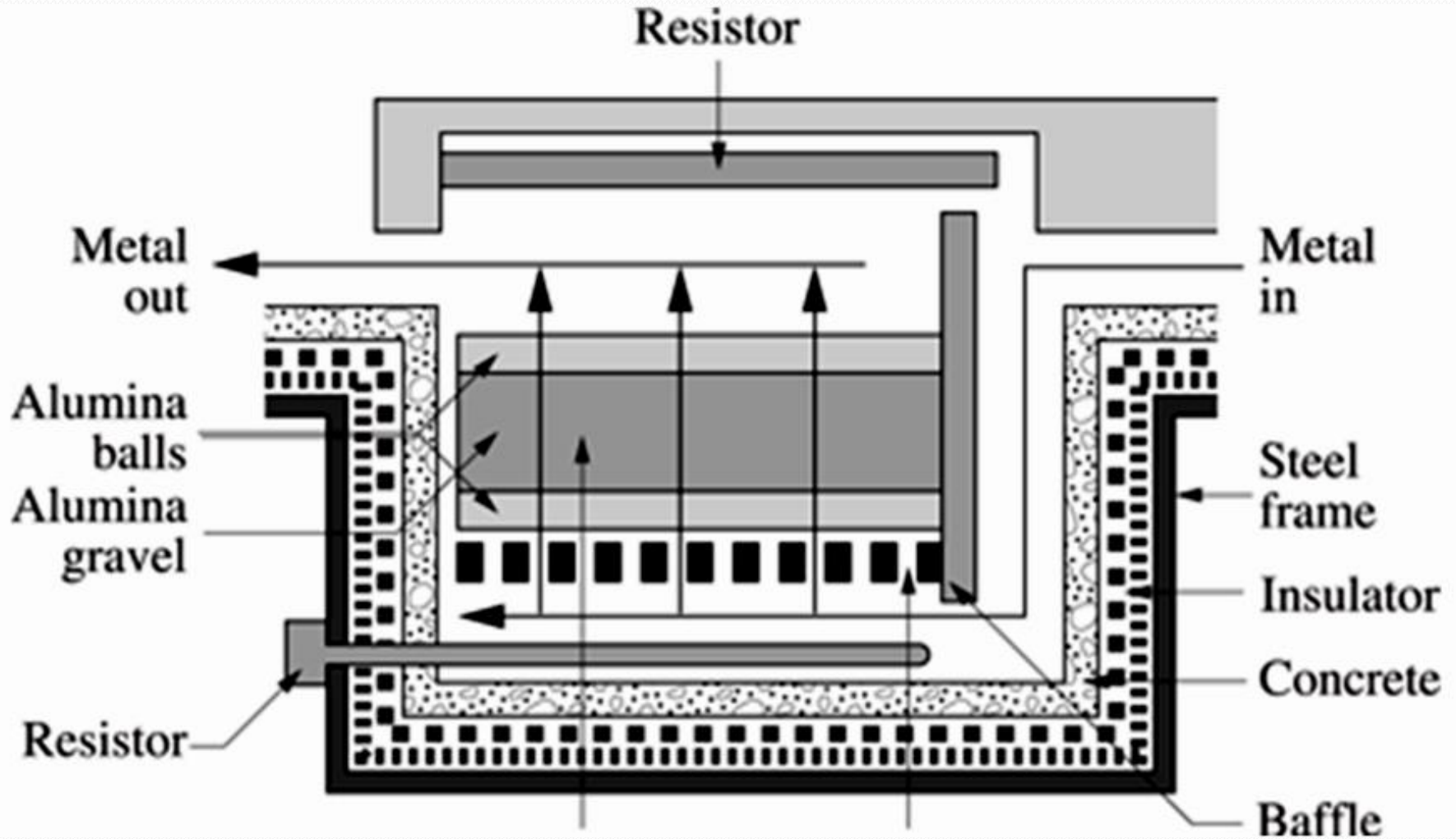
meş	Delik boyutu (mm <sup>2</sup> )	Açık alan (%)
25	17.16	65
36	11.56	63
50	7.49	55
100	2.72	47
200	1.71	43
400	0.45	27

# Alümina bilyalı filtrasyon

Alümina bilyalardan oluşturulan yatak filtreleri Alümina bilyaların seramik bir kutu içine yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bilyalar arasındaki gözeneklilik sabit değildir.



# Alümina bilyalı filtrasyon



# Filtre türleri

- **Seramik köpük filtreler**
- **Köpük filtreler ya sinterlenmiş ya da dökülmüş alüminadan imal edilir.**
- **Gözenklilik inç uzunluktaki delik adedi ile ifade edilir (ppi). PPI değerleri: 20, 30, 40, 50, 60, 65 ve 80 ppi.**
- **%80-85 seviyesinde boşluk ile sıvı metal akışında sorun çıkarmazlar fakat filtre verimleri düşüktür.**
- **Bu yüzden mekanik özelliklerdeki iyileşme sınırlıdır.**



# Seramik köpük filtreler

Döküm parça temizliğinin önemsendiği durumlarda seramik köpük filtreler kullanılır.

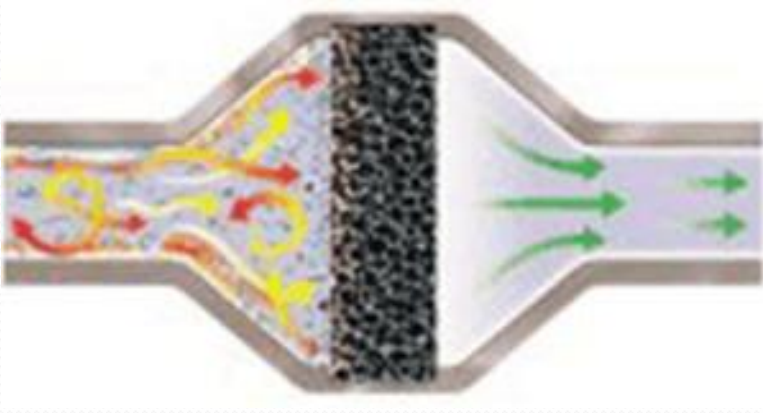


# Sıvı metal transferinde filtrasyon

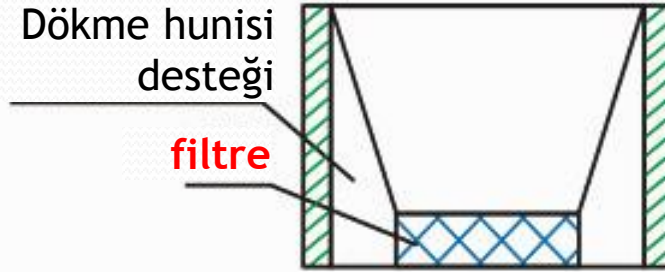




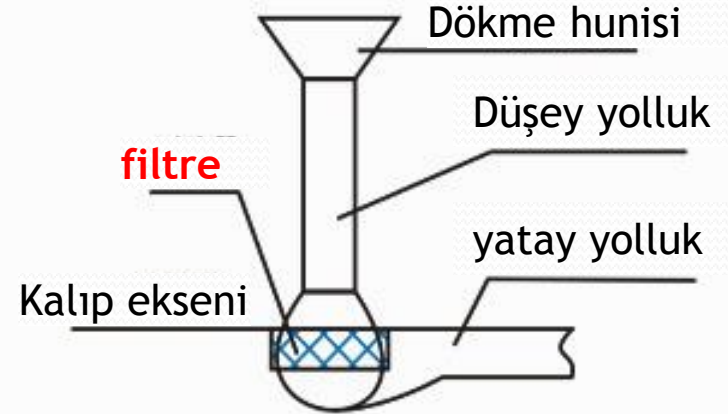
# Dökümde filtrasyon



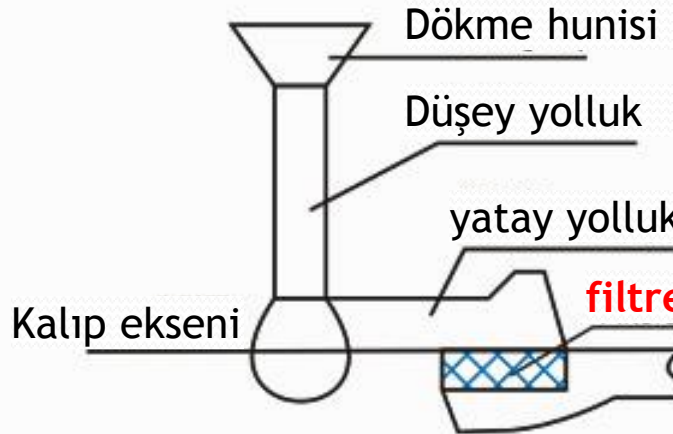
# Dökümde filtrasyon



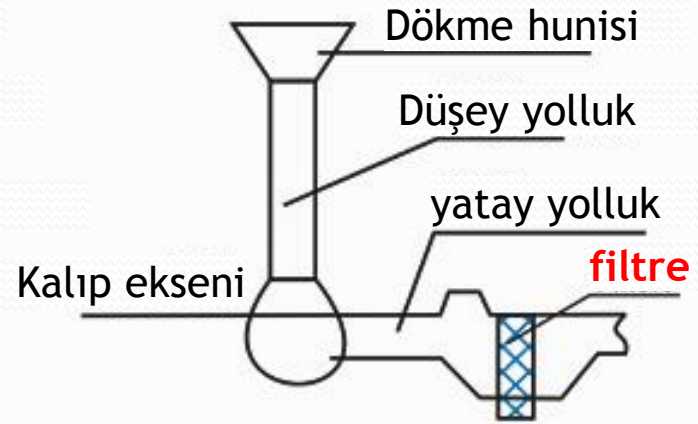
Dökme hunisi içinde uygulama



düşey yollukta yatay uygulama



yatay yollukta yatay uygulama



yatay yollukta düşey uygulama

# Bağlı granüler seramik filtreler

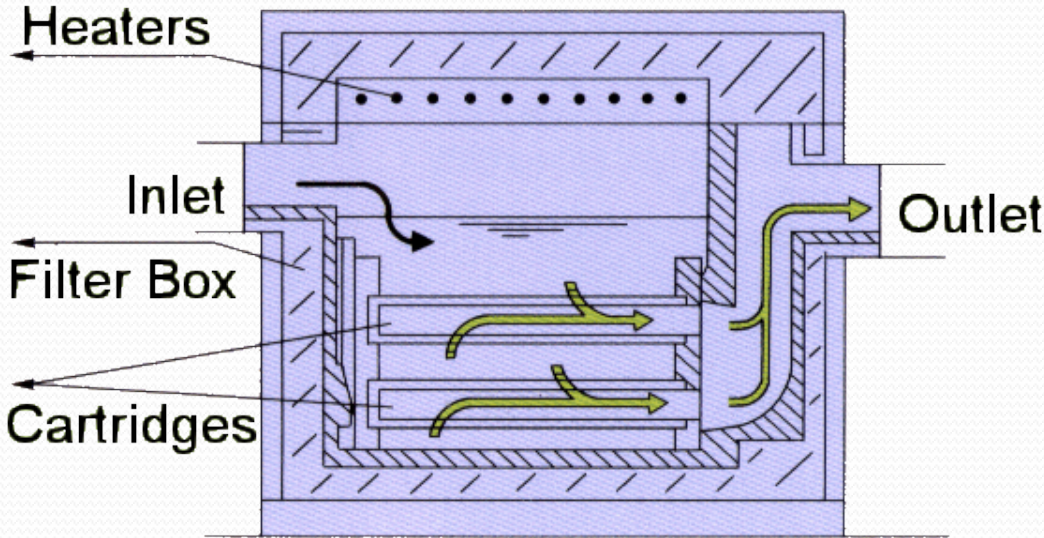
- Alümina veya silisyum karbürden imal edilirler.
- Mukavemetli ve kimyasal ataklara dirençlidirler.
- Boşluk miktarı köpük filtrelerden düşük: ~%40
- SiC'den imal edilenler yüksek ısı iletkenlikleri ile kolay ısınma avantajı sağlarlar.
- Kesintisiz gözenek konfigürasyonu zor bir akış kulvarı temin eder.





# Filtrasyon-rijid medya

- Döküm yapısı temizliğinin manyetik disk, çok ince folyo üretimi gibi çok kritik olduğu durumlarda başvurulur.
- Sadece sıvı metalin döküm istasyonuna transferinde yararlanılabilir.



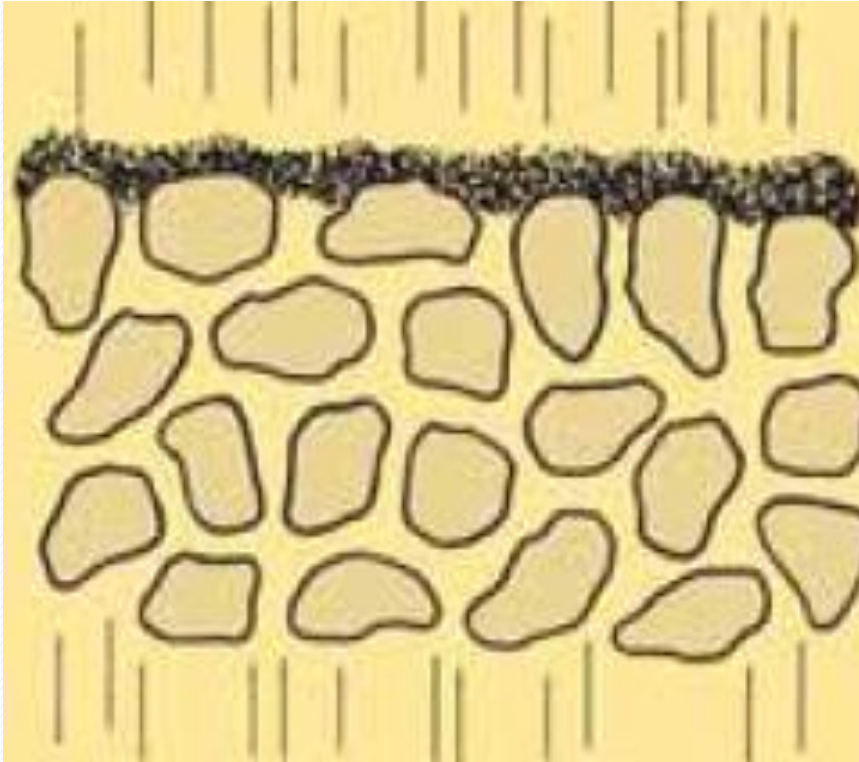
# Filtrasyon-rijid medya

- Kartuj filtreler degazerden sonra kullanılmalıdır. Kalıntılar filtre tüplerinin yüzeylerinde ve içinde tutulurlar.
- Bu, durgunluk çökmesi sayesinde gerçekleşir ve filtre gözeneklerinden daha küçük partiküllerin de alıkonmasını sağlar.



# Filtrasyon mekanizmaları

Kek



Derin



# Sıvı metal kalite kontrolü

## Sıvı metal analizi

alaşım spektlerine uygunluk/homojenlik

alkaliler

Ti/B/Sr

## Temizlik

hidrojen gaz ölçümü

kalıntı ölçümü

## Dökülebilirlik

Akışkanlık

sıcak yırtılma eğilimi

# Birincil/hurda alüminyumda empüriteler

	Külçe	Geri dönüş
alaşım	>%99.7 Al	
hidrojen	0.1-0.3 ppm	0.2-0.6 ppm
Na	30-150 ppm	<10 ppm
Ca	2-5 ppm	5-40 ppm
Li	0-20 ppm	≤1 ppm
kalıntılar	≥ 1mm <sup>2</sup> /kg Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	0.5 ≤ mm <sup>2</sup> /kg ≤ 5.0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MgAlO <sub>4</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> , TiB <sub>2</sub>



# Hidrojen gaz kontrolü

Döküm öncesinde sıvı alüminyumda hidrojen gazının ölçülmesi kritik bir işlemdir.

Kaliteli döküm için hidrojen seviyesi 0.18 ml/100g' dan az olmalı!

Hidrojen miktarının tespiti için uygulanan yöntemler 3 grupta toplanabilir:

Kalitatif ve yarı-kantitatif dökümhane teknikleri: Basit dökümhane testleri  
Kapalı devre resirkülasyon teknikleri  
Kantitatif laboratuvar füzyon testleri

# RPT-Straube Pfeiffer testi

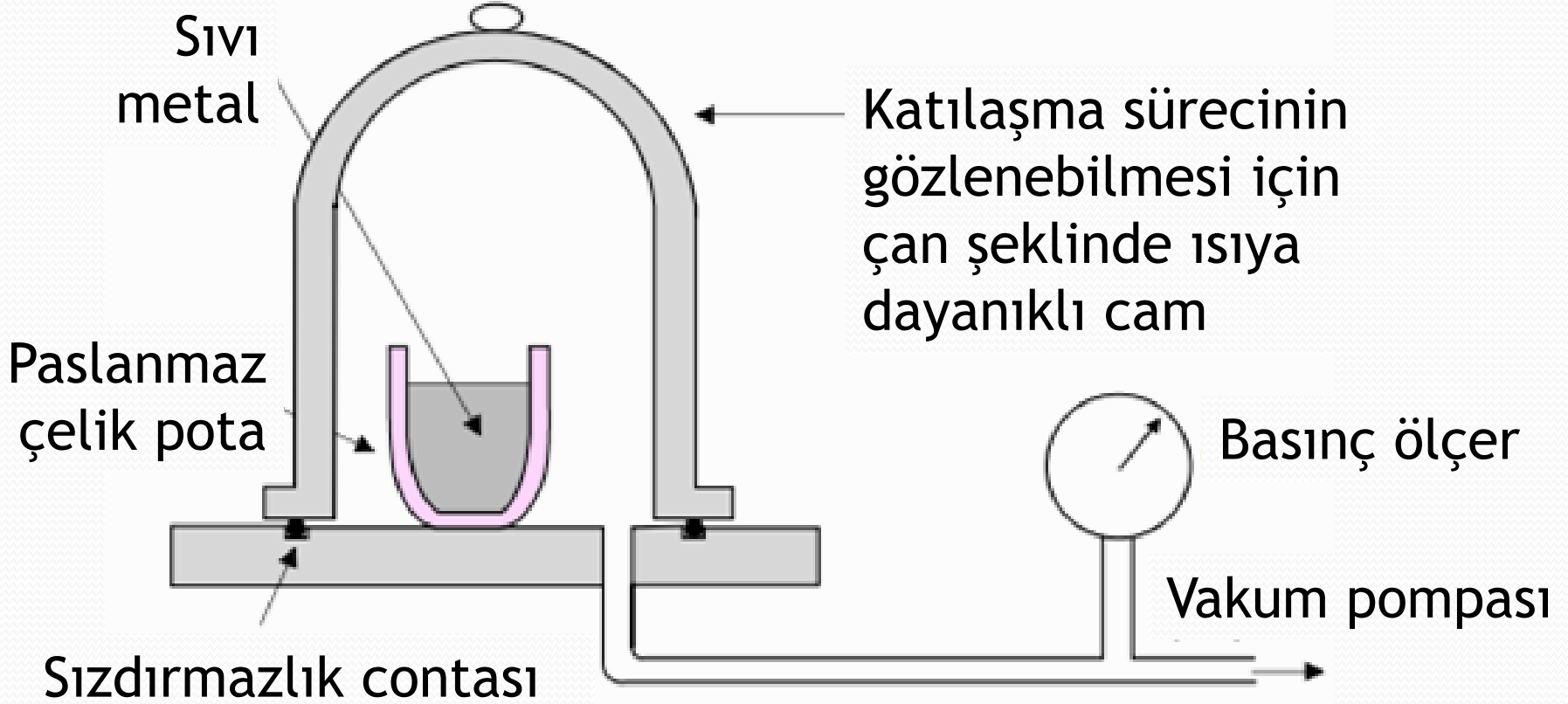
RPT (düşük basınç altında katılaştırma) testi sıvı alüminyum alaşımlarında hidrojen miktarını tespit etmek için kullanılan en yaygın testtir. Bu test kısa sürede tamamlanabilir; uygulaması basit ve ekipman ucuzdur.



# RPT-Straube Pfeiffer testi



# RPT-Straube Pfeiffer testi



Yaklaşık 100-200g kadar sıvı metal ~26mm civa basıncı altında katılaştırılır.

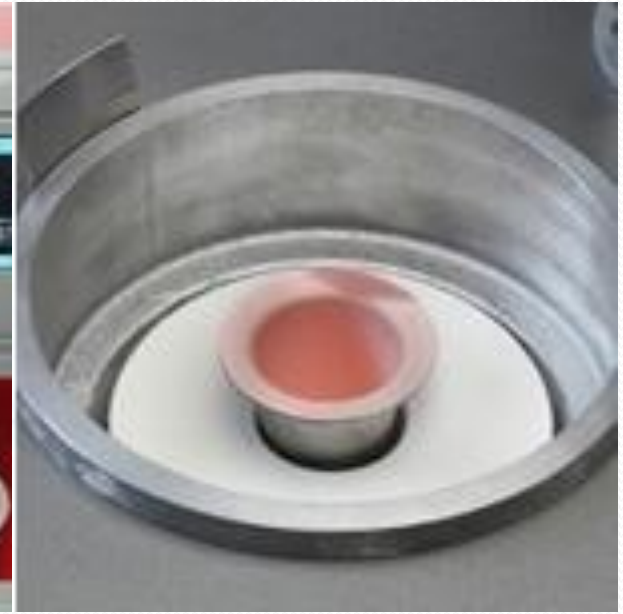
# RPT-Straube Pfeiffer testi

Parça katılaştırken sıvı içinde çözünmüş hidrojenin düşen sıcaklıkla alüminyumdaki çözünürlüğü azaldığından kısmi vakum uygulaması sayesinde çözünmüş hidrojen gazının kabarcıklar şeklinde çekirdeklenmesi ve büyümesi desteklenmiş olur. Bu sayede alüminyumda çözünmüş hidrojen gazı görünür kılınır. Sonuçların kantitatif veya kalitatif değerlendirilmesi için bir çok yöntem vardır.





# RPT-Straube Pfeiffer testi



# RPT-Straube Pfeiffer testi

Kalitatif değerlendirme - katılaşma s¼recinde sıvı al¼minyum y¼zeyinde oluşan kabarcıkların sayısı, boyutu, oluşma zaman ve s¼releri ¼zerinden değerlendirme yapılır.

Yarı-kantitatif değerlendirme

Bu şartlarda katılaşan ¼rneklerin havada ve sonra suda ağırlıkları ¼l¼lerek yoğunlukları ¼l¼l¼r ve bu değerler gaz miktarı ile ilişkilendirilir.

# RPT-Straube Pfeiffer testi

Katılaşma sürecinde çok sayıda gaz kabarcığı çıkışı gazın varlığına işaret eder.

katılaşan numunenin yoğunluğu düşük çıkabilir.

Ancak alüminyum henüz sıvı halde iken gazın bir bölümü kaçmış olabilir.

Hiç gaz kabarcığının çıkmamış olması da sıvı alüminyumun gaz içermediği anlamına gelmez.

Hatta gaz içeriği fazla fakat tamamen çözültide kalmış olabilir. Bunun nedeni hidrojen gazının sıvı alüminyumdan kaçabilmesi için alüminyum tarafından ıslatılmayan oksit vb kalıntıların bulunması gerekir.

# RPT-Straube Pfeiffer testi

Sıvıdaki oksit vb kalıntılar gazın çekirdeklenmesinde etkili olduğundan sonuçlar sadece yarı-kalitatiftir. Ancak test koşulları titizlikle takip edilecek olursa RPT testi sıvı alüminyumda hem gaz hem de kalıntı miktarı hakkında bilgi vericidir ve etkin şekilde kullanılabilir.

İnklüzyon az/ gaz az - gaz çıkışı yok!

İnklüzyon çok/gaz az - çok az gaz çıkışı

İnklüzyon az/ gaz çok - gaz çıkışı, sona doğru

İnklüzyon çok/gaz çok - ilk andan itibaren şiddetli gaz çıkışı

# RPT-Straube Pfeiffer testi

Aynı noktadan alınan sıvı alüminyum örneğin farklı vakum seviyelerinde katılaşma sonrası kesitleri

Vakum (torr)
50
100
150



Vakum (torr)
200
250
760



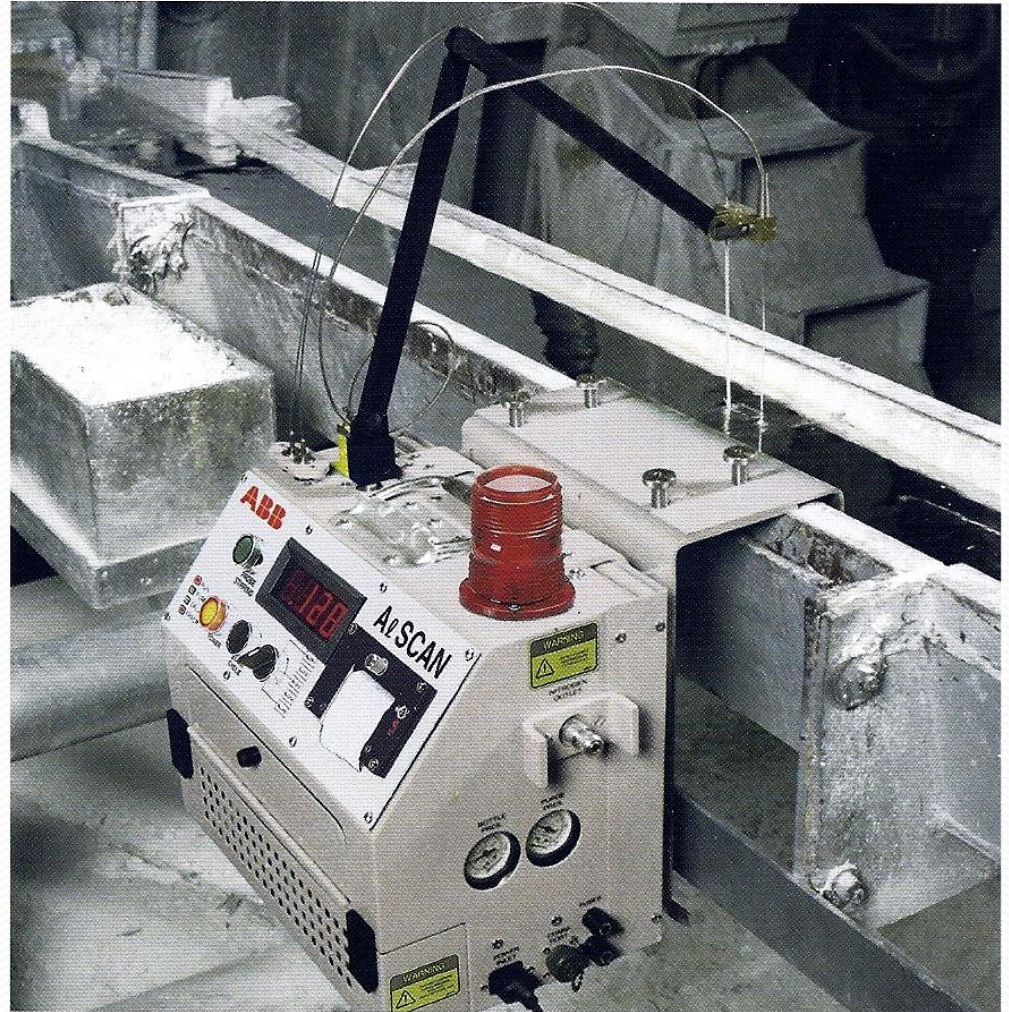
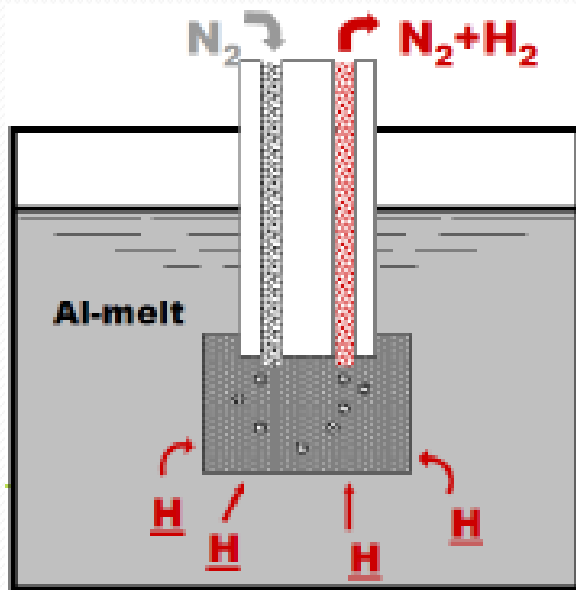


# ALSCAN yöntemi

ALSCAN yöntemi sıvı alüminyumda çözünmüş hidrojen gazının miktarını doğrudan ve kantitatif olarak belirler. Ve dökümhane şartlarında uygulanır. Sıvı alüminyuma daldırılan bir probe içinden azot gazı geçirilir . Azot gazı içindeki hidrojen çok düşük seviyelerinde olduğundan sıvı alüminyumdaki hidrojen azot içindeki kısmi basıncı dengeleyinceye kadar azota geçer. Dengeye ulaşıldığında azot gazı içindeki hidrojen bir iletkenlik sensörü vasıtası ile ölçülür.

Sıcaklık ölçümü ve sievert prensibi

# Hidrojen miktarı ölçümü-ALSCAN

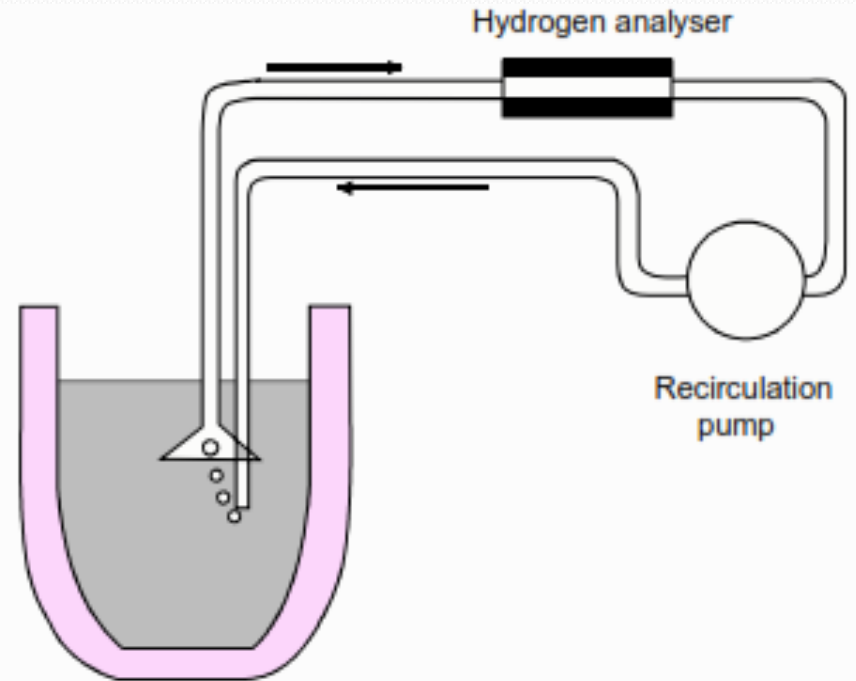


# Telegas yöntemi

- Sıvı alüminyum içindeki gaz miktarını sürekli olarak ölçer ve uyarı sistemi ile donatıldığında sürekli dökümde gaz kontrolü için çok elverişlidir.
- Sıvı alüminyum içinden sürekli olarak az miktarda (~3ml) asal gaz (argon veya azot) geçirilir.
- Asal gaz sıvı alüminyumdaki hidrojeni içine alır.
- Asal gaz içindeki hidrojen miktarı hidrojen kısmı basıncı sıvı alüminyumdakine eşitleninceye kadar artar.
- Bu 5 dk kadar sürer.

# Telegas yöntemi

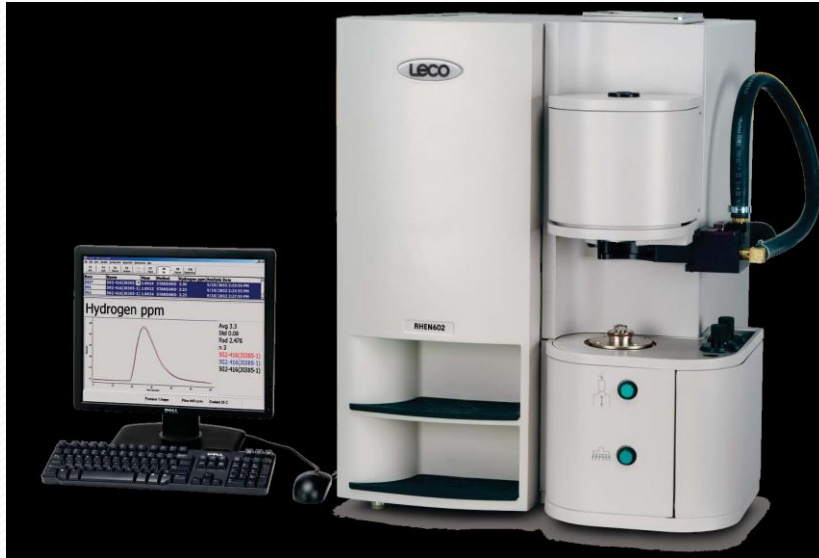
Sirkülasyondaki asal gaz içindeki hidrojen Katherometre (argon + hidrojen ve saf argon gazları içindeki sıcak bir telin sıcaklığını ölçerek miktar tayini yapan bir enstrüman) vasıtası ile belirlenir. Bu işlem sürekli döküm hatlarında sürekli olarak uygulanabilir. Modern proplar saatler ve hatta günlerce ölçüm yapabilmektedir.





# LECO yöntemi

Alüminyum örneğin grafit potada argon gazı altında ergitilmesi ve açığa çıkan hidrojeni içine alan taşıyıcı gazın ısıl iletkenliği ölçülerek kalibrasyon değerleri ile karşılaştırılarak ml/100g cinsinden raporlanması





# Oksitlenme-oksit kalıntıları

- oksitlenme  
ergitme  
teknolojik işlemler  
döküme transfer
- } fırın atmosferi / brülör alevi  
dökümhane atmosferi / rutubet!  
türbülans
- banyo sıcaklığı + 10°C ⇒ oksitlenme hızı x 2
- Mg > 2% ; T > 760°C ⇒ oksitlenme ↑!
- sıcaklık kontrolü önemli!
- ergitme fırınında < 760°C, tutma fırınında < 730°C
- alaşımlama katkıları / pratiği : Mg katkılarında 40 ppm'e kadar
- hurda kullanımı (35 ppm'e kadar).
- ingot/külçe temizliği (elektroliz hücresinden alümina esaslı!)

# oksit kalıntıları

en sık karşılaşılan oksit kalıntıları:

Mg ↓↓ ⇒ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filmleri / partikülleri

Mg ↑↑ ⇒ MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve MgO esaslı

$\rho_{\text{oksit}} \sim \rho_{\text{Al}}$   
↑ spesifik yüzey alanı } çökme ve yüzme çok yavaş  
banyoda **askıda** kalıyorlar!

flaks seçimi ve cüruf çekme pratiği kritik!

banyo seviyesi düştüğünde banyo dibinde birikmiş kalıntıların döküme geçme olasılığı ↑!

refrakter astar aşınıp alüminyumla reaksiyona girdiğinde



# kalıntılar

## İç kaynaklı empüriteler:

Sıvı metal işlemleri sırasında gaz giderme vb işlemlerde oluşan, elektroliz hücresinden gelen  $Al_3C_4$ ,  $AlN$  veya  $AlB_2$  gibi kalıntılar.

En önemlileri:  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  ve  $A_4C_3$ .

Elektrolitten gelen alkaliler:  $Na$ ,  $Li$  ve  $Ca$ .

ergitilen hurdalardan  $Fe$ ,  $Si$  ve  $Cu$  kirlenmesi!

Bu metaller işletme şartlarında düşürülemediğinden ancak saf alüminyum ilavesi ile seyreltilebilirler.

# kalıntılar

## Dış kaynaklı empüriteler:

Fırın refrakterlerinden, yolluklardan, transfer potalarından, teknolojik işlemlerde kullanılan ekipmanlardan gelen basit ve kompleks oksitler

**$Al_2O_3$ , MgO ve  $Al_2O$ , MgO spinelleri**

**K-, Ca- ve Al- silikatlar**

**Na-, Ca- ve Mg- aluminatları**

Tane küçültme uygulamasından gelen

**$TiB_2$  kümeleri** gelir.

# Kalıntıların ölçülmesi

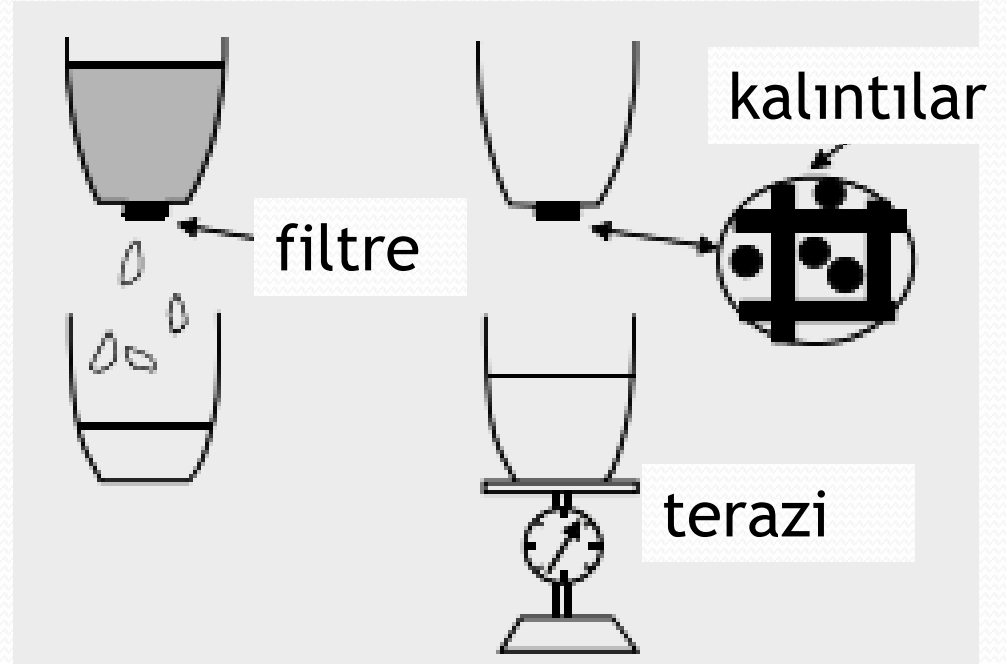
- Kalıntıların ölçülmesinde yaygın pratik sıvı alüminyumun ince bir filtreden geçirilmesidir.
- Sıvı alüminyum içindeki kalıntılar filtrede tutulur ve filtre üstünde katılaştıran metal standart metalografi pratikleri ile hazırlanır ve parlatılmış kesitlerde kalıntılar izlenir, sayılır ve SEM-EDS gibi tekniklerle bileşimleri tayin edilir.
- Bu yöntem bir laboratuvar tekniğidir ve uzmanlık ister, zaman alır.
- Santrifüjle kalıntıların sıvıdan ayrıldığı pratikler de mevcuttur.



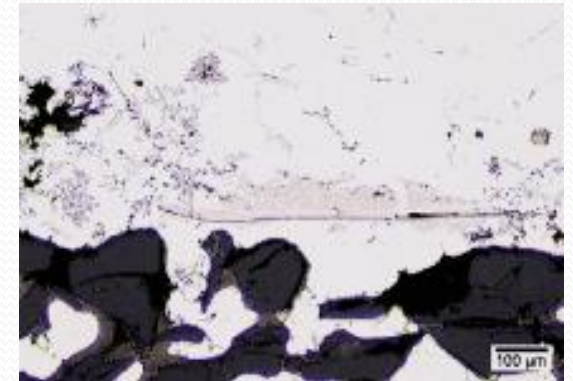
# Kalıntıların ölçülmesi



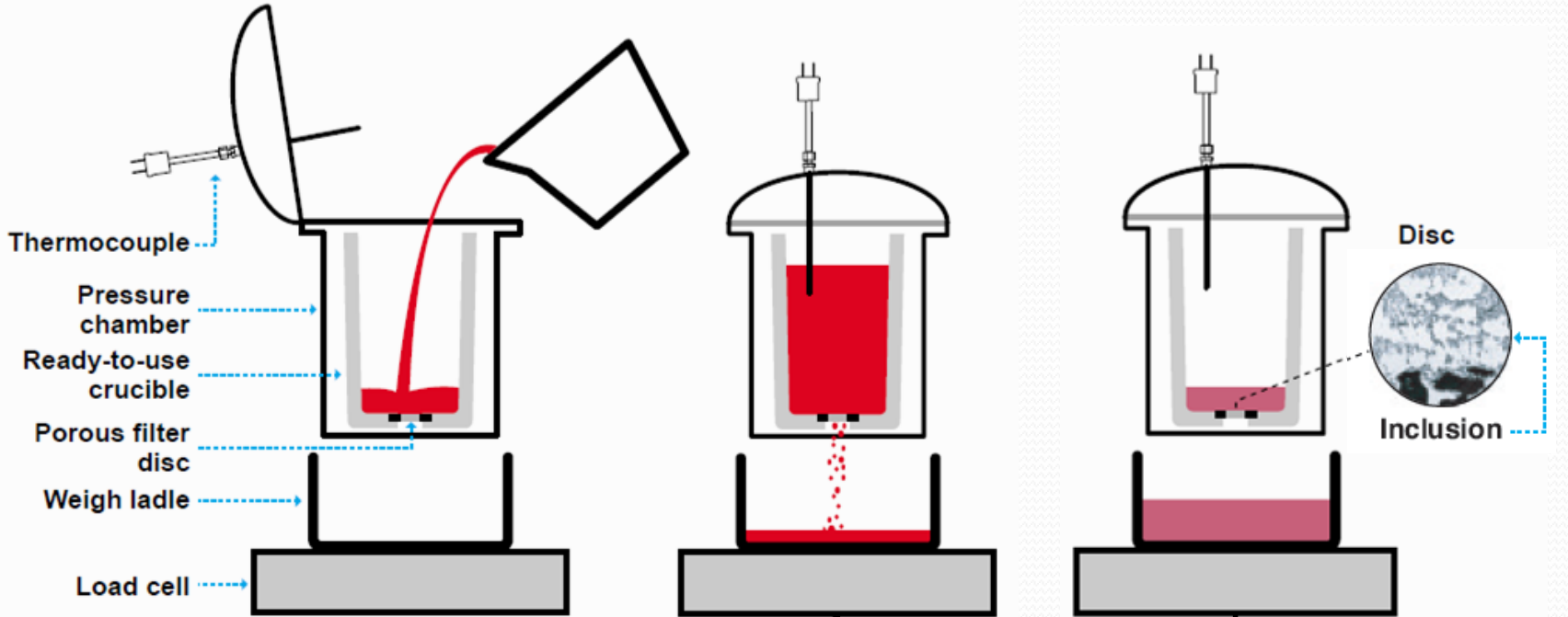
# Kalıntıların ölçülmesi



Filtreden geçen sıvı alüminyum ağırlığı  
Filtrede alıkonan kalıntıların SEM-EDS  
analizi



# Kalıntıların ölçülmesi



Veri toplama ve değerlendirme



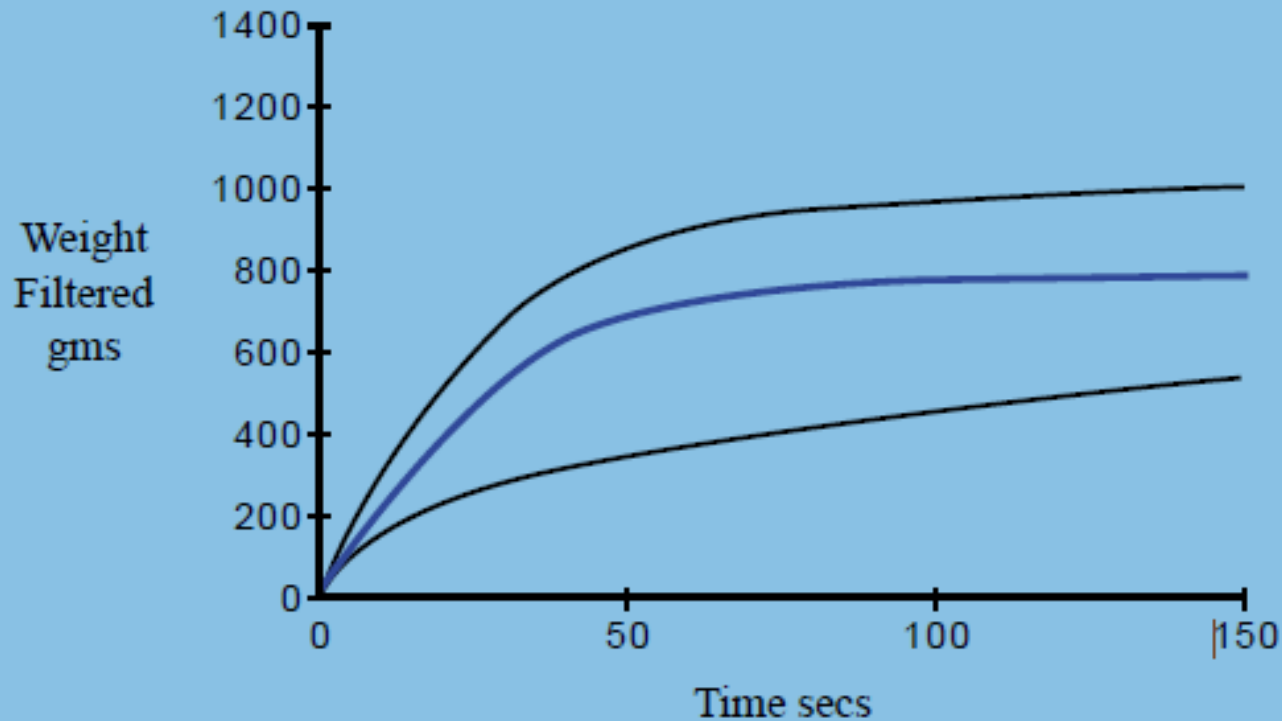
Filtreden geçen sıvı metal ağırlığı vs t

# Kalıntıların ölçülmesi

PZM07001

Arm ● Lock ● AL Line 2

Location: Location 1 Test Temperature: 700 (700) °C



Weight: 805 gms

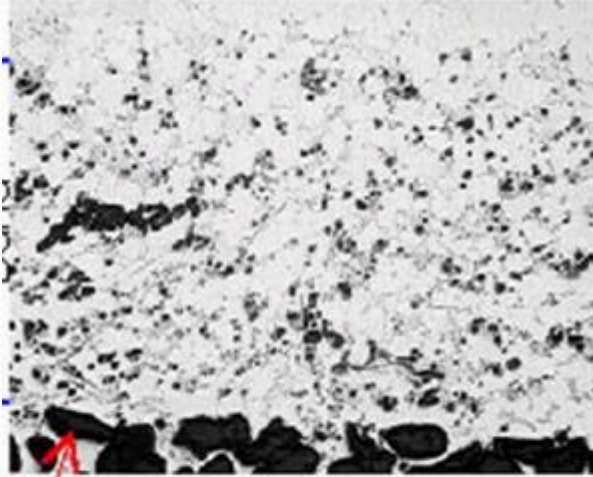
Test Complete  
Press 'Start'

Time: 150 secs

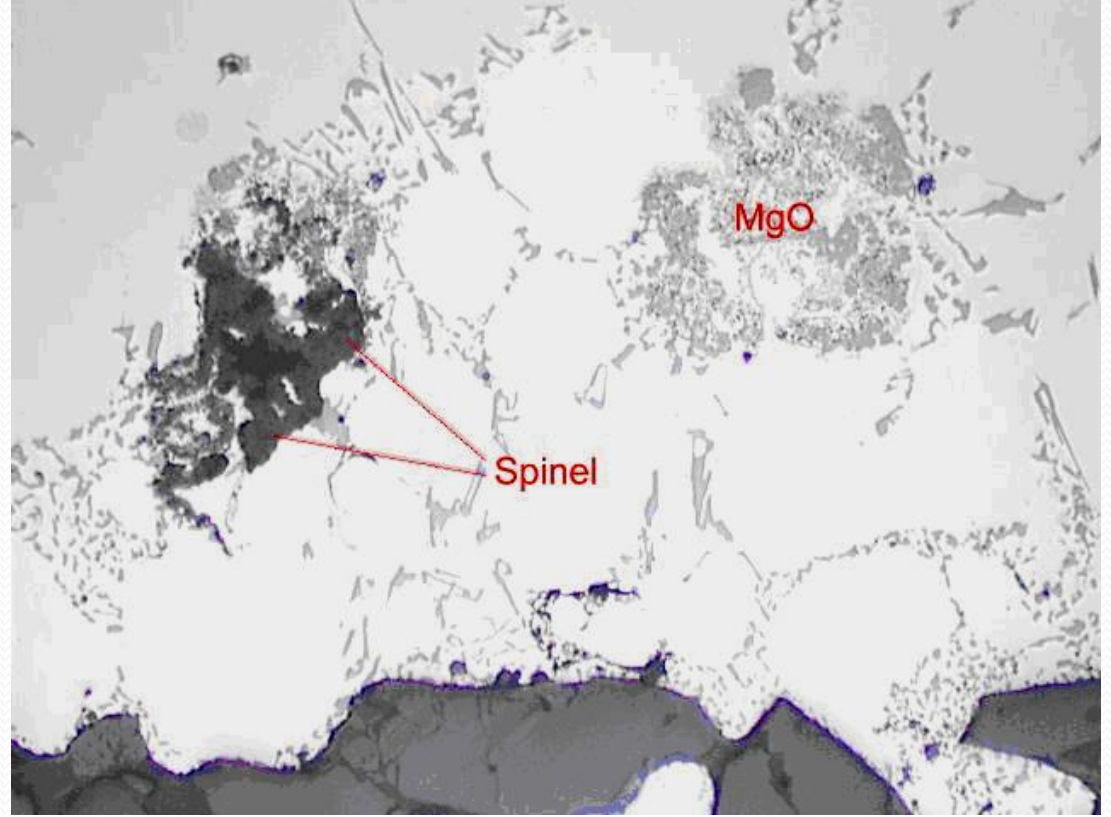


# Kalıntıların incelemesi

Kirli filtre üstü



filtre

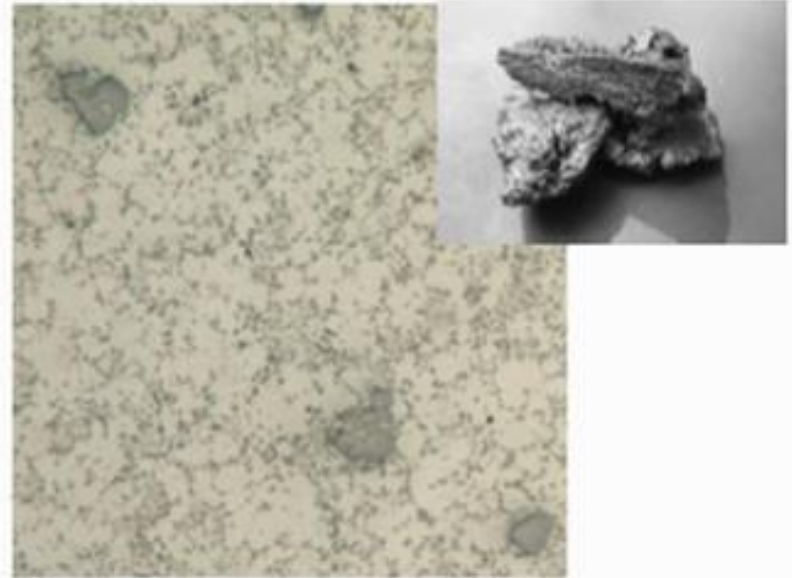
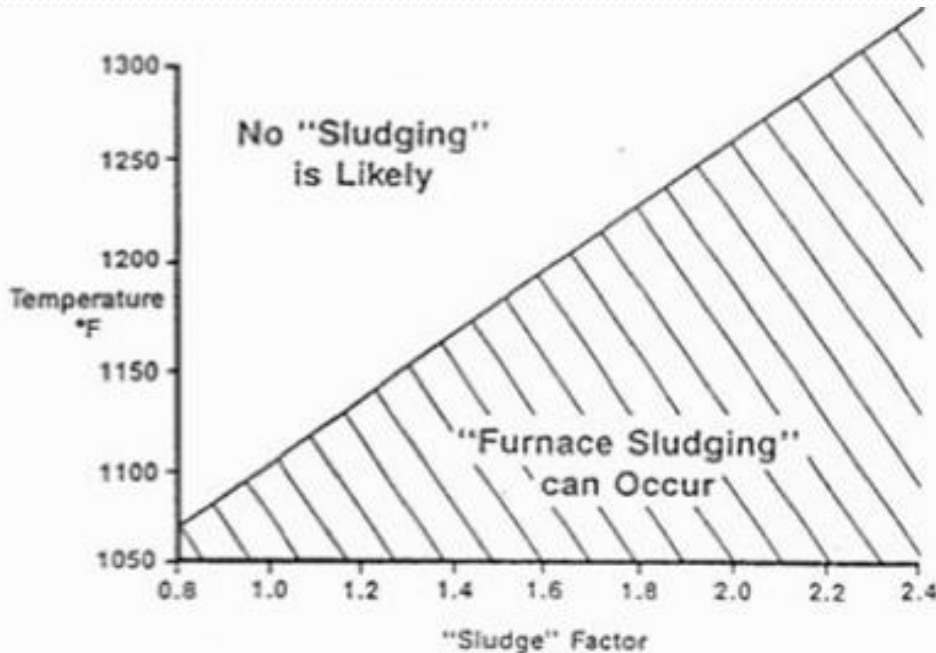




# sludge

yüksek ergime noktalı bileşik topakları-kalitesiz hammadde ve kötü ergitme pratiklerinden kaynaklanır!  
Döküm parçaya geçtiklerinde parça kalitesi!!!  
Banyo ve potada kaldıklarında temizlenmeleri gerekir.

**“sludge” faktörü= %Fe + 2x%Mn + 3x%Cr**



# Silis modifikasyonu

1. seviye



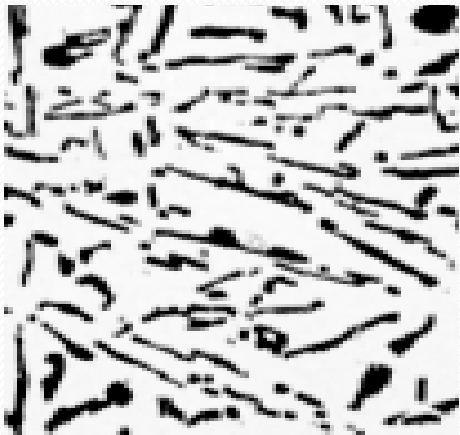
3. seviye



5. seviye



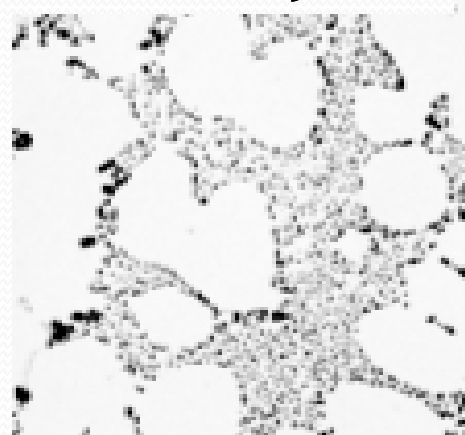
2. seviye



4. seviye



6. seviye



# Optik emisyon spektrometresi

OES seri, güvenilir ve %1-3 hassasiyetinde analiz tekniği

Alüminyum dökümhanelerinde çok popüler.

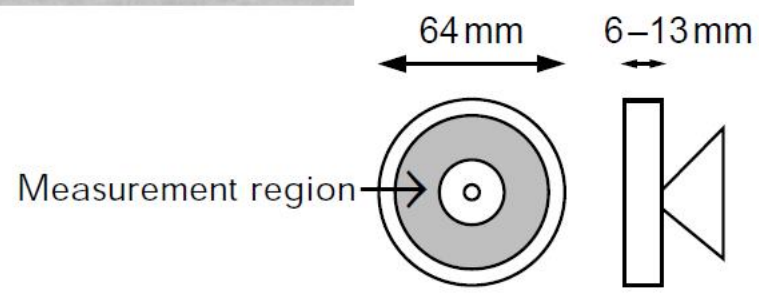
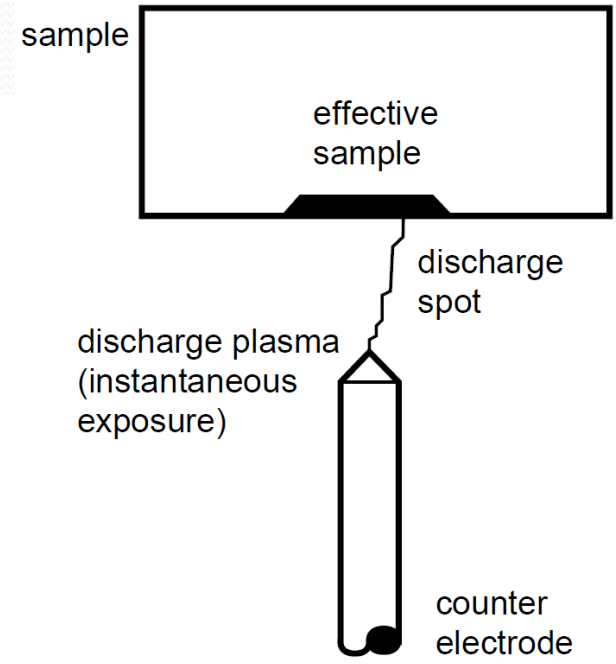
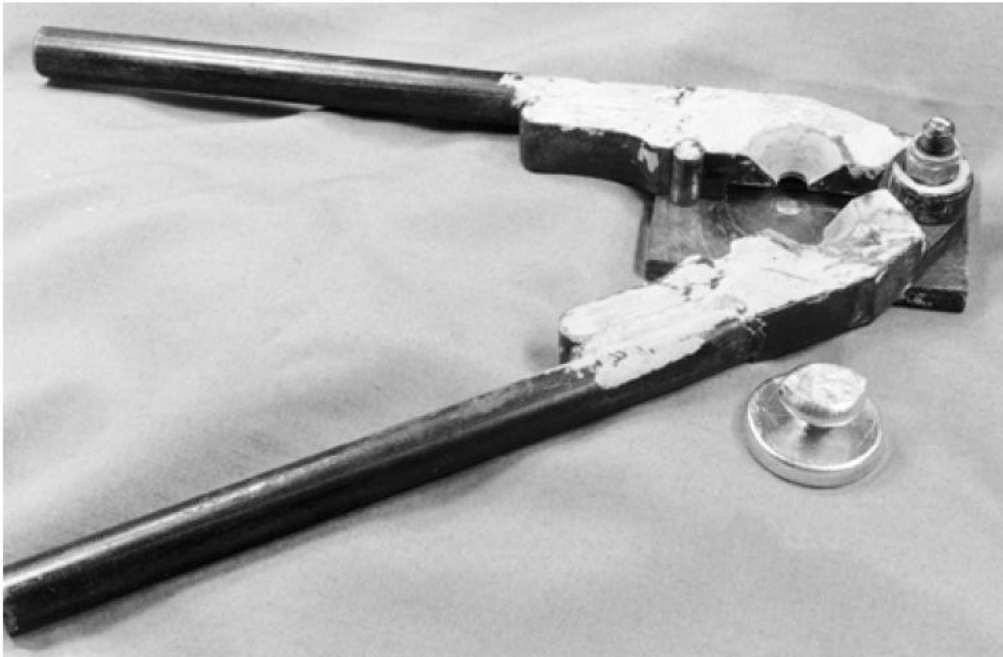
Sağlıklı analiz sonuçları için

örneklenen sıvı alüminyum ve örneğin kendisi homojen ve banyoyu temsil kapasitesi yüksek olmalıdır.

Bu şartlar hızlı katılaştırılan disk örneklerde büyük ölçüde karşılanır.

Analiz yapılmadan önce örneklerin hızlı katılaşıyan yüzeyleri tornada düzeltilir.

# Optik emisyon spektrometresi



# Optik emisyon spektrometresi

Analiz yüzeyinde yakma yapılır. Yüzeyden çıkan ışık sabit dalga boylarında düzenlenen detektörler tarafından toplanır.

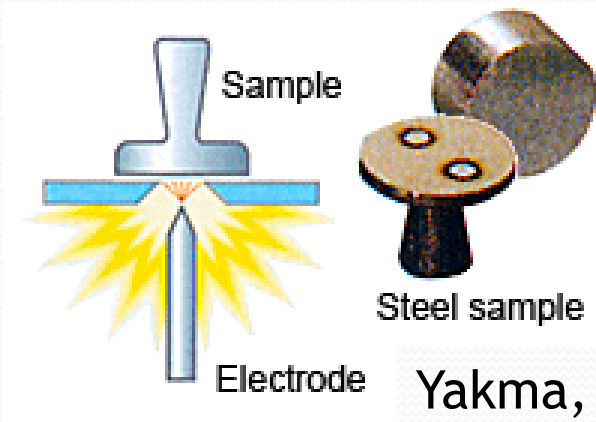


Örneğin bileşimi bilinen referans numunelerden elde edilenlerle toplanan şiddetlerin karşılaştırılması ile belirlenir.

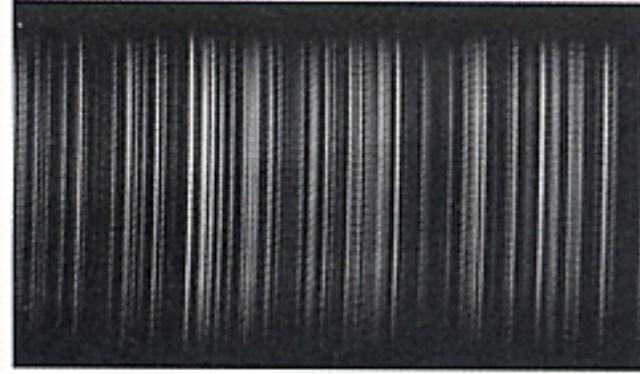




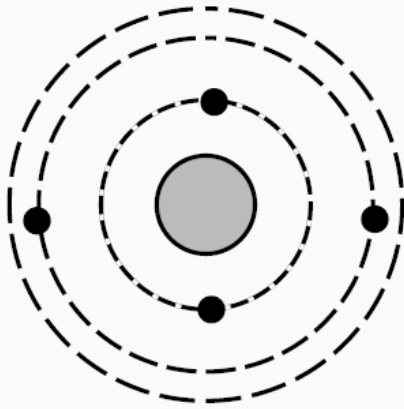
# Optik emisyon spektrometresi



Yakma, enerji girdisi :  $\Delta E$

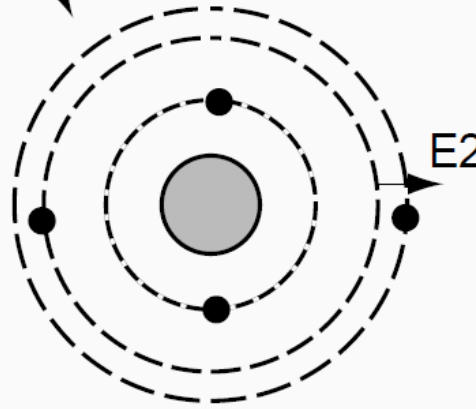


Photon,  
 $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda}$



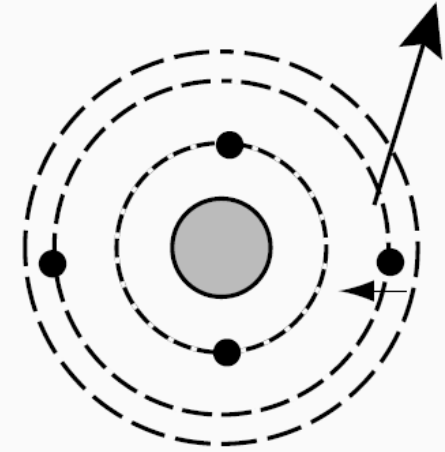
E1

E1-ilk Enerji durumu



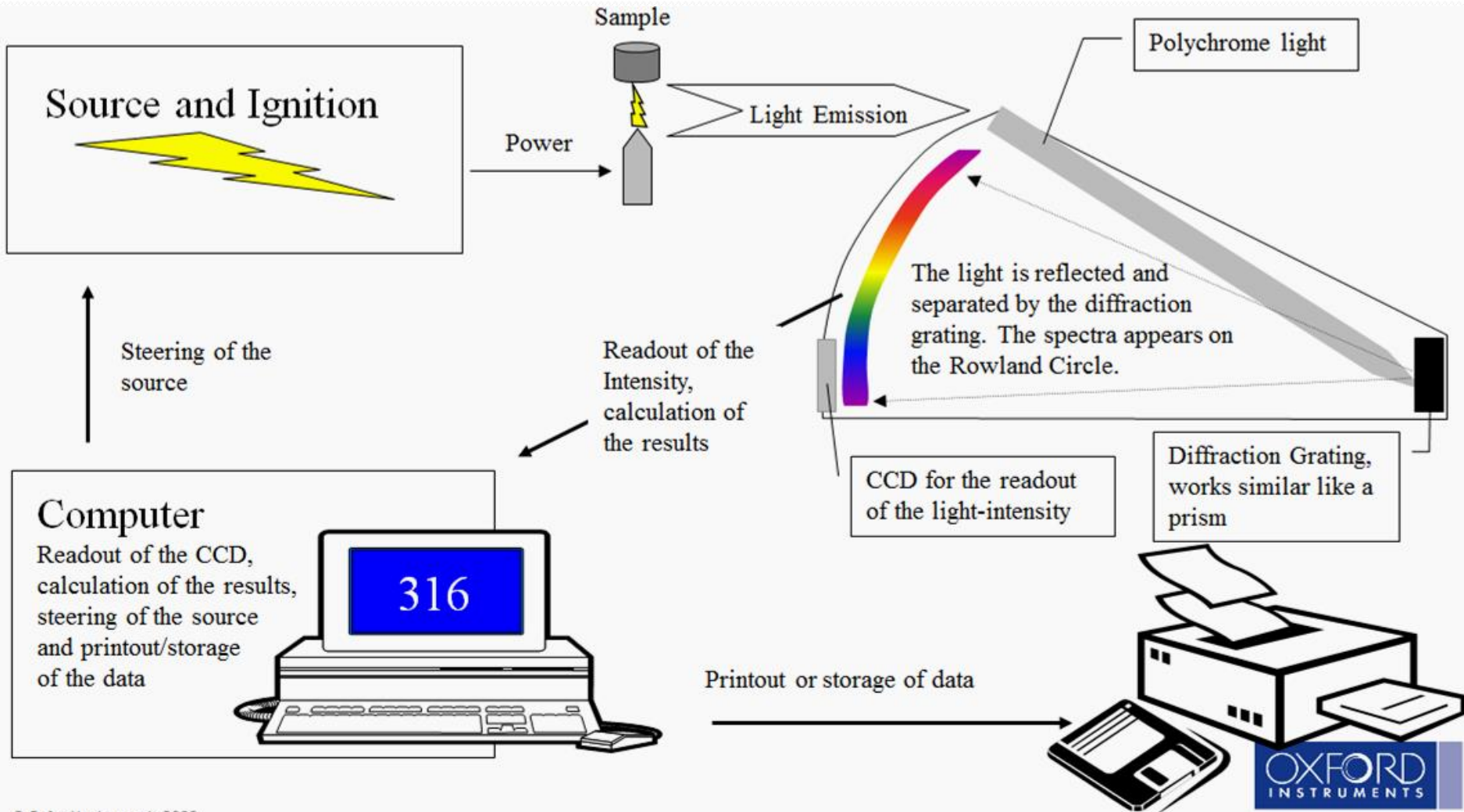
E2

E2-yakma sonrasında Enerji durumu



$\lambda$  Dalga boyuna sahip photon verip ilk enerji durumuna dönüş!

# Optik emisyon spektrometresi



# Optik emisyon spektrometresi

Yeni nesil spektrometreler, yakma sonrasında kalıntı analizi de yapabiliyorlar.

Spektrometrelerde hangi elementlerin analizlerinin yapılacağı öngörülerek gerekli kanalların eklenmesi planlanmalıdır.

Örnek

Döküm alaşımı üretenler

Sr

Folyo üretenler

Ca, Na, K

# Alkali metalller

- Na ve diğer alkali, toprak alkaliler primer üretimden Hall-Heroult aşamasından gelir!
- Ca, K, Li ve Na sıvı alüminyumda hidrojen çözünlüğüünü arttırarak katılaşma sonrasında gözenek oluşması teşvik ederler.
- Ayrıca alüminyum alaşımlarının sıcak haddelenebilirliklerine zarar verir.
- Döküm aşamasında katılaşma sırasında sıcak yırtılmalara yol açar, kırılğanlığı attırırlar.
- Rutubetli ortamlarda yüzeyde renklenmelere (blue haze corrosion) yol açarak yüzey görünümünü olumsuz etkilerler.

# dökülebilirlik

Bir alaşımın dökülebilirliğine dair performansı 3 kriter üzerinden değerlendirilir:

Akışkanlık

Sıcak yırtılma eğilimi

Kalıba yapışma

## Akışkanlık

Akışkanlık bir sıvı metalin belirli deneysel koşullar altında geometrisi belli bir kalıp boşluğunu doldurma yeteneğidir.

Akışkanlık katılaşma sırasında ısı akışı ile yakından ilgilidir.



# Dökülebilirlik-akışkanlık

Sıvı metal belli bir sıcaklıkta kum kalıba dökülür ve kalıp kırıldıktan sonra kat ettiği uzunluk ölçülür

## Akışkanlığa etki eden faktörler

Kalıp kaplamaları

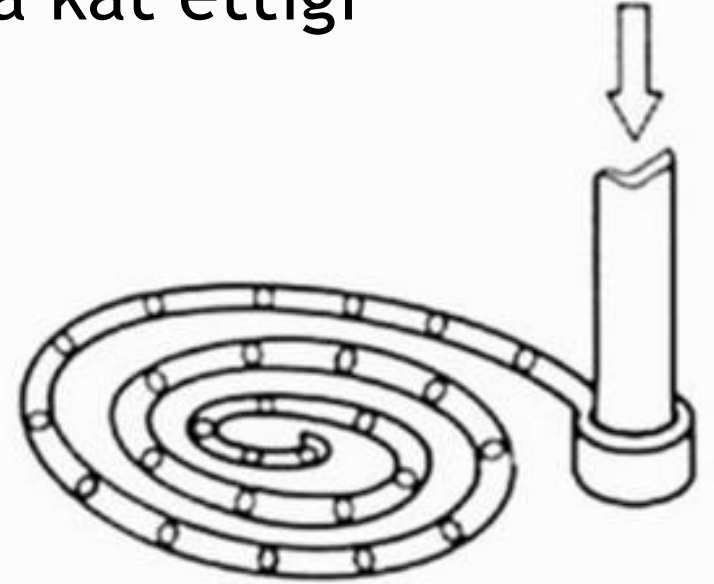
Alaşımlama katkıları

Sıvı metal basıncı-besleme

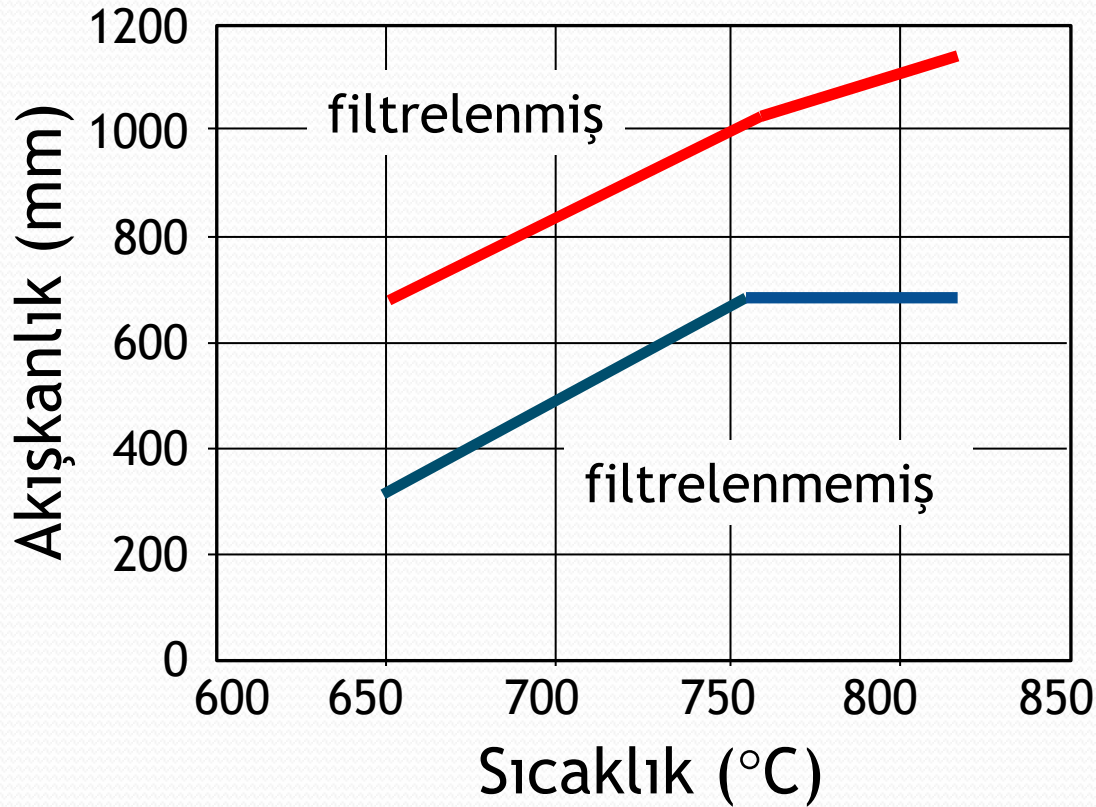
Sıvı metalin aşırı ısısı

katılaşma aralığı (genişledikçe akışkanlık düşer.)

Sıvı metal temizliği (kalıntılar arttıkça düşer)

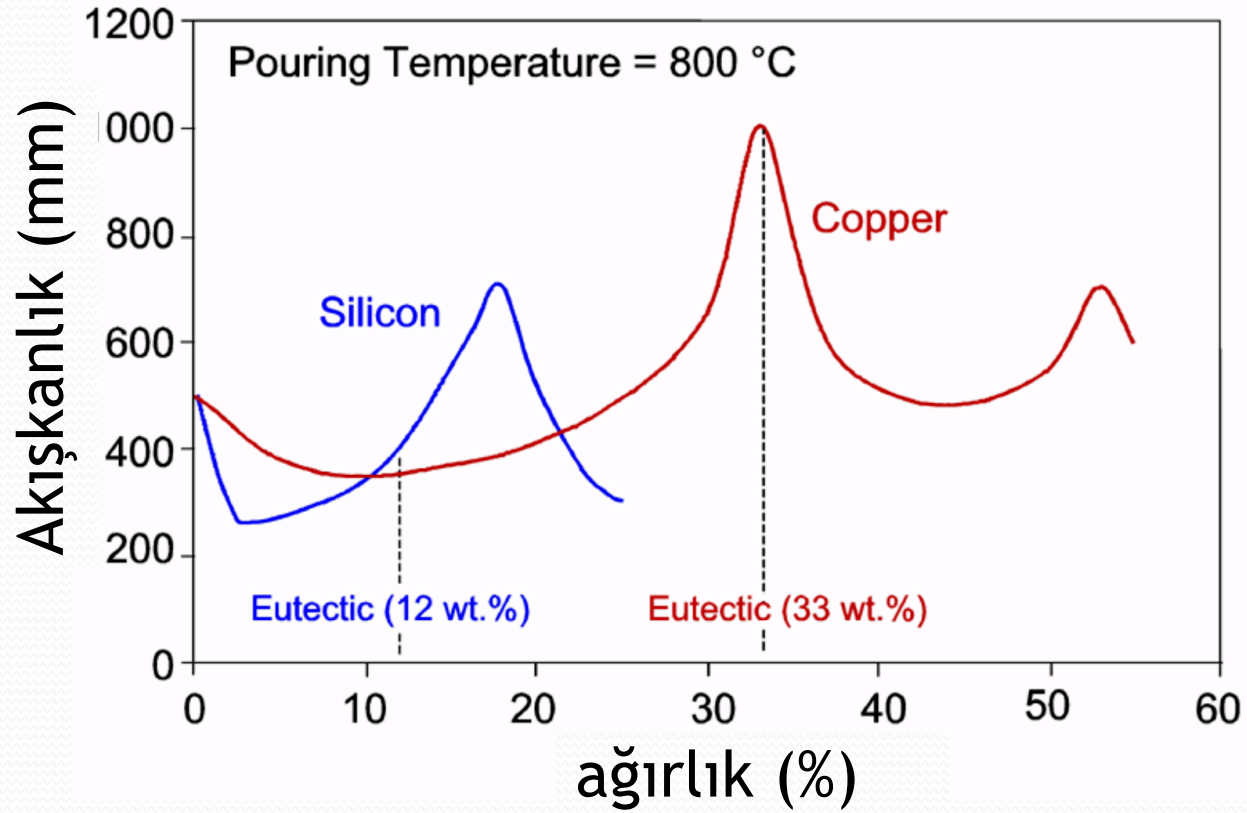


# Dökülebilirlik-akışkanlık



Sıvı metal temizliğinin akışkanlığa etkisi

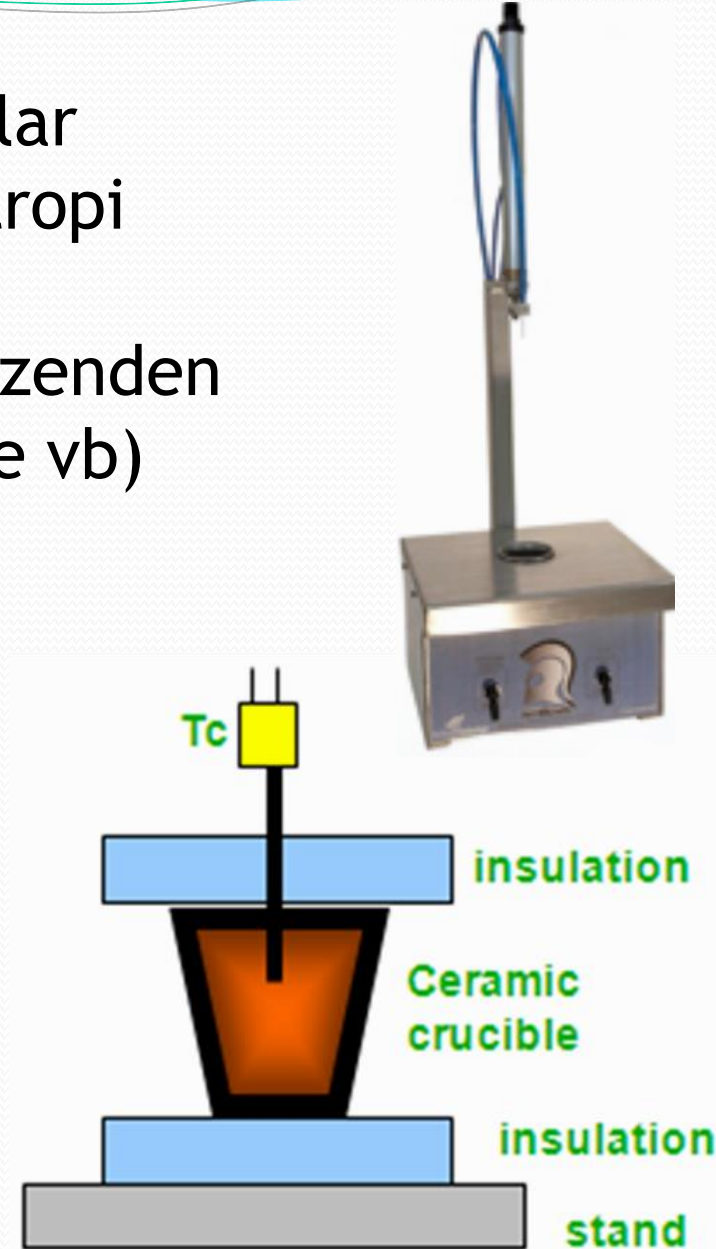
# Dökülebilirlik-akışkanlık



# Termal analiz

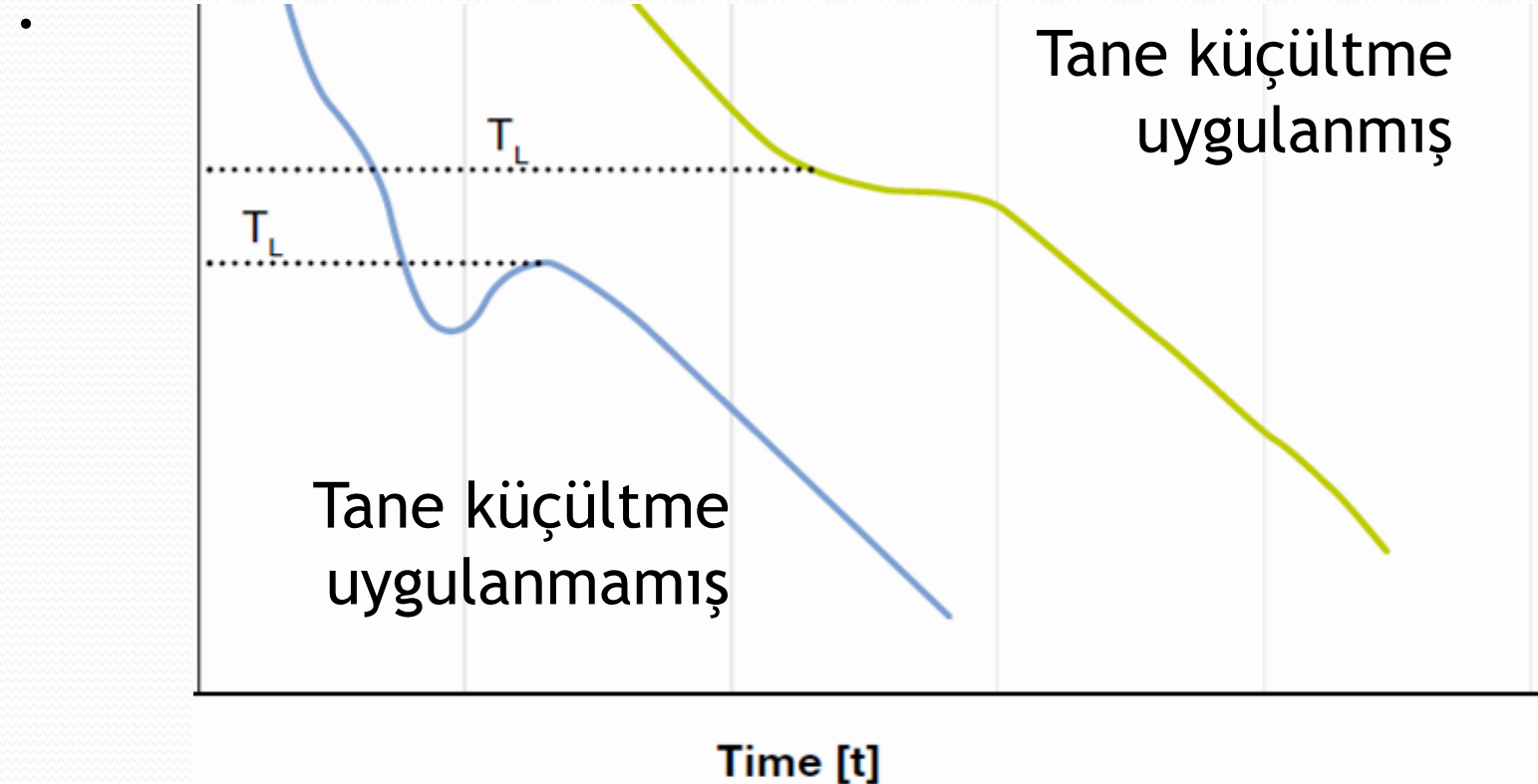
Soğuma sırasında katılaşma ile atomlar daha düzenli yapılara yönelirken entropi artar ve ısı açığa çıkar (Katılaşma: ekzotermik reaksiyon). Atomların düzenden uzaklaştıkları durumlarda ise (ergime vb) bunun tam tersi olur.

Sıvı metallerin sıvı halden soğulması sürecinde ısı alışverişleri veya sıvı örnek içinde bir ısı çift ile sıcaklığın zamanla değişimi ölçülerek yapısal değişimler hakkında bilgi alınabilir. Soğuma eğrilerinde metalurjik reaksiyonlar kendilerini bükme ve eğim değişimleri ile belli ederler.



# Termal analiz

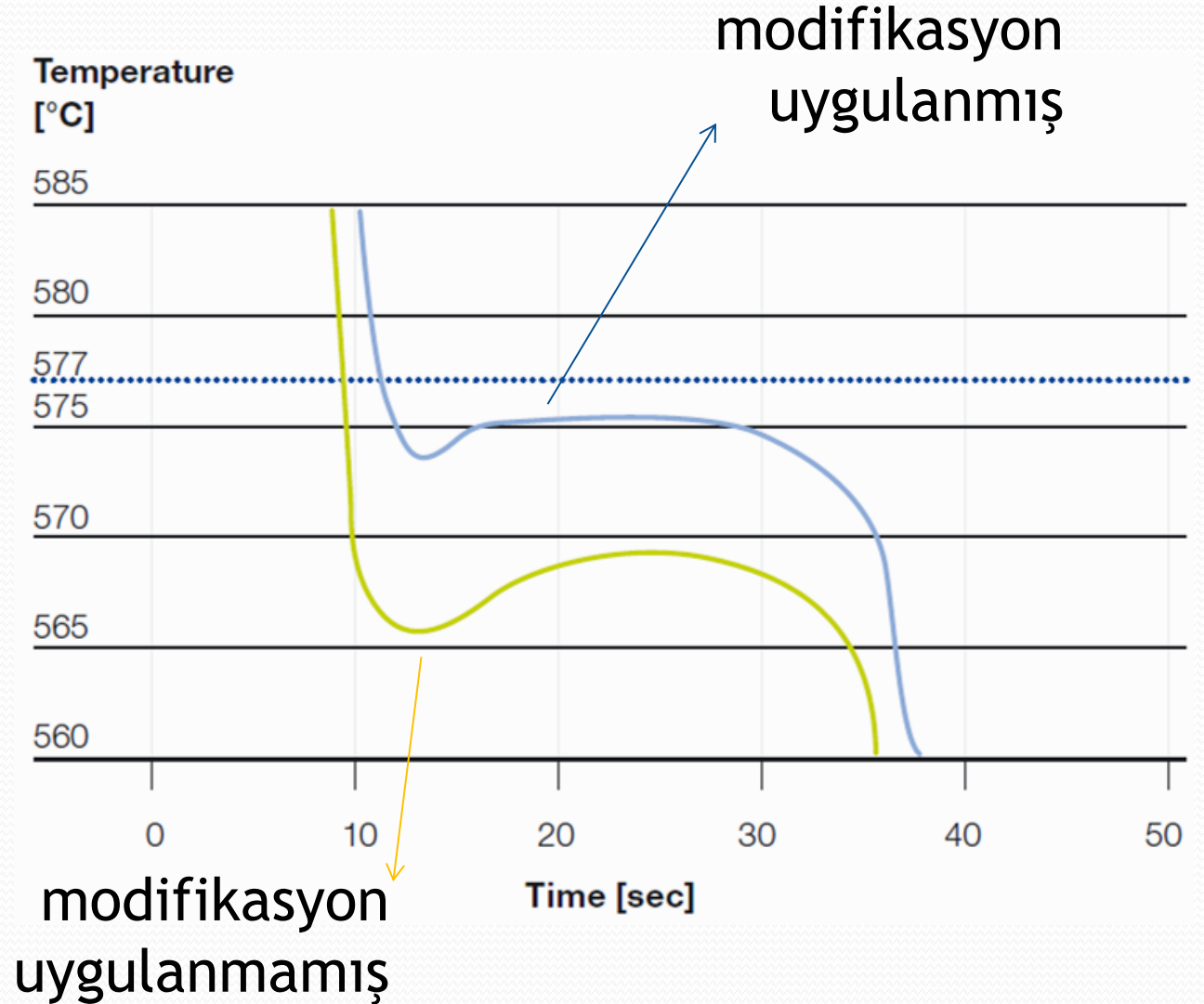
Katılaşma sırasında likidüs sıcaklığının altına soğuma miktarı tane küçültmenin etkinliğinin bir ölçüsüdür. Tane küçültme etkin ise  $T_L$  altına soğuma sınırlı olacaktır.





# Termal analiz

Modifikasyon etkisi de soğuma eğrisinin analiz edilmesinden anlaşılabilir.



# K-mold testi



# K-mold testi

hammadde kalitesinin kontrolü ve sıvı alüminyumun temizliği hakkında bilgi edinmek için uygulanan basit bir dökümhane test pratiğidir.

Kontrol edilmek istenen sıvı metalden adımlı bir plaka dökülür ve adımlardan kırılarak kırılma yüzeyleri incelenir. Kırılma yüzeylerinde kalıntı olanlar sağlam oranlara oranlanarak değerleri elde edilir.

Avantajları:

Çabuk değerlendirme

Pratik

Kolay örnekleme

Portatif

Oksitler ve kalıntılara hassas

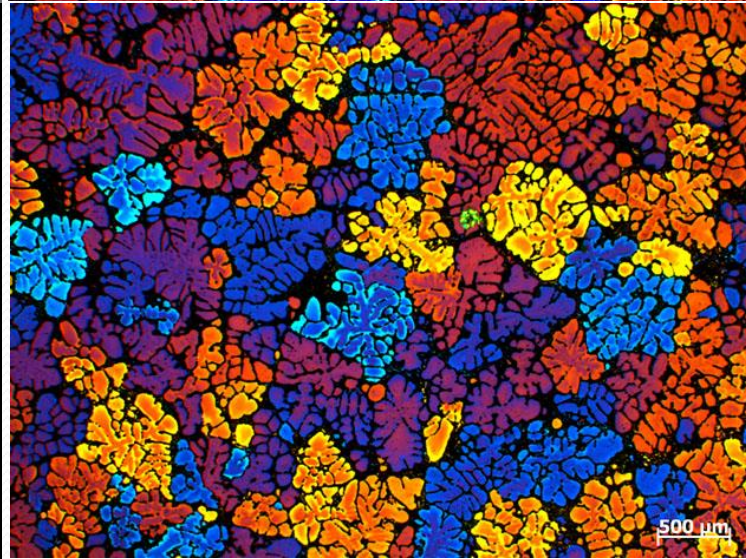
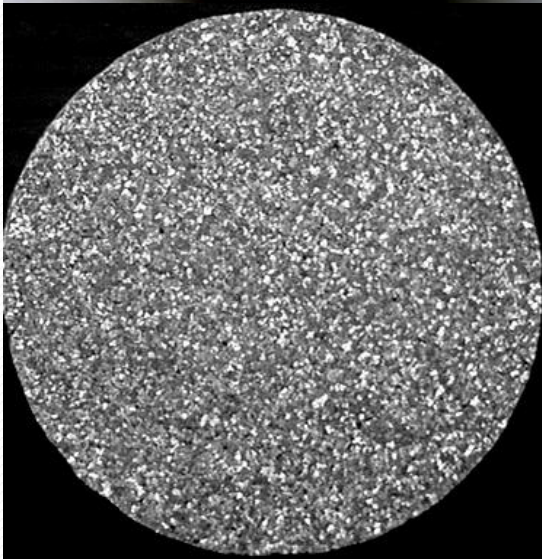
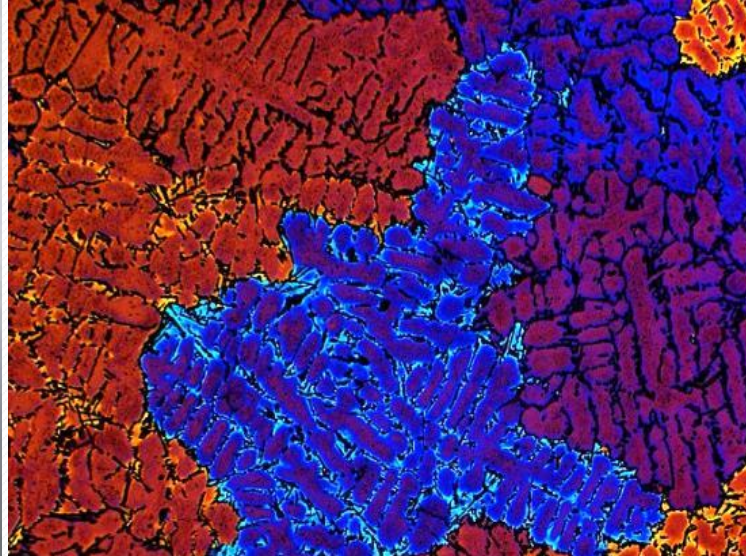
Ekonomik

# Döküm yapısı kalite özellikleri

- Tane yapısı (boyut ve kesitte dağılım)
- Dendrit kol aralığı
- Gözenek
  - gaz
  - çekinti
- Metallerarası bileşik partikülleri
- Ötektik (ve primer) silis taneleri
- Segregasyon şiddeti
- Sıcak yırtılma / çatlaklar
- Kimyasal bileşim / alkaliler / Fe / Mg / katkılar (Ti-B-Sr)

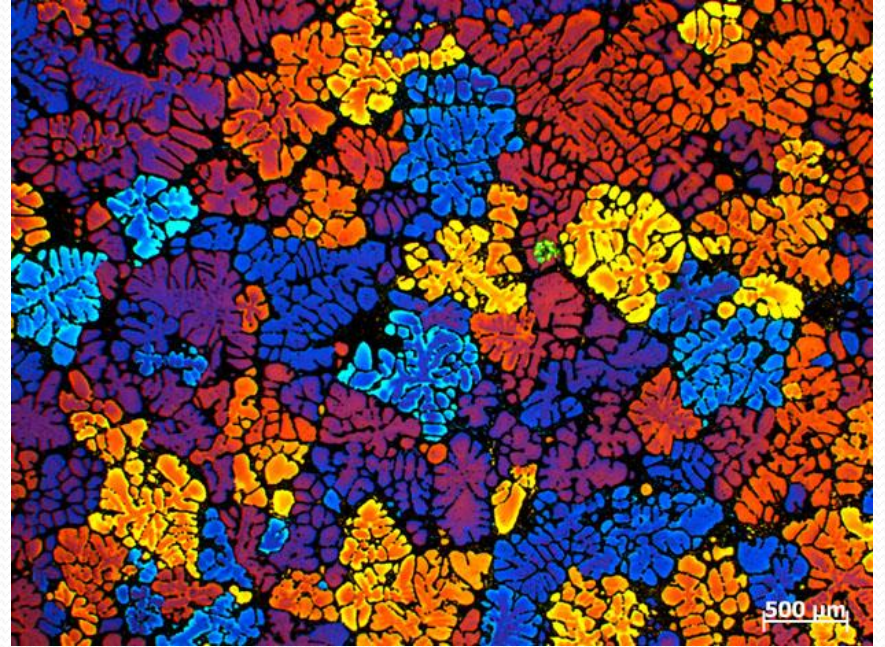
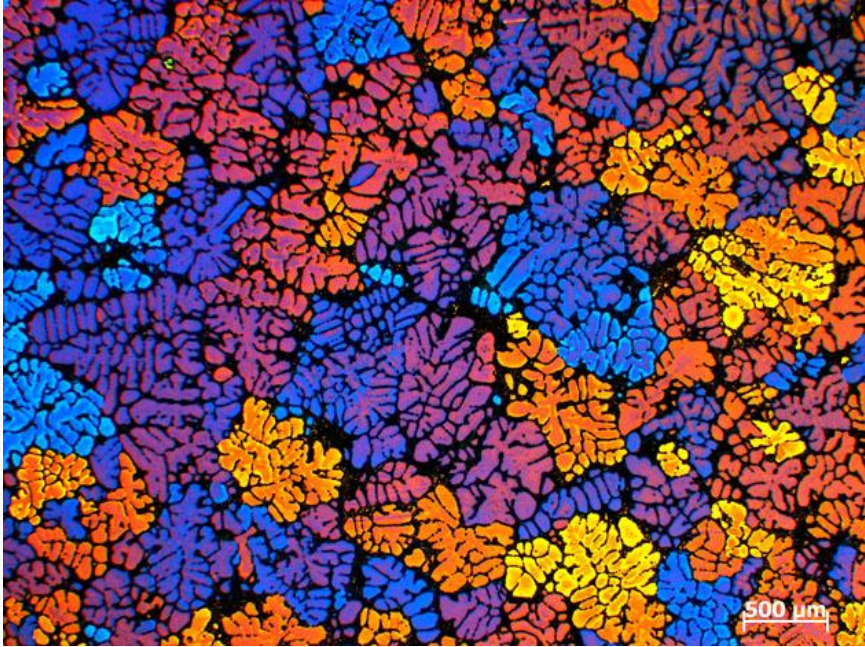


# Tane yapısı

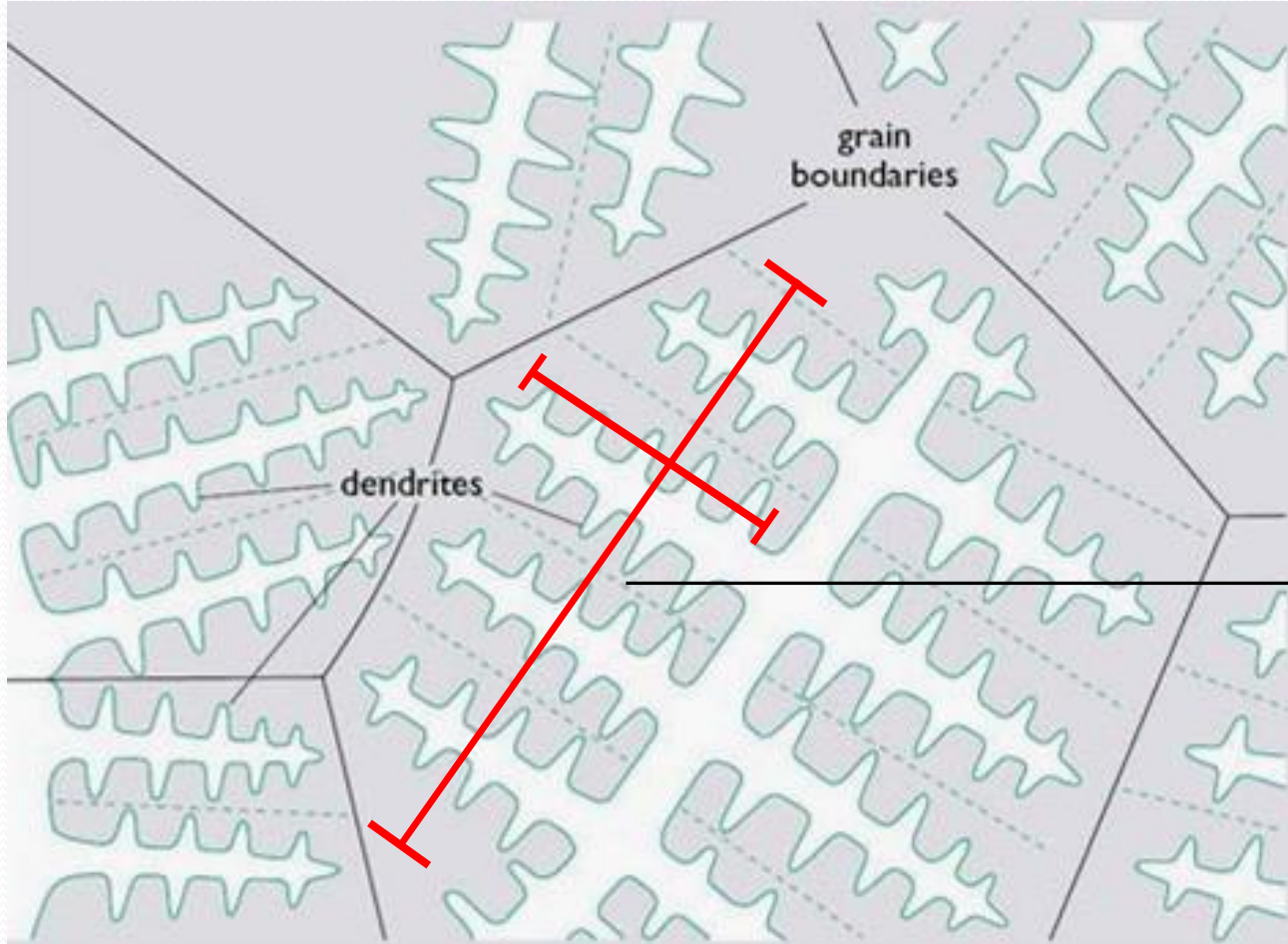




# Tane boyutu



# Döküm yapısı ölçeği – DAS

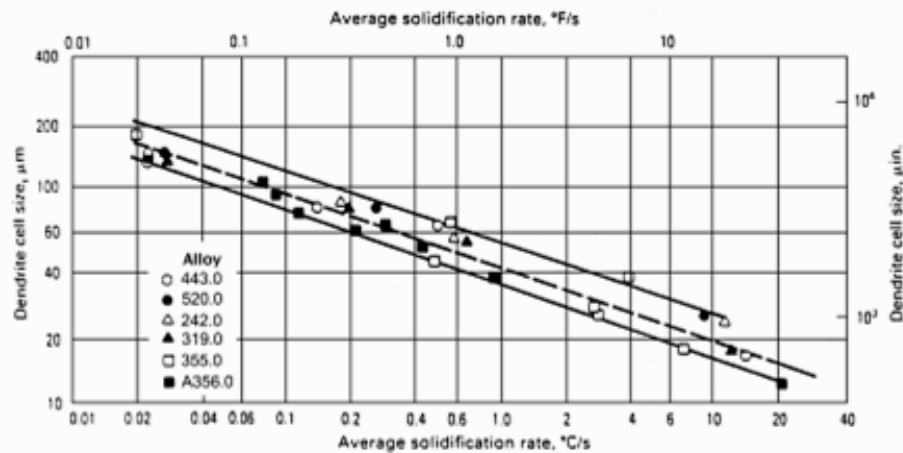
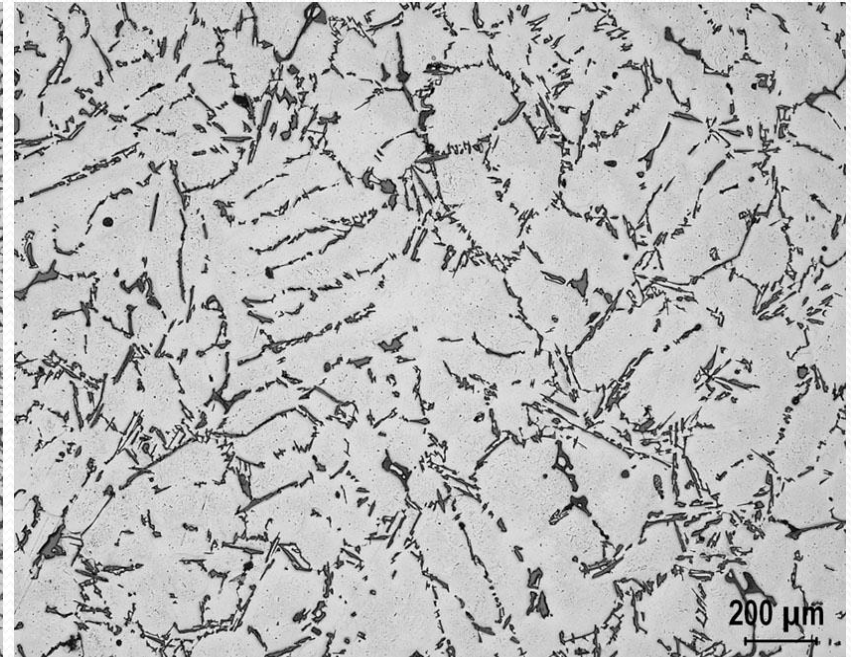
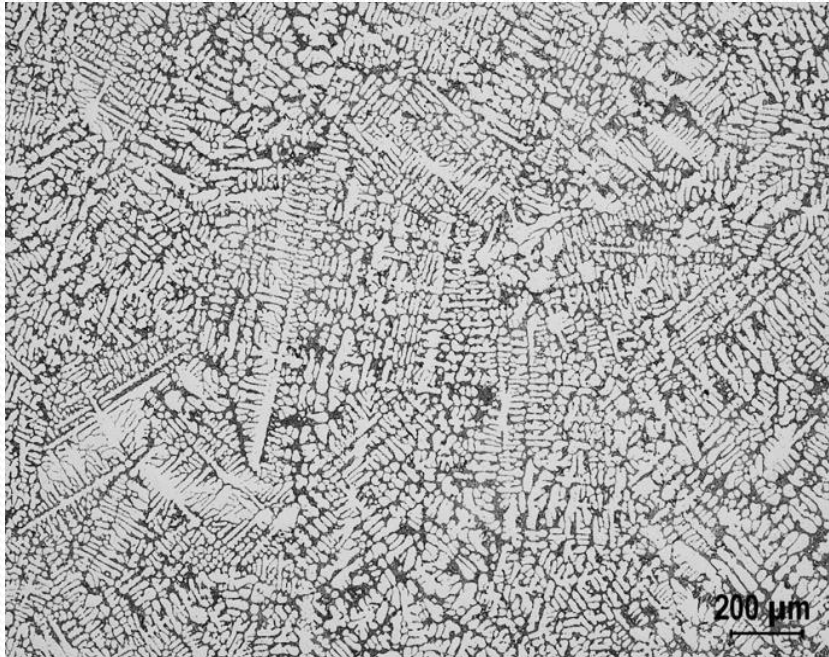


DAS ve SDAS  
intersept  
yöntemi ile  
ölçülür!

DAS, SDAS  
=  $n/l$



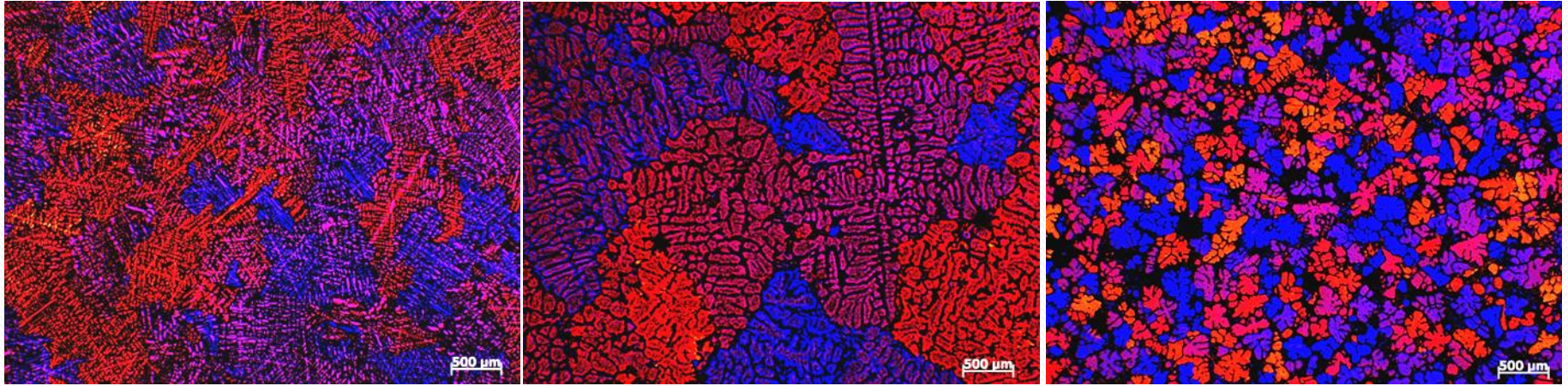
# Döküm yapısı ölçeği – DAS





# DAS vs d

**DAS yaklaşık aynı fakat d çok farklı!**



**D yaklaşık aynı fakat DAS çok farklı!**

DAS ve tane çapı bağımsız ve önemli 2 parametredir.

$DAS = f(\text{soğuma hızı} / \text{kesit kalınlığı})$

$d = f(\text{soğuma hızı, kimyasal etkiler ....})$

# DAS

Döküm parçalarda mekanik özellikleri etkileyen en önemli yapısal parametreler

DAS değeri

Isıl işlem ve

Silis partiküllerinin morfolojisidir.

Çekme mukavemeti ve uzama değerleri DAS değeri 115  $\mu\text{m}$ 'dan 25  $\mu\text{m}$ 'a düşerken önemli artışlar göstermiştir.

Yorulma ömrü DAS değeri artarken düşmektedir.



# Gaz boşlukları

## Ergitme işlemleri

rutubetli dökümhane ortamı

rutubetli refrakterler

rutubetli aletler /gelberi vb

rutubetli kalıplar  $3\text{H}_2\text{O} + 2\text{Al} = 3\text{H}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

## Ergitme pratikleri

şarj malzemeleri (hurda vb)

fırınlarda kullanılan hidrokarbonlu yakıtlar

yetersiz gaz giderme/flakslama

yetersiz filtrasyon

# Gaz boşlukları

Döküm işlemi

kalıp dolumu: türbülans

şelaleli transfer işlemleri

Kalıp ve maça (organik bağlayıcıların ayrışması sonucu) kaynaklı gazlar

Kalıpta ve yollukta hava/yetersiz havalandırma

Kalıp ve yolluk tasarımı

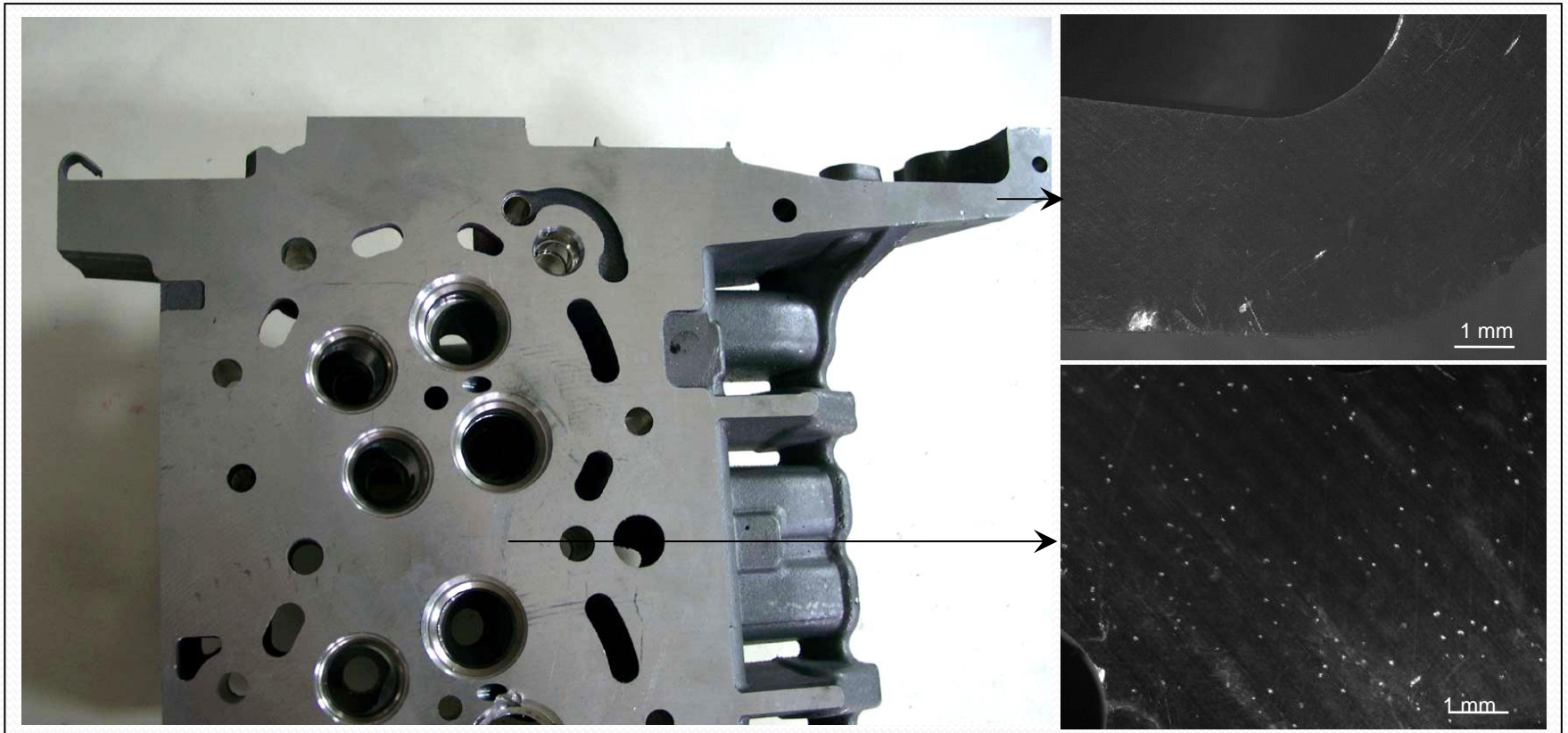
Katılma hızı

Alaşım

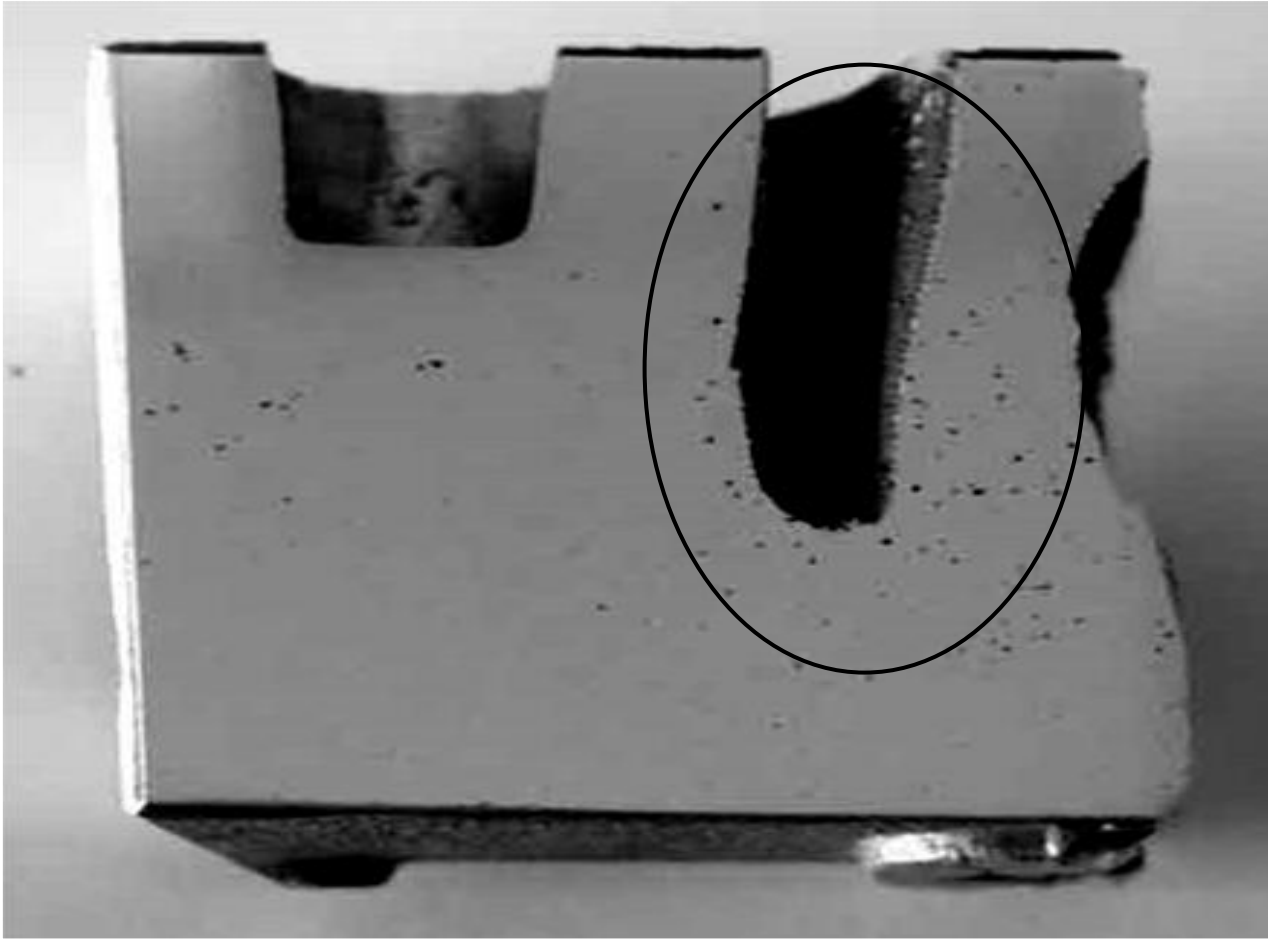
Sr ilavesi

Tane küçültme pratiği

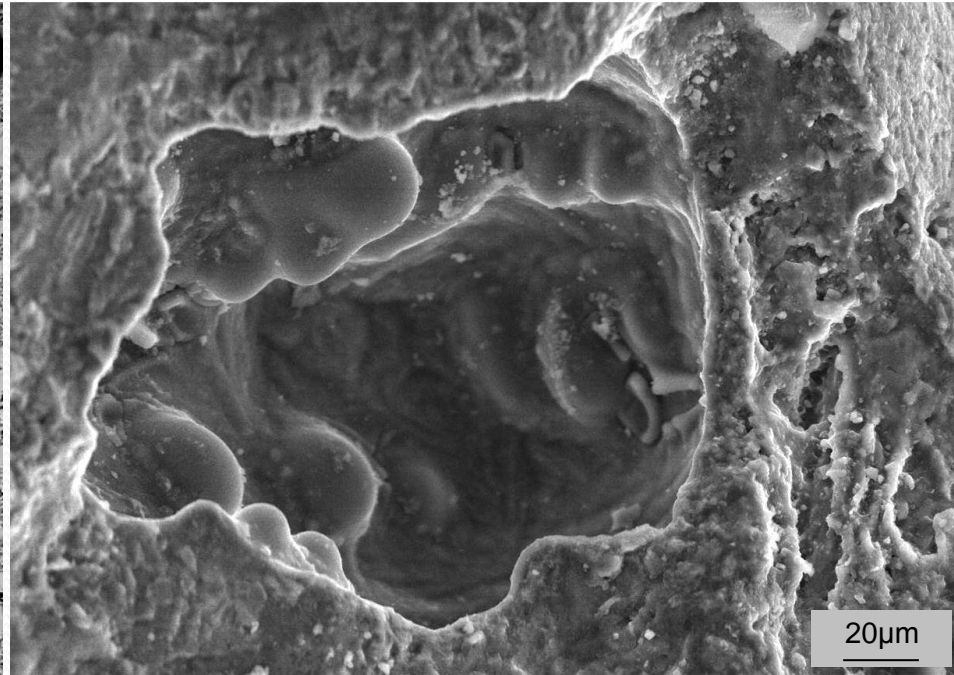
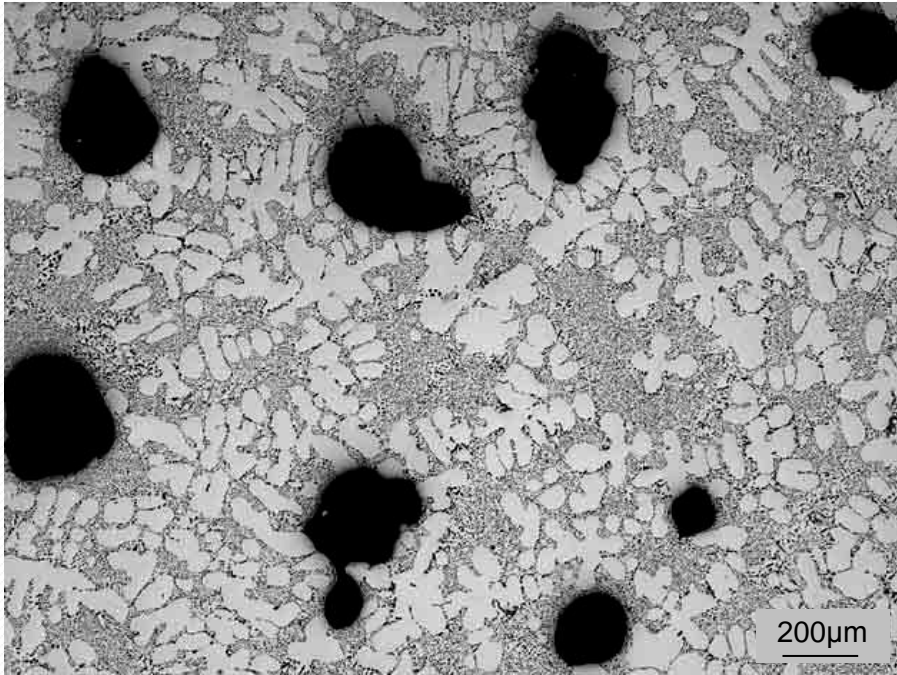
# Gaz boşlukları



# Gaz boşlukları

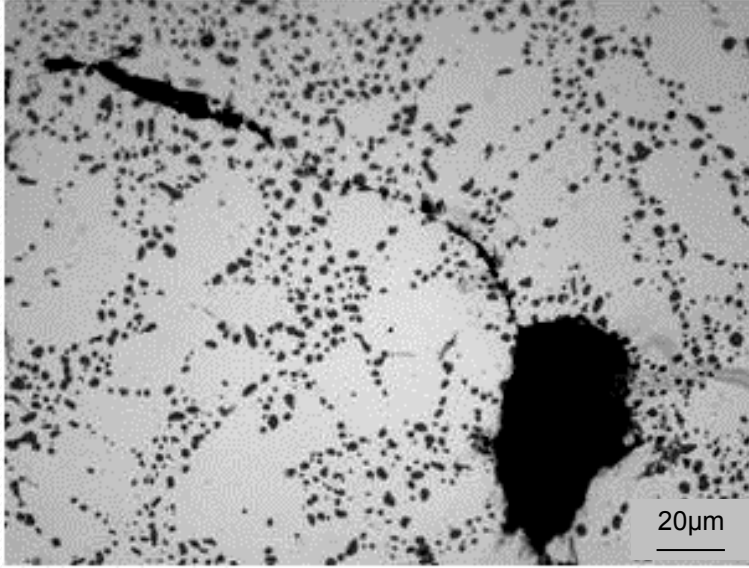


# Gaz boşlukları

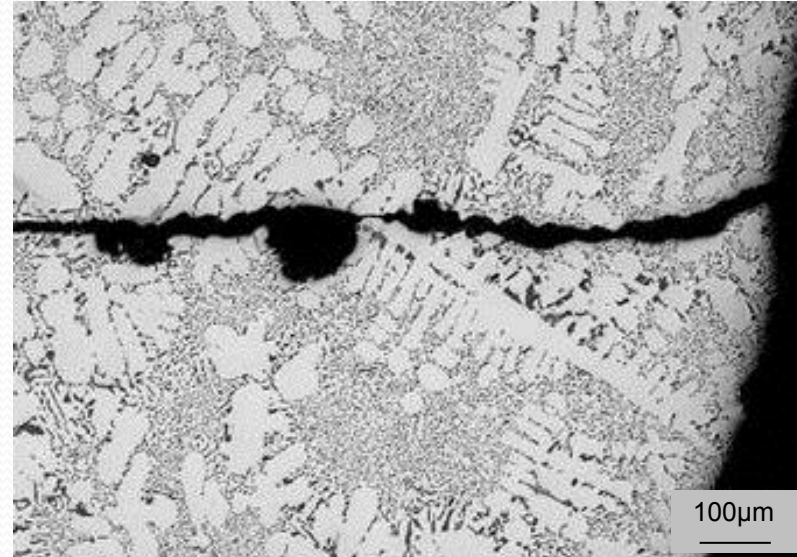




# Gaz boşlukları

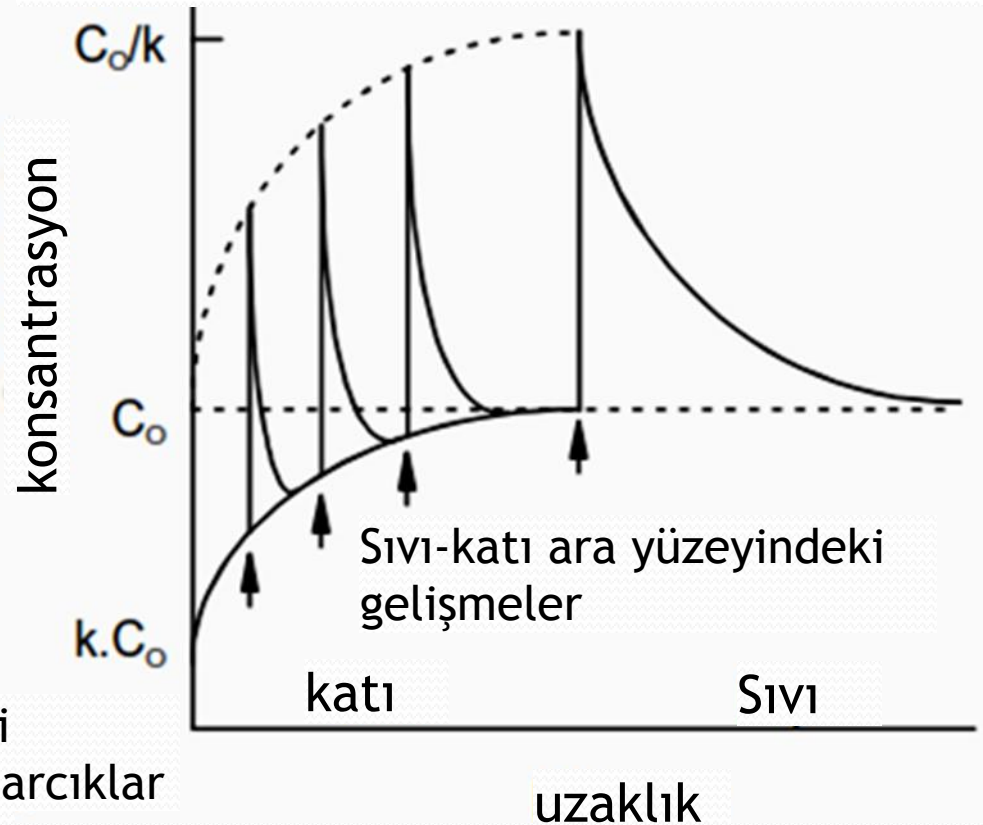
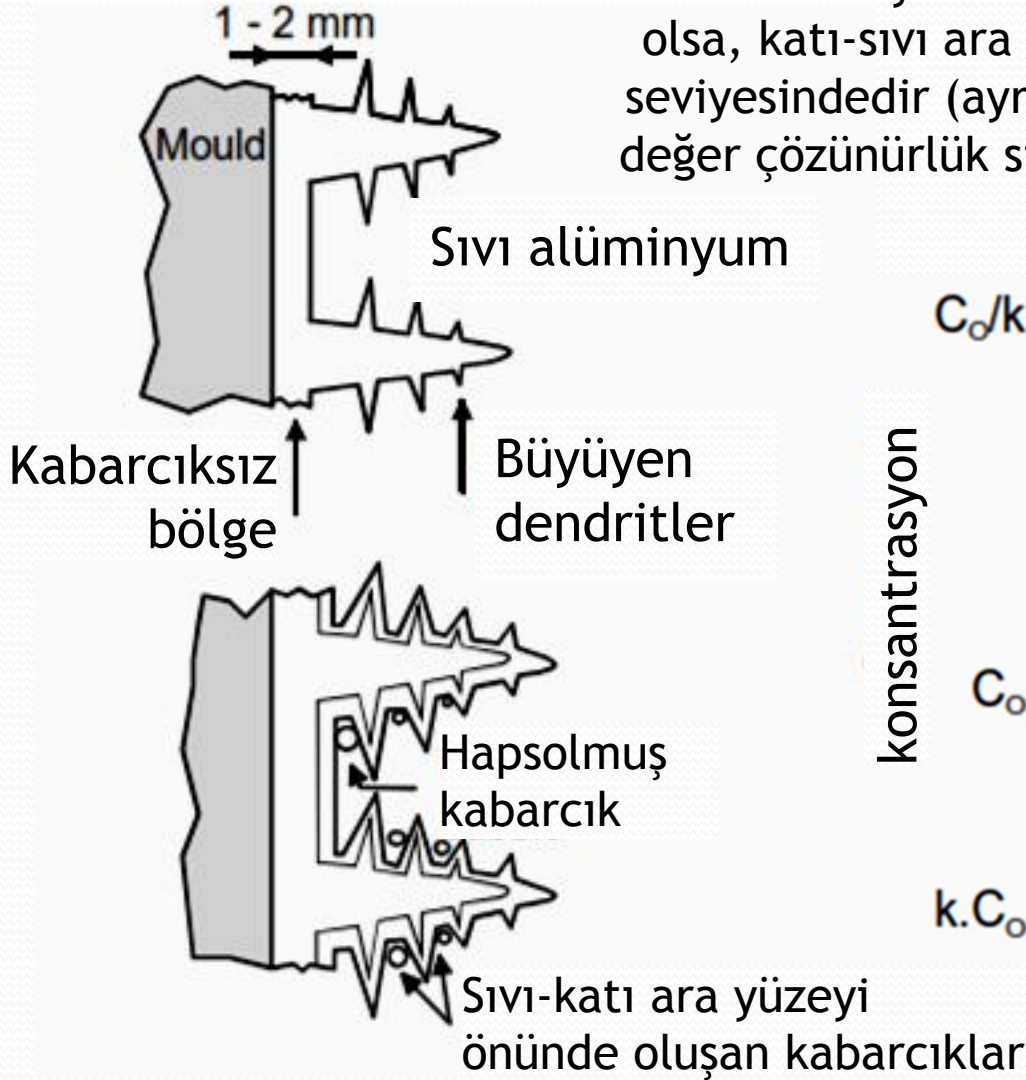


Yorulma performansı gaz boşluklarından doğrudan etkilenir. Kesitteki en büyük boşluk yorulma ömrünü belirleyecektir.

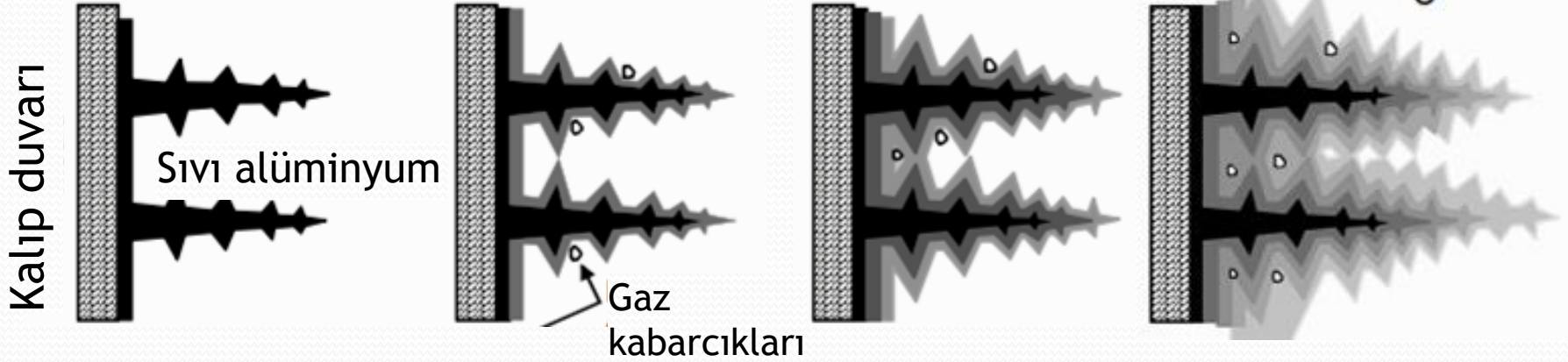


# Gaz gözenekleri

Sıvı alüminyumda çözülmüş H miktarı 0.1 ml/100g bile olsa, katı-sıvı ara yüzeyindeki gaz miktarı bunun 20 katı seviyesindedir (ayırışma katsayısı  $k$ : 0.05): 2 ml/100g. Bu değer çözünürlük sınırının çok üstündedir ve gaz artık sıvı içinde kabarcıklar oluşturmaya başlar.

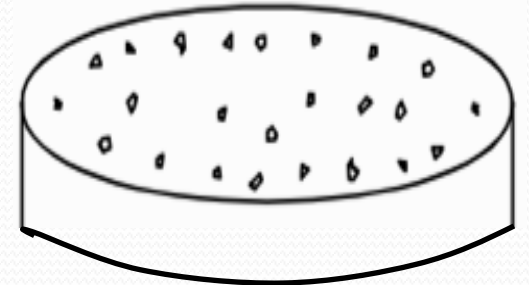


# Gaz boşlukları



Katılaşma devam ederken katıdaki çözünürlüğü sıvıya göre çok daha düşük olduğundan katılaşma hattı önündeki sıvı alüminyumda hidrojen gazı giderek zenginleşir. Gaz gözeneklerinin boyutu ile DAS arasında belirgin bir ilişki vardır!

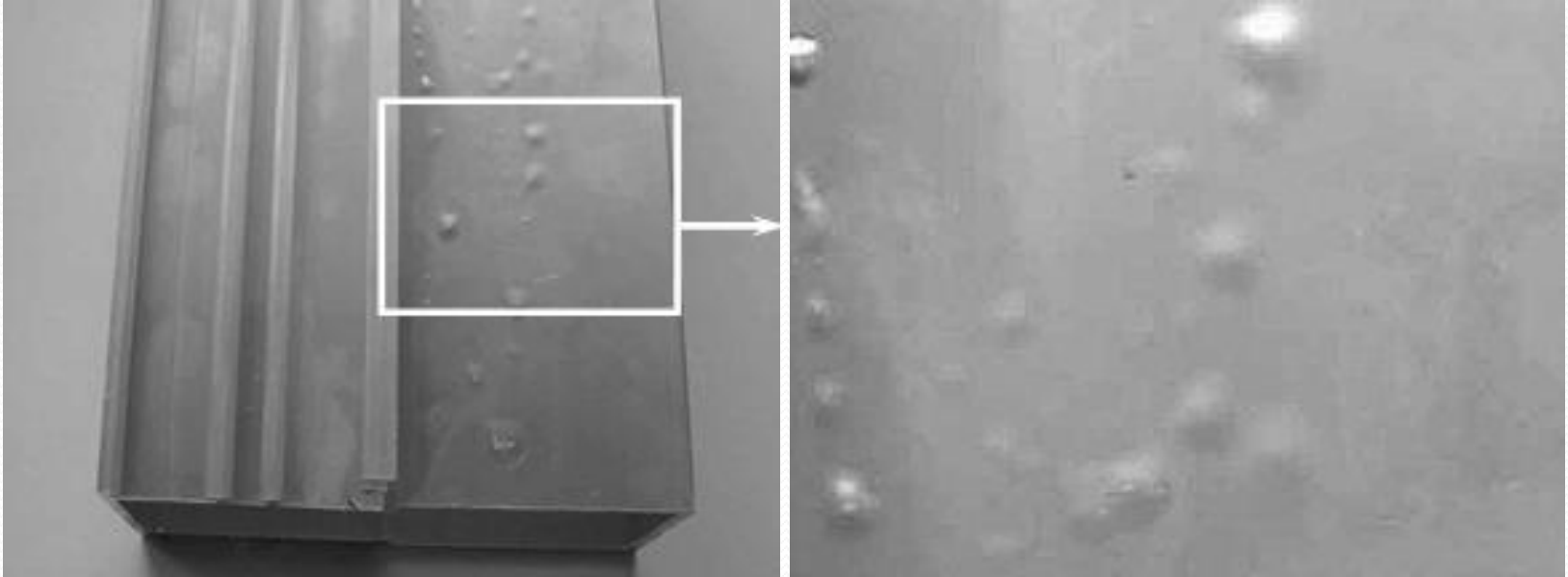
Homojen dağılımlı  
0.05-0.5mm çap  
Yüzeyden 1-2mm  
derinlik gözeneksiz



# Gaz-blistler

Hidrojen gazı döküm yapısında gözenek yaratmamış bile olsa alüminyumda çözünmüş varlığı ile tehdit oluşturmaya devam eder.

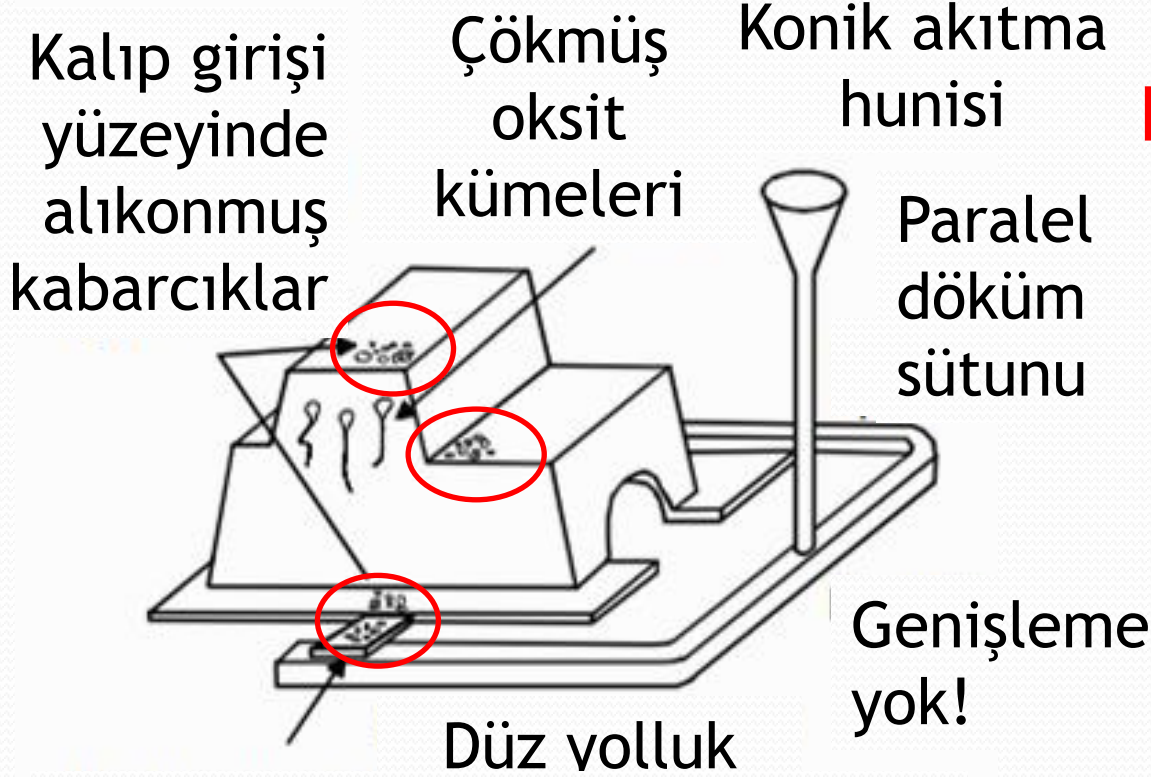
Bir yüksek sıcaklık işleminde özellikle serbest yüzeylere yakın bölgelerde H atomları yayınma yolu ile moleküler hale geçer ve kabarcıklar yaparak yüzey kalitesini bozarlar.





# Kalıp içindeki hava

Hatalı yolluk tasarımı sonucunda oluşur!



Türbülanslı önlemeye yetersiz kalıp girişleri

**Gözenekler giriş parça üst yüzey ve basamaklarının yüzeylerinde Boyutlar değişken 0.5-5mm çap**

**Çözüm: yolluk tasarımı iyileştirilmeli!**

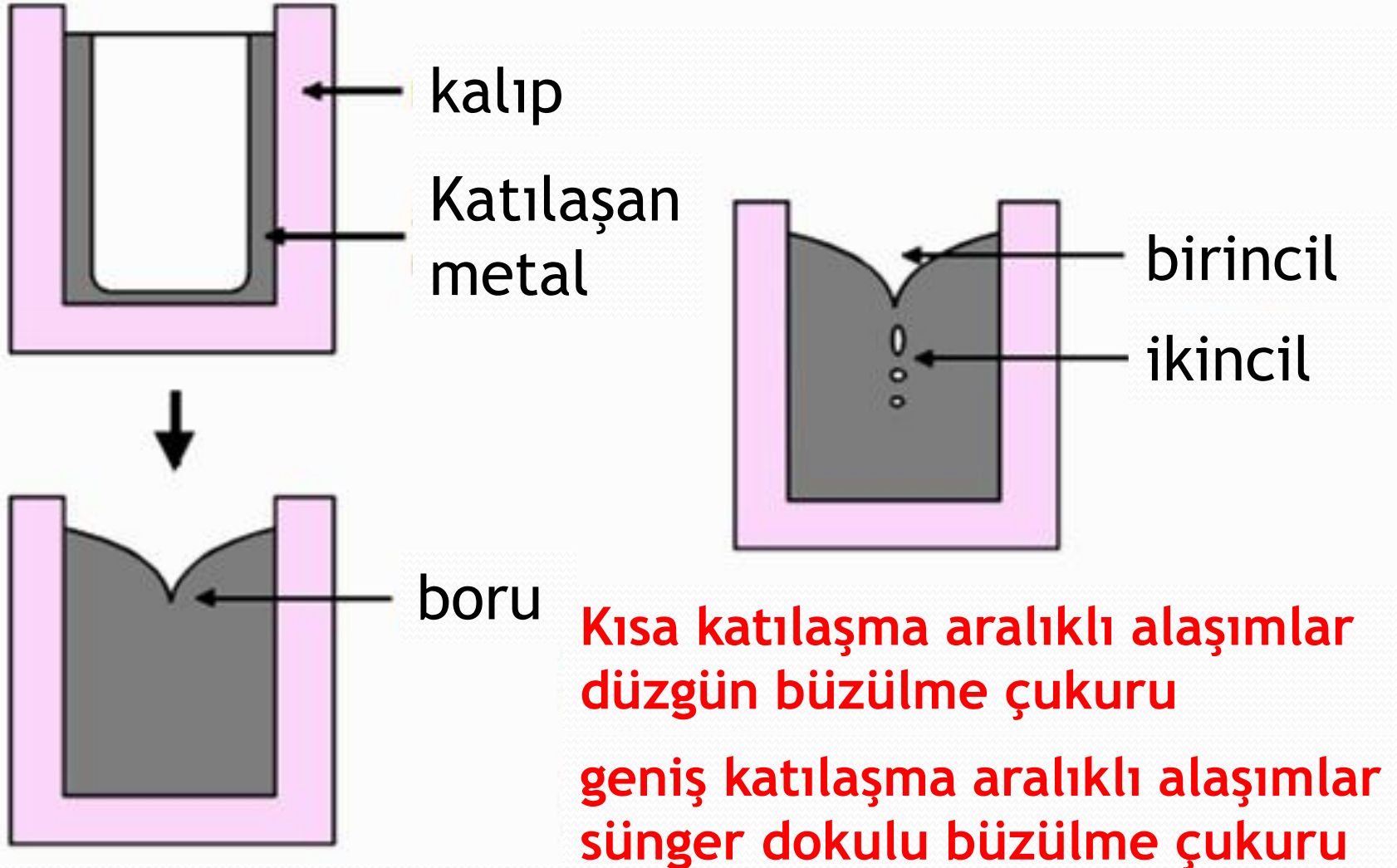


# Maça gazları

- Kum kalıba sıvı metal akıtıldığında maça içindeki gaz genişler ve kaçmak ister.
- Reçine bağlayıcılar da ısınınca ayrışır ve gaz üretir. Bu gaz maça izlerinden kaçabilir.
- Kalan gaz basıncı sıvı metalin basıncını aştığında sıvı metalde gaz kabarcığı oluşur ve yüzerek katılaşma sonrasında yüzeyde gözenekler oluşturacak şekilde hareket eder.
- Bu maça gazı kaynaklı bu gözenekler 10-100mm boyutlarında çok iridir.



# Makro gözeneklilik



# çekinti

Alüminyum katılaşma sırasında sıvı alüminyumun yoğunluğu katı halden % 6.5 kadar düşük olduğu için büzülür.

Parçalar her zaman yüzeyden içeri , merkeze doğru katılaşır.

Bu nedenle sağlıklı bir **besleme pratiği, kalıp tasarımı, alaşım seçimi, sıcaklık rejimi** uygulanmadıkça bu büzülme kendini mutlaka **çekinti boşlukları** şeklinde gösterir.

# Çekinti-Alaşım bileşimin etkisi

Si katılaşma sırasında %8 kadar genleştiğinden çekintiyi telafi eden yegane elementdir.

Az miktarda ötektik faz içeren (ötektik noktadan uzak alaşımlar) dağınık mikro gözenek veya çökme gösterirler.

P, Na, Sb, Sr, gibi elementler silis fazının morfolojisini değiştirdiklerinden yüksek silisli alaşımlarda gözenek şekli üzerinde de etkilidirler.



Micro-shrinkage

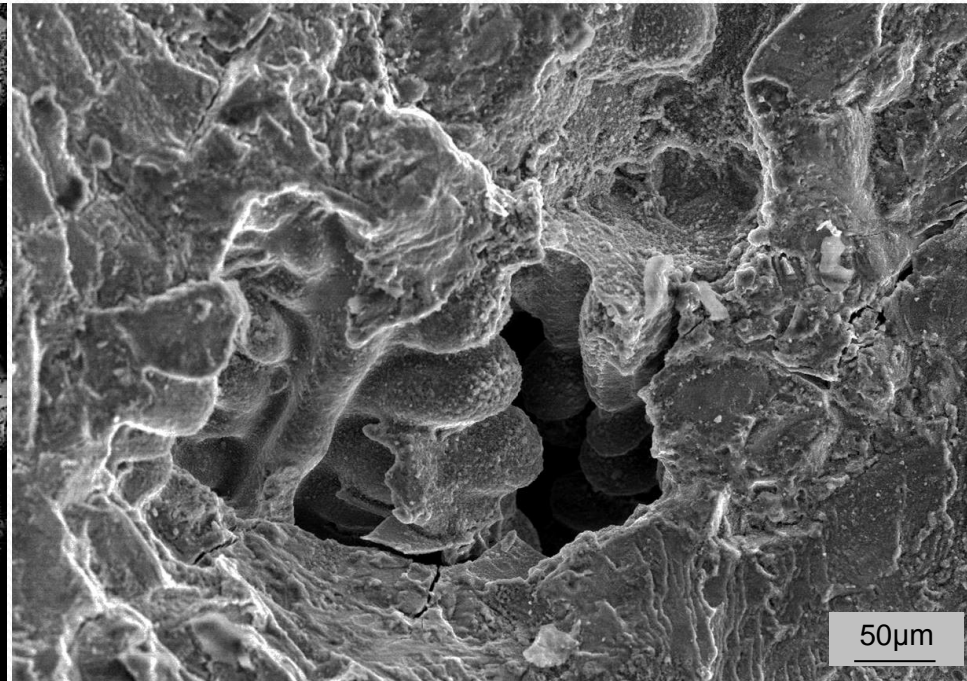
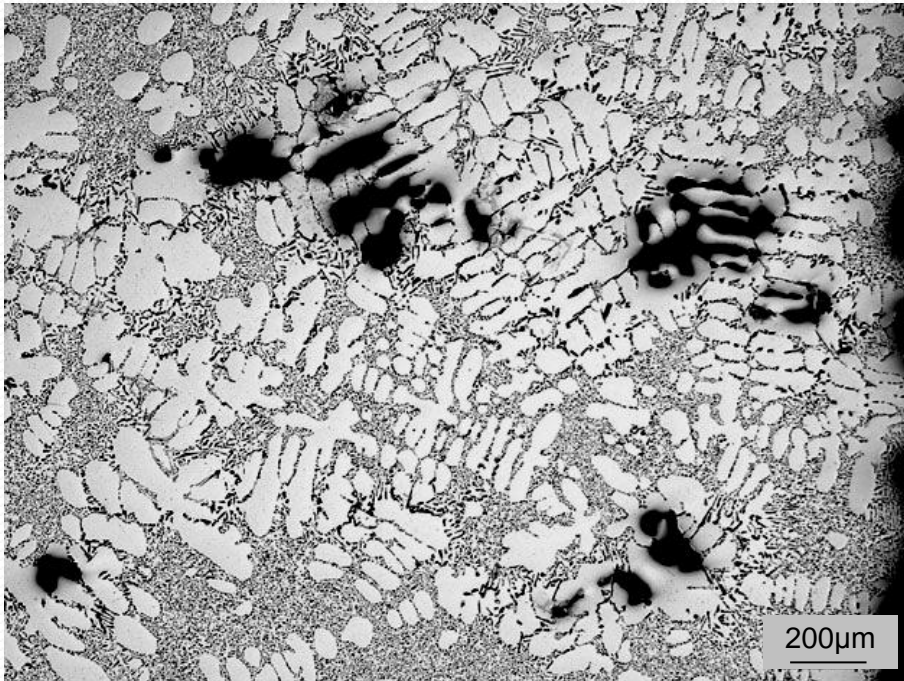
(Macro-)shrinkage

Spongy shrinkage

Collapsing



# Mikro çekinti



# gözeneklilik

hata	dağılım	boyut
Çözeltide iken çökelen gaz	Homojen; yüzeyden 1-2mm derinliğe kadar yok!	0.05-0.5mm
Hava kaçması	Giriş deliği üstünde, yatay yüzeylerde yoğun; yüzeye çok yakın; döküm parça tornalandığında veya kumlandığında görünür.	1-5mm
Maça gazları	Döküm üst yüzeyinden homojen derinlikte	Tipik olarak 100 mm çapta; 10 mm kalınlık

# Çekinti boşluk ve gözenekleri

ölçek	makro	Orta boyut	mikro
neden	Besleme yetersiz	Dendritler arası besleme yetersiz	Dendritler arası besleme yetersiz
Kısa katılaşma aralığı	Düzensiz çekilme hattı	Merkez hattında çekilme	Dağınık mikro çekinti
Uzun katılaşma aralığı	Çekilme süngerimsi yapı	Tabaka gözenegi	Dağınık mikro çekinti

# Döküm hataları ve çözümleri

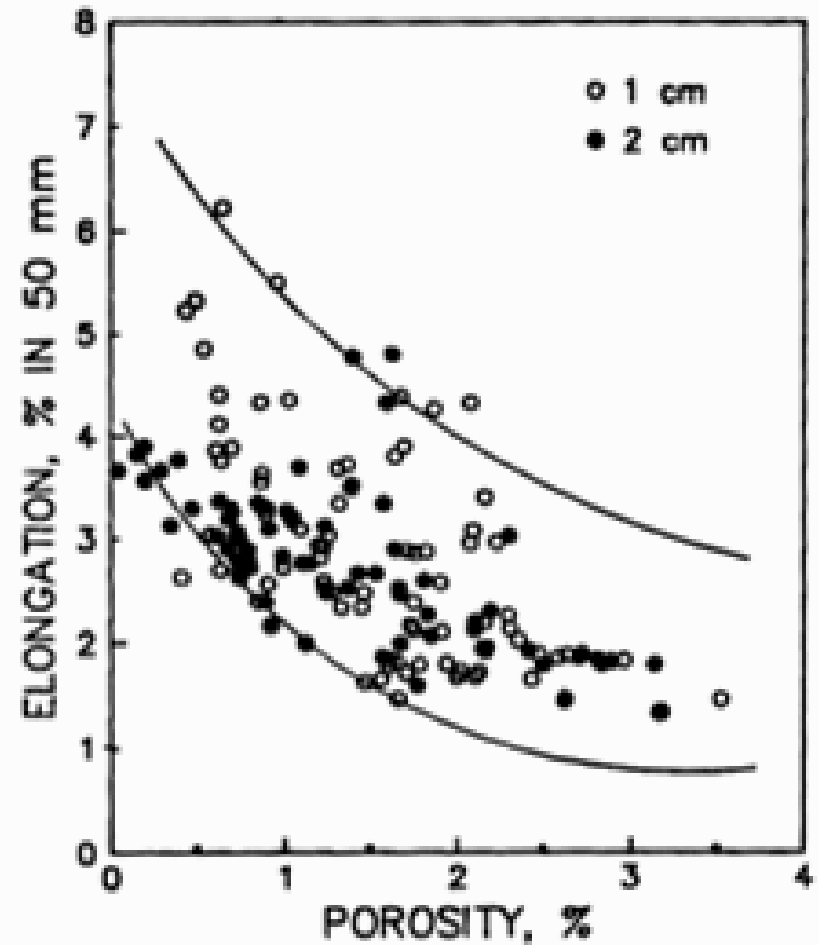
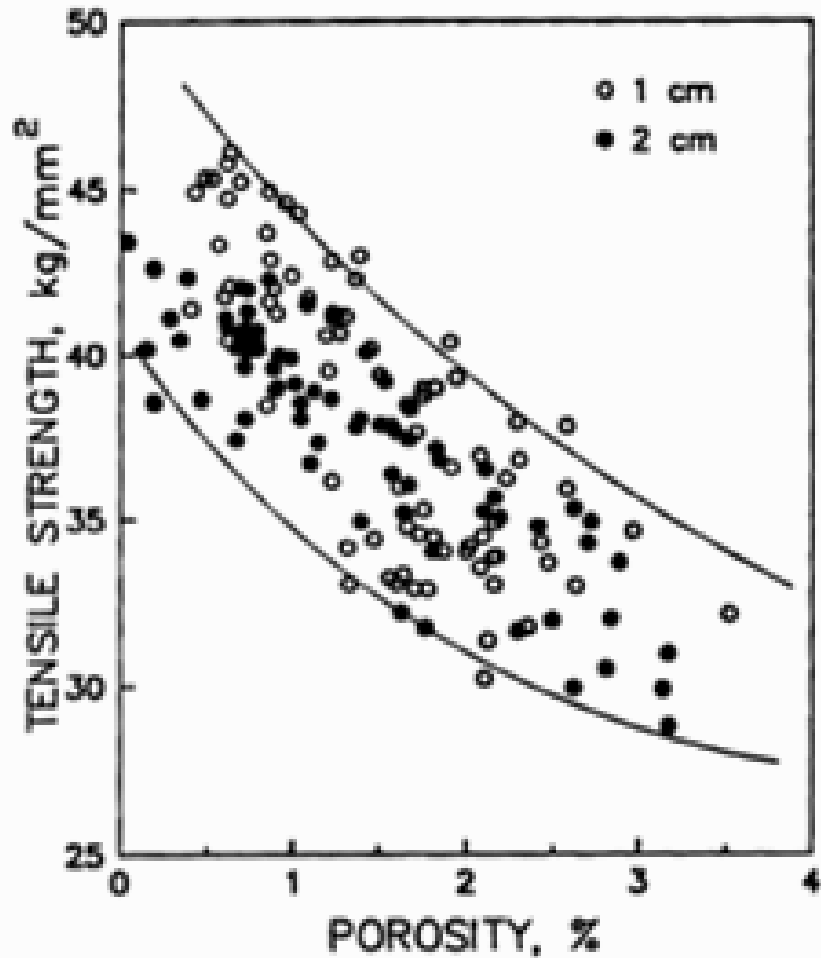
## **Çekinti boşlukları**

Kalın kesitlerin beslenmesi yetersiz

Beslemeyi güvence altına almak için yolluk ve kalıp girişi iyi tasarlanmalı

Optimizasyon için nümerik simülasyon tekniğinden yararlanmalı!

# Gözenek vs mekanik özellikler





# Sıcak yırtılma

Katılaşma tamamlandıktan sonra döküm parçada çatlaklara rastlanabilir. Buna sıcak yırtılma hadisesi denir.

Katılaşma sırasında katılaşması tamamlanan bölgeler tarafından katılaşması devam eden yarı katı haldeki bölgelere gerilme uygulanır. Yarı-katı bölgeler çok kalın ve sıvı alaşım beslemesi yetersiz ise çatlaklar oluşabilir.

Alaşım bileşiminin sıcak yırtılma üzerinde büyük etkisi vardır. Seçilen alaşım bileşimi katılaşmaya devam eden bölgelerin beslenmesi için sıvı ötektik faz tedarikini doğrudan belirler.

# Sıcak yırtılma

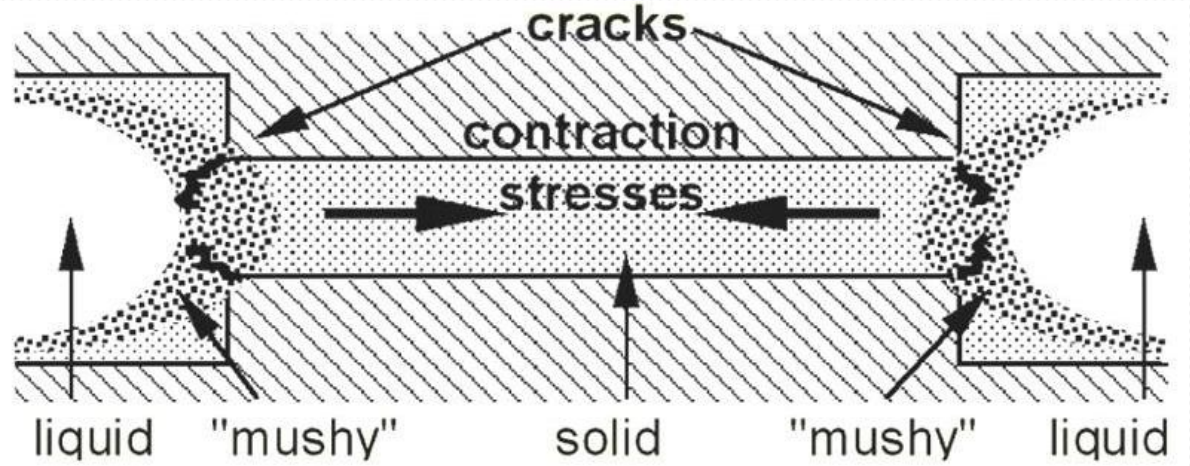
Sıcak yırtılmaları kontrol etmek için diğer etkenler de kontrol edilmelidir.

Döküm parça tasarımı

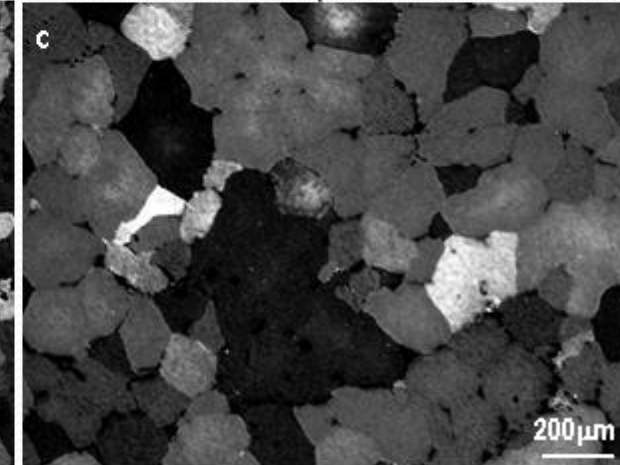
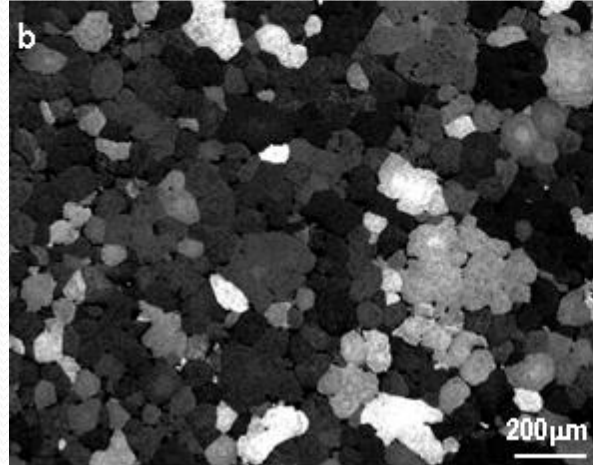
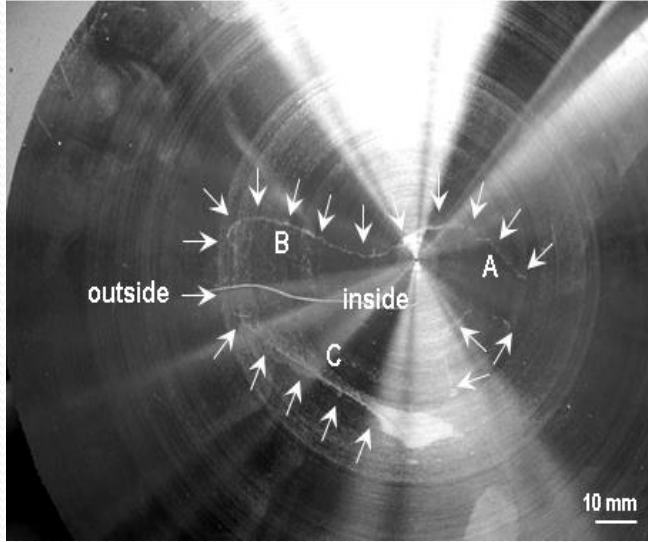
Tane küçültme uygulamasının etkinliği

Kalıbın stifliği

Katılaşma sırasında ortaya çıkan çekilme gerilmeleri



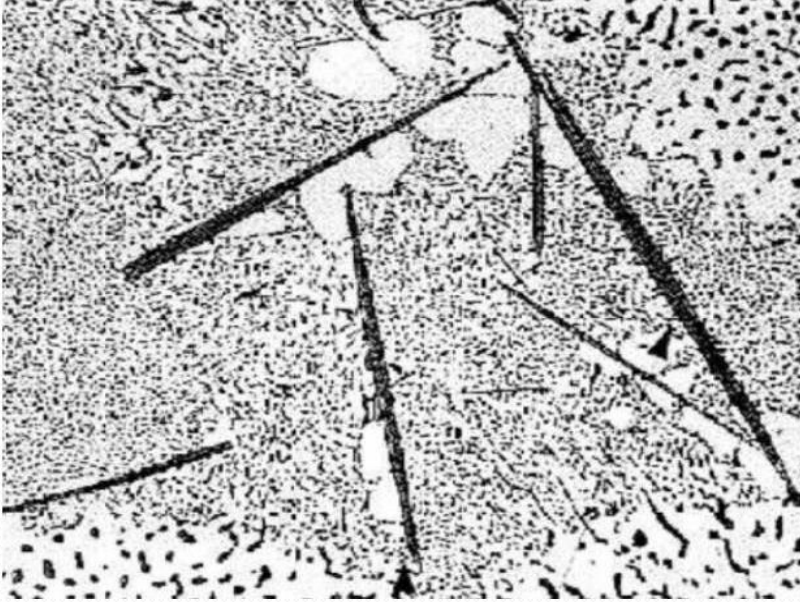
# Sıcak yırtılma



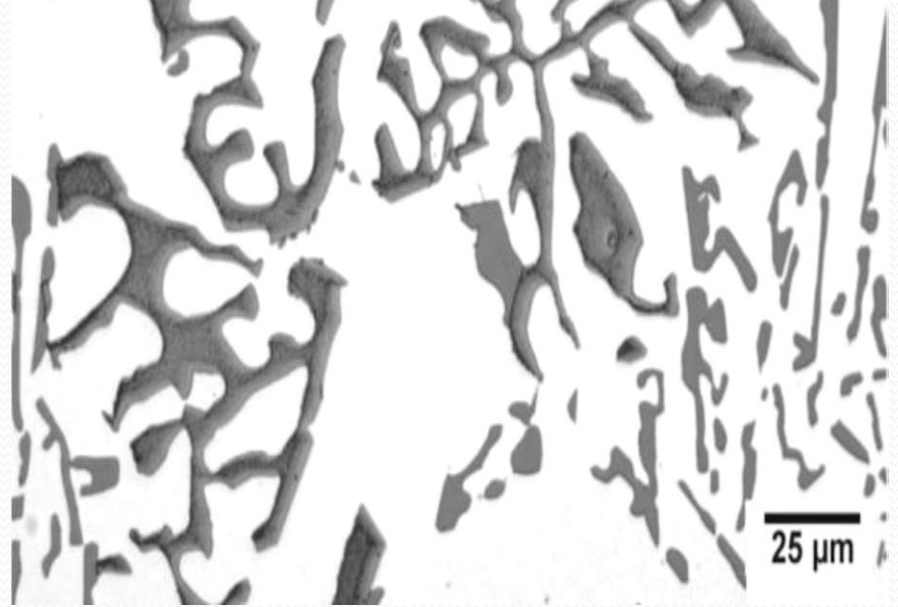
ETİ Alüminyum tarafından dökülen 7XXX serisi alüminyum alaşımında sıcak yırtılma!



# bileşikler

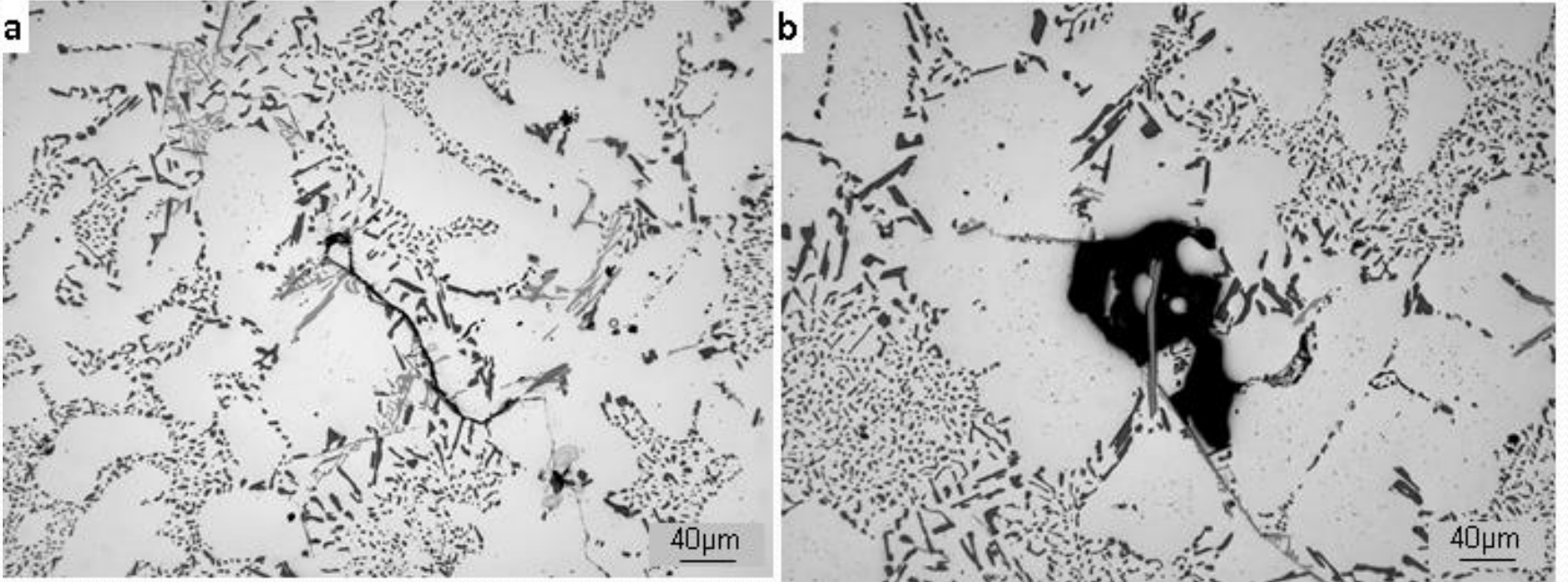


Kokil kalıba dökülen %1 Fe'li Al-12Si alaşımında  $\text{FeSiAl}_5$  iğneleri



$\alpha$ -AlFeSi bileşiği  
“chinese script”  
morfolojisi

# AlFeSi bileşik partikülleri



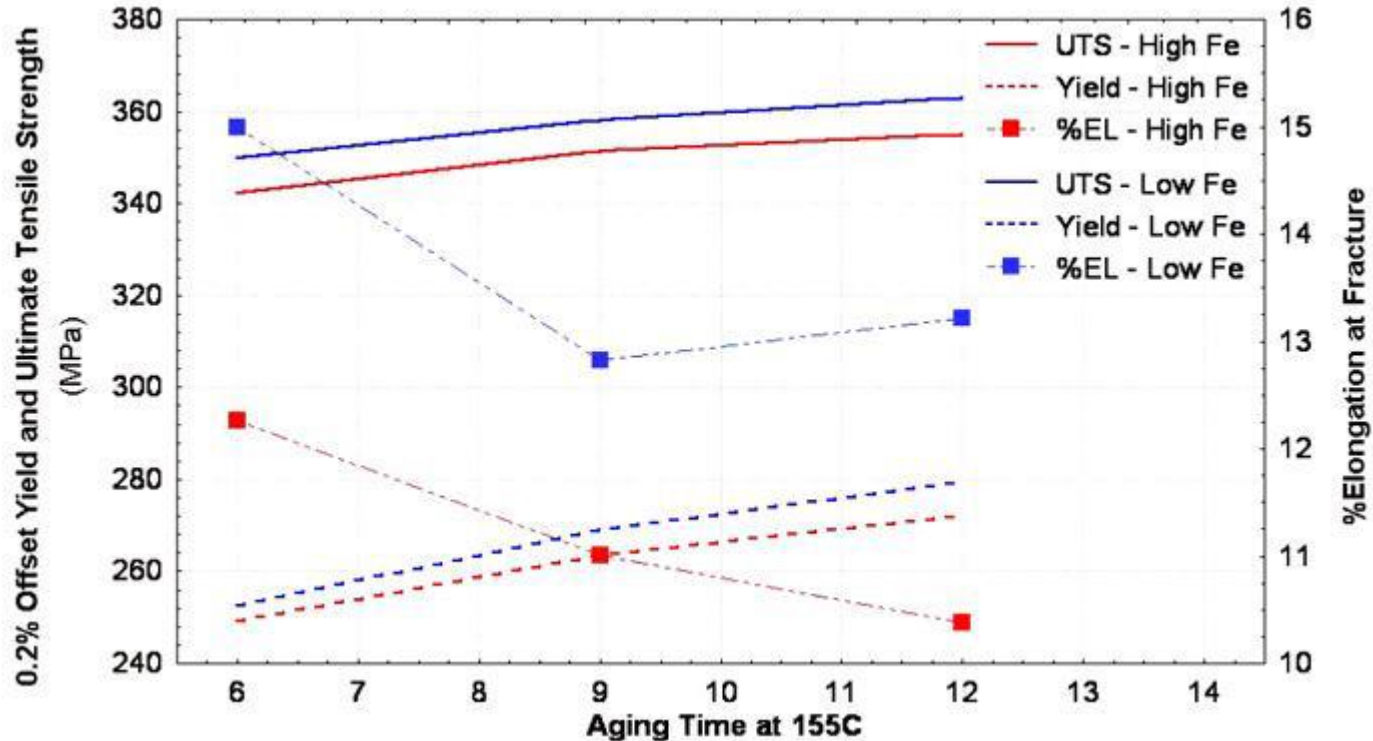
Metallerarası AlFeSi bileşik taneciklerinin neden olduğu ve hızlandığı çatlaklar.  
β-AlFeSi tanelerinin dendritler arasındaki sıvı akışına engel olarak yol açtığı mikro çekintiler.



# AlFeSi bileşik partikülleri

Monoklinik  $\beta$ -AlFeSi bileşikleri iğnesel morfolojilerdedir ve mekanik özelliklere büyük zarar verir.

Fe'ce zengin ikincil alaşımlarda süneklilik yüksek Fe'den ve bu bileşiklerden büyük zarar görür.



# Silis modifikasyonu

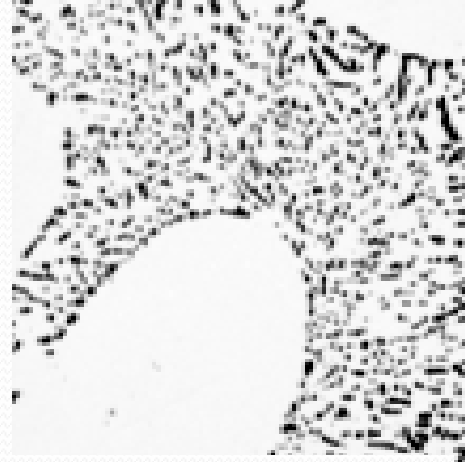
1. seviye



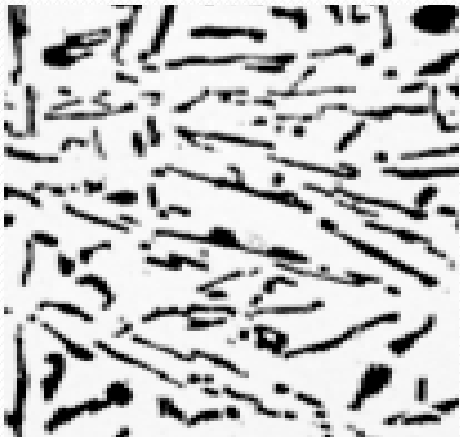
3. seviye



5. seviye



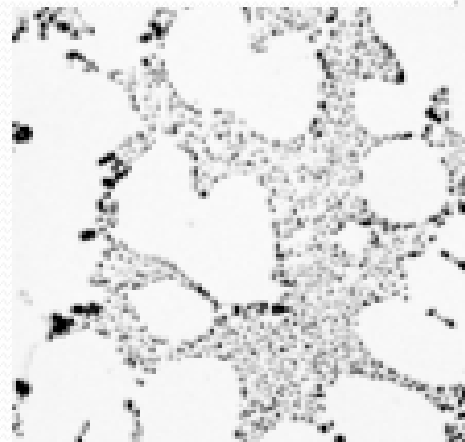
2. seviye



4. seviye



6. seviye

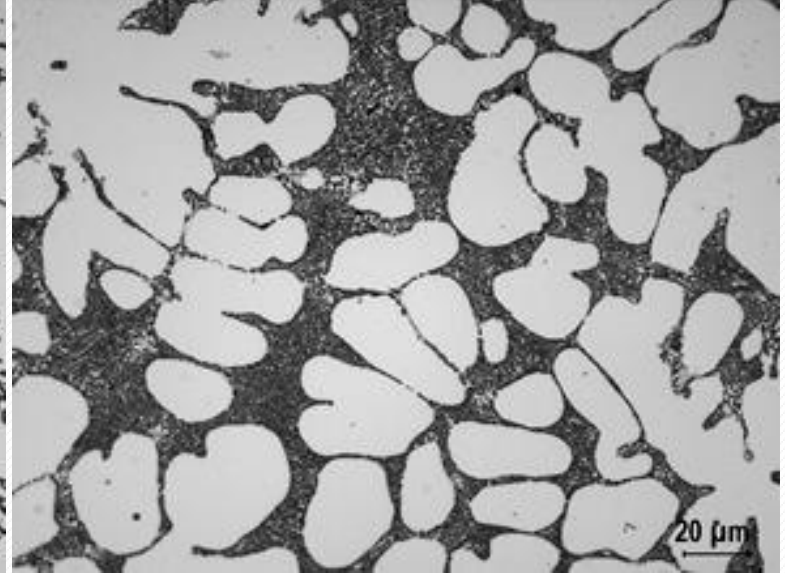
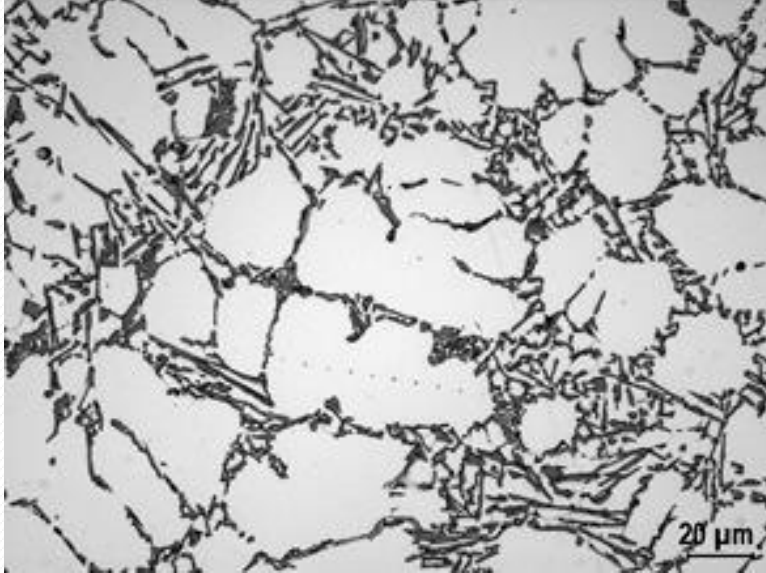


# Silis modifikasyonu

A356.0 alaşımı

modifiye edilmemiş

modifiye edilmiş



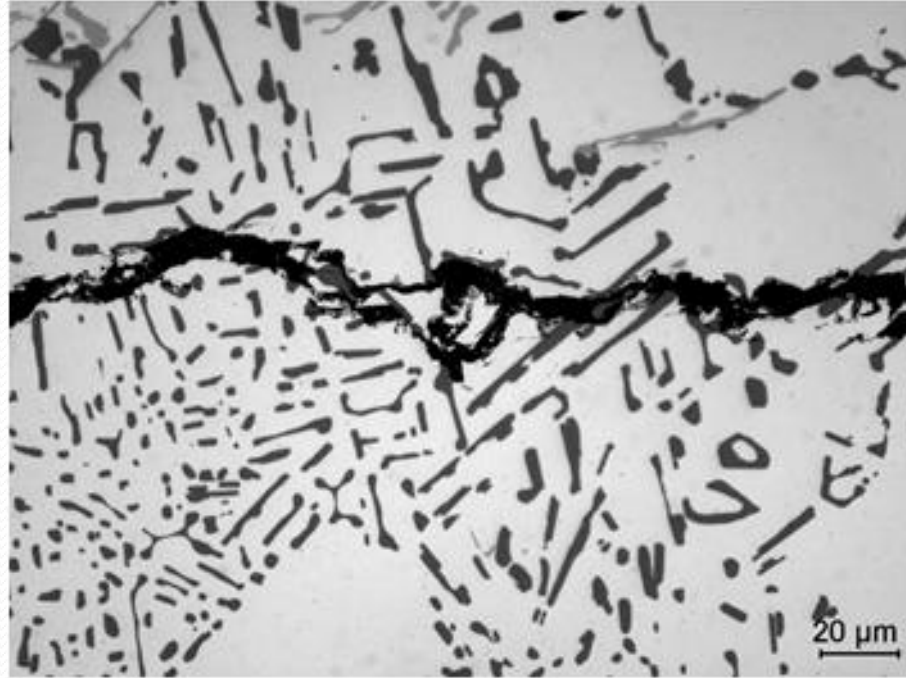
Yüksek hızlı katılaşmalarda da silis fazı modifiye olur:

Basıncılı döküm!

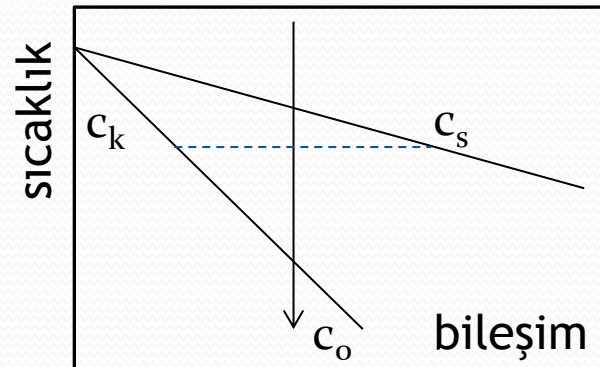
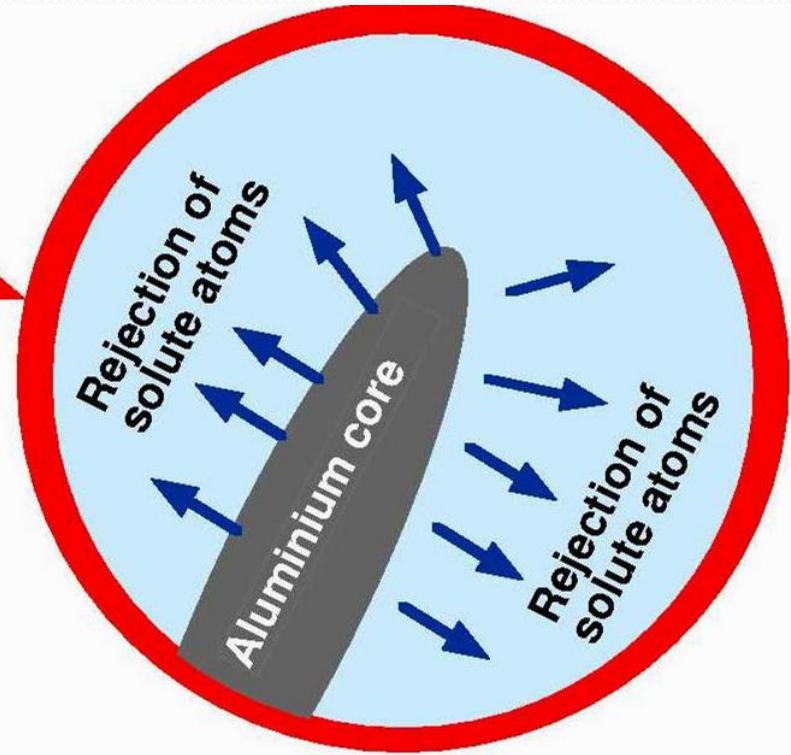
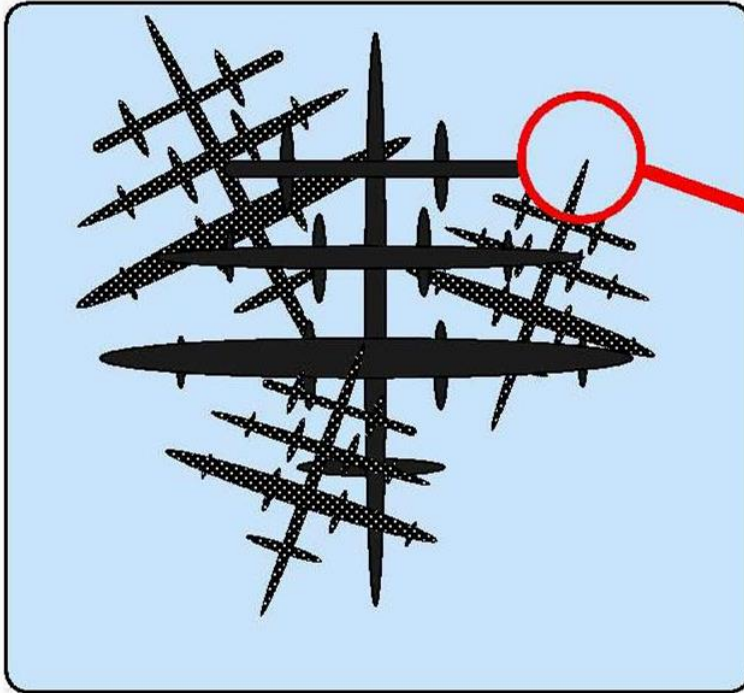
Çözeltiye alma tavı da silis tanelerinin yuvarlanmasını sağlar!

# Silis modifikasyonu

Alüminyum silindir kapağında silis tanelerini takip eden yorulma çatlağı



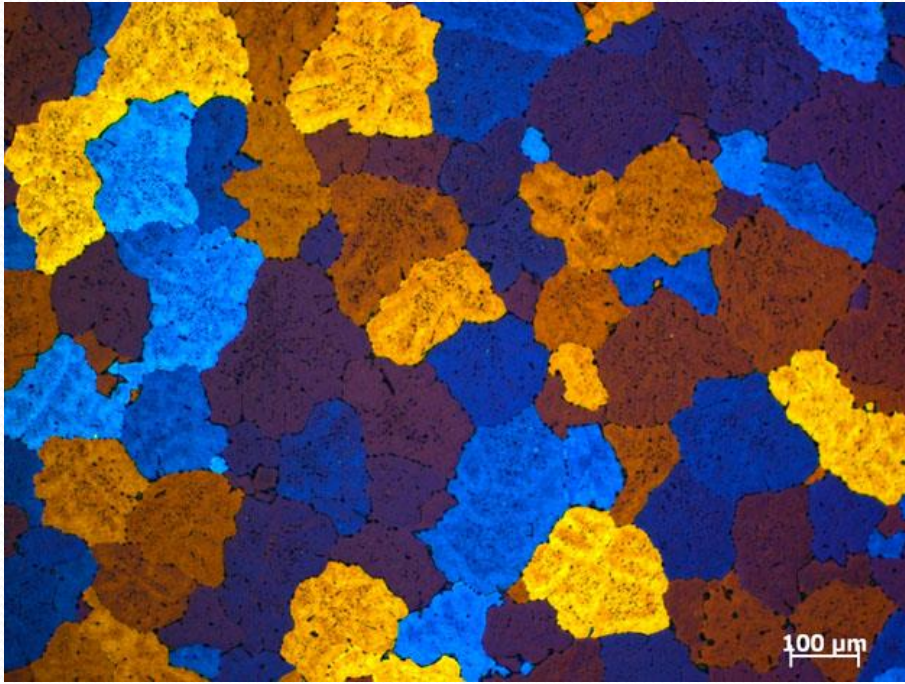
# segregasyon



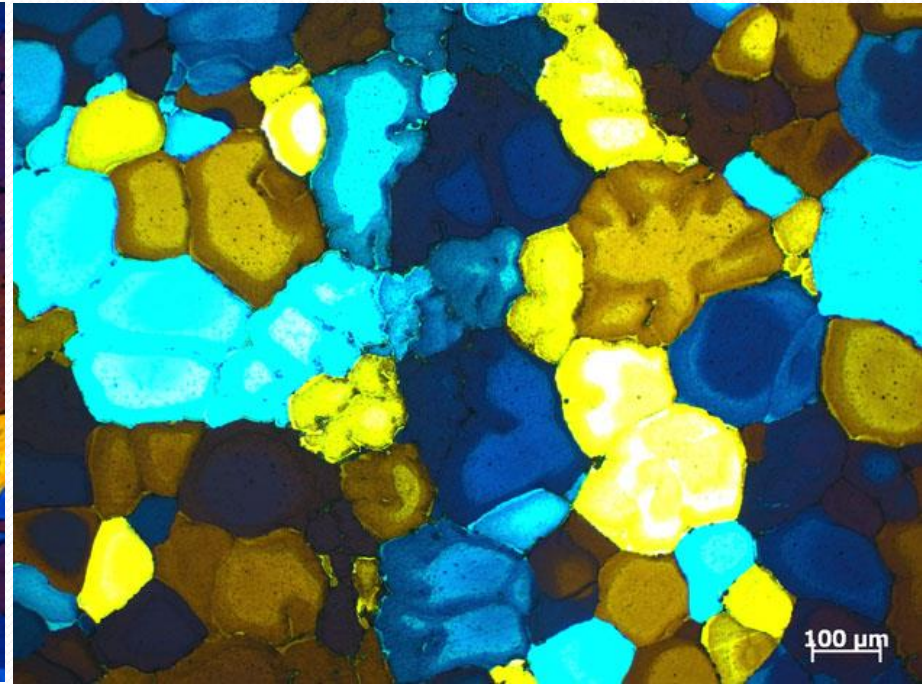


# segregasyon

Dendritik yapı ölçeğinde bileşim dalgalanmaları:  
dendritik segregasyon-coring



6XXX alloys

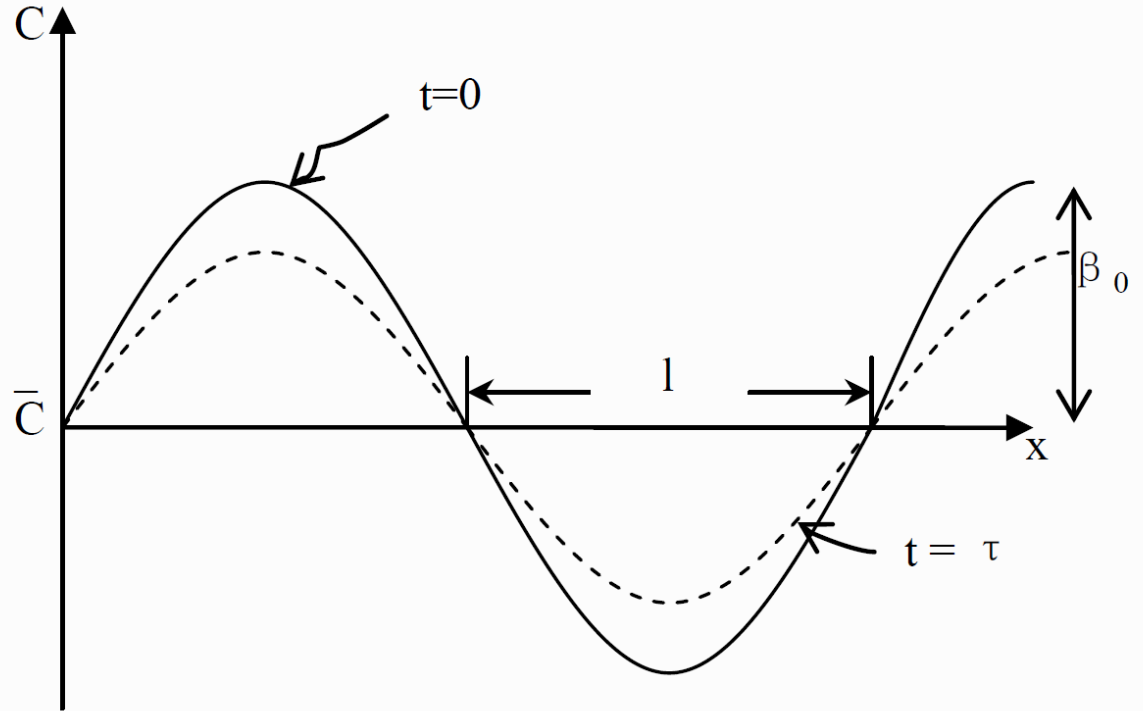


7XXX alloys

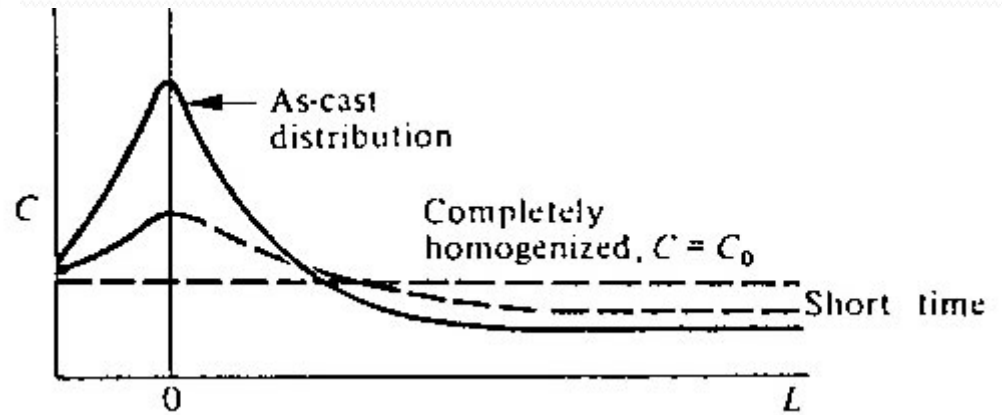
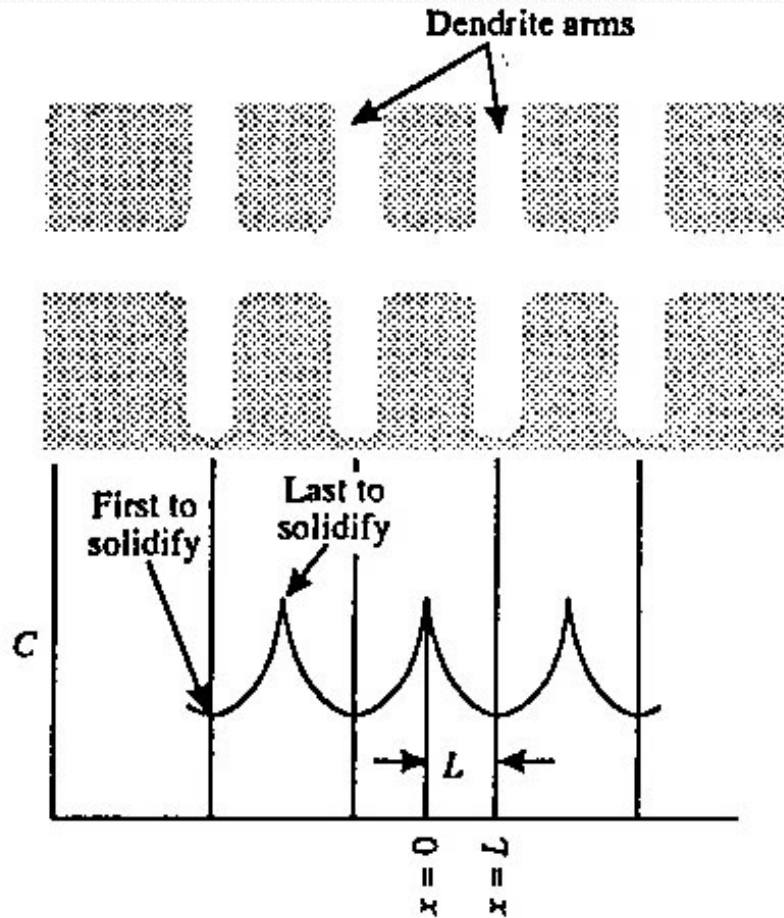
# Homojenleştirme tayı

Dökümden gelen segregasyon homojenleştirme tayı ile büyük ölçüde giderilebilir ve plastik şekil verme uygulanacak parçalar için uygulanmalıdır.

I



# homojenleştirme



# Homojenleştirme tavi

Dendritik segregasyonu gidermek için yüksek sıcaklık tavi!

Kompozisyon dalgalanmalarını gidermek için uygulanacak ısıtma işleminin T ve t parametreleri için Fick difüzyon denkleminde yararlanıyoruz.

$$x = \sqrt{D \cdot t}$$

X, difüzyonun gerçekleşmesini istediğimiz mesafe ve burada dendrit kol aralığı mesafesi, t tavi süresi ve D difüzyon katsayısı.

# Homojenleştirme tavi

DAS değeri 100 mikron olan bir çelik döküm parça 1100°C'de ostenitleniyor. Karbon segregasyonunu gidermek için gerekli tav süresi:

$$t = x^2/D$$

1100°C'de karbonun ostenit fazında difüzyonu için  
 $D = 8.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

$$t = (0.01\text{cm})^2 / 8.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s} \\ = \mathbf{100 \text{ s (karbon için!)}$$

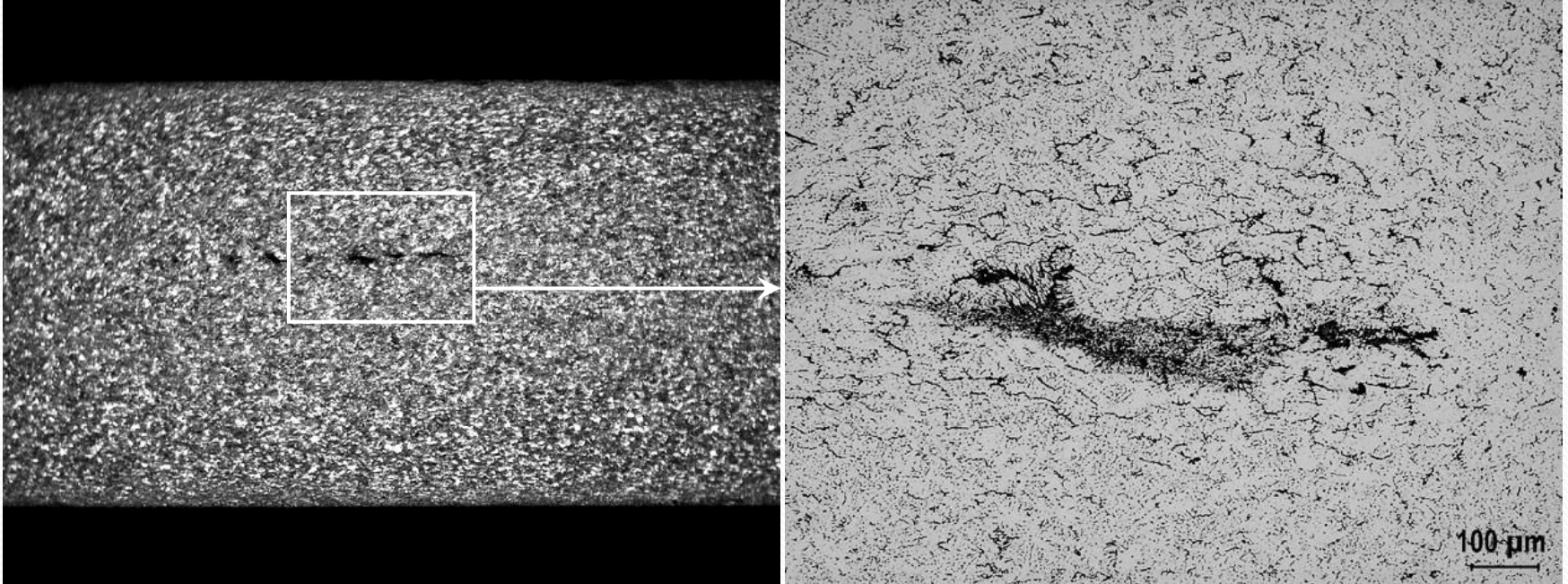
1400°C'deki tavda Ni segregasyonunu gidermek için gerekli süre:

1100°C'de ostenitte Ni difüzyonu için  $D = 1.2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

$$t = (0.01\text{cm})^2 / 1.2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} = \mathbf{23 \text{ saat (Ni için!)}$$



# Sürekli dökümde segregasyon



# metalik olmayan kalıntılar sıvı metal kalitesi

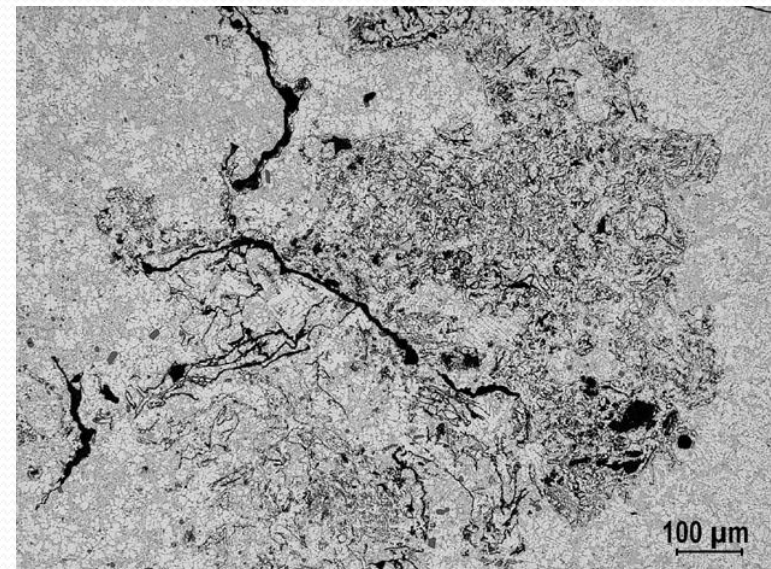
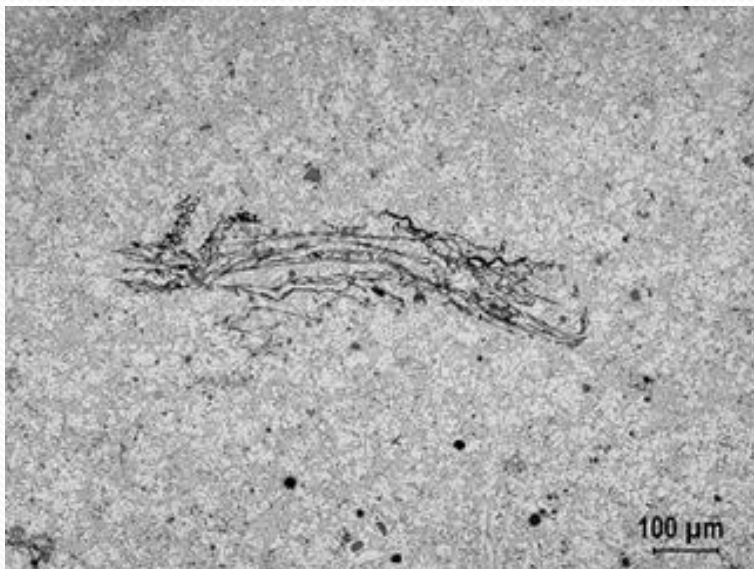
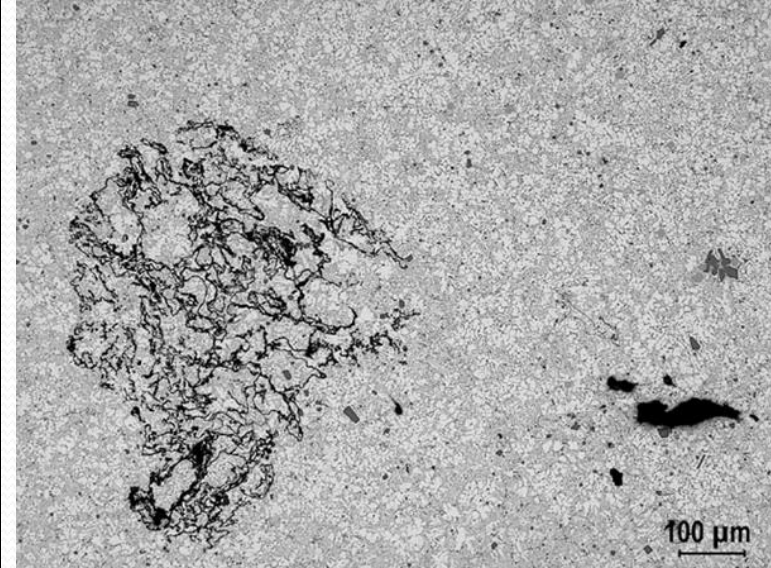
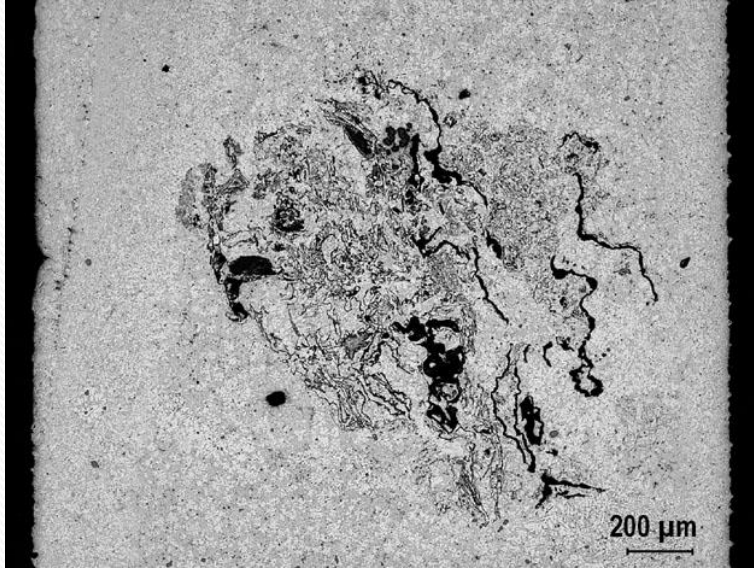
- yüzey kalitesini bozarlar
- talaşlı imalat kabiliyetini,
- mekanik özellikleri,
- korozyon direncini düşürürler!
- gözenekliliği arttırırlar!
- folyolarda deliklenmeye yol açarlar!
- akışkanlığı ve dökülebilirliği azaltırlar!
- filtre tıkanmalarına yol açarlar!

ürün  
kalitesi

proses  
verimi

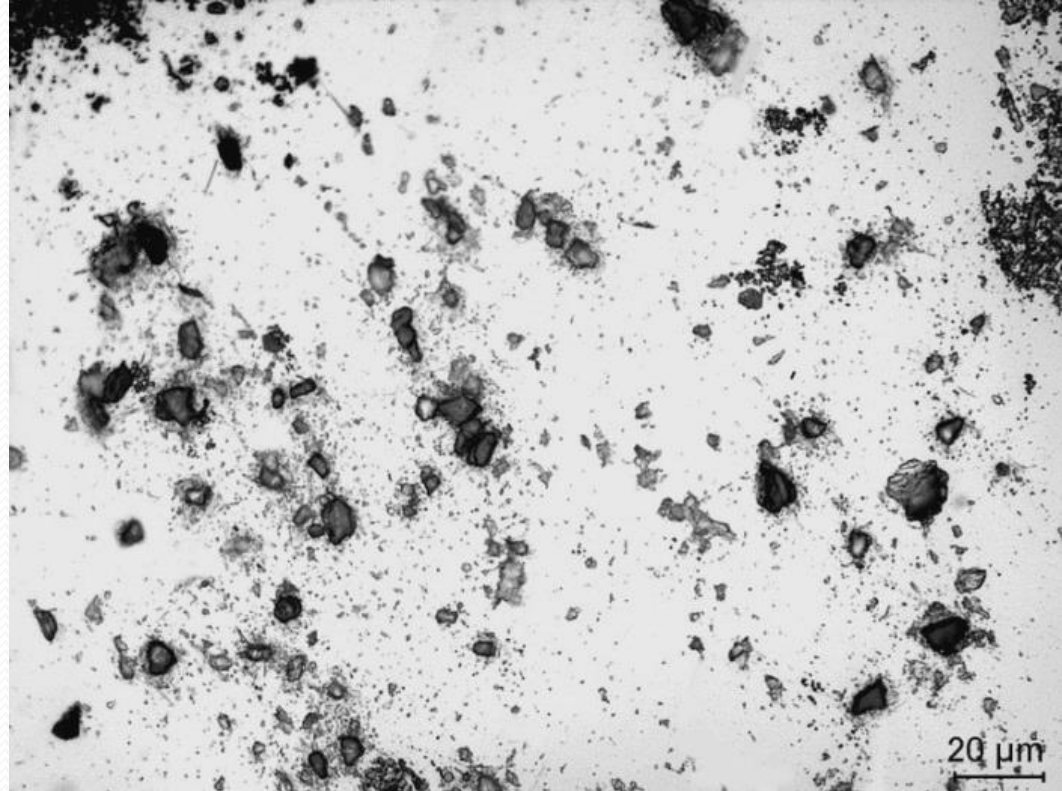


# Oksit kalıntıları



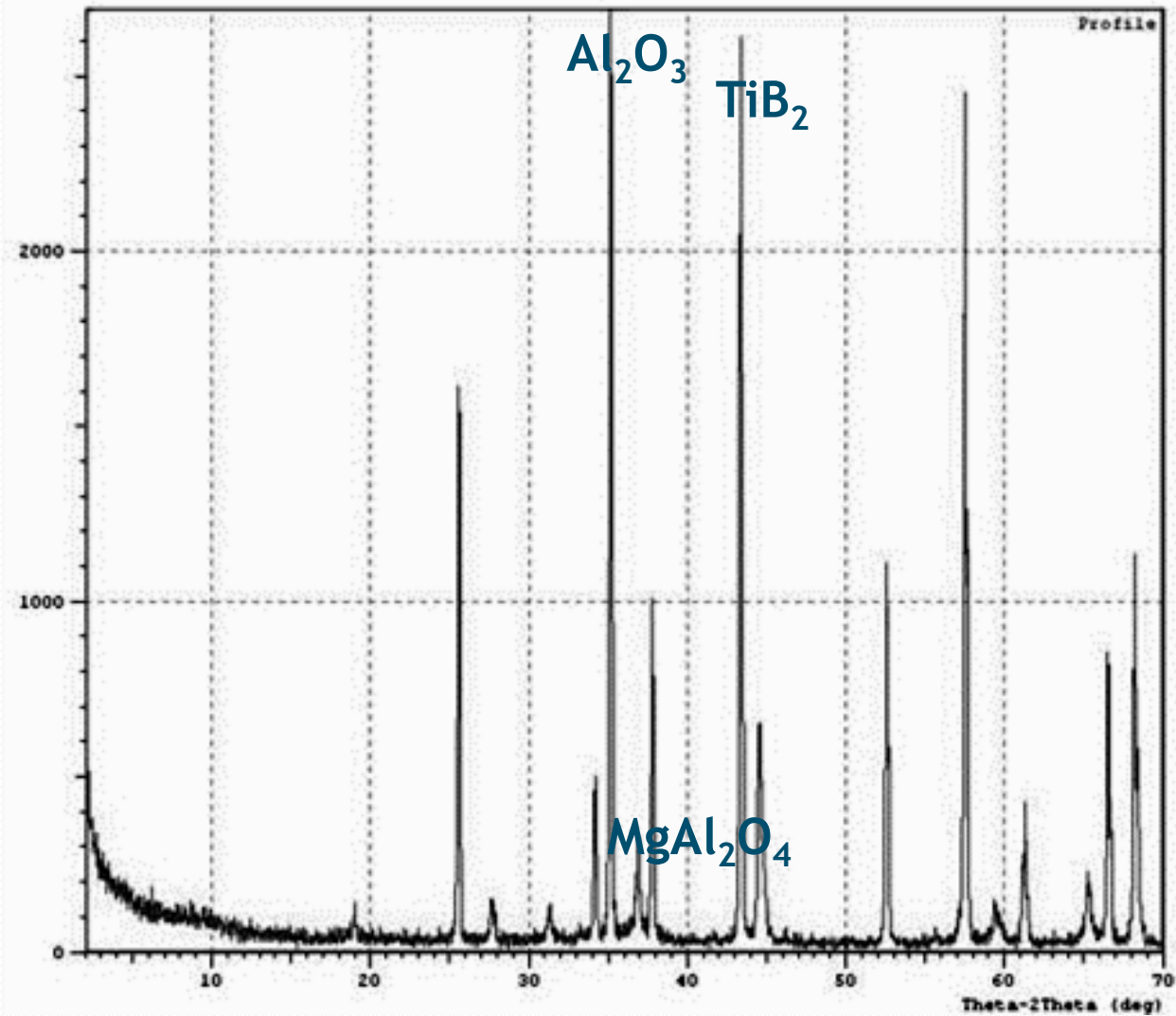
# oksit kalıntıları

Dış kaynaklı oksit kalıntıları





# X-ışınları difraktometre analizi



$\text{Al}_2\text{O}_3$   
 $\text{TiB}_2$   
 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$





# metalik malzemeler

## 13.11.2014

# program

13.11.2014	Alüminyum alaşımları
20.11.2014	Alüminyum alaşımları
27.11.2014	Bakır alaşımları
3.12.2014	vize
11.12.2014	Çinko/magnezyum alaşımları
18.12.2014	Titanyum alaşımları
25.12.2014	Nikel/kobalt-süper alaşımlar Refrakter/kıymetli metaller

# Alüminyum döküm alaşımları

## Dökümü kolay!

- Yüksek silisli bileşimler döküm sırasında mükemmel akış özellikleri sergiler ve karmaşık büyük parçaların dökümünü mümkün kılar.
- Tasarım detayları kolayca ve güvenle elde edilir.
- 3xx.x alaşımlarının kalıp doldurma kapasiteleri yüksek!
- Bu sayede 3xx.x alaşımları büyük ve karmaşık parçaların üretimi için tercih edilir.

# Döküm alaşımlarının avantajları

## Yüksek mukavemet!

- ısıl işleme yüksek mukavemet mümkün!
- Titiz kalıp tasarımları ile **yüksek soğuma hızları** ve bu sayede yüksek mukavemet ve yüksek tokluk değerleri elde edilebilir.
- **2xx.x alaşımları** en yüksek mukavemet seviyelerini verir ve fakat dökümü daha güçtür. Bu yüzden çok özel döküm teknikleri ve titiz döküm pratikleri gerektirir.
- Çok yüksek mukavemet gerektiren uçak sanayi gibi çok özel uygulamalar için seçilir.

# Döküm alaşımlarının avantajları

## Yüzey kalitesi

- Döküm alaşımı seçimi ile çok yüksek yüzey kalitesi elde edilebilir.
- **5xx.x ve 7xx.x** alaşımları ile yüksek yüzey kalitesi mümkündür.
- Ancak dökümleri 3xx.x alaşımlarından daha zor olduğundan yüzey kalitesi kritik uygulamalarda tercih edilirler.
- Mesela, rulman uygulamaları için 7xx.x alaşımlarının tercih edilmesi.



# Döküm uygulamaları

- Alüminyum döküm parçalar için en önemli Pazar **otomotiv sektörüdür.**
- Binek otomobillerde kullanılan alüminyumun yarısı döküm parça şeklindedir.
- Alüminyum döküm transmisyon kutuları, pistonlar 20. yüzyılın başından bu yana kullanılmaktadır.
- Küçük ev aletleri, el aletleri, çim biçme makineleri ve diğer ekipmanlarda çok sayıda ve çeşitte alüminyum döküm parçalar bulunmaktadır.

# Alüminyum döküm yöntemleri

- Kum döküm (sand casting)
- Kokil döküm (permanent mould casting)
  - gravite döküm (gravity die casting)
- Basınçlı döküm (Die casting)
  - yüksek basınç (high pressure die casting)
  - alçak basınç (low pressure die casting)

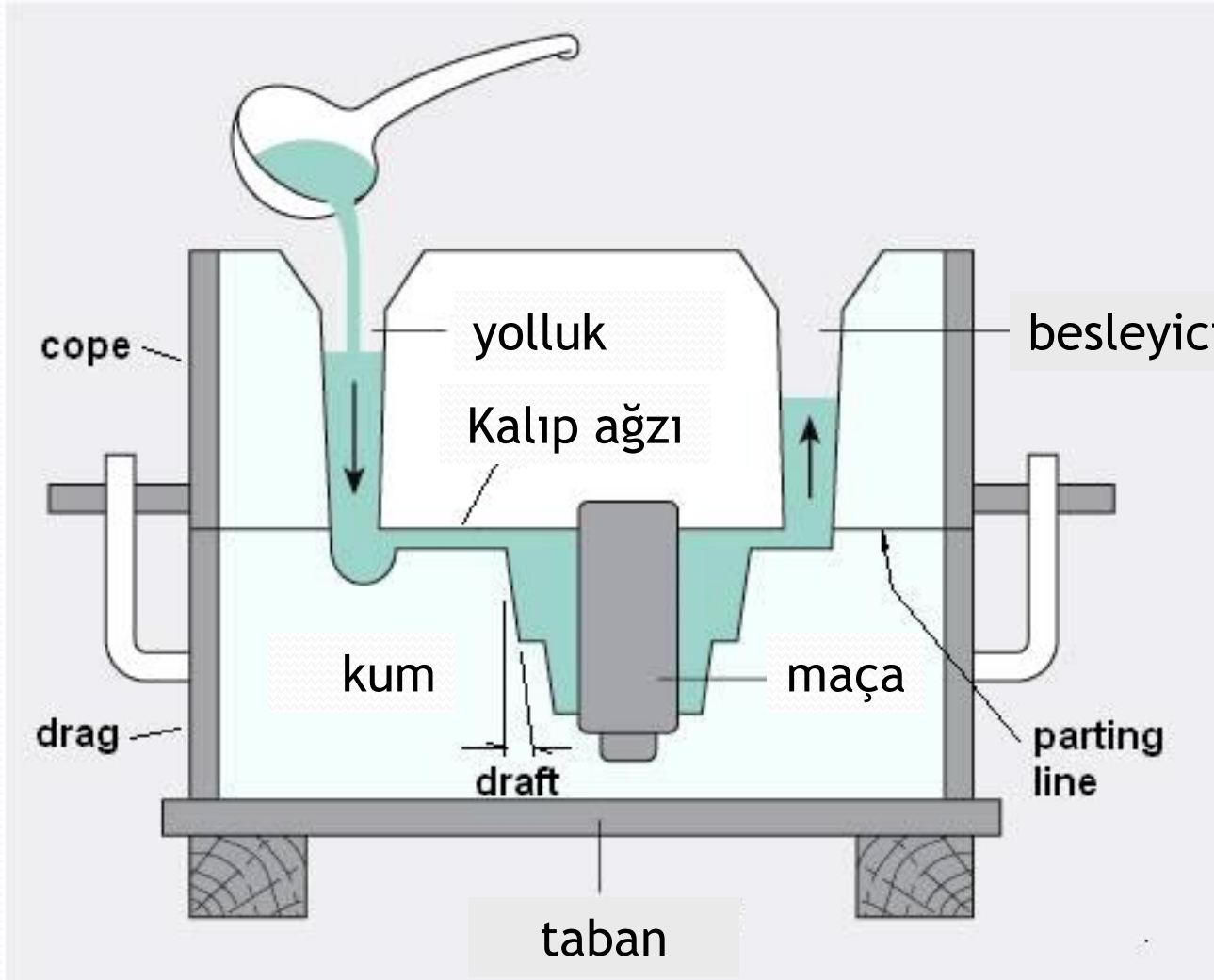
# döküm yöntemi seçimi

- karmaşık parçaların kaliteli dökümü için kum döküm!
- az sayıda parça üretilecekse (mesela protip dökümü söz konusu ise) yine kum döküm!
- Döküm parçada daha **yüksek mukavemet ve uzama** değerleri isteniyorsa kokil döküm!
- Kokil dökümde kum maçaların kullanılması mümkün (basınçlı dökümde değil!).

# döküm yöntemi seçimi

- Alçak basınç döküm yöntemi → alttan laminar akışlı kalıp dolumu → kaliteli döküm parça!
- katılaşma az da olsa basınç altında → çekinti boşlukları az!
- Alçak basınç döküm özellikle jant gibi yuvarlak simetrik parçaların dökümünde avantajlı!
- Bununla birlikte basınçlı döküm en yaygın döküm prosesi!
- Kaliteli yüzey ve minimum talaşlı işlem isteniyorsa basınçlı döküm tercih edilir.

# Kum döküm





# Kum döküm



# Kokil döküm

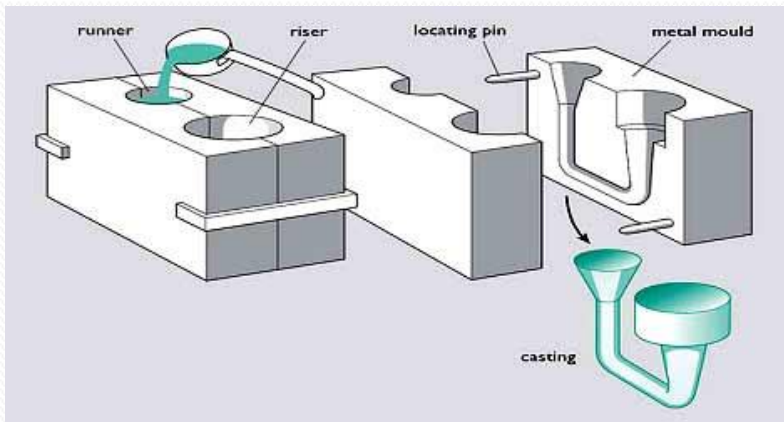
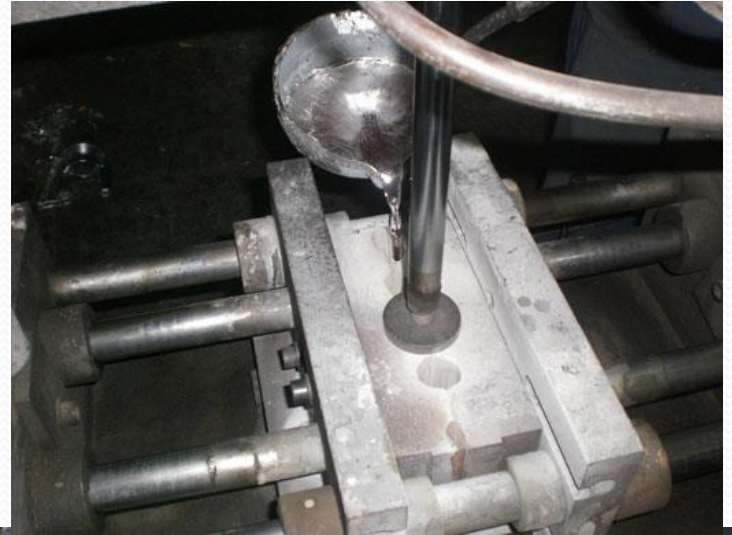
- Kokil kalıplar genellikle yüksek alaşımlı çeliklerden basınçlı döküm kalıpları sıcak iş takım çeliklerinden (H-13) imal edilir.
- Dökülen ürünün kalitesi kum kalıba döküme göre daha iyidir.
- Yüzey kalitesi, boyut toleransları dar parçalar için tercih edilir.
- Kokil döküm, kum döküme göre mekanik özellikleri % 20 kadar iyileştirir.
- Kokil kalıplara 100.000 adet kadar parça dökülebilmektedir.

# Kokil döküm

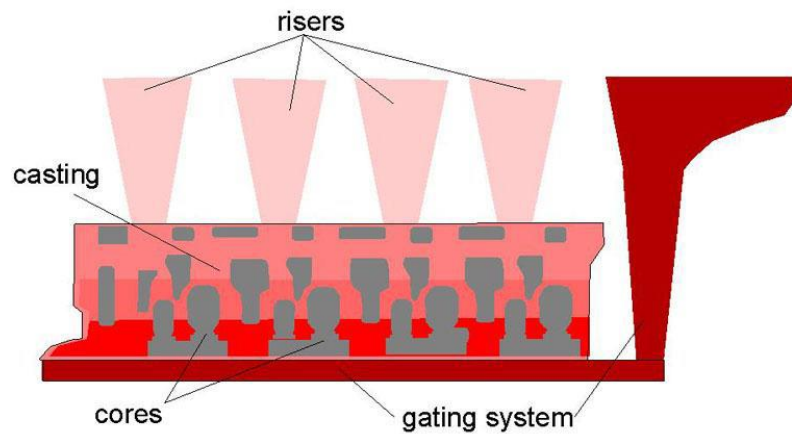
- Minimum et kalınlığı 3 mm olmalıdır;
- istisnai olarak küçük parçalarda 2mm olabilir.
- döküm aralığı birkaç yüz gram ile birkaç yüz kilo arasında değişir.
- Bazı dökümhaneler kokil döküm ile 300 kg'lık silindir blokları üretmektedir.



# Kokil döküm

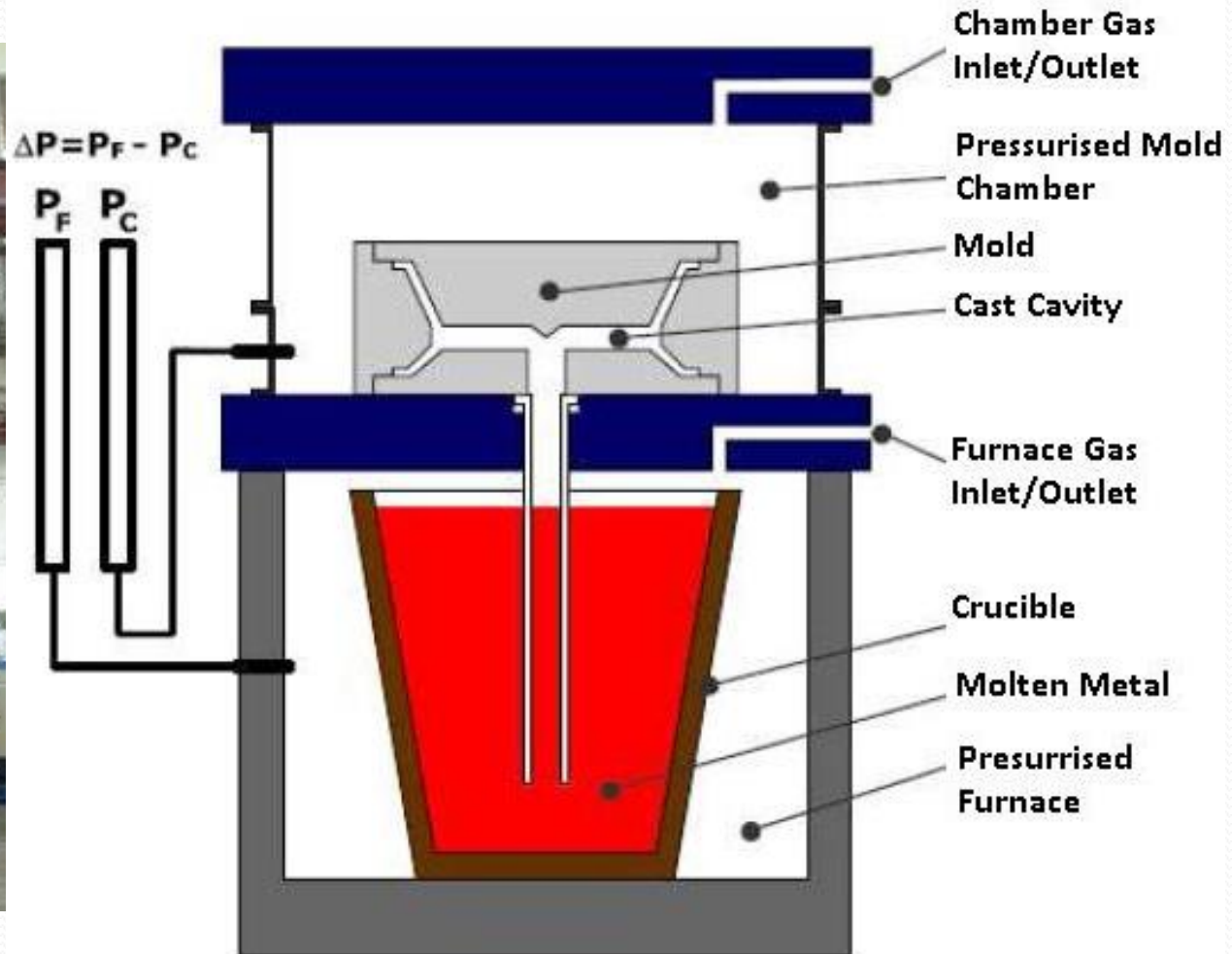


# Kokil döküm





# Alçak basınçlı döküm



# Alçak basınçlı döküm



# Basınçlı döküm

- Hızlı kalıp dolumu
- hızlı ve basınç altında katılaşma
- yoğunluğu ve yüzey kalitesi yüksek,
- ince taneli parçalar
- Üstün Mekanik özellikler ve yorulma dayanımı
- Ancak tipik dolum hızları nedeniyle kalıp içinde kalan hava → gaz boşlukları
- Kalıp dolarken türbülans → gaz boşlukları
- kalın kesitler ince kesitlerden daha dayanıksız
- Oysa, diğer döküm yöntemlerinde dayanıklılık istendiğinde kalınlık arttırılır.

# Basınçlı döküm

- Basınçlı döküm parçalar döküldüğü gibi kullanılır!
- Isıl işlem, kaynak, torna işlemi yapılamaz.
- Basınçlı döküm kalıpları kokil kalıplardan daha dayanıklı olmalıdır.
- Dolayısı ile pahalı!
- Ekonomi için en az 10 bin adet parça gerekir.
- Küçük parçalar ve ince kesitler için uygundur.

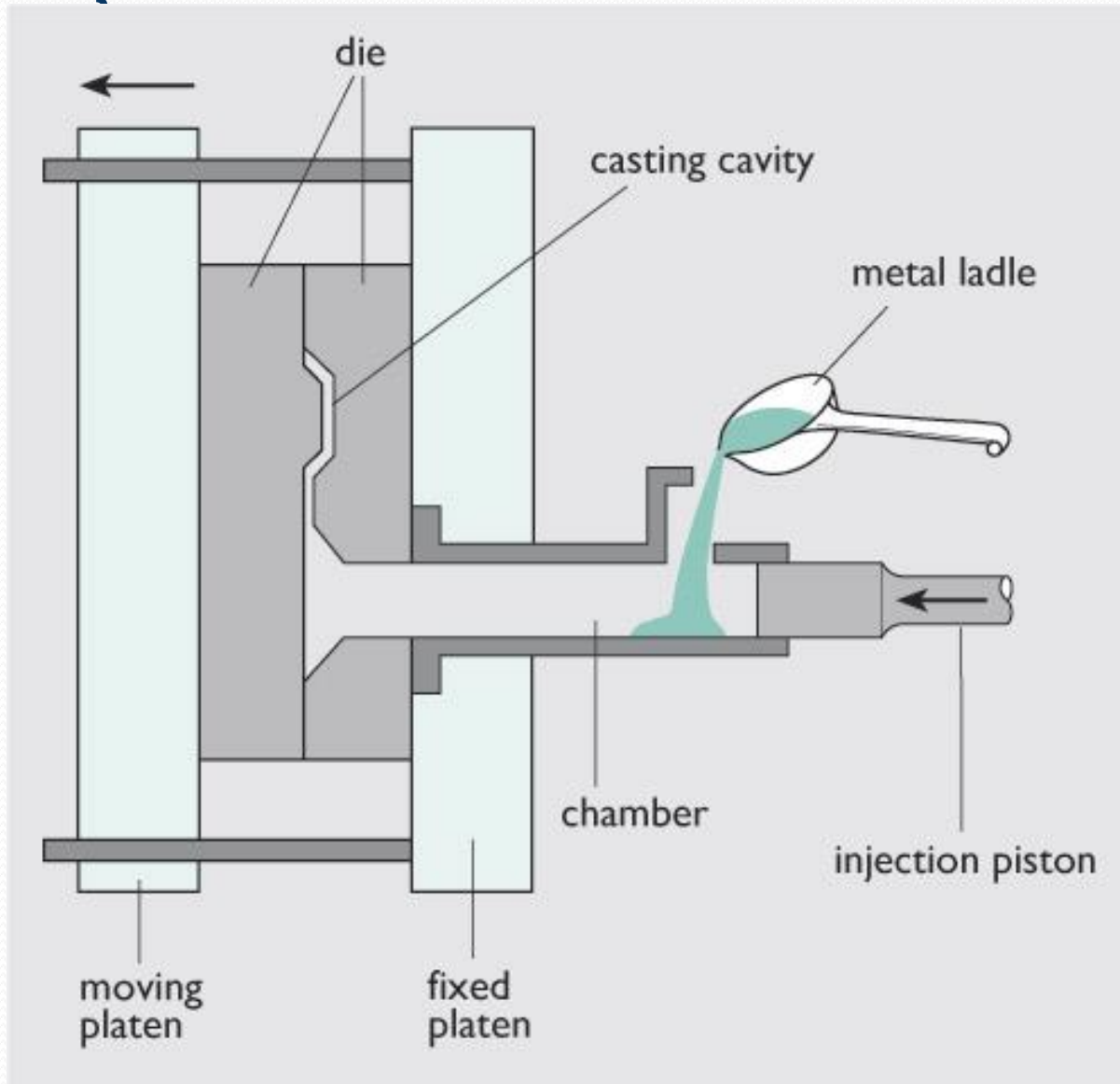


# Basıncılı Döküm



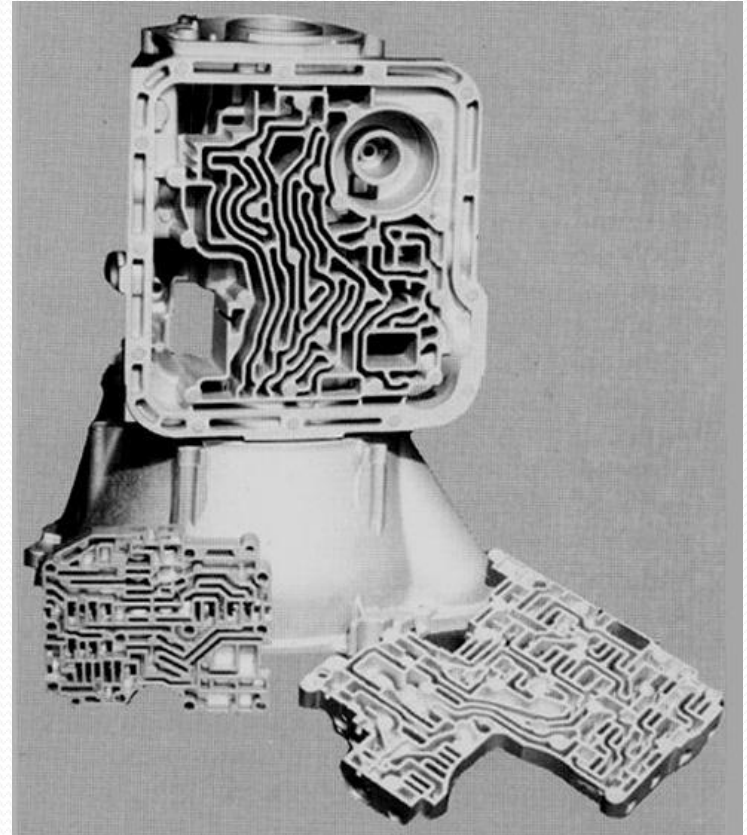


# Basıncı Döküm

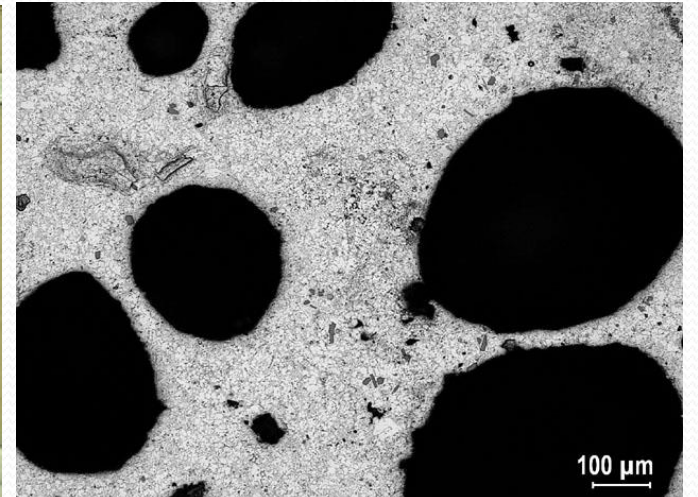
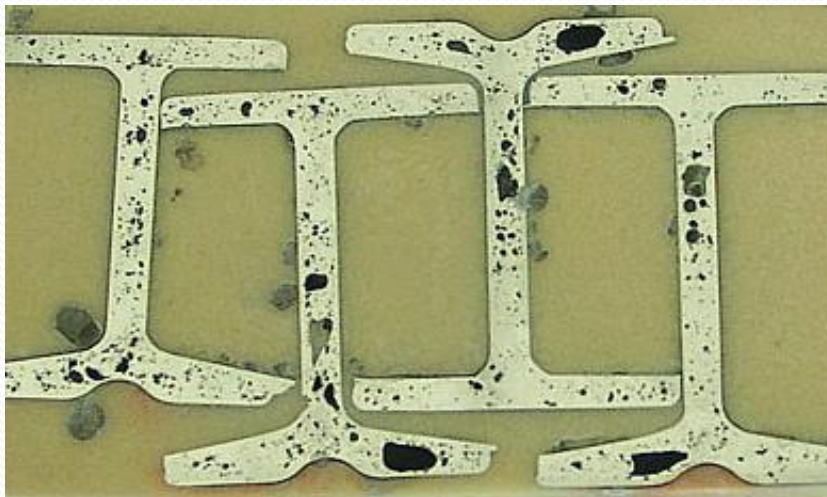


# Basınçlı döküm

Transmisyon kutusu basınçlı döküm tekniği ile üretilen en büyük parçalardan biridir.



# Basınçlı döküm



# Döküm yöntemleri-kokil vs basınçlı

- Basınçlı dökümde kaçınılmaz olan gözenekler mekanik özellikleri düşürür/ısıtıl işlem sonrasında blister yapar.
- Kokil dökümler daha az gözenek içerir; daha sağlam ve sızdırmazdır.
- Kokil Döküm parçalar tornalanabilir ve yüzeyde gözenek görmeyiz. Basınçlı döküm parçalar tornalanamaz!
- Tornalanmamış bir basınçlı döküm parça kokil dökümden daha mukavemetli olabilir fakat kokil döküm parça daha güvenilirdir (daha az gözenek).
- Basınçlı döküm boyutsal toleranslar yönünden ve ince kesitli parçalarda uygun ve üstündür.

# kokil vs basınçlı döküm

- Basınçlı döküm parçalar daha ince kesitli olabilir ve dar toleranslarla üretilebilir.
- kalıp maliyetleri daha düşük
- Kum maçalarla basınçlı dökümle üretilemeyen parçaların dökümü mümkün.
- Basınçlı döküm daha hızlı ve seri
- Kalıp kokilden sağlam olmalı ve pahalı
- Parça başına maliyet uygun (adet yüksek ise)
- Yüzey kalitesi yüksek
- Alaşım çeşitliliği sınırlı-dökülebilirliği yüksek alaşımlar için

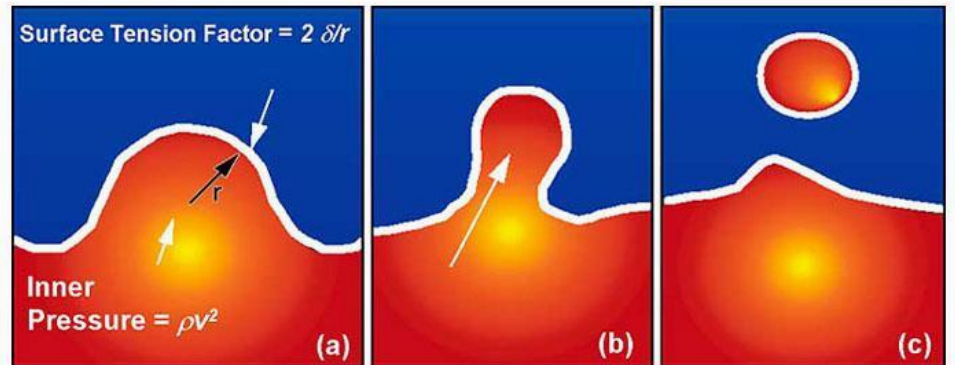
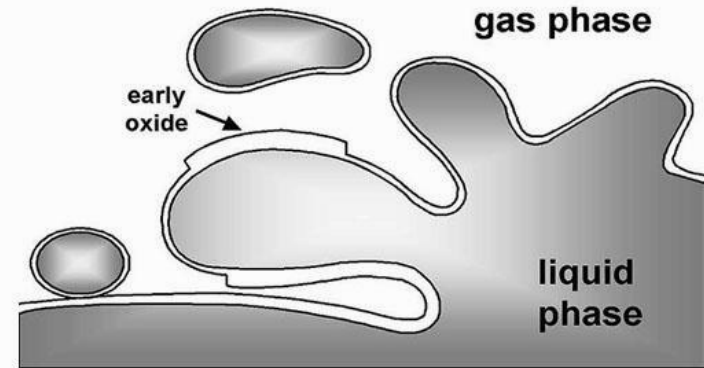


# Döküm yöntemleri

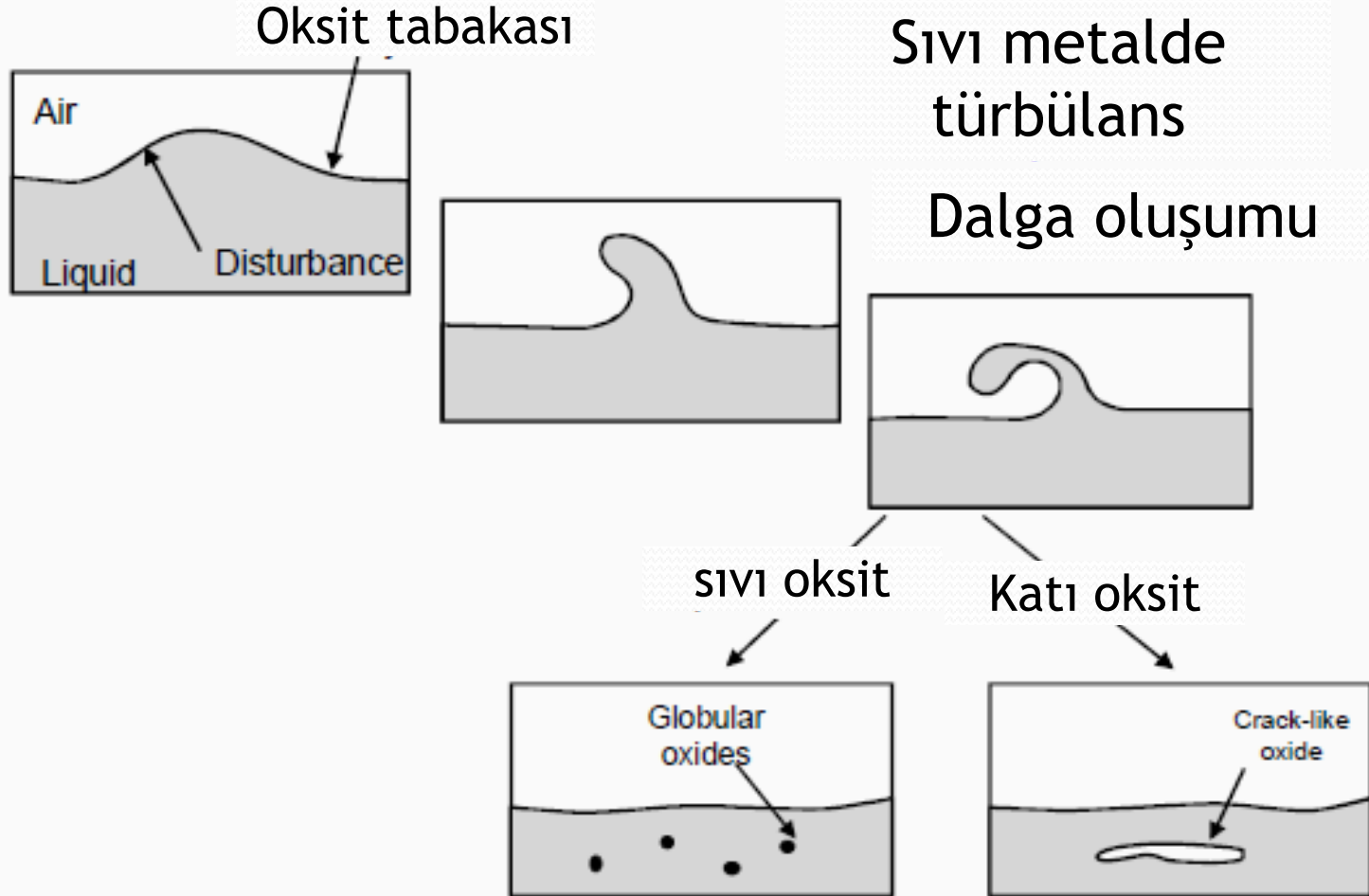
özellik	kum	kokil	basınçlı
mukavemet	iyi	En iyi	iyi
yoğunluk	iyi	En iyi	orta
tekrarlanabilirlik	orta	iyi	En iyi
sızdırmazlık	iyi	En iyi	orta
Parça maliyeti	orta	iyi	En iyi
Üretim hızı	orta	iyi	En iyi
Alaşım çeşit	En iyi	iyi	orta
toleranslar	orta	iyi	En iyi
Tasarım esnekliği	En iyi	iyi	orta
boyut	En iyi	iyi	iyi
Yüzey kalitesi	orta	iyi	En iyi
Takım hazırlığı	En iyi	iyi	iyi
Kalıp maliyeti	En iyi	iyi	orta

# Kalıbın doldurulması

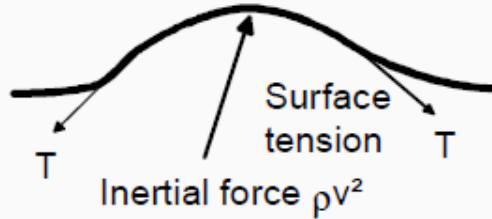
Kalıbın laminar akışla dolması önemli!  
Kalıbın doldurulması sırasında oksit kalıntılarını önlemek için düzgün bir kalıp dolum hızının sağlanması gerekir. Akış hızı kritik bir değerin üstüne çıkarsa metal damlalarının oluşması ve katlanmaların oluşması ve oksit kalıntılarının sayısının artması kaçınılmaz!



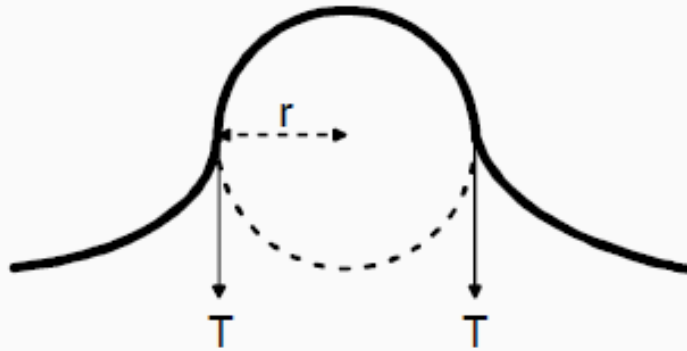
# Kalıbın doldurulması



# Kalıbın doldurulması



Limiting condition is when a drop is about to form



$$\rho V^2 = \frac{2T}{r}$$

Therefore 
$$V_{crit} = \sqrt{\frac{2 * T}{r * \rho}}$$

## Critical Velocity

$$V_{crit} = \sqrt{\frac{2 * T}{r * \rho}}$$

For aluminium

$T \sim 1\text{N/m}$

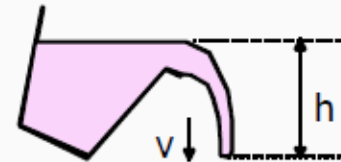
$\rho \sim 2500\text{kg/m}^3$

Assume

$r \sim 5\text{mm} = 0.005\text{m}$

$$\Rightarrow V_{crit} = 0.4\text{m/s}$$

Generally find that  $v_{crit} \sim 0.5\text{m/s}$  for most metals



$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

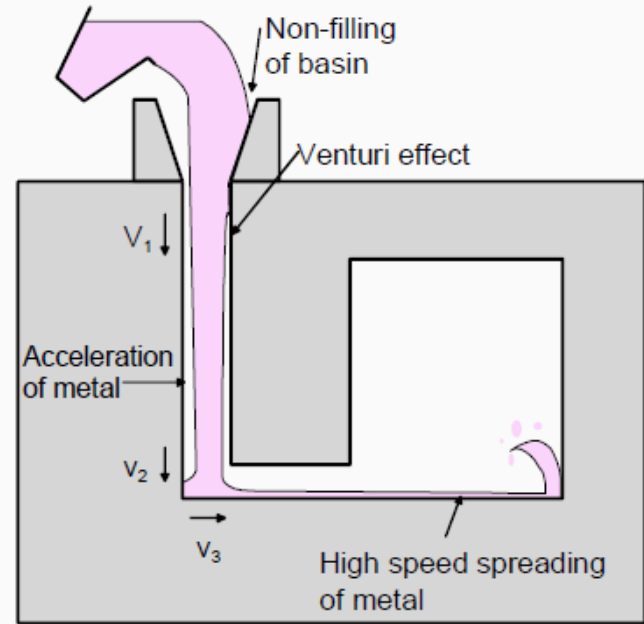
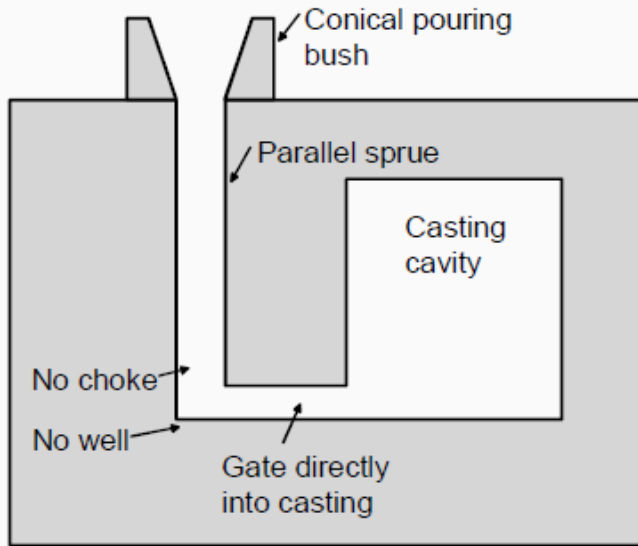
The critical velocity is reached after a drop of:

$$h_{crit} = \frac{V_{crit}^2}{2 \cdot g} \approx 12.7\text{mm}$$

# Kalıbın doldurulması

Kötü kalıp tasarımının yol açtığı sorunlar

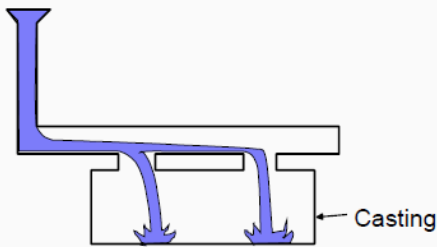
Kötü kalıp tasarımı-yolluk



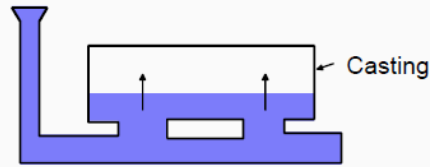


# Kalıbın doldurulması

## Top versus Bottom Gating

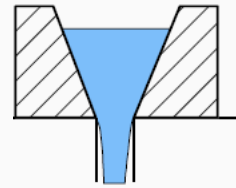


Top gating - causes turbulence

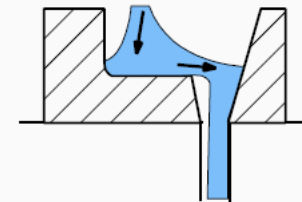


Bottom gating - prevents turbulence

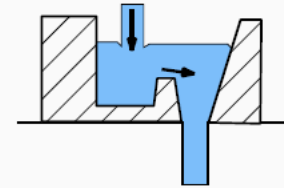
## Good Design 1: Pouring Basin



BAD  
conical basin

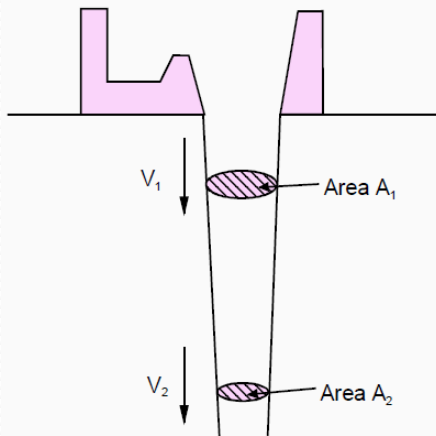


BETTER  
offset basin



BEST  
offset stepped basin

## Good Design 2: Tapered Sprue



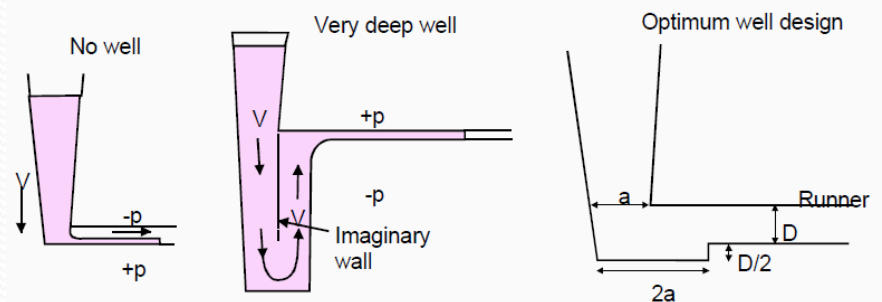
Metal accelerates from  $V_1$  to  $V_2$  due to gravity.

Sprue will remain full of metal if the sprue is tapered so that

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

## Good Design 3: Sprue Well

The sprue well helps to: (i) Decelerate metal  
(ii) Stop first splash  
(iii) Fill runner

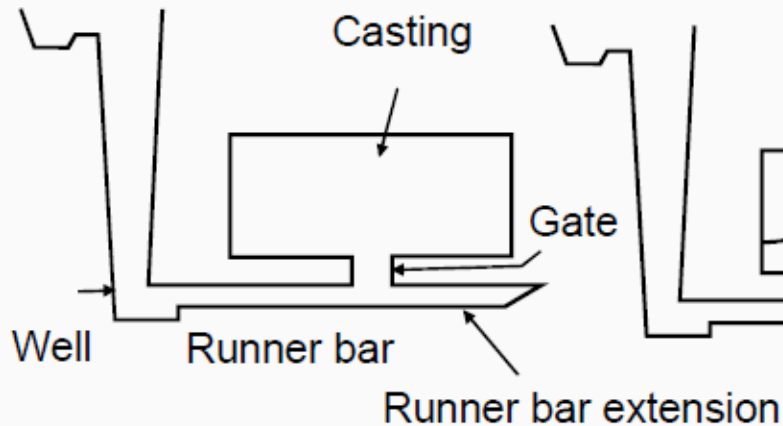


# Kalıbın doldurulması

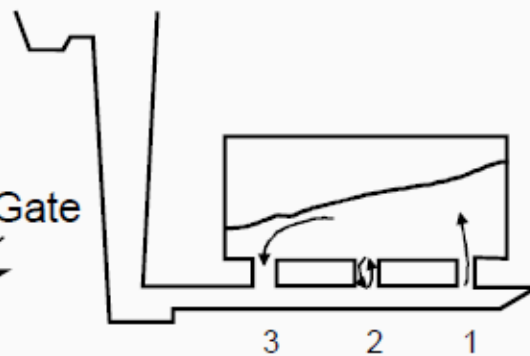
## Good Design 4: Runner Bar and Gates

- AIMS: (i) to distribute metal to lowest point(s) on a casting  
(ii) to reduce metal velocity.

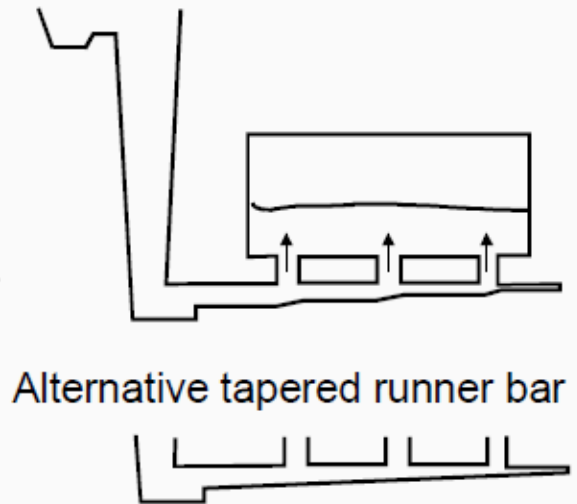
Casting with a single ingate



Uneven flow in multigated casting as a result of incorrect runner bar design



Uniform flow promoted by the use of stepped runner bar

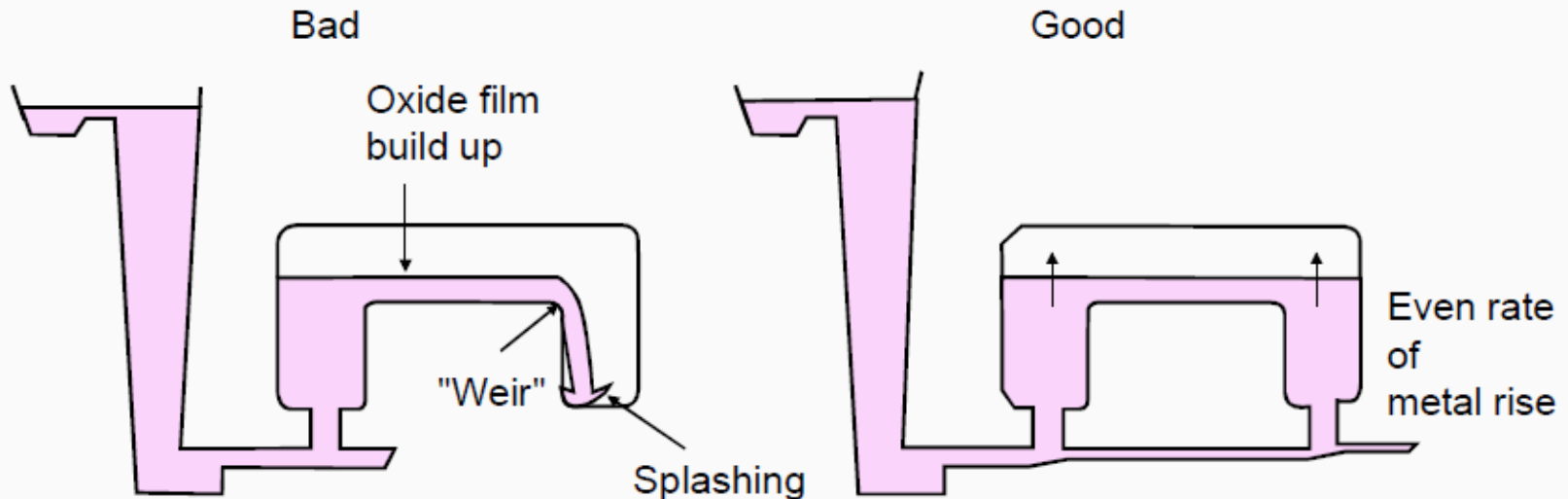


# Kalıbın doldurulması

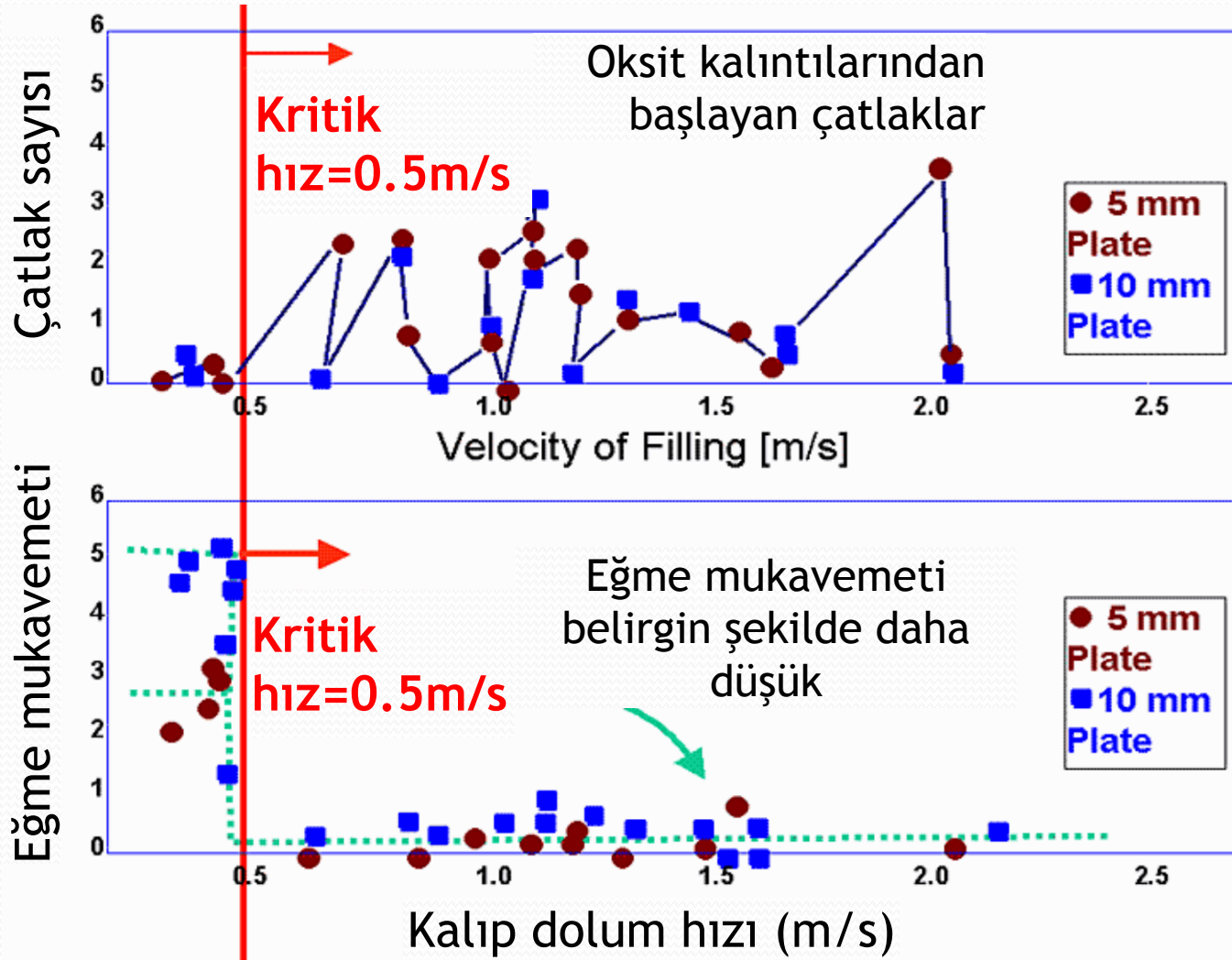
## Good Design 4 (Continued): Runner Bar and Gates

Waterfall effects must be avoided so that:

- (a) splashing is prevented
- (b) the critical velocity is not exceeded
- (b) the metal meniscus is never stationary



# Kalıp dolum hızının oksit oluşma ve eğme mukavemetine etkisi



# döküm alaşımları

- Döküm alaşımları başta Silis olmak üzere yüksek miktarlarda alaşım elementi (Mg, Cu, Zn vb) içerirler.
- Bu alaşımlama ikincil fazların bulunduğu heterojen mikroyapılara yol açar.
- Metaller arası bileşikler köşeli ve sivri tanecikler şeklinde oluştuğunda yük altında çatlak oluşmasına ve çatlakların hızla büyümesine neden olurlar.
- Yorulma direnci iri partiküllere özellikle hassastır.
- Sağlıklı döküm ve alaşımlama pratikleri ile bu bileşiklerin zararları büyük ölçüde önlenabilir.



# Döküm alaşımları

1. hane: ana alaşım grubu
  2. / 3. hane: spesifik alaşım gösterilişi
  4. hane: döküm parça (0) veya ingot (1,2)
- Çeşitler sonraki harf ile gösterilir (A,B,C)

1xx.x -	saf Al (99.00% veya daha saf)
2xx.x -	Al-Cu Alaşımları
3xx.x -	Al-Si + Cu ve/veya Mg
4xx.x -	Al-Si
5xx.x -	Al-Mg
7xx.x -	Al-Zn
8xx.x -	Al-Sn
9xx.x -	Al+ diğer elementler

# Döküm alaşımları

alaşım	alaşım elementi	Katı eriyik sertleşmesi	Çökeltme sertleşmesi
1xx.x	Min %99Al	✓	
4xx.x	Si	✓	
5xx.x	Mg	✓	
2xx.x	Cu	✓	✓
3xx.x	Si+Cu/Mg	✓	✓
7xx.x	Zn	✓	✓
8xx.x	Sn	✓	✓
9xx.x	Rezerv	✓	✓

Isıl işlem uygulanmaz

Isıl işleme sertleşme

# Alaşım eşitleri

## ana alaşım elementleri

Katı eriyik sertleşmesi,  
deformasyon sertleşmesi,  
yaşlanma sertleşmesi ve  
dökülebilirlik

için ilave edilirler.

## İkincil alaşım elementleri

Çözünürlükleri sınırlı-  
metallerarası bileşikler oluştururlar ve  
mekanik özellikleri dolaylı olarak etkilerler;  
tane yapısını küçülterek,  
ısıl işlem hassasiyetini arttırarak

# Alaşım elementleri

Yüksek mukavemet için özel alaşım elementleri:

Zn

Cu

Mukavemet, süneklik ve tokluk için alaşım elementleri:

Mn

Mg

Si (akışkanlık!)

Fe (empürite)

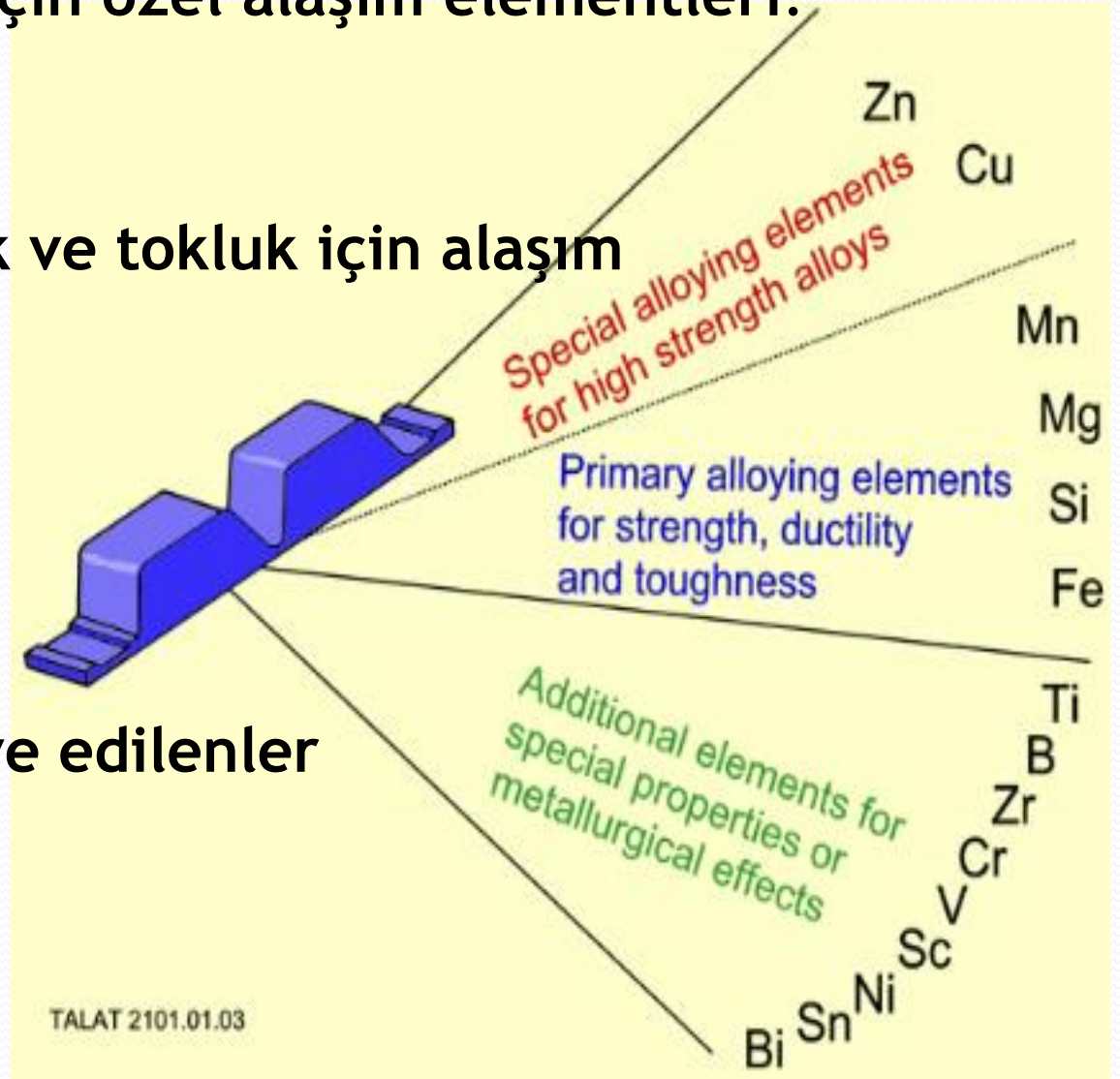
Özel etkileri için ilave edilenler

Ti, B

Mn, Zr, Cr, V, Sc

Bi, Sn

Ni



# silis

- Si kendi başına mukavemete çok az katkı yapar!
- Fakat Mg ile birlikte  $Mg_2Si$  oluşturarak çok etkili bir mukavemet arttırıcıdır.
- $Mg_2Si$  ısıtıl işlem uygulanan alaşımlarda çok etkili bir çökelme sertleşmesi sağlar (356 ile 360 arasında kodlu alaşımlarda).
- silis miktarı arttıkça ısıtıl genleşme katsayısı düşer.
- Silis alaşımın yoğunluğunu düşürür.
- Akışkanlığını arttırır. (Yüksek füzyon ısısı!)



# silis

- Silisin alüminyum içinde çözünmesi sınırlıdır (max %1.65 kadar!)
- Bu nedenle ağ %12 seviyelerinde ötektik oluşturur.
- Al-Si alaşımları büyük ölçüde izotermal katılaşma yaşarlar.
- Ötektik faz termal büzülme olmadan mukavemet sağlar.
- Bu sayede Al-Si alaşımlarında sıcak yırtılma, sıcak çatlama sorunları ile karşılaşılmaz.

# silis

- silis çok serttir ve alaşımın aşınma direncini artırır.
- Al-Si döküm alaşımları bir çok otomotiv yapısal uygulamasında bu özelliği ile öne çıkan gri dökme demirlerin yerini almıştır.
- B390 gibi ötektik üstü alaşımlar motor bloklarında pompa, kompresör, piston ve otomatik vites parçalarında tercih edilir bir malzemedir.
- alaşımdaki silis miktarı arttıkça, özellikle ötektik üstü bileşimlerde, talaşlı imalatta takım aşınması artar.

# bakır

- Sertlik ve mukavemeti arttırmada en etkili!
- Bu artış hem döküm hem de ısıl işlemlili halde, hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir.
- Matris sertliğini arttırarak talaşlı imalat kabiliyetini arttırır.
- Ancak alüminyum alaşımlarının korozyon direncini düşürür.
- Bazı alaşımlarda ve kondisyonlarda gerilmeli korozyon hassasiyetini arttırır.
- Akışkanlığı düşürür ve katılaşma sırasında sıcak yırtılmalara yol açar.
- Az da olsa Si içermeyen Al-Cu alaşımlarının akışkanlığı sınırlı, sıcak yırtılma direnci zayıftır.

# magnezyum

- Sertlik ve mukavemeti arttırır. Silis ile birleşerek  $Mg_2Si$  oluşturur ve 356 grubundaki alaşımlara ısı ile işlemle sertleşme kabiliyeti kazandırır.
- Mg aynı zamanda yüksek magnezyumlu olup çok az silis içeren 5XX alaşımlarında mukavemeti arttırır. Bu artış Al-Mg'lu fazlar sayesinde olur.
- Al-Mg alaşımları / 5XX / mükemmel korozyon direnci gösterirler ve anodizasyon ile doğal alüminyum rengine sahiptirler.
- Bu alaşımların talaşlı imalat kabiliyeti çok yüksektir.

# İkincil alaşım elementleri

## Nikel

- Nikel (Ni) 2XX grubu alaşımlarda yüksek sıcaklık sertlik ve mukavemetini arttırır.
- 3XX grubu alaşımlarda da aynı amaçla kullanılır.
- Fakat silisli alaşımlarda bu etkisi daha zayıftır.



# İkincil alaşım elementleri

## kalay

- 8XX grubu döküm alaşımlarında kalay (Sn) yatak uygulamalarında sürtünmeyi azaltmak için kullanılır.
- Bu alaşımlarda kalaylı fazlar çok düşük sıcaklıklarda ergir ( $\sim 228$  °C).
- Sürtünme ile aşırı ısınma olduğunda kalay erir ve yüzeye çıkarak sürtünen yüzeyler arasında acil bir yağlama servisi sağlar.

# Modifikasyon elementleri

## Titanyum & Bor

- Titanyum (Ti) ve bor (B) alüminyum döküm alaşımlarında tane küçültme amacı ile kullanılır. Tane küçültme etkisi bu iki element bir arada kullanıldığında daha etkilidir.
- 5% titanyum ve 1% bor içeren master alaşımlar bu amaçla yaygın olarak kullanılırlar. İlave edildiklerinde sıvı alüminyumda  $TiB_2$  ve  $TiAl_3$  bileşikleri oluştururlar. Al-Si alaşımları için en etkili Ti:B oranı yaklaşık 1.5:1'dir.

# Sr / Na / Ca / Sb

- Ötektik ve ötektik üstü Al-Si alaşımlarına ötektik silis fazının morfolojisini değiştirmek için ilave edilirler.
- Bu elementler ilave edilmediğinde ötektik silis oldukça kaba yassı plaka ve iğnemsî morfolojilerde oluşur.
- Bu morfolojideki silis tanecikleri gerilme konsantrasyon noktaları oluşturarak sünekliği düşürürler.
- Bu elementler kullanıldığında silis ince ipliksi bir forma dönüşür ve zararlı etkiler giderilmiş olur.

# Stronsiyum

- Sr silis modifikasyonunda tıpkı Na gibi davranır. Ancak Sr etkisinin zamanla azalması Na'da olduğundan daha yavaştır.
- Strontium bir miktar daha fazla (0.01 - 0.025%) ilave edilir, fakat etkisi çok daha uzun sürer
- Sr etkisi daha uzun sürmekle kalmaz, tekrar ergitmelerde de devam eder.
- Bu nedenle Sr Kuzey Amerika'da tercih edilen alaşım katkısı olmuştur.
- Ancak aşırı ilave edildiğinde gözenekliliğin artmasına yol açar.

# Mn ve Cr

- Mn ve/veya Cr demirce zengin bileşik partiküllerinin morfolojisini değiştirir. Sivri ve köşeli beta- $Al_5FeSi$  fazını süneklığe daha az zarar veren eş eksenli kübik  $Al_{15}(MnFeCr)_3Si_2$  fazına dönüştürür.
- *356.1 alaşımı; “Fe miktarı 0.45% seviyesini aşarsa Mn miktarı demir miktarının en az yarısı kadar olmalıdır.”*
- monoklinik  $Al_5FeSi$  / kübik  $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$  oranı kimyasal bileşim ve katılaşma hızlarına bağlıdır.
- Yüksek katılaşma hızlarında daha yüksek Fe tolere edilebilir.



# Mn ve Cr

- Mn ve Cr Fe'li bileşikleri morfolojisini zararsız hale getirmekle birlikte ikinci döküm alaşımlarında yüksek miktarlarda Fe ile birlikte “sludge” adını verdiğimiz bir soruna yol açarlar.
- Basınçlı dökümde alüminyum alaşımının kalıba yapışmasını önlemek için bu alaşımlarda Fe yüksek tutulur. Bu amaçla Fe yerine Mn tercih edilir.
- Mn ve Cr aynı zamanda tane yapısını kontrol etmek için de kullanılır. Özellikle Cr 2XX ve 7XX alaşımlarında yüksek sıcaklık uygulamalarında tane büyümesini önler.
- Mangan ve krom anodize edilen 7XXX alaşımlarında altın ve bronz arası cazip bir renk sağlar.

# Empürite elementleri-Fe

- Fe basınçlı döküm alaşımlarında kasıtlı bir empüritedir.
- 0.8% veya daha yüksek seviyelerde Fe kalıplara yapışmayı önler.
- Al-Fe-Si üçlü ötektiği yaklaşık 0.8% Fe seviyelerinde oluşur.
- Teorik olarak Fe bundan bir miktar daha yüksek olduğunda sıvı alüminyum temas halinde olduğu kalıptan demiri çözmek hususunda daha az isteklidir.

# Empürite elementleri-Fe

- Yüksek silisli döküm alaşımlarında sıvı alüminyumdan oluşan faz  $\beta$ -FeSiAl<sub>5</sub>'dir.
- $\beta$ -FeSiAl<sub>5</sub> ince ve iğnemsidir ve süneklığe zarar verir.
- Bu bileşiklerin miktarı sadece alaşım bileşimine değil aynı zamanda katılaşma hızına bağlıdır.
- Beta plakaları yüksek katılaşma hızlarında sayıca daha az ve daha küçüktür.
- Bu sayede hızlı katılaşma hızlarının yaşandığı basınçlı döküm alaşımlarında diğer döküm pratiklerine göre daha yüksek miktarlarda Fe hoş görülebilir.

# Empürite elementleri-Fe

- Yüksek miktarlarda Fe sağlam olması gereken basınçlı döküm uygulamalarında kabul edilemez.
- Fe'in yarısı kadar Mn ilave etmekle bu faz daha tercih edilen Adding  $(Fe,Mn)_3Si_2Al_{15}$  veya  $\alpha-AlFeSi$  bileşiklerine dönüştürülür.
- $\beta-AlFeSi$  plakaları döküm parçanın mekanik özelliklerine zarar verir.
- Özellikle yüksek Fe içeren ikincil alaşımlarda süneklik en çok zarar gören mekanik özelliktir.

# Empürite elementleri-Zn

Alüminyum basınçlı döküm alaşımlarına kasıtlı ve kontrollü Zn ilaveleri sadece 7XX grubu alaşımlar için geçerlidir. Bu alaşımlar basınçlı döküm ve varyasyonları için uygun değildir.

Bir çok ikincil basınçlı döküm alaşımında (hurdadan üretilen) Zn empürite elementidir. Zn'nun etkisi çok zayıftır. Ne zararlı ne de faydalıdır.

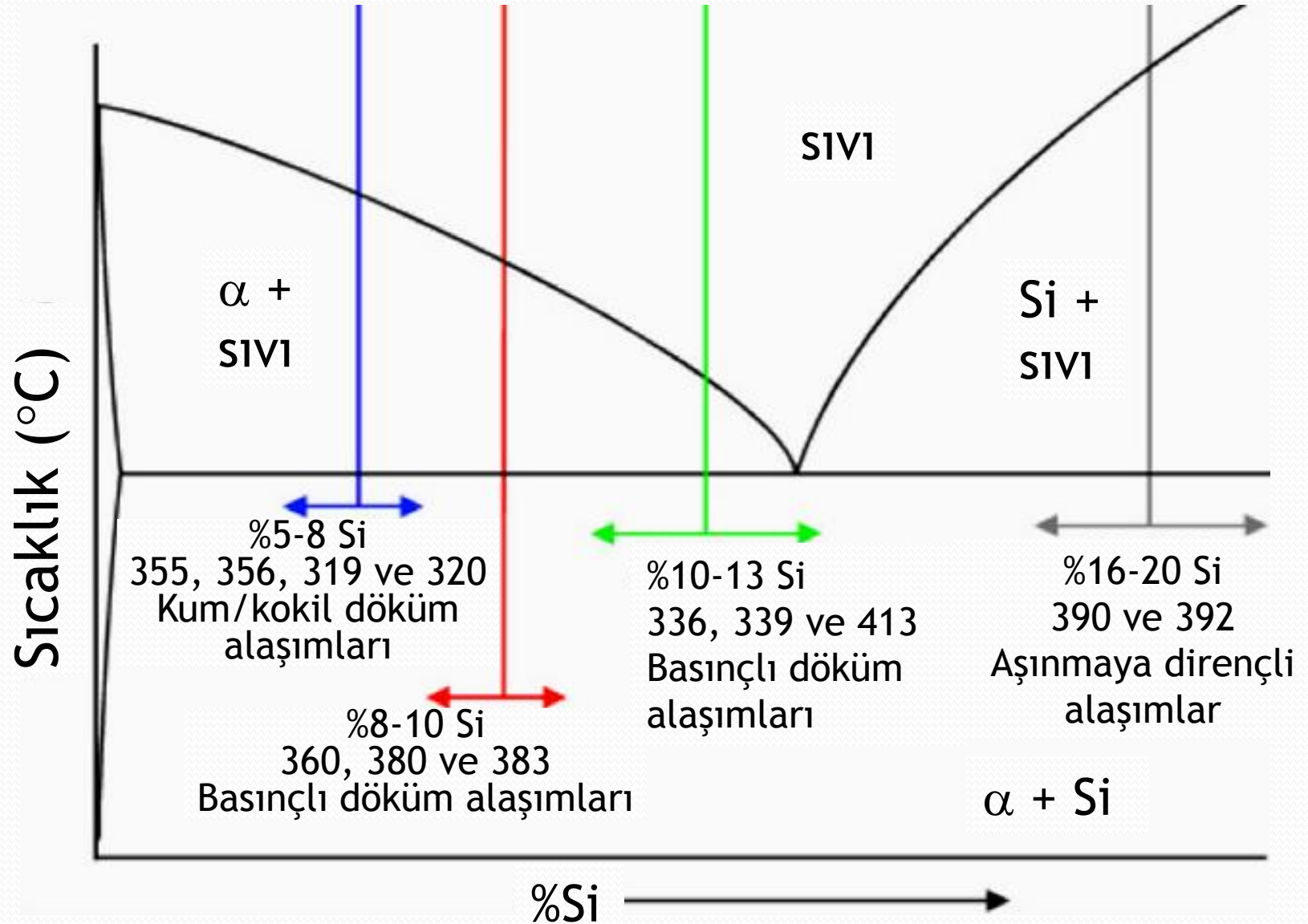
Zn ağır bir elementtir ve alaşımın yoğunluğunu arttırır.



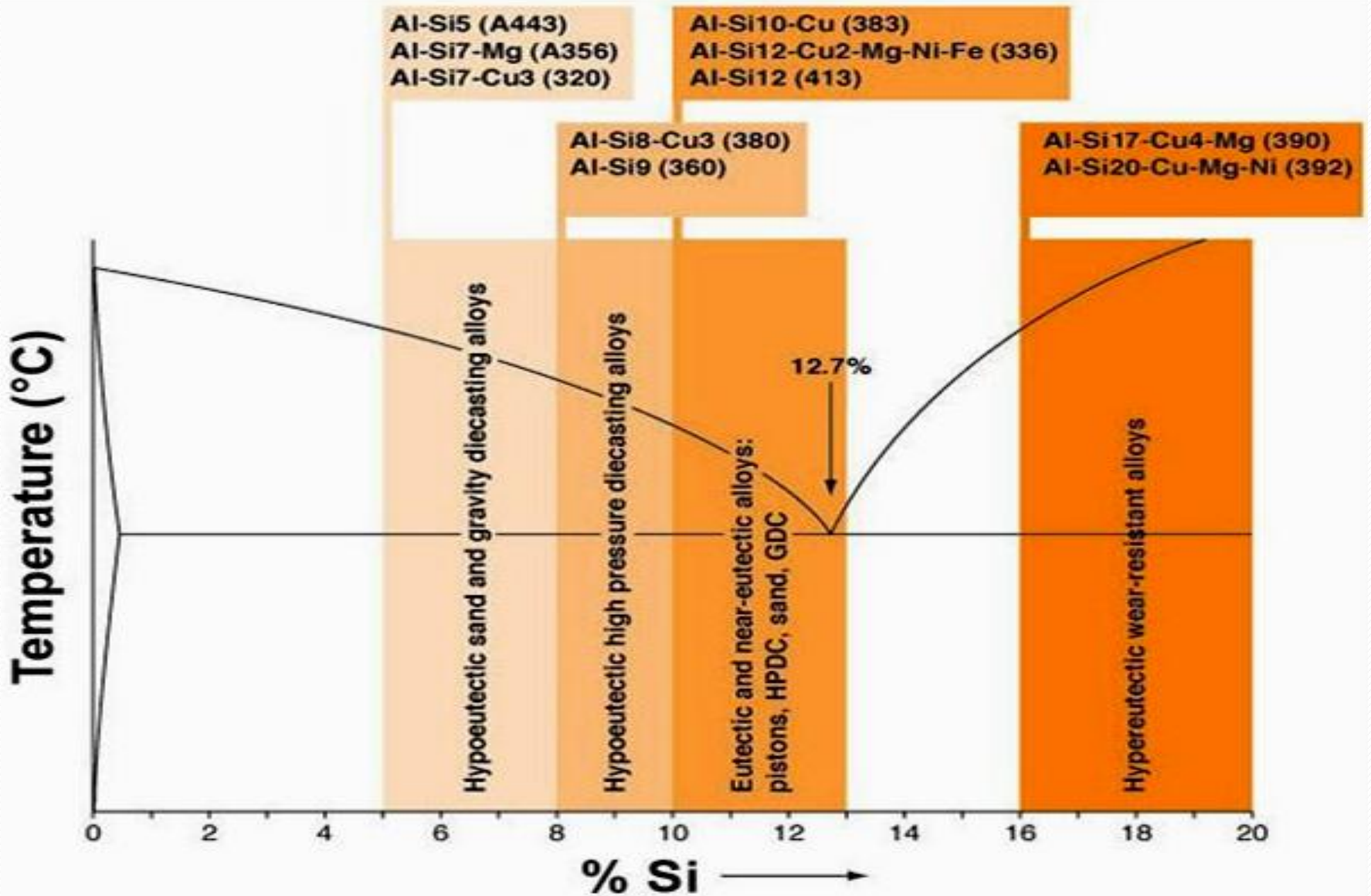
# Empürite elementleri-Zn

Yüksek Zn'lu ikincil alaşımlar düşük Zn'lu çeşitlerden daha ucuza mal olduklarından caziptir. Ancak daha yüksek yoğunluklu bir alaşım nakliye-transfer maliyetleri daha yüksek olacağından bu maliyet cazibesi hususu dikkatle ele alınmalıdır.

# Al-Si alaşımları

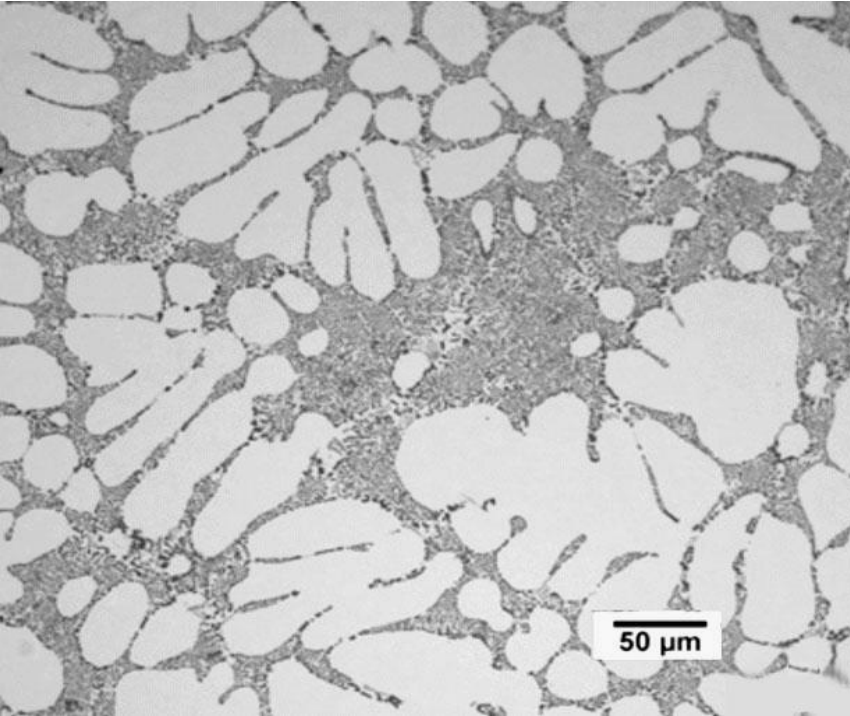


# Al-Si sisteminde popüler alaşımlar

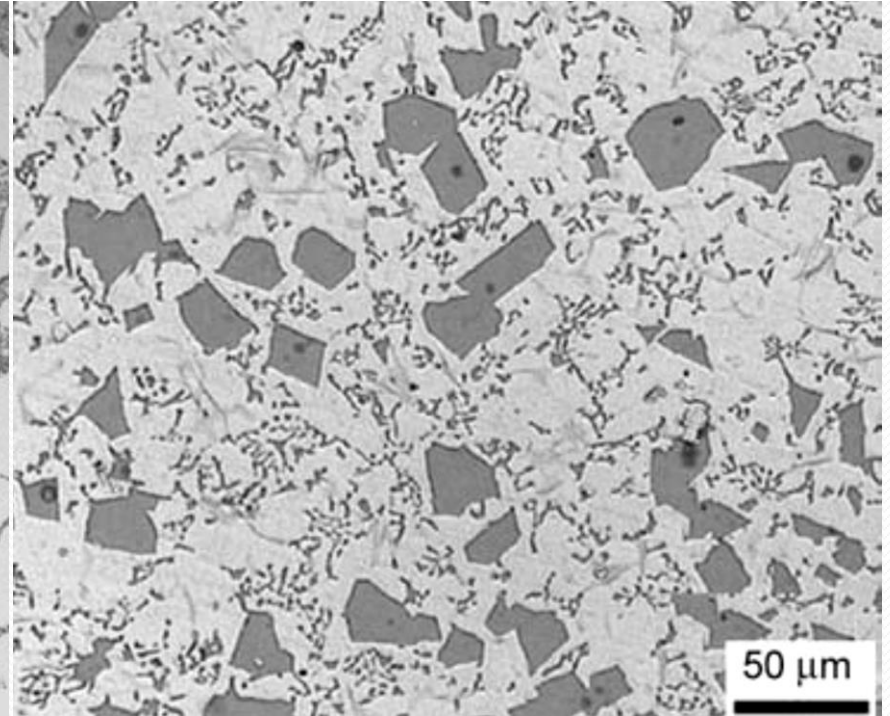


# Al-Si sisteminde alaşımlar

ötektik altı



ötektik üstü



Primer faz:

$\alpha$ -Al

silis

# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

Mükemmel akışkanlık

Isıl işlem uygulanabilir.

Yüksek mukavemet

çekme mukavemeti: 130-275 MPa

Bazı alaşımlarda yüksek uzama, süneklilik ve tokluk

Aşınma direnci iyi

Cu içeren alaşımlarda işlenebilirlik iyi/korozyon

direnci düşük

bir çok döküm tekniğine (kum, kokil, basınçlı döküm) uygun!



# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

Büyük ve karmaşık parçaların dökümü için ideal!

Çok ince detaylarla çok hassas döküm parça

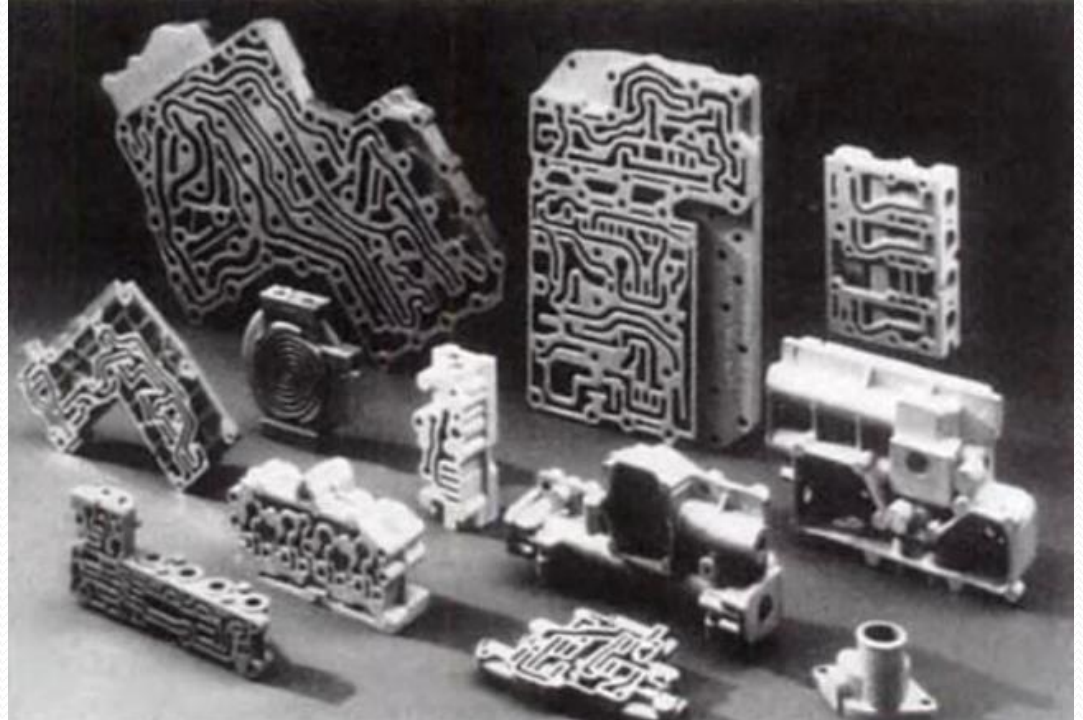
Otomotiv silindir blok ve kapakları

Jant

Uçak parçaları

Kompressör ve

pompa parçaları



# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

- ıslıl işlemsiz mukavemet, dökülebilirlik ve maliyet yönünden cazip bir denge!
- Magnezyum miktarı türbülanslı kalıp dolumu sırasında oluşan oksitleri en aza indirmek için çok düşük seviyelerde tutulmuştur!
- Fakat bu kadar düşük Mg bile (~0.3%) sertliği ve talaşlı imalat kabiliyetine katkı yapar.
- Hurda esaslı oldukları için bu alaşımlar kritik parçalar için yeterli değildir.

# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

- En popöler alaşımlar,
- Kum ve kokil kalıp döküm parçalar için 319.0 ve 356.0/A356.0
- Basınçlı döküm için 360.0, 380.0/A380.0 ve 390.0
- sıkıştırma ve dövme döküm dahil bir çok döküm prosesi için 357.0/A357.0
- Tamamen geri dönüşüm hurdadan üretilebildiği için 332.0 en çok kullanılan alaşımların başında gelir

# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

- A356 alaşımı en popöler döküm alaşımıdır.
- Sıkıştırma döküm ve yarı-katı döküm uygulamalarında çok yaygındır.
- 356/A356 alaşımları elektrik donanımlarında deniz araçları parçalarında, pompa gövdelerinde tercih edilirler.
- A356 alaşımı Kuzey Amerika'da jant üretimi için birinci malzeme seçeneğidir. şasi ve süspansiyon parçaları için de çok yaygındır.
- 357 alaşımı 356 alaşımına benzerdir fakat mukavemeti daha yüksektir. Bu alaşım da kaliteli parçaların üretimi için tercih edilir.

# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

- 360 ve A360 alaşımları da 356 ile aynı gruba aittir fakat özellikle basınçlı döküm için geliştirilmiştir. Bu nedenle silis daha yüksek ve Fe ve empürite içeriği 356'ya kıyasla daha fazladır.
- 380 alaşımı: basınçlı döküm prosesi için özel olarak geliştirilmiş hurdadan üretilen bir alaşımdır.
- Basınçlı döküm parçalarının yaklaşık %85'lik bir bölümü bu alaşımdan üretilmiştir.
- daha yüksek miktarda Si ve Fe içerir ve empürite içeriği daha fazladır.



# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

- Ötektik üstü 3XX alaşımları (390, B390, 393) genellikle aşınma direnci gerektiren motor bloğu, kompresör, pompa, fren sistemi vb uygulamalarda tercih edilirler.
- Çok yüksek akışkanlıkları nedeniyle aynı zamanda ince kesitli parçaların dökümünde de tercih edilirler.
- Primer silis parçaları bulunduğu ve sünelikleri sınırlı olduğu için ötektik üstü alaşımlar güvenlik kritik parçalar için uygun değildir.
- Isıl işleme sertleştirilebilirler ve yüksek mukavemet ve sertlik seviyelerinde üretilebilirler.

# 319.0, A310.0, B319.0 ve 320.0

- 319.0 ve A319.0 alaşımlarının dökülebilirlikleri, kaynaklanabilirlikleri, sızdırmazlıkları iyidir ve mukavemetleri makul seviyededir. Sızdırmazlık üst düzeydedir.
- Sıcak yırtılma ve katılaşma büzülmesi sınırlıdır.
- Döküm karakteristikleri ve mekanik özellikleri empürite miktarlarından fazla etkilenmez.
- işlenebilirlikleri iyidir.
- Aşınma ve kalıntıların etkilerini bertaraf etmek için karbür uçlu takımlar önerilir.

# 319.0, A310.0, B319.0 ve 320.0

- B319.0 ve 320.0 alaşımlarının mukavemeti daha yüksektir ve çoğunlukla kokil döküm ile üretilirler. Diğer zellikleri 319.0 ve A319.0 alaşımlarına benzer.
- Bu alaşımların kum dökümleri içten yanmalı ve dizel motorların krank gövdeleri, gaz ve yağ tankları, yağ kutularında tercih edilir.
- Kokil döküm parçalar su soğutmalı silindir kapakları, arka dingil gömleği ve motor parçalarıdır.

# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

319 ve B319 alaşımları otomotiv krank muhafazalarında, manifoldlarda ve silindir kapaklarında tercih edilmiştir.

Ortalama silis içerikleri nedeniyle basıncılı döküm için en uygun alaşım değildirler.



Kum döküm 319

# 356.0

- mükemmel dökülebilirlik.
- Sıcak yırtılma ve katılaşma büzülmesi riski yok!
- Isıl işlemler halinde (T6) işlenebilirliği iyidir. Yüksek Si sayesinde karbürü takımlarla tasarruf sağlanabilir.
- Yüzey kalitesi iyi. Parlatılmış halde görünümü başarılı. Eloksalı iyi ve gri renkli.
- Kaynak kabiliyeti iyi. Lehimleme yapılmaz.
- Kokil döküm parçalar makine parçaları, uçak jantları, pompa parçaları, denizcilik donanımları, valf gövdeleri, uçak kanat bağlantıları, uçak ve füze yakıt tanklarında tercih edilir.



# 356.0

- Otomotivdeki uygulamaları, başta silindir kapakları olmak üzere çeşitlidir.
- Kum dökümleri vites kutuları, yağ kutuları, arka dingil gömlekleri, su soğutmalı silindir blokları, pompa kutularında değerlendirilir.
- Bu alaşım T6 kondisyonda sızdırmazlık ve korozyon direncinin kritik olduğu deniz araçlarında ideal bir malzeme.

# A380.0/B380.0

- genel amaç basınçlı döküm parçalarında kullanılır.
- Dökülebilirlikleri, sızdırmazlıkları, sıcak yırtılma dirençleri iyidir.
- Mekanik özellikleri iyidir.
- İşlenebilirlikleri iyidir fakat aşındırma kapasiteleri nedeniyle karbür uçlu takımlar önerilir.
- Çim biçme makinaları, vites kutuları, hava soğutmalı silindir kapakları için kullanılırlar.
- Elektrokaplama çok iyi sonuç verir. Parlatma ve eloksal kaliteleri de iyidir.
- Kaynak kabiliyetleri makuldür. Lehim yapılmaz.
- Korozyona karşı dirençleri makuldür.

# A390.0/B390.0

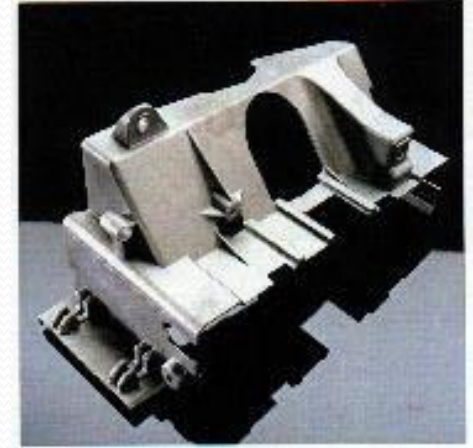
- Ötektik üstü alaşımlar
- Ötektik matriste dağılmış primer silis taneciklerinden oluşan bir yapı sayesinde aşınma direnci çok yüksek
- Isıl işlem gerekmez, böylece kalıntı gerilmelerin neden olduğu yorulma performansı yüksek
- Isıl genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve sertlik yüksek olduğu için içten yanmalı motor pistonlarında, silindir blok ve kapaklarında, kompresör ve pompa gövdelerinde ve fren aksamlarında cazip malzeme

# A390.0/B390.0

- Basınçlı döküme uygun
- İnce kesit ve karmaşık şekiller dökülebilir
- Sızdırmazlık ve sıcak yırtılma direnci yüksek
- Kalıba yapışma çok sınırlı!
- Kokil kalıp döküm başarılı!
- Kum kalıpta yavaş soğuma döküm yapısını olumsuz etkiliyor.

# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

Mercedes kamyon için 356.0  
alaşımlı trbo parçası



380.0 alaşımlı Kum döküm  
arka dingil gömleği

357.0 ve A357.0 alaşımlı kum ve  
kokil döküm otomotiv  
süspansiyon parçaları





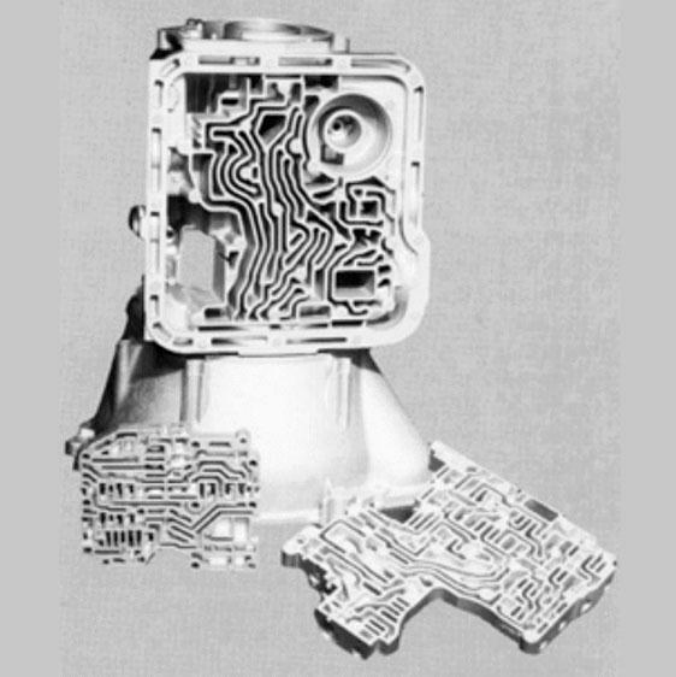
# 3xx alaşımları / Al-Si-Mg (Cu)

basınçlı döküm vites kutusu  
380.0

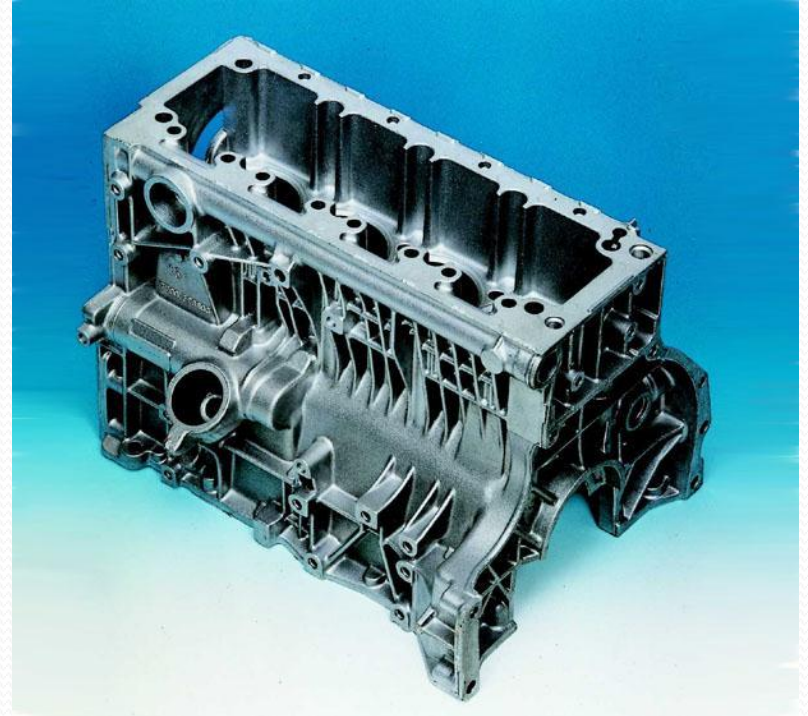


A356.0 alaşımından alçak  
basınçlı döküm yöntemi ile  
üretildiği jant

# uygulamalar



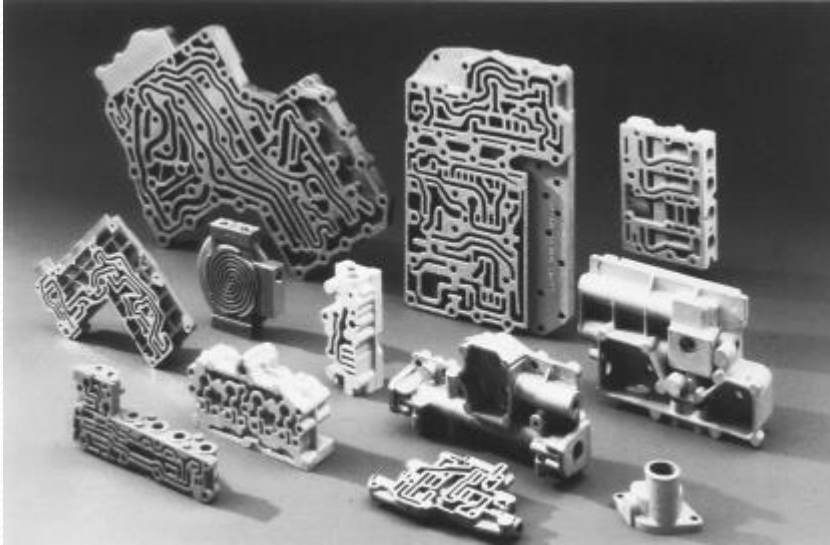
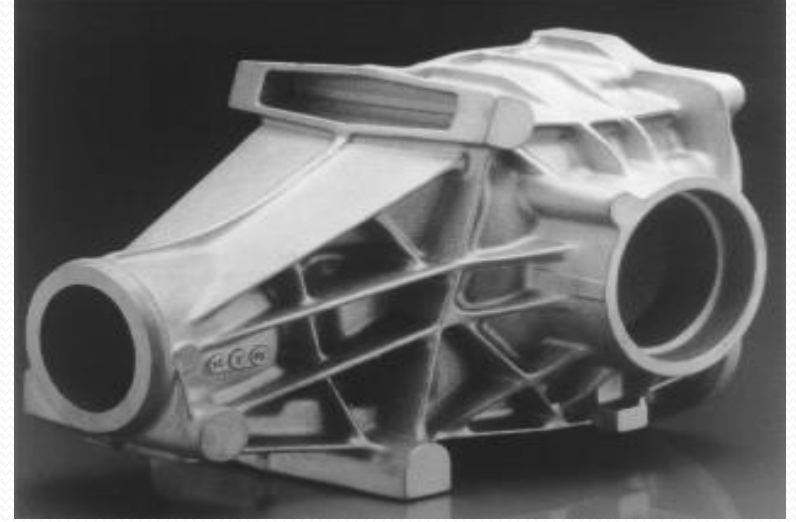
7 kg A380 Vites kutusu



Renault Safran silindir bloğu

# uygulamalar

A380 kum döküm



Hassas dökümle üretilmiş  
3XX alaşımlı döküm  
parçalar.

# 4XX / Al-Si alaşımları

- ötektik alaşım grubudur ve tüm döküm alaşımları arasında en dar katılaşma aralığına sahiptir (tek istisna 1XX rotor alaşımlarıdır)
- Üst düzeyde dökülebilirlik ile birlikte Cu içeren 3XX alaşımlarının sağladığından daha üstün korozyon direnci gerektiğinde 4XX alaşımları tercih edilir.
- Yeterli mukavemet, yüksek uzama ve korozyon direnci gibi özellikleri bir arada sunar.
- Mükemmel akışkanlık; özellikle karmaşık, ince kesitli, sızdırmaz, yorulmaya dayanıklı parçaların dökümü için tercih edilir.
- 4XX alaşımlarına ısıl işlem yapılamaz.

# 413 alaşımı

- Ötektik alaşımlar kalıp yüzeyinden parça merkezine doğru katılaşırlar. Düz katı-sıvı arayüzeyi sayesinde katılaşma çekintisi parça termal merkez hattına sıkışır. Çekinti gözenekleri yüzey ulaşmadığından bu alaşımdan üretilen parçalar sızdırmazdır.
- 380 alaşımları gibi 413 alaşımı da sekonder bir alaşımdır ve bu nedenle güvenlik-kritik uygulamalar için uygun değildir.
- Uygulamalar deniz araçları parçaları, ofis ekipmanları parçaları, gıda sektörü donanımları, kimya endüstrisi parçaları.



# 4xx / Al-Si alaşımları

Kum, kokil kalıp ve basınçlı döküme uygun

Başlıca alaşımlar: 413.0, 443.0

413.0/AlSi12: ötektik bileşimi ve düşük ergime noktası (570°C) sayesinde üstün dökülebilirlik ve mükemmel kaynaklanabilirliği ile popüler

İnce kesitler

Çekme mukavemeti aralığı: 120-175 MPa

Makul seviyede süneklilik

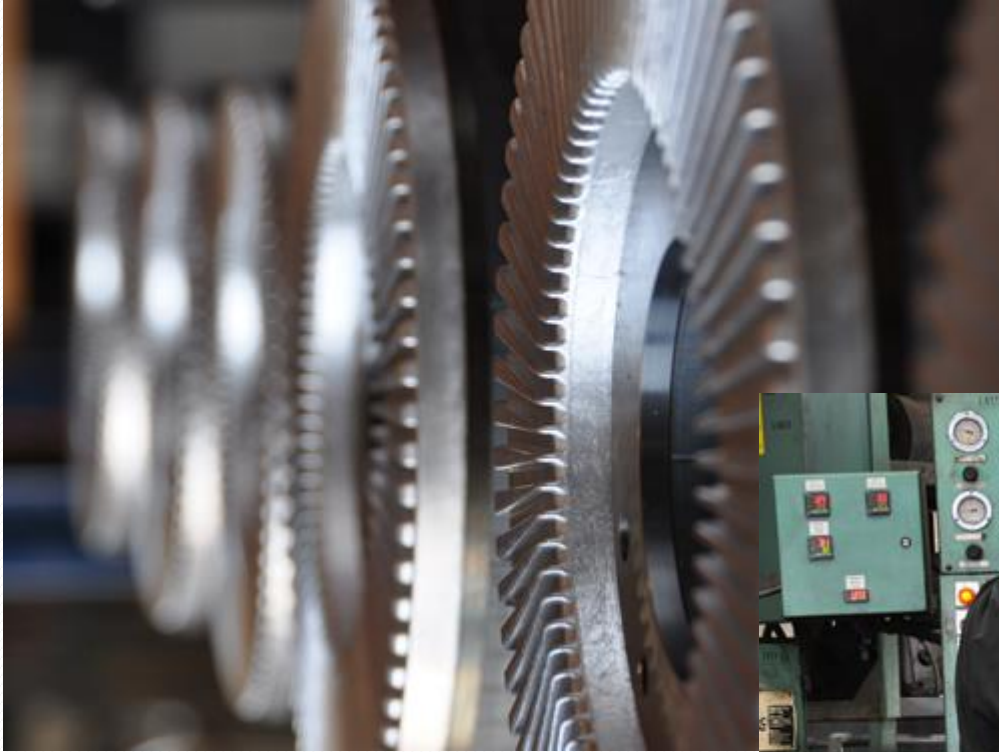
İyi aşınma direnci

Yazıcı-daktilo gövdeleri/tencere-tava vb pişirme gereçleri ; Korozyon direnci sayesinde denizcilik ve mimari

# 1xx alaşımları

- Ayırt edici özelliği yüksek elektrik iletkenliğidir.
- ticari olarak elektrik motor rotorlarının dökümünde tercih edilir.
- Rotorlar genellikle düşey konumlanmış yüksek basınçlı döküm makinelerinde imal edilir.
- Elektrik iletkenliği kolektör bileziklerinde ve kalıp içine yerleştirilen çelik laminasyonlarla birlikte entegre dökülen iletken baralarda da önemlidir.
- Ancak 1XX grubu alaşımlar kritik sağlam (high integrity) basınçlı döküm parçalar için uygun değildir.

# uygulamalar



# 2xx / Al-Cu alaşımları

- En yüksek mukavemetli alüminyum döküm alaşımları
- Çekme mukavemeti ~130-450 MPa
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini korur.
- Fakat süneklilik ve tokluk sınırlı!
- Korozyon direnci de düşük!
- kum ve kokil kalıp döküm için uygun!
- Akışkanlık sınırlı: gözenek ve sıcak yırtılma riski
- Bu nedenle hassas döküme daha uygun
- Isıl işlem yapılabilir!
- En yaygın alaşımlar: 201.0, 203.0

# 2xx / Al-Cu alaşımları

- Katılaşma gerilmelerini kontrol etmek için 2XX alaşımlarını dokerken özel önlemler uygulanır:
- sıcak kalıplara dökülür (gerilmeleri sınırlamak!)
- parçalar kalıptan mümkün olan en yüksek sıcaklıkta çıkarılır.
- Kritik mukavemet ve süneklik gerektiren bölgeleri illeme yaparak yüksek katılaşma hızlarında ince bir döküm yapısında elde etmek gerekir.
- illeme ile yönlenmiş katılaşma uygulanarak (katılaşma soğuk bölgelerden çekilmenin yaşandığı sıcak i, merkezi bölgelere doğru) yüksek hızda katılaştırmak gerekir.



# 2xx / Al-Cu alaşımları

- Yere iniş takımları ve diğer uçak parçaları 201.0 alaşımından; Otomobil ve uçak motorlarında silindir kapakları, dizel motorlar için piston
- 206 ve A206 alaşımları savunma ve havacılık sanayinde çok yüksek mukavemet ve darbe direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilirler.
- Kamyon ve tırlar için vites ve pompa kutusu gibi yapısal parçalar için de uygundur.
- Egsoz parçaları



# 242.0 / A242.0 alaşımları

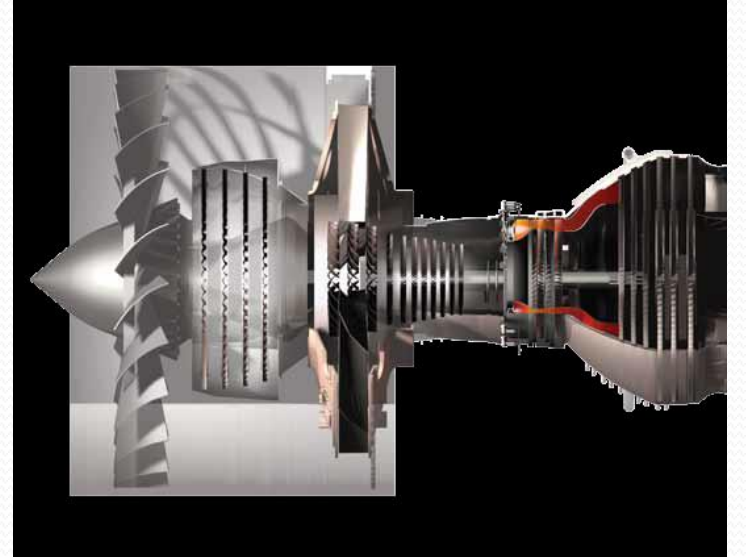
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve sertlik gerektiğinde
- Akışkanlıkları fena değil; sıcak yırtılma ve gözeneklilik az
- Sızdırmazlık makul!
- İşlenebilirlikleri iyi
- eloksallı yüzey kaliteli
- Ark ve direnç kaynakları başarılı
- Korozyona dirençleri fena değil! (kaplama ile korozyona direnç daha da arttırılabilir!)
- Piston ve hava soğutmalı silindir kapaklarında

# 2xx alaşımları



Uçak jet motorlarında yakıt transfer ünitesi

Uçak jet motorları gövde parçaları



# 2xx alaşımları

Sivil ve savaş uçaklarında jet motoru fan parçası





# 2xx alaşımları

Tctical Tomahawk füze  
gövde parçaları



Hafif taşıtların üzerine monte edilebilen elektronik ve optik donanımların gövde parçaları-tek parça döküm



# 5xx.x / Al-Mg alaşımları

- Yüksek Mg nedeniyle katılaşma aralıkları geniş ve dökümü güç; sıcak yırtılma eğilimleri vardır. Basınçlı döküm için pek tercih edilmezler.
- Kum ve zaman zaman kokil kalıp döküm
- Yüksek yüzey kalitesi-eloksal çok başarılı
- Mükemmel korozyon direnci
- Talaşlı imalat kabiliyeti
- Çekme mukavemet aralığı: 120-175 MPa
- Tipik alaşımlar: 512.0, 514.0, 518.0, 535.0
- 512.0 ve 514.0 alaşımları orta seviyede mukavemet ve yüksek uzama gösterirler.
- Isıl işlem uygulanmaz

# 5xx.x / Al-Mg alaşımları

- anodizasyonla çeşitli renkte ve yüksek yüzey kalitesi ile retilbildiklerinden dekoratif kapı ve pencere parçalarında tercih edilirler,
- Anodizasyon uygulanacak basınçlı döküm parçalar için 520.0 en uygun alaşımdır.
- Mutfak gereçleri, gıda kapları, uçak ve otoyol parçaları
- Korozyona yüksek dirençleri ile denizde ve diğer korozif ortamlarda uygulama için tercih edilirler.

# 5xx / Al-Mg alaşımları

- Süt ve gıda ekipmanlarında tercih edilirler.
- mimari uygulamalarda tercih edilirler.
- 5XX serisi alaşımların ergitme ve döküm sürecinde önlemler almak gerekir.
- 5xx alaşımlarının mukavemetleri ısıl işleme arttırılamaz. Fakat döküm halinde makul mukavemet ile birlikte iyi sünelikleri vardır.
- Bu sayede artık gerilmeler ve Şekil bozuklukları oluşturmadan ısıl işlem uygulanması güç çok büyük yapısal parçaların dökümü için uygundur.

# 7xx.x / Al-Zn alaşımları

- Isıl işleme sertleştirilebilir
- Dökümü Al-Si alaşımlarına göre daha zordur.
- Döküm zor olduğundan sadece işlenebilirliğin gerektiği ve yüzey kalite ve görünümün kritik olduğu yerlerde kullanılırlar.
- Kum ve kokil kalıp döküm parçalar (basınçlı döküm mümkün değil!)
- Talaşlı imalat kabiliyeti mükemmel
- Boyutsal kararlılık iyi
- Korozyon direnci iyi
- Yüzey kalitesi yüksek
- Tipik alaşımlar: 705.0,712.0
- Çekme mukavemet aralığı: 205-380 MPa

# 7xx.x / Al-Zn alaşımları

- Darbe dirençleri iyidir ve ısıl işlem olmaksızın yüksek mukavemet seviyelerine sahiptirler.
- 7xx alaşımları oda sıcaklığında yaşlanırlar ve dökümden sonraki 20-30 gün içinde maksimum sertliğe ulaşırlar.
- Bu nedenle büyük makine aksamları ve takım aletleri için uygundur.
- Mobilya parçalarında, bahçe ekipmanlarında, tekstil ve ofis makineleri parçalarında, tır ve kamyon parçalarında, madencilik ekipmanlarında kullanılırlar.



# 7xx.x / Al-Zn alaşımları

- Kalıntı gerilme ve distorsiyon sorunu yaşamadan ısıl işlem yapılması güç büyük parçalar için tercih edilirler.
- Saf rotor alüminyumu dışında tüm döküm alaşımlar arasında en yüksek solidüs sıcaklığına sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde lehimleme ile birleştirilen konfigürasyonlar için idealdirler.
- 7xx alaşımları basınçlı döküme uygun değildir. 2xx ve 5xx alaşımları gibi yarı-katı prosesleri ile güvenlik-kritik uygulamalara aday olabilirler.

# 8xx.x / Al-Sn alaşımları

- Isıl işlem yapılabilir.
- Sınırlı mukavemet
- Yüksek aşınma direnci
- Dökümü Al-Si alaşımlarına göre daha güç
- Kum ve kokil kalıp döküme uygun (basınçlı döküm yok!)
- işlenebilirlik mükemmel
- Tipik alaşımlar: 850.0, 851.0
- Çekme mukavemeti: 105-205 MPa
- 7XX grubu alaşımlar gibi dökümü güçtür ve sadece talaşlı imalat kaibiyeti gerektiren uygulamalarda tercih edilirler.

# 8xx.x / Al-Sn alaşımları

- Her türlü rulman ve burç uygulamasına aday
- Mükemmel basma mukavemeti
- aşırı ısınma durumlarda kaydırıcılık özelliği
- 8xx alaşımlarının sıradışı katkısı Sn'dır.
- Döküm parçalarda Sn yaklaşık saf kalay olarak kürecikler şeklinde mikroyapıda dağılmıştır. Normal yağlama yeterli olmadığında veya aksadığında aşırı ısınma olacağından kalay kürecikleri 231 °C'de eriyerek aşırı ısınmış yüzeyden çıkarak yağlama işine katılır ve sistemin servis dışı kalmasını önler.

# etal alaşımları

ETİNORM	RENK KODU		Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
ETİAL 110	MAVİ	MAVİ	0,70	4,00-6,00	2,00-4,00	0,20-0,60	0,15	0,20		0,20	0,10	0,05
ETİAL 120	BEYAZ	MAVİ	0,50	4,50-6,00	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10
ETİAL 140	SARI	SARI	0,60	11,50-13,50	0,10	0,40	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,05
ETİAL 141	YEŞİL	SARI	1,00	11,50-13,50	0,20	0,30	0,20	0,10	0,10	0,15	0,10	0,05
ETİAL 145	KIRMIZI	SARI	0,60	11,00-13,00	0,80-1,50	0,20	0,80-1,40	0,20	0,80-1,30	0,10	0,10	0,05
ETİAL 147	SİYAH	SARI	0,25	8,70-9,10	3,40-3,70	0,20	0,40-0,80	0,20	0,20	0,10	0,10	0,05
ETİAL 150	MAVİ	YEŞİL	1,00	11,00-13,00	1,75-2,5	0,50	0,40	0,70	0,30	0,15	0,10	0,10
ETİAL 160	YEŞİL	YEŞİL	1,00	7,50-9,00	3,00-4,00	0,50	0,30	1,00	0,20	0,20	0,10	0,10
ETİAL 171	MAVİ	SİYAH	0,50	9,00-10,00	0,10	0,40-0,60	0,30-0,45	0,10	0,10	0,15	0,05	0,05
ETİAL 175	SİYAH	SİYAH	0,60	9,00-10,50	2,50-3,50	0,30	0,70-1,20	0,50	0,30	0,15	0,10	0,05
ETİAL 177	KIRMIZI	YEŞİL	0,20	6,60-7,40	0,02	0,03	0,30-0,45	0,04	0,02	0,80-0,14	0,05	0,05
ETİAL 178	YEŞİL	SİYAH	0,40	5,00-5,50	2,80-3,20	0,10-0,20	0,15-0,25	0,50	0,30	0,15	0,10	0,05
ETİAL 180	BEYAZ	SİYAH	1,00	9,00-11,50	0,70-2,50	0,50	0,30	2,00	0,50	0,20	0,10	0,20
ETİAL 195	KIRMIZI	SİYAH	0,60	17,00-19,00	0,80-1,5	0,20	0,80-1,30	0,20	0,80-1,30	0,10	0,10	0,05
ETİAL 220	MAVİ	BEYAZ	0,30	0,35	4,00-5,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
ETİAL 221	SARI	BEYAZ	0,30	0,30	4,00-5,00	0,10	0,05	0,10	0,10	0,15-0,30	0,05	0,05
ETİAL 222			0,60	1,00	0,05	0,20-0,50	0,70-0,90	0,10	-	0,15	-	-

# döküm kıyaslama

- Geleneksel basınçlı döküm parçaların uzama değerleri genellikle sınırlı olup güvenlik yönünden kritik parçalar için uygun değildir.
- Son yıllarda sıkıştırma döküm ve yarı-katı döküm gibi daha yüksek basınç uygulanan döküm yöntemleri ticarileşmiştir.
- Bu sayede yüksek mukavemet ile birlikte %10'u çok üstünde uzama değerleri yakalanabilmiştir.
- Bu sayede alüminyum döküm alaşımlarının uygulama alanları da genişlemiştir.



# Primer ve sekonder alaşımlar

- Primer alaşımlar saf alüminyuma alaşım elementleri ilave edilerek üretilirler.
- Sekonder alaşımlar geri dönüştürülen hurdadan daha düşük maliyetlerle üretilirler
- Geri dönüştürülen alüminyum malzeme demir ve çelik parçalarla kontamine olduğundan başta Fe olmak üzere yüksek miktarlarda empürite içerirler. Fe başta dökülebilirlik ve süneklik olmak üzere bir çok özelliğe zarar verir.
- Bu nedenle Fe miktarı mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.
- Bunun tek istisnası basınçlı dökümdür.

# Primer ve sekonder alaşımlar

- Kum ve kokil kalıba döküm yapıldığında, yüksek süneklik gerektiren uygulamalarda Fe miktarı genellikle  $< 0.20\%$  altında kontrol edilir. Bu da primer alüminyum anlamına gelir.
- Süneklik kritik olmadığında Fe miktarı daha yüksek olabilir.
- Dökülebilirlik ve talaşlı imalat kabiliyeti ön planda olduğunda Fe miktarı  $\%0.5$ 'e ve hatta daha yüksek değerlere çıkabilir. Dolayısıyla ile sekonder alüminyum alaşımları kullanılabilir.

# kum döküm alaşımları

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti
201.0	0.10	0.15	4.0–5.2	0.20–0.50	0.15–0.55	...	...	...	...	0.15–0.35
204.0	0.20	0.35	4.2–5.0	0.10	0.15–0.35	...	0.05	0.10	0.05	0.15–0.30
242.0	0.7	1.0	3.7–4.5	0.35	1.2–1.8	0.25	1.7–2.3	0.35	...	0.25
295.0	0.7–1.5	1.0	4.0–5.0	0.35	0.03	...	...	0.35	...	0.25
319.0	5.5–6.5	1.0	3.0–4.0	0.50	0.10	...	0.35	1.0	...	0.25
328.0	7.5–8.5	1.0	1.0–2.0	0.20–0.6	0.20–0.6	0.35	0.25	1.5	...	0.25
355.0	4.5–5.5	0.6 <sup>B</sup>	1.0–1.5	0.50 <sup>B</sup>	0.40–0.6	0.25	...	0.35	...	0.25
356.0	6.5–7.5	0.6 <sup>B</sup>	0.25	0.35 <sup>B</sup>	0.20–0.45	...	...	0.35	...	0.25
443.0	4.5–6.0	0.8	0.6	0.50	0.05	0.25	...	0.50	...	0.25
512.0	1.4–2.2	0.6	0.35	0.8	3.5–4.5	0.25	...	0.35	...	0.25
514.0	0.35	0.50	0.15	0.35	3.5–4.5	...	...	0.15	...	0.25
520.0	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5–10.6	...	...	0.15	...	0.25
535.0	0.15	0.15	0.05	0.10–0.25	6.2–7.5	...	...	...	...	0.10–0.25

# kum döküm alaşımları

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti
705.0	0.20	0.8	0.20	0.40–0.6	1.4–1.8	0.20–0.40	...	2.7–3.3	...	0.25
707.0	0.20	0.8	0.20	0.40–0.6	1.8–2.4	0.20–0.40	...	4.0–4.5	...	0.25
710.0	0.15	0.50	0.35–0.65	0.05	0.6–0.8	...	...	6.0–7.0	...	0.25
712.0	0.30	0.50	0.25	0.10	0.50–0.65	0.40–0.6	...	5.0–6.5	...	0.15–0.25
713.0	0.25	1.1	0.40–1.0	0.6	0.20–0.50	0.35	0.15	7.0–8.0	...	0.25
771.0	0.15	0.15	0.10	0.10	0.8–1.0	0.06–0.2	...	6.5–7.5	...	0.10–0.20
850.0	0.7	0.7	0.7–1.3	0.10	0.10	...	0.7–1.3	...	5.5–7.0	0.20
851.0	2.0–3.0	0.7	0.7–1.3	0.10	0.10	...	0.30–0.7	...	5.5–7.0	0.20
852.0	0.40	0.7	1.7–2.3	0.10	0.6–0.9	...	0.9–1.5	...	5.5–7.0	0.20

# kokil döküm alaşımları

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti
204.0	0.20	0.35	4.2-5.0	0.10	0.15-0.35	...	0.05	0.10	0.05	0.15-0.30
208.0	2.5-3.5	1.2	3.5-4.5	0.50	0.10	...	0.35	1.0	...	0.25
222.0	2.0	1.5	9.2-10.7	0.50	0.15-0.35	...	0.50	0.8	...	0.25
242.0	0.7	1.0	3.7-4.5	0.35	1.2-1.8	0.25	1.7-2.3	0.35	...	0.25
296.0	2.0-3.0	1.2	4.0-5.0	0.35	0.05	...	0.35	0.50	...	0.25
308.0	5.0-6.0	1.0	4.0-5.0	0.50	0.10	...	...	1.0	...	0.25
319.0	5.5-6.5	1.0	3.0-4.0	0.50	0.10	...	0.35	1.0	...	0.25
332.0	8.5-10.5	1.2	2.0-4.0	0.50	0.50-1.5	...	0.50	1.0	...	0.25
333.0	8.0-10.0	1.0	3.0-4.0	0.50	0.05-0.50	...	0.50	1.0	...	0.25
336.0	11.0-13.0	1.2	0.50-1.5	0.35	0.7-1.3	...	2.0-3.0	0.35	...	0.25
354.0	8.6-9.4	0.20	1.6-2.0	0.10	0.4-0.6	...	...	0.10	...	0.20
355.0	4.5-5.5	0.6 <sup>B</sup>	1.0-1.5	0.50 <sup>B</sup>	0.40-0.6	0.25	...	0.35	...	0.25
356.0	6.5-7.5	0.6 <sup>B</sup>	0.25	0.35 <sup>B</sup>	0.20-0.45	...	...	0.35	...	0.25



# kokil döküm alaşımları

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti
357.0	6.5-7.5	0.15	0.05	0.03	0.45-0.6	...	...	0.05	...	0.20
359.0	8.5-9.5	0.20	0.20	0.10	0.50-0.70	...	...	0.10	...	0.20
443.0	4.5-6.0	0.8	0.6	0.50	0.05	0.25	...	0.50	...	0.25
513.0	0.30	0.40	0.10	0.30	3.5-4.5	...	...	0.35	...	0.25
535.0	0.15	0.15	0.05	0.1-0.25	6.2-7.5	...	...	...	...	0.10-0.25
705.0	0.20	0.80	0.20	0.4-0.6	1.4-1.8	0.2-0.4	...	2.7-3.3	...	0.25
707.0	0.20	0.80	0.20	0.4-0.6	1.8-2.4	0.2-0.4	...	4.0-4.5	...	0.25
711.0	0.30	0.7-1.4	0.35-0.65	0.05	0.25-0.45	...	...	6.0-7.0	...	0.20
713.0	0.25	1.1	0.4-1.0	0.6	0.2-0.5	0.35	0.15	7.0-8.0	...	0.25
850.0	0.7	0.7	0.7-1.3	0.10	0.10	...	0.7-1.3	...	...	0.20
851.0	2.0-3.0	0.7	0.7-1.3	0.10	0.10	...	0.3-0.7	...	...	0.20
852.0	0.40	0.70	1.7-2.3	0.10	0.6-0.9	...	0.9-1.5	...	...	0.20

# Basınçlı döküm alaşımları

- Kalıba yapışmaları önlediği için Fe kasıtlı bulundurulmuş bir empüredir.
- Bu nedenle bu grupta Fe miktarı bir alt sınırla tarif edilir.
- Genellikle minimum %0.6 Fe istenir.
- Bu sayede sekonder alüminyum alaşımları uygundur.
- Fe için üst sınır gerekli olan süneklik seviyesi tarafından belirlenir.
- Üst sınır genellikle %1 ile %1.3 aralığındadır.

# Basınçlı döküm alaşımları

- Gaz sorunu nedeniyle basınçlı döküm parçalara ısıl işlem yapılamaz.
- Gerek çözünmüş gaz gerek kaçamayıp döküm yapısında sıkışmış hava çözeltiye alma tavı sırasında blister hatalarına yol açar.
- Genel basınçlı döküm alaşımları:
- A380 (AlSi8Cu3)  $R_p=160$  MPa,  $R_m =325$  MPa,  $A_5=0.5-3\%$
- A 383 (AlSi10Cu)  $R_p=150$  MPa,  $R_m =310$  MPa,  $A_5=1-3\%$

# Basınçlı döküm alaşımları

Özel basınçlı döküm alaşımları

- A443 (AlSi5)  $R_{p0.2\%}=110$  MPa,  $R_m =230$  MPa,  $A_5=9\%$
- Makul seviyede mukavemet ile birlikte yüksek süneklik gerektiğinde; düşük Cu sayesinde korozyon direnci de yüksek!
- A413 (AlSi12)  $R_p=140$  MPa,  $R_m =300$  MPa,  $A_5=0.5-2\%$   
Karmaşık ince et kalınlıklı parçalar için!
- A390 (AlSi17Cu4Mg)  $R_p=240$  MPa,  $R_m=280$  MPa,  $A_5=1\%$

Ötektik üstü aşınmaya dayanıklı bir alaşım; motor blokları, kompresör parçaları, fren balataları için kullanılır.

# Basınçlı döküm alaşımları

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Ti
<b>360</b>	9.0-10.0	2.0	0.6	0.35	0.4-0.6	0.50	0.50	0.15	-
<b>A360</b>	9.0-10.0	1.3	0.6	0.35	0.4-0.6	0.50	0.50	0.15	-
<b>380</b>	7.5-9.5	2.0	3.0-4.0	0.50	0.10	0.50	3.0	0.35	-
<b>A380</b>	7.5-9.5	1.3	3.0-4.0	0.50	0.10	0.50	3.0	0.35	-
<b>383</b>	9.5-11.5	1.3	2.0-3.0	0.50	0.10	0.30	3.0	0.15	-
<b>384</b>	10.5-12.0	1.3	3.0-4.5	0.50	0.10	0.50	3.0	0.35	-
<b>390</b>	16.0-18.0	1.3	4.0-5.0	0.50	0.45-0.65	0.10	1.5	-	0.10
<b>413.0</b>	11.0-13.0	2.0	1.0	0.35	0.10	0.50	0.50	0.15	-
<b>A413.0</b>	11.0-13.0	1.3	1.0	0.35	0.10	0.50	0.50	0.15	-
<b>443.0</b>	4.5-6.0	2.0	0.6	0.35	0.10	0.50	0.50	0.15	-



# Alüminyum döküm alaşımları

alaşım	Başlıca element	Katı eriyik sertleşmesi	Çökeltme sertleşmesi	
1xx	>99 Al	✓		Isıl işlem uygulanmaz
4xx	Si	✓		
5xx	Mg	✓		
2xx	Cu	✓	✓	Isıl işlem uygulanır
3xx	Si + Mg (Cu)	✓	✓	
7xx	Zn	✓	✓	
8xx	Sn	✓	✓	

# döküm alaşımları

## Al-Cu alaşımları (2xx.x serisi)

- Isıl işlem uygulanır
- Yüksek-çok yüksek mukavemet
- Düşük korozyon direnci (gerilmeli korozyona hassas)
- Sınırlı akışkanlık
- Düşük süneklik
- Sıcak yırtılma hassasiyeti

## *uygulamalar*

Otomotiv ve uçak motorları için silindir kapakları, dizel motorlar için piston, egsoz parçaları

# döküm alaşımları

## **Al-Si-Cu-Mg alaşımları (3xx.x serisi)**

- Isıl işlem uygulanır
- Yüksek mukavemet
- Düşük süneklik
- İyi aşınma direnci
- Sınırlı korozyon direnci (Cu içeren alaşımlarda)
- İyi akışkanlık ve dökülebilirlik
- İyi işlenebilirlik (Cu içeren alaşımlarda)

## ***Uygulamalar***

*Silindir blok ve kapakları, jantlar, uçak parçaları,  
Kompresör ve pompa parçaları*

# döküm alaşımları

## **Al-Si alaşımları (4xx.x serisi)**

- Isıl işlem uygulanmaz
- Ortalama mukavemet
- Orta seviyede süneklik
- İyi aşınma direnci
- Çok iyi dökülebilirlik
- İyi korozyon direnci

## ***Uygulamalar***

*Pompa kutuları*

*İnce et kalınlıklı döküm parçalar*

*Pişirme gereçleri*

# döküm alaşımları

## **Al-Mg alaşımları (5xx.x serisi)**

- Isıl işlem uygulanmaz
- Yüksek korozyon direnci
- İyi işlenebilirlik
- Kaliteli yüzey
- Elokstallı görünüm mükemmel
- Makul dökülebilirlik

## ***Uygulamalar***

***Kum döküm parçalar için***



# döküm alaşımları

## **Al-Zn alaşımları (7xx.x serisi)**

- Isıl işlem uygulanır
- Yüksek boyutsal kararlılık
- İyi korozyon dayanıklılığı
- zayıf döküm özellikleri
- İyi işlenebilirlik (Cu içeren alaşımlarda)

# döküm alaşımları

## Al-Sn alaşımları (8xx.x serisi)

- Isıl işlem uygulanmaz
- Sınırlı mukavemet
- Mükemmel aşınma direnci
- İyi işlenebilirlik

## *Uygulamalar*

*Tek ve bi-metal rulman uygulamaları*

# Kondisyonların tanımı

temper	açıklama
F	Isıl işlem görmemiş; döküm halinde
T	Isıl işlem görmüş
T1	Kararlı hale gelecek şekilde doğal olarak yaşlandırılmış
T2	tavlanmış
T3	Çözeltiye alınmış ve soğuk işlem görmüş
T4	Çözeltiye alınmış ve kararlı hale gelecek şekilde doğal yaşlandırılmış
T5	Suni yaşlandırılmış (çözeltiye alınmadan)
T6	Çözeltiye alınmış ve suni yaşlandırılmış
T64	Çözeltiye alınmış ve suni eksik yaşlandırılmış
T7	Çözeltiye alınmış ve kararlı hale getirilmiş

# (yarı) sürekli döküm teknolojileri

direkt çil döküm (DC casting)

yuvarlak kesit - bilet → ekstrüzyon

slab - ingot → sıcak/soğuk hadde

**yarı sürekli döküm**

ikiz merdane döküm (Twin roll casting/TRC)

→ soğuk hadde

ikiz bant döküm (twin belt casting/TBC)

→ sıcak/soğuk hadde

**sürekli döküm**

# Direkt il döküm (DC casting)

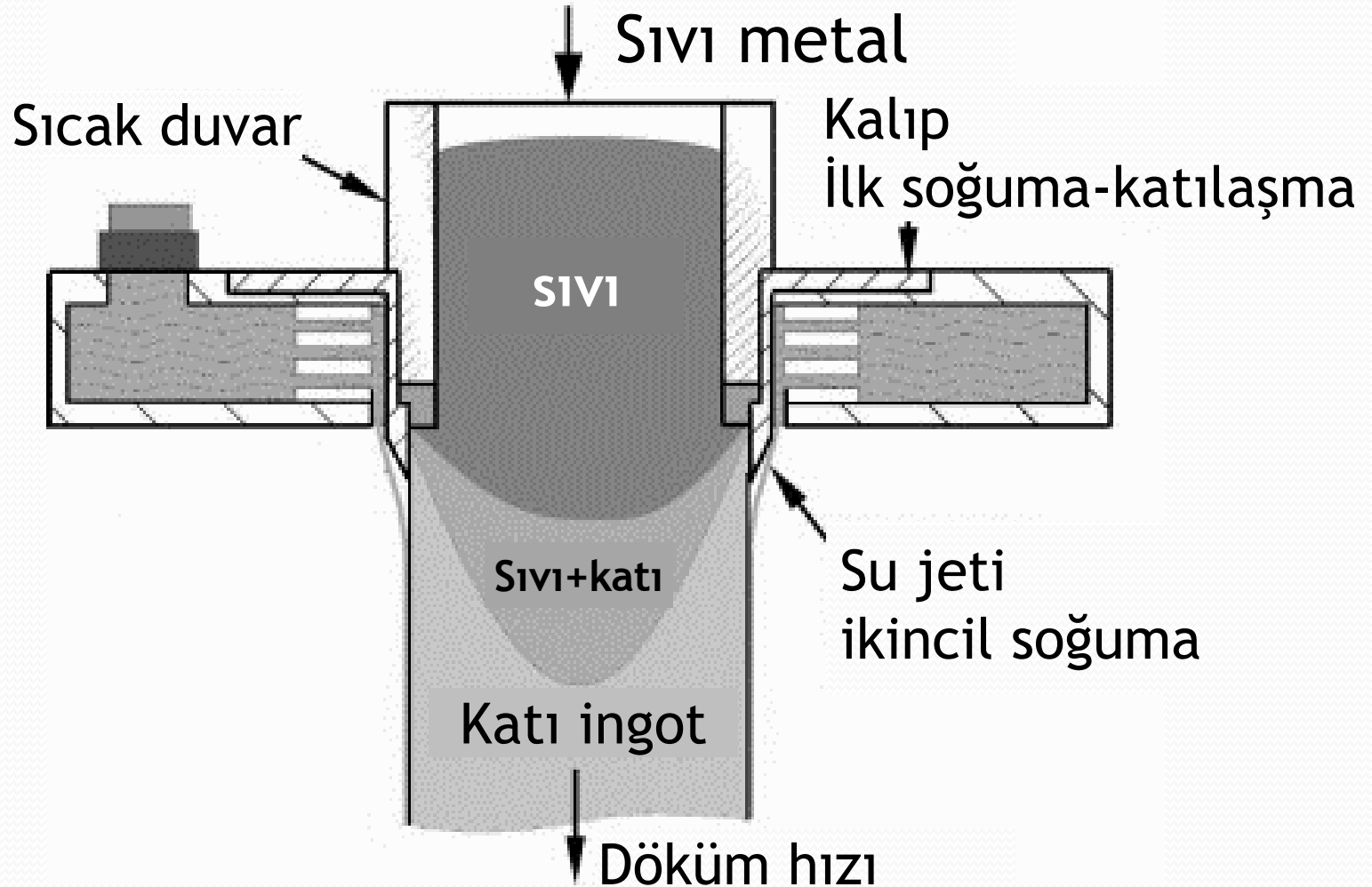




# Direkt il döküm (DC casting)



# Direkt il döküm (DC casting)

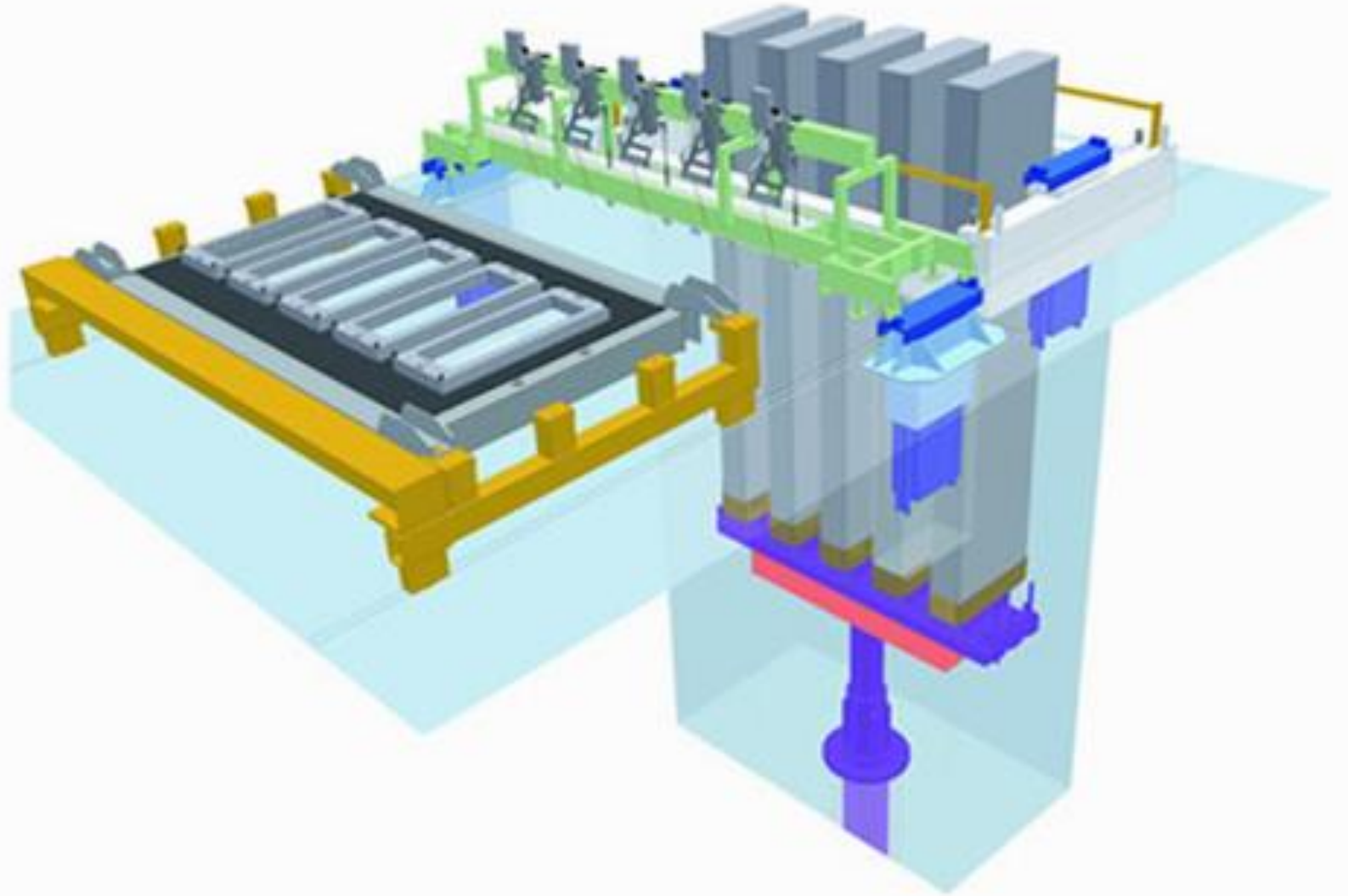


# Direkt çil döküm (DC casting)





# Direkt il dkm (DC casting)



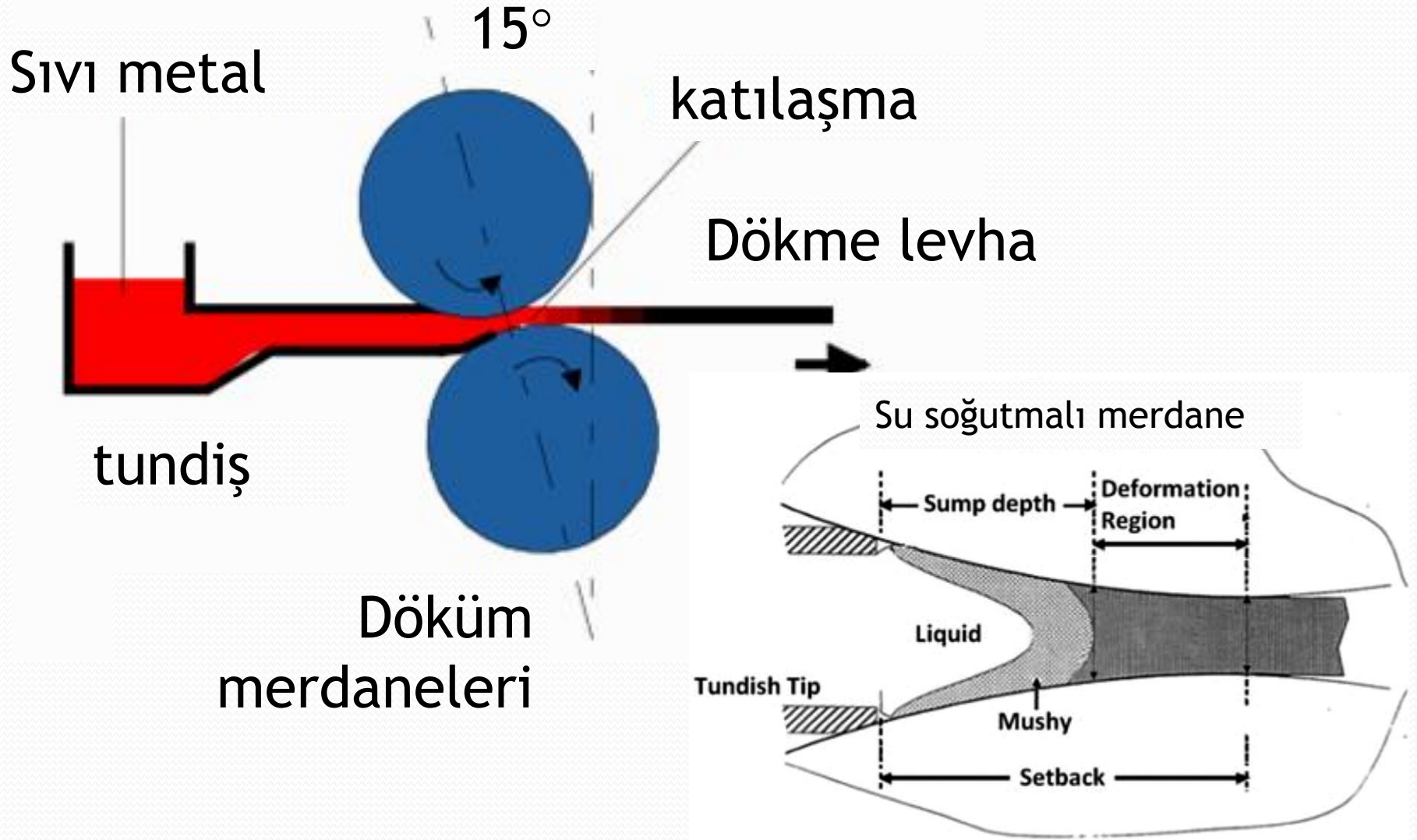
# Direkt çil döküm (DC casting)

- Alcan's Netcast™ technology - vertical casting of complex shapes

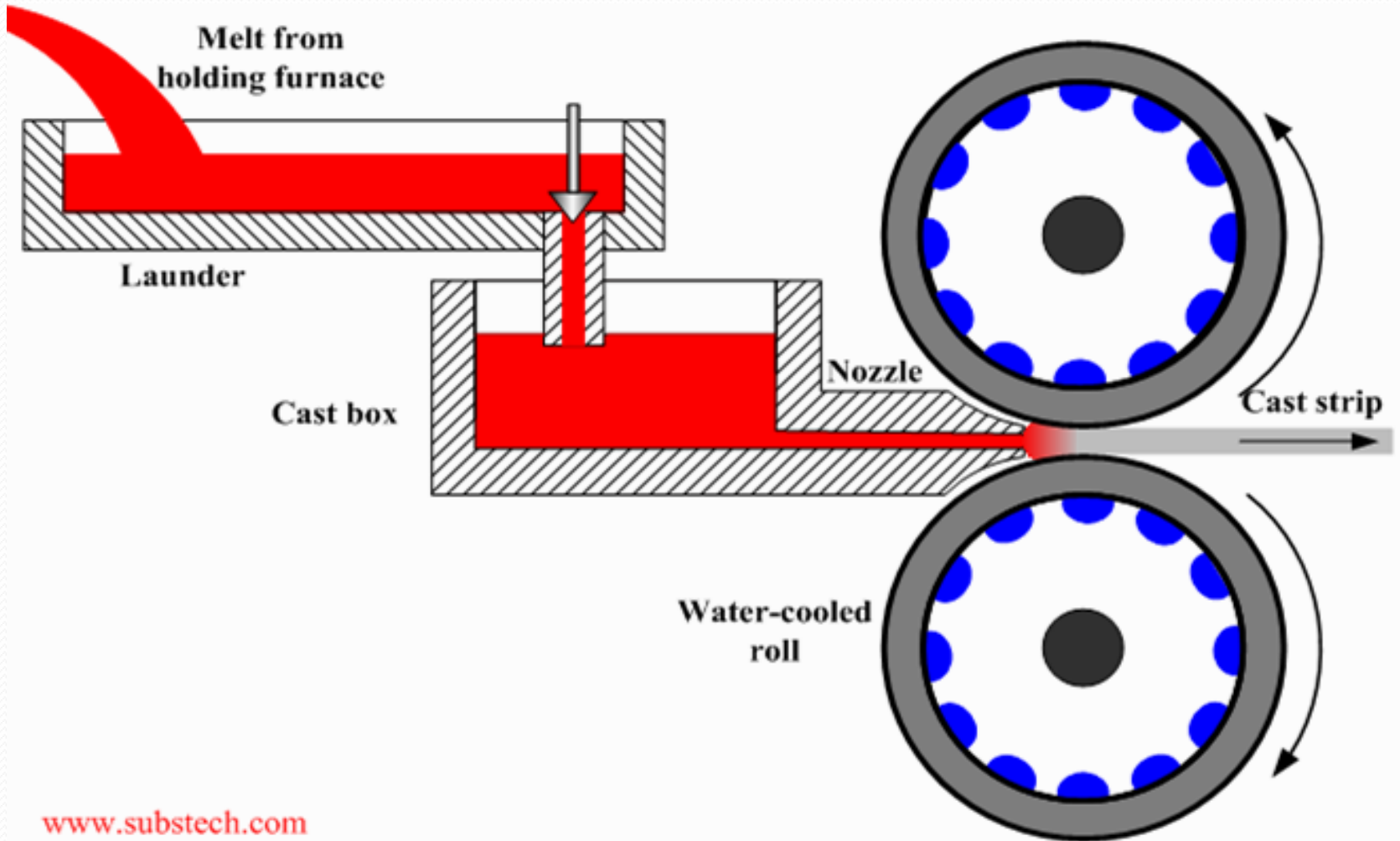




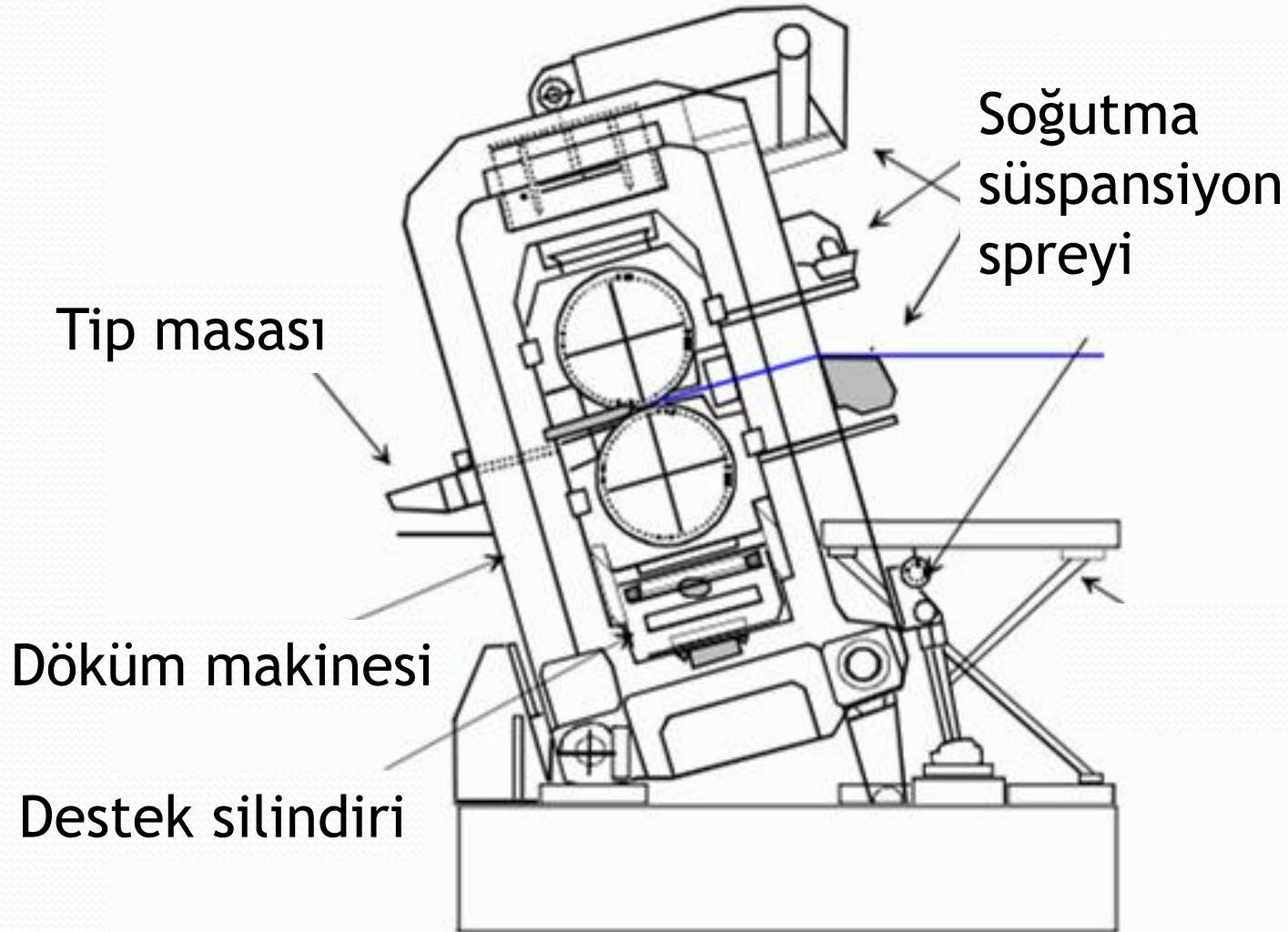
# İkiz merdane döküm (TRC)



# İkiz merdane döküm (TRC)



# İkiz merdane döküm (TRC)

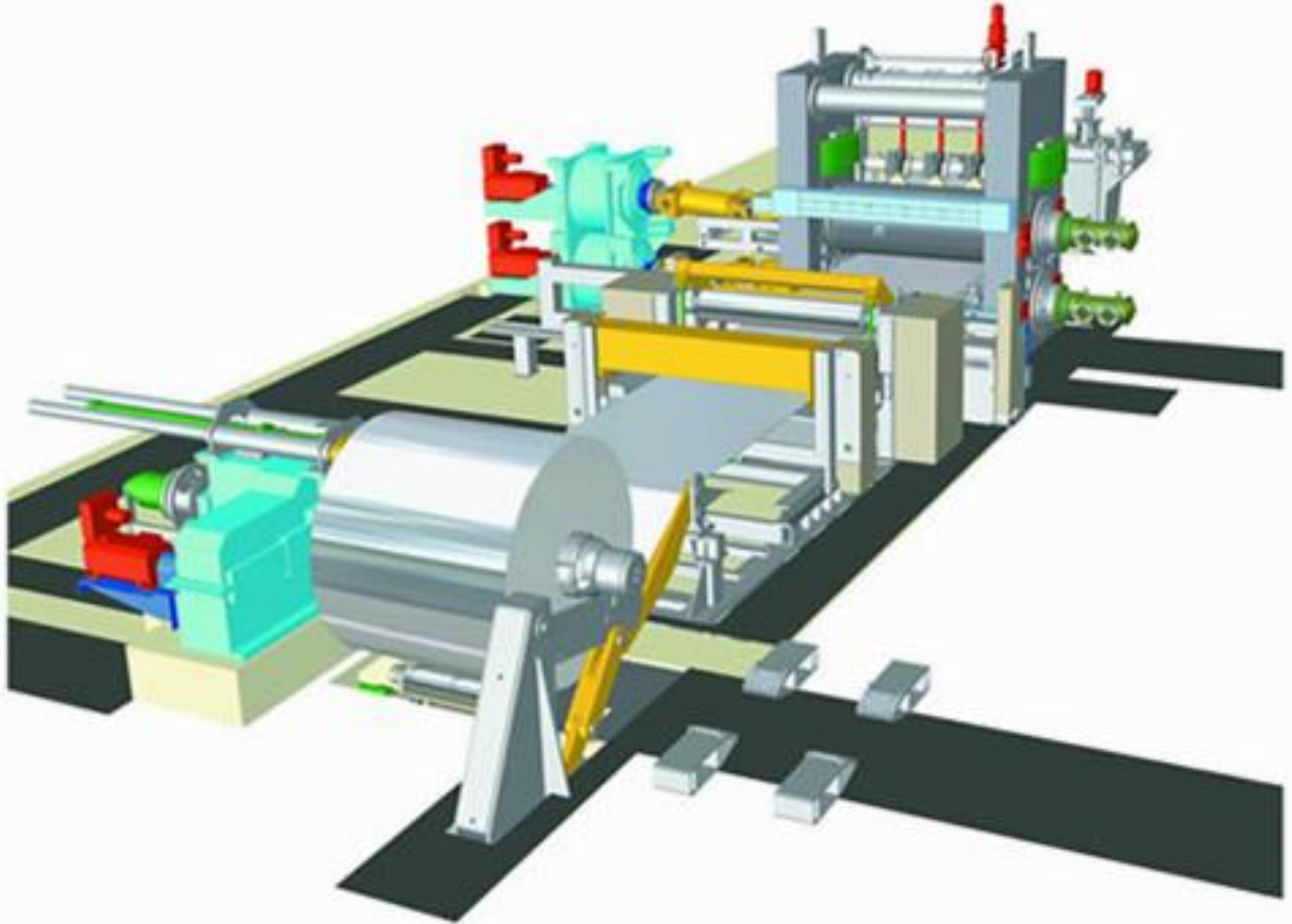


# İkiz merdane döküm (TRC)





# İkiz merdane döküm (TRC)

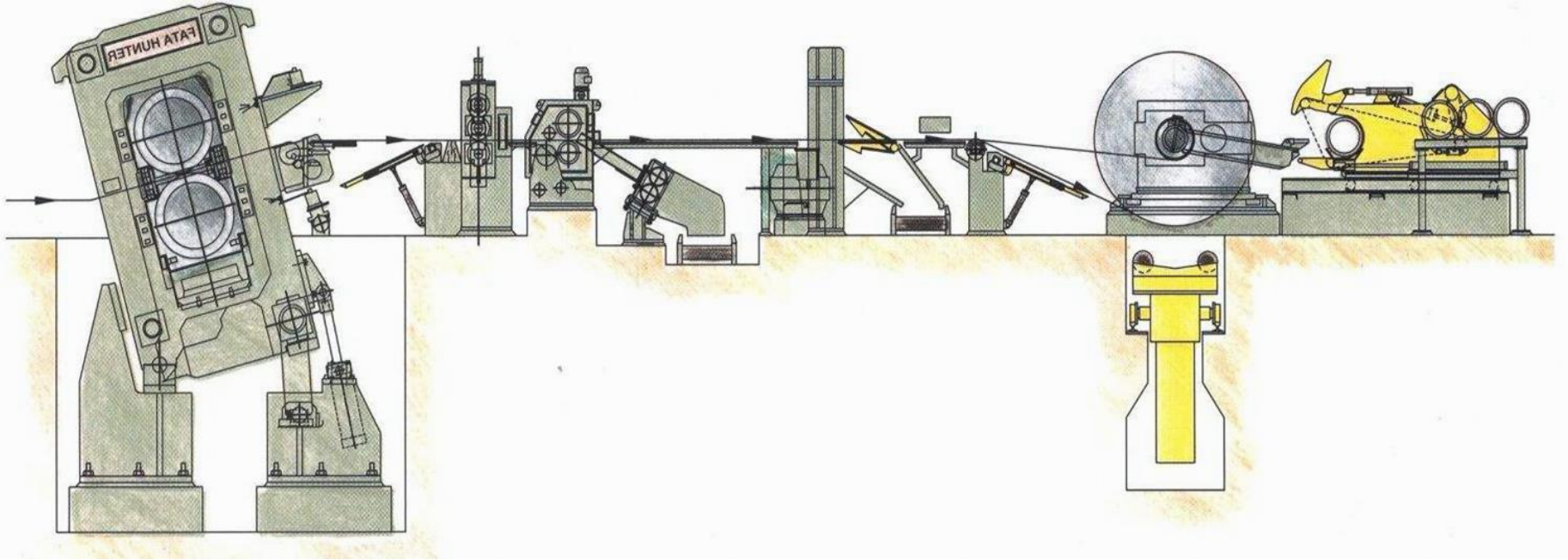




# İkiz merdane döküm (TRC)



# İkiz merdane döküm (TRC)

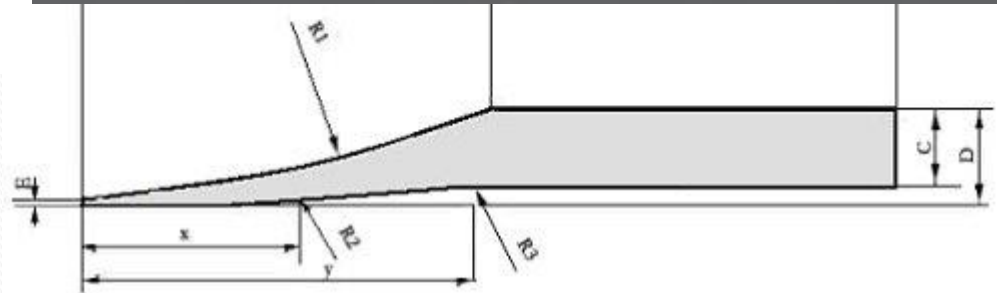
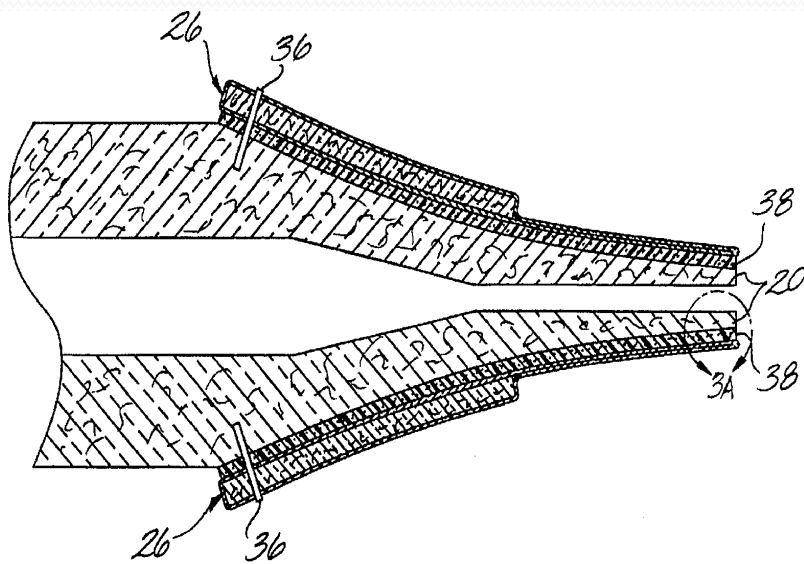


Döküm makinası

Giyotin makas

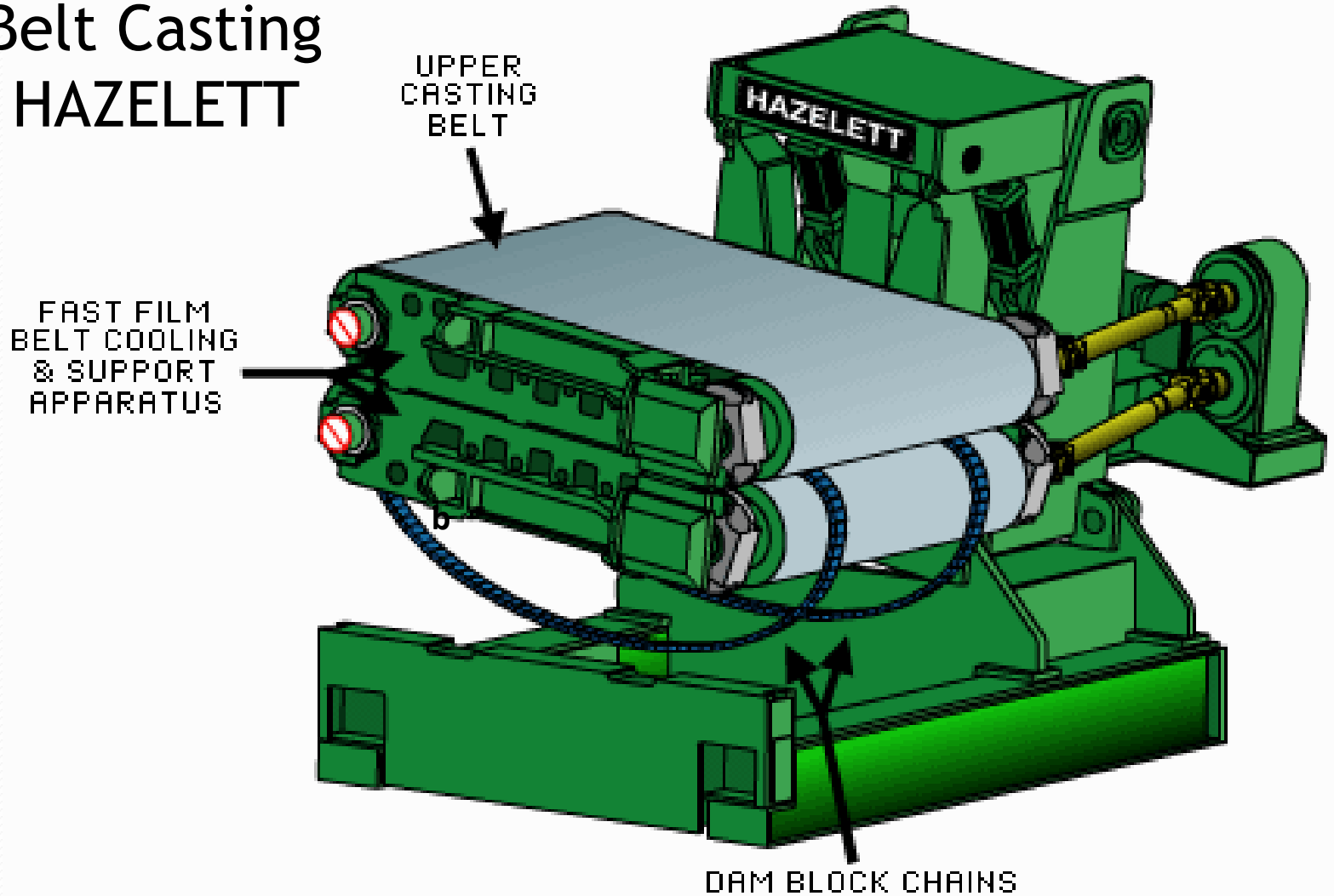
sarıcı

# Seramik döküm plakaları-tip



# İkiz bant döküm

Twin Belt Casting  
(TBC) HAZELETT



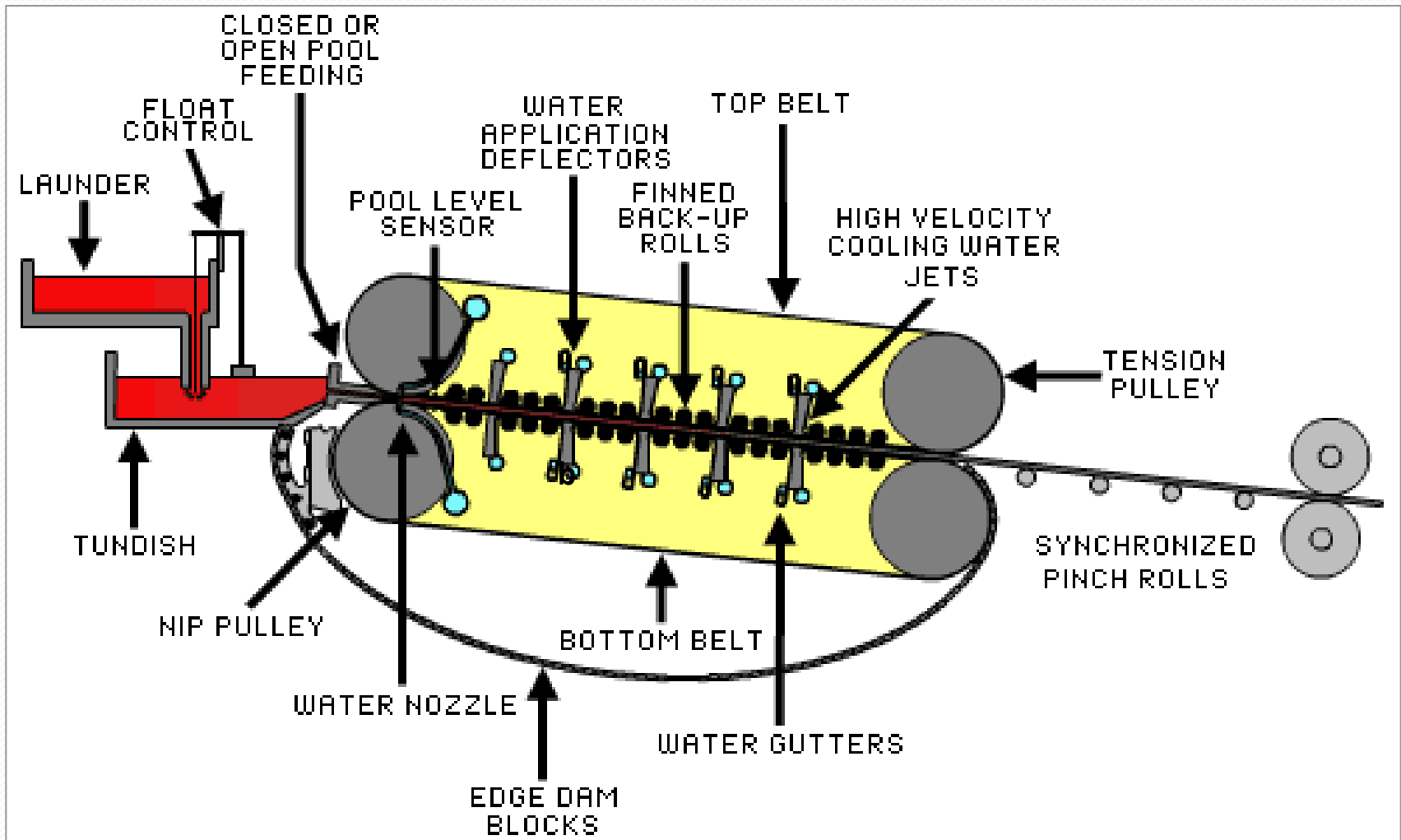


# İkiz bant döküm (TBC)

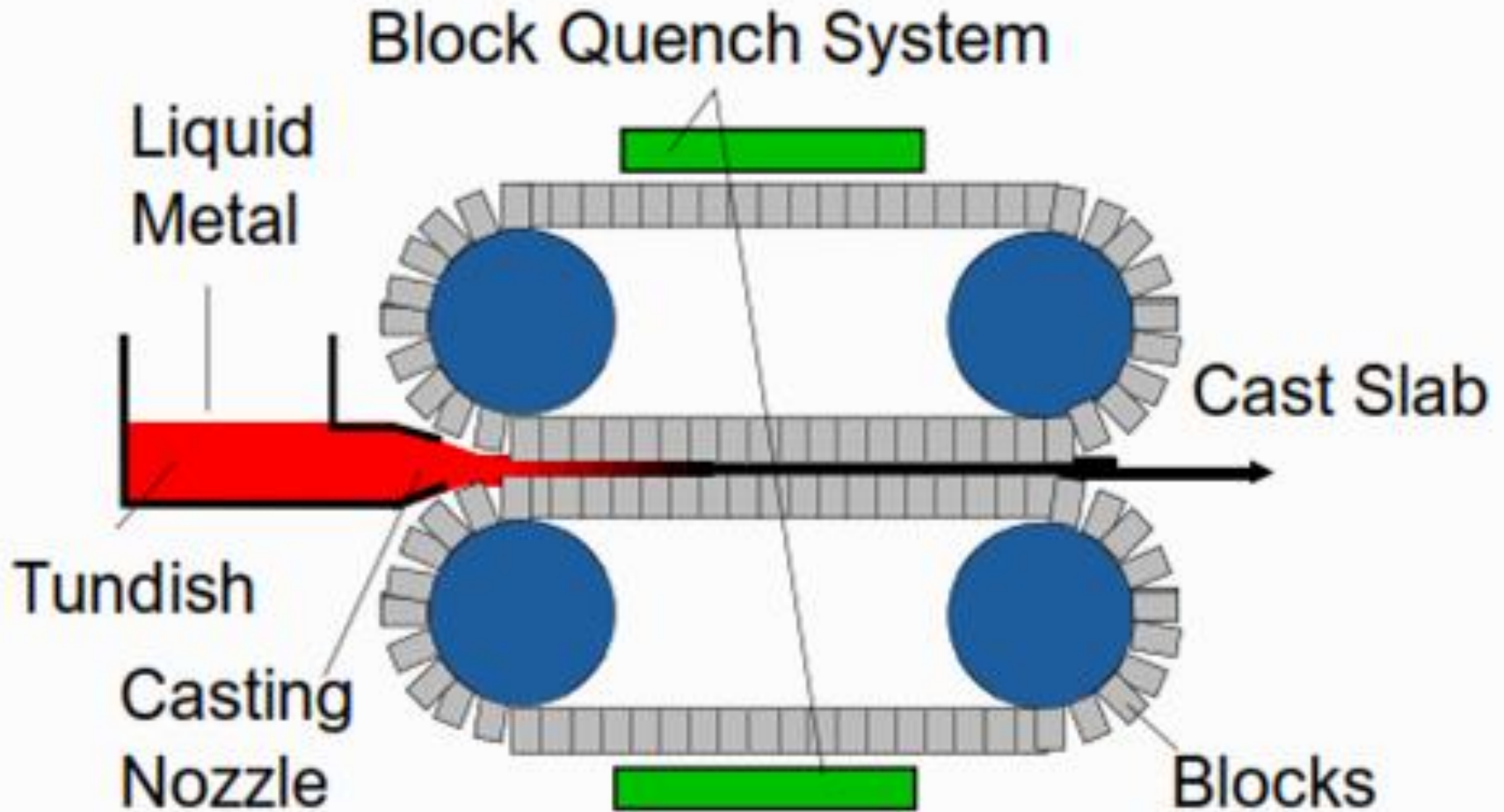




# İkiz bant döküm (TBC)



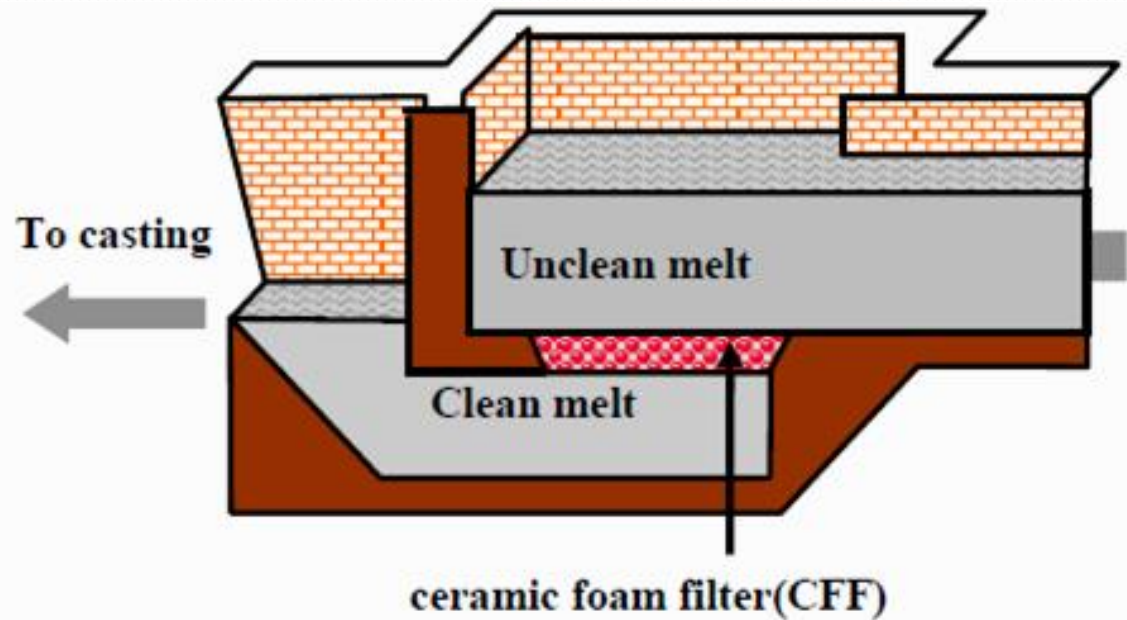
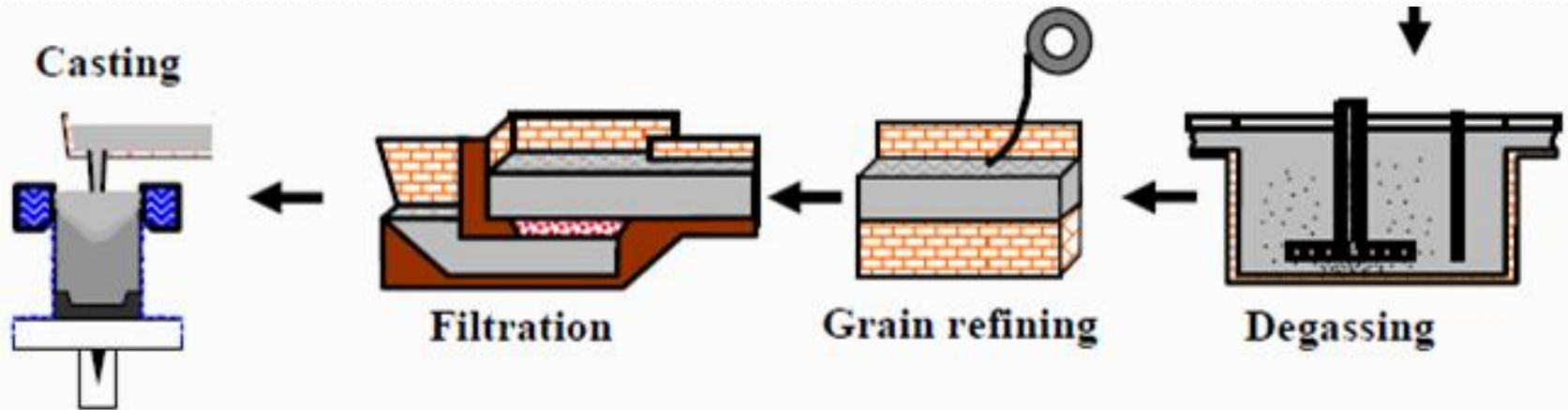
# İkiz bant döküm (TBC)



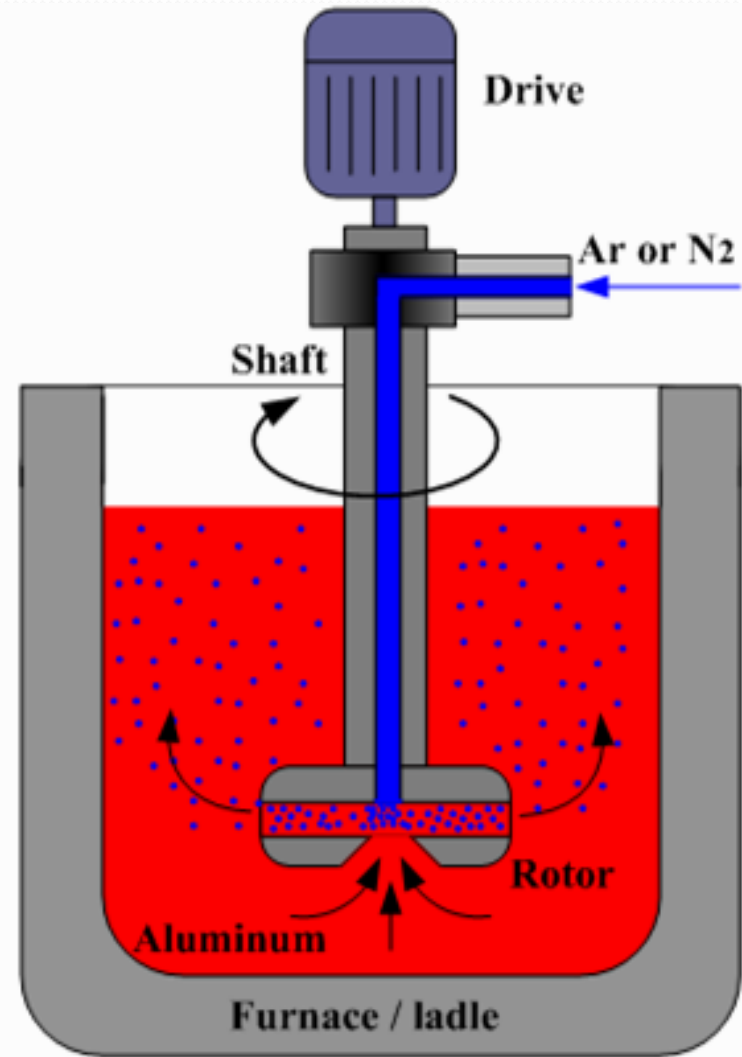
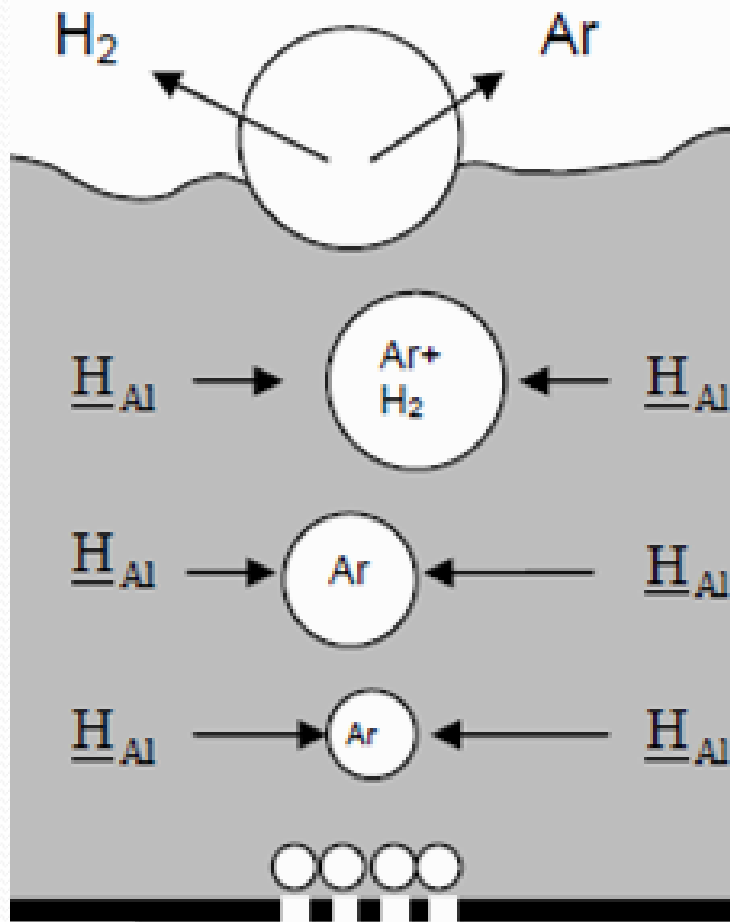
# Properzi sürekli ubuk dökümü



# Sıvı metal işlemleri

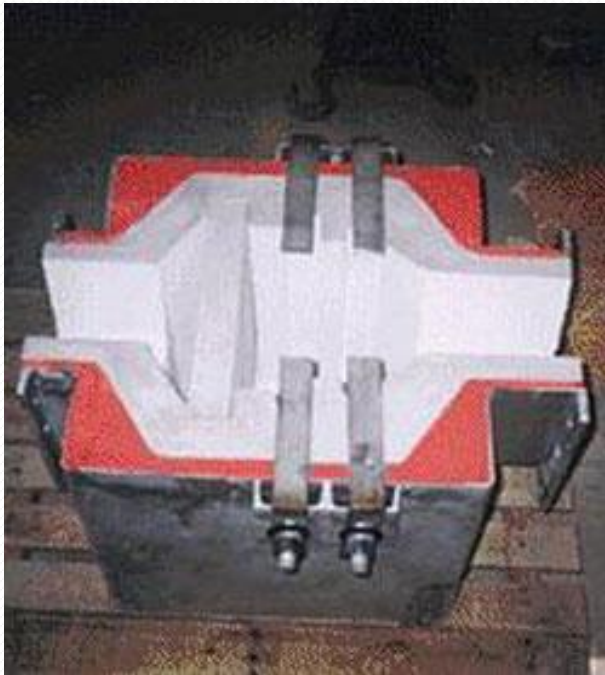
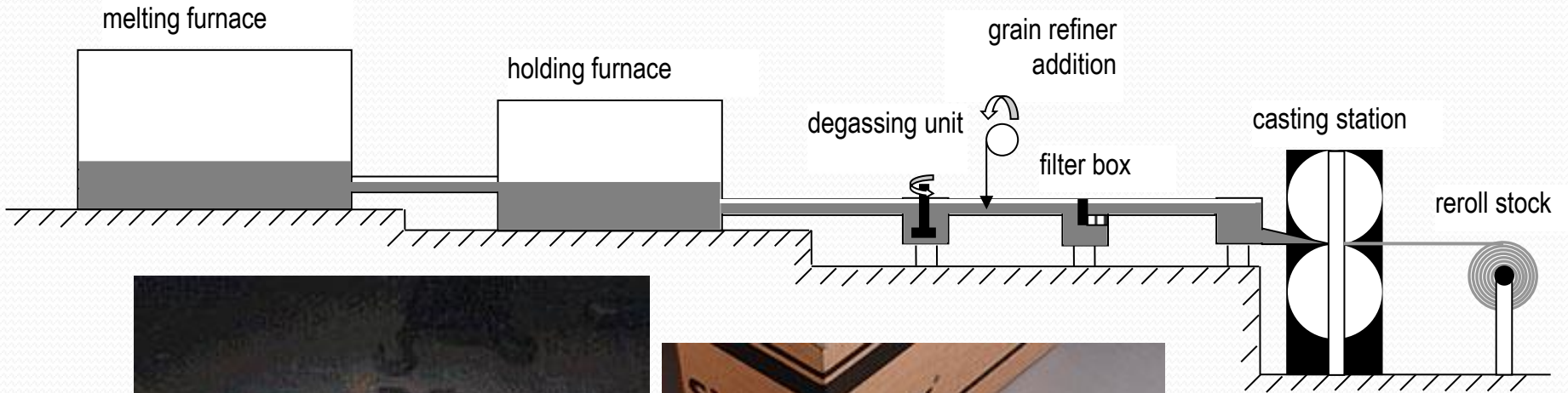


# Gaz giderme



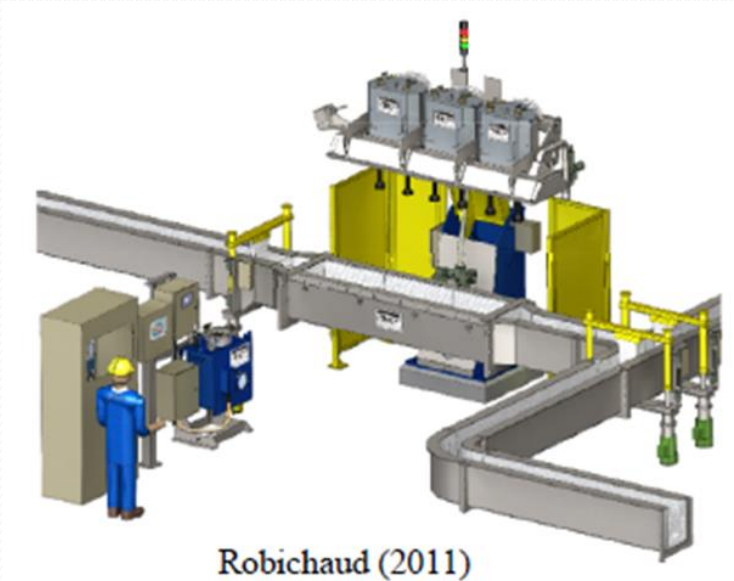


# Sıvı metal işlemleri



# rafinasyon teknolojileri

ALCAN kompakt sürekli degazer (ACD)



Robichaud (2011)



# rafinasyon teknolojileri



SNIF sürekli  
Degazer  
Spinning Nozzle Inert Flootation





# rafinasyon teknolojileri



# Parça vs sürekli döküm

proses	Soğuma hızı, K/s	DAS, $\mu\text{m}$
Parça döküm	0.01-0.1	100
DC döküm	0.5-20	12-15
Basınçlı döküm	20-80	5
İkiz merdane	200-700	1-2



# sürekli döküm

- Sürekli dökümde katılaşma hızlı gerçekleştiğinden
- alüminyum matris aşırı doymuş haldedir.
- Tane yapısı daha incedir.
- Yapısal hata konsantrasyonu (dislokasyon, nokta hataları) daha yüksektir.
- Segregasyon yüzeyde ve merkezde belirgindir.
- Malzeme kısmi deformasyonludur (en az çeyrek sert)
- Bu özellikler termomekanik prosesi davranışını etkiler.



# metalik malzemeler

## 20.11.2014

# Alüminyum dökümhanelerinde patlama

- rutubetli dökümhanelerde nemli alet-techizat-kalıp kullanılması, fırına-ocağa-potaya hurda şarjı durumlarında patlama riski mevcuttur.
- Sıvı alüminyumun bloke-hapsettiği su buharlaşarak kendini çevreleyen sıvı metali etrafa dağıtır, sıçratır, savurur.
- Patlama olayı şiddetine göre sınıflara ayrılmıştır.
- 3 nolu patlama olayı kilolarca sıvı alüminyumun metrelerce etrafa savrulması olayıdır. Ciddi yaralanmalar, can ve mal kaybı ile sonuçlanabilir.

# Alüminyum dökümhanelerinde patlama



Binzhou Weiqiao Aluminum Co.



# İşlem alaşımları

- **İşlem alaşımları**

ingot veya bilet şeklinde sürekli veya yarı sürekli olarak dökümü takiben sıcak/soğuk haddeleme /ekstrüzyon/dövme ile istenen şekle getirilirler!

- Haddeleme ile tabaka levha, şerit levha, folyo
- Extrüzyon ile profil, tüp, boru, çubuk vb
- Farklı şekillere şekillendirme
- Dövme ile üstün mekanik özelliklerde şekilli parçalar



# İkinci alayım elementleri, empüriteler

H																He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

# elementlerin etkisi

## demir

- En yaygın elementtir. Alüminyumda daima vardır.
- Sıvı alüminyumda çözünürlüğü yüksektir ve kolayca banyoya geçer ve zenginleşir.
- Fakat katılaşma sonrasında çözünürlüğü çok düşüktür ve hemen kaba bileşikler oluşturur.
- Bileşikleri hadde ve sonrası tav işlemlerinde tane boyutunu küçültür.

# elementlerin etkisi

## Mangan

- Çözeltide veya bileşik olarak mukavemeti arttırır.
- Tane boyutunu kontrol eder.
- Şekillendirilmede fiber tane yapısını teşvik eder.
- Dispersoidleri toparlanma ve tane büyümesi geciktiricidir. YK sıcaklığını arttırır.
- Mn çökeltileri ısııl işlemden soğutma hızını kritik yapar.
- Fe esaslı bileşiklerin morfolojilerini kontrol etmek ve gevrekleştirici etkilerini telafi etmek için kullanılır.

# elementlerin etkisi

## Silis

- Fe'den sonra alüminyum alaşımlarında en yaygın olarak bulunan elementtir.

## Kalsiyum (Ca)

- 10 ppm kadar Ca sıvı alüminyumun hidrojen kapmasına yol açar.
- Aynı zamanda sıcak yırtılmalara yol açar.
- Fakat Ca iletkenliği arttırır ve yeniden kristalleşme özelliklerini etkiler.

## Skandiyum (Sc)

- Tane boyutu kontrolünde yararlanılır.
- Bisiklet profilleri vb uygulamalarda kullanılır.

# elementlerin etkisi

## Titanyum

- Ticari alaşımlarda 10-100 ppm kadar bulunur.
- Elektrik iletkenliđini dūřürür. Bu etki B ilavesi ile telafi edilebilir.
- Tane küçültücü olarak kullanılır ve çatlama ları önler.
- Bu katkıları B ile birlikte artar.



# elementlerin etkisi

## Bor

- tane yapısı kontrolü (gerekli miktar 0.005-0.1 %)
- Ti ile birlikte kullanıldığında daha etkili. Ticari tane küçültücülerde Ti:B oranı 5:1.
- V, Ti, Cr, Mo gibi geçiş elementlerini çöktürerek elektrik iletkenliğinin arttırılması için kullanılır.
- İletken kalite alüminyum 1XXX ve 6101 alaşımılı havai hat filmaşınlarının üretiminde en önemli teknolojik işlem!

# elementlerin etkisi

## Krom

- Tane küçültücü etkisi var!
- Anodizasyon rengini sarı yapar.
- İletkenliği azaltır.
- Tokluğu arttırır.
- Mukavemeti arttırır.
- Taneler arası ve gerilmeli korozyon direncini arttırır.

## Vanadyum

- Tane küçültücü etkisi vardır.
- Elektrik iletkenliğini düşürür.
- YK sıcaklığını yükseltir.

# elementlerin etkisi

## Zirkonyum

- Özellikle 7XXX serisi alaşımlara 0.1-0.3 % kadar Zr küçük çökelti oluşturduğundan toparlanma ve yeniden kristalleşme reaksiyonlarını kontrol amacı ile ilave edilir.

## Kalay

- 0.01% kadar kalay tav sonrası alüminyum yüzeyinde kararmaya yol açar.
- Yüzeye segregasyon olduğundan korozyon hassasiyetini de olumsuz etkiler.

# elementlerin etkisi

## Antimon

- Al-Mg alaşımlarına eser miktarlarda, 0.01-01 ppm kadar ilave edilir.
- alüminyum yüzeyinde koruyucu bir Sb-oksi klorür filmi oluşturarak tuzlu suda korozyon direncini attırır.
- Bazı yatak alaşımları 4-6% kadar Sb içerirler. Sb aynı zamanda Al-Mg alaşımlarında sıcak yırtılmaları önlemek için Bi yerine kullanılabilir.

# elementlerin etkisi

## **Berilyum**

- gıda ve içeceklerle temas edecek folyo vb uygulamalarda zehirlenmeye yol açtığından sakıncalıdır ve mutlaka önlenmelidir.

## **Bizmut (Bi)**

- Eser miktarlarda, 20-200 ppm kadar Bi, Al-Mg alaşımlarına Na'un sıcak yırtılmaya yol açmasını önlemek için ilave edilir.



# hidrojen

atmosferdeki rutubet ile etkileşim  
hidrokarbonların ayrışması  
Hidratları kararlı alaşım elementleri

+ H

Gözenek  
Blister

Tane sınırlarına segregasyon/Gerilmeli korozyon

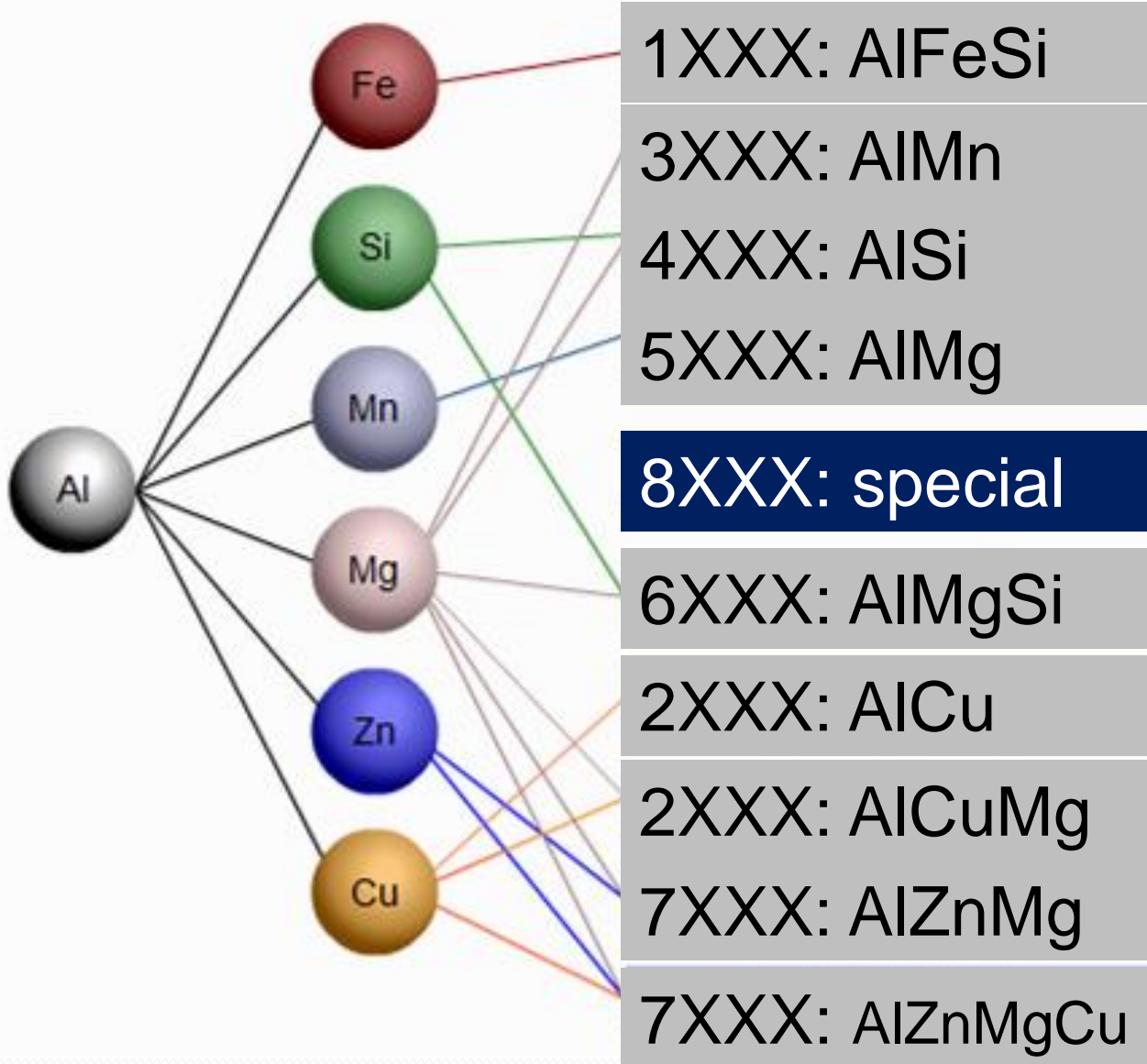
Be, Cu, Sn ve Si

-H

# İşlem alaşımlarının sınıflandırması

- İlk hane alaşım ana grubunu gösterir.
- İkinci hane alaşım çeşidini ifade eder.
- 1xxx serisinde, 3. ve 4. haneler alüminyum saflık seviyesine işaret eder: Al99.80 → AA 1080
- Diğer alaşım gruplarında (2xxx ile 8xxx) 3. ve 4. haneler farklı alaşımları birbirinden ayırt eden özel kodlardır .
- 8xxx grubundaki alaşımlar 1xxx ile 7xxx arasındaki standart gruplar dışında kalan özel alaşımlardır.
- Alaşımların kodu sonunda yer alan harf ulusal alaşım çeşidini gösterir: e.g. EN AW-6005A.

# İşlem alaşımlarının sınıflandırması



**Isıl işlem yapılamaz**

**Isıl işlem yapılabilir**

# 1XXX serisi

H																He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- En az 99 % Al içeren alaşımlar!
- Mukavemetleri çok düşük!
- Ana alaşım elementleri: Fe ve Si.
- Fe ve Si alaşıma mütevazı bir mukavemet ve sertlik kazandırır.
- Fe çok da yüksek olmayan sıcaklıklarda sürünme direnci verir.
- Bu katkı elektrik iletken uygulamalarında önemli!
- Fe tane yapısını da inceltir.

# 1XXX serisi

- Yüksek Saflıkta olduğu için dislokasyon hareketliliği yüksek! Plastik deformasyonu kolay; Şekil vermek sorunsuz!
- Mikroyapıda bileşik partikülleri olmadığı için koruyucu oksit filmi yüzeyde kesintisiz!
- Anodik/katodik hücre sayısı çok az! korozyon direnci çok yüksek!
- Bu sayede anodizasyonu başarılı!
- Yansıtma karakteri yüksek ve yüzey kaliteli!
- Dekoratif!
- Çok yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik!



# 1XXX serisi

- Elektronik devre paketlemesinde, ısı değiştiricisi plakaları, radyatör boruları gibi) ısıtma ekipmanlarında yüksek ısı iletkenliği ve korozyon direnci ile çok cazip!
- Yüksek yansıtma kapasitesi ile aydınlatma armatürlerinde , lazer aynalarında
- Kaliteli yüzey ve albenisi, korozyona dayanıklılığı ile dekoratif yapısal uygulamalarda , mobilya ve aksesuarlarda tercih edilir.

# 2XXX serisi

H																He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- Cu başlıca alaşım elementi (%3-6),
- Çökeltme sertleşmesi sayesinde yüksek mukavemet
- Grupta Mg'lu veya Mg'suz alaşımlar var! (%0-2 Mg)
- Cu ile yorulma direnci yüksek!
- Yüksek sıcaklık dayanımı iyi!
- Talaşlı imalat kabiliyeti iyi!
- Fakat Cu korozyon hassasiyeti yaratıyor!
- Cu anodizasyon başarısını olumsuz etkiliyor!

# 2XXX serisi

- Cu tane sınırlarında çökelerek oyuklanma, taneler arası korozyon ve gerilmeli korozyon riskini arttırıyor!
- Cu eloksal kalitesini olumsuz etkiliyor!
- yüksek mukavemet gerektiren uçak parçaları, iniş takımları, askeri araçlar, köprü donanımları, kamyon dövme parçaları için tercih edilir.
- Pb ve Bi gibi düşük ergime noktalı elementler talaşlı imalat kabiliyetini arttırdığından vida, somun, bağlantı elemanları, makine parçaları gibi torna ile işlenen parçalar için de caziptir.

# 3XXX serisi

H																He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- Başlıca alaşım elementi Mn: (%1-2)
- Orta mukavemet alaşımlarıdır.
- Mn alaşımı deformasyonla sertleşebilir kılarken bir yandan da sünek yapar.
- Bu şekilde makul seviyelerde mukavemet ile birlikte şekil verilebilirliği de iyidir.

# 3XXX serisi

- En popöler uygulama alaşımın üstün Şekil verilebilirliği sayesinde meşubat kutusudur.
- Şekil verilebilirlik, makul seviyede mukavemet, kaynaklanabilirlik ve anodizasyon kalitesi ve korozyon direnci ile her türlü ev eşyası imalatında, mimari uygulamalarda çok popölerdir.
- Yüksek ısı iletkenliği, dayanıklılığı ve korozyon direnci sayesinde ısıtma donanımlarında, lehim malzemesi olarak, ısıtma borularında kullanılır.



# 3XXX serisi

- Mn'lı dispersoidler yüksek sıcaklık tavlalarında tane sınırlarını kilitleyip tane büyümesini önler ve böylece mukavemet ve süneklik için uygun bir denge sağlar.
- Mn, alaşımı sünek yapar ve Fe ile birlikte katılaşma sırasında çekintiyi sınırlayarak alaşımın dökülebilirliğini de iyileştirir.
- Bazı 3XXX alaşımlarında Mn'ın mukavemet arttırıcı etkisi katı eriyik sertleşmesi sağlayan Mg ilavesi ile desteklenir (örnek: EN-AW 3004 ve EN-AW 3104).
- Fe derin çekme ve ütüleme operasyonlarında parlatma etkisi yaratarak yüzey kalitesini arttırır.

# 4XXX serisi

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- süneklilik, yüksek Si (%12'ye kadar!) nedeniyle sınırlıdır.
- Si mikroyapıda metallerearası bileşiklerin yanısıra elementel partiküller olarak da bulunur ve kırılma yol açar.
- şekil verilebilirliği çok sınırlıdır. İşlem alaşımı olarak uygulamaları bu yüzden çok azdır.
- Düşük ergime noktaları sayesinde 3XXX ve 6XXX alaşımli lehim folyolarında kaplama malzemesi veya kaynak dolgu maddesi olarak kullanılırlar.

# 5XXX serisi

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- Başlıca alaşım elementi: Mg (%0.8-%6'ya kadar!)
- Mg katı eriyik sertleşmesi + deformasyon sertleşmesi sağlar; mukavemeti arttırır.
- 3XXX serisi alaşımlardan daha sert ve mukavemetli ve şekil verilebilirlikleri çok iyi.
- korozyon dirençleri iyidir ve deniz yapı ve platformlarında, deniz araçlarında tercih edilirler.
- Ancak özellikle %3'den yüksek Mg içeren alaşımlarda taneler arası korozyon hassasiyeti yüksektir.

# 5XXX serisi

- Üstün şekil alabilirlikleri ve makul seviyede mukavemetleri, anodizasyon kabiliyetleri, mükemmel korozyon dirençleri, kaynaklanabilirlikleri sayesinde açık hava uygulamalarında, mimari uygulamalarda, deniz ortamlarında, deniz platform ve araçlarında popülerdir.
- Preste şekillendirme kapasiteleri yüksek ve mukavemetleri yeterli olduğu için otomotiv sektöründe kapı ve bagaj kapısı gibi panel ve şasi uygulamalarında cazip malzeme seçeneğidir.

# 6XXX serisi

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- Mg ile birlikte Si sayesinde çökeltme sertleşmesi yaşayan yüksek mukavemetli alaşımlardır.
- 2xxx ve 7XXX serisi alaşımlardan daha düşük mukavemetli olmalarına karşın süneklikleri ve şekil verilebilirlikleri daha iyidir ve kaynakla imalata uygundur.
- Korozyon dirençleri de mükemmeldir.
- Büyük ölçüde ekstrüzyon ile üretilirler



# 6XXX serisi

- mukavemet, şekil verilebilirlik, korozyon direnci, kaynaklanabilirlik özellikleri ile taşıt ve vagon gövde panellerinde, inşaat sektöründe kapı ve pencere profillerinde
- Deniz yapılarında ve platformlarında
- Pb ve Bi gibi düşük ergime noktalı elementlerin ilavesi ile 6XXX alaşımları talaşlı imal edilen parçalarda
- Anodizasyonu çok kolay
- Sert yüzeyler, korozyon direnci ve yüksek mukavemet gerektiren fren sistemi profillerinde, elektronik valf ve piston uygulamaları için sert anodizasyon uygulanır.

# 7XXX serisi

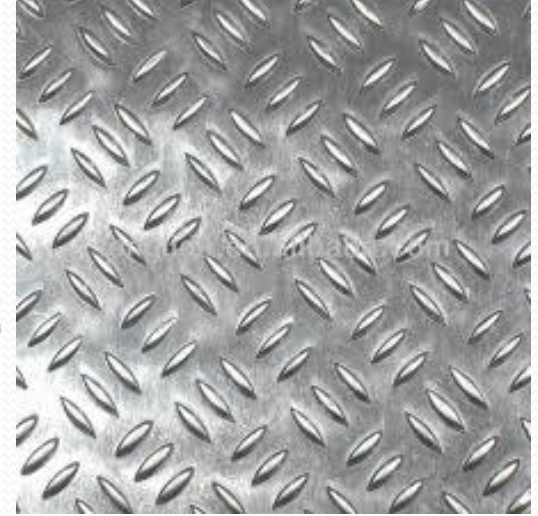
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ar
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	**	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

- %4-6 arası Zn ve %1-3 Mg
- ısıtılma işlemle çökelme sertleşmesinden yararlanan çok yüksek mukavemetlere sahip alaşımlar.
- Gerilmeli korozyon hassasiyetleri yüksek
- Uçak, savunma sanayinde nükleer uygulamalarda çok yüksek mukavemetleri sayesinde tercih edilir.
- Kayak ve tenis raketi gibi performans sporlarında da malzeme seçeneği

# 7XXX serisi

- 7xxx alaşımlarında çökelme sertleşmesi sağlayan faz  $MgZn_2$ .
- Cr 0.35 %'den azdır ve elektrik direnci için ilave edilir.
- Cr sıcak hadde, ekstrüzyon gibi aşamalarda yeniden kristalleşmeyi önleyerek tane boyutunu kontrol eder.
- Ancak Cr ile ısıtıl işleminden sonra soğutma hızı kritik hale gelir.
- Plastik şekil vermeden kaynaklanan fiber tane yapısı gerilmeli korozyon hassasiyetini azaltır, tokluğu arttırır.
- Cr anodizasyon sonrası yüzeyde sarı renk verir.

# uygulamalar



VULCAN  
HEAT SHIELD





# uygulamalar



alüminyum folyo:  
1050 veya diğer 1XXX  
alaşımları: deformasyon  
kapasitesi yüksek ve  
korozyon direnci en yüksek





# uygulamalar

1350 alaşımı: havai hat iletkenleri

Yüksek elektrik iletkenliği ve yeterli mukavemet; korozyon direnci



# uygulamalar

- 2024 veya 7475 veya 6013 alaşımı:
- Yüksek yorulma dayanımı ve kırılma tokluğu ile uçak gövdelerinde
- 7150 veya 7449 veya 7475 alaşımı:
- Yüksek yorulma direnci, kırılma tokluğu, basma mukavemeti ve stiffness özellikleri ile alt kanat parçaları
- 2024 alaşımı: Yüksek çekme mukavemeti, yorulma dayanımı ve kırılma tokluğu ile üst kanat parçaları



# uygulamalar

3104 alaşımı:  
Meşrubat kutusu

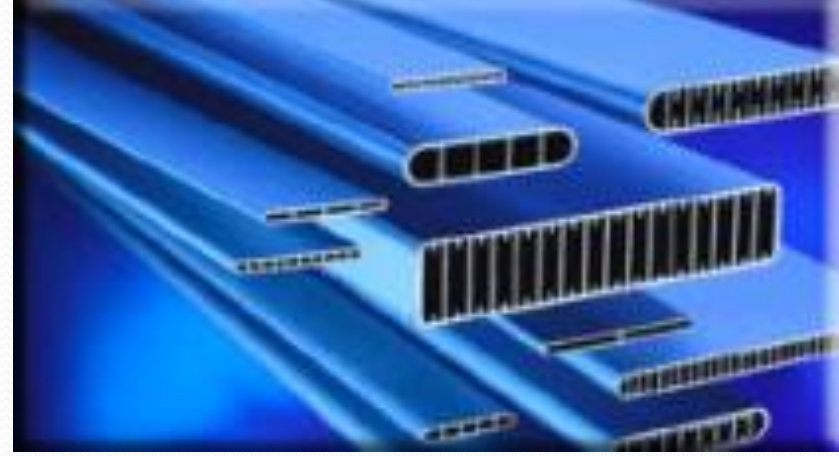
5182 alaşımı;  
Kutu kapağı

.



# uygulamalar

Isı değiştiricileri  
1050, 3003, 5059, 6101  
alaşımları  
İyi ısıl iletkenlik ve 3XXX, 5XXX  
ve 6XXX alaşımlarında yüksek  
mukavemet



**Kapı, pencere, panjur profilleri,  
panelleri**

3XXX, 5XXX ve 6XXX

serisi alaşımlar

Yüksek korozyon

dayanıklılığı,

kaynaklanabilirlik ve

şekil verilebilirlik





# uygulamalar



Gemi gövde panelleri  
5XXX ve 6XXX serisi  
alaşımlar  
İyi mekanik özellikler  
ve korozyon direnci ile  
Özellikle 5XXX serisi  
alaşımlar deniz  
ortamlarında

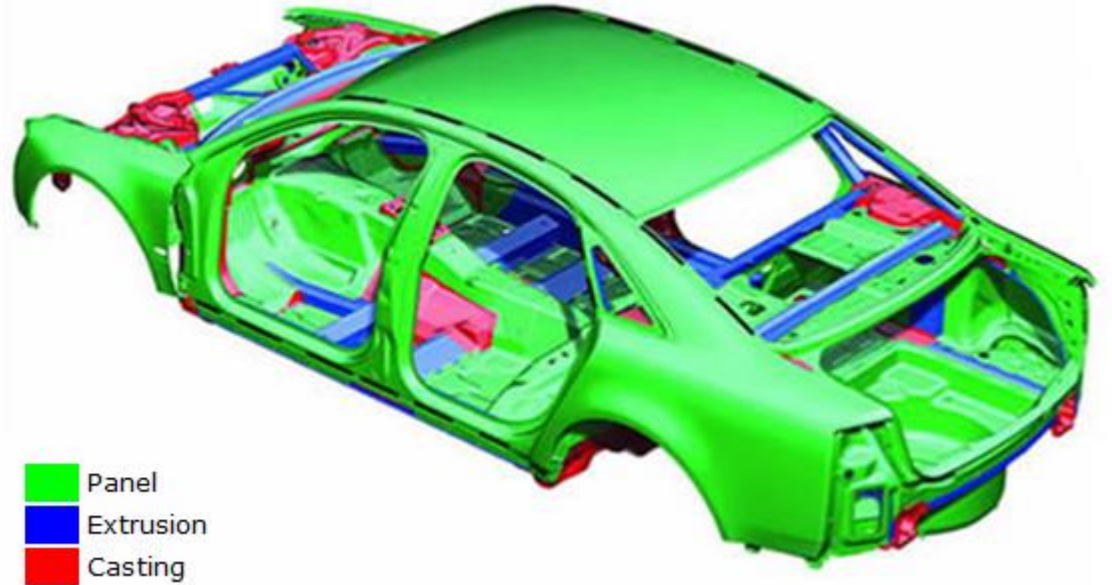




# uygulamalar



Otomobil gövde panelleri  
5754, 5182, 6016 alaşımları  
Yüksek mukavemet,  
korozyon direnci  
5754 iç, 6016  
yaşlanma sertleşmesi  
ile dış paneller



# uygulamalar

3XXX ve 1XXX serisi paneller  
Oluklu çatı kaplamaları,  
cephe panelleri  
Sandviç paneller

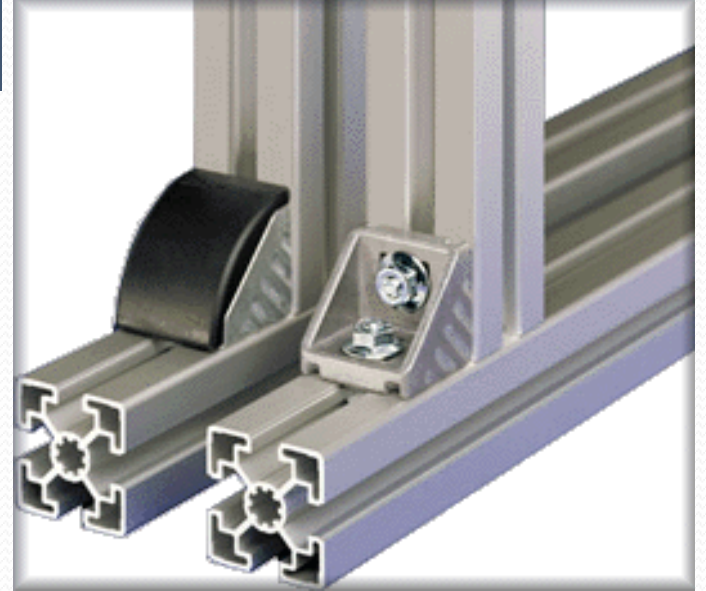
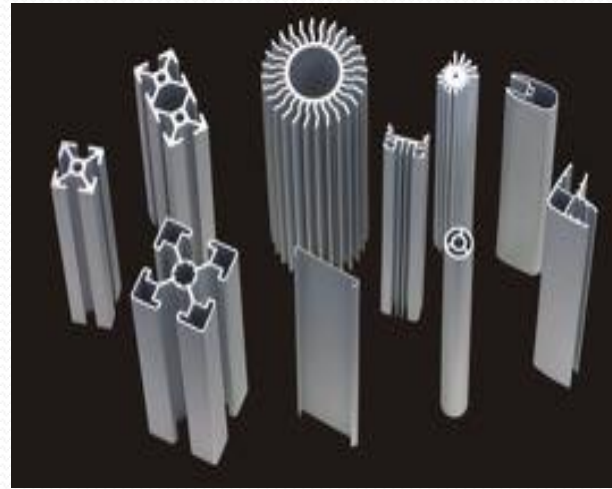
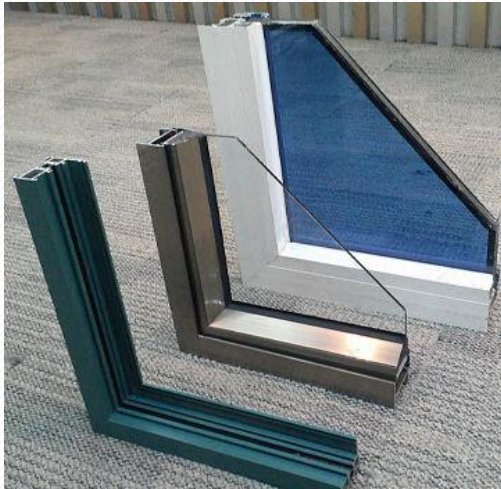
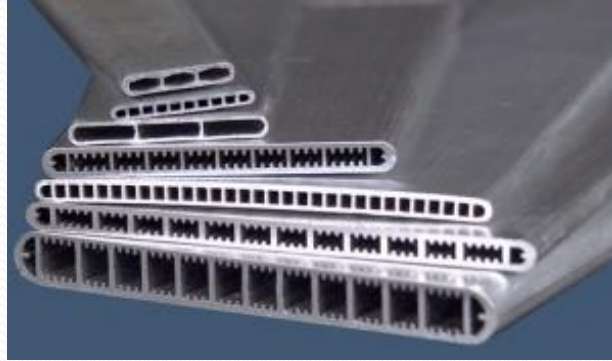




# uygulamalar

6XXX serisi alaşımlar

Yüksek korozyon dayanıklılığı ve Şekil verilebilirlik ile her türlü profil



# İşlem alaşımları

## Isıl işleme sertleştirilemeyen alaşımlar

**Mukavemet arttırma için Katı eriyik ve deformasyon sertleşmesi**

1XXX: >%99 Al	İletkenler; kimya ve inşaat san. yapısal uygulamaları
3XXX: Al-Mn	Meşrubat kutuları, oto radyatörleri
5XXX: Al-Mg	Otomotiv yapısal uygulamaları

# İşlem alaşımları

## Isıl işleme sertleştirilen alaşımlar

### Mukavemet arttırma için çökeltme sertleşmesi

2XXX: Al-Cu-Mg	Havacılık (uçak) panelleri
6XXX: Al-Mg-Si	Ekstrüzyon profilleri; ootomotiv panelleri
7XXX: Al-Zn-Mg	Yüksek mukavemet yapısal uygulamaları
8XXX: özel	8001 (Al-Ni-Fe) vb nükleer tesis uygulamaları



# Alüminyum işlem alaşımları

alaşım	Başlıca element	Katı eriyik sertleşmesi	Deformasyon sertleşmesi	Çökeltme sertleşmesi
1xxx	>99 Al	✓	✓	
3xxx	Mn	✓	✓	
4xxx	Si	✓	✓	
5xxx	Mg	✓	✓	
2xxx	Cu	✓	~	✓
6xxx	Mg+Si	✓	~	✓
7xxx	Zn	✓	~	✓
8xxx	diğer	✓	~	✓



Isıl işlem uygulanmaz



Isıl işlem uygulanır

uygulanmaz

# Temel temper tanımları

**XXXX-?**

- F** üretildiği gibi
- O** tavlanmış (fırında yumuşatılmış!)
- H** deformasyonla sertleştirilmiş  
sadece işlem alaşımları için
- W** çözeltiye alma tavı uygulanmış
- T** ısıl işlem uygulanmış  
(F, O veya H dışındaki koşullar)

# İşlem alaşımları için temper tanımları

XXXX -F üretildiği gibi  
-O tavlanmış

XXXX -H1 sadece deformasyon uygulanmış  
-H2 deformasyon uygulanmış ve tavlanmış  
-H3 deformasyondan sonra düşük sıcaklık tavlama ile kararlı hale getirilmiş

-HX2 çeyrek sert  
-HX4 yarım sert  
-HX6 üç çeyrek sert  
-HX8 tam sert  
-HX9 ekstra sert

Isıl işlem uygulanmayan/ deformasyonla sertleştirilen alaşımlar için

# H temper gösterilişleri

H x y      x: ikincil işlem

- 1      Soğuk deformasyon - tav yok!
- 2      Soğuk deformasyon + kısmi tav!
- 3      Soğuk deformasyon + "stabilizasyon"
- 4      soğukdeformasyon + baked

3104-H19

Al-Mn alaşımı/ meşrubat kutusu malzemesi  
Soğuk haddeleme ile ekstra sert kondisyonda  
üretildiğ!

# H temper gösterilişleri

## H-temperleri

Isıl işleme sertleştirilemeyen alaşımlar soğuk deformasyonla sertleştirler.

H temperleri 2 haneli bir rakamla ifade edilirler.

H x y      y: sertleşme derecesi

2: 1/4 sert: eyrek sert (~%15-20 ezme)

4: 1/2 sert: yarım sert (~%30-40 ezme)

6: 3/4 sert: 3 çeyrek sert (~60-65 ezme)

8: 4/4 sert: tam sert (~%80 ezme)

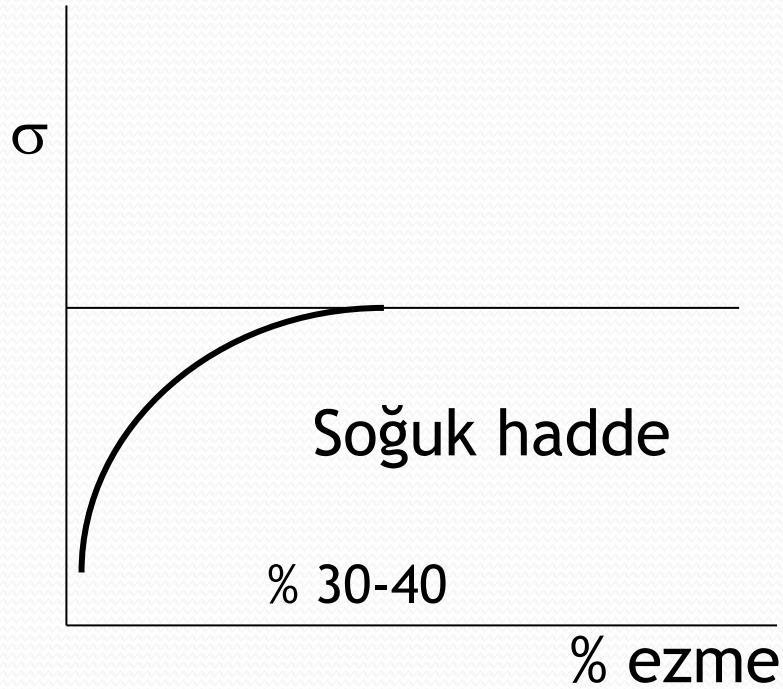
9 extra sert (~%90 ezme)



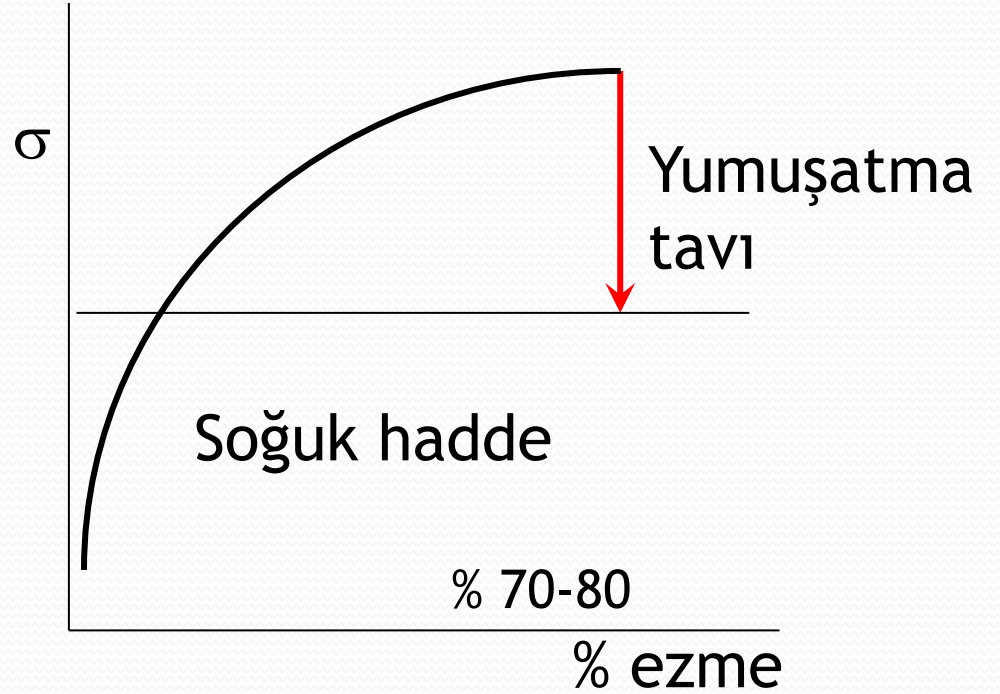
# H temper gösterilişleri

- H1X kondisyonları son işlem hedeflenen sertlik seviyesini sağlayacak deformasyon oranında soğuk haddeleme ile sağlanır.
- H2X kondisyonları ise malzeme önce tam-ekstra sert kondisyona denk gelecek şekilde soğuk haddelenir ve levha kontrollü şartlarda tavlanarak arzu edilen sertlik seviyesine kontrollü bir şekilde yumuşatılır.
- H1X ile H2X kondisyonlarınının sertlik-mukavemetleri denk olduğunda bile (mesela H12 vs H22) ilkinde son işlem soğuk deformasyon diğerinde tav olduğu için H2X kondisyonunda uzamalar daha y¼ksektir.

# H1X vs H2X prosesleri

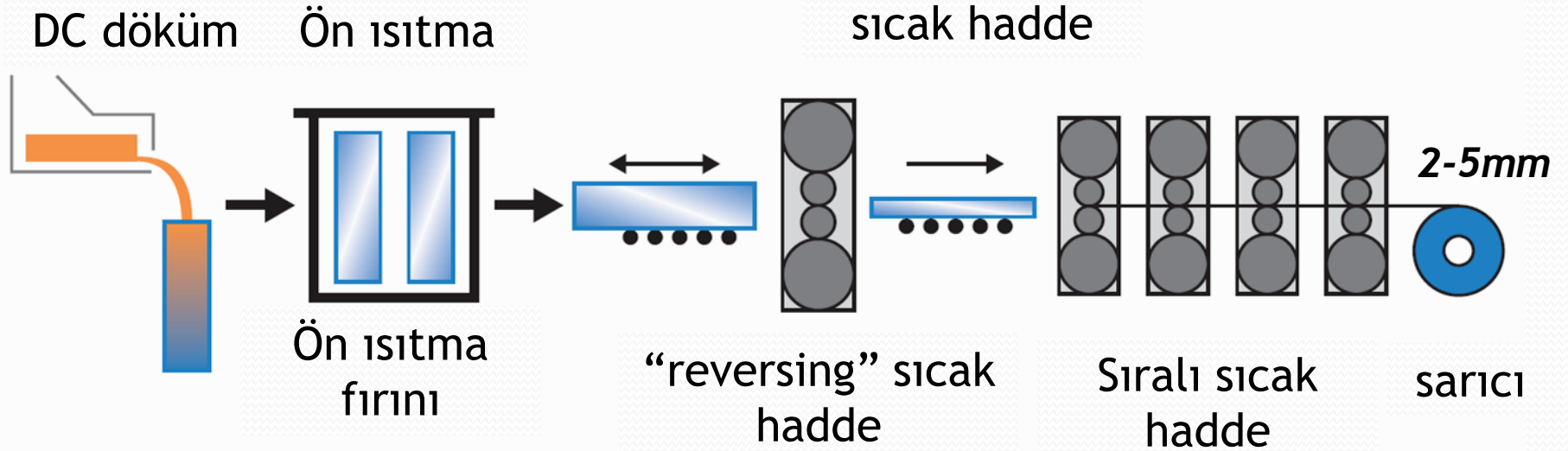


H14: Yarım sert

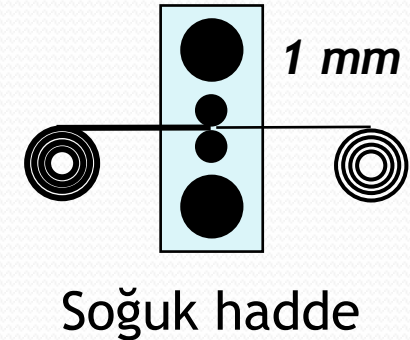


H24: Yarım sert

# Sıcak hadde üretim teknolojisi



1XXX / 2XXX / 3XXX / 4XXX  
5XXX / 6XXX / 7XXX alaşımları



# Slab dökümü

Dökülen ingotlar en az 490-600 mm kalınlık ve çeşitli enlerdedir. Bu ölçülerle 6 ile 16 ton ağırlıkta olurlar.



# traşlama

Hadde işlemi için yüzeyleri düzgün, mükemmel prizmatik «square» malzeme gerekir.

Slablerin en geniş yüzeyleri döner bıçaklı traşlama tezgahlarında temizlenir. Kimi zaman 4 yüzey birden traşlanır.





# Ön ısıtma

Tıraşlanmış ingotlar homojen bir yapı elde etmek için ısıtılırlar. ön ısıtma ısısı sıcak hadde işlemine de hazırlık olur.

Ön ısıtma çok sayıda ısıtma zonu ve pik sıcaklığı 500-620° C olan tünel fırınlarda ingotlar hareketli tezgahlar üzerine yerleştirilerek gerçekleştirilir.

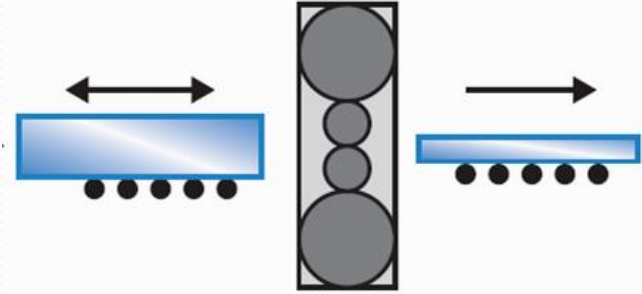


# Sıcak hadde

Sıcak hadde operasyonu üretim miktarına bağlı olarak birkaç değişik şekilde yapılır:

**az miktarda:** Tek bir çevirmeli tezgahta

“reversing” sıcak hadde

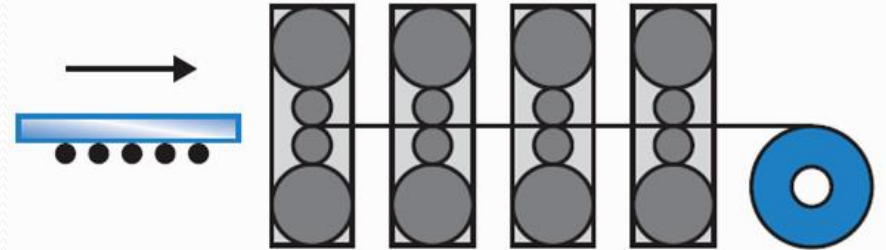


**yüksek miktarda:**

Çevirmeli kaba paso tezgahı ve “2-4 high” sıralı sıcak hadde

Kombinasyonları

Sıralı sıcak hadde



# Sıcak hadde

Sıcak hadde süreci 2 aşamadan oluşur.

**kabo paso haddesinde** kalınlık, ingotun ileri geri hareketi ile (ingot her pasoda yön değiştirir!) %95 seviyesinde inceltir; ingot boyu > 20 kat uzar. Bu süreçte levhanın her 2 ucu boyuna düzgünlük için kesilir.

**Tandem sıcak hadde:** boyu ~150 metreyi bulan kalın levha, sıcaklığın, hadde yağının, hızın, gergi ve ezme kuvvetlerinin titizlikle kontrol edildiği bir dizi sıcak hadde işleminden sonra hassas bir ara kalınlığa inceltir. Süreç sonunda levha bobin şeklinde sarılır ve 300- 360 °C'den oda sıcaklığına soğutulur.

# Sıcak hadde





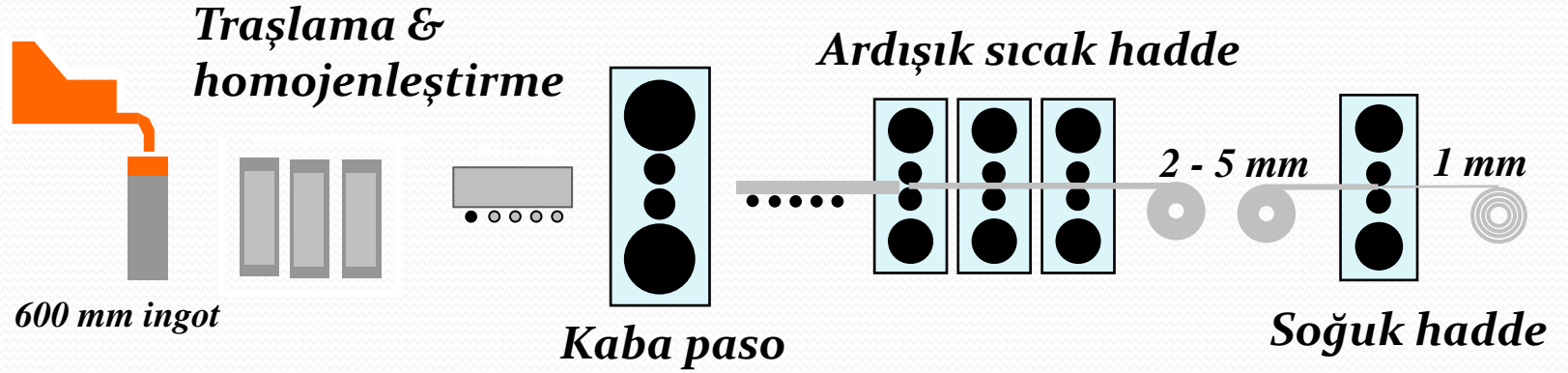
# Soğuk hadde-yumuşatma tavi

- Sıcak haddelenmiş levhaların soğuk haddede son kalınlığa inceltilmesine devam edilir.
- Soğuk hadde sonunda levha 100°C'den oda sıcaklığına soğutulurlar.
- Levhanın deformasyon sertleşmesi ile daha fazla inceltilemediği kalınlıklarda 300-360°C arasındaki sıcaklıklarda yumuşatma tavi uygulanır.
- Üründe ekstra süneklik istendiğinde son kalınlıkta kısmi bir tav uygulanarak uzama değerleri arttırılır.



# sürekli döküm (DC vs TRC)

## *Direkt çil ingot döküm teknolojisi*



## *İkiz merdane sürekli döküm teknolojisi*

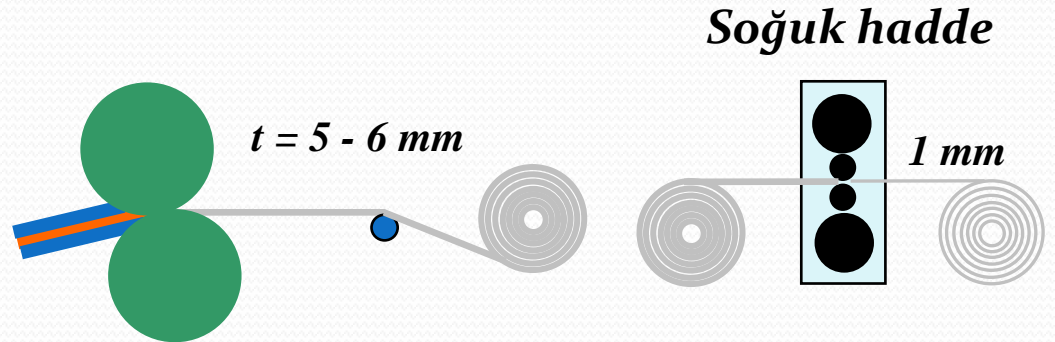
1XXX

3XXX

4XXX

5XXX

6XXX alaşımları

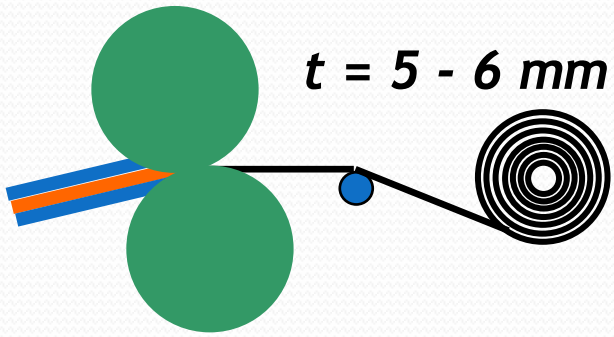


# Sürekli döküm

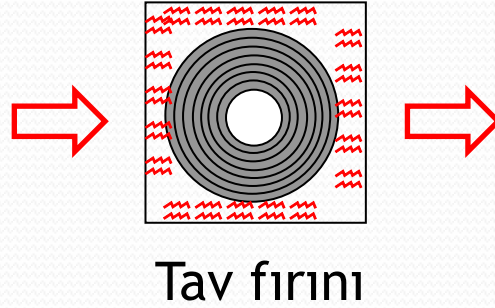
- Sürekli döküm teknolojisi alüminyum levha üretiminde azımsanmayacak tasarruf sağlar.
- Sıvıdan doğrudan 2-10 mm kalınlığında levha elde edildiği ve bu kalınlıktan birkaç mm kalınlıktaki ürün kalınlıklarına inmek için sıcak hadde operasyonu gerekmediğinden üretim çevrimi ciddi şekilde kısalmış olur.
- Ancak sürekli levha dökümü her alüminyum alaşımı için uygun değildir. Döküm merdaneleri arasından geçerken kısa sürede katılaşabilecek, dolayısı ile katılaşma aralığı dar alaşımlar dökülebilir.

# Soğuk hadde üretim teknolojisi

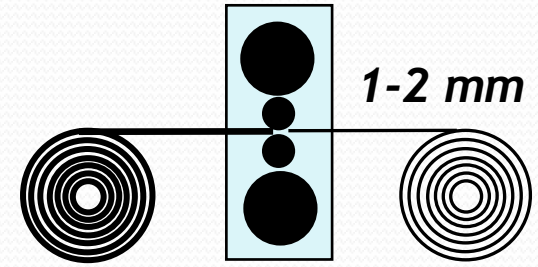
*İkiz merdane döküm*



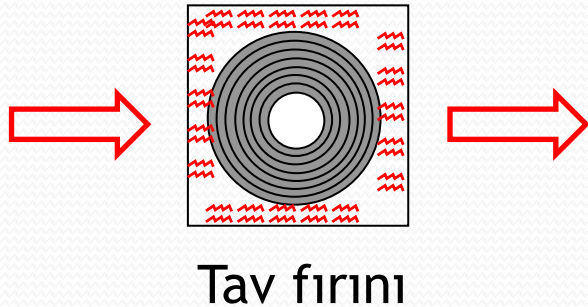
*homojenleştirme tavlama*  
 $T \sim 500-600 \text{ }^\circ\text{C}$



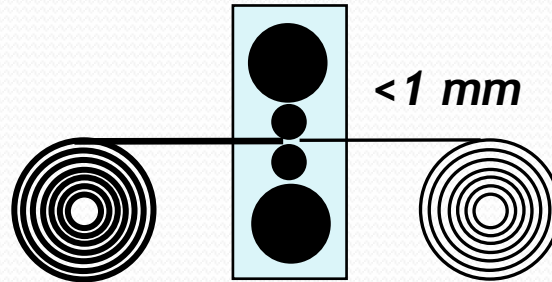
*soğuk hadde*



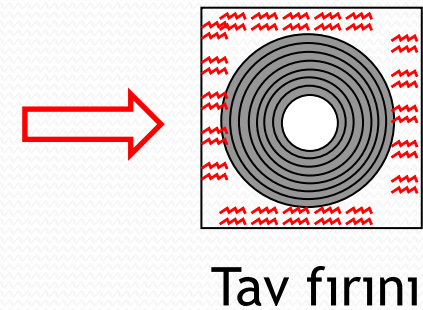
*yumuşatma tavlama*  
 $T \sim 250-400 \text{ }^\circ\text{C}$



*soğuk hadde*



*kısmi tav*  
 $T \sim 150-250 \text{ }^\circ\text{C}$



# İkiz merdane döküm (TRC)



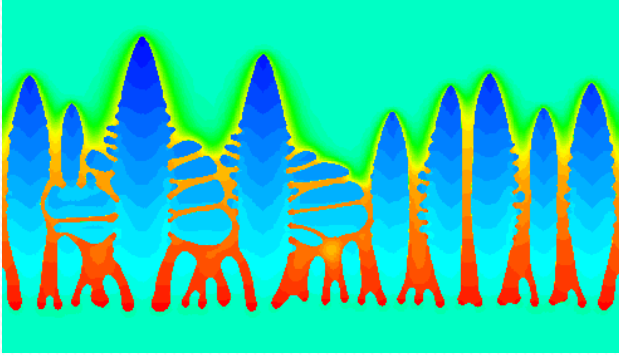


# Homojenleştirme tayı





# Homojenleştirme tavi



$$x = \sqrt{D \cdot t}$$

X: difüzyon mesafesi

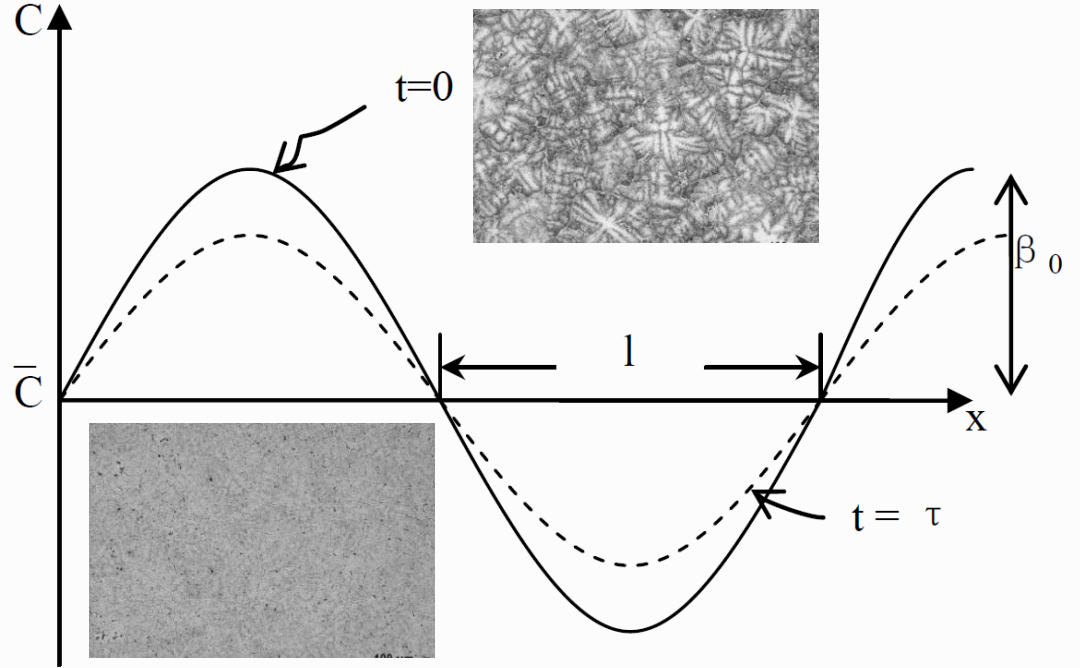
D: difüzivite (Fe/Al)

t: süre

Homojenleşme için gerekli tav süresi x için dendrit kol aralığı mesafesi alınarak aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır!

$$t = x^2 / D$$

**Homojenleştirme tavinin bir paso haddeden sonra yapılması tercih edilmelidir!**



# Soğuk hadde

Giren ve çıkan levha kalınlığı:  
Ezme miktarı-deformasyon oranı

Açıcı ve sarıcı gergisi

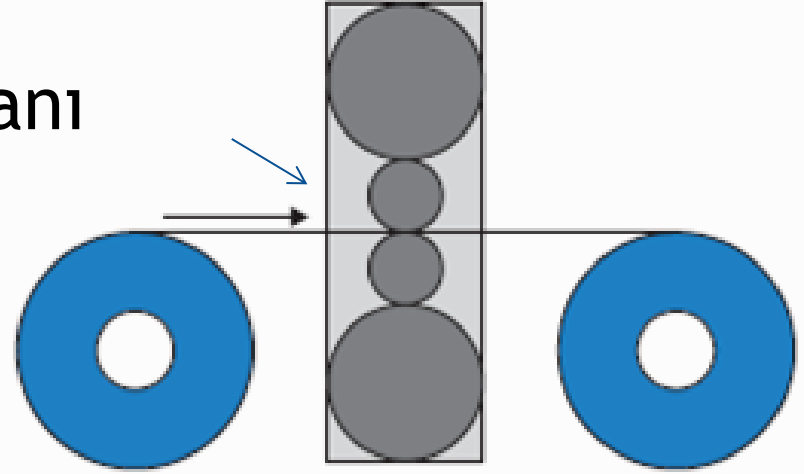
Hadde hızı

Soğutma yağ uygulaması  
İş ve destek merdane

bombesi

Biçim kontrolü

Dökümden sonra  
ilk pasoda ezme  
> %50



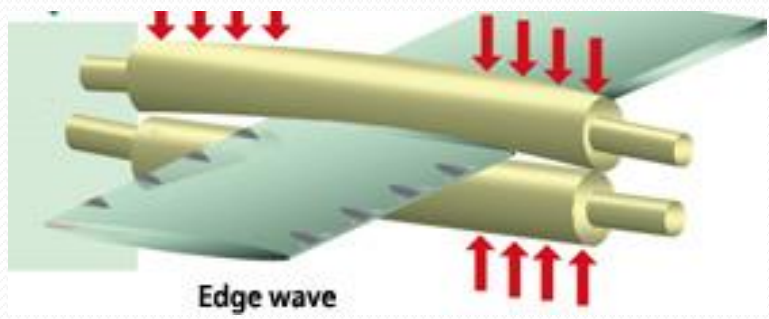
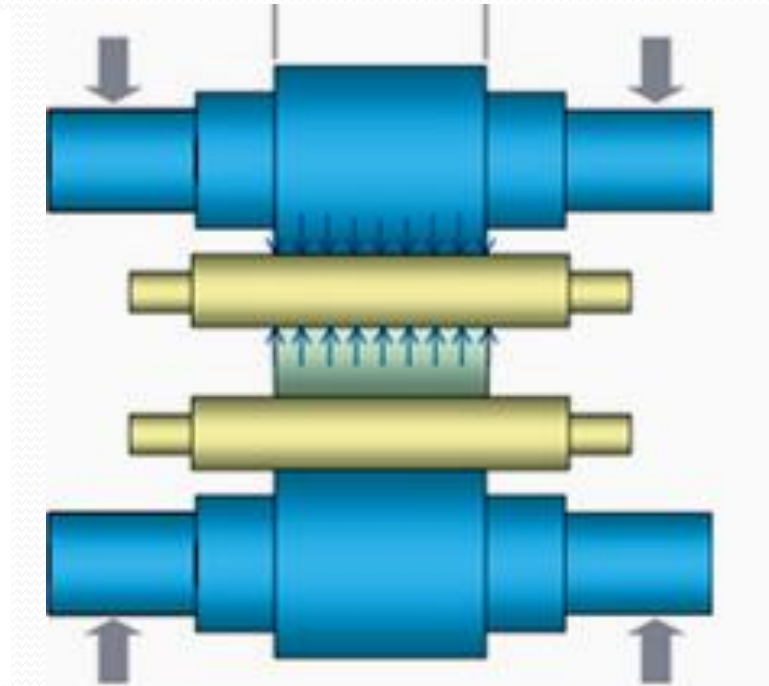
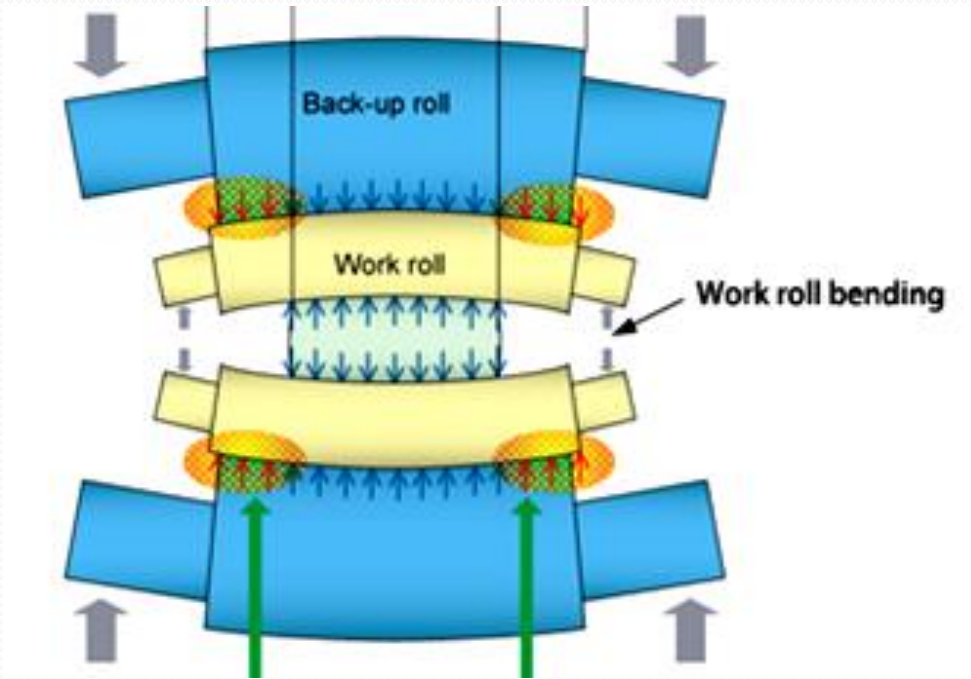
# Soğuk hadde

Soğuk hadde sürecinde paso başına ezme miktarları, aratava giriş kalınlıkları döküm ve ürün kalınlıkları ile birlikte malzemenin deformasyon sertleşmesi davranışı da dikkate alınarak titizlikle planlanmalı, levha biçimsel durumu izlenerek kontrol edilmelidir.

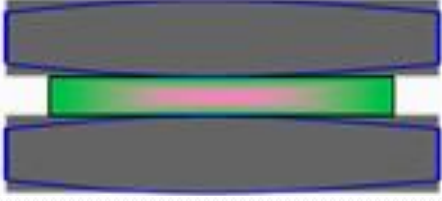




# Soğuk hadde üretim teknolojisi



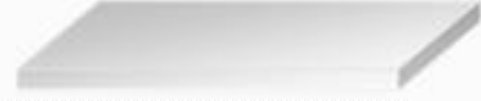
# Biçim hataları



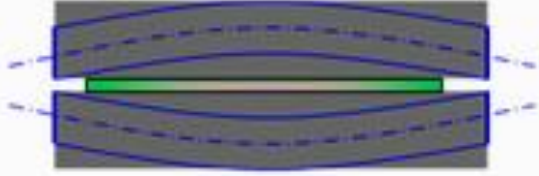
Homojen merdane aralığı



Düz profil



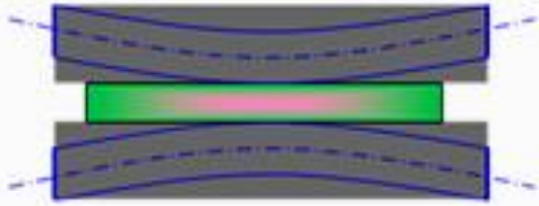
Düz levha



Kenarlarda fazla ezm



Kenarlarda dalga

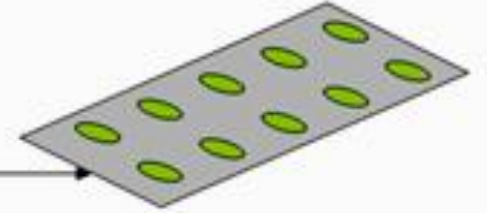


merkezde fazla ezme



merkezde dalga

## Biçim hataları



Çeyrek bukile

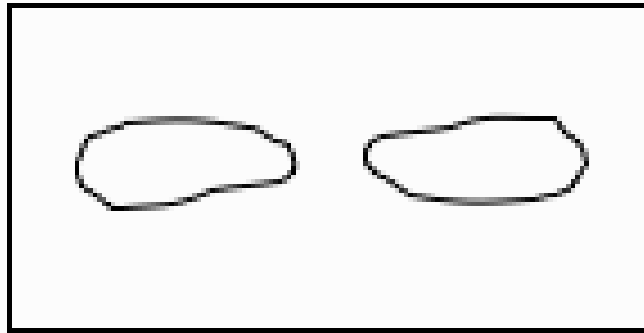


merkez bukile

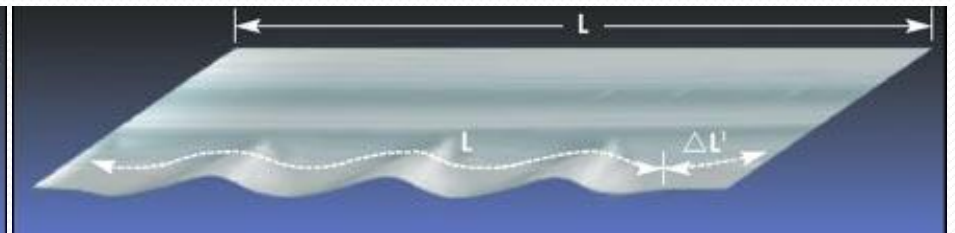
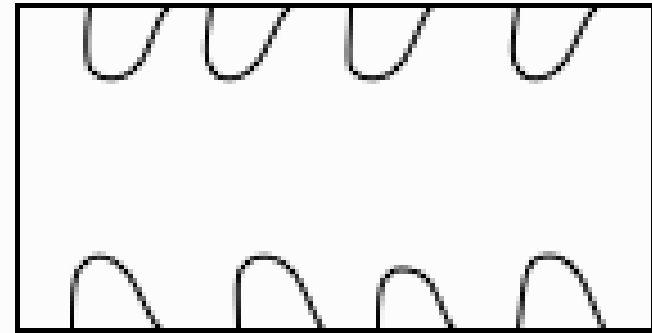


# Biçim hataları

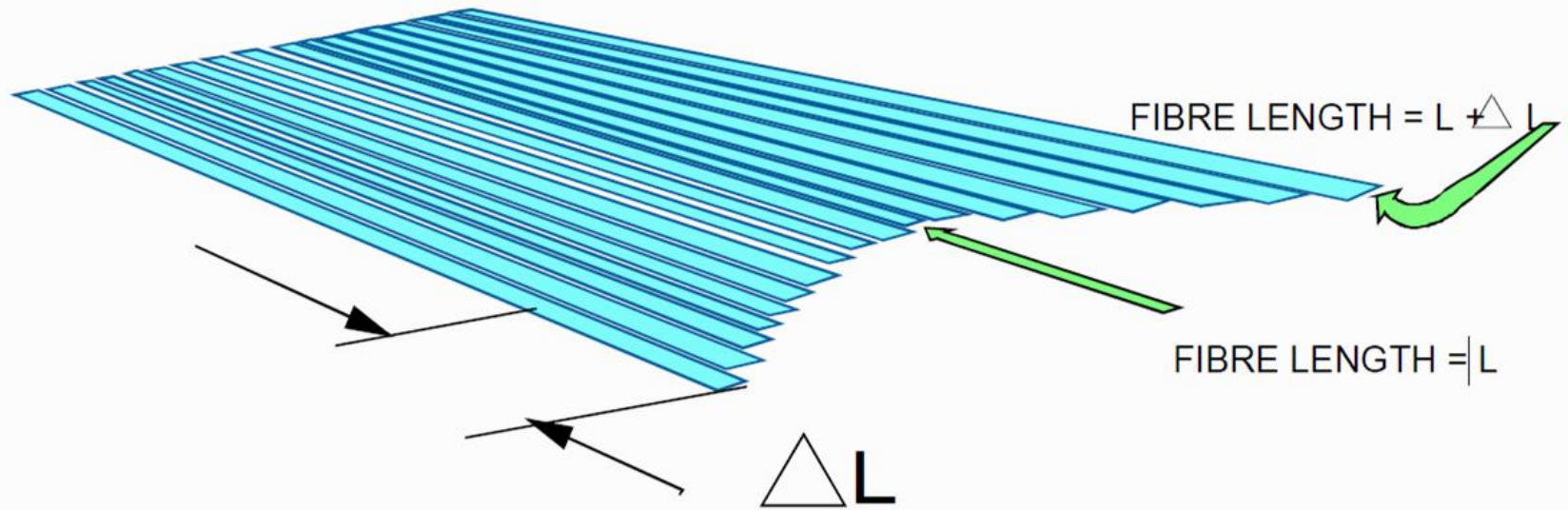
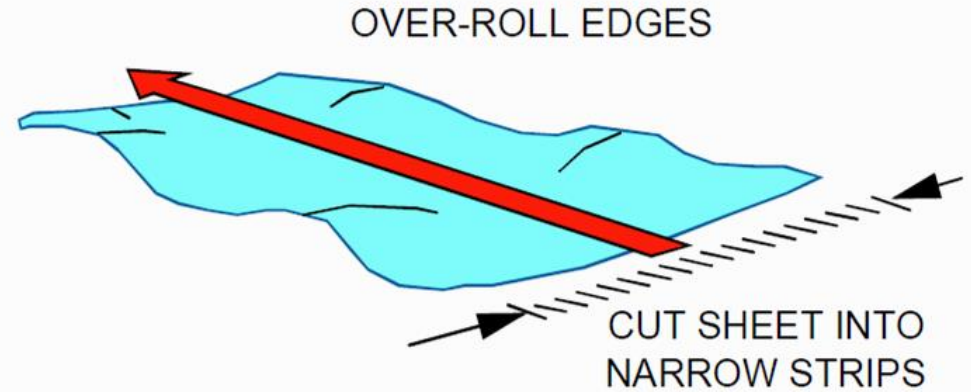
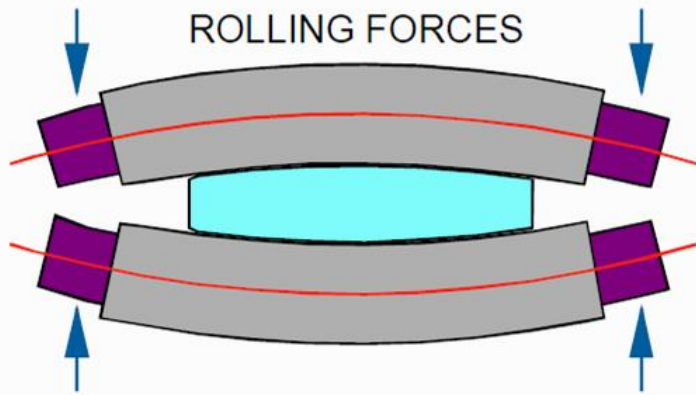
İç bukleye



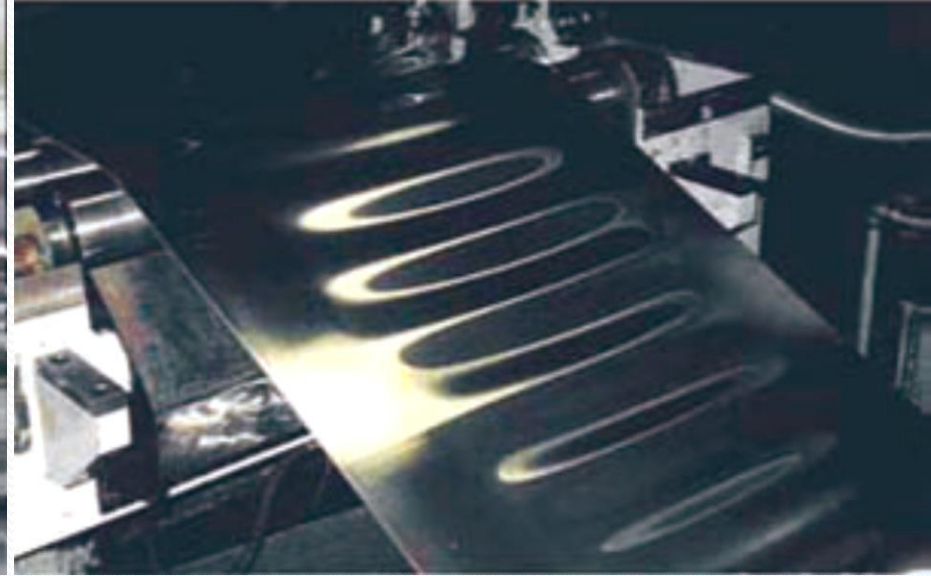
Kenar dalgası



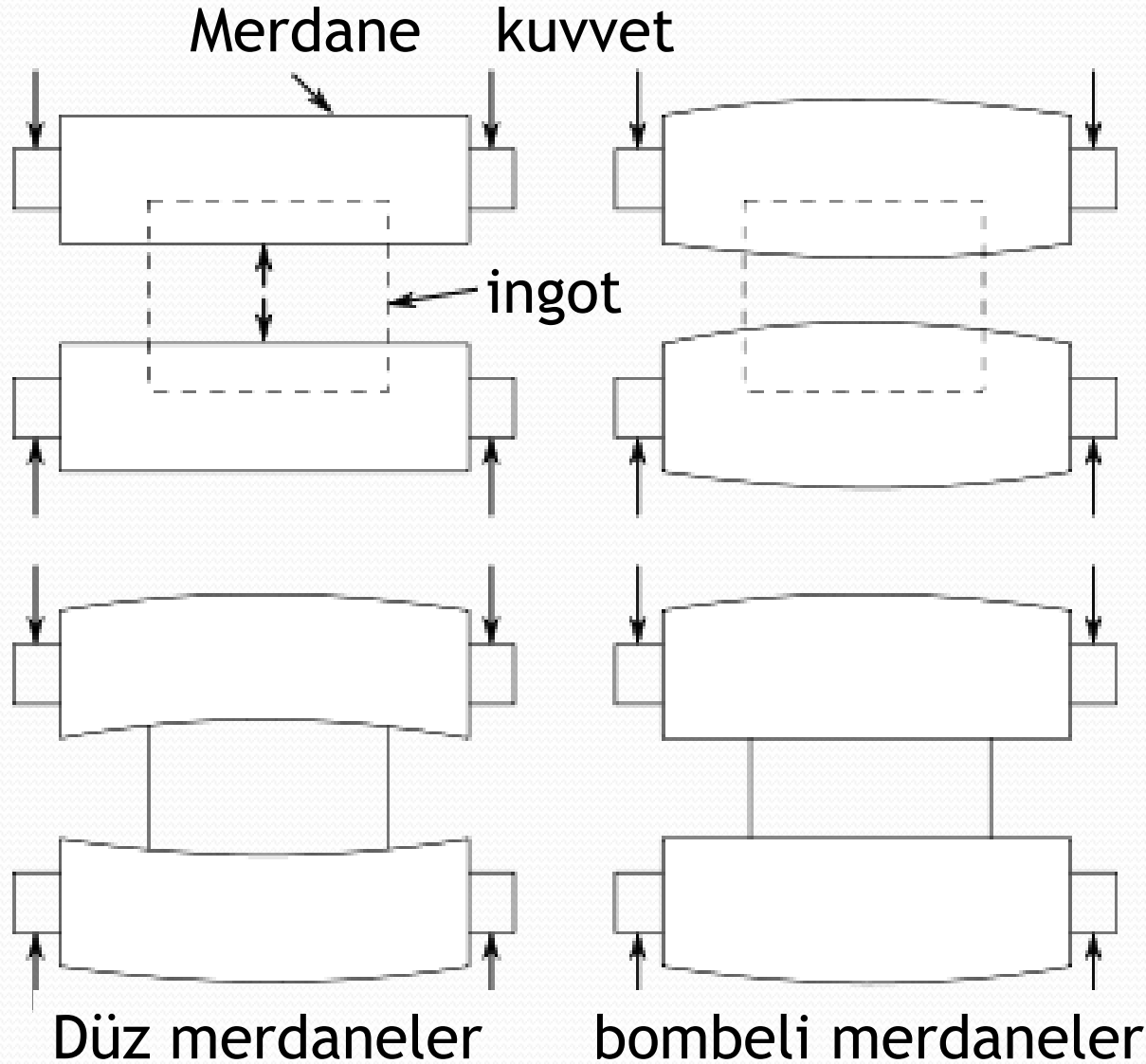
# Levha biçim hataları



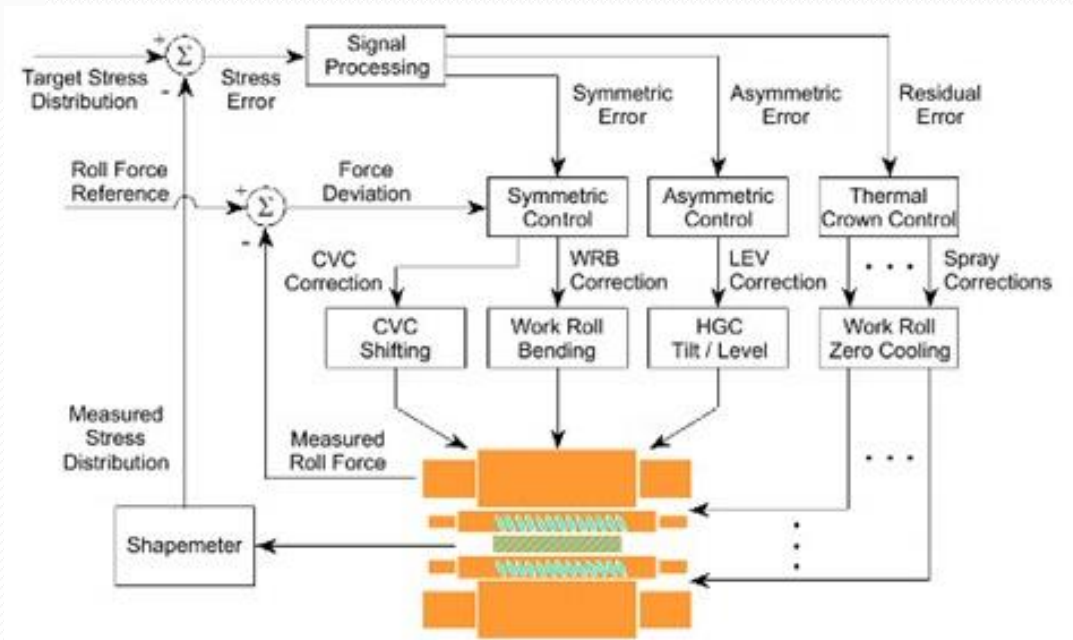
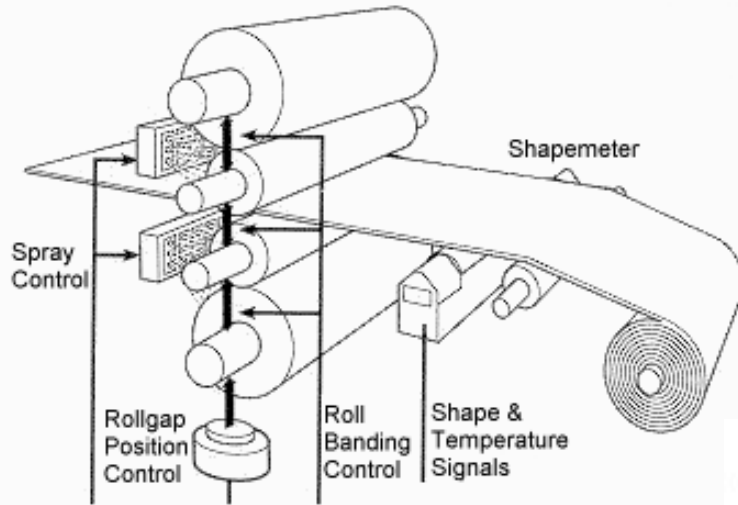
# Levha biçim hataları



# Hadde aralığı profilleri



# Haddede şekil kontrolü

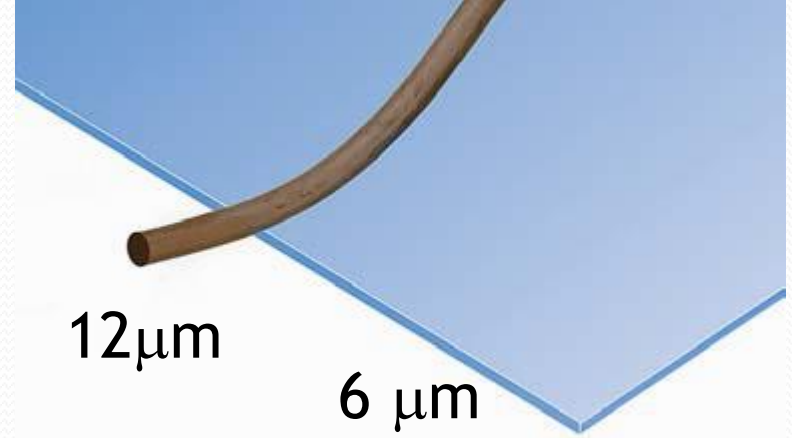




# folyo haddesi

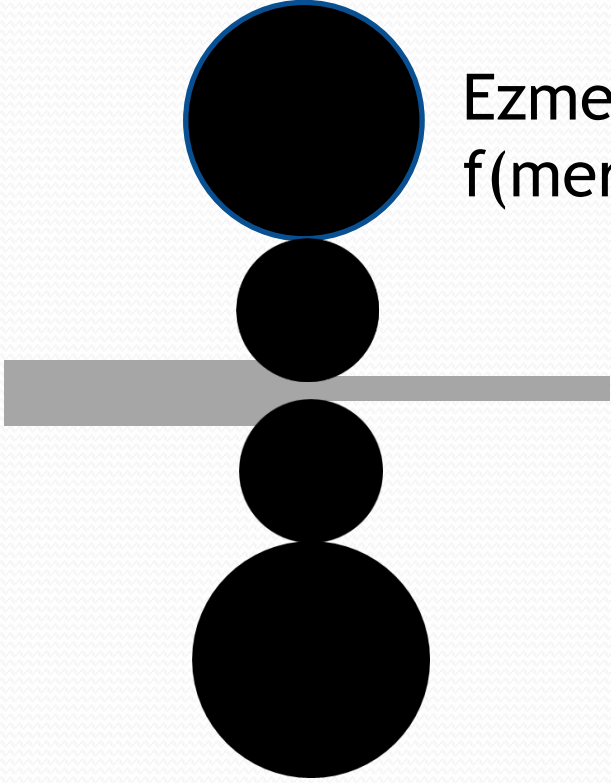
Kalınlık ve gergi kontrolü çok hassas olmalıdır. Son paso çift kat çekilir. Hadde girişinde çiftleme çıkışında ise ayırıcı vardır.

Alüminyum  
5-6  $\mu\text{m}$ 'a haddelenir.  
İnsan sac teli  
12  $\mu\text{m}$

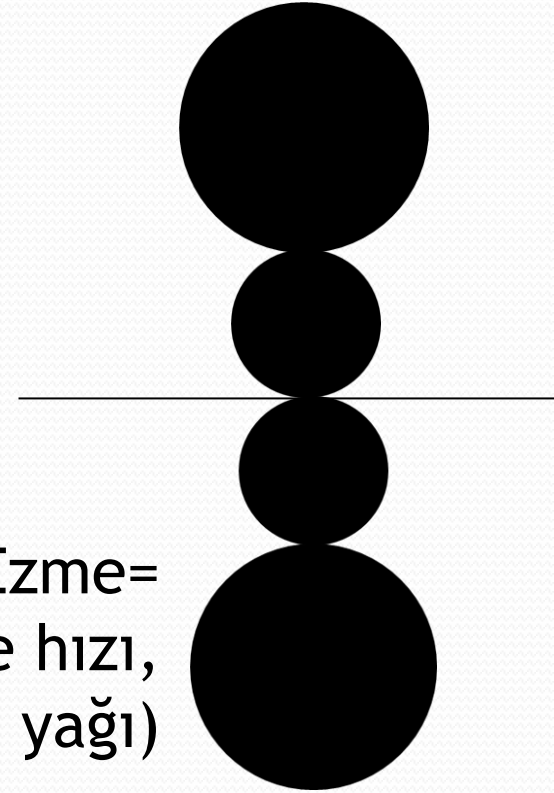


# Levha haddesi

# folyo haddesi



Ezme=  
f(merdane açıklığı)



Ezme=  
f(gergi, hadde hızı,  
hadde yağı)

Folyo haddemeleme, haddemeleme alanında özel bir yere sahiptir. Levha haddesinde çok önemli olan iş merdaneleri ara açıklığı, hadde basıncı gibi işlem parametreleri folyonun inceliği nedeniyle, folyo haddesinde ikinci planda kalır.

# folyo haddesi

- Levha haddesinde fazla önemi olmayan gergi ve haddeleme hızı gibi parametreler ise folyo haddesinde kritiktir.
- Folyo haddesinde alt ve üst iş merdaneleri sıkı bir temas halindedir. Merdaneler arası açıklığın ayarlanması folyonun çıkış kalınlığına etki etmezken sadece düzgünlüğünü sağlayabilir. İnceltmeyi kontrol altında gerçekleştirmek için arka gergi, haddeleme hızı ve hadde yağı uygulaması gibi parametreleri kullanmak gerekir.
- Folyonun iş merdaneleri arasından geçerken tüm eni boyunca eşit bir ezme verilmezse dalgalı kenarlar, katlanma, buruşma ve boyuna yırtılma gibi problemlerle karşılaşılır ve folyonun kopması ile sonuçlanır.

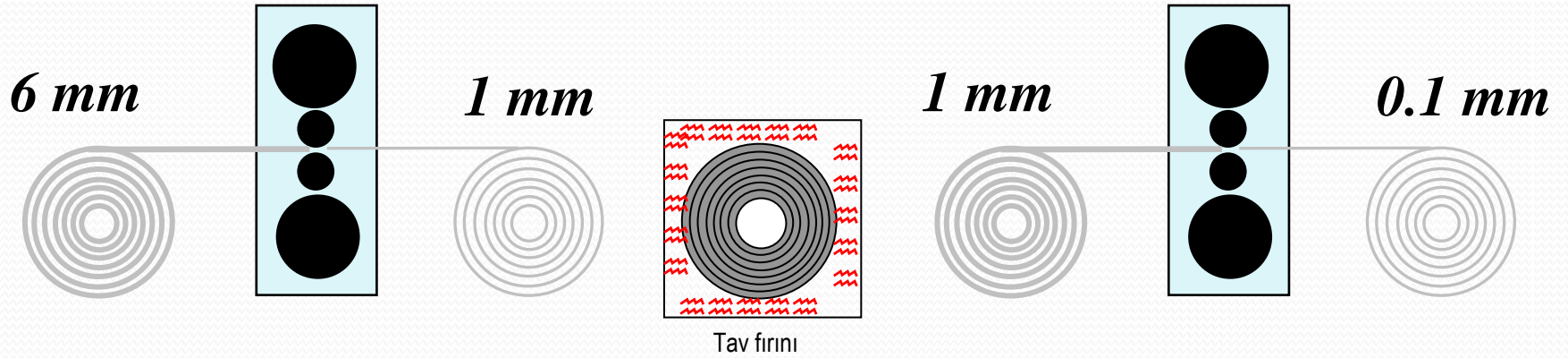
# folyo haddesi

- Folyo haddesinde iř merdaneleri ara açıklığı değiştirilmediğinde, folyo çıkış kalınlığı hadde hızı arttıkça dūřer. Bu durum 'Hız Etkisi' olarak tanımlanır.
- Artan hız merdaneler arasına daha fazla yaę sūrūp, daha kalın bir yaę filmi oluřturacaęından merdane arasını daraltır.
- Deformasyon bōlgesi sıcaklığı artan hızla yūkseleceęinden alūminyumun deformasyon direnci dūřer.
- Kalınlařan yaę filmi sūrtūnmeyi azaltacaęından hadde torkunun tūmūyle metalin ezilmesinde kullanılmasını saęlar.

# Levha/folyo üretimi

*Soğuk hadde*

*Soğuk hadde*



Soğuk deformasyon  
Deformasyon  
sertleşmesi →  
Haddelenmiş yassı  
taneler  
Haddelemeye  
devam etmek zor!

Yumuşatma tavlama  
Toparlanma +  
Yeniden kiritalleşme  
yumuşama

Soğuk deformasyon  
Deformasyon  
sertleşmesi →  
Haddelenmiş yassı  
taneler



# Proses tasarımı

6 mm kalınlıkta dökülen 1050 alaşımlı şerit levhadan 1mm kalınlıkta yarım sert (H14) tabaka levha üretilmek isteniyor. Bu hedefe ulaşmak için termomekanik proses nasıl olmalı?

Son kalınlık 1mm ve arzu edilen kondisyon H14 olduğuna göre;

$$(x-1)/x = \%40 = 0.4$$

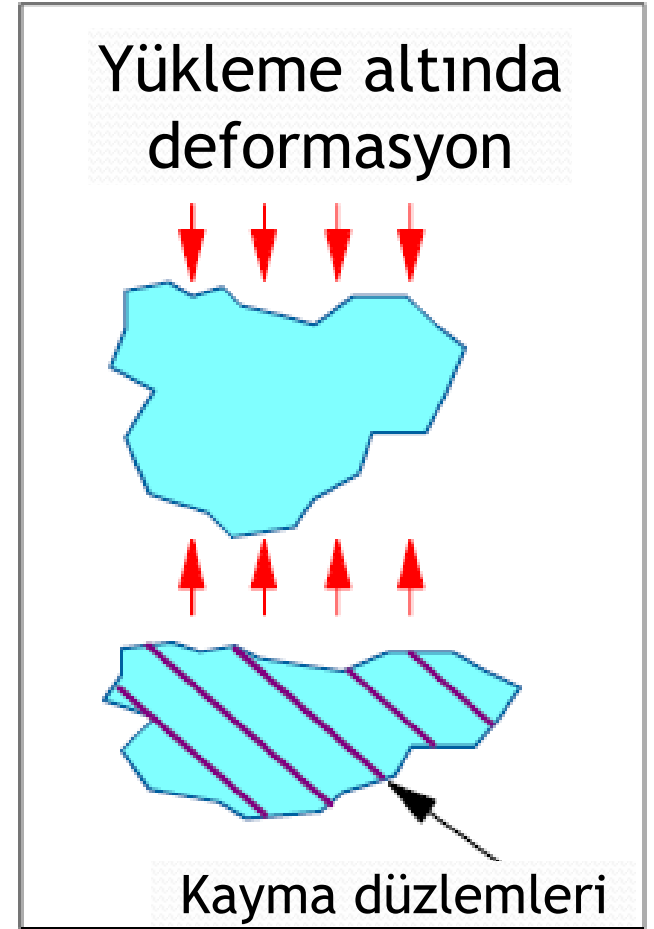
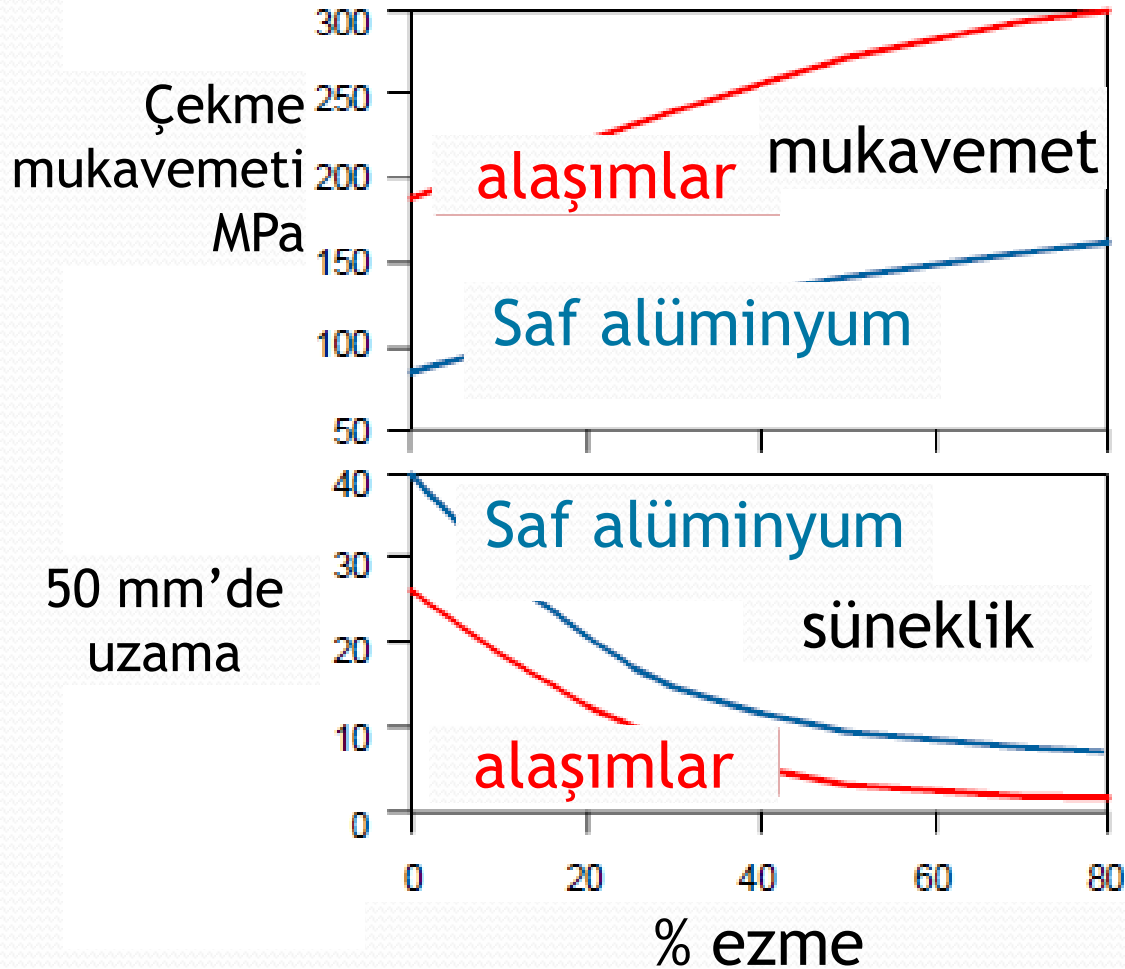
$$x-1 = 0.4x \quad x=1.66\text{mm}$$

1.66mm'de tav yapılmalı!

Proses: **6mm → SH 1.66mm / tav / → SH1mm**

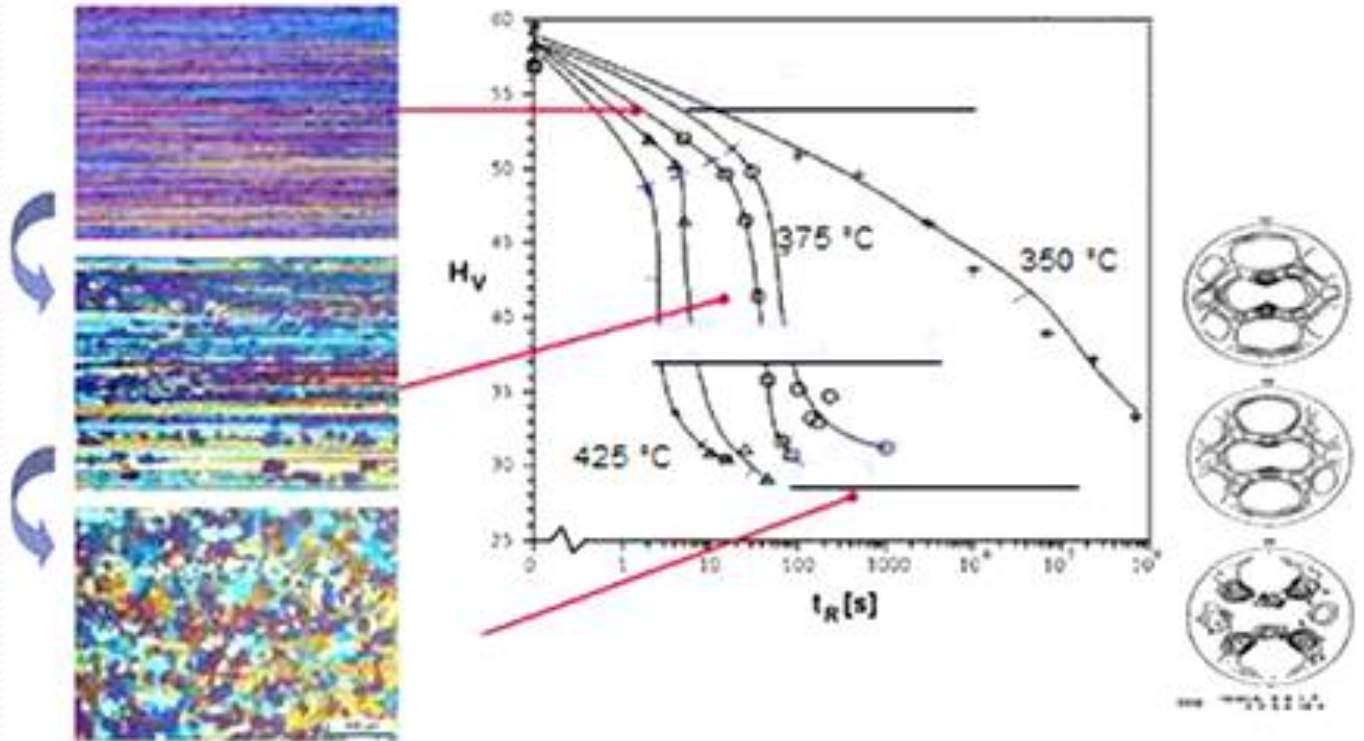
H24 için Proses: **6mm → SH 1.0mm / tav**

# Alüminyum alaşımlarında deformasyon sertleşmesi

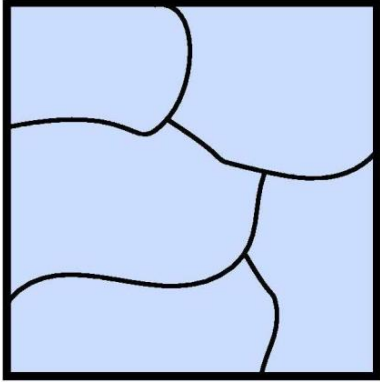


# Yumuşatma tavlama

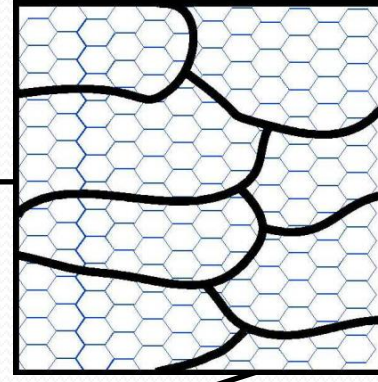
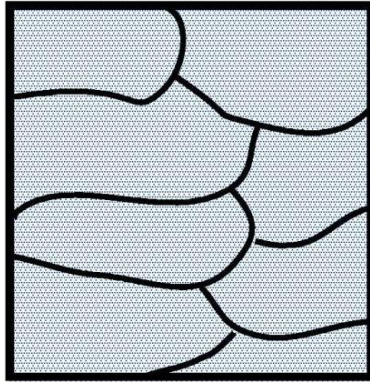
Soğuk haddelenerek aşırı sertleşen levha bir tavlama işlemi ile yumuşatılır. Bu tavlama işlemi sırasında önce toparlanma olur ve daha sonra deformasyonsuz yeni taneler oluşur.



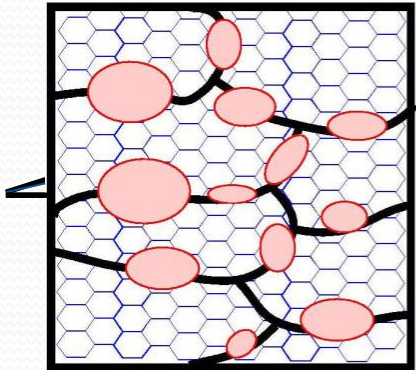
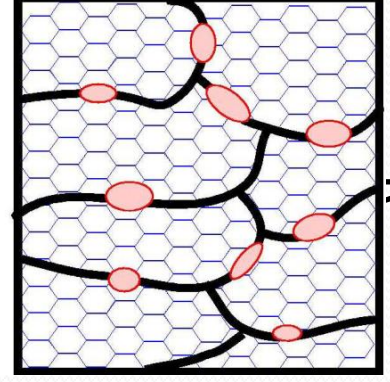
# Yumuşatma tavi



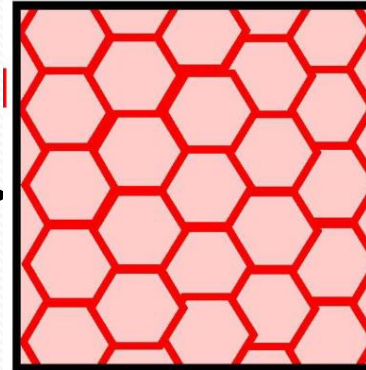
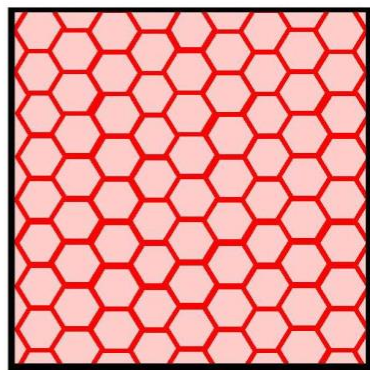
uzun yassı taneler



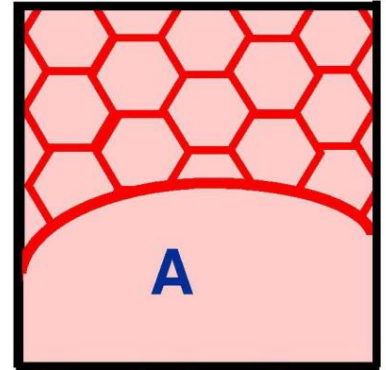
toparlanma-alt taneler



yeni taneler



tane büyümesi





# anizotropi

Normal anisotropy:

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\ln\left(\frac{w_o}{w_f}\right)}{\ln\left(\frac{t_o}{t_f}\right)}$$

Average anisotropy:

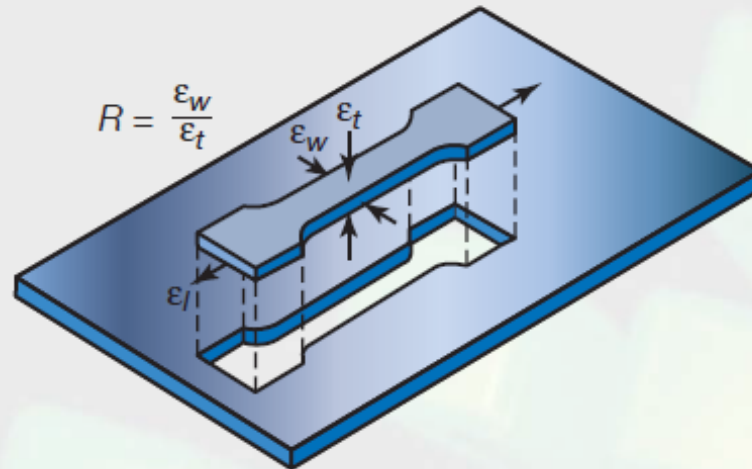
$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$$

Planar anisotropy:

$$\Delta R = \frac{R_0 - 2R_{45} + R_{90}}{2}$$

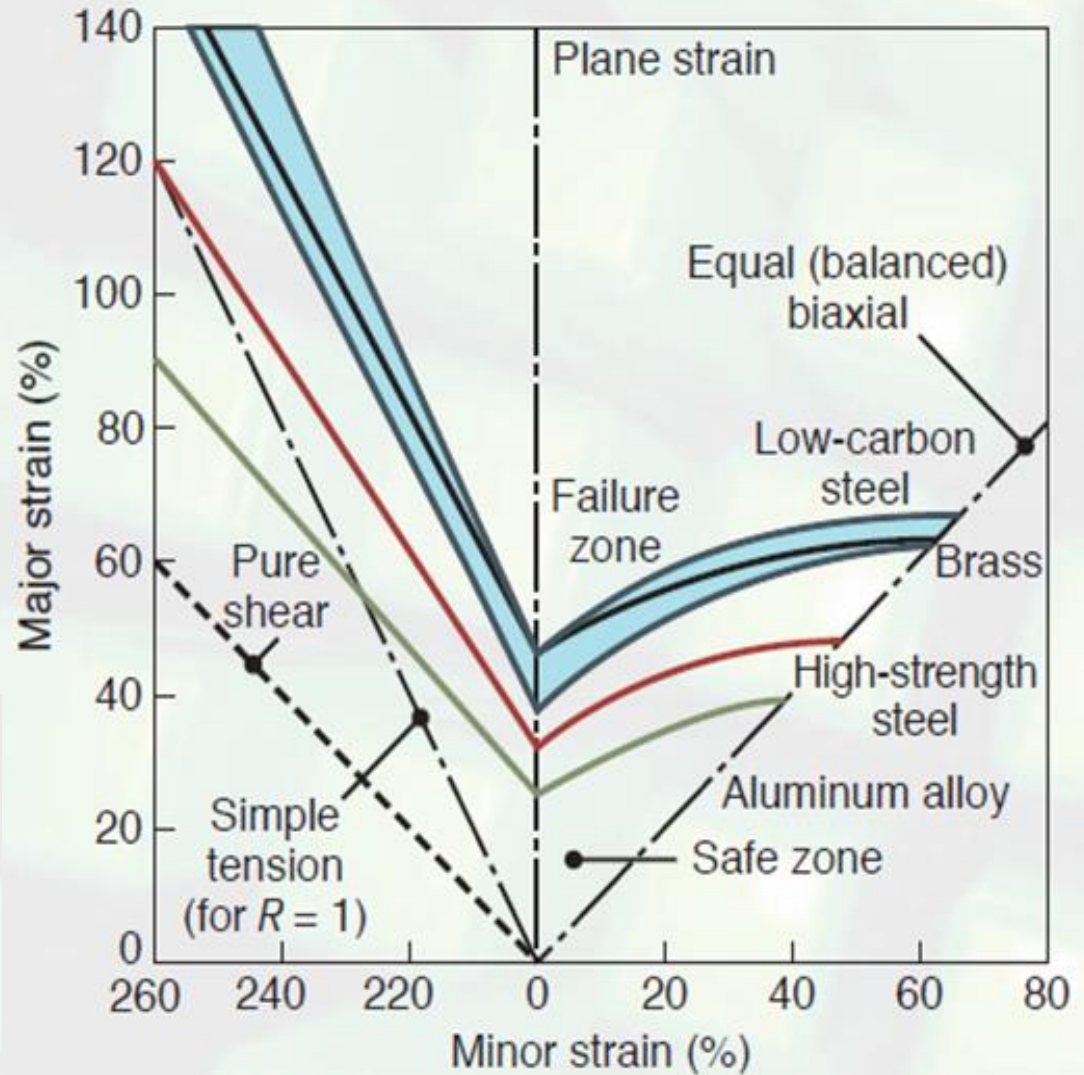
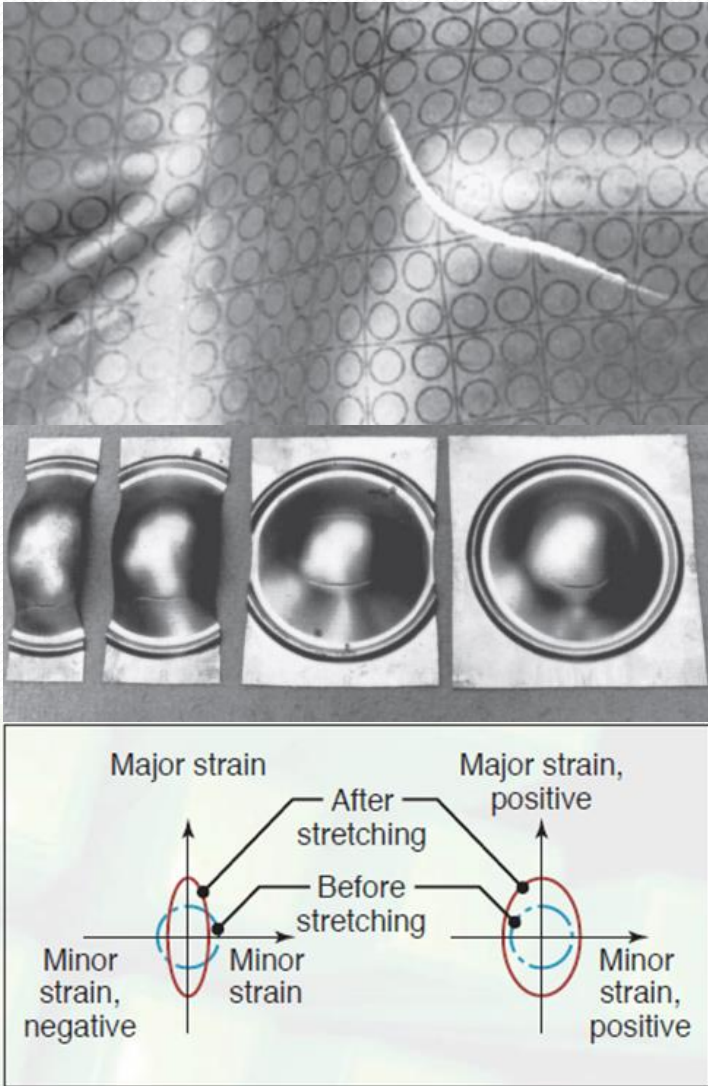
Kulaklanma olup olmayacağını düzlemsel anizotropi ( $\Delta R$ ) değerinden anlayabiliriz.

- $\Delta R=0$  ise kulak oluşmaz.
- $\Delta R>0$  ise kulak yüksekliği  $\Delta R$  değeri arttıkça artar.





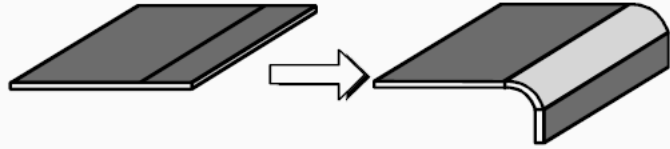
# Şekil sınırları diyagramları-FLD



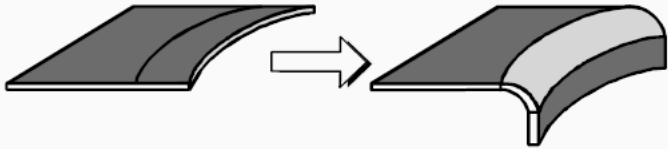
# büküm / eğme

Alüminyum levhalarda en önemli şekil verme işlemlerinden biri eğmedir.

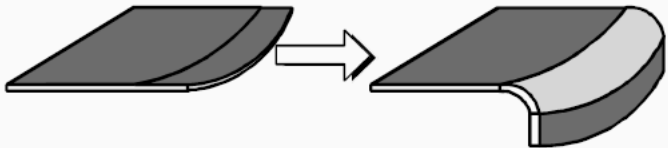
Eğilen levha eğme ekseninde çatlamamalı ve dış yüzeyinde portakallanma görülmemelidir.



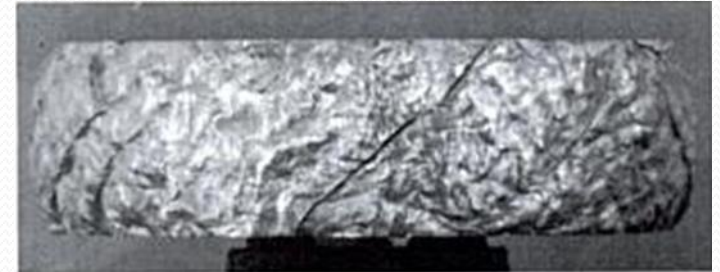
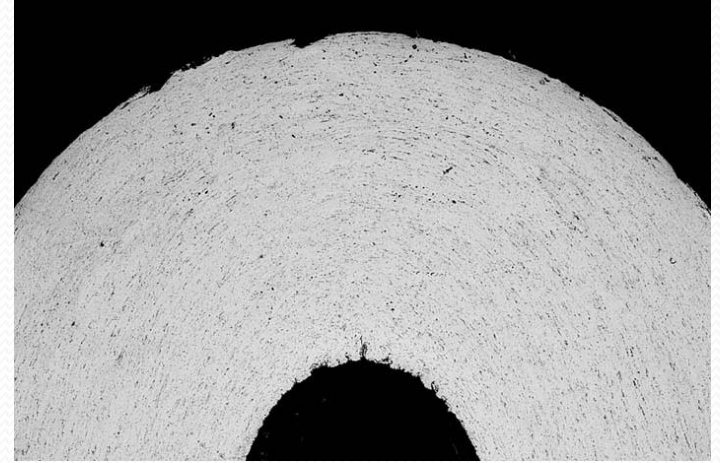
Düz eğme: sadece eğme gerilmeleri var!



konkav eğme: yırtılmaya yol açabilir!



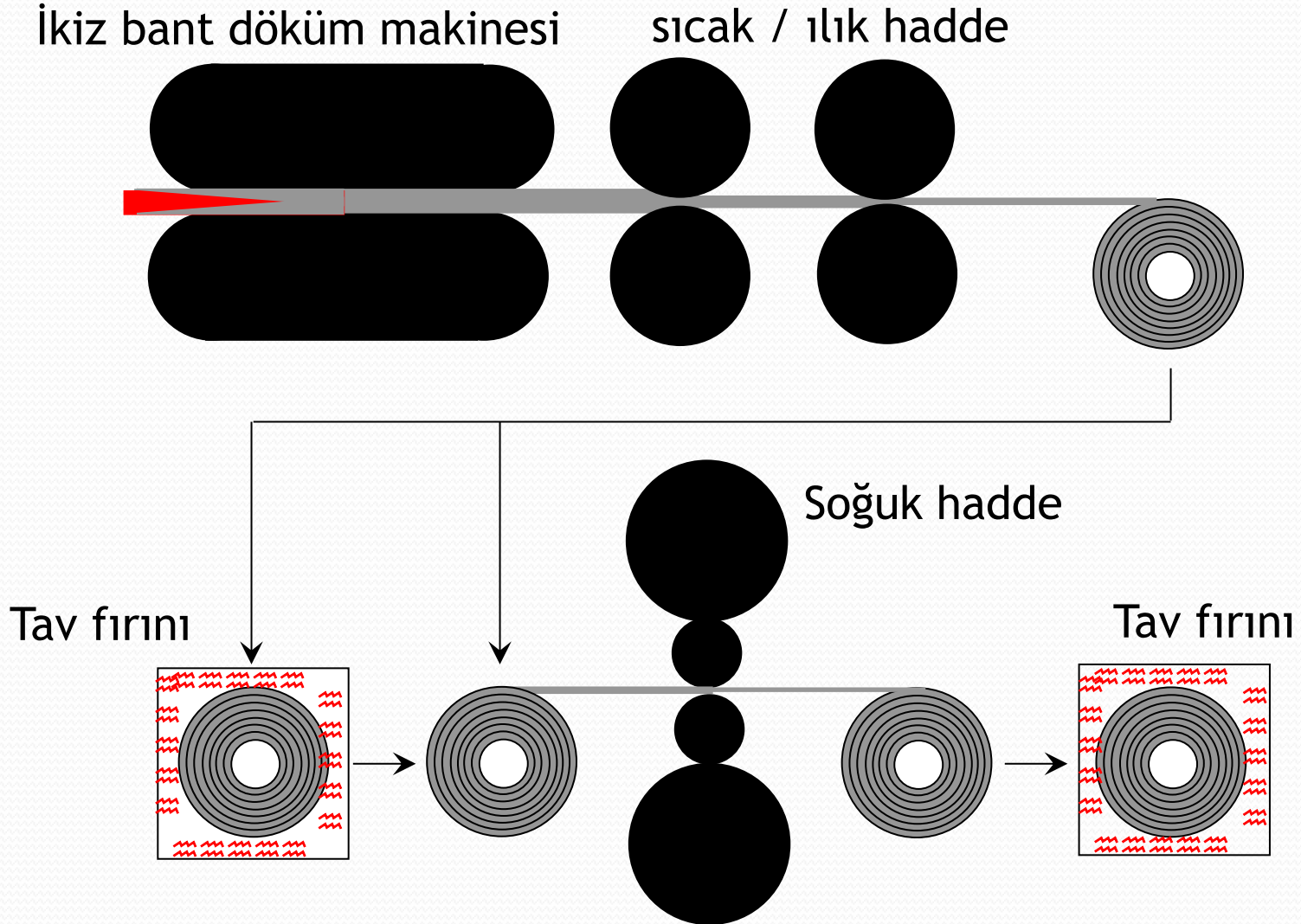
konveks eğme: katlanmaya yol açabilir!



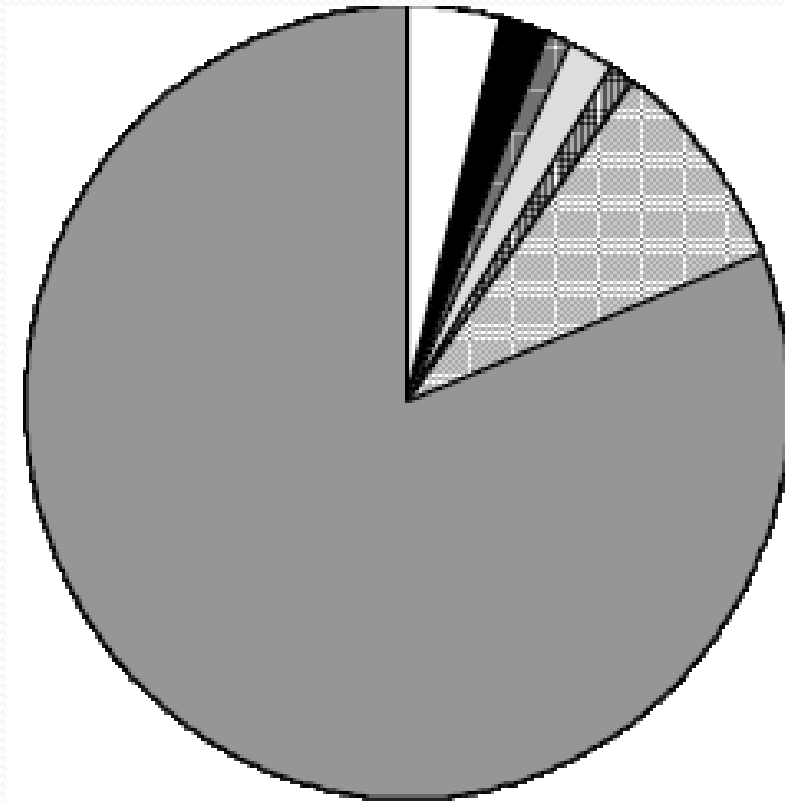
# Sürekli döküm-ikiz bant döküm

- Alaşım konusunun biraz daha esnek olmasını sağlayan sürekli levha döküm teknolojisi **İkiz bant Döküm Teknolojisi**dir.
- Burada 12-20 mm kalınlıkta levha katılaşmaya daha uzun zaman tanıyan bir bant aralığında dökülür ve ardından sıcak ve ılık haddeden geçerek bobin şeklinde sarılır.

# TBC proses teknolojisi



# Extrüzyon alaşımları



□ 7000 - 4%

■ 1000 - 2%

■ 2000 - 1%

■ 3000 - 2%

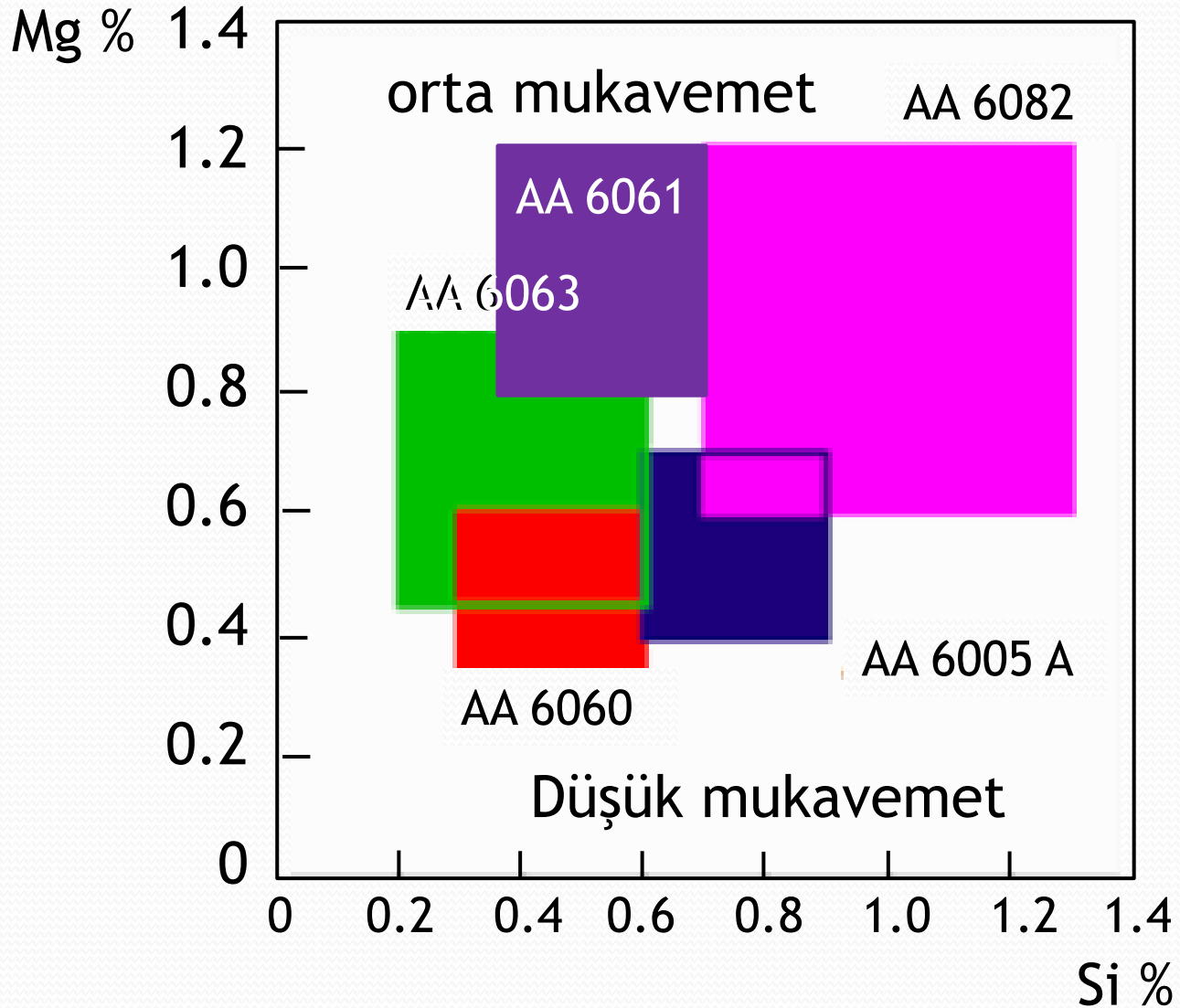
■ 5000 - 1%

■ 6082 - 8.9%

■ Other 6000 - 81.2%



# Ekstrüzyon alaşımları



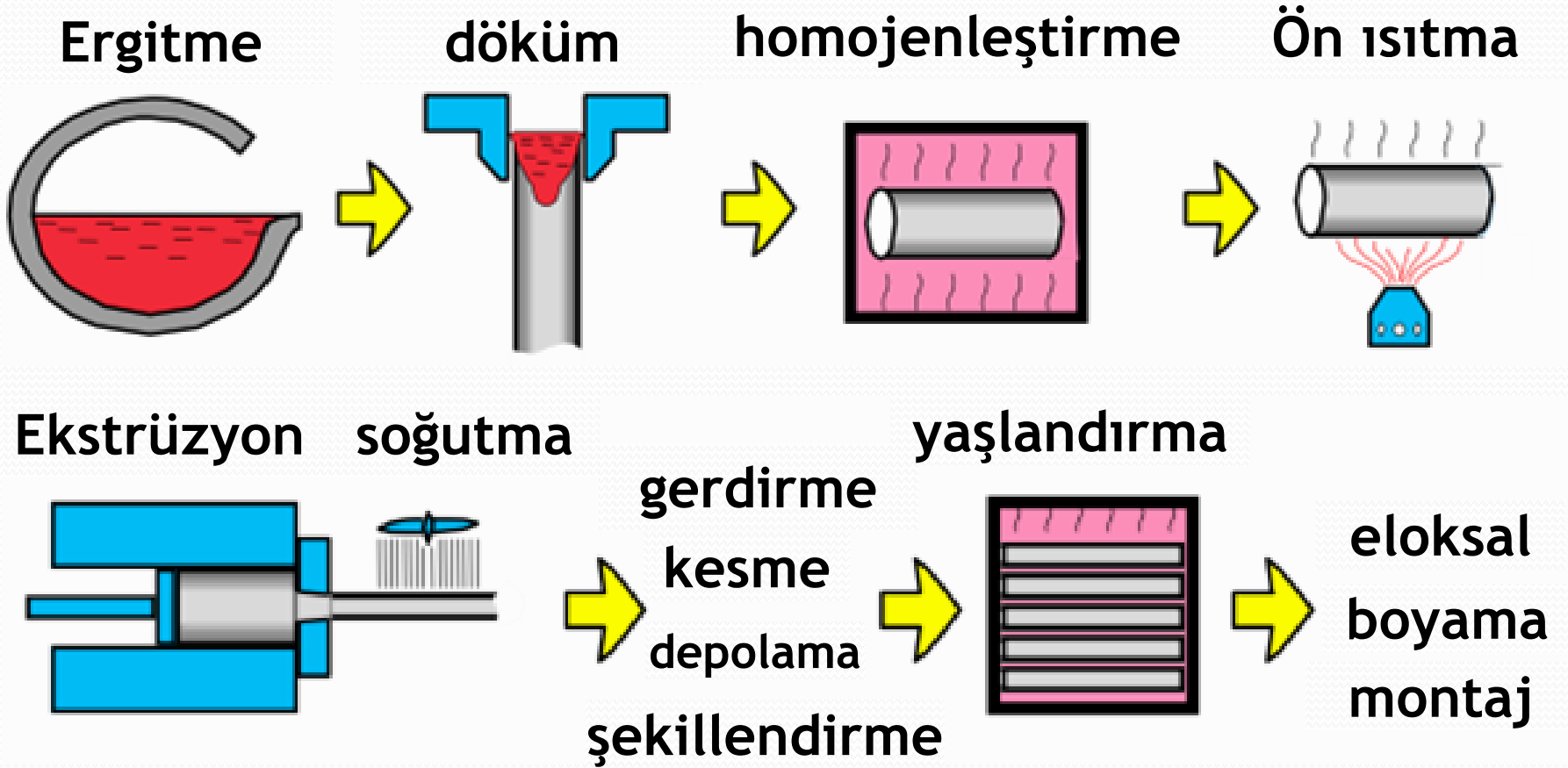
# Ekstrüzyon alaşımları

- $Mg_2Si$  çökmesi ile sertleşme
- $Mg_2Si$  miktarı arttıkça sertlik de artıyor!
- Yüzey kalitesini arttırmak için (özellikle yüksek ekstrüzyon hızlarında) Fe miktarı sınırlanıyor!
- Daha yüksek mukavemetli 6061 ve 6082 gibi alaşımlarda yeniden kristalleşmeyi kontrol etmek için Mn ve/veya Cr var!

# 6XXX ekstrüzyon alaşımları

alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	diğer	top.
6060	0.30- 0.60	0.10- 0.30	0.10	0.10	0.35- 0.60	0.05	0.15	0.10	0.05	0.15
6063	0.20- 0.60	0.35	0.10	0.10	0.45- 0.90	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15
6063A	0.30- 0.60	0.15- 0.35	0.10	0.15	0.60- 0.90	0.05	0.15	0.10	0.05	0.15
6082	0.70- 1.30	0.50	0.10	0.40- 1.00	0.60- 1.20	0.25	0.20	0.10	0.05	0.15
6061	0.40- 0.80	0.70	0.15- 0.40	-	0.80- 1.20	0.04- 0.35	0.25	0.15	0.05	0.15
6101A	0.30- 0.70	0.40	0.05	-	0.40- 0.90	-	-	-	0.03	0.15
6463	0.20- 0.60	0.15	0.20	0.05	0.45- 0.90	-	0.05	-	0.05	0.15

# Ekstrüzyon üretim süreci



# Ekstrüzyon üretim süreci

## Termomekanik proses

Döküm

Homojenleştirme

bekleme

soğutma : soğutma hızı kritik

Ön ısıtma

Ekstrüzyon

Soğutma → yaşlandırma tavaı (T5)



Çözeltiye alma tavaı

Yaşlandırma tavaı (T6)



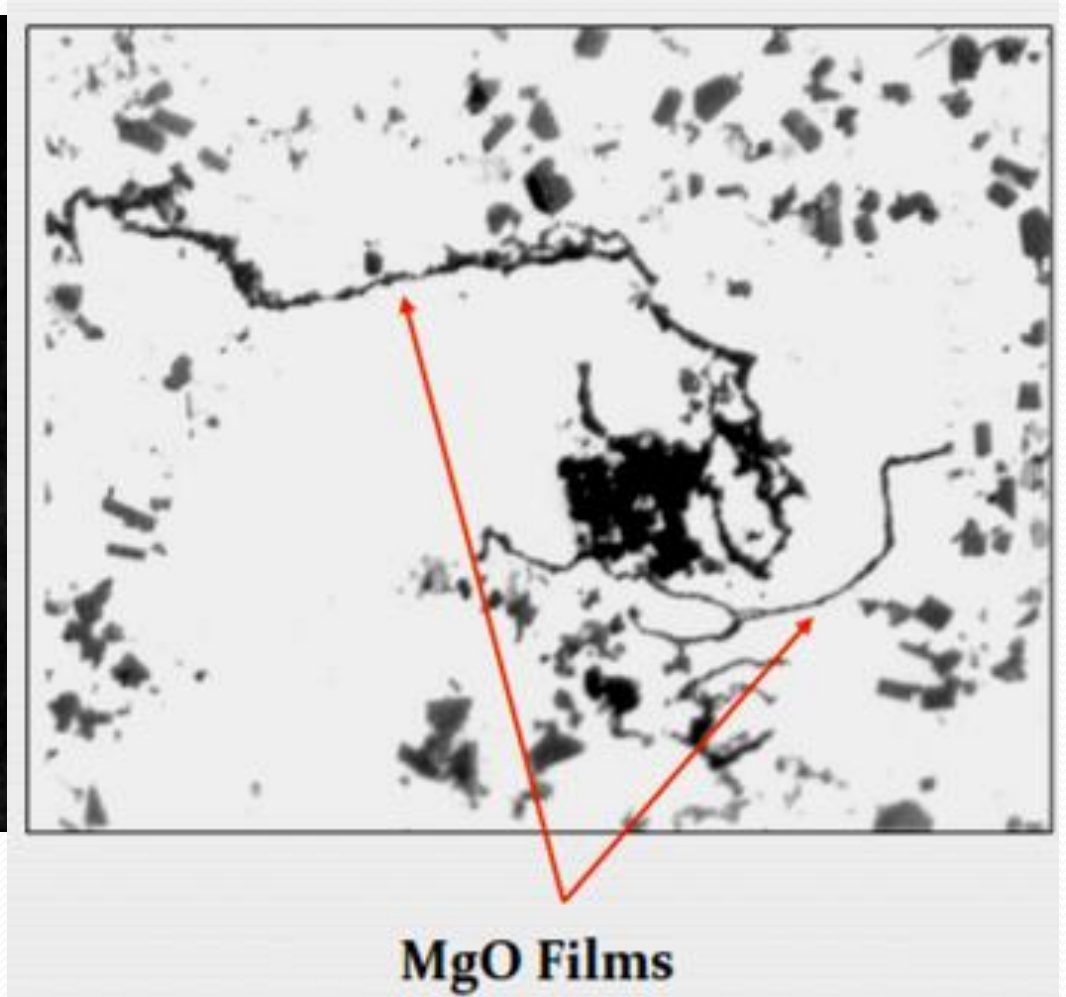
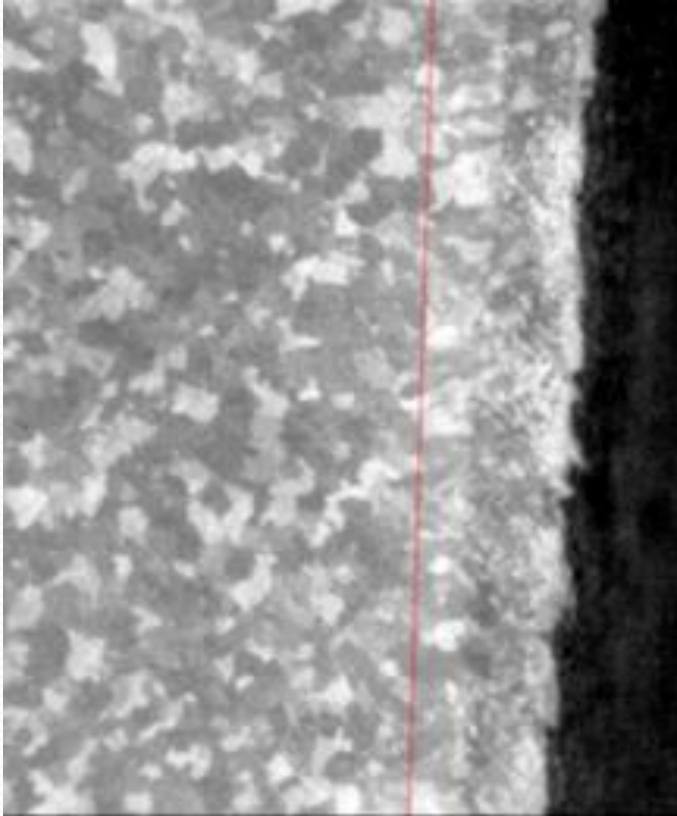
# Direkt il döküm (DC casting)



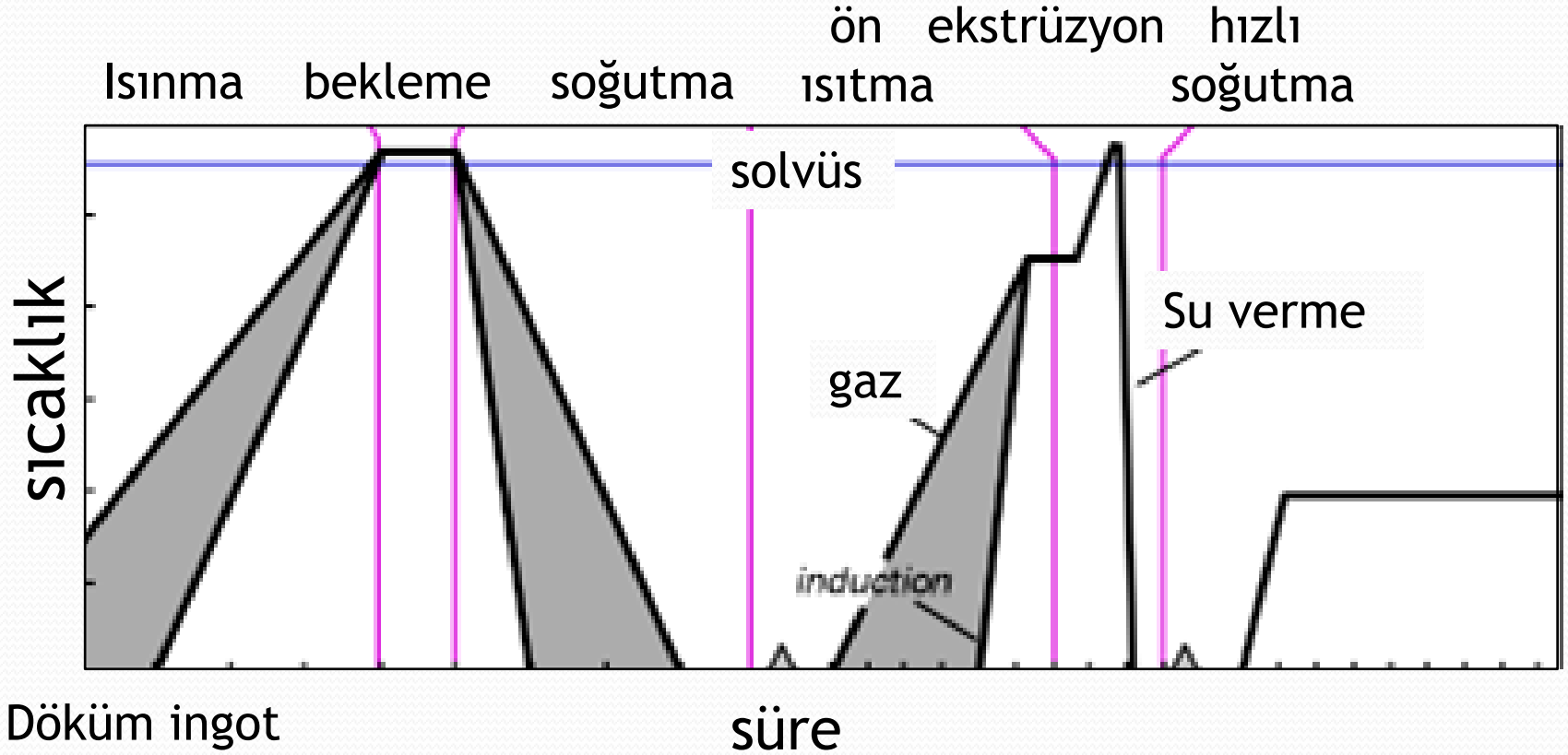
# Döküm bilet kalite özellikleri

- Yüzey segregasyonu minimum;
- Kabuk bölgesi derinliği çok az olmalı (<200  $\mu\text{m}$ )
- Kalıntı ve gözenek olmamalı!
- Kesitte homojen yapı olmalı:
  - Segregasyon minimum
  - tane yapısı; eş eksenli, küçük (<200  $\mu\text{m}$ )
  - Metallerarası bileşik partiküllerin dağılımı homojen

# Döküm biletle kalite özellikleri



# Biletten profil üretim süreci

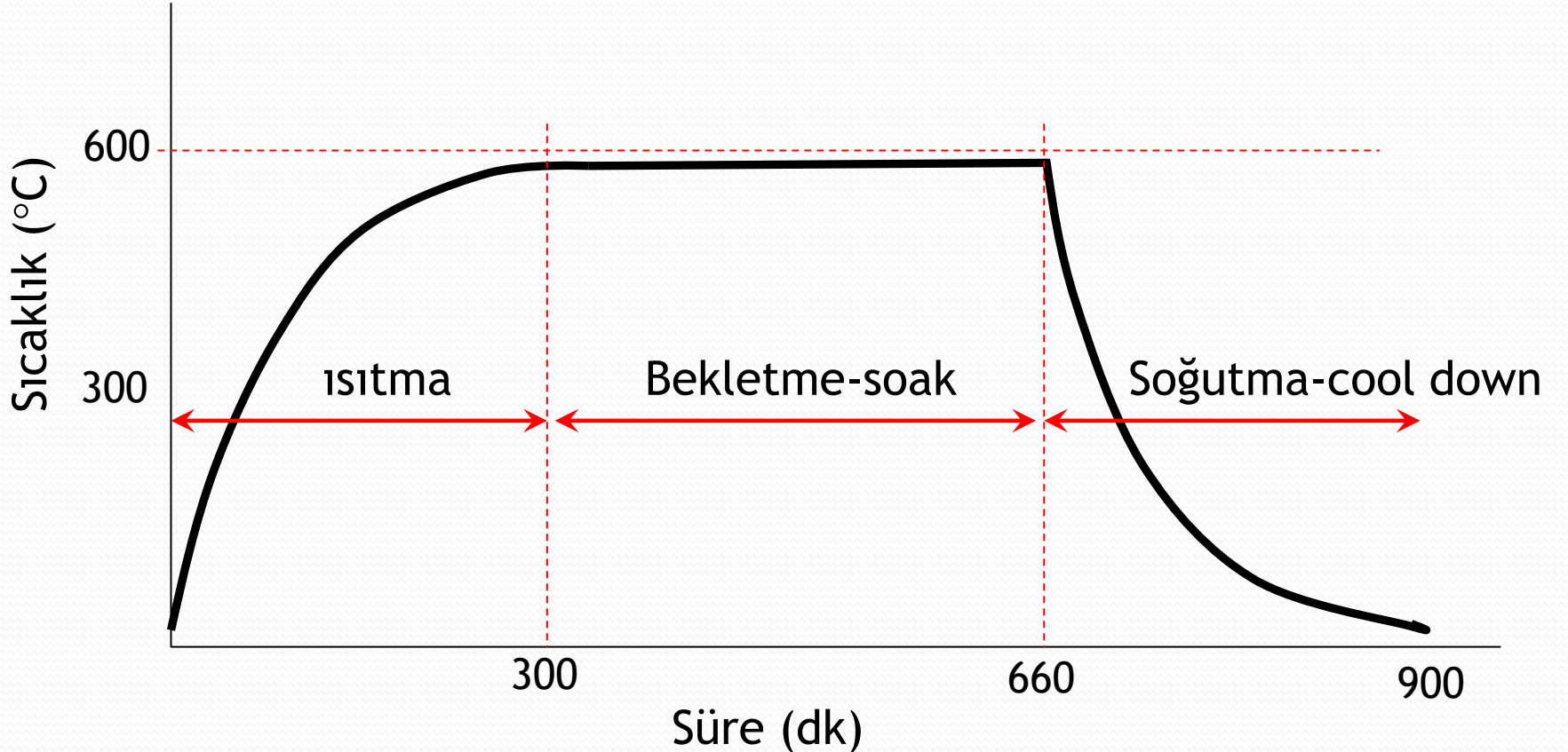


Tüm ısıl işlemler bağımsız değil; ardışık etkileri dikkate alınarak birbirlerine göre tasarlanmış olmalı!

# Homojen tav

Bekletme: segregasyonlar giderilmeli/ $\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü ✓

Soğutma: ne çok hızlı ne de çok yavaş/ optimum  $\sim 400^\circ\text{C}/\text{st}$





# homojenleştirme

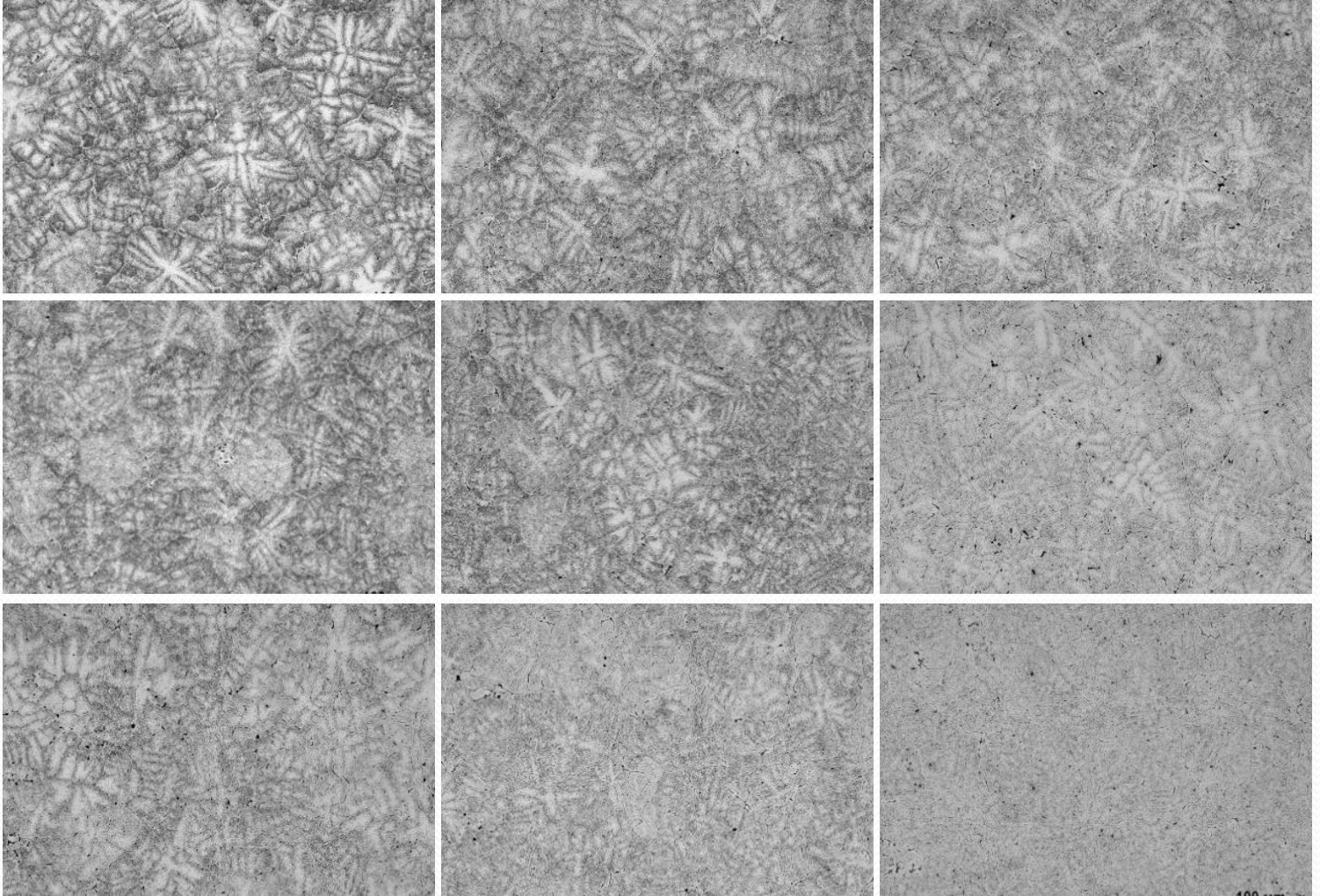
550 °C  
2 saat

Tav sıcaklığı

580 °C

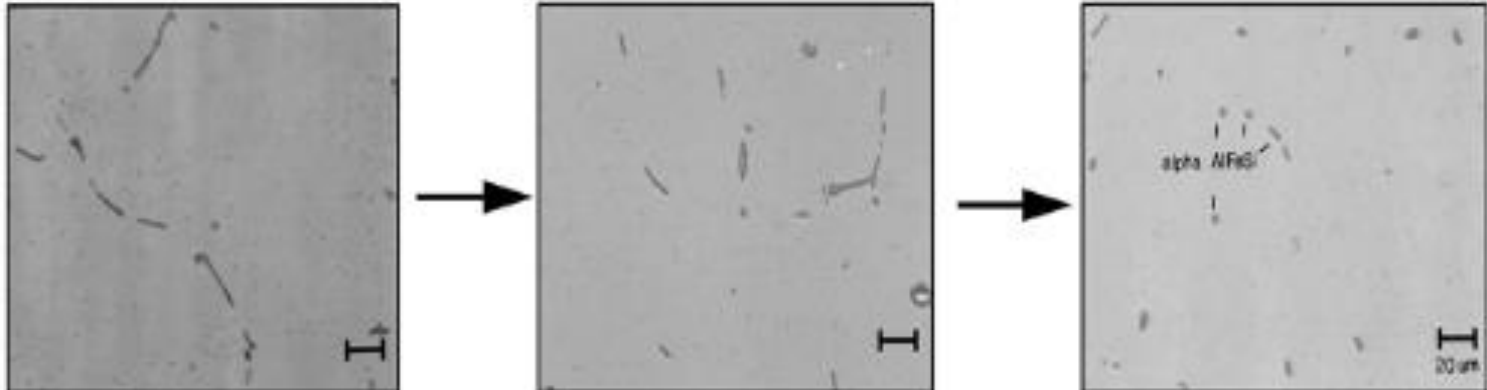
Tav süresi

8 saat



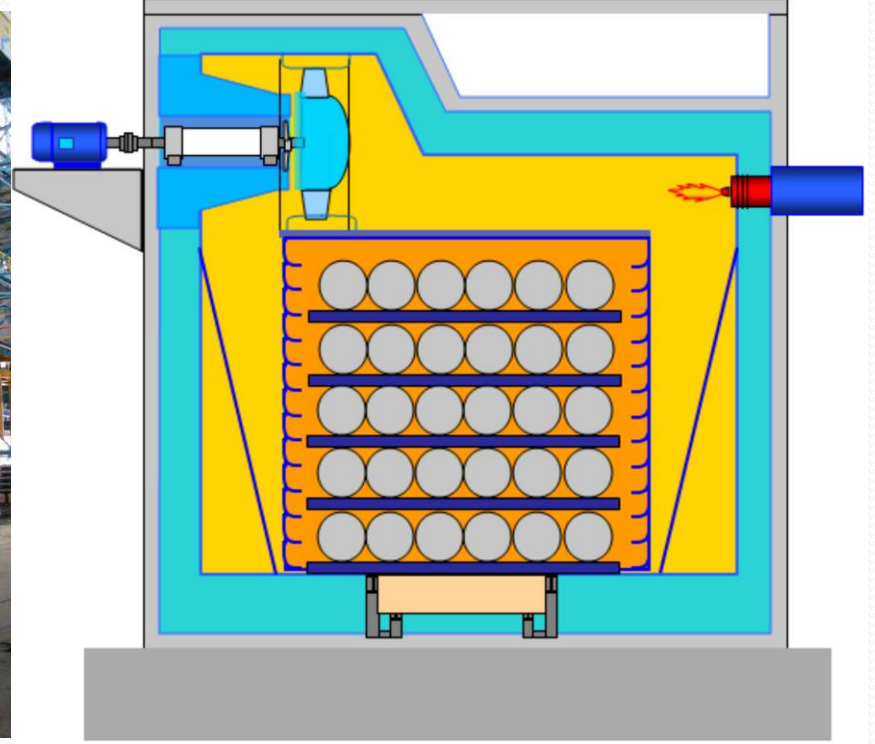
# homojenleştirme

- Amaç döküm yapısında belirgin iyileştirmeler sağlamaktır:
- $\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümünü gerçekleştirerek Fe'in olumsuz etkilerini minimuma indirmek
- Dendritik segregasyonu en aza indirmek
- Demirli bileşikleri modifiye etmek
- Soğutma sırasında çökeltme olayını kontrol etmek üzere  $Mg_2Si$  fazını çözeltiye almak
- Erken ergimeleri önlemek için titiz sıcaklık kontrolü ( $<570^\circ C$ ) uygulamak gerekir.





# Homojen tav

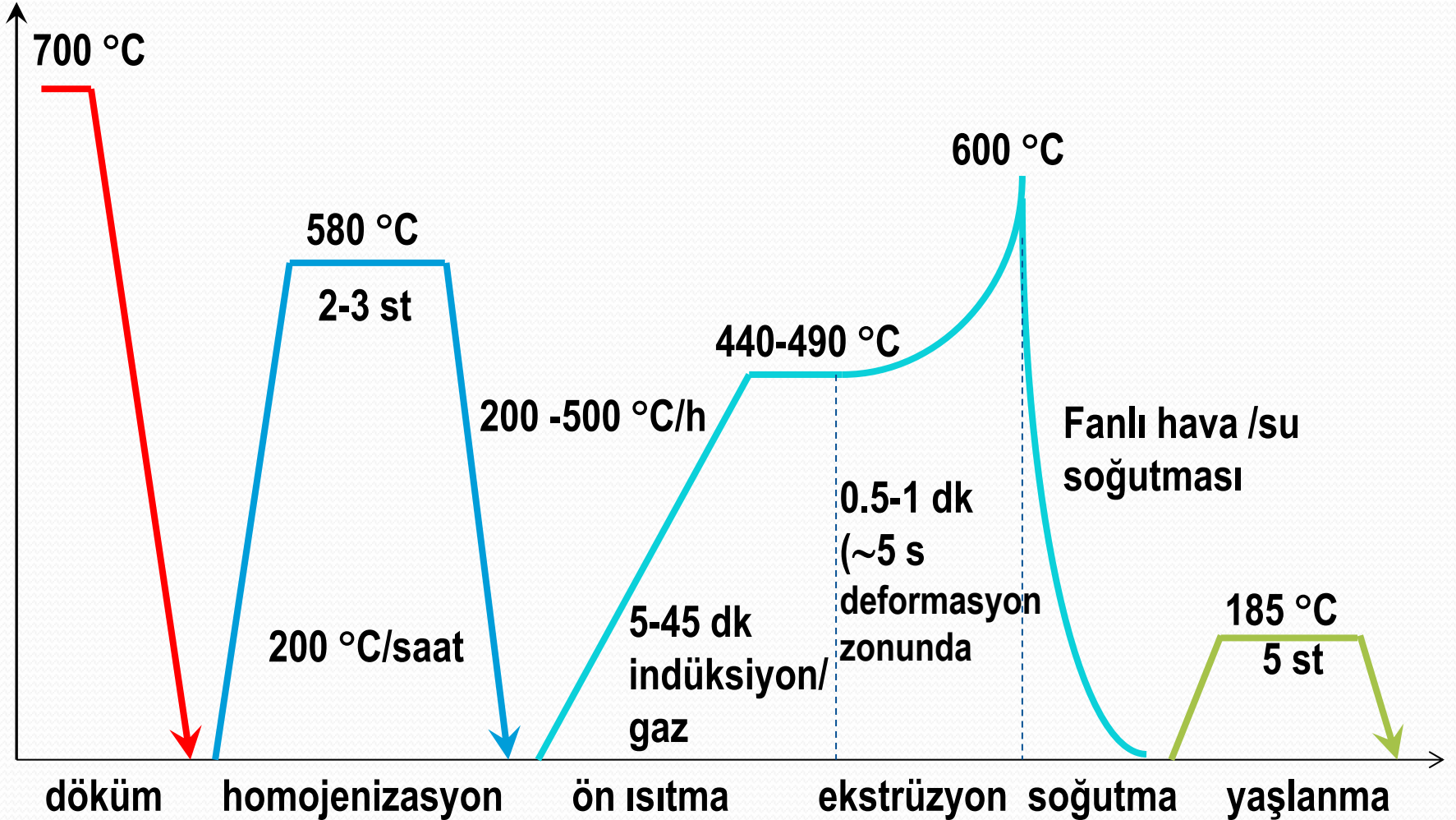


Homojen tav sonrası oda sıcaklığına soğutma kritik!  
Geleneksel parti homojen tavında soğutma fanlı hava veya su spreyi ile gerçekleştiriliyor. Yüksek soğuma hızları ve soğuma hızı kontrolü güç!

# Homojen tav



# Ekstrüzyon üretim süreci

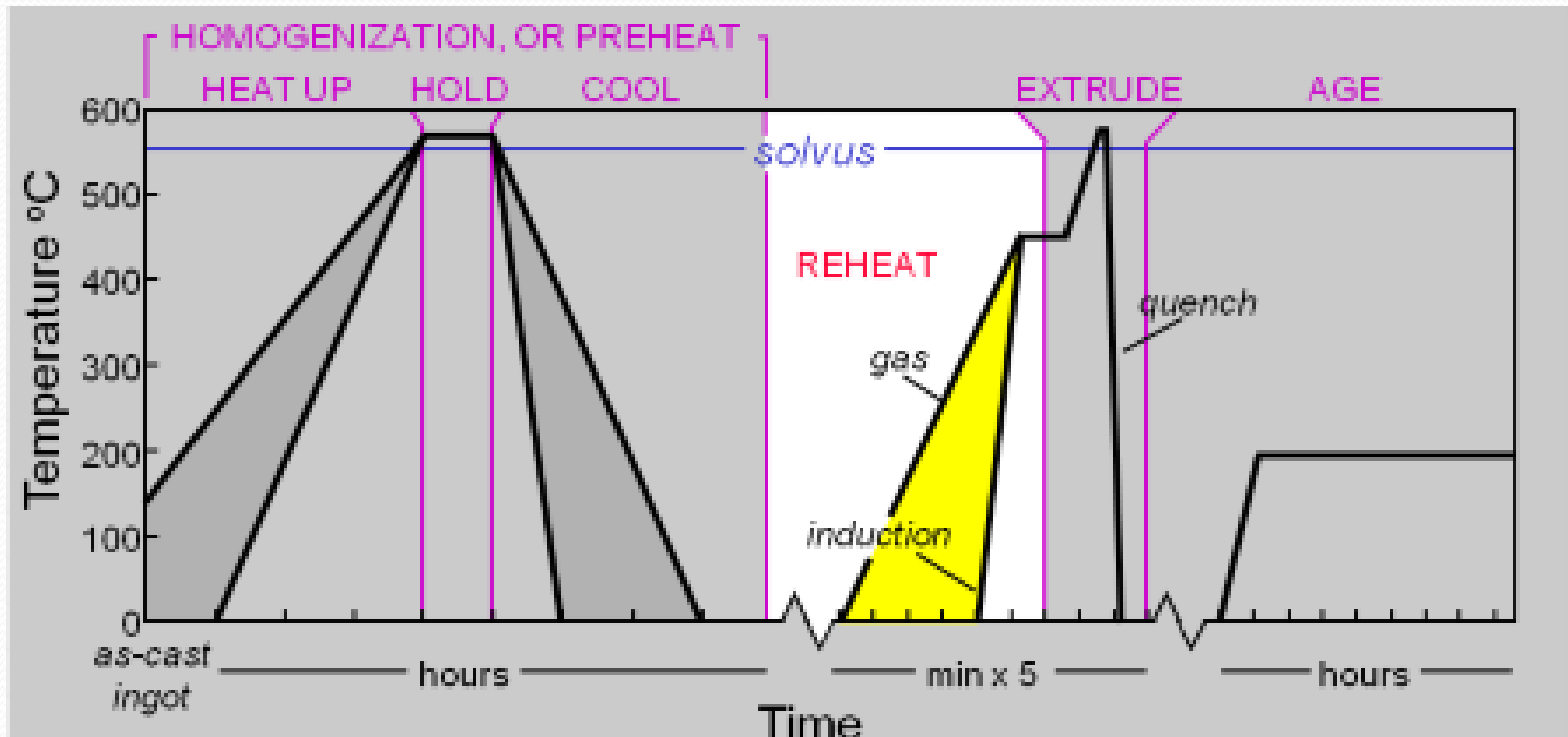




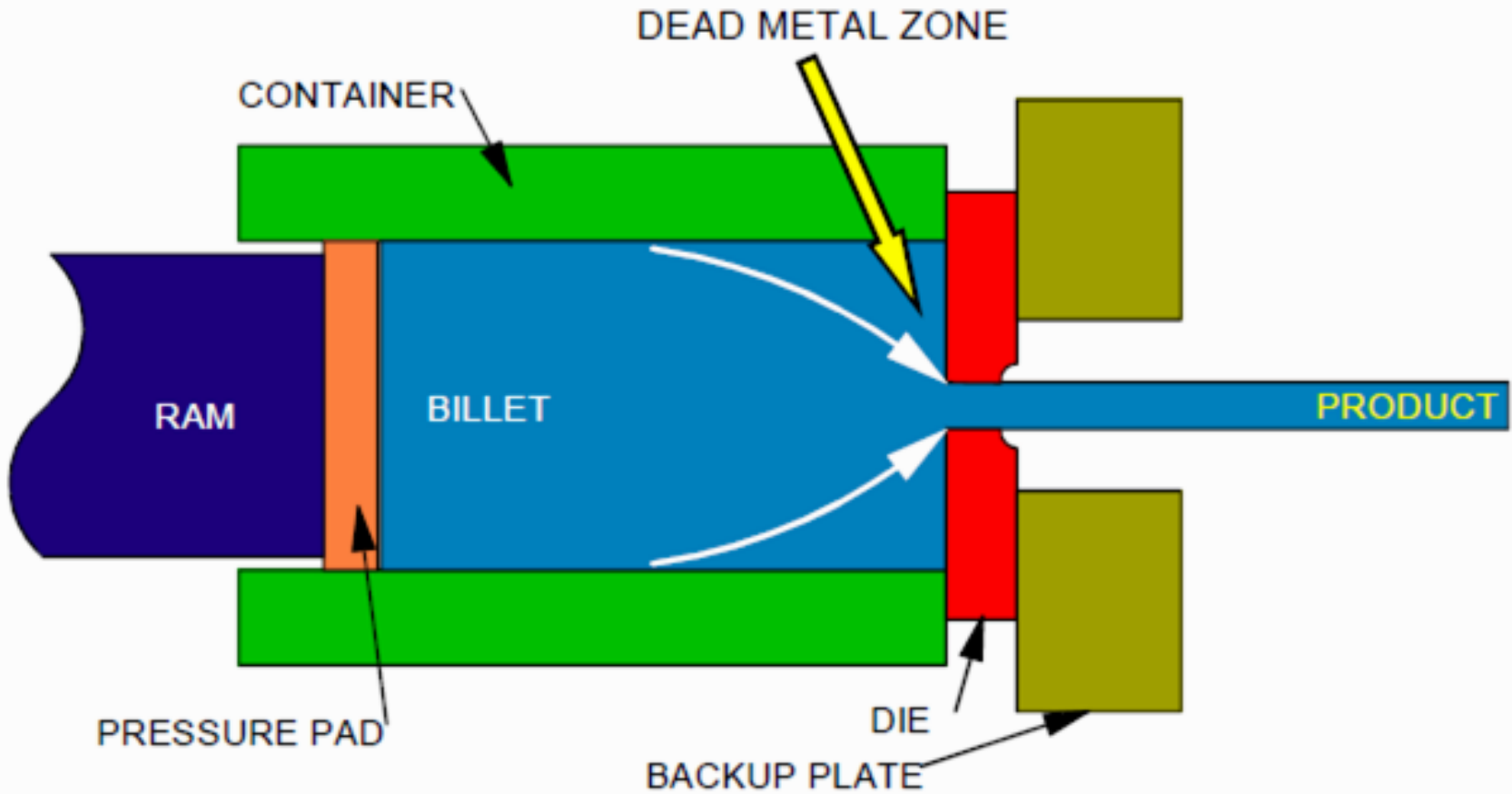
# Ön ısıtma-ektrüzyon işlemine

- Ön ısıtma sıcaklığı çözeltiliye geçme(solvüs) sıcaklığının altında seçilmeli.
- Ön ısıtma seri bir şekilde yapılmalı ve pres operasyonu ile senkronize olmalı.
- İndüksiyon ısıtması seri olması sebebiyle ve hassas sıcaklık kontrolü ile tercih edilmeli.
- Gazlı fırınlarda ön ısıtma 360 °C üstünde geçen süre en kısa olacak şekilde tasarlanmalı
- 360 °C üstünde  $Mg_2Si$  fazı hemen çökeler ve bu çöklelteleri pres içindeki sürtünme ısınması ile çözeltiliye almak mümkün olmayabilir.

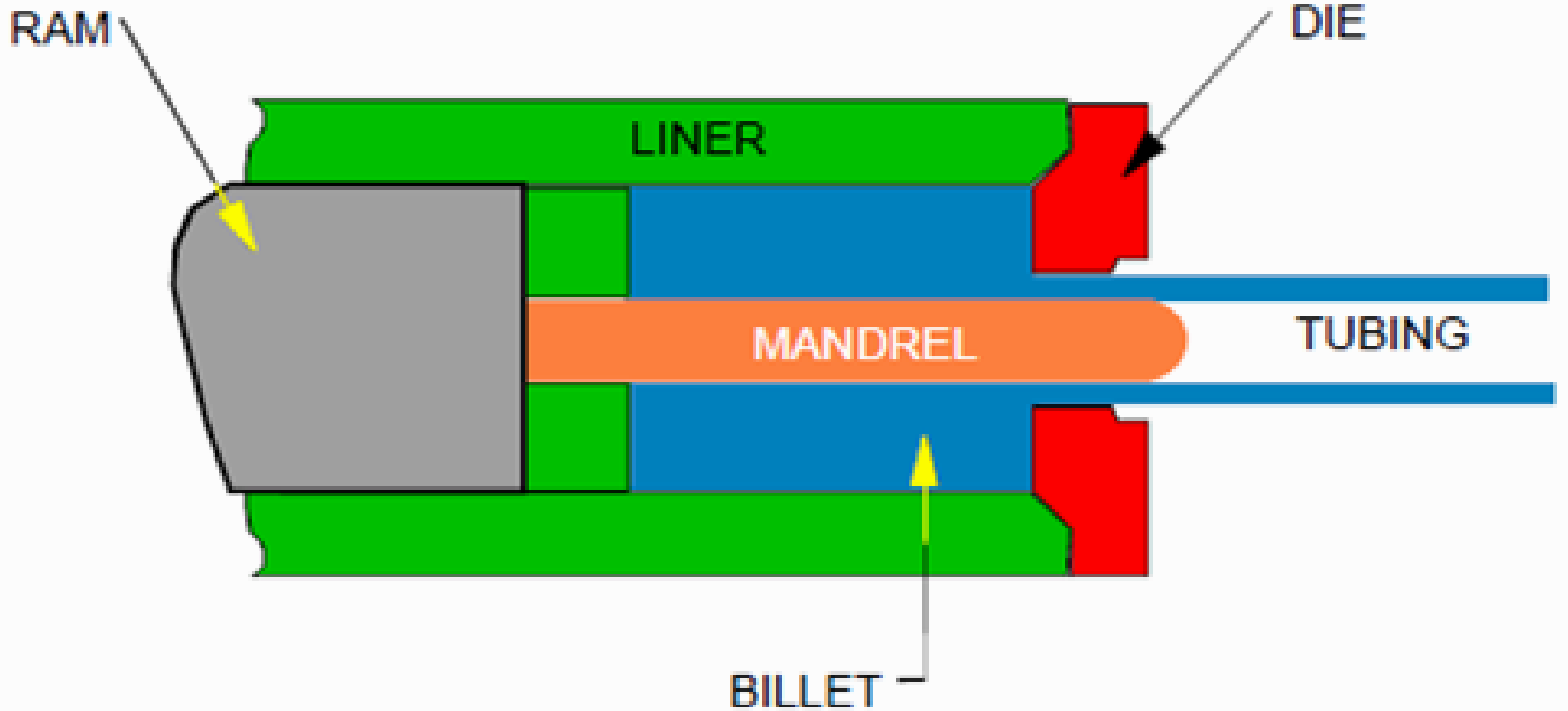
# Ön ısıtma-ekstrüzyon işlemine



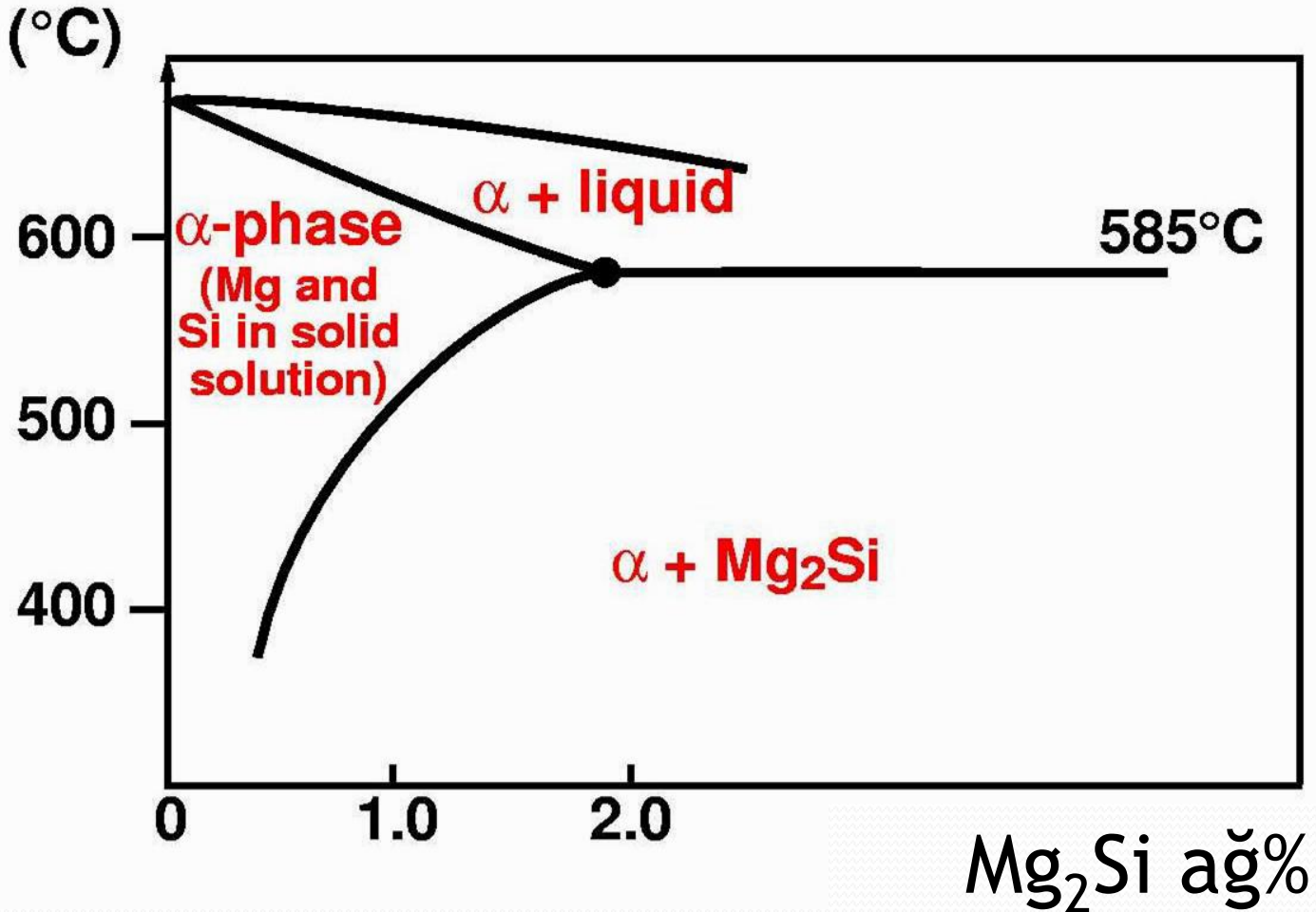
# Ekstrüzyon



# Ekstrüzyonla boru üretimi



# 6XXX alaşımlarında ısıt işlemleri





# Al-Mg-Si sisteminde çökeltme

yumuşak

sertlik artar!

pik sertlik

aşırı yaşlanmış

katı  
eriyik

koheran  
çökelti

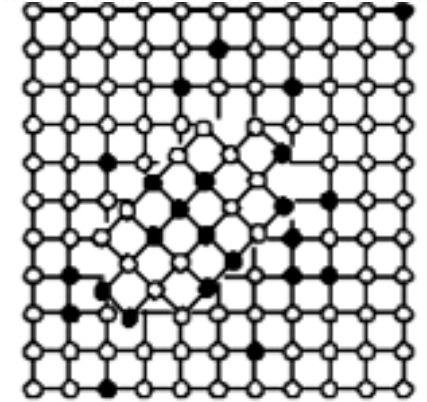
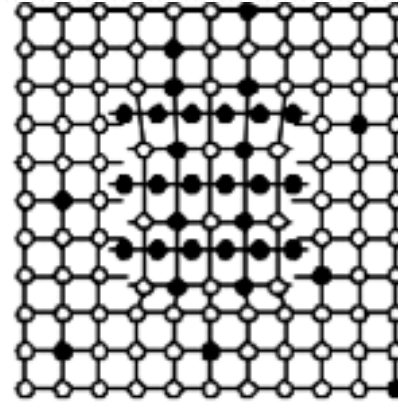
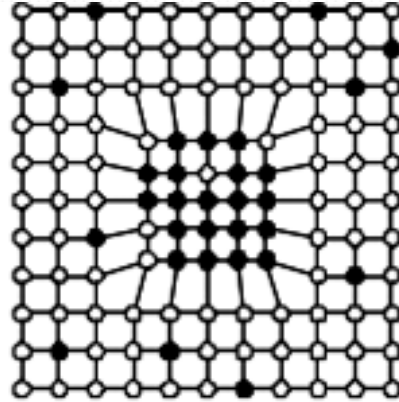
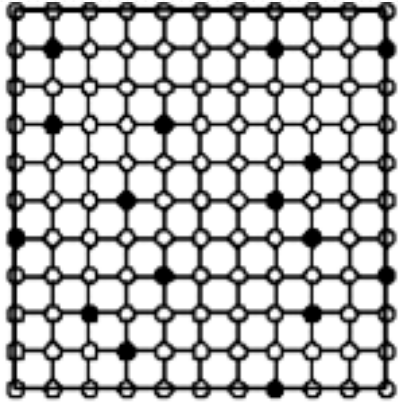
kısmen  
koheran  
çökelti

koheran  
olmayan  
çökelti

$\beta''$   
zonlar

$\beta'$   
çubuklar

$\beta$  ( $Mg_2Si$ )  
levhalar



○ Al atomları

● Mg/Si atomları

# Çözeltiye alma tavrı

- Alaşım denge diyagramında tek faz bölgesine ısıtılarak tüm ikincil fazlar çözeltiye geçinceye kadar bu sıcaklıkta bekletilir.
- 6XXX serisi alaşımlarda  $Mg_2Si$  (ve 2XXX alaşımlarında  $Al_2Cu$  çökeltileri) bu süre sonunda tamamen çözeltiye geçmiş, homojen bir katı eriyik fazı elde edilmiş olur.
- 6xxx serisi alaşımlar için çözeltiye alma tav sıcaklığı ergime noktasının altında ve ötektik sıcaklığı da önleyecek şekilde 500 - 550° C aralığındadır.

# Soğutma-su verme

- Çözeltiye alma aşamasından sonra alaşım düşük sıcaklıklara yüksek hızlarda soğutularak çözeltideki alaşım elementlerinin çözeltide kalması sağlanır.
- Böylece aşırı doymuş ve çökme için sabırsızlanan bir matris yapısı elde edilmiş olur.
- Su verme çözeltiye alma tavından sonra uygulanabileceği gibi, bir yüksek sıcaklık plastik şekil verme operasyonundan sonra da uygulanabilir.
- Mesela ekstrüzyon sürecinde bu işlem sıcaklık çözeltiye geçme sınırının üstünde olacağından pres çıkışında yapılabilir.
- Presten çıkan profil alaşıma göre suda veya fanlı havada soğutulur.

# Çökeltme

- Yaşlandırmadan sonra yüksek sertlik için yapıda ince  $Mg_2Si$  çökeltileri olmalı!
- Ekstrüzyondan önce veya ekstrüzyon sırasında iri  $Mg_2Si$  çökeltilerinin oluşması yaşlandırma tavı sonrasında sertlikten kayba yol açar.
- Sertlik kaybına yol açan iri çökeltiler, Bilet ve/veya profil 230 °C ile solvüs sıcaklığı ~500 °C aralığında bekletilirse kaçınılmazdır.

# Suni yaşlandırma

- Su verilmiş malzeme kararlı bir durumda değildir ve çökelmeye meğillidir.
- yaşlandırma ile çözeltideki alaşım elementlerinin en küçük ve sertliğe en fazla katkıyı yapacak yapılarda çökmesi sağlanır.
- Oda sıcaklığında doğal yaşlanma: çözeltiye alma tavından sonra oda sıcaklığında bekleme sırasında ilk birkaç saat içinde ciddi (fakat suni yaşlandırma ile mümkün olandan daha düşük!) bir sertlik artışı yaşlanır ve bu durum yaşlandırma tayı ile ulaşılabilecek en yüksek sertlik değerinden kayba yol açar.



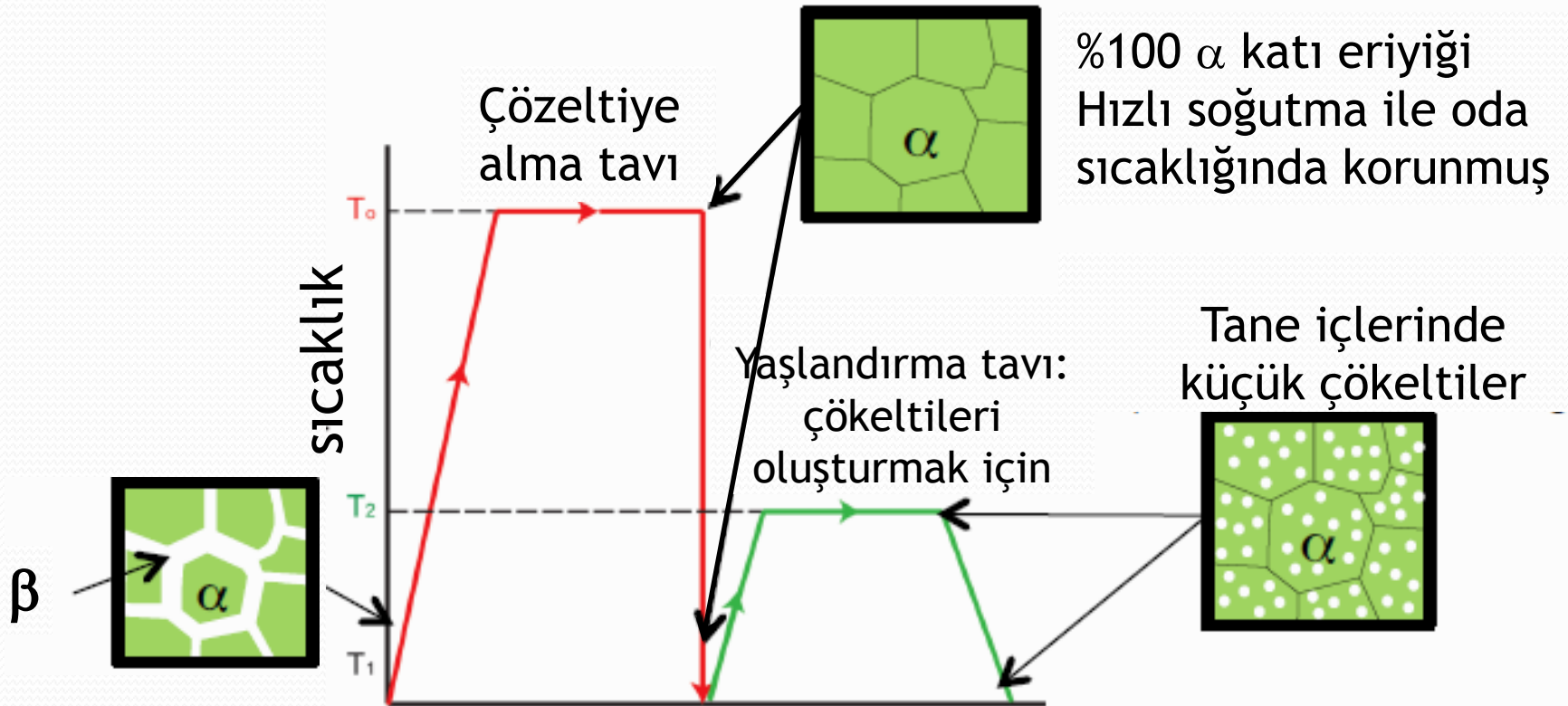
# doğal yaşlanma

- Çözeltiye alma işleminden soğutulan malzeme oda sıcaklığında bekletildiğinde çökelme-yaşlanma gerçekleşir.
- Bu durumda çökelme sertleşmesi ilk birkaç saat içinde belirgin olmakla birlikte zamanla yavaşlar ve tamamen durur.
- Bu şekilde sağlanan sertlik artışı suni yaşlandırma tayı ile mümkün olandan daha düşüktür.

# Suni yaşlandırma

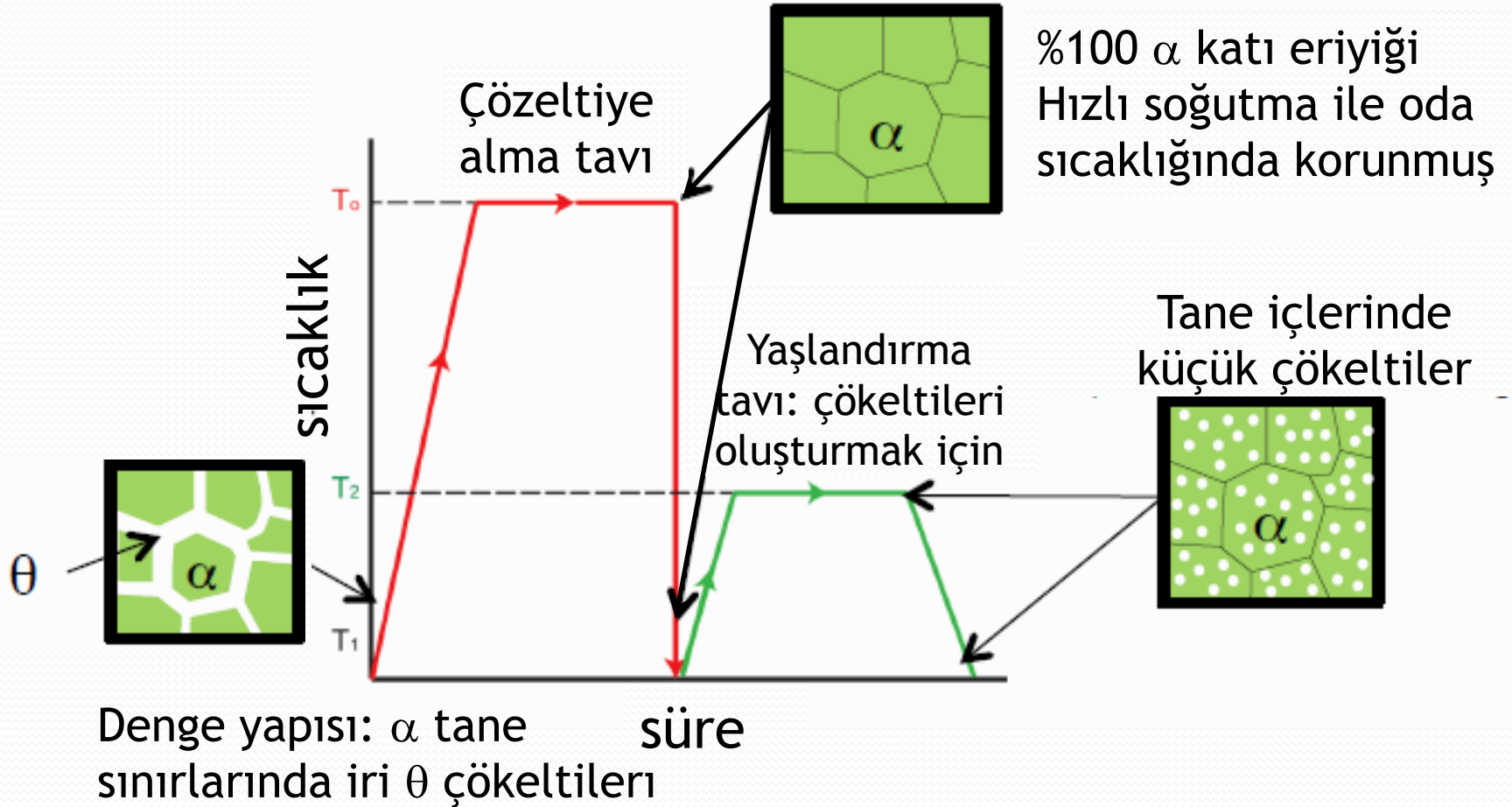
- Yaşlanma sürecinde oluşan çökeltiiler önce matrisle koheran-uyumludur.
- Yani çökeltiilerin kristal yapısı matrisinkii ile aynıdır.
- Bu uyum matrisle çökelti arayüzeyinde koherans gerilmelerine yol açarak dislokasyon hareketliliğini sınırlar ve sertleşme sağlarlar.
- Çökeltiiler büyüdükçe matrisle aralarındaki kristallografik uyum kaybolur ve ayrı bir faz yapısı oluştururlar.
- Gerilmeler azalır ve matris yumuşamaya başlar.

# Al-Mg-Si sisteminde çökeltme

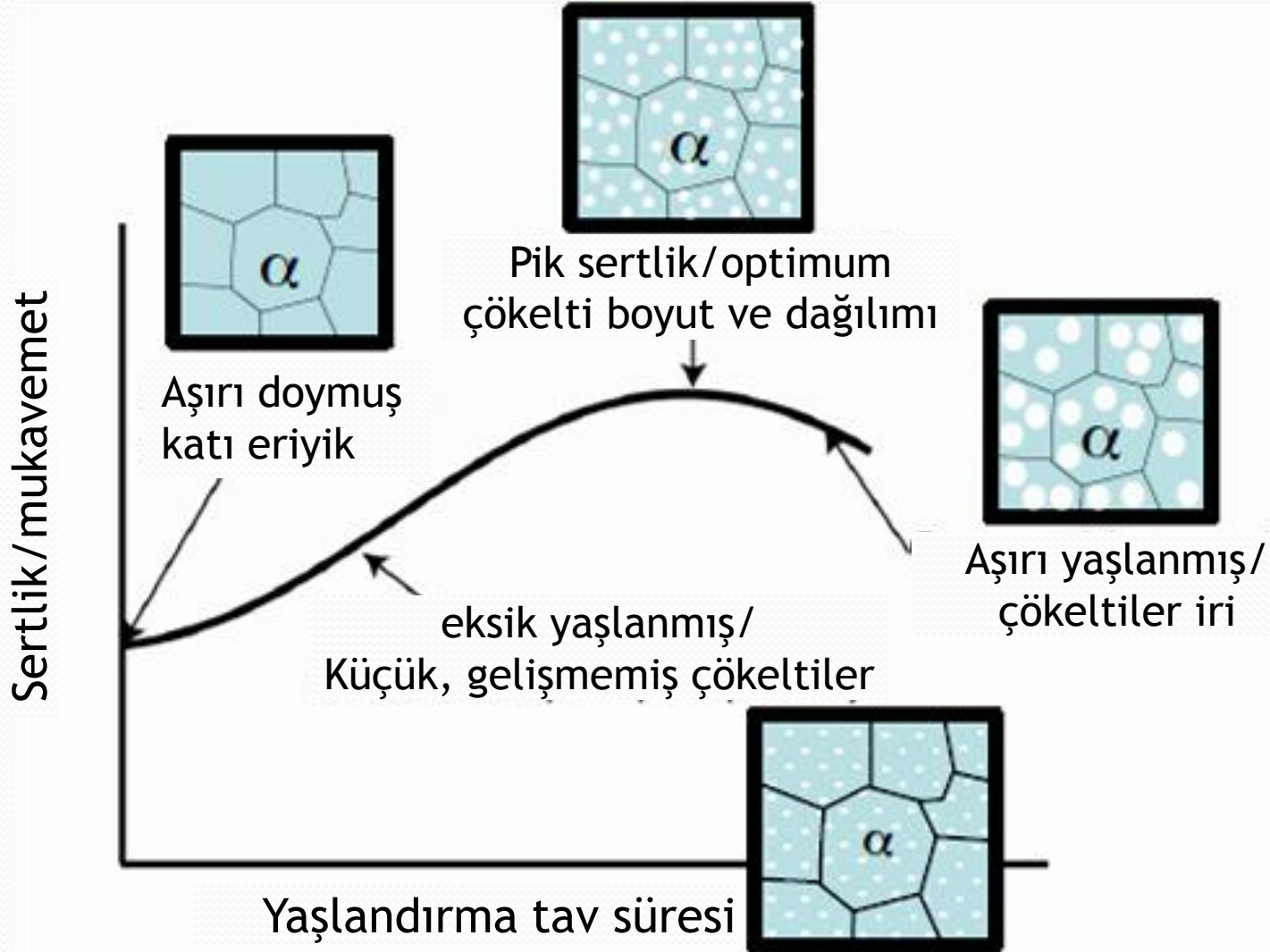


Denge yapısı:  $\alpha$  tane sınırlarında iri  $\beta$ - $Mg_2Si$  çöktelleri

# Al-Cu sisteminde çökeltme



# Al-Mg-Si/Al-Cu sisteminde çökeltme





# Al-Cu sisteminde çökeltme

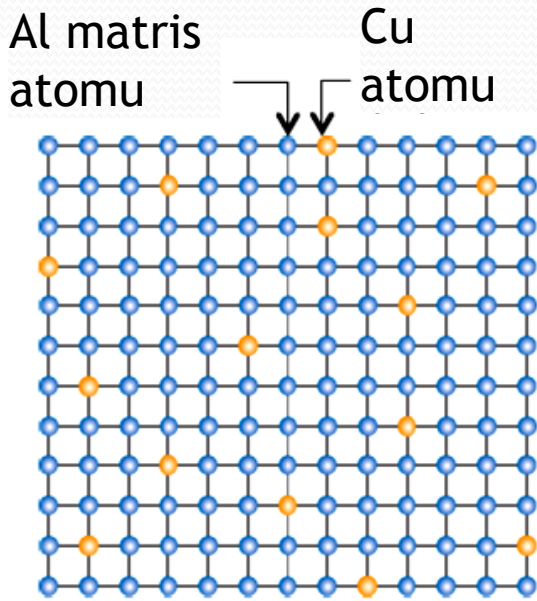
Aşırı doymuş  $\alpha$  katı eriyik matris fazı

GP1 zonları  $\rightarrow$  Cu'ca zengin zonlar

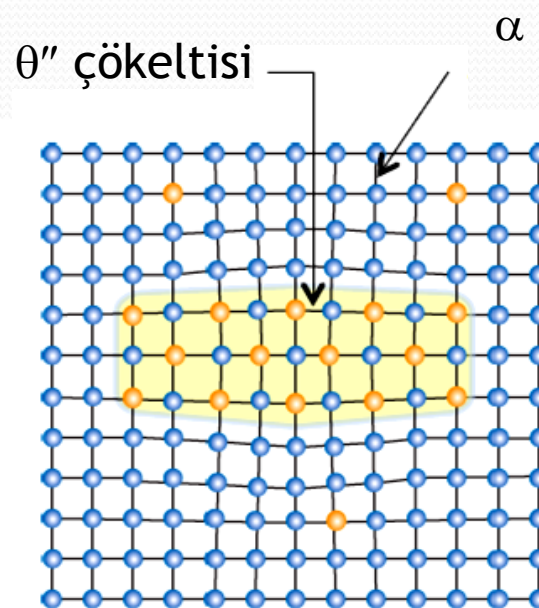
GP2 ( $\theta''$  çökeltileri) zonları: GP1 zonlarından daha büyük

$\theta'$  fazı: tetragonal kafes yapılı koheran olmayan çökeltiler

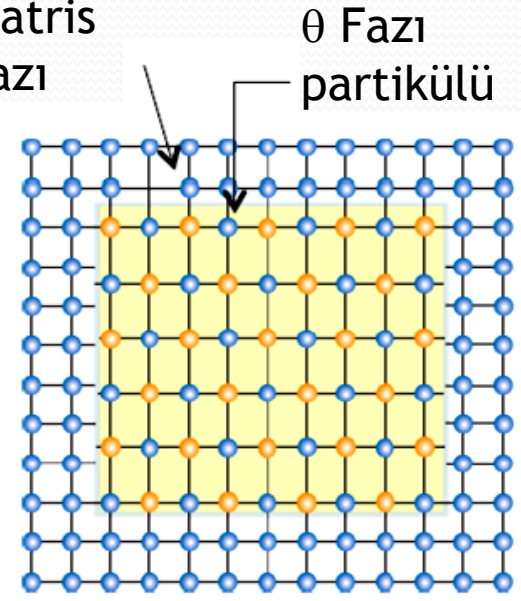
$\theta$  ( $\text{CuAl}_2$ ) fazı: denge fazı; HMT kafes yapılı koheran olmayan çökeltiler



Aşırı doymuş  $\alpha$  katı eriyiği

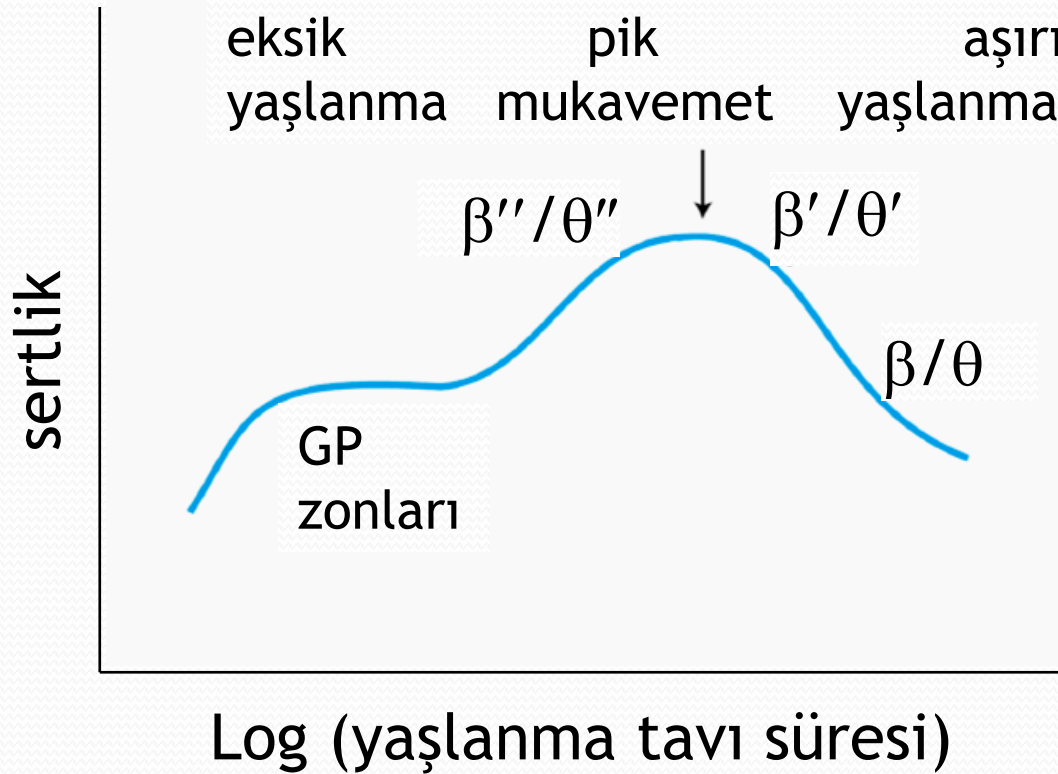


Geçiş/ $\theta''$  çökeltilisi



$\alpha$  Matris içinde denge  $\theta$  partikülü

# Yaşlanma-çökeltme sertleşmesi

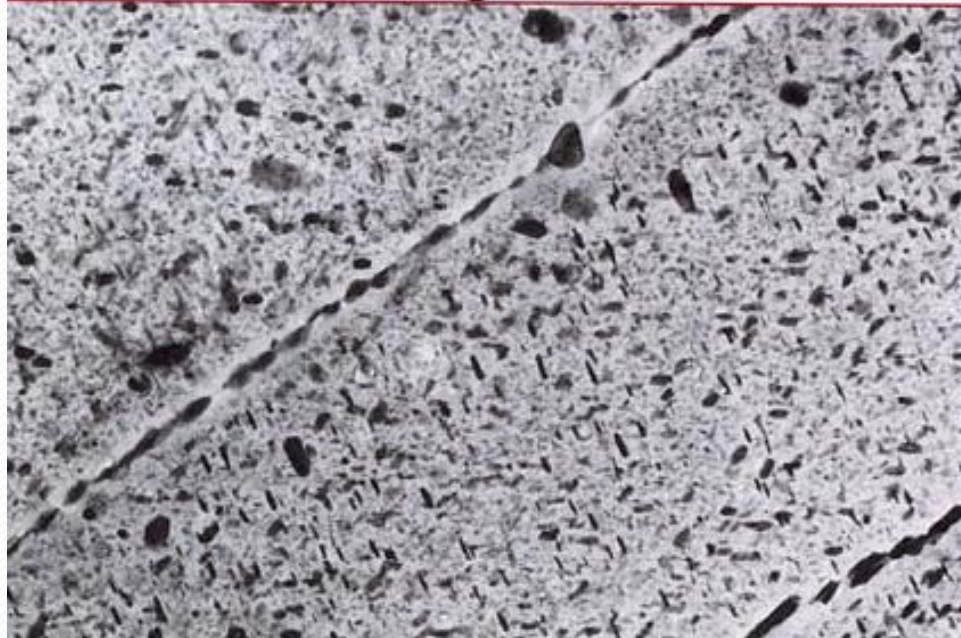


Alaşım çökeltiiler matrisle kristallografik uyumlu iken maksimum sertliğe erişir.

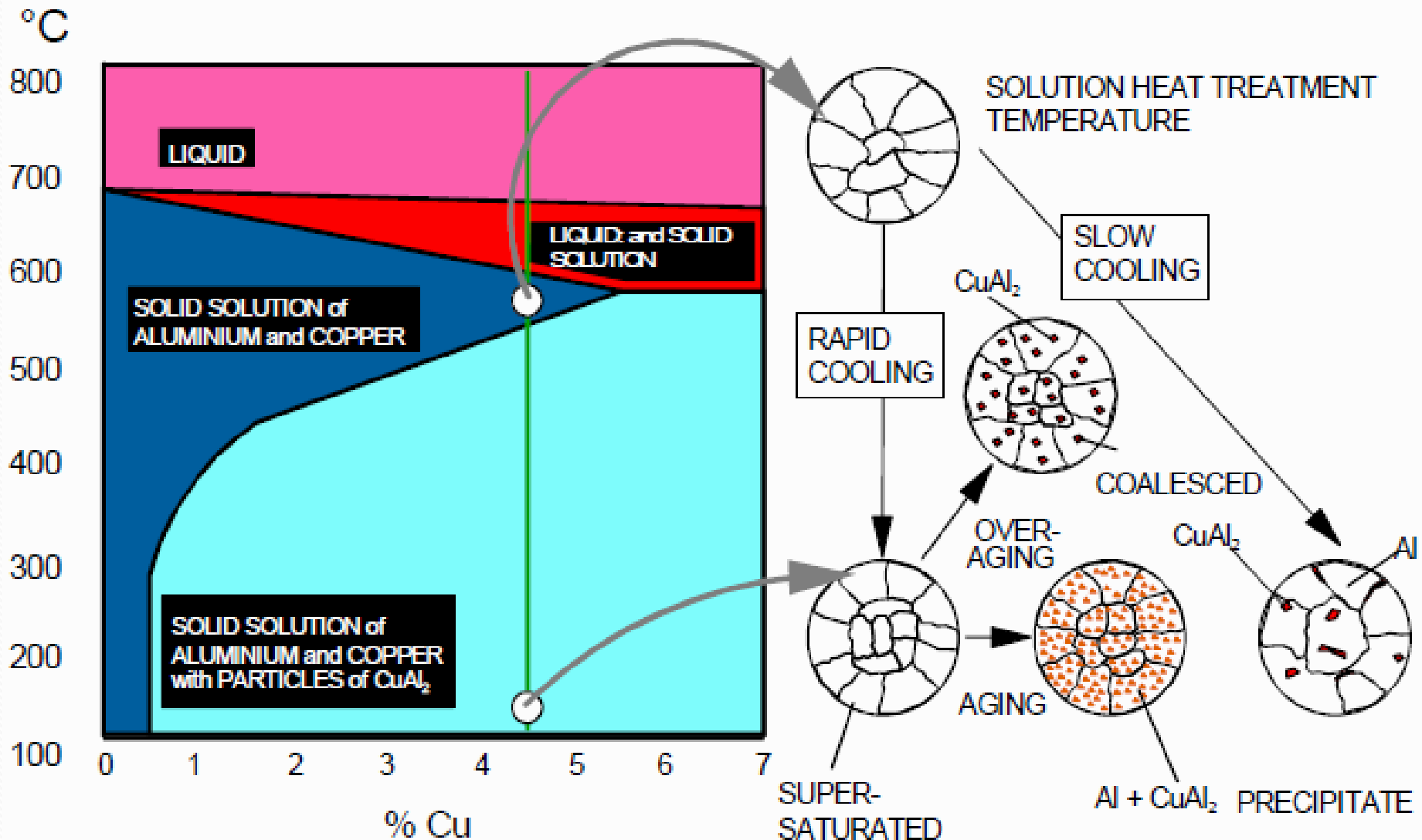
# Çökme sertleşmeli alaşımlar



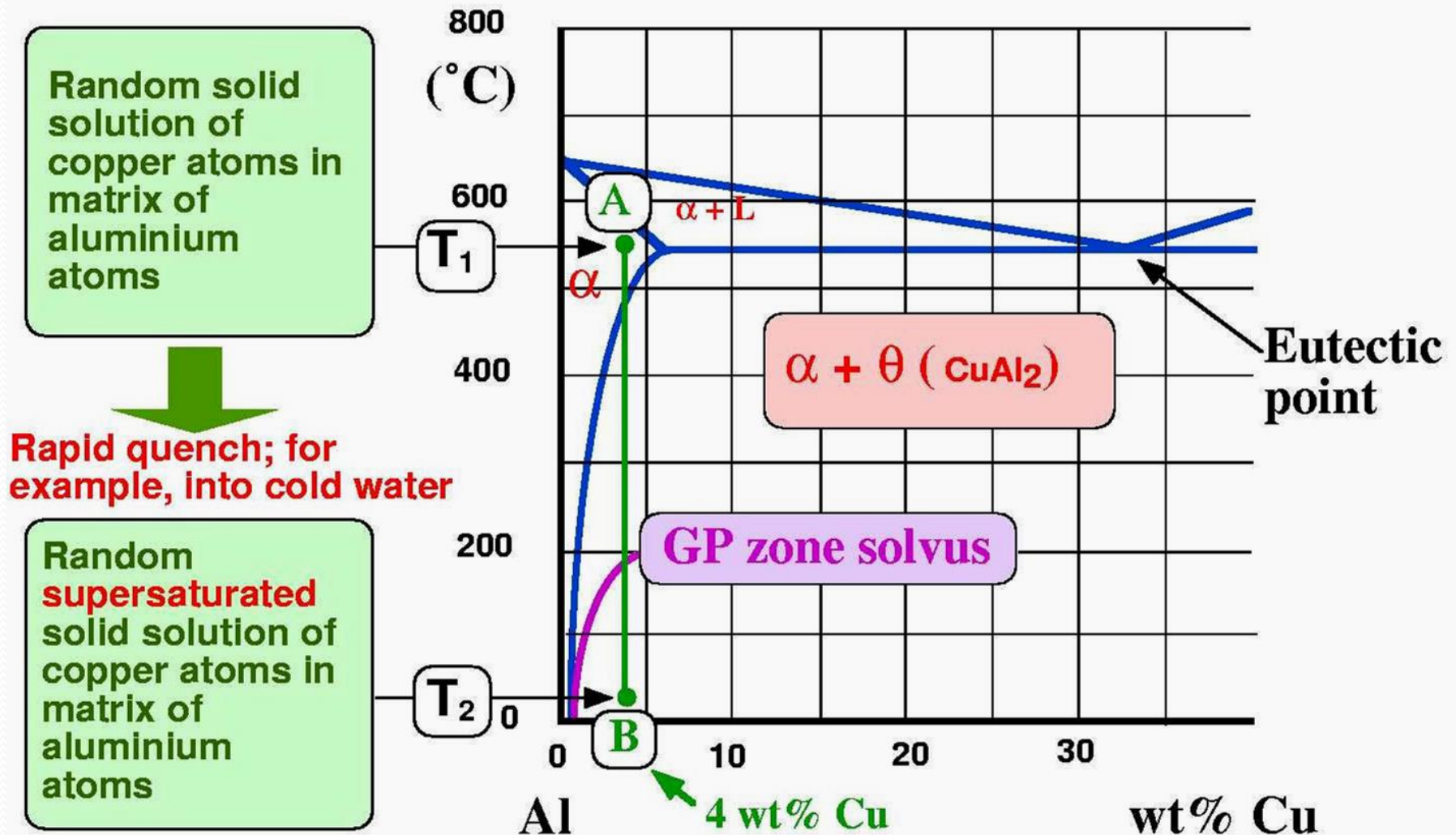
Boeing 767



# Çökeltme sertleşmesi Al-Cu

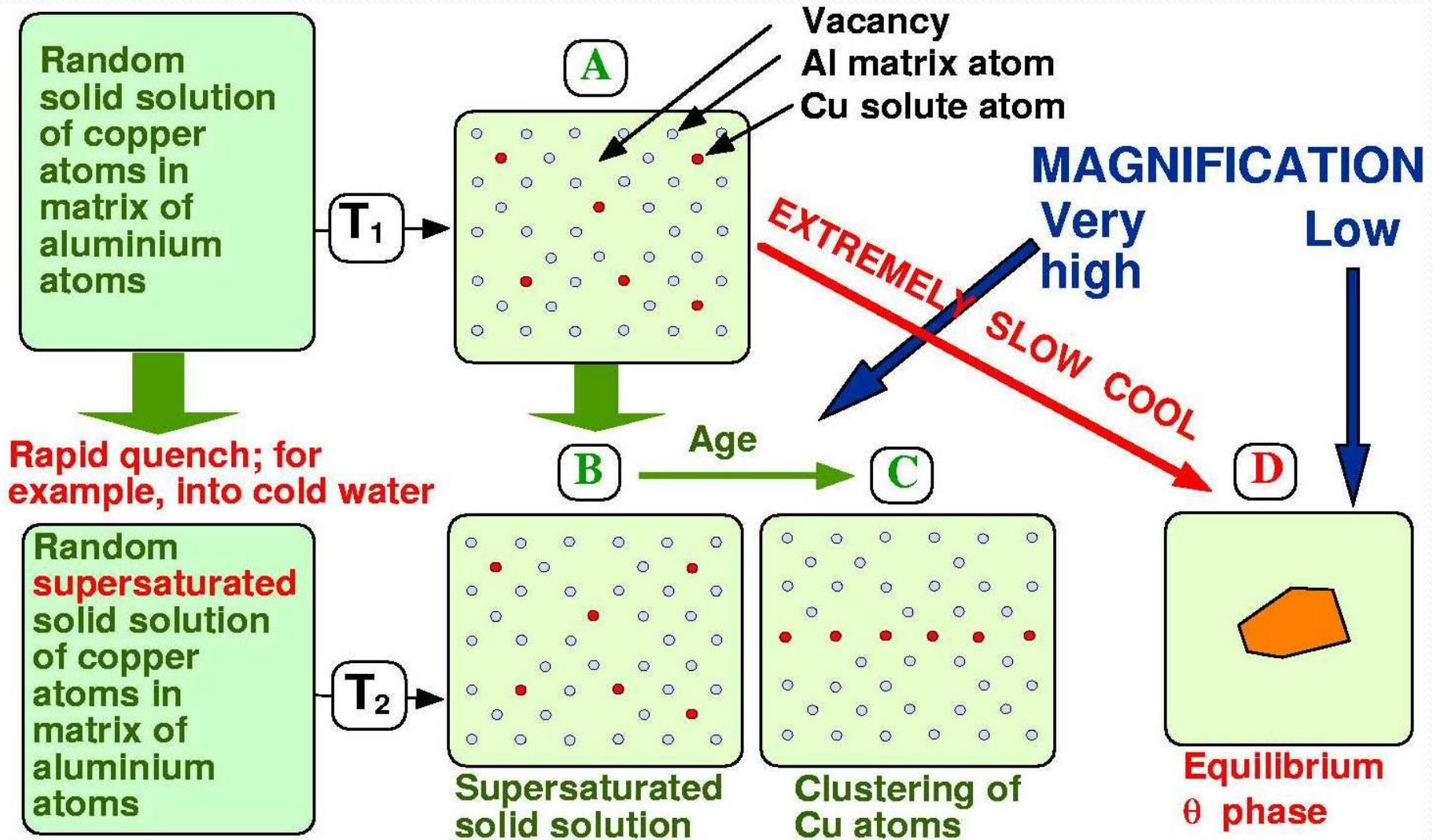


# Çökeltme / Al-Cu faz diyagramının Al ucu





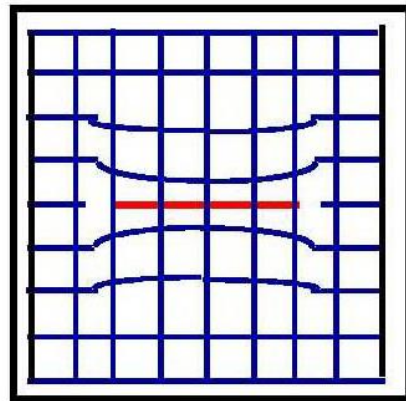
# çökeltme



# çökeltme

## DIAGRAMS OF GP ZONES

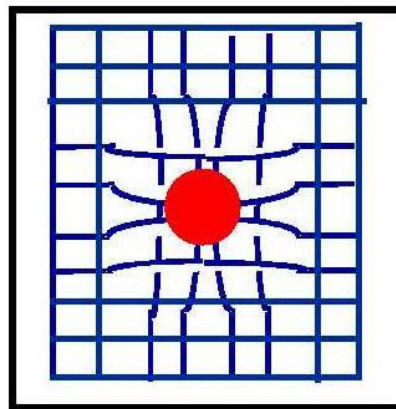
**Al - Cu**



**(a)**

**Platelet on (100)  
cube plane**

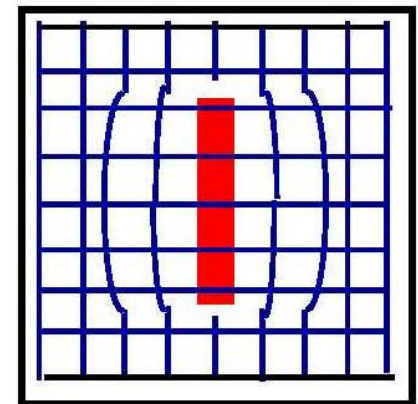
**Al - Zn**



**(b)**

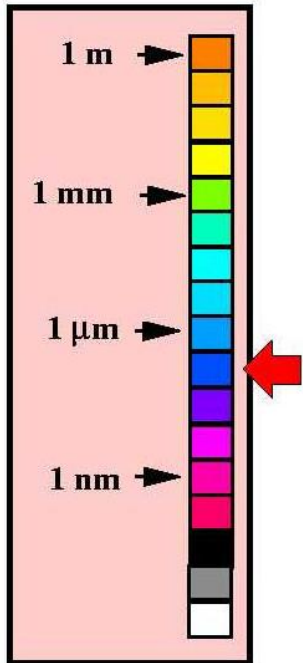
**Sphere**

**Al - Mg<sub>2</sub>Si**

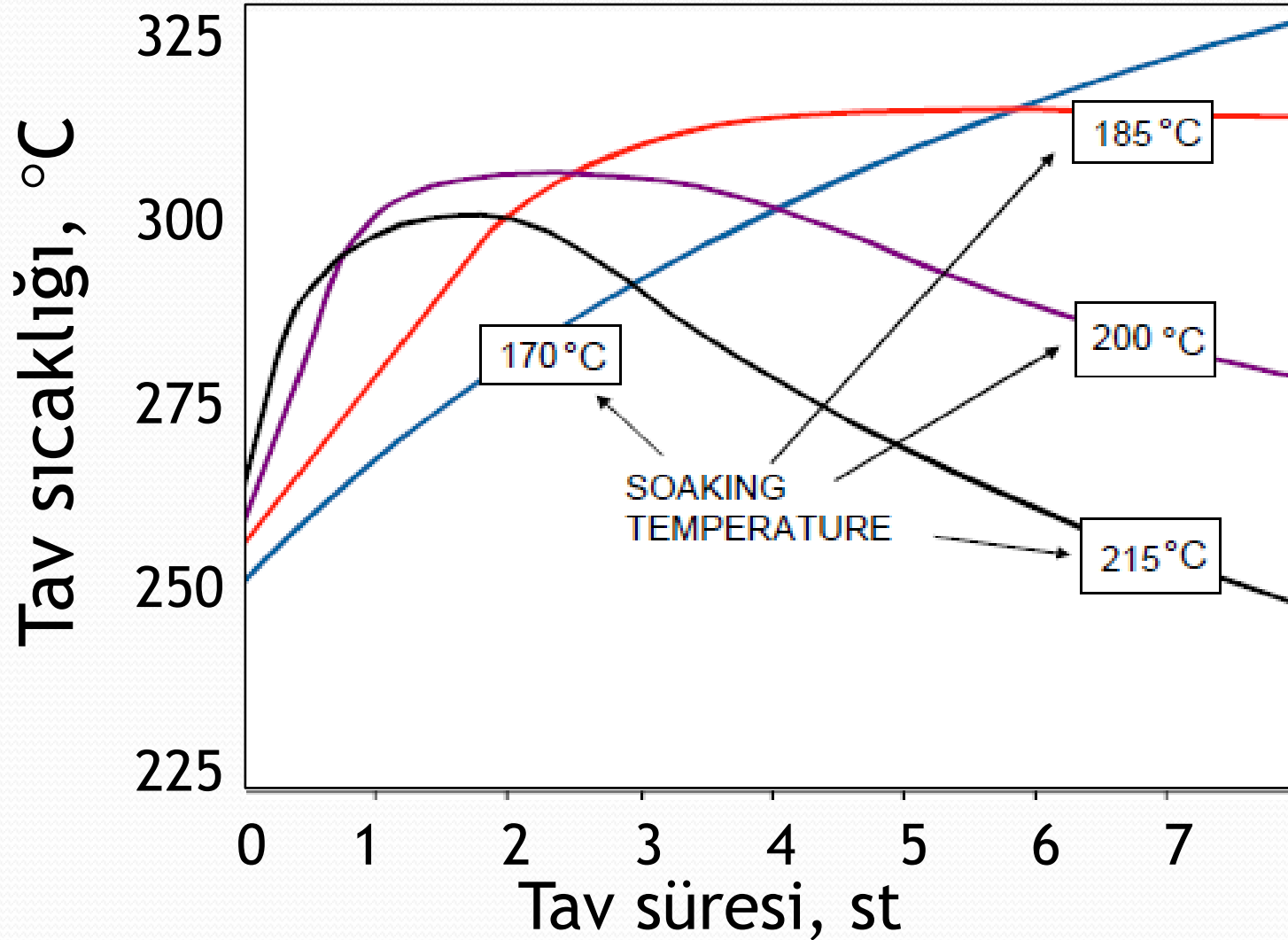


**(c)**

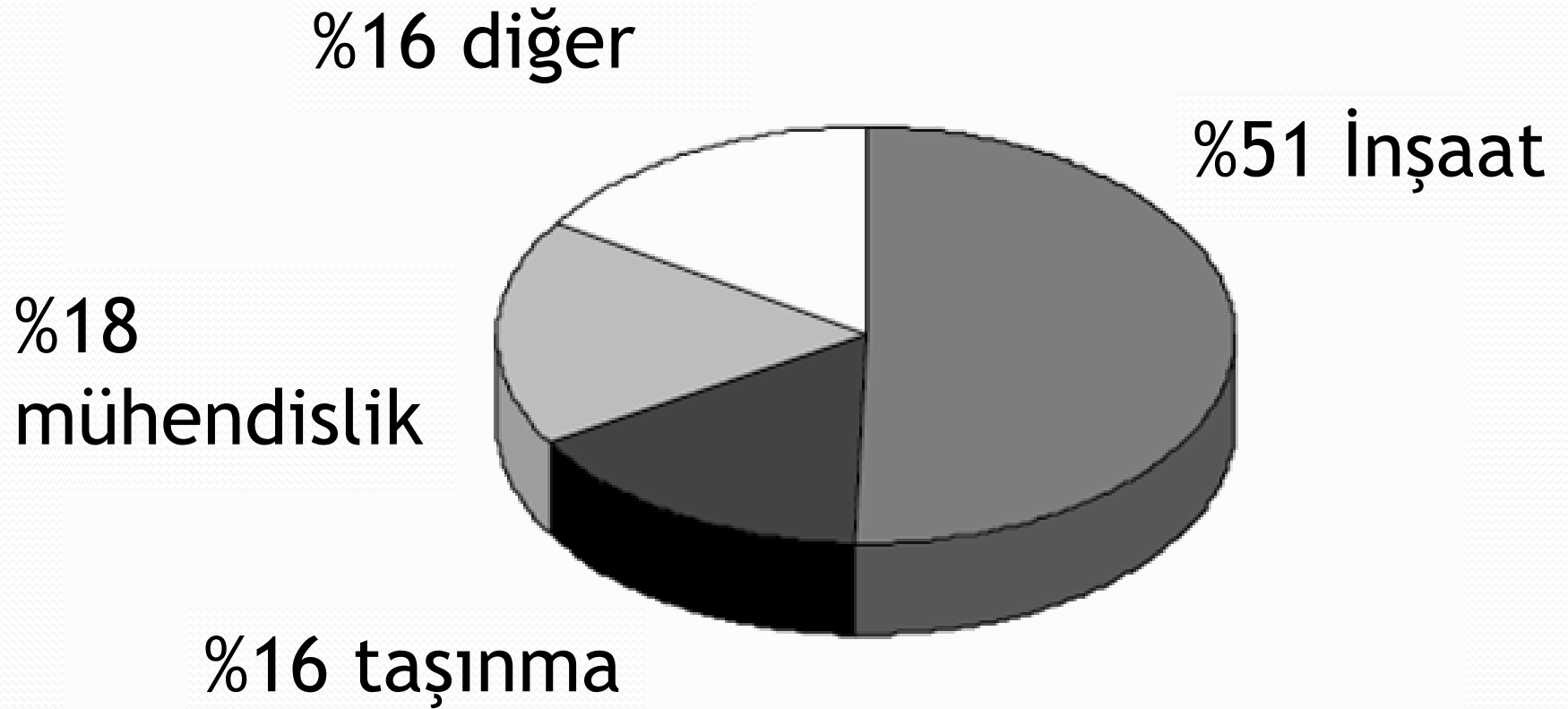
**Rod along [100]  
direction**



# Yaşlandırma tavi



# Extrüzyon profillerin uygulama alanları



# Temper tanımları

## **Isıl işlem uygulanabilen alaşımlar:**

Mekanik özellikler deformasyon sertleşmesinden sonra ısıl işlemle de geliştirilebilir.

Bu uygulama çökelme reaksiyonları yaşayan 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alaşımlar için mümkündür.

Farklı mikroyapılara ve çok değişik mekanik özelliklere yol açan farklı sıcaklık ve sürelerle gerçekleştirilen değişik ısıl işlemler ve bunların karşılığı olan temperler bulunur.



# Temper tanımları

**Isıl işleme sertleştirilemeyen alaşımlar:**

Bu alaşımlarda mekanik özellikler sıcak ve/veya soğuk şekillendirme süreçleri ile elde edilir.

Mukavemet deformasyon sertleşmesi ile ortaya çıkar.

Mekanik özellikler hadde gibi deformasyon süreçleri ve yumuşatma ve nihai tav gibi tav işlemleri ile ayarlanır.

Bu gruba dahil olan alaşımlar:

1xxx, 3xxx, 4xxx and 5xxx serileri.

# Temper tanımları

Alüminyum ürünler için 3 temel temper grubu vardır:

"O"

tam yumuşak (i.e. Tamamen tavlanmış)

"T"

ısıtıl işlemlili (i.e. Yaşlanma sertleşmesi uygulanan alaşımlar için)

"H"

deformasyonla sertleştirme (i.e. Çökelme sertleşmesi tecrübe etmeyen alaşımlar için)

# Temper tanımları

## T-temperleri

çökeltme sertleşmesi ile ciddi mukavemet artışı yaşayan ve çözeltiye alma tavı ve ardından yaşlandırma tavı uygulanan alaşımlar.

9 farklı temper arasında en önemlileri:

T3

T4

T5

T6 ve

T7

# Temper tanımları

T1

yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen şekillendirme operasyonundan soğutma + kararlı bir yapı için oda sıcaklığında bekletme / doğal yaşlanma

T2

yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen şekillendirme operasyonundan soğutma + soğuk deformasyon + kararlı bir yapı için oda sıcaklığında bekletme / doğal yaşlanma

# Temper tanımları

T3

Çözeltiye alma tavı + soğuk deformasyon + kararlı bir yapı için oda sıcaklığında bekletme / doğal yaşlanma

T4

Çözeltiye alma tavı + kararlı bir yapı için oda sıcaklığında bekletme / doğal yaşlanma

**T5**

**yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen şekillendirme operasyonundan soğutma + suni yaşlandırma**



# Temper tanımları

T6

Çözeltiye alma tavı + suni yaşlandırma

T7

Çözeltiye alma tavı + pik sertliğin ötesine suni yaşlandırma (mukavemeti düşürüp sünekliği arttırmak için!)

T8

Çözeltiye alma tavı + soğuk şekillendirme + suni yaşlandırma

T9

Çözeltiye alma + suni yaşlandırma + soğuk şekillendirme

# Alüminyum profiller



# Alüminyum profiller



# Ekstrüzyon parametreleri

faktör	mukavemet	yüzey	ölçüler	Ekstrüzyon hızı
Alaşım	yüksek	yüksek		yüksek
bilet		yüksek		yüksek
homojen	orta	yüksek		yüksek
soğutma	yüksek			yüksek
Ön ısıtma	yüksek			yüksek
ekstrüzyon		yüksek	Yüksek (kalıp)	yüksek
Su verme	orta		Yüksek (distor)	
gerdirme			yüksek	
yaşlandırma	yüksek			

# Alaşımların ekstrüzyon kabiliyetleri

Alaşım seviye

EC	150
1060	150
1100	150
1150	150
2011	15
2014	20
2024	15
3003	100
5052	80
5083	20
5086	25
5154	50
5254	50
5454	50
5456	20
6061	60

Alaşım seviye

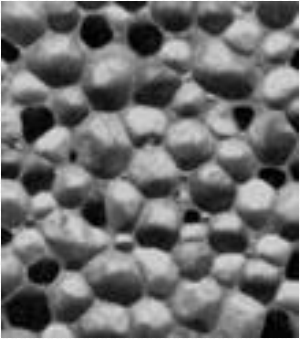
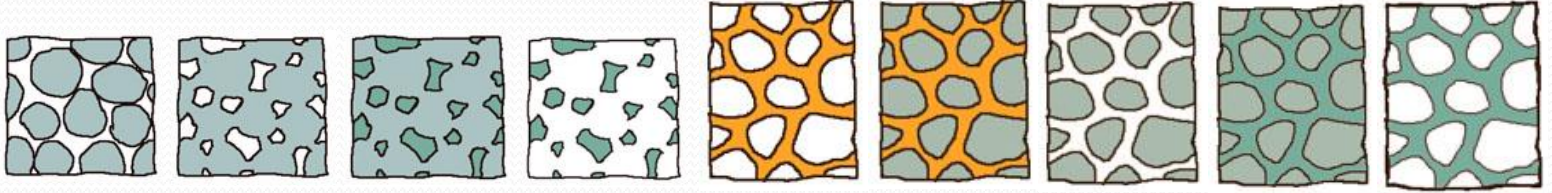
6063	100
6066	40
6101	100
6151	70
6253	80
6351	60
6463	100
6663	100
7001	7
7075	10
7079	10
7178	7



# Alüminyum köpükler



İnfiltrasyonla üretilen açık hücreli köpükler



Gaz besleme ile üretilen kapalı hücreli köpükler

**Cymat (Alcan) prosesi**

sürekli ve ucuz

6 cm slab

**Alporas process: TiH**

daha küçük gözenekler

homojen dağılım

daha pahalı ve şekilde sınırlı

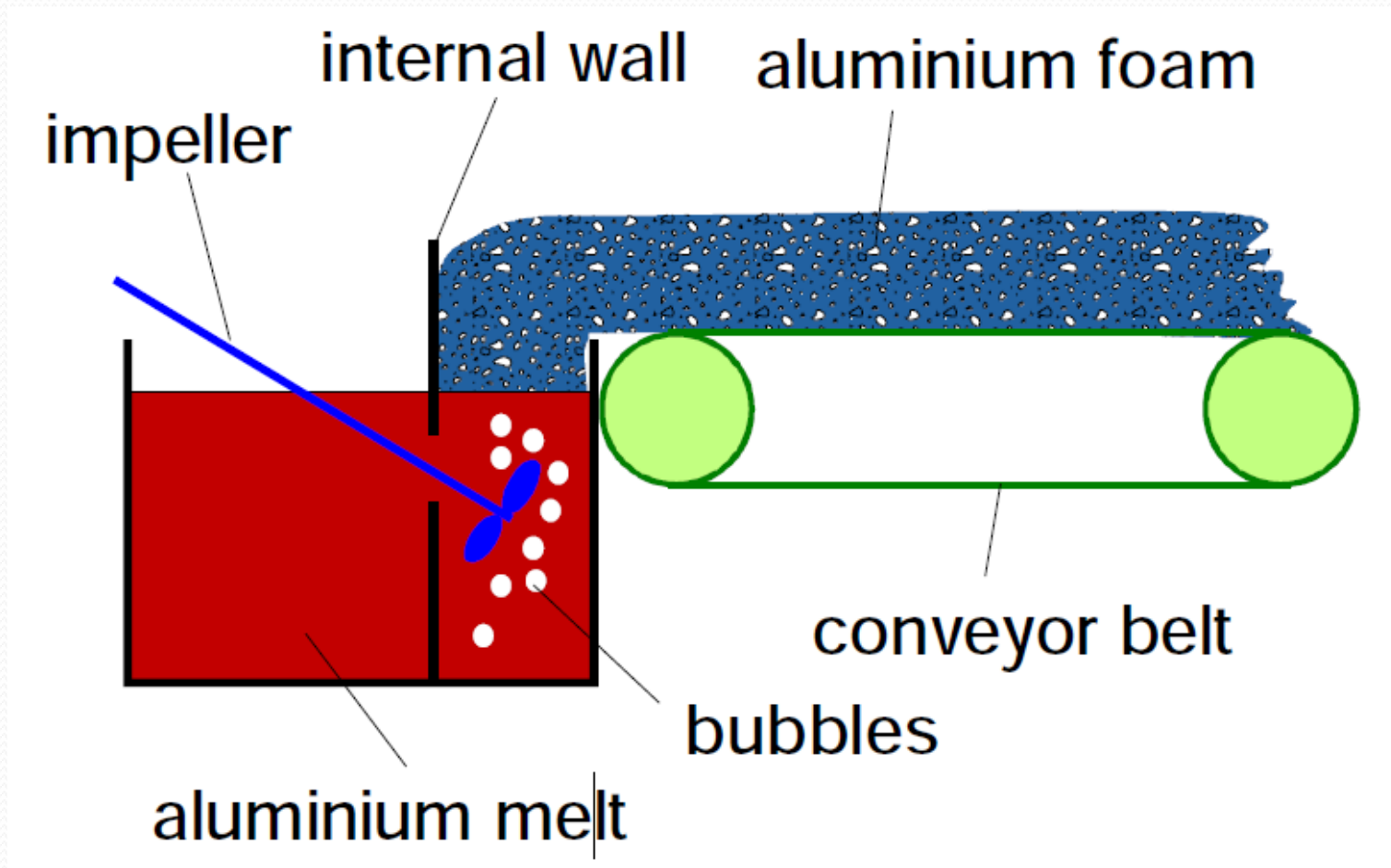


# Alüminyum köpükler

- Sıvı metale doğrudan gaz enjekte ederek köpük üretilebilir.
- Viskozitesini arttırmak için sıvı alaşıma ayrıca %10-15 kadar SiC veya  $Al_2O_3$  ilave edilir.
- Daha sonra sıvı alüminyuma döner bir besleyici ile hava, azot veya argon gibi bir gaz verilir.
- Elde edilen köpük sıvının üzerinden bir taşıyıcı ile sürekli olarak alınır.

# Alüminyum köpükler

Alcan/Norsk Hydro prosesi

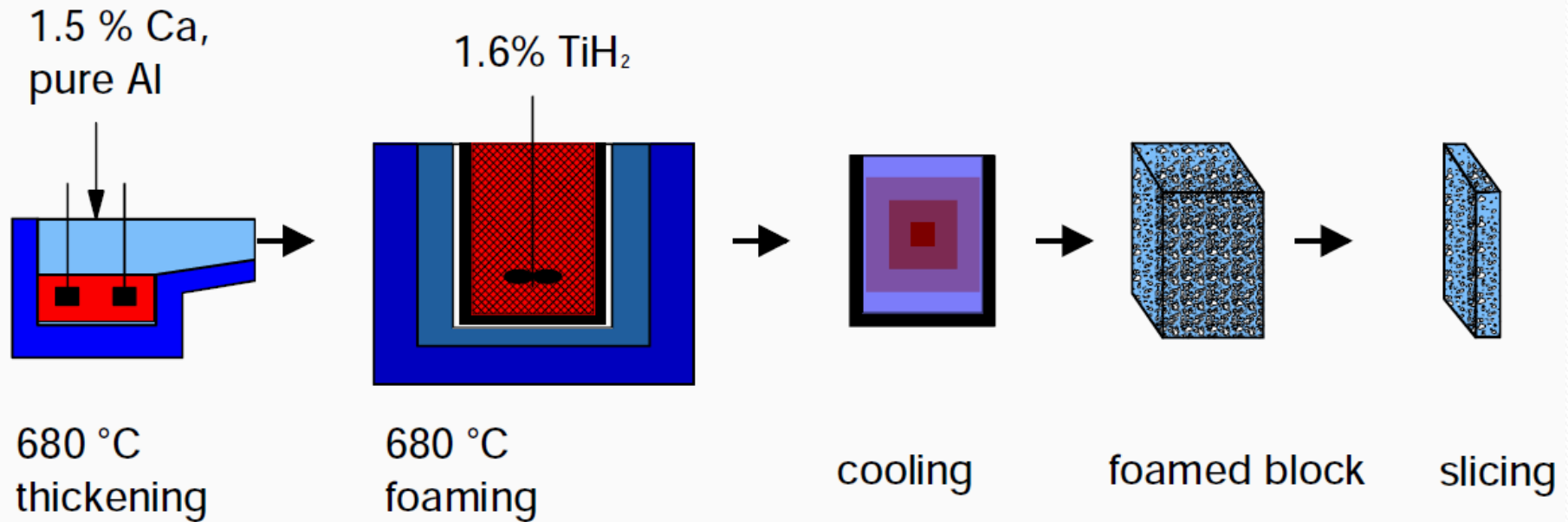


# Alüminyum köpükler

- viskoziteyi ayarlamak için alüminyuma 680° C'de %1.5 kadar Ca ilave edilir ve 6 dk süre ile karıştırılır.
- Kıvamı artan alüminyum bir kalıba dökülür ve köpürtücü  $TiH_2$  tozu ilave edilirken karıştırılır.
- Yeterli hidrür ilave edilmişse (%1.6 kadar) köpürtücü ısı etkisi altında ayrışır ve hidrojen açığa çıkar.
- Bu şekilde köpük genişler ve kalıbı 15 dk içinde doldurur.

# Alüminyum köpükler

## Alporas prosesi

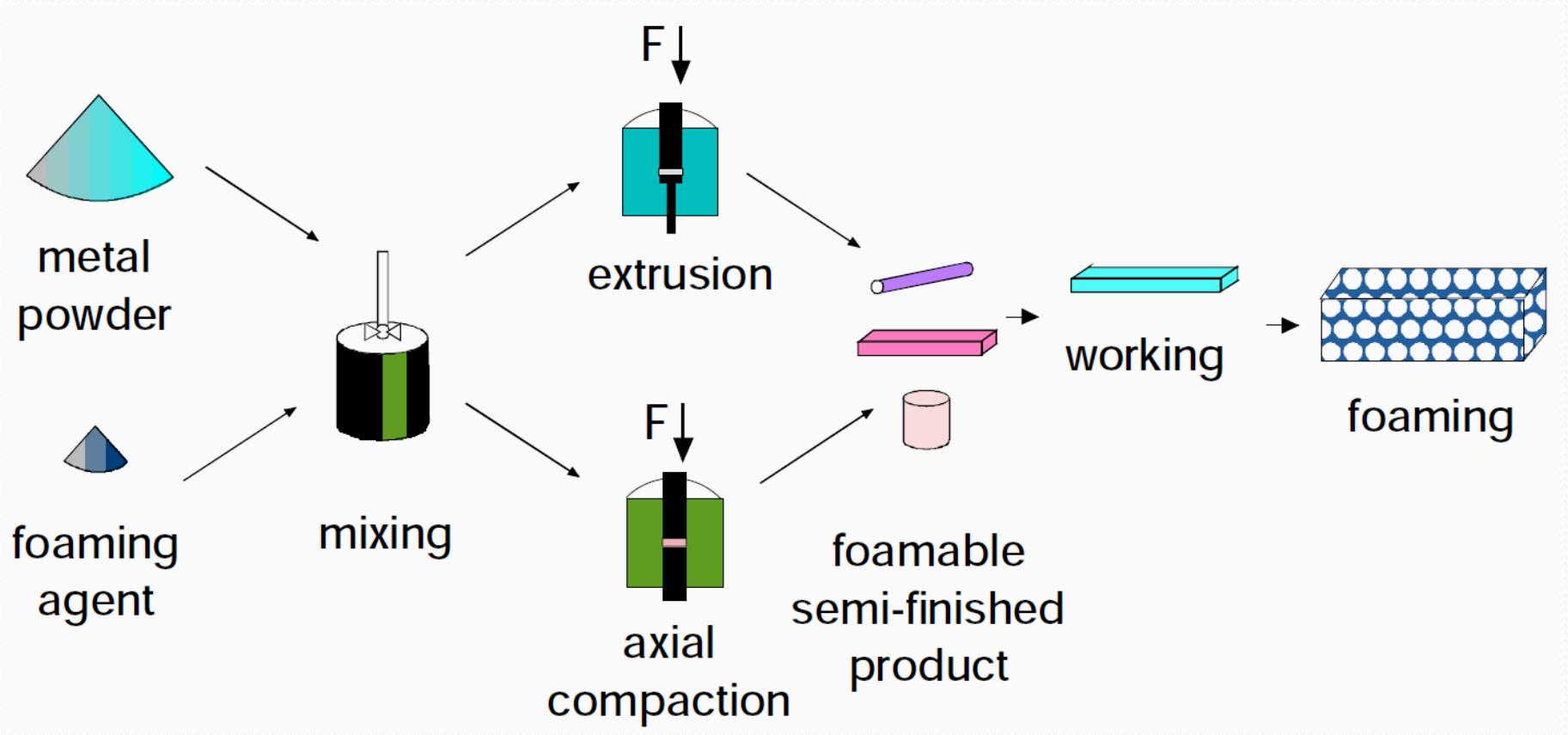




# Alüminyum köpükler

- Köpürtücülü proseslerde bir diğer yöntem metal tozları ile köpürtücünün karıştırılması ile başlar (%0.4-0.6  $TiH_2$ ).
- Köpük üretiminde kullanılan başlıca alaşımlar işlem alaşımlarından 1xxx (saf alüminyum), 2xxx (Al-Cu) ve 6xxx (Al-Mg-Si) ve döküm alaşımlarından AlSi7 ve AlSi12 alaşımlarıdır.
- Karışım yoğun bir tablet şeklinde preslenir.

# Alüminyum köpükler



# uygulamalar

## Yapısal paneller

çok yüksek spesifik mukavemet  
rijidlik

Sandviç paneller, boru ve profiller

## Darbe sönümleyiciler

Plastic deformation in walls at low, constant stress;  
isotropic

## Akustik paneller

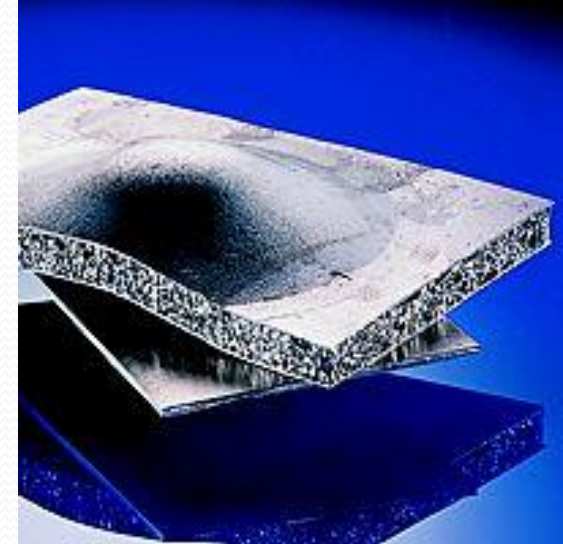
açık hücreli köpükler;

çok geniş yüzey alanı

Korozyona dayanıklı yüksek sıcaklık fitreleri

Isı değiştiriciler

Yangın korunma



# alüminyum toz

- **Metallik Pigmentler**

alüminyum toz metal kaplamaların, boyaların, mürekkeplerin, plastik ve tekstil ürünlerin cazibesini arttıran gümüş rengini elde etmek için kullanılır. Başlıca pazarlar, otomotiv, elektronik ve paketlemedir.

- **Kimyasallar**

Alcoa Aluminum Powder provides controlled reaction rates in chemical manufacturing of polyolefins, synthetic alcohols, and alüminyum esaslı kimyasalların üretiminde reaksiyon hızını kontrol etmek için kullanılır. Plastik, deodorant ve özel kimyasal sektörleri başlıca müşterilerdir.

- **Roket yakıtı**

- **Patlayıcı**

# alüminyum toz

- **Fotovoltaik kalın film macunları**

Solar hücrelerin üretiminde silisin arka yüzeyine macun olarak uygulanır ve daha sonra metalize hale getirilerek iletkenlik sağlanır

- alüminyum tozu Alüminotermik ve ekzotermik reaksiyonlarda **redüksiyon maddesi** ve ısı kaynağı ve ayrıca alaşımlama katkısı olarak metalurjide yaygındır.

- **Toz metalurjisi**

- Kaplama uygulamalarında, **termal sprej** uygulamalarında

- **Refrakterler**

çelik sanayinde karbon bazlı fırın astarlarında katkı maddesidir.

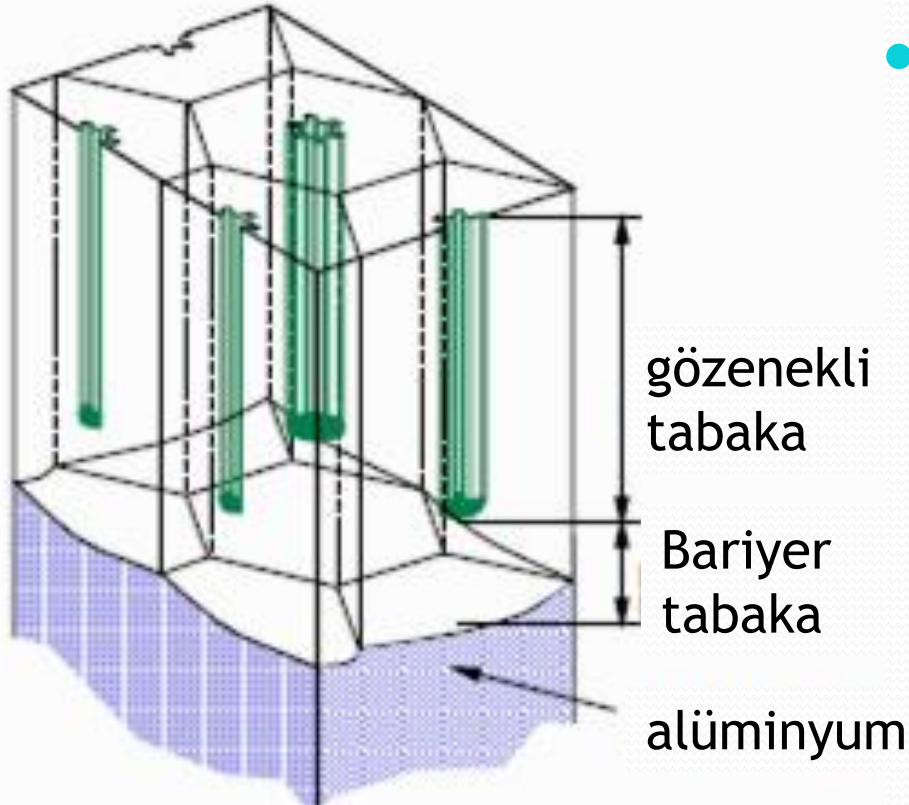


# Anodizasyon (Eloksal)

- Alüminyum alaşımları yüzeylerinde doğal olarak koruyucu oksit oluşabilen alaşımlardır.
- Anodizasyon işlemi ile bu koruyucu oksit tabakası büyütülerek (20-25 mikron) hem korozyona dayanıklı hem de dekoratif yüzeyler elde etmek mümkündür.
- Anodizasyon elektrokimyasal bir proses ile metallerin yüzeyinde kararlı oksit tabakaları üretme işlemidir. AC/DC veya AC+DC akım uygulanarak uygun bir çözelti içinde gözenekli veya bariyer tipi anodik kaplamalar oluşturulabilir.
- Anodik film oluşturmak için alüminyum parça anot ve uygun bir metal veya alaşım katot yapılır.

# Anodizasyon (Eloksal)

- Alüminyum alaşımları yüzeylerinde oluşan anodik oksit tabakası iki katmanlıdır: bariyer tabaka ve altıgen yapılu gözenekli tabaka



- Bu tabakaların kalınlık ve özellikleri:
  - Çözelti şartlarına (bileşim, sıcaklık vs.)
  - Akım şartlarına (DC veya AC, akım yoğunluğu vs.)
- Alüminyum alaşımına

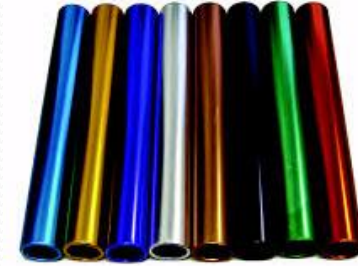
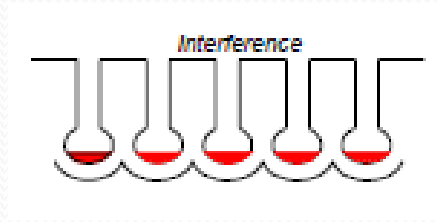
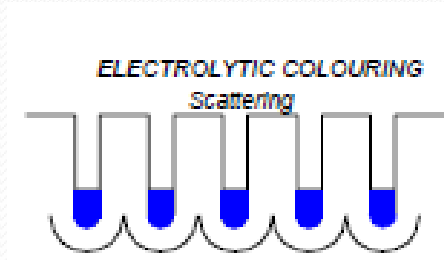
# Anodizasyon (Eloksal)

Altıgen yapılı gözenekli oksit tabakasının özellikleri:

- Saydam, kristalin bir yapısı vardır. Reflektör gibi ışık yansıtıcı yüzeyler için çok uygundur. Mimari uygulamalarda çerçeve vs. yaygın kullanılır.
- Korozyon direnci çok iyidir. Anodizasyon şartları ile kaplama kalınlığı, gözenek yapısı optimize edilerek ve sabitleme işlemi ile çeşitli korozif şartlara uygun yüzeyler elde edilebilir.
- Sertliği yüksektir, çizilmeye, aşınmaya dayanıklıdır.
- Elektrik ve ısıya yalıtıcıdır. Yüksek dielektrik sabiti nedeniyle elektrolitik kapasitör kullanımına çok uygundur.

# Anodizasyon (Eloksal)

- Dekoratifdir
  - Boya ile renklendirmeye elverişlidir, çok çeşitli renklere boyanabilir.



- Parlaklık, zımparalama , kumlama çeşitli ön yüzey işlemleri ile mat, parlak yüzeyler elde edilebilir.

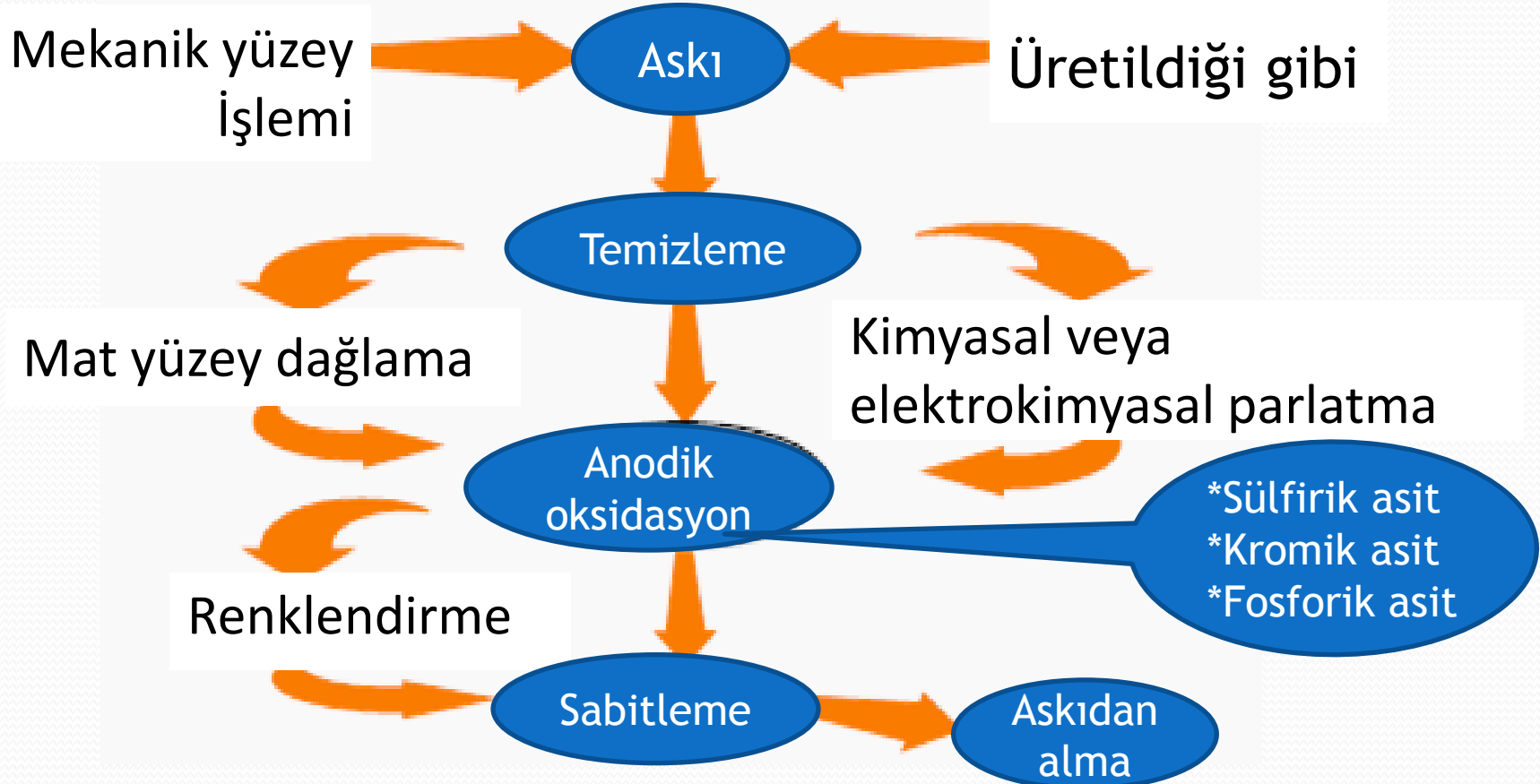
# Anodizasyon (Eloksal)

	Metal özelliği	Kaplama özelliği	Kullanım	Anodizasyon-
1XXX	Yumuşak iletken	Saydam parlak	teneke kutu mimari	1100 1175
2XXX	Yüksek mukavemet ve sertlik, düşük uzama	Sarı zayıf koruma	havacılık makina	2011/2017/ 2219/2224
3XXX	Mukavemetli ve ince taneli	Grimsi kahverengi	teneke kutu mimari aydınlatma	3003/3004
4XXX	Mukavemetli	Koyu gri	mimari aydınlatma	4043/4343
5XXX	Mukavemetli sünek	Saydam ve iyi koruma	mimari aydınlatma	5005/5657/ 5052/ 5252
6XXX	Mukavemetli sünek	Saydam ve iyi koruma	Mimari inşaat	6063/6463 6061/6101
7XXX	Yüksek mukavemet	Saydam ve iyi koruma	otomotiv	7029/7046/ 7075



# Anodizasyon (Eloksal)

- Anodizasyon işlem adımları



# Eloksal işlem süreci



# Anodizasyon işlem adımları

**Ön işlemler-hazırlık:** Temizleme yaklaşık 60°C'ye ısıtılmış dağlayıcı olmayan alkali bir deterjan ile yapılır. Bu işlem yüzey kirlerini, kalıntıları ve yağları temizler.

**Durulama:** Her temizlik adımından sonra durulama yapılır. Bazı işletmelerde bu aşamada deiyonize su kullanılır.

**Dağlama (kimyasal traşlama) Etching (Chemical Milling):** Kostik sodada (NaOH) dağlama işlemi alüminyum yüzeyinden kimyasal olarak ince bir tabaka kaldırarak (çözerek) anodizasyon aşamasına hazırlar. Bu alkali banyo alüminyum yüzeyine en mat bir görüntü kazandırır.

**Desmutlama:**

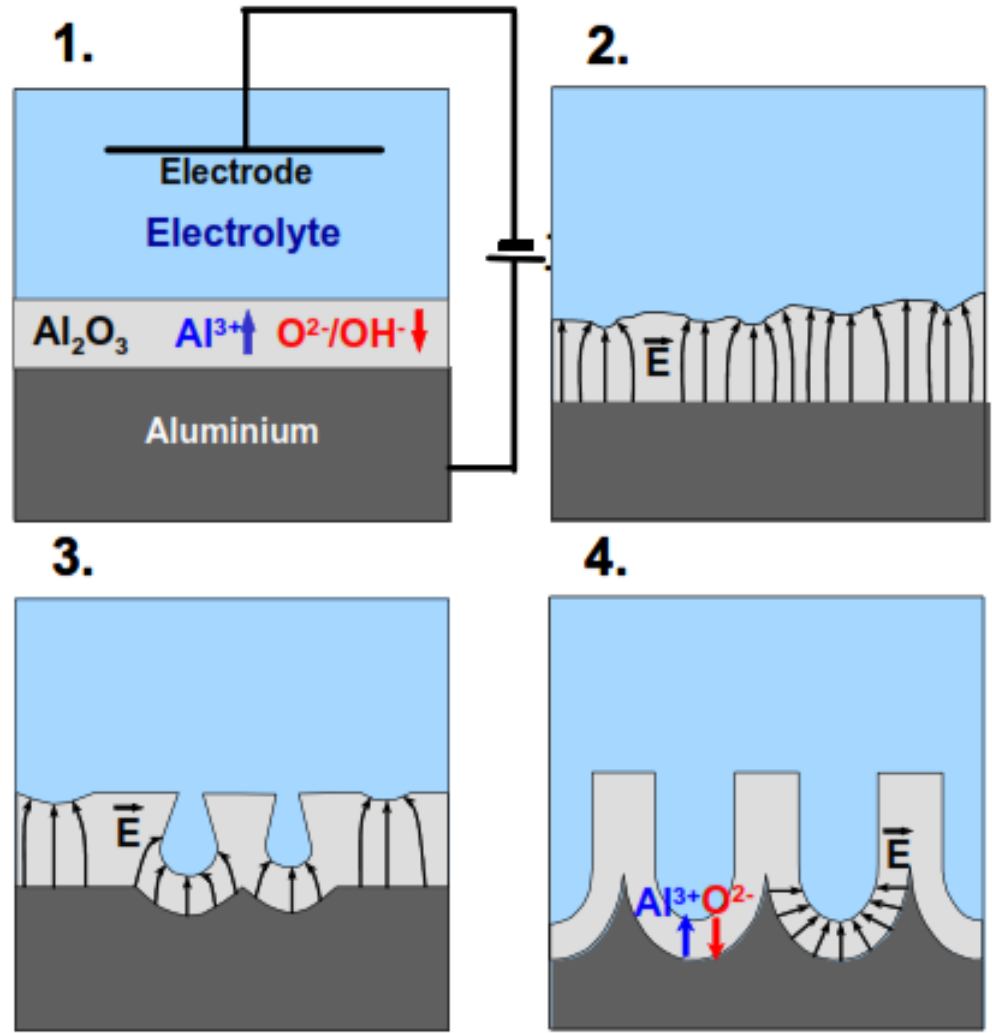
Asidik bir çözeltide durulama işlemi dağlama işleminde giderilemeyen ve yüzeyde istenmeyen partikülleri giderir.

# Anodizasyon (Eloksal)

## Anodizasyon:

Alüminyum profiller %15 sülfürik asit çözeltisine daldırılır. Alüminyumun kendisi anot, çözelti tankı katot yapılarak çözeltiden elektrik akımı geçirilir.

Uygulanan gerilim negatif yüklü iyonları anoda taşır ve anyonlardaki oksijen alüminyumla birleşerek oksit ( $Al_2O_3$ ) yapar.



# Anodizasyon (Eloksal)

## Alüminyum için anodizasyon çözeltileri

Gözenekli  
kaplamalar

Sülfirik asit  
Okzalik asit  
Sülfo-organik asit

DEKORATİF VE KORUYUCU AMAÇLI  
UYGULAMALARDA

Bariyer tipi  
kaplamalar

Kromik asit  
Fosforik asit

ÖN YÜZEY İŞLEMLERİ  
UYGULAMALARINDA

Sitrik asit  
Borik asit

ELEKTROLİTİK KAPASİTÖRLER İÇİN  
BARIYER TABAKASI  
ANODİZASYONUNDA



# Anodizasyon (Eloksal)

## **Renklendirme:**

Alüminyum oksit filmleri değişik renklendirme işlemi için uygundur. Organik ve inorganik boyayıcılar, elektrolitik renklendirme uygulanabilir.

## **Sabitleme (Kapatma):**

Tüm anodizasyon işlemlerinde poröz oksit tabakasının kaplamanın yeterli performans göstermesi için gerekli bir işlemdir. Arzu edilen korozyon ve lekelenme dayanıklılığının sağlanması için gözeneklerin kapanması kritiktir. Bu kimyasal banyolarda hidrotermal bir işlemle veya gözenek uçlarında metal tuzlarının çöktürülmesi ile gerçekleştirilir.

# Anodizasyon (Eloksal)

- Tipik bir alüminyum profil anodizasyon hattı



Askılama



Banyolar



Sabitleme

Yağ alma, durulama, Kostikleme, Eloksal, Durulama , Boyama

# Alüminyum ve alaşımları: korozyonu

- Alüminyum ve alaşımları yüzeyinde pek çok ortamda kendiliğinden oluşan kararlı ve koruyucu oksit tabakası vardır.
- Bu koruyucu tabaka sayesinde pek çok ortamda çok iyi bir korozyon direncine ve oldukça düşük bir korozyon hızına sahiptir.
- Yüksek korozyon direnci nedeniyle deniz atmosferlerinde kullanılan çeşitli makinalarda alüminyum ve alaşımları tercih edilir.



# Genel korozyon

- Alüminyumun çeşitli atmosferlerdeki korozyon hızı ve korozyona dirençli diğer ticari metallerle karşılaştırıldığında paslanmaz çelikten sonra en iyi korozyon direnci verdiği görülür.

Ortam / Genel korozyon Hızı ( $\mu\text{m}/\text{yıl}$ )	Cu	Al	SS (316)	C çeliği
Kırsal ortamlar	0.5	0.025	0.0025	5.8
Şehir atmosferleri	0.8	0.432	0.0076	34.0
Endüstriyel atmosferler	1.0	0.686	0.0051	46.2

# Alüminyum alaşımlarında korozyon

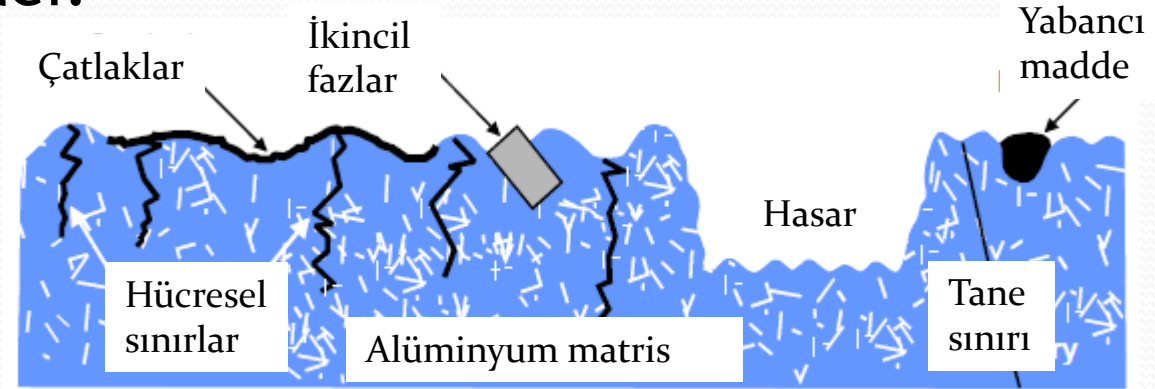
Korozyon direnci yüksek olmasına rağmen alüminyum ve alaşımları bazı koşullarda korozyona uğrar. En tipik korozyon oluşumları

- Genel korozyon
- Bölgesel korozyon
  - Oyuklanma (pitting)
  - Aralık korozyonu (crevice corrosion)
  - Filiform korozyon
  - Tanelerarası korozyon (intergranular corrosion)
  - Yapraklaşma korozyonu (exfoliation corrosion)
  - Galvanik korozyon



# Alüminyum alaşımlarında Korozyon

- Yüzeydeki oksit tabakası kusursuz değildir. İkincil fazlar, çatlaklar, hasarlı bölgeler, yabancı maddeler, tane sınırları korozyon açısından aktif bölgelerdir. Korozif bir ortamda bu kusurlu bölgelerden korozyon başlar ve ilerler.

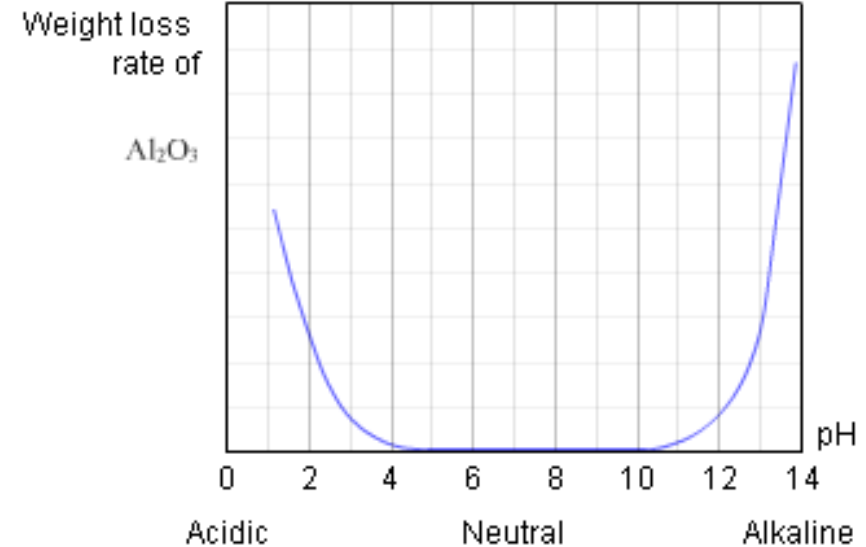


- Bu tip yüzey kusurları özellikler  $\text{Cl}^-$  (klorür) iyonları gibi saldırgan iyonların bulunduğu ortamlarda korozyon başlangıç noktalarını oluşturur.

# Genel korozyon

- Alüminyumun korozyonu ortamın pH'sından etkilenir. pH değeri 4 ve 10 arasında yüzeydeki  $Al_2O_3$  tabakası son derece kararlı iken **düşük ve yüksek pH değerlerinde hızla korozyona uğrar.**
- Bu nedenle ıslak çimento, klorik veya sülfürik asit gibi **kuvvetli asitler, alkali deterjanlar, klor/klorür gibi asidik veya alkali ortamlarla** temas etmesi halinde oksit tabakası çözünerek korozyona uğrar.

Bu ortamların sıcaklığının artması korozyon hızını arttırır.



# Genel korozyon

- Alüminyum alaşımlarının korozyon direnci bileşime göre farklılık gösterir.

## İşlem alaşımları

High purity aluminium

Pure aluminium

AlMn

AlMg

AlMgMn

AlMgSi

AlZn / AlZnMg

AlZnMgCu

AlCu

AlCuMg

## Döküm alaşımları

Pure aluminium

AlMg(Si)

AlSiMg

AlSi

AlSi(Cu)

AlZnMg

AlCu

AlCuMg

Azalan korozyon direnci

# Bölgesel korozyon

- Bu tip bölgesel korozyonda matrise göre anodik veya katodik intermetalik partiküller önemli rol oynar. Alüminyum alaşımlarının mikroyapısında oluşan çeşitli partiküller ya etrafını çözerek ya da kendileri çözünerek bölgesel korozyona neden olur.
- Matrise göre katodik olan yani matrisi çözen partiküllere örnek:  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{Cu}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ti}$ ,
- Matrise göre anodik olan yani kendisi çözünen partiküllere örnek:  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ ,  $\text{MgZn}_2$

# Bölgesel korozyon

Alloying element	Intermetallic phase	Potential (V)	Behaviour relative to the Al matrix
Mg	$Mg_5Al_8$ ( $\beta$ - $Mg_2Al_3$ )	-1.24	anodic
Mg + Zn	$MgZn_2$	-1.05	anodic
Mn	$MnAl_6$	-0.85	~neutral
Mg + Si	$Mg_2Si$	-0.83	~neutral
Cu	$CuAl_2$	-0.73	cathodic
Fe	$FeAl_3$	-0.56	cathodic
Ni	$NiAl_3$	-0.52	cathodic
Si	Si	-0.26	cathodic
-	Al 99.95	-0.85	-



# Bölgesel korozyon

## Aralık korozyonu

Nemli koşullarda oluşan su lekesi



Kısmi temasta alüminyum sac veya parçalar

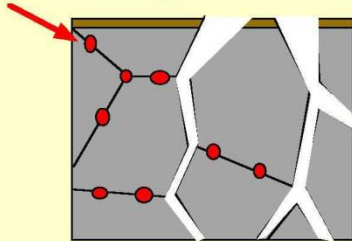


Doğal oksit filmi su, örneğin yağmur veya yoğunlaşma suyu ile paslanır

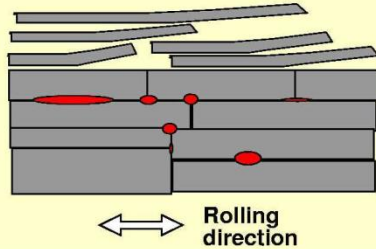
## Tanelerarası/yapraklaşma korozyonu

Grain boundary inclusions / precipitates

Intergranuar attack



Exfoliation



Örnekler:

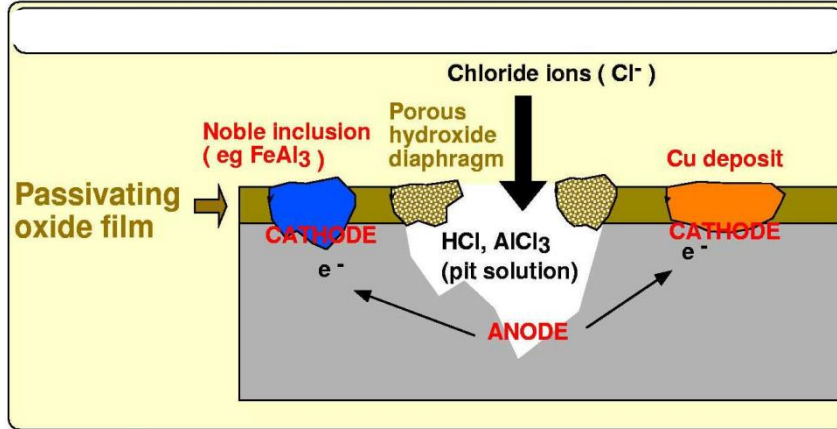
- Al sac rulolarının paketlenmesi sırasında nem vs arada kalmışsa bu tip korozyon meydana gelir.
- Plastik contalar veya birleştirmelerde aralık oluşmuş ise

Örnekler:

- Bu tip bölgesel korozyon ısıtılabilir alaşımlarda tane sınırlarına çökelen inklüzyon veya fazların karakterine bağlı olarak meydana gelir.
- 2xxx, 5xxx ve 7xxx alaşımlarında önemlidir

# Bölgesel korozyon

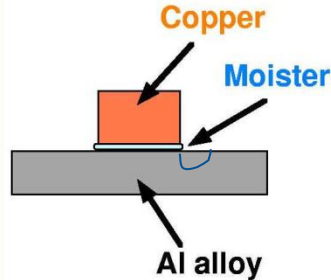
## Oyuklanma korozyonu



- Alüminyum alaşımları Cl<sup>-</sup> (klorür,) I<sup>-</sup> (iyodür) gibi iyonlar içeren ortamlarda (örn. deniz ortamları) oyuklanma korozyonuna hassastır.
- Yüzeydeki pasif tabaka bölgesel olarak çözünür ve oyuklanma meydana gelir

## Galvanic corrosion.

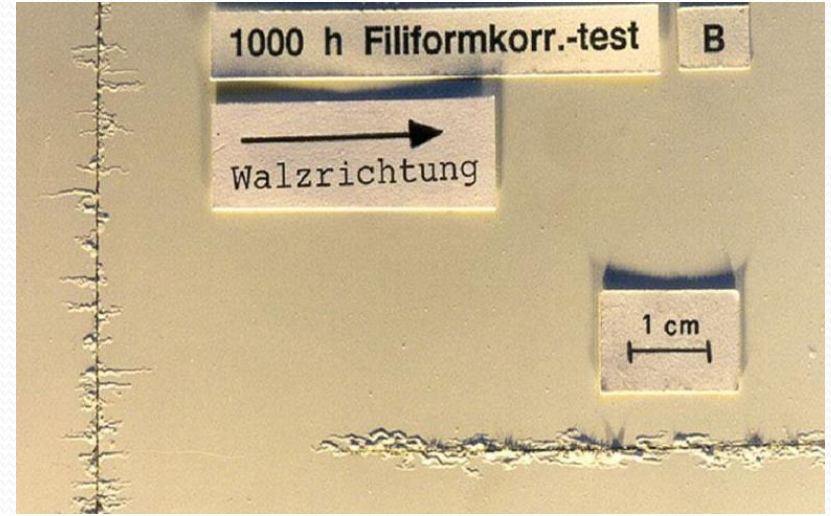
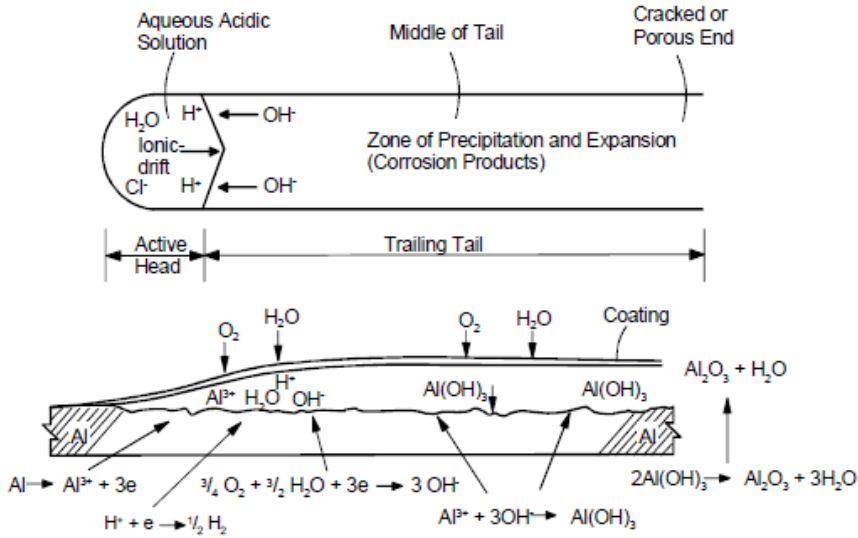
Galvanik korozyon alüminyum alaşımları çelik, bakır gibi kendisinden daha asil bir Nemli ortamlarda eşleştiği zaman alüminyum korozyona uğraması ile oluşur



- Al alaşımları bakır, çelik, nikel, paslanmaz çelik gibi alaşımlarla eşleştiğinde dikkat edilmesi gerekir.

# Bölgesel korozyon

## Filiform korozyonu



Filiform veya kurtçuk korozyonu organik kaplamalı alüminyum alaşımlarının nemli ve korozif ortamlara maruz kalması sonucu boya altında meydana gelir.

Otomotiv, mimari ve kaplamalı folyolarda önemlidir.



# Alüminyumun geri kazanımı





# metalik malzemeler

## 27.11.2014





# tarihçe

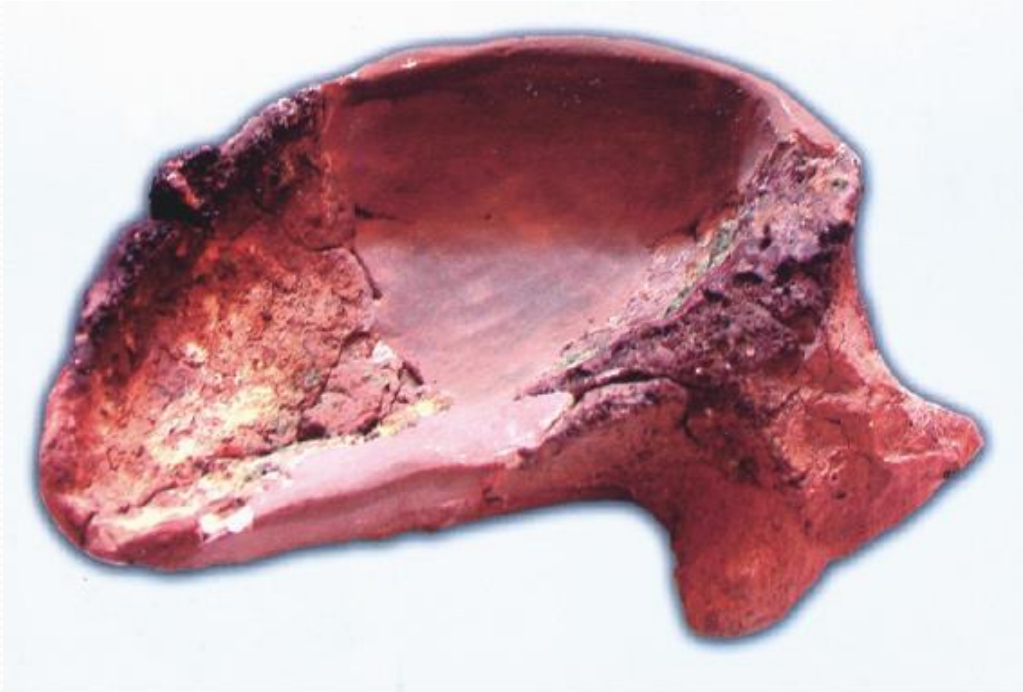
- bakırın en eski kalıntılarına Konya yakınlarındaki Çatalhöyük'de rastlanmıştır. Bunlar günümüzden 9000 yıl öncesine (MÖ 7000) aittir.
- Anadolu'dan daha sonra Mısır, Mezopotamya, Hindistan, İspanya ve Çin bakırı erken tanıyan (MÖ. 4000-2500) ülkeler arasında yer almışlardır.
- Ülkemizde Ergani yöresinde yer alan bakır yatakları M.Ö. 2000'den itibaren önce Asurlular, daha sonra Romalılar ve Osmanlılar tarafından 1915'a kadar işletilmiştir.

# Bakır alaşımları- Tarihçesi



Bakırdan dökülmüş boğa ve geşik kursu (M.Ö. 2500)  
Anadolu Medeniyetleri Müzesi

# Bakır alaşımları-Tarihçe



Mi.Ö. 1300 Hitit dönemi döküm potası  
Çorum Müzesi



Hitit döneminde (M.Ö. 2500) döküm tekniği ile yapılmış geyik heykeli  
Anadolu Medeniyetleri Müzesi

# Bakırın tarihçesi

- En erken geliştirilmiş metal üretim süreçlerine bakır ve alaşımlarında rastlanır: Bu tip eserler MÖ 7000 yıllarında Anadolu topraklarından çıkarılmıştır.
- MÖ 4500-4000 döneminde Güney Doğu Asya'da bakırın hassas dökümü işaretlerine rastlanmıştır: MÖ 4000 Tayland ve MÖ 3000 Türkiye'de!
- Mısırlılar bakıra kalay ilave etmenin dökümü kolaylaştırdığı, daha sert yeni bir metalik malzeme elde edildiğini fark etmiştir: böylece Bronz Çağı başlamıştır.



# Bakırın tarihçesi

- Bakırın antik çağda en çarpıcı uygulamalarından biri Mısır'daki borulardır. Bugünkü şebekeler gibi imal edilmiş ve döşenmiştir. Kraliyet sarayları ve mezarlarında bulunan bakır borular 5000 yıldan sonra hala mükemmel durumdadır.
- Bakır ekstraktif metalurjisi özellikle Çin'in Pekin bölgesinde Yan hanedanlığı döneminde (2000-3000 yıl önce) çok gelişmişti.

# Bakır alaşımları-Tarihçe

Bakır madeni para imalatında kullanılan ilk metaldir.

Roma İmparatorluğu döneminde basılan imparator Constantinus I'in resminin basıldığı madeni para!.



# Bakırın özellikleri

- Mükemmel elektrik ve ısı iletkenliği (gümüş dışında tüm diğer metallerden daha yüksek!)
- Yüksek mukavemet
- Yüksek süneklik & Şekil verilebilirlik
- Üstün yorulma direnci
- Korozyona direnç-uzun süreli dayanıklılık
- Manyetik değil
- Kaynaklama, lehimleme, yapıştırma gibi tüm birleştirme yöntemlerine uygunluk
- Anti-bakteriyel

# Bakır ve bakır alaşımları

- Ni, Zn, Sn ve Al gibi elementler Bakırda yüksek miktarlarda çözünebilir!
- Katı eriyik  $\alpha$  fazı bakır alaşımlarında rastladığımız yüksek süneklığın sebebidir.
- Çözünürlük sınırının üstünde alaşım elementi ilavesi HMK kristal yapılı  $\beta$  fazına yol açar.
- $\beta$  fazı yüksek sıcaklıkta kararlıdır.  $\alpha+\beta$  faz yapılı alaşımların soğuk şekillendirme kabiliyeti sınırlıdır.
- Ancak sıcak şekillendirilebilirler.

# Bakır ve bakır alaşımları

- Çeşitli alaşım elementleri ilavesi ile çeşitli -kırmızı, kahverengi, sarı ve gümüş- renkler
- Parlak ve albenili yüzey parlaklığı
- Düşük işleme maliyetleri ve kaplama ihtiyacı çok az!
- Kolay lehimlenebilme; kaynaklanabilme!

Brown	Phosphor bronze/ tin bronze
Red/pink	De-oxidised high- phosphorus copper
	Low alloyed copper
	Gilding metal
	Copper-nickel tin
Yellow/gold	Gilding metal
	Free machining brass
	Aluminium brass
	Cartridge or deep-drawing brass
Silver	Brass
	Copper-nickel
	Nickel silver
	Nickel silver
	Copper-nickel
	Copper-manganese alloys - under development

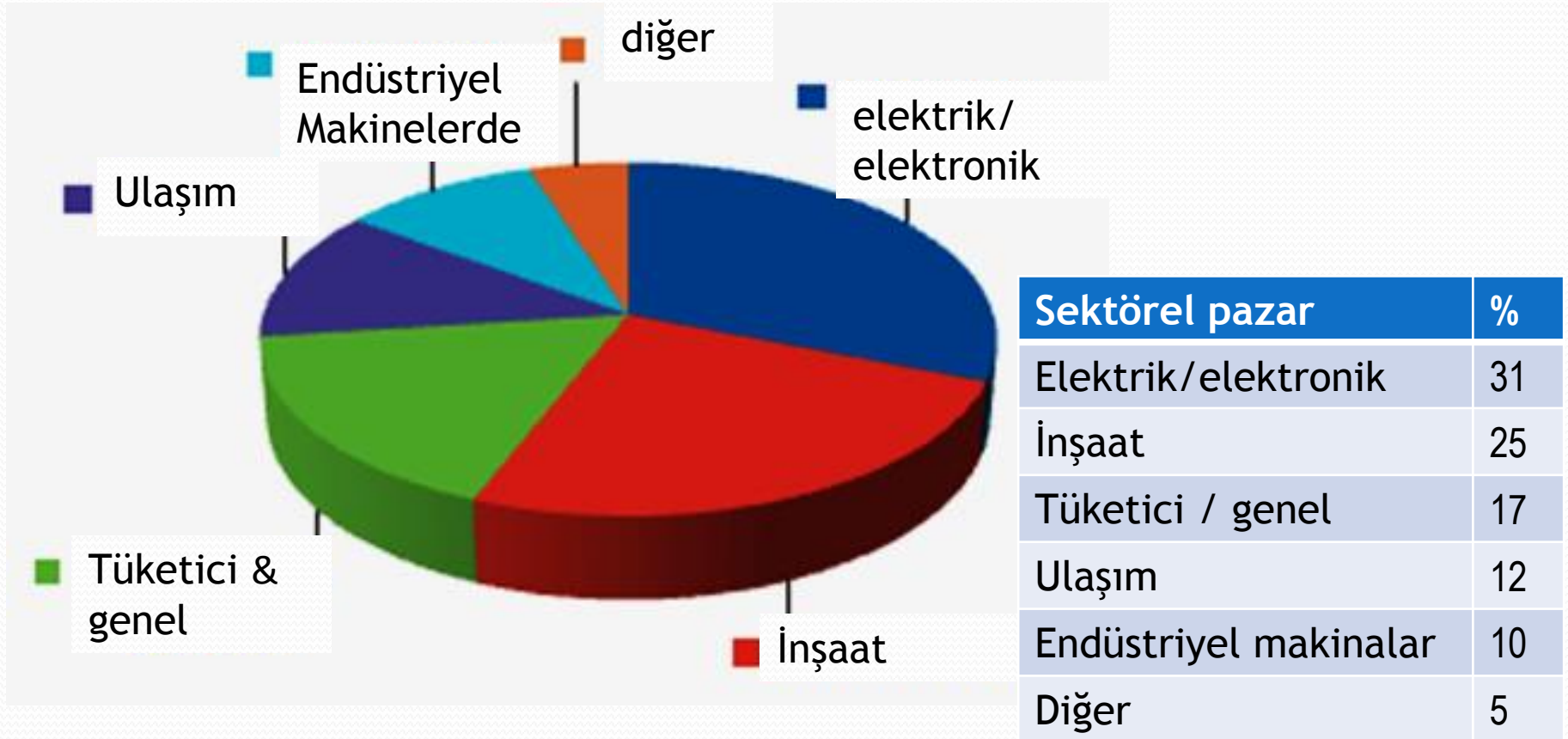


# Bakır ve bakır alaşımları

- Diğer metallere kolayca alaşımlanabilir/ 800+ alaşım
- Geri dönüşüm kolaylığı
- Dökülebilirliği iyi. Bütün bakır alaşımları kum kalıba dökülebilir. Bir çoğu santrifüj, sürekli, kokil kalıp ve basınçlı döküm pratikleri ile üretilebilirler.

Bu özellikler bakır ve alaşımlarını günümüzde en yaygın ticari alaşımlar sıralamasında demir-çelik ve alüminyum alaşımlarının ardından **3. sıraya** taşımıştır.

# bakır ve alaşımlarının kullanım alanları



# Elektrik ve ısı iletkenlik

- En yüksek elektrik iletkenliği. Yüksek iletkenlikle birlikte yüksek mukavemet, süneklik, korozyon direnci bakır alaşımlarını en cazip iletken malzemesi yapmıştır.
- Saf bakır yaygın elektrik tel, kablo ve kontak malzemesidir.
- Bakırlar ve bazı pirinçler, bronzlar, bakır nikel alaşımı otomotiv radyatörleri, ısı değiştiricileri, ev ısıtma donanımları, solar paneller ve ısının seri bir şekilde iletimi gerektiren uygulamalar için öncelikli malzeme seçeneğidir.

# Mekanik özellikler

- Mükemmel şekil verilebilirliğe sahip, yumuşak ve sünek bir malzeme
- Alaşımlama ve soğuk deformasyonla sertleştirilir ve geniş yelpazede mekanik özellikler
- Saf bakır çok yumuşaktır ve yumuşatma tavlari ile mikron çapa tel çekmek mümkün iken Mn bronzu mukavemeti su verilmiş ve temperlenmiş çeliğine benzer.
- Bakır alaşımlari düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini ve darbe direncini korur.

# Mekanik özellikler

- Düşük sürtünme ve aşınma hızları
- Yüksek kurşunlu kalay bronzları çelikten daha düşük aşınma hızları gösterir.
- Elektronik donanımların minyatürleştirilmesi özel bakır alaşımlarının yüksek mukavemet ve mükemmel iletkenliği sayesinde mümkün olmuştur.
- Talaşlı imalat kabiliyeti yüksek.
- Kurşunlu bakır alaşımları yüksek torna hızlarında kolay işlenebilirler.



# Korozyon direnci

- Mükemmel korozyon direnci
- Korozyon hızları çok düşük!
- Tuzlu su, alkalin ve organik kimyasal ortamlarında dayanıklı
- Antik dönemden bakır objeler hala mükemmel durumda
- Bakır çatılar 200 yılda 0.4mm kadar korozyona uğramış!
- Bakırlar, pirinçler, bronzlar ve bakır nikeller şehir suyu, endüstriyel gazlar taşıyan boru, valf, bağlantı elemanları imalatında kullanılır.

# Anti-mikrobiyel

- Hastanelerde, okullarda temas edilen yüzeylerde bakteriyi en aza indirir!
- Bakterinin 99.9%'luk kısmını 2 saat içinde bertaraf eder. (280+ fazla bakır alaşımı ABD Çevre koruma Ajansı tarafından kayıt edilmiştir.)
- Mısırlılar su taşıyan boruları suyu temizlemek için bakırdan imal etmiştir.
- Bakır tarihte bacak ülserleri için kullanılmıştır(MÖ 460- 380).
- Aztekler yaralı boğazları rahatlatmak, tedavi etmek için bakır içeren solüsyonlarla gargara yapmıştır.
- Bakır deniz ortamlarında organizma büyümelerini engeller(bio-fouling resistance)

# Anti-mikrobiyel



Antimicrobial  
Copper



Sağlık donanımları  
dokunma yzeyleri

Merdiven trabzanları



Courtesy Cristian Barahona

# Bakır cevherleri

- Yer kabuğunda ortalama % 0,01 mertebesinde bakır var.
- en çok bulunan elementler sıralamasında bakır 25. sırada.
- bilinen bakır cevherlerinin %85' i kükürtlü, %15'i oksitli.
- en çok rastlanan cevheri kalkopirit minerali:  $\text{CuFeS}_2$  (%34,6 Cu).
- birçok maden yatağında üstteki oksitli bakır mineralleri alınarak derine gidildikçe kükürtlü cevherlere ulaşılır.

# Bakır cevherleri

- çinko, kurşun ve gümüş bakırın başlıca refakatçileri
- Anod çamuru, yaklaşık 2500 t yıllık Dünya altın üretiminin % 15-20'sini karşılayan bir hammadde.
- kükürtlü bakır cevherlerinde maden yatağı açık işletmeye uygunsa ve altın, molibden gibi ek kıymet ifade eden refakatçiler varsa tenörün % 0.3 Cu olması bile büyük ölçekli işletmelerde ekonomik olabilir.



# Bakır mineralleri

Doğada en yaygın bulunan bakır mineralleri oksitli ve kükürtlü minerallerdir.

- Oksitli

**hidrometalurji**

Oksitli bakır mineralleri



Malahit



azurit



krisokol

- Kükürtlü

**pirometalurji**

kükürtlü bakır mineralleri



bornit



kalkozit



kalkoprit

# Bakır mineralleri



Kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )

Kalkoprit ( $\text{CuFeS}_2$ )



# Bakır mineralleri

Malahit ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ )

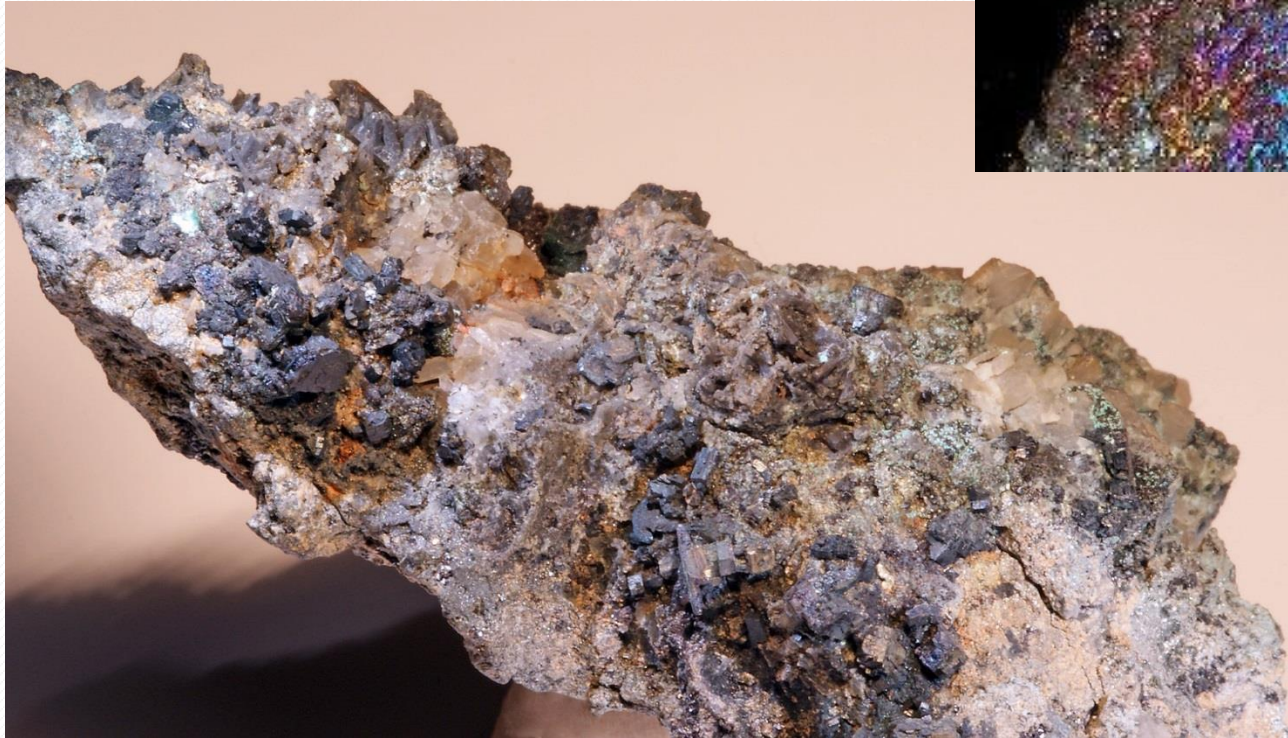
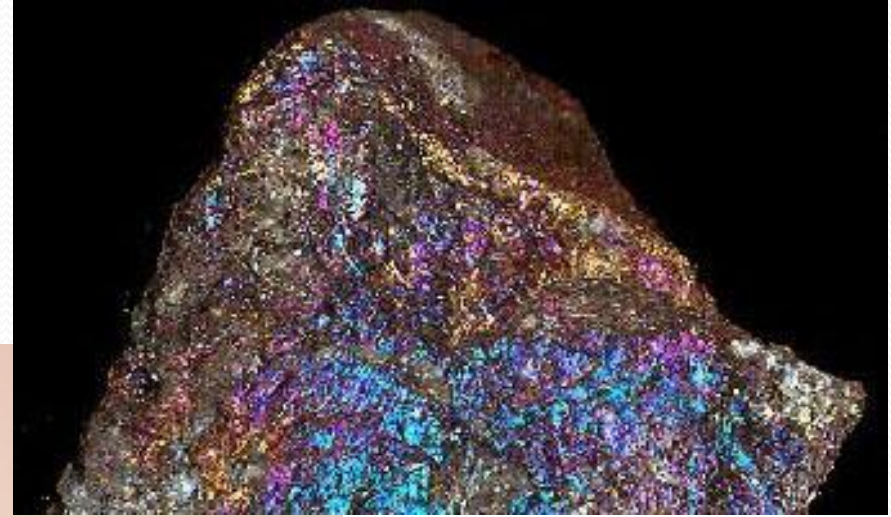


Azurit ( $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ )



# Bakır mineralleri

Bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ )



Kalkozit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )

# Bakır mineralleri

Mineral	Formül	%Cu	%Fe	%S
Nabit Bakır	Cu	99,9	00,1	
<i>Sülfürler</i>				
Kalkozit	Cu <sub>2</sub> S	79,8		20,1
Kovellin	CuS	66,5		33,5
Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	34,6	30,5	34,9
Bornit	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	63,3	11,1	25,6
<i>Oksitler</i>				
Kuprit	Cu <sub>2</sub> O	88,8		
Tenorit	CuO	79,9		
Malahit	CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	57,5		
Azurit	2CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	55,3		
Krisokol	CuSiO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	36,2		
Kalkantit	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	25,5		
Brokantit	CuSO <sub>4</sub> ·3Cu(OH) <sub>2</sub>	56,2		
Atakamit	CuCl <sub>2</sub> ·3Cu(OH) <sub>2</sub>	59,5		
Kronkit	CuSO <sub>4</sub> ·Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·3Cu(OH) <sub>2</sub>	42,8		



# Bakır kaynakları

Dünya'da önemli bakır yataklarının bulunduğu bölgeler :  
**Güney Amerika'nın** özellikle batı sahilleri, **Kuzey-Şili**  
**Kuzey Amerika'da** ABD'nin güney-batısı ve Kanada'nın doğusu (Cu ve Ni)

**Afrika'da** Kongo, Zaire, Kuzey-Rodezya

**Asya'da** Kazakistan, Özbekistan, Afganistan (Dünya'nın en zengin bakır ve demir yataklarına sahip olduğu iddiası var, henüz işletilmiyor!), Hindistan

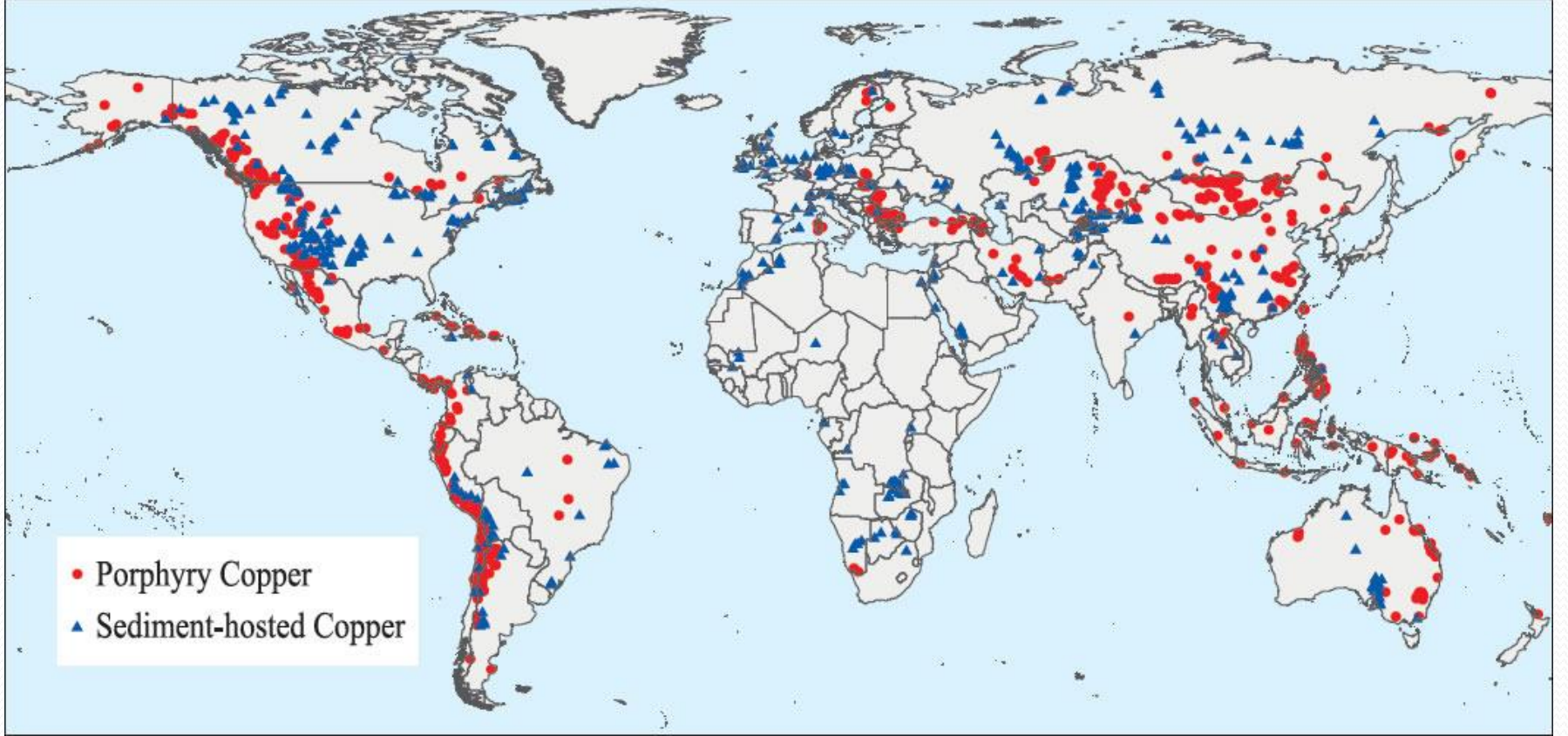
**Avrupa'da** Polonya, Finlandiya, Portekiz, Yugoslavya

**Avustralya'da** ve Papua Yeni Gine'de (yöre halkının isyanı sonucunda işletici firma Rio Tinto bu maden yatağını terk etti)

# Bakır kaynakları

- Dünya bakır cevheri üretiminde Amerika Kıtası'nın payı büyüktür.
- A.B.D., Şili ve Kanada 1992'de Batı-Bloku Dünya cevher üretiminin % 58'ini, 2002'de ise % 57,3'ünü gerçekleştirmiştir.
- Cevher üretiminde son on yıllık dönem içinde ABD, Kanada, Zambia, Yugoslavya, G.Afrika ve Filipinler'de düşme , Peru, Endonezya ve Avustralya'da ise önemli ölçüde yükselme olduğu izlenmektedir.

# Dünyada Bakır yatakları



# Ülkemizde Bakır kaynakları

Ülkemizde keşfedilen bakır madenleri,

**Karadeniz Bölgesi'nde ARTVİN (Murgul, Cerattepe), RİZE (Çayeli), KASTAMONU (Küre) 'de ve**

**Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde SİİRT (Madenköy) ve DİYARBAKIR (Ergani; aslında Elazığ'a bağlı Maden ilçesinde!..) yörelerinde**

**ÇANAKKALE ve KIRKLARELİ yörelerinde de çinko, kurşun ve molibden içeren kompleks bakır cevherleri olduğuna dair bulgular ve kısmi faaliyetler vardır.**





# Ham Bakır Üretimi - Türkiye

2006'da 30.000 ton: Çıkarıldığı yerler

- Murgul (Artvin)
- Çayeli (Rize)
- Küre (Kastamonu)
- Ergani-Maden (Elazığ)

Yatak adı	cut-off (‰ Cu)	Tenörü (% Cu)	Rezervi (ton)
Çakmakkaya	0.5	1.08	21.300.000
Çakmakkaya ilâve	0.5	0.97	7.475.000
Damar,	0.5	1.586	17.648.754 (31.8.1972'deki)
Damar ilâve	0.5	1.50	6.163.163
Küre - Bakibaba	—	6.39	713.042
Espiye - Lahanos	—	6.59	2.312.180
Espiye - Kızılkaya	0.3	0.85	5.530.940
Küre - Aşıköy	—	7.96	183.000 ( 1.1.1972'deki)
Ergani - Anayatak	—	1.73	13.091.000 ( 1.1.1971'deki)
Ergani - Mihrapdağl	—	1.42	388.000
Çayeli - Madenköy	0.5	4	13.000.000 (takribi) veya
		2.2	20.000.000

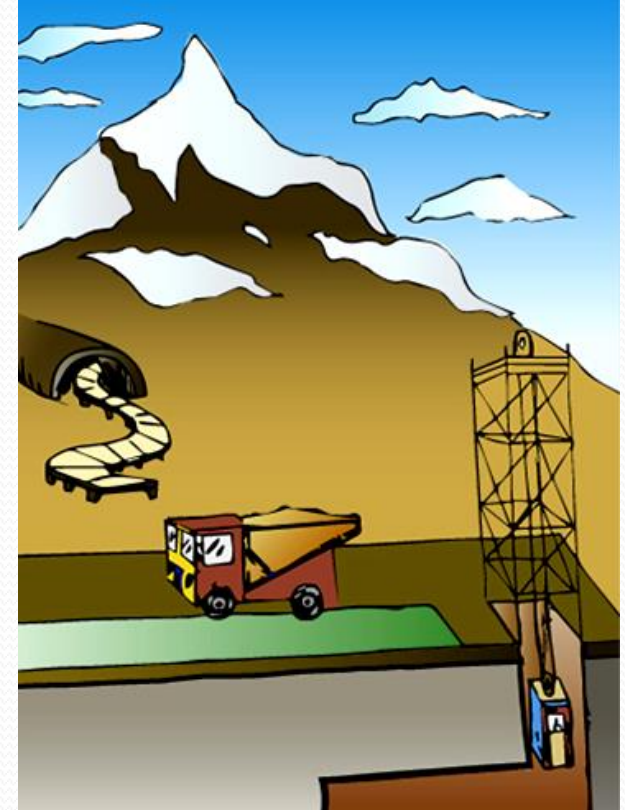
# Bakır madenciliği

Bakır üretim süreci, bakır cevherlerinin işlenmesi ile başlar. Doğada bulunan bakır cevherleri iki çeşit madencilik faaliyeti ile değerlendirilir

- **Yeraltı madenciliği**
- **Açık Madencilik**

## Yeraltı Madenciliği

- Bakır cevheri yeryüzünden derinde ise kuyu kazılır ve cevhere ulaşmak için tüneller açılır
- Tünel maden yatağını takip eder.



# Bakır madenciliği

## Açık Madencilik

- Cevher yüzeye yakın olduğunda uygulanır. Oldukça yaygındır (Almanya, Avustralya)
- Cevher tükenince derin çukurlar kalır.
- kükürt içeren yatakların toprakla kapanması gerekir. Yağmur ve oksijen sülfürik asit oluşturur.
- Çevreye zararlı, Rehabilitasyonu gerekir.



# Bakır üretimi

Doğada yaygın olarak bulunan bakır cevherleri açık veya yeraltı madenciliği ile çıkartıldıktan sonra zenginleştirme işlemlerine tabi tutulur.

Kükürtlü ve oksitli cevherlerin kazanma yöntemleri farklıdır

- **Kükürtlü bakır** cevherleri genellikle %1'den az Cu içerir. *Pirometalurjik* yöntemle işlenir ve zenginleştirilir.
- **Oksitli (karbonatlı) bakır** cevherleri ise *Hidrometalurjik* olarak kazanılır.

# Kükürtlü bakır cevherleri

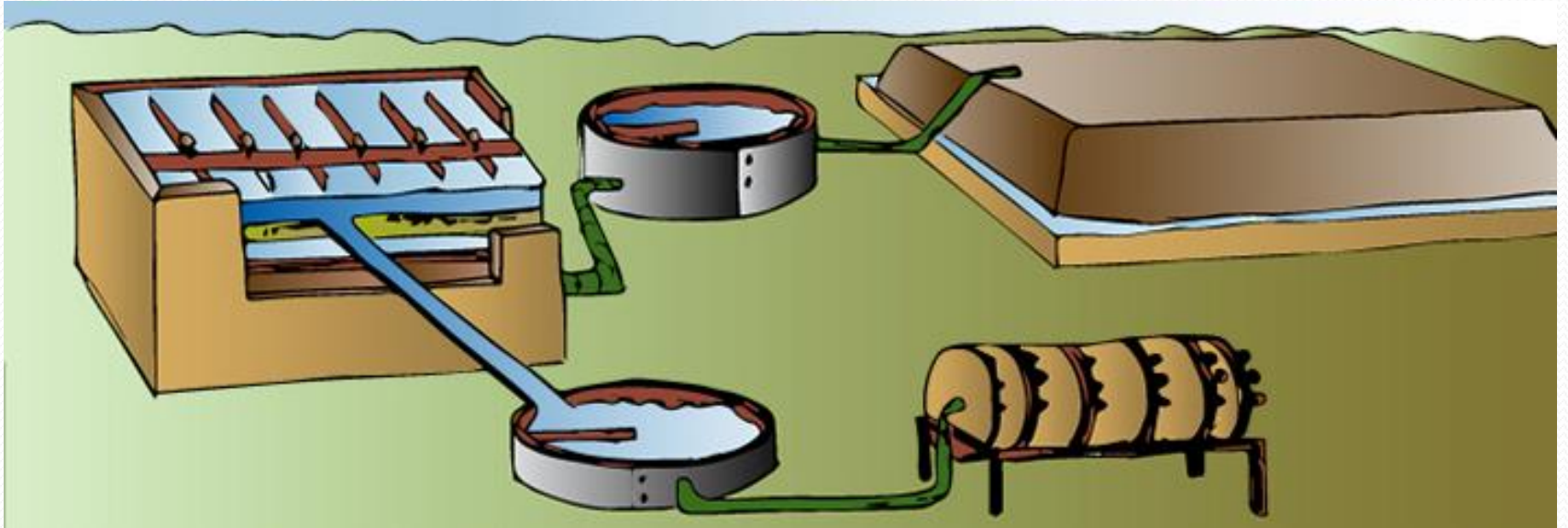
- Kırma: önce 2-5 cm parça boyutlarına kırılır.
- Öğütme: parçaları flotasyon işlemine en uygun boyutlara küçültmek için yaş öğütme yapılır.
- Zenginleştirme, flotasyon, ergitme ve rafinasyon işlemleri ile cevherdeki bakırın yaklaşık %80'lik kısmı kazanılır.





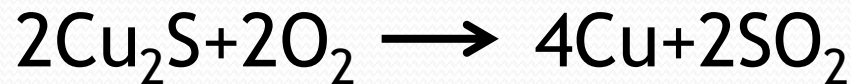
# Kükürtlü bakır cevherleri

- Kükürtlü cevherler su ve özel kimyasallarla karıştırılarak çamur haline getirilir.
- İçinden hava geçirilerek karıştırıldığında bakır sülfat bileşikleri hava kabarcıklarına yapışıp yüzer ve yüzeyden alınarak kurutulur. Bakır konsantresi elde edilir.



# Kükürtlü bakır cevherleri

- Kurutulmuş bakır konsantreleri **reverber fırınlarında** ergitilir. Burada **Mat** (bakır ve demir sülfat karışımı ve cüruf) elde edilir.
- Mat tabakası fırın tabanına çöken demir-bakır sülfat karışımıdır. Cüruf tabakası ise empüriteleri bulundurur ve mat tabakasının üstünde yer alır. Cüruf atılır.
- Mat fırından alınır ve konvertöre şarj edilir.
- Burada hava üflenerek **blister bakır** (%98 Cu + safsızlıklar) elde edilir.



# Kükürtlü bakır cevherleri

- Blister bakır daha sonra pirometalurjik saflaştırmaya gider.
- Blister bakırdan rafinasyon fırınında elektriksel uygulamalar haricindeki uygulamalarda kullanılan «tough pitch copper» üretilir.
- Empüritelerin çoğu oksitlenir ve cürufa alınır ve bu cüruf metalden kolayca ayrılır.



- Bakır oksit ise kok ile kalan bakır oksit oranı %0.5 seviyelerine düşünceye kadar redüklenir.

# Kükürtlü bakır cevherleri

- Bakır içinde kalan kükürt ve oksijeni bertaraf etmek için bakır içinden hava ve doğal gaz geçirilir.
- Ergitmeden sonra % 99,5 tough pitch bakır kalıplara **anotlar** haline dökülür.
- Bu anotlar saflaştırma için **elektrolitik rafinasyona** gider.
- Bakır sülfat ve sülfürik asit çözeltisi bulunan tankta anotlardan akım geçirilir.

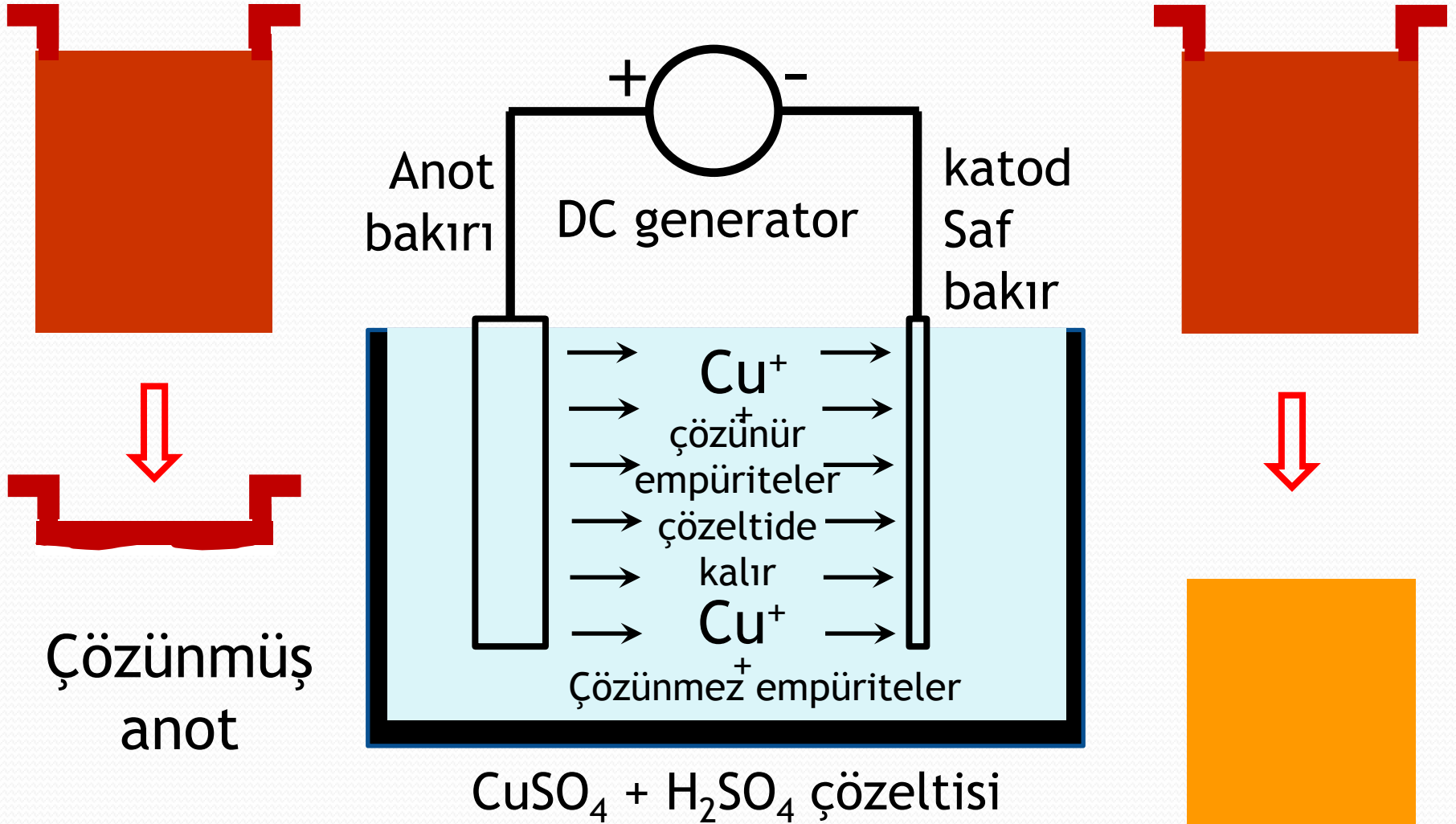


# Kükürtlü bakır cevherleri

- Anottaki bakır çözünür ve paslanmaz çelik katot yüzeyine çok daha saf (%99.9) bakır olarak kaplanır.
- 7 ile 14 gün içinde bakırın anottan katoda transferi tamamlanır.
- Empüriteler çözeltide kalır.
- Bakır paslanmaz çelik plakadan sıyrılarak alınır, yıkanır ve müşterilere sevk edilir.
- Bu bakır tel haddehanelerine satılabilir veya çubuklara dönüştürülebilir.



# Elektrolitik kazanma-electro winning



# Kükürtlü bakır cevherleri

## Konsantreden saf bakıra üretim



# oksitli bakır cevherleri

Bakır saflaştırmanın diğer yolu hidrometalurji prensipleri ile gerçekleşir.

Sürec oksitlenmiş bakır veya oksitlenmiş bakır artıkları ile başlar.

Oksitlenmiş malzeme ergitme işleminde gelen sülfürik asit ile liç edilir.

Sülfürik asit oksitlenmiş metal yığınının arasından sızdırılır ve aside dayanıklı bir tankta toplanır.

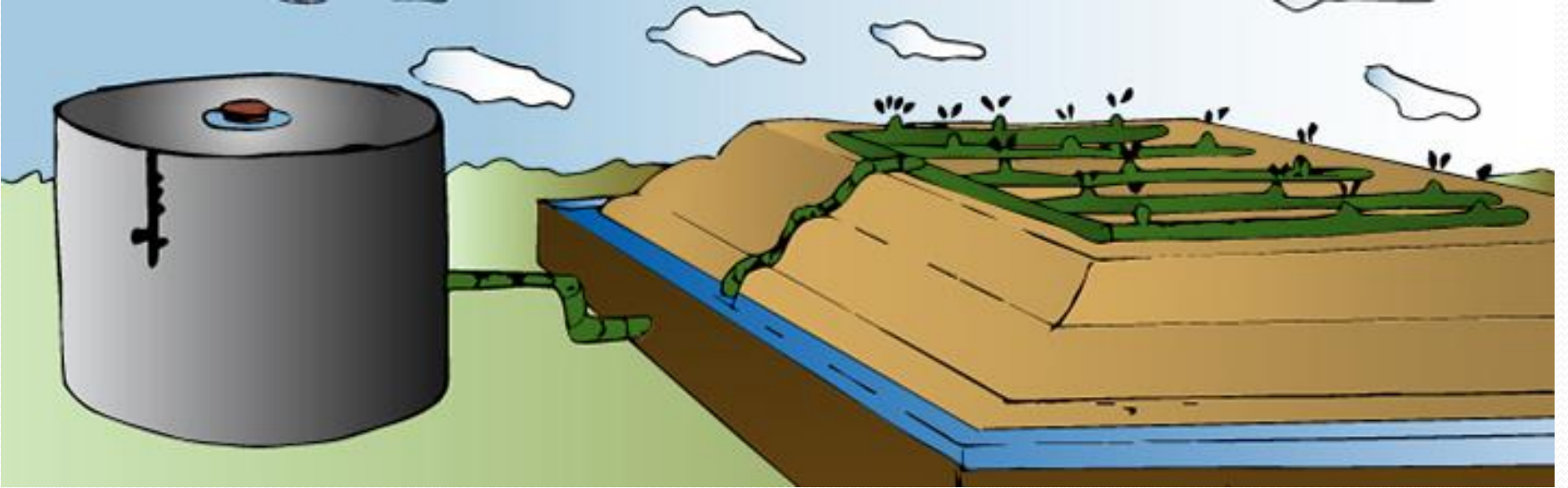
# oksitli bakır cevherleri

- Oksitli madenler liçleme işlemini flotasyon gibi küçük parçacıklar gerektirmediği için işlenmeden önce sadece kırılırlar



# oksitli bakır cevherleri

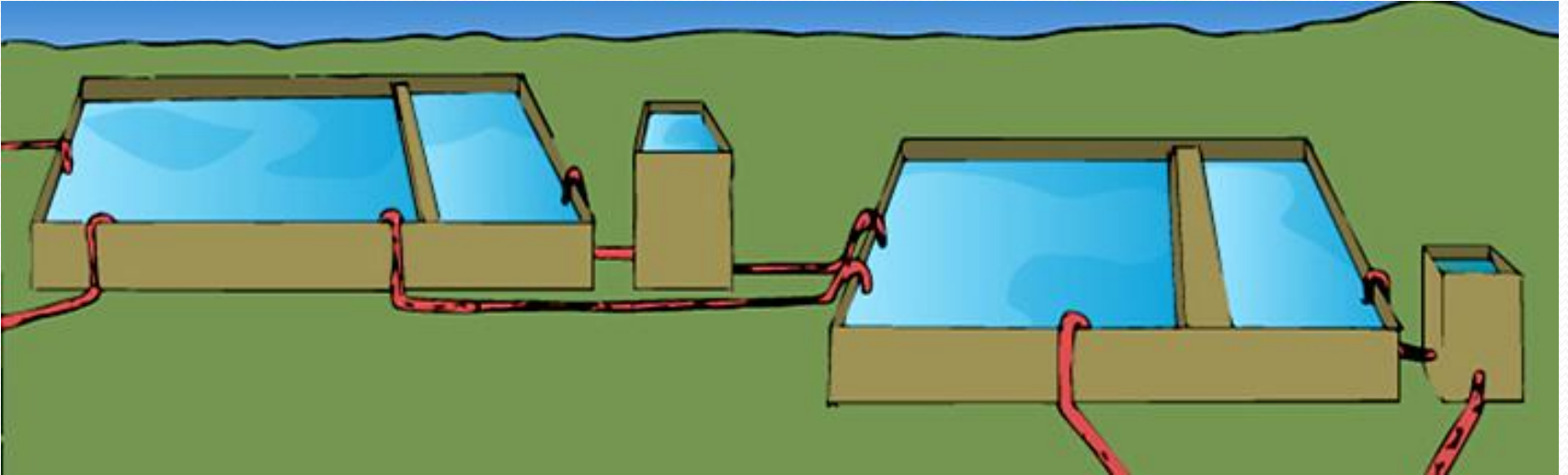
- Liç tablasına yerleştirilir ve mineral içeriğindeki bakırı çözen zayıf asitlerle doyurulur.
- Elde edilen bakır esaslı çözelti toplanır ve bir solvent ekstraksiyon tesisine pompalanır.





# oksitli bakır cevherleri

- Bakırlı çözelti ekstraksiyon tesisinde saflaştırılır.
- Bu işlem çözeltideki bakır konsantrasyonu elektro kaplama için yeterli konsantrasyona ulaşana kadar organik bir solvent veya sülfürik asit ilave edilerek yapılır.



# oksitli bakır cevherleri

Bakır paslanmaz çelik katotlar üzerine elektrokimyasal biriktirme ile kaplanır.

Yeterli bakırın kaplanması 1 hafta kadar sürer.

Bu kaplama % 99.99 safiyettedir.

Tel, boru vb üretilmesi için uygun bir safiyettir.



# Ham Bakır Üretimi

## Dünyadaki en önemli ham bakır üreticileri

Sıralama	Ülke	2006 Bakır üretim(ton)	2013 Bakır üretimi (ton)
	Dünya	15,100,000	17,900,000
1	Şili	5,360,800	5,700,000
2	Amerika	1,220,000	1,220,000
3	Peru	1,049,933	1,300,000
4	Çin	915,000	1,650,000
5	Avusturalya	875,000	990,000
6	Endonezya	817,796	380,000
7	Rusya	675,000	930,000
8	Zambiya	502,998	830,000
9	Kanada	606,958	630,000
10	Polonya	497,200	430,000
11	Kazakistan	459,200	440,000
12	İran	249,100	255,000 <sup>[2]</sup>

# Dünya Bakır Üretimi

- Uluslararası Bakır Çalışma Grubu (ICSG) verilerine göre, Şili, 2013'de yıllık 5,7 milyon tonluk maden üretimiyle, dünya bakır üretiminin yaklaşık %32'sini tek başına gerçekleştirmiştir.
- Rafine bakır üretiminde ise, ilk beş ülke sırasıyla Çin, Şili, Japonya, ABD ve Rusya olmuştur.
- 2008 yılı Nisan ayında 8.685 \$/ton seviyesine kadar çıkmıştır.
- Krizden sonra sert bir düşüşün yaşandığı bakır fiyatları, 2008 yılı Aralık ayında 3.072 \$/ton düzeyine kadar gerilemiştir.

# Dünya Bakır pazarı

- dünya bakır üretiminin %30'u ekipman üretimi, %30'u inşaat, %15'i altyapı uygulamaları, %13'ü ulaştırma ve %12'si endüstriyel amaçlarla kullanılmaktadır.
- 2013 yılı itibarıyla dünyanın en büyük bakır rezervleri Şili'de bulunmakta (%28), onu sırasıyla Avustralya, Peru, ABD ve Meksika izlemekte ve bu beş ülke dünya bakır rezervlerinin yaklaşık %61'ini barındırmaktadır.
- Maden üretimi açısından bakıldığında ise, dünyanın en büyük beş bakır madeni üreticisi sırasıyla Şili, Çin, Peru, ABD ve Avustralya'dır.



# Ülkemizde Bakır Sanayi

- I. Dünya ve Kurtuluş Savaşlarından sonra 1924'de Almanlar tarafından yeniden işletilmeye başlanan Ergani Tesislerini 1936'da ETİBANK devraldı.
- Etibank burada 54 yılda (1990'a kadar!) 530.000 ton ham bakır (blister) üretti.
- Cevher tükendi gerekçesi ile terkedilen Ergani İzabe Tesisleri hurdaya çıkarılmış ve %1,2 tenörlü bakiye yaklaşık 5 milyon tonluk maden rezervi ve mevcut flotasyon tesisleri özel sektöre verildi; bu rezerv bugünlerde tükenmek üzere!

# Bakır sanayi

Türkiye’de bakır konsantreleri ve blister bakır üretilen tesisler:

- Karadeniz Bakır İşletmeleri (KBİ)  
Çıkarılan bakır yeterli olmadığı için KBİ bakır konsantresi ithal etmektedir.
- Eti Holding A.Ş.
- Demir Export A.Ş.
- Ber-Oner A.Ş.
- Çayeli Madenleri A.Ş.
- Yeni Anadolu Mineral ve Madencilik Dardanel
- Cominco Madencilik A.Ş.

# Bakır sanayi

Bu 7 kuruluş blister bakırı elektroliz yoluyla işleyerek elektrolitik bakır üretiyor.

Kullanılan ileri teknoloji ve ucuz işgücü nedeni ile hammaddelerin dışa bağımlı olmasına rağmen dünya bakır pazarlarında rekabet gücü iyi.

Bunların dışında sektörde faaliyet gösteren 25 kadar üretici şirket bulunuyor.

Sarkuysan

Albaksan

Polymetal

Sağlam Metal

Pireks

# Ülkemizde Bakır Sanayi

Blister bakırdan ateşte rafinasyon ile anot ve elektroliz yolu ile katot bakır ve diğer ürünler üreten firmalara örnekler:

**Sarkusyan:** Entegre tesis. Ateşte rafinasyon anot, elektroliz ile katot, sürekli döküm ile kütük, bakır boru ve lama üretimi, çeşitli teller. En köklü ve en büyük firmalardan

Ateşte rafinasyon ile  
anot dökümü



# Ülkemizde Bakır Sanayi



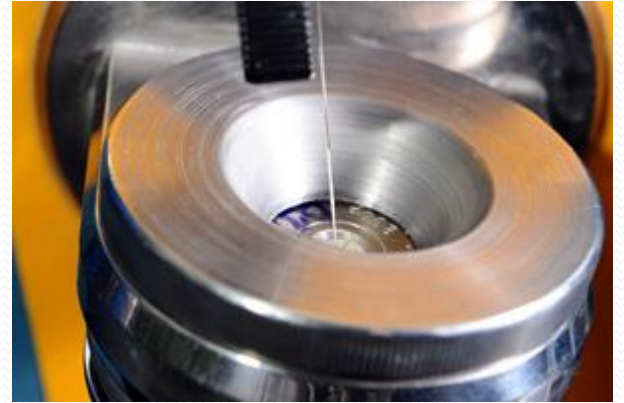
Sarkuysan elektroliz tesisleri: % 99.99 safiyetinde katot üretimi



# Ülkemizde Bakır Sanayi

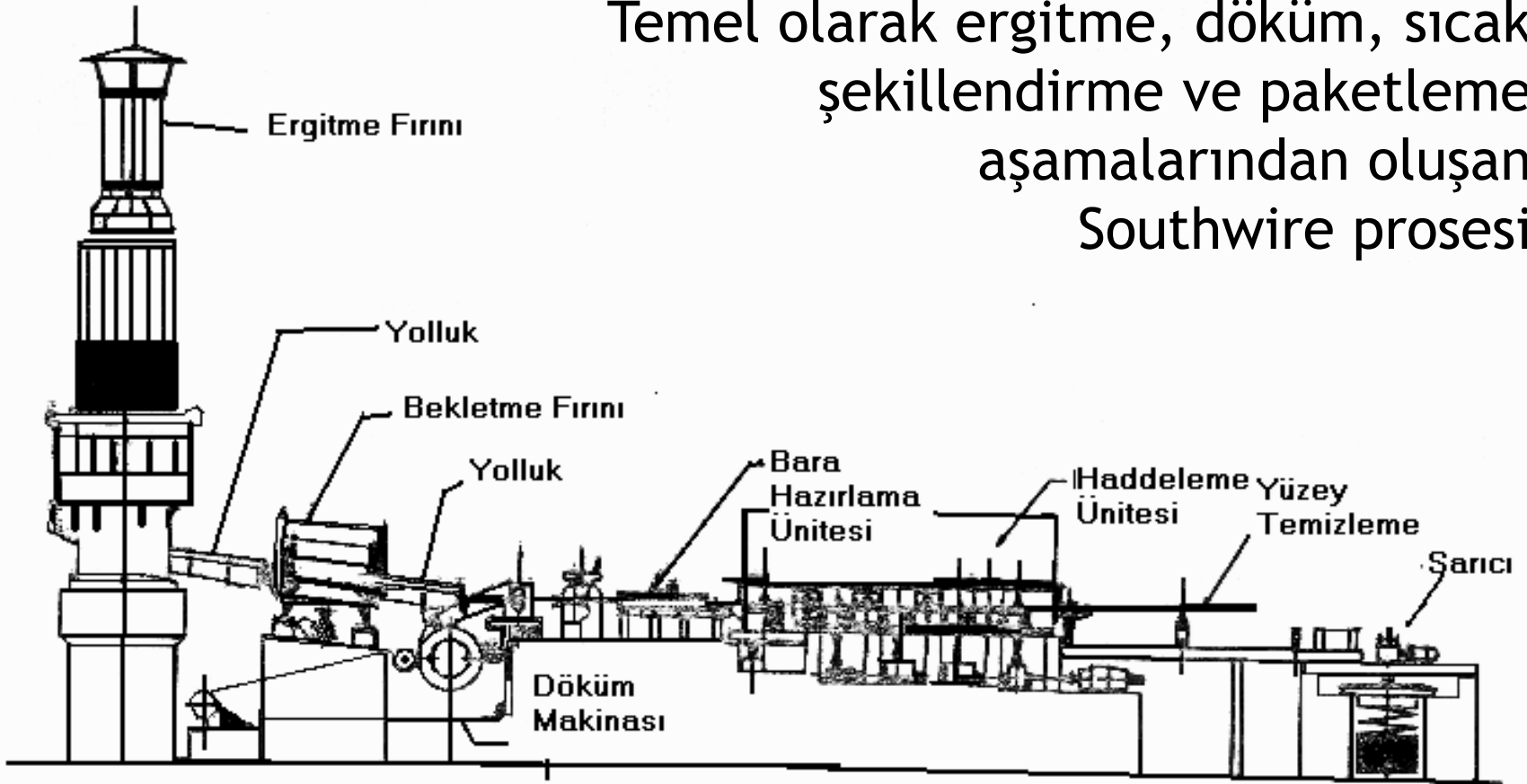
## Sarkusyan:

- Sürekli döküm tesisleri
  - Contirod sürekli döküm tesisi
  - Southwire sürekli döküm tesisi
  - Upcast (Outokumpu) sürekli döküm tesisi
  - Kütük döküm tesisi
- Tel çekme tesisi



# Sarkuysan Cu filmaşın üretimi

Temel olarak ergitme, döküm, sıcak şekillendirme ve paketlenme aşamalarından oluşan Southwire prosesi



Southwire sürekli döküm prosesinin şematik görünümü

# Ülkemizde Bakır Sanayi

Blister bakırdan ateşte rafinasyon ile anot ve elektroliz yolu katot bakır ve diğer ürünler üreten firmalara örnekler:

- **Er-Bakır:** Entegre tesis. Filmaşın, tel, bükülü teller, bobin.
- **Hes Kablo:** Kablo ve tel üretiminde büyük tesis. Bakır haberleşme kabloları, fiber kablolar vs.
- **Elektrosan Elektrobakır Sanayii:** Bakır katotdan bakır çubuk, boruya kadar geniş yelpazede saf bakır ürünleri

# Ülkemizde Bakır Sanayi

çok sayıda küçük dökümhanede hurda bakır, saf bakır, bakır ön alaşımları kullanılarak çok sayıda farklı ürün üretilerek iç pazara ve dış pazara sunulmaktadır.

- Pirinç alaşımları üreticileri
  - Sarbak
  - Pireks Bakır alaşımları
  - Cem metal
- Bronz alaşımları üreticileri
  - Kayalar Bakır: Pirinç, bronz şeritler ve levhalar
- Sert bakır ve özel bakır alaşımları üreticileri
  - Sağlam Metal: Alüminyum bronzları ve özel sert bakır alaşımları
  - Polymetal

# Bakır ve bakır alaşım grupları

- Bakırı alaşımlamada en yaygın kullanılan elementler :  
**Al, Ni, Si, Sn, ve Zn** elementler bakır içinde yüksek oranda çözünürler
- Diğer element ve metaller az miktarlarda belirli özelliklerini -örneğin işlenebilirlik veya korozyon özellikleri- geliştirmek amacıyla kullanılır.



# Bakır ve bakır alaşım grupları

Bakır ve bakır alaşımları temel olarak aşağıdaki gruplarda toplanır:

- **Saf bakırlar:** En az % 99,3 Cu
- **Yüksek bakır alaşımları:**  
96 < Cu < 99.3 / döküm: 94 < Cu < 99.3
- **Pirinçler:**  
% 40'a kadar Zn içeren Cu-Zn alaşımları
- **Bronzlar**  
başlıca alaşım elementi Zn ve Ni dışında bir element olan tüm alaşımlar
- **özel alaşımlar**

# Bakır ve bakır alaşım grupları

- Bakır-Çinko Alaşımları (Sarı Pirinçler)
- Bakır-Çinko-Kurşun Alaşım (Kurşunlu Pirinçler)
- Bakır-Çinko-Kalay ve Bakır-Çinko-Kalay-Kurşun Alaşımları
- Bakır-Kalay-Çinko ve Bakır-Çinko-Kalay-Kurşun Alaşımları
- Bakır-Silis Alaşımları
- Bakır-Bizmut ve Bakır-Bizmut-Selenyum alaşımı

pirinçler

# Bakır ve bakır alaşım grupları

- **Bakır-Kalay alaşımları (Fosfor bronzları):**  
% 10'a kadar Sn, % 0,2 P
- **Bakır- Alüminyum alaşımları (Alüminyum bronzları):** % 10'a kadar Al
- **Bakır-Silis alaşımları (Si bronzları):**  
%3'e kadar Si
- **Bakır-Nikel alaşımları:**  
% 30'a kadar Ni
- **Bakır-Nikel-Çinko (Ni gümüşleri):**  
% 27'ye kadar Zn, % 18'e kadar Ni

**Bronzlar**

# Bakır ve bakır alaşımları sınıflama

Bakır ve bakır alaşımlarını şekillendirme yöntemine göre de sınıflandırmak mümkündür:

- İşlem alaşımları (Wrought)
- Döküm alaşımları (Casting): Katılaşma aralığına göre
  - **Grup I;** Dar katılaşma aralığı ( $50^{\circ}\text{C}$ ) olan alaşımlar. Sarı pirinçler, Mn ve Al bronzları, Ni bronzları, Mn bronzları, Kromlu bakır ve bakır
  - **Grup II;** Orta katılaşma aralığı ( $50-110^{\circ}\text{C}$  arasında) olan alaşımlar. Be bakırları, silis bronzları, Cu-Ni alaşımları
  - **Grup III;** Geniş katılaşma aralığı ( $110^{\circ}\text{C}$  üzerinde) olan alaşımlar. Kurşun kırmızı pirinç, yarı-kırmızı pirinçler, kalay ve kurşun bronzları, yüksek kurşunlu kalay bronzları

# Bakır ve alaşımlarının standart gösterimleri

- ***Copper Development Association (CDA)***
  - İşlem alaşımları : **C100-C799**
  - Döküm alaşımları : **C800-C999**
- ***UNS gösterimi:*** C harfi ile başlar ve 5 basamaklı
  - İşlem alaşımları : **C10000-C79900**
  - Döküm alaşımları : **C80000-C99900**



# Bakır alaşım grupları

UNS sisteminde alaşım numaraları

ALAŞIM	İŞLEM ALAŞIMLARI	DÖKÜM ALAŞIMLARI
Saf bakırlar	C10100 to C13000	C80100 to C81200
pirinç	C20500 to C28580	C83300 to C85800
Kalay pirinci	C40400 to C48600	C83300 to C84800
Fosfor bronzu	C50100 to C52400	C90200 to C91700
alüminyum bronzu	C60800 to C64210	C95200 to C95900
silis bronzu	C64700 to C66100	C87000 to C87999
silis kızıl pirinci	C69400 to C69710	C87300 to C87900
Bakır-nikel	C70100 to C72950	C96200 to C96900
Nikel gümüşü	C73500 to C79900	C97300 to C97800

# Başlıca bakır alaşımlarının bileşimi ve özellikleri

ALLOY UNS No.	COMMON NAME	NOMINAL COMPOSITION Wt%	ELECTRICAL CONDUCTIVITY %IACS	TENSILE STRENGTH * Ksi (MPa)
C11000	Copper	99 min Cu	101	42 (290)
C12200	Phosphorus Deoxidized Copper	0.025 P	85	42 (290)
C17200	Beryllium Copper	1.90 Be	22	128 (882)**
C23000	Red Brass	15 Zn	37	56 (386)
C26000	Cartridge Brass	30 Zn	28	62 (427)
C28000	Muntz Metal	40 Zn	28	70 (483)
C42500	Tin Brass	10 Zn – 2 Sn	28	63 (434)
C51000	Phosphor Bronze A	5 Sn – 0.2 P	15	68 (469)
C52400	Phosphor Bronze D	10 Sn – 0.2 P	11	83 (572)
C65500	High Silicon Bronze A	3.3 Si – 1.0 Mn	7	78 (537)
C70600	Copper Nickel, 10%	10 Ni – 1.4 Fe	9	65 (448)
C71500	Copper Nickel, 30%	30 Ni – 0.7 Fe	4.6	73 (503)
C74500	Nickel Silver, 65-10	25 Zn – 10 Ni	9	73 (503)
C75200	Nickel Silver, 65-18	17 Zn – 18 Ni	6	74 (510)

# Bakır alaşımlarının temperleri ASTM B 601

temper	açıklama
<b>Tavlı temperler</b>	
O10	Döküm +tavlama
O20	Sıcak dövme+tavlama
O60	Yumuşak kondisyona tavlama
O61	tavlanmış
O81	Çeyrek sert kondisyona tavlanmış
O5015	Ortalama tane çapı: 0.015mm
<b>Soğuk deformasyon</b>	
H01	¼ sert
H02	½ sert
H04	Tam sert
H08	yay

# Bakır alaşımlarının temperleri ASTM B 601

Temper	açıklama
<b>Soğukdeformasyon + gerilim giderme</b>	
HR01	H01 + gerilim giderme
HR04	H04 + gerilim giderme
<b>Çökeltme sertleşmeli</b>	
TB00	Çözeltiliye alınmış
TF00	TB00 + yaşlandırılmış
TH02	TB00 + soğuk def + yaşlandırma
TM00/TM02/TM08	Haddeden sertleşmiş
<b>İmalat temperleri</b>	
M01	Kuma döküm
M04	Basınçlı döküm
M06	Hassas döküm

# Saf Bakırlar ve özellikleri

Ticari saf bakırlar > % 99 Cu içerir ve üç grupta toplanır:

- **C10100- Oksijensiz saf bakır (OFE)**. %99,99 saflığında en fazla % 0,0005 oksijen içerir. Elektrik iletkenliği en yüksek (% IACS 101) ve en pahalı! (100% = 58.0 MS/m) at 20 °C
- **C10200 - oksijensiz bakır (OF)**. Elektrik iletkenliği ETP bakırdan daha iyi (% 100 IACS). % 99,95 Cu ve izin verilebilen oksijen içeriği %0.001.
- **C11000 - «Elektrolitik-Tough-Pitch (ETP)**  
En yaygın bilinen ve kullanılan bakırdır ve genel olarak elektrik uygulamaları için kullanılır. Safiyeti % 99.9'dur. Elektrik iletkenliği % 100 IACS'dir. Tipik Oksijen içeriği 0.02% to 0.04% arasındadır.



# Saf Bakırlar ve özellikleri

Bu saf bakırlara ilave olarak;

- **Oksijensiz yüksek iletkenlik bakır (OFHC):** % 99,99 safiyette çok temiz bakır; Kriyojenik uygulamalar için
- **Oksijensiz fosfor içeren bakır (CuOFP):** Fosfor ile deokside edilmiş yüksek iletkenlikli genel amaçlı bakırlar.

ASTM B 379-04

UNS Nos.	Former <sup>3</sup>	Description
C10300	OFXLP	Oxygen-free, extra low phosphorus
C10800	OFLP	Oxygen-free, low phosphorus
C12000	DLP	Phosphorus deoxidized, low residual phosphorus
C12200	DHP	Phosphorus deoxidized, high residual phosphorus
C14200	DPA	Phosphorus deoxidized, arsenical

Copper UNS No.	Type	Composition, %				
		Copper (Including Silver), min	Phosphorus		Arsenic	
			min	max	min	max
C10300	OFXLP	99.95 <sup>A</sup>	0.001	0.005	...	...
C10800	OFLP	99.95 <sup>A</sup>	0.005	0.012	...	...
C12000	DLP	99.90	0.004	0.012	...	...
C12200	DHP	99.9	0.015	0.040	...	...
C14200	DPA	99.4 <sup>B</sup>	0.015	0.040	0.15	0.50

# oksijensiz saf bakır (C10100)

- Elektrolitik olarak saflaştırılmış katod bakırından oksijensiz -CO ve N'den müteşekkil- redükleyici bir ortamda elde edilmiştir.
- minimum 101% IACS iletkenlik
- Saf bakırlar arasında en pahalı olandır.
- Döküm halinde mikroyapı dendritler arası ötektik  $Cu_2O$  fazı içermez; bu sayede sıcak işlenmiş mikroyapıda bakır matris homojen karakterlidir.
- Oksijensiz bakırlar yüksek iletkenlik ve eşsiz süneklik gerektiren uygulamalarda kullanılırlar.

# Elektrolitik «tough pitch» bakır

- C11000 (CDA 110 )
- 99.9% saflık / 0.02% ile 0.04% oksijen
- En popüler bakır/elektrik iletken uygulamaları için üniversal
- İletkenlik seviyesi minimum 100% IACS
- Dendritler arasındaki  $Cu_2O$  örgüsü sıcak işlem sırasında parçalanır ve işlem yönünde dizilir.
- Korozyon direnci ve lehimlenebilirliği iyidir
- İmalat kolaylığı sunar
- Kaynak bağlantıları, anot, elektrik güç iletiminde busbar, komütatör

# Fosforla deoksidize edilmiş bakır

- UNS C12200 / CDA 122
- $P_2O_5$  oluşturmak için P ilave edilmiştir. Bu uygulama oksijen miktarını azaltarak yüksek iletkenlik sağlar (ancak aşırı P elektrik iletkenliğini düşürür!)
- Yüksek elektrik iletkenlikli bakırlar ergitme işlemleri sırasında P ile deokside edilen bakırlardan farklıdır.
- P içeren oksijensiz bakırlar (CuOFP) hidrojen gevrekliğine veya buhar gevrekliğine neden olacak kadar yüksek sıcaklıklara maruz kalan yapısal uygulamalar için seçilir. Örnek: kaynak/sert lehim filmaşinleri, ısı değiştirici boruları

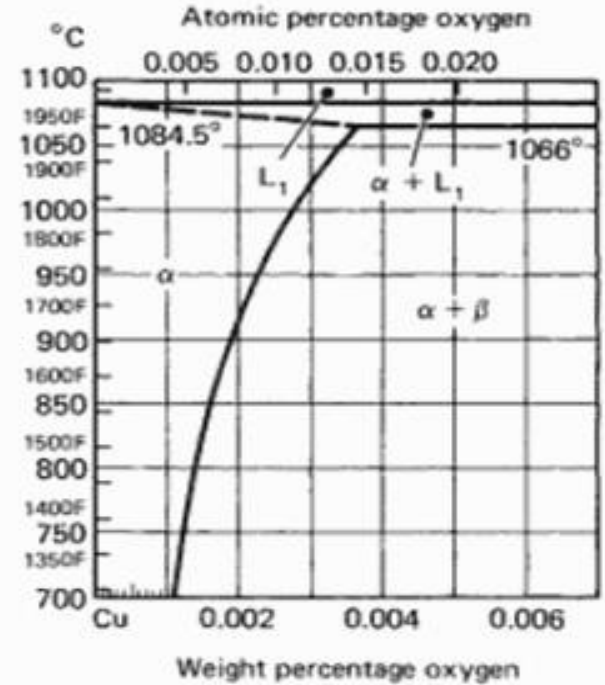
# Saf Bakırlar ve özellikleri

Saf bakırların elektrik iletkenliği yapıdaki oksijen içeriğinden önemli ölçüde etkilenir.

Yüksek sıcaklıklarda bakırda oksijen çözünürlüğü yüksek, katılaşma sonrasında çok daha az:

iyi deokside edilmemiş yapılarda  $\text{Cu}_2\text{O}$  olarak tane sınırlarına çöker.

Bu hem elektrik iletkenliğini düşürür hem de yapıyı gevrek yapar. Bu nedenle ergitme ve döküm sırasında önlemlerin alınması gerekir.





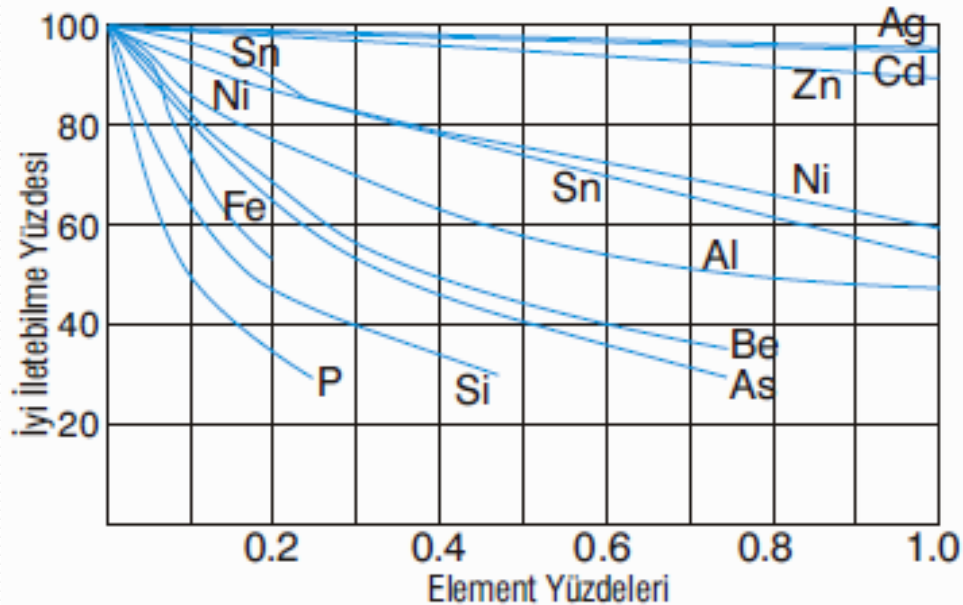
# Elektrolitik «tough pitch» bakır

Oksijen bakırda neredeyse çözünmeyizdir ve katılaşma sonrasında dendritler arasında  $\text{Cu}_2\text{O}$  ötektiği oluşturur.



# Saf Bakırlar ve özellikleri

Saf bakırlarda elektrik iletkenliği safsızlıklardan önemli ölçüde etkilenir. Fe, P, Si, Be gibi elementler çok düşük miktarlarda bile elektrik iletkenliğini önemli ölçüde düşürürler.



# Saf Bakırlar ve özellikleri

Saf bakırların kullanım alanları:

- Bakır boru ve tel
- Motor bobini
- Jeneratörler
- Transformatörler
- Elektrikli trenlerin havai hatları
- Trolleybüs baraları
- Endüstri ve evlere elektrik enerji nakil hatlarında
- Radyatörler ve yağ soğutucuları
- Yüksek fırın tüyer, yastık radyatör ve monkilerin yapımında

# Alaşım elementlerinin etkileri

## MUKAVEMET

Cr	Si	Al	Fe
Mn	P	Zn	Zr

## KOROZYON DİRENCİ

Cu asil bir metal olmakla birlikte korozyona uğrayabilir:

Ni	Al	Sn	
As	Fe	Si	Mn

## AŞINMA DİRENCİ

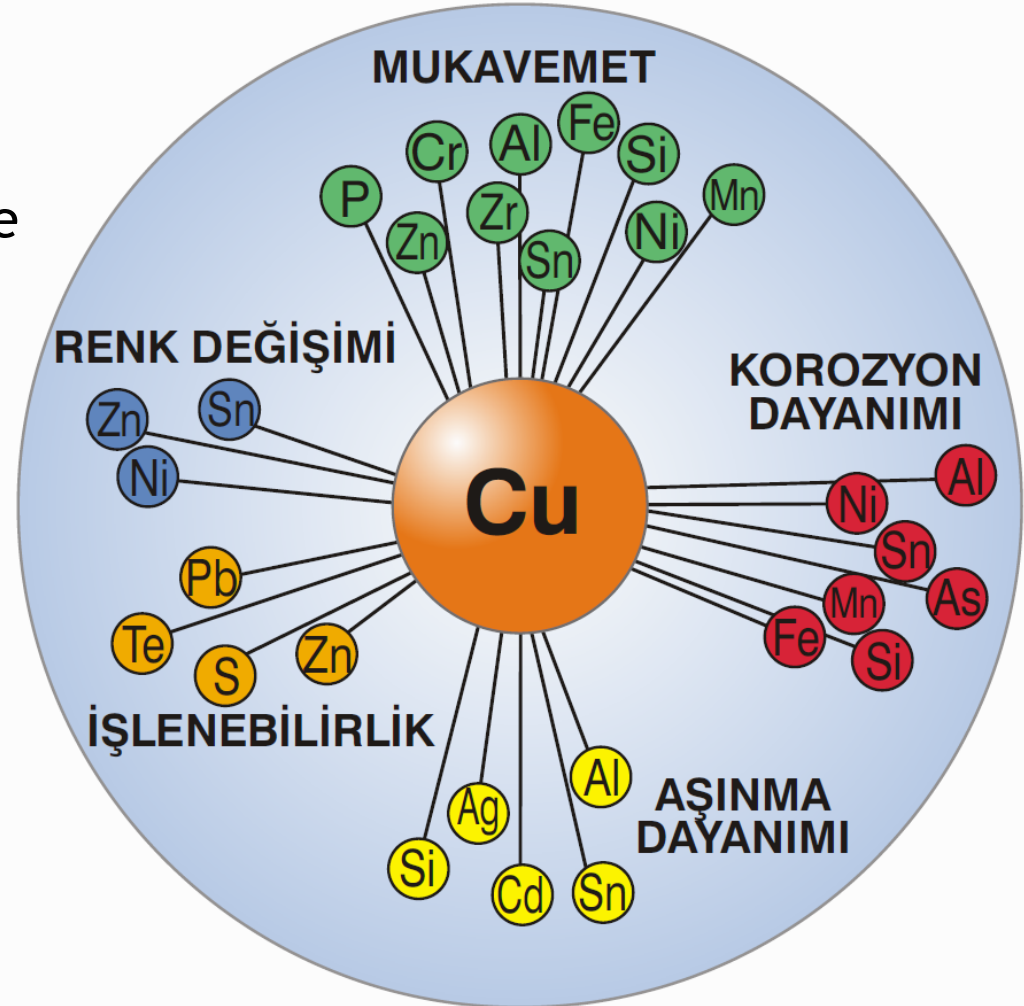
Al	Ag	Si	
Sn	Be	Co	Cd

## TALAŞLI İMALAT KABİLİYETİ

Te	Pb	S	Zn
----	----	---	----

## RENK DEĞİŞTİRİCİ

Zn	Ni	Sn
----	----	----





# Yüksek Bakır Alaşımları ve özellikleri

- Yüksek bakır alaşımları **en az % 94 Cu** içeren ve **Be, Cr, Cd, Zr** gibi Cu'da çözünürlüğü %8'den düşük olan alaşım elementi/elementleri ilavesi ile elde edilen alaşımlardır.
- Alaşım elementleri yüzey merkezli kübik (YMK)  **$\alpha$ -Cu** yapısında tutulduğu için bu alaşımlar fiziksel özellikler açısından saf bakır ile benzer özellikler gösterirler.
- Yüksek bakır alaşımları, biraz daha düşük elektrik ve ısı iletkenliği yeterli olabilecek ve ancak daha yüksek mekanik özelliklerin gerekli olduğu alanlarda kullanılır.



# Yüksek bakır alaşımları

## İşlem alaşımları (wrought)

- Kadmiyum bakırları (C16200 and C16500)
- Berilyum bakırları (C17000-C17500)
- Krom bakırları (C18100-C18400)
- Zirkonyum bakırları (C15000)
- Krom-zirkonyum bakır (C14500)

## Döküm alaşımları

- %94 üzerinde bakır içerirler
- UNS kodları C81400-C83299 arasındadır.

Yüksek bakır alaşımları biraz daha düşük elektrik ve ısı iletkenliği yeterli olabilecek ve daha yüksek mekanik özellikler gerekli ise kullanılır.

# Berilyum bakırları

İyi elektrik ve ısı iletkenliğinin yanı sıra yüksek mukavemet sunması sebebiyle kullanılırlar.

## 2 gruba ayrılırlar

### Yüksek mukavemet alaşımları

**İşlem alaşımları:** C17200 ile C17400

1.6 ile 2.0% Be ve ~ 0.3% Co içerirler.

**Döküm alaşımları:** C82000 ile C82800

2.7%'ye kadar Be.

### Yüksek iletkenlikli alaşımlar

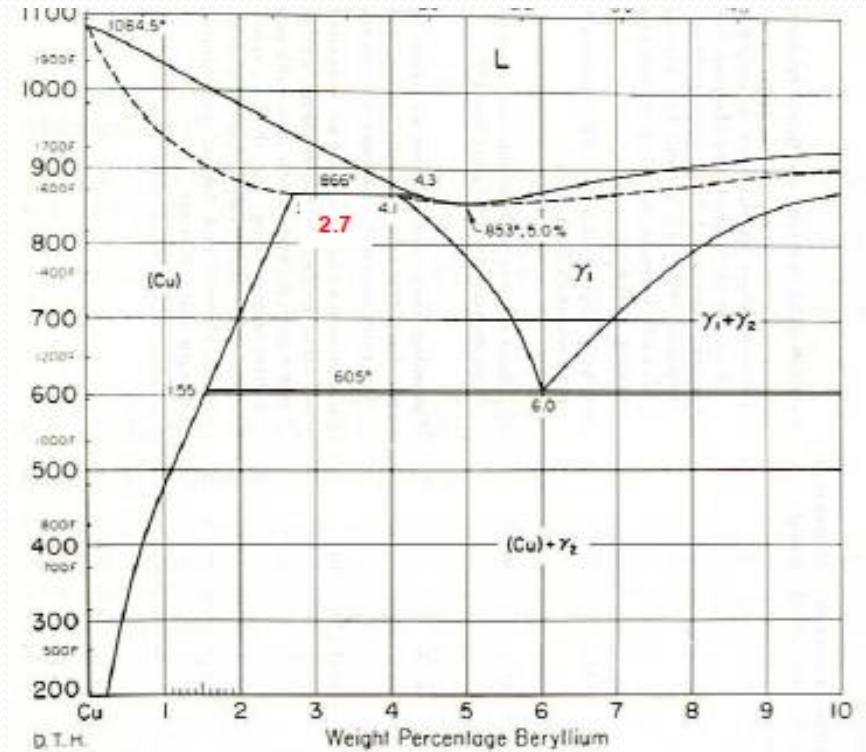
0.2-0.7% Be ve daha yüksek miktarlarda Ni & Co

Ancak yüksek maliyet ve çevreye zararlı etkileri (zehirli) nedeniyle alternatifleri araştırılıyor.

# Cu-Be alaşımları

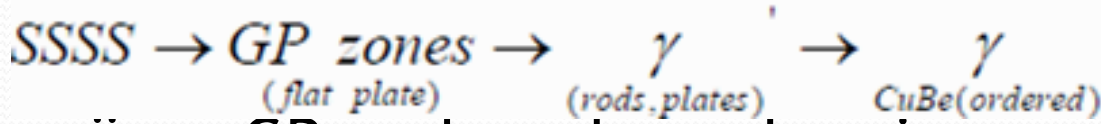
Berilyum bakırları (C17000-C17500)

- Be'ın Cu içinde çözünlüğü 860° C'de maks %2,7  
Oda sıcaklığında ise çözünlük çok düşük.
- %2'ye kadar Be içeren Cu-Be çökelmeyle sertleşebilir!
- ısıl işleme çözeltiye (800°C) alınarak ve 300-400°C'lerde yaşlandırma ile ticari bakır alaşımları içinde en yüksek sertlik ve mukavemet değeri!



# Cu-Be alaşımları

Cu-Be alaşımlarında çökeltme adımları aşağıdaki gibidir:



- önce GP zonları oluşur, kısmi yaşlandırmaya devam edildiğinde koheran  $\gamma$  çökeltilerine dönüşür.
- Artan yaşlandırma sıcaklığı ( $380^\circ\text{C}$ ) düzenli HMK  $\gamma$  denge fazı oluşur ve aşırı yaşlanma ile sertlik de düşer.
- Bu alaşımlar yüksek sertlik ve mukavemetleri nedeniyle kesici, delici takımlarda, kalıp malzemesi olarak kullanılır.

800 °C'de çözeltiye alınmış, suda su verilmiş ve 350 °C'de 4 saat yaşlandırılmış %1,87Be alaşımının mikroyapısı



Aynı alaşımın 400 °C'de 16 saat yaşlandırma sonrasında mikroyapısı

# Krom bakırları

- 0.6 ile 1.2% Cr içeren yüksek bakır alaşımları  
**İşlem alaşımları:** C18050 ile C18600  
**Döküm alaşımları:** C81400 ile C81540
- Yüksek mukavemet (çökeltme sertleşmesi sayesinde) Tam yaşlandırıldığında mukavemeti saf bakırınkinin 2 katı kadar!
- Saf bakırdan daha üstün korozyon direnci (Cr koruyucu oksit filmini daha sağlam yapar!)
- Yüksek elektrik iletkenliği: 85% IACS civarında
- Mükemmel soğuk ve sıcak şekillendirme kabiliyeti
- Yüksek sıcaklıklarda (450° C civarında) mukavemetini korur
- İyi iletkenlikle birlikte yüksek mukavemet gerekli olduğunda kullanılır



# Yüksek bakır alaşımları ve özellikleri



Krom bakırlarının  
döküm yapısı



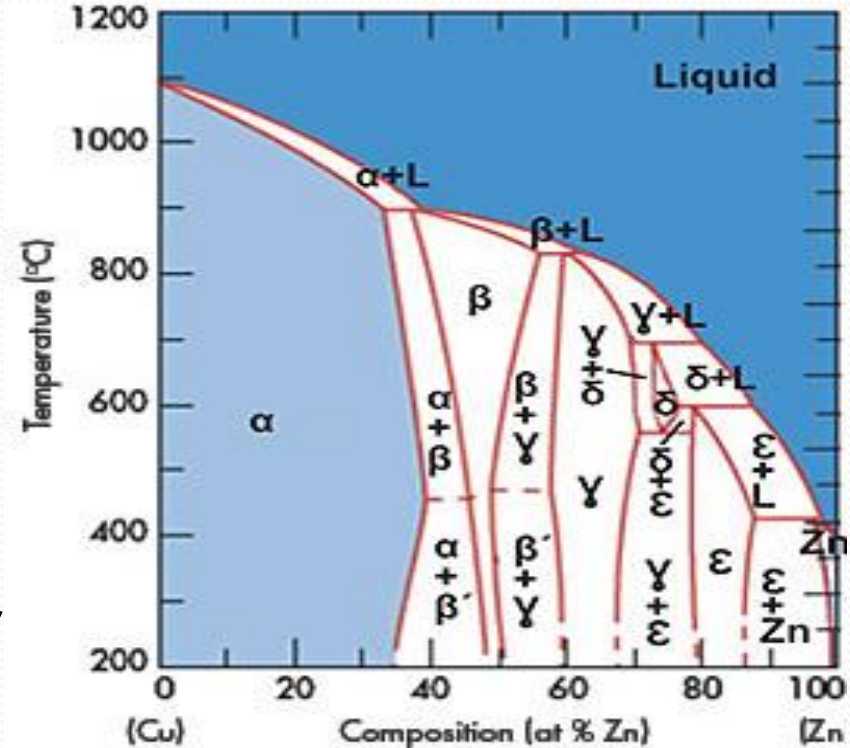
Krom bakırlarının  
Yaşlandırılmış ve soğuk  
çekilmiş yapısı

# Bakır ve yüksek bakırlı alaşımların kullanım alanları

- Elektrik, elektronik ve otomotiv sektörlerinde terminal ve konektör uygulamalarında
- Röle ve şalter panolarında yay uygulamaları
- Entegre devre
- Busbar
- Rotor çekirdek ve gövdeleri
- Armatürler
- Komutatörler
- Nokta kaynak elektrodları, direnç kaynak diskleri
- Elektrik şalterleri
- Sürekli ve statik döküm kalıplar
- Yüksek fırın tüyerleri
- Kıvılcımlanmaz yapısal

# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları

- Zn 456°C'de Cu içinde % 39'a kadar çözünerek katı eriyik oluşturur ve geniş bir aralıkta değişen özellikler gösterir.
- Cu-Zn alaşımlarına Sn, Al, Si, Mg, Ni ve Pb gibi elementler ilave edilerek çok farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir ve bu alaşımlara **PIRİNÇ** adı verilir.
- Cu-Zn faz sisteminde alaşım özelliklerini belirleyen 4 ana faz bulunmaktadır:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma$



**Phase diagram of Cu-Zn system**

*$\alpha$  phase – FCC structure*

*$\beta$  phase – BCC structure (disordered)*

*$\beta'$  phase – BCC structure (ordered)*

*$\gamma$  phase – complex structure (brittle)*

# Cu-Zn faz sistemi

$\alpha$ : YMK; kolayca deforme edilebilir: %Zn  $\uparrow$   $\sigma$   $\uparrow$

$\beta$ : HMK; soğuk deforme edilemez!

$T < 456-468^\circ\text{C} \rightarrow$

$\beta'$  (düzenli)

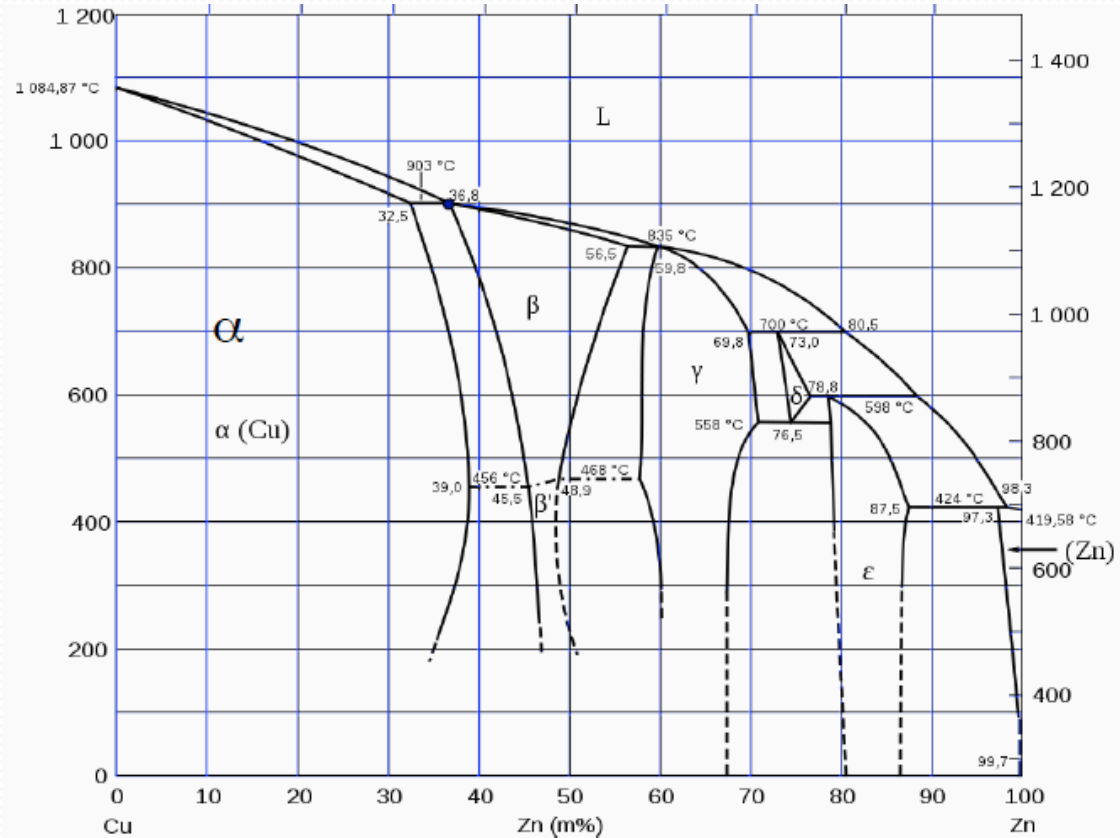
$T > 456-468^\circ\text{C} \rightarrow$

$\beta$  (düzensiz)

$\gamma$ : kompleks kübik

( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ )

Çok sert ve gevrek



# Cu-Zn alaşımları

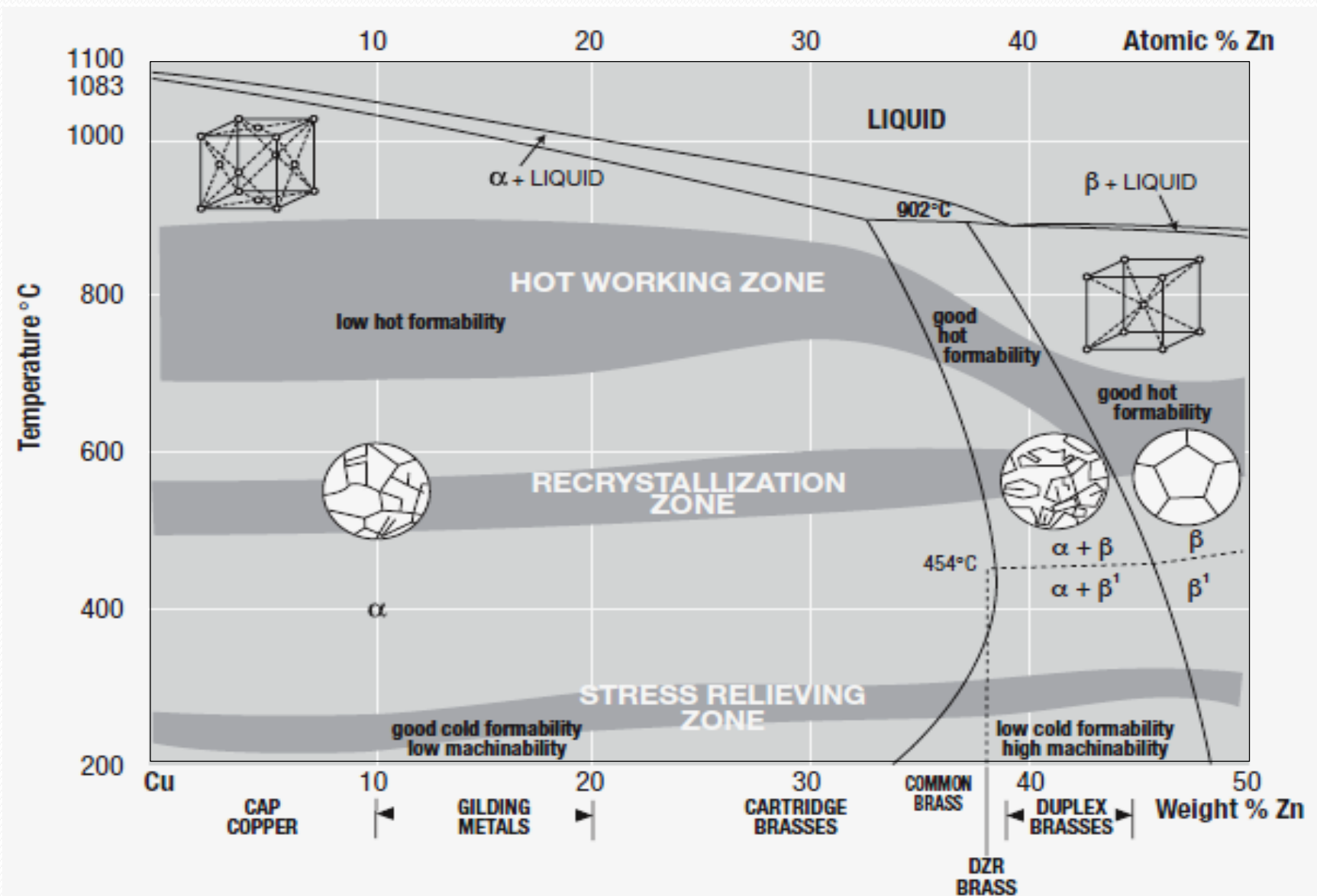
Pirinç alaşımlarının özellikleri yapıda bulunan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma$  fazlarının oranlarına ve mikroyapıya göre değişir.

Buna göre pirinçler 2 gruba ayrılır:

- Zn < 35%: alfa pirinçleri: peritektik-altı yapı sadece  $\alpha$  katı eriyiğinden oluşur.  
Oda sıcaklığında sünektir  
Soğuk işleme için idealdir.
- Zn > 35%: alfa-beta pirinçleri: peritektik-üstü  
Sıcak işlem gerekir.



# Cu-Zn faz sistemi

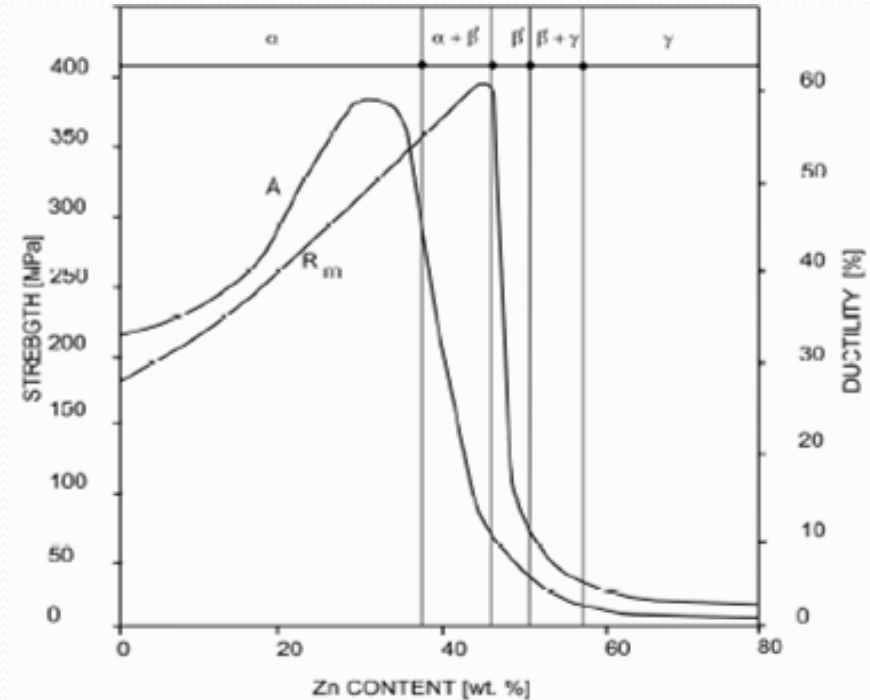


# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları

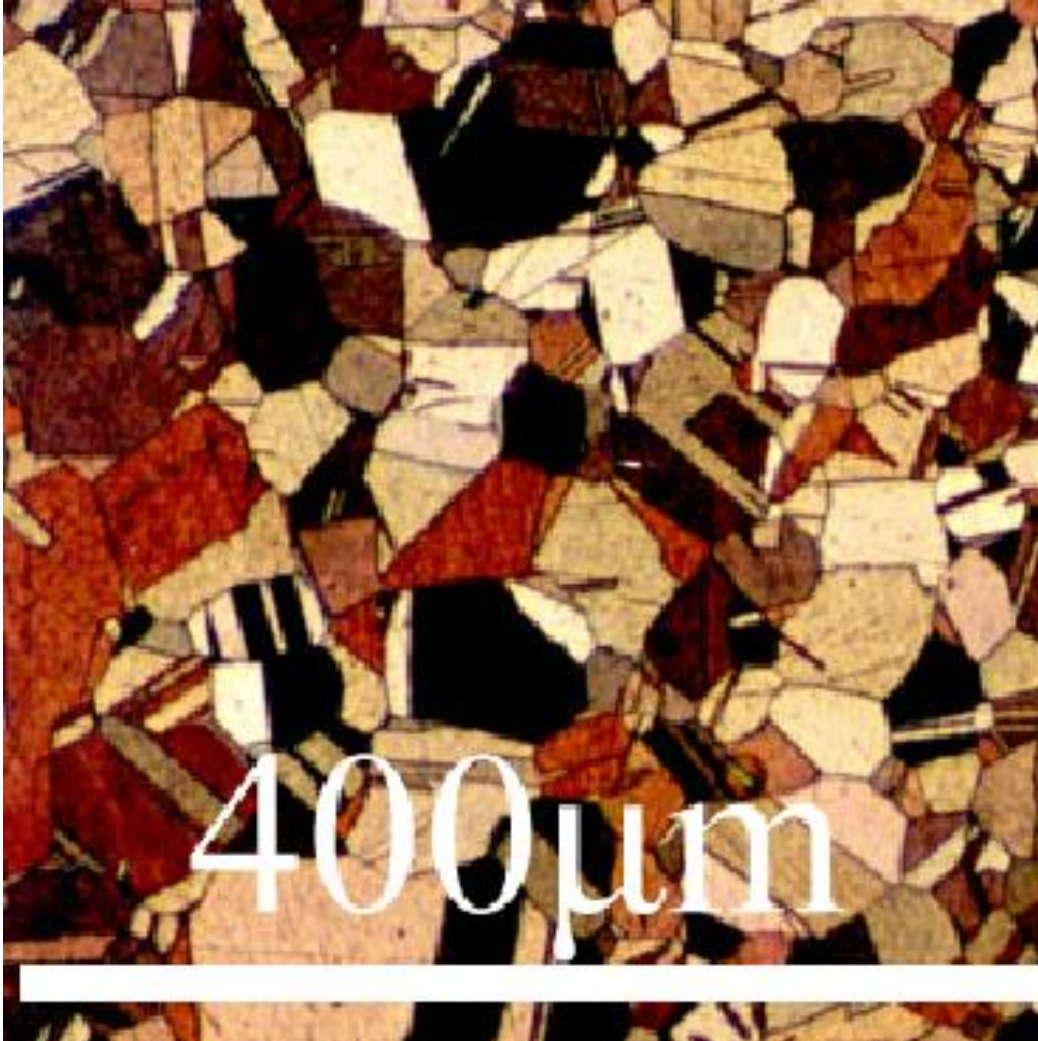
- Tek fazlı  $\alpha$  fazı içeren alaşımlar soğuk deformasyona uygundur. Hem sıcak hem de soğuk haddelenebilirler.
- $\alpha + \beta$  fazı içeren yapılar ise sadece sıcak deformasyona uygundur. Sıcak dövme, haddeme ve ekstrüzyon ile işlenebilir.
- $\alpha$  fazı çok yüksek şok direnci gösterir, yapıda  $\beta$  fazının oluşmasıyla şok direnci önemli ölçüde düşer.
- Gevrek  $\gamma$  faz içeren alaşımlarda mekanik işlemlerden kaçınılmalıdır.

# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları

- **Çekme mukavemeti**, Zn miktarı artıkça artar ve  $\beta$  fazının oluşmasıyla aniden yükselir ve birbirine yakın oranlarda  $\alpha$  ve  $\beta$  fazının bulunduğu bölgede maksimuma ulaşır, daha sonra yapıda  $\gamma$  fazının ortaya çıkmasıyla düşmeye başlar.
- **Uzama**, artan Zn içeriği ile önce maksimum değere ulaşır ve  $\alpha$  katı eriyik sınırından önce tekrar düşmeye başlar. Yapıda  $\beta$  fazının artmasıyla belirgin şekilde düşer.
- **Sertlik**  $\beta$  fazının artmasıyla belirgin olarak artar ve  $\gamma$  fazının katkısıyla daha da artar.



# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları



$\alpha$ -pirinci: 70 Cu-  
30Zn

Düz kenarlı tav  
ikizleri.

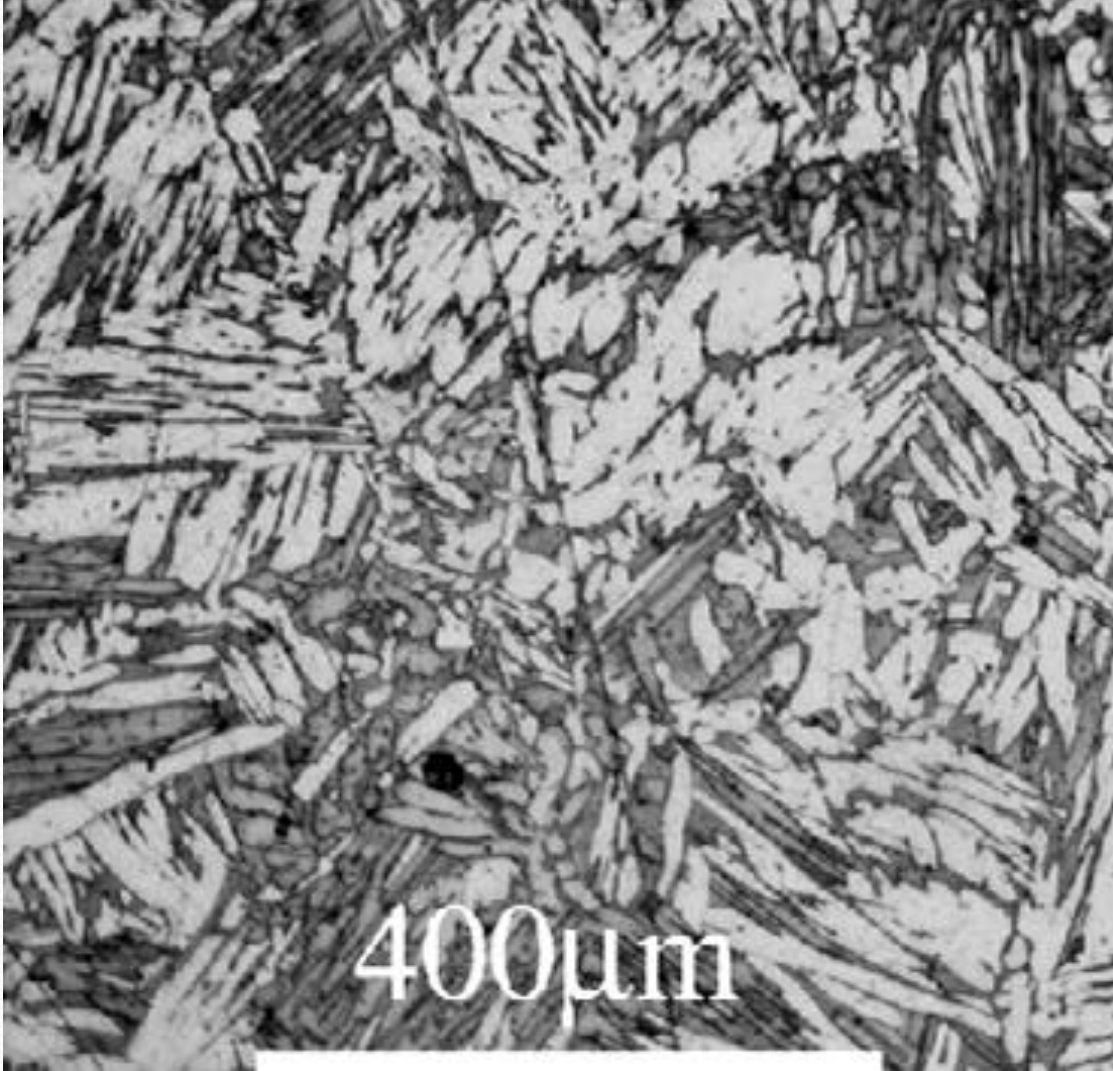
Tav ikizleri (111) CP  
düzlemlerinde istif  
hatalarıdır.

Matris tek fazlı bir  
yapıdır:

$\alpha$ -pirinci çözeltide  
ağ%30'a kadar Zn  
bulundurabilir



# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları



$\alpha$ - $\beta$  pirinci:  
60 Cu-40Zn  
matris:  
 $\beta$  fazı (beyaz).  
 $\beta$  Fazı Zn ile  
zengin fazdır.  
Muntz metalini  
 $\beta$  fazı bu alaşımı  
ısıtılarak  
uygulanabilir  
yapar.



# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları

- Yeniden kristalleşme tavlaması pirinçlerin temel ısıl işlem prosesidir. Yeniden kristalleşme tayı ve deformasyon ile malzemelerin tane yapısı değiştirilerek sertleşme kapasitesi etkilenir.
- İkili Cu-Zn alaşımları için yeniden kristalleşme alt sınırı  $425^{\circ}\text{C}$ , üst sınır ise alaşımdaki Zn miktarı ile değişir.
- Gerilme-giderme tayı ikinci önemli ısıl işlemdir.  $250-300^{\circ}\text{C}$  lerde yapılan bu ısıl işlem korozyon çatlaması riskini azaltır.

# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları

Pirinç alaşımlarının UNS standartlarında sınıflanması:

## İşlem pirinç alaşımları

C20000-C29999: Bakır-Çinko Alaşımı (Sarı Pirinç)

C30000-C39999: Bakır-Çinko-Kurşun Alaşım (Kurşunlu Pirinçler)

C40000-C49999: Bakır-Çinko-Kalay Alaşımları (Kalay Pirinçleri)

Yaygın kullanımı olan pirinç alaşımları ticari isimleri ve Zn içeriği

1) *Gliding Metal (<5% Zn)*

Yıldız pirinci

2) *Commercial Bronze (~10% Zn)*

3) *Jewelry Bronze (~12.5% Zn)*

kuyumcu pirinci

4) *Red Brass (~15% Zn)*

5) *Low Brass (~20% Zn)*

6) *Cartridge Brass (~30% Zn)*

fişek pirinci

7) *Yellow Brass (~ 35% Zn)*

8) *Muntz Metal (40% Zn)*

# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları

Pirinç alaşımlarının UNS standartlarında sınıflanması:

## Döküm pirinç alaşımları

**C83300-C83999:** Bakır-Kalay-Çinko ve Bakır-Çinko-Kalay-Kurşun Alaşımları ( Kırmızı ve Kurşunlu Kırmızı Pirinçler)

**C84000-C84999:** Bakır-Kalay-Çinko ve Bakır-Çinko-Kalay-Kurşun Alaşımları (Yarı-kırmızı ve Kurşunlu Yarı-Kırmızı Pirinçler)

**C85000-C85999:** Bakır-Çinko Alaşımları (Sarı Pirinçler)

**C86000-C86999:** Mangan Bronzu ve Kurşunlu Mangan Bronz Alaşımı (Yüksek Mukavemetli Sarı Pirinç)

**C87000-C87999:** Bakır-Silis Alaşımları (Silis bronzu ve Silis Pirinci )

**C88000-C89999:** Bakır-Bizmut ve Bakır-Bizmut-Selenyum alaşımı

# Pirinçler ve özellikleri

## Talaşlı imalat

- Mükemmel
- 3% Pb ilavesi ile daha da iyileştirilir/ yüksek hız pirinçleri

## Mukavemet

- Tavlandıklarında sünek ve dayanıklıdır
- Soğuk deformasyonla mukavemetleri artar.
- Mn, Al, Sn, Si, Fe ve Ni ilavesi ile yüksek çekme mukavemeti kazanırlar ( $UTS > 500 \text{ MN/m}^2$ )
- Aşırı soğuk deformasyonla  $UTS \sim 750 \text{ MN/m}^2$
- Yüksek darbe direnci
- Darbeli yüklemelerde parçalanmaz, kırılmaz!

# Pirinçler ve özellikleri

- Mekanik özellikleri korunduğu ve hatta bir miktar arttığı için krojenik sıcaklıklarda (-197°C) kullanılabilirler.
- Mukavemetleri 200° C'ye kadar korunur.
- Pirinçte **kurşun** bulunduğunda **yağlayıcı etki** yapar ve sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştirir.
- Bu özelliği ile saat ve benzeri hassas enstrümanlarda dişli uygulamalarında tercih edilirler.
- **Silis** ilavesi ile üretilen pirinçler **ağır iş rulmanlarında** kullanılırlar.



# Pirinçler ve özellikleri

## Korozyon özellikleri

- **Mükemmel korozyon direnci**
- **Kalay ilavesi ile deniz ortamlarında kullanılan naval ve admiralty pirinçleri için korozyon direnci daha da artar.**
- **Alfa pirinçlerine bir miktar arsenik ilave edildiğinde su ortamlarında bağlantı elemanı olarak kullanılan, çinkosuzlaşma direnci yüksek pirinç elde edilir.**
- **Hijyeniktirler.** Pirinç yüzeylerinde mikro organizmaların büyümesi güçtür.

# Pirinçler ve özellikleri

## Estetik görünüş

- Pirinç alaşımları albenili görünümleri, yüzey kaliteleri ve uzun servis ömür gibi artıları ile dayanıklı dekoratif uygulamalar için tercih edilirler.
- Alüminyum pirinçleri gümüşü, ipeksi görünümleri ile çok caziptir.
- Mn'lı bazı pirinçler ekstrüde edildiklerinde çekici bronz renk alırlar
- Bazıları Mn bronzları olarak da bilinen yüksek çekme mukavemetli pirinçler kahverengi ile bronz arasında renkler verilebildiklerinde mimari uygulamalarda tercih edilirler.

# Pirinçler ve özellikleri

## Geri kazanım

- Pirinçler özelliklerinde ciddi kayıplar yaşamadan tekrar ergitilebilirler ve geri kazanılabilirlikleri yüksektir.
- İmalat sürecinde talaşlı süreçte ortaya çıkan talaş-toz gibi yan atıkların yüksek değeri proses maliyetleri hesaplanırken göz önünde bulundurulmalıdır.
- Pirinç hurdasının değeri tipik olarak sıfır malzemenin %40'ı kadardır.

# Pirinçler imalat süreçleri

## Döküm

- Ergimiş pirincin akışkanlığının yüksek olması tüm döküm pratikleri ile üretilmesine olanak sağlar.
- Hassas döküm için ideal bir metaldir.
- Gravite ve basınçlı döküm teknikleri ile üretime uygun olması karmaşık parçaların son şekle yakın (talaşlı imalat gerektirmeyecek şekilde) çok yüksek sayılarda üretilmesini mümkün kılar
- Pirinç santrifüjde dökülebilir ve boru şeklinde parçalar için idealdir.
- Sürekli döküme de uygundur.

# Pirinçler imalat süreçleri

## Ekstrüzyon-sıcak şekillendirme

- Sürekli dökülen ingotlardan kesilen biletler  $600^{\circ}\text{C}$  ile  $800^{\circ}\text{C}$  arasına ısıtılır ve ısıtılmış bir kalıptan geçirilerek kare, hegzagonal veya daire kesitli profiller üretilir.
- Ekstrüzyon prosesi için yüksek sıcaklıklarda yüksek şekil alma kabiliyetine sahip dupleks pirinçler.
- Profil yapıları ince taneli ve kesit boyunca homojendir.



# Pirinçler imalat süreçleri

## Soğuk şekil verme

- Soğuk şekil verme boyutsal kararlılık ve hassasiyet ve üstün yüzey kalitesi gibi artılar sunar.
- Dereceli artışlarla soğuk deformasyon sertlik, akma ve çekme dayanımlarını arttırırken, azalan uzama değerlerinden de anlaşılacağı gibi sünekliği düşürür.

# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları : Kalay pirinçleri

**UNS C40400-C48600**

***Bakır, çinko (2% ile 40%) ve kalay (0.2% ile 3%)***

- İyi sıcak dövülebilirlik
- İyi soğul şekillendirme kapasitesi
- Makul seviyede mukavemet
- Yüksek atmosferik ve sulu ortam korozyon direnci
- Mükemmel elektrik iletkenliği
- Düşük Çinkosuzlaşma eğilimi

# Kalay pirinçleri

## Kullanım alanları

- Mukavemetli birleştiriciler
- Elektrik konektörleri
- Yaylar
- Korozyona dayanıklı mekanik parçalar
- Deniz araçları yapısal parçalar
- Pompa şatları
- Korozyona dayanıklı vida ve makine parçaları

## Alaşımlar,

- Amiral pirinçler
- Gemici pirinci
- Kolay işlenir kalay pirinçleri

# Silis pirinçleri/silis kırmızı pirinçleri

## UNS C69400-C69710

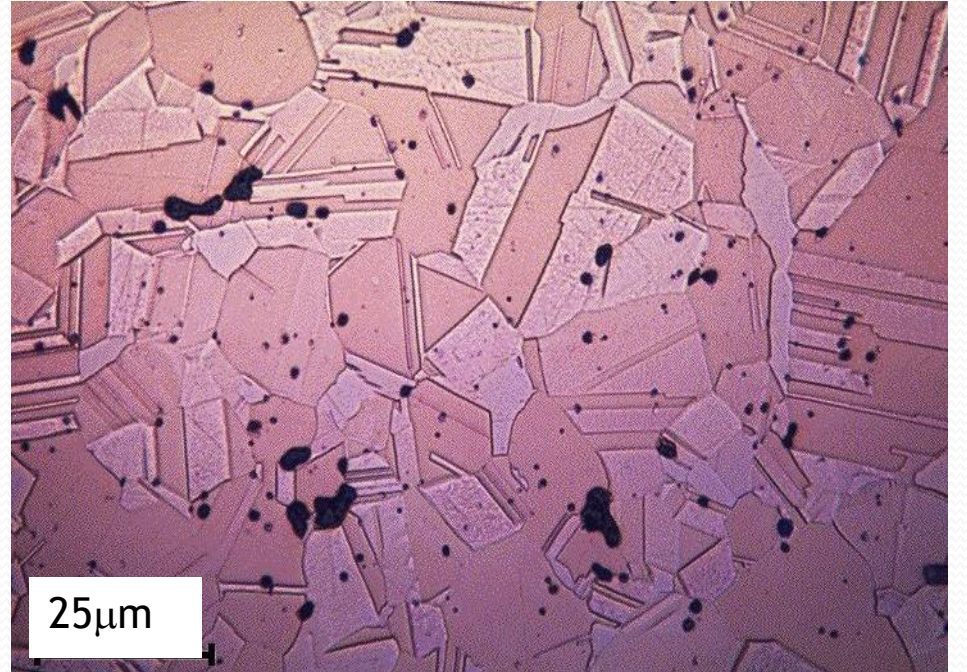
- 20%'den az Zn ve 6%'dan az Si
- Yüksek mukavemet pirinçleri
- Katı eriyik sertleşmesi
- Yüksek mukavemetleri ve yeterli korozyon dirençleri sebebiyle seçilirler.
- iletkenlikleri alaşımsız bakırdan çok daha düşüktür.
- Silis kırmızı pirinçleri korozyon direnci ve mukavemetin gerekli olduğu valf gövdelerinde kullanılırlar. Rulman, Dişli ve karmaşık şekilli pompa ve valf parçaları imal etmek için de kullanılır.

# Silis kırmızı pirinçleri

## UNS C69400-C69710

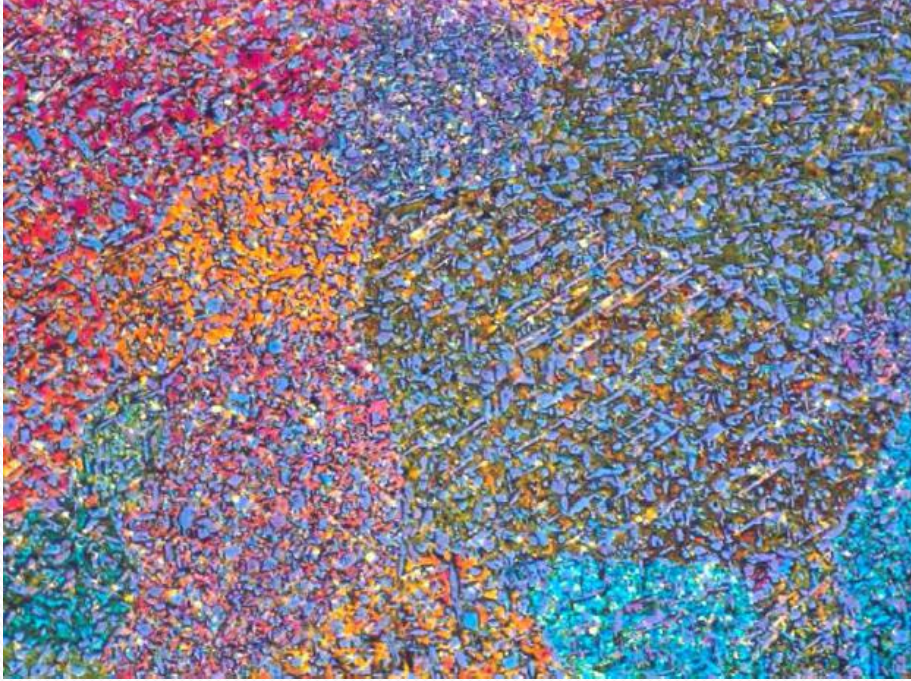
Silisli pirinçlere benzerler  
Çok daha düşük Zn içerirler.  
Soğuk işlenmiş mikroyapılar  
eş eksenli, ikizlenmiş  
alfa bakır katı eriyiği  
taneleri içerir.

Soğuk işlenmiş bileşim:  
Cu 75.0-80.0, Si 2.5-3.5,  
Zn 14.0-21.4, Fe 0.20, Pb  
0.5-1.5, Mn 0.4

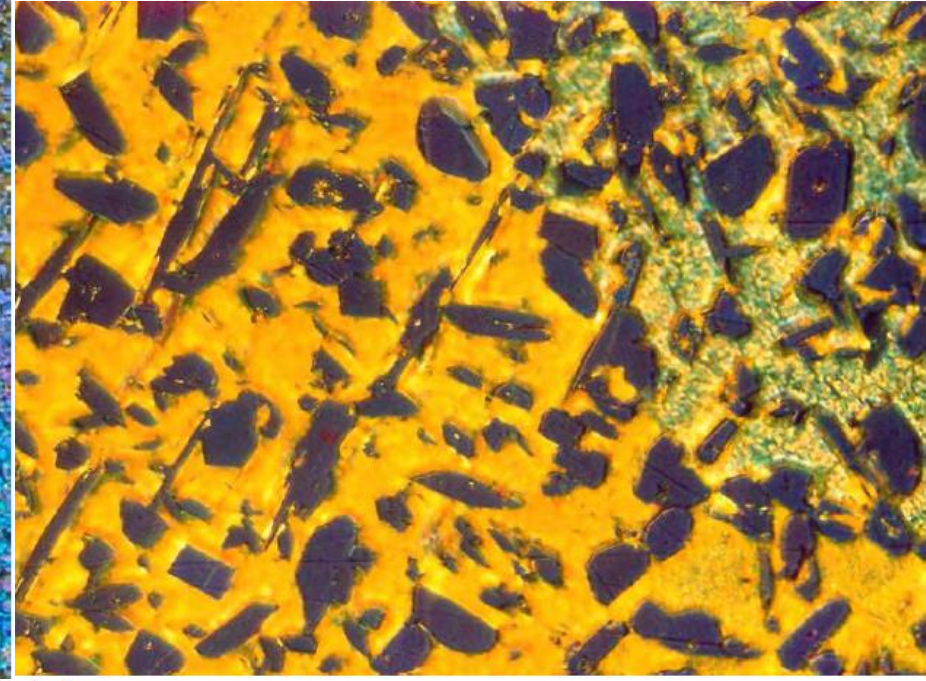




# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları: Tipik Mikroyapı



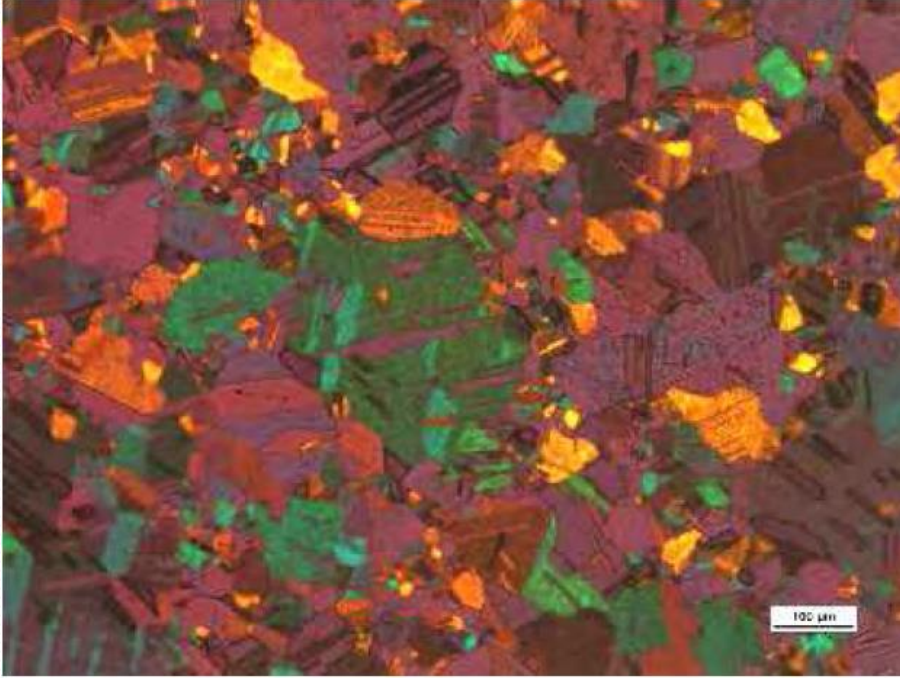
CuZn40Mn3Fe1 alaşımlarının  
Döküm tane yapısı 100x



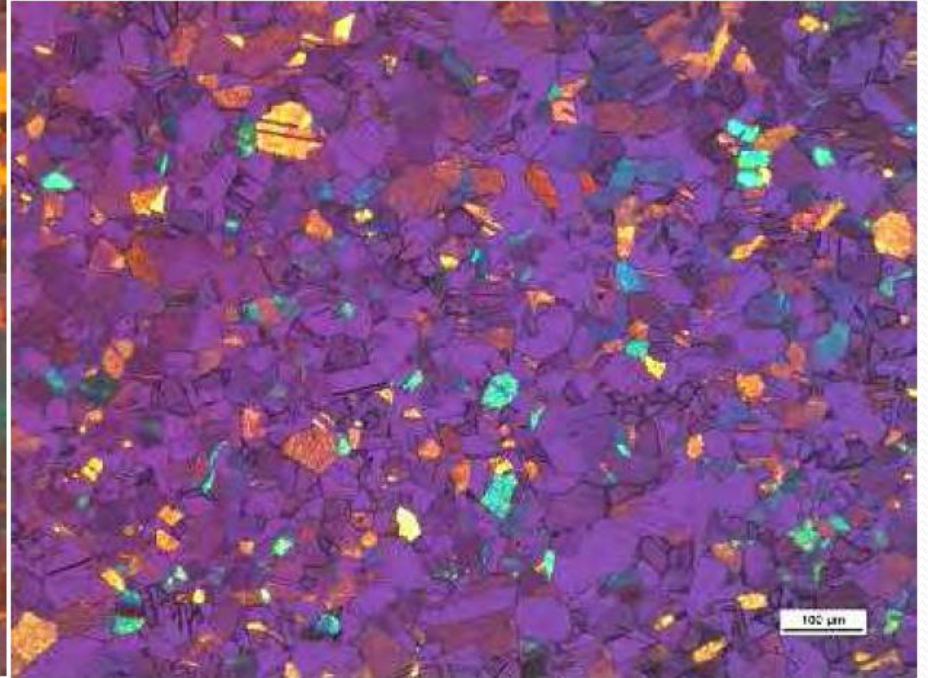
CuZn40Mn3Fe1 alaşımlarının  
Döküm tane yapısı 500x  
 $K_2Cr_2O_7$  ile dağlanmış



# Cu-Zn (Pirinç) alaşımları: Tipik Mikroyapı



% 70 Cu içeren derin çekme  
pirinç  $\alpha$  fazı tane yapısı

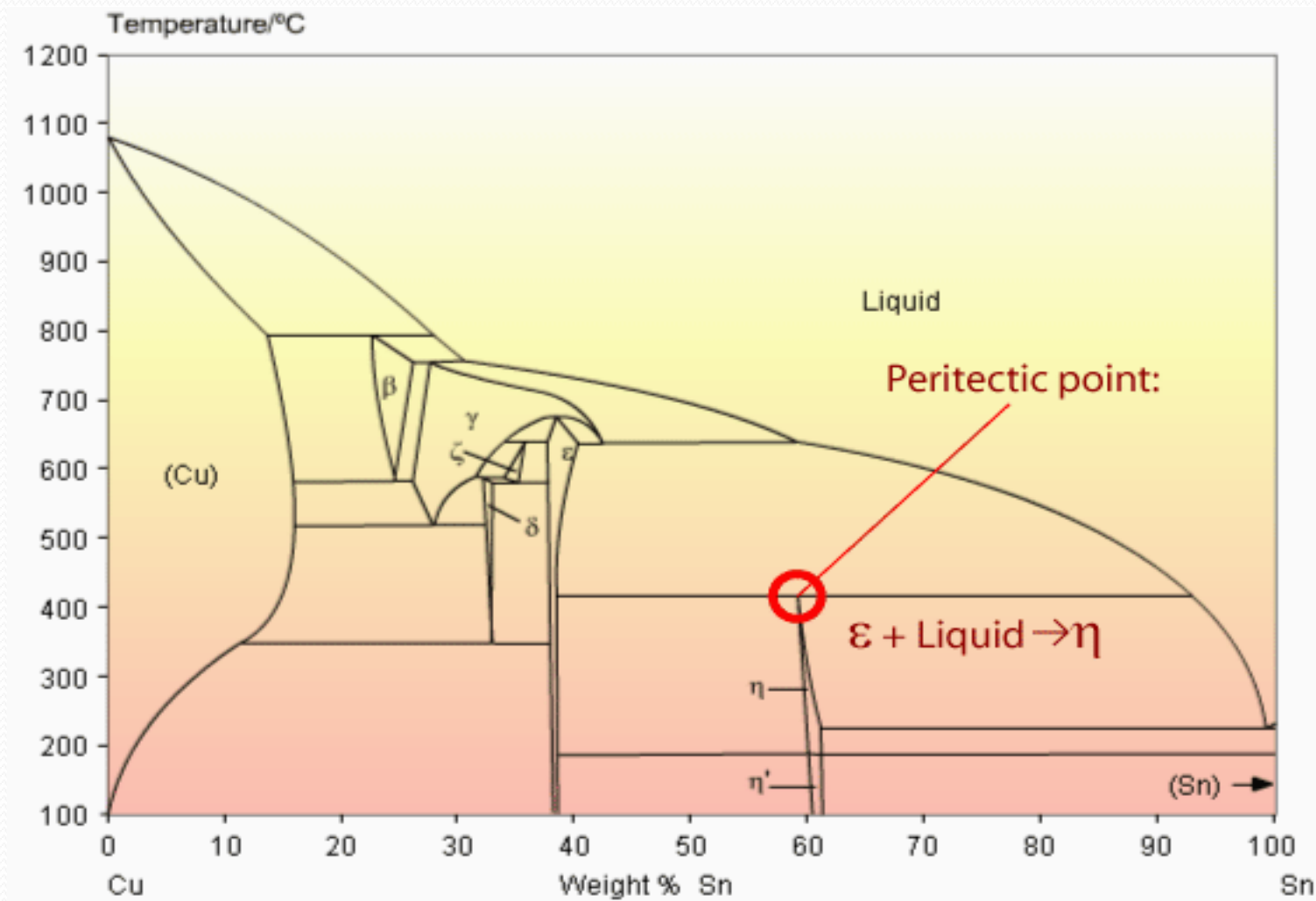


% 37 Zn içeren dubleks pirinç  
yapısında  $\alpha$  fazı (eplaton)

# Muntz metalı

- %60Cu-%40Zn içerikli bir  $\alpha + \beta$  pirincidir. Çok az miktarda Fe de içerir.
- 1832 'de İngiltere'de patentlenmiştir.
- Sıcak şekillendirme gereklidir.
- Günüümüzde korozyona dayanıklı makine parçaları imalartında kullanılmaktadır.
- İlk uygulaması «anti-fouling» özelliği sayesinde gemilerin altının kaplanması idi.
- deniz suyu ile etkileşimi sonucunda bakır alaşımdan çözünerek ve her türlü organizmayı zehirler.

# Cu-Sn alaşımları - bronzlar



# Cu-Sn alaşımları

- Tek fazlı bronzlar:
- Sadece  $\alpha$
- $< \sim 16\%$  Sn: YMK
- Deformasyon uygulanabilir ve deformasyonla sertleşir
- İyi ısı ve elektrik iletkeni
- Korozyon direnci iyi
- Uygulamalar:
- Yaylar, madeni paralar,
- levha ve tel



# Cu-Sn alaşımları

- Çift fazlı bronzlar
- $\alpha + \delta$
- $< \sim 22\%$  Sn: YMK
- Özellikleri  $\delta$  fazı belirler.
- Düşük ergime noktası
- Dökümü kolay
- Dişli ve vana döküm parçalar
- Plastik deformasyon mümkün değil!
- Düşük sürtünme katsayısı-rulman uygulamaları için ideal

# Bronzlar

- **Bronz sadece Bakır-Kalay alaşımlarını tarif etmez**
- **Başlıca alaşım elementleri Zn ve Ni olmayan tüm bakır alaşımlarına BRONZ denir.**
- **Al, Si, Be katkıları ile elde edilen bronzlara Al bronzu, Silisyum bronzu, Berilyum bronzu adı verilir.**
- **Bronzlar pirinçlerle birlikte en popüler bakır alaşımıdır.**
- **Korozyona dirençleri yüksektir.**
- **Saf demirden daha serttirler!**

# Bronzlar

- Başlıca alaşım elementleri: Sn, Al, Si ve Be
- Mısırlılar bronzu silah, zırh, alet ve de heykel yapımında kullandı.
- heykel bronzu: %10'dan az ve Zn ve Pb karışımı. Katılaşma sırasında soğuma ile büzülür ve böylece heykelin kalıptan çıkarılması mümkün olur.
- çan metali; %20-25 Sn içeren bronz alaşımıdır ve darbe aldığıında çok şık ses verir.

# Bronzların çeşitleri

## İşlem bronzları

- C50000-C52999: Bakır-Kalay-Fosfor Alaşımları (*Kalay veya Fosfor Bronzları*)
- C53000-C54999: Bakır-Kalay-Kurşun-Fosfor Alaşımları (*Kurşunlu Fosfor Bronzları*)
- C55000-C55299: Bakır-Fosfor and Bakır-Gümüş-Fosfor (*Sert Lehimleme Alaşımları*)
- C55300-C60799: Bakır-Gümüş-Çinko Alaşımları
- C60800-C64699: Bakır-Alüminyum Alaşımları (*Alüminyum Bronzları*)
- C64700-C66199: Bakır-Silis Alaşımları (*Silisyum Bronzları and Silisyum Pirinçleri*)

# Bronzların çeşitleri

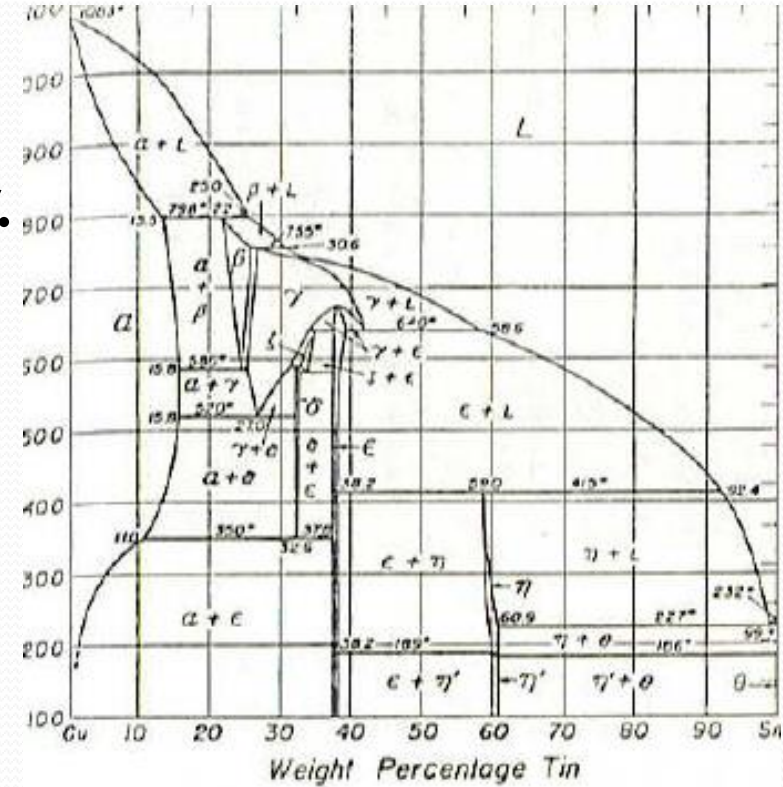
## Döküm bronzları

- C90000-C91999: Bakır-Kalay alaşımları  
(*Kalay bronzları*)
- C92000-C92900: Bakır-Kalay-Kurşun alaşımları  
(*Kurşunlu Kalay Bronzları*)
- C93000-C94500: Bakır-Kalay-Kurşun alaşımları  
(*Yüksek Kurşunlu Kalay Bronzları*)
- C94600-C94999: Bakır-Kalay-Nikel alaşımları  
(*Nikel-Kalay bronzları*)
- C95000-C95999: Bakır-Alüminyum-Demir ve Bakır-Alüminyum-Demir-Nikel alaşımları  
(*Alüminyum bronzları*)



# Cu-Sn alaşımları (Kalay bronzları)

- Cu, Sn ve P içerirler.
- P genellikle deoksidasyon amaçlı ilave edilir: **Fosfor bronzu** olarak da adlandırılırlar.
- Sn, Cu'da 520-586 °C'de % at. 15,8'e kadar katı eriyik oluşturur.
- %11 Sn'ya kadar 350 °C'nin üzerinden Oda Sıcaklığına soğutulduğu zaman **ε fazının** çökmesi yavaş ilerler, fakat **yarı-kararlı ε'** fazının oluşumu gözlenir.

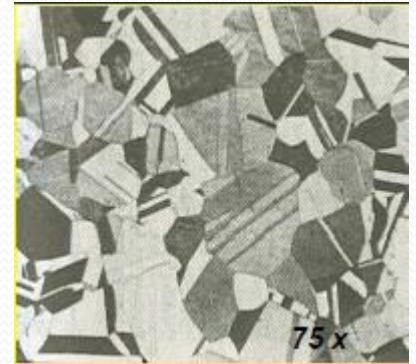


Cu-Sn faz diyagramı

# Cu-Sn alaşımları (Kalay bronzları)

## İşlem kalay bronzları

- İşlem Cu-Sn bronzları % 0,1'e kadar P ile % 1,25-10 Sn içerirler: **Fosfor bronzu**
- P dökülebilirliği geliştirmek için deoksidasyon amacıyla ilave edilir.
- %92 Cu-%8Sn alaşımının mikroyapısı tavlama ikizleriyle yeniden kristalleşmiş  $\alpha$  tanelerinden oluşur.
- soğuk haddelenmiş halde, pirinçlerden daha yüksek mukavemete ve korozyon direncine sahiptir.



# Cu-Sn alaşımları (Kalay bronzları)

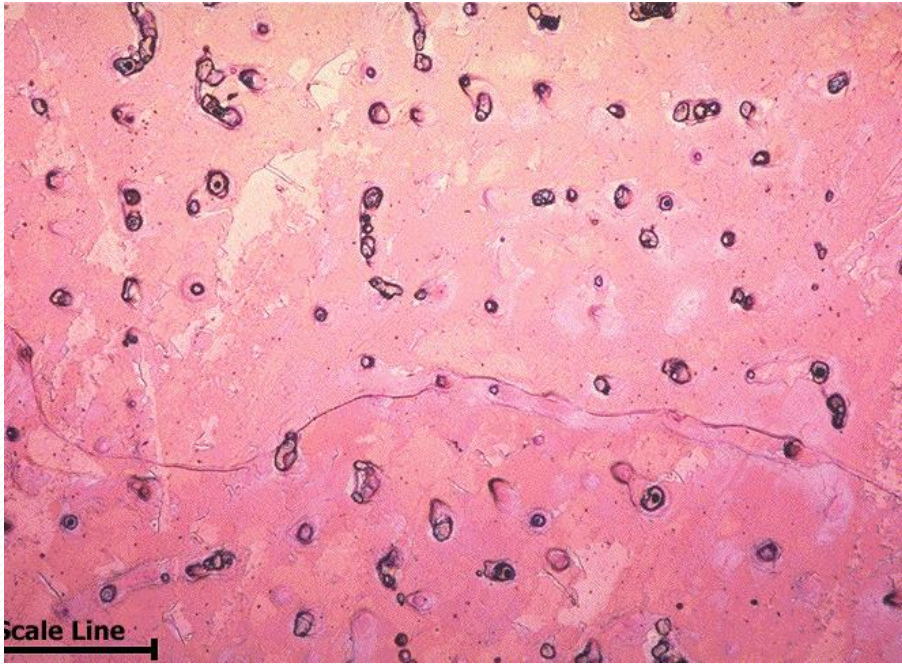
## Kurşunlu fosfor bronzları

- Fosfor bronzlarına **kurşun** ilavesi ile (UNS C53400-C54400) yüksek mukavemet ile yorulma direnci, iyi işlenebilirlik, yüksek aşınma ve korozyon direnci sağlanır.
- Rulman bilezikleri, sağlama pulları ve spab iteceği gibi uygulamalarda kullanılırlar.

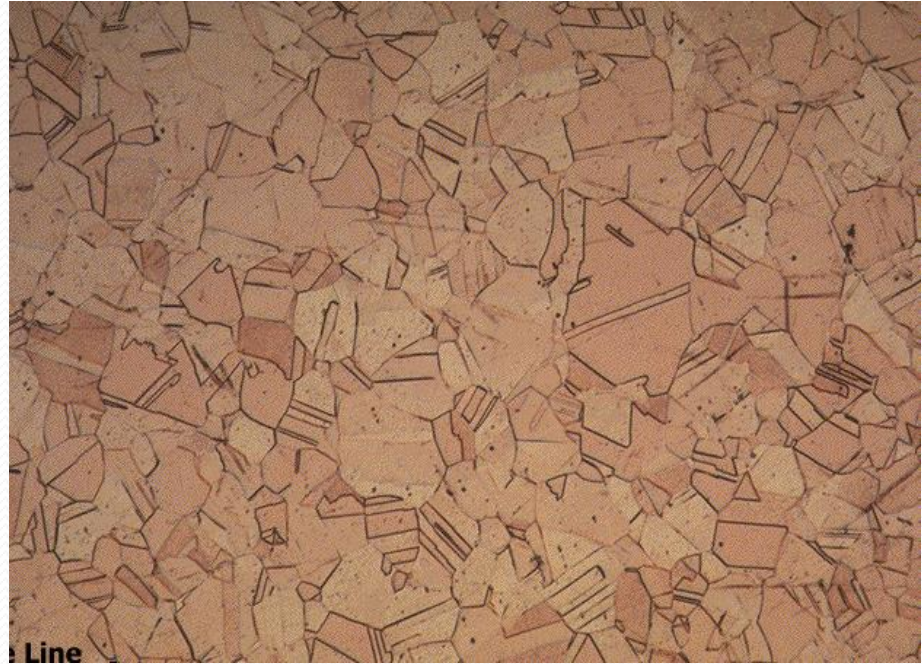


# Cu-Sn alaşımları (Kalay bronzları)

Cu 97.5-98.5, Sn 1.0-1.7, P 0.03-0.35, Zn 0.30, Fe 0.10, Pb, 0.05 olan **fosfor bronzunun** farklı aşamalarda **mikroyapısı**



Döküm



İşlem sonrası

# Cu-Sn alaşımları (Kalay bronzları)

## Alaşım elementlerinin etkisi

- **Kurşun:** Yapıda çözünmeyen yığıntılar (segregasyon) şeklinde bulunur. Tornada iyi işlenebilme, yatak malzemesi ve basınca dayanıklılık özelliği kazandırır.
- **Demir:** Max % 0.2 oranında bulunur. Çekme mukavemetini ve sertliği artırır. Fakat sünekliliği düşer.
- **Çinko:** Sertleşme özelliği verir. Akışkanlığı mükemmel derecede artırır. Deoksidasyon özelliği vardır.



# Cu-Sn alaşımları (Kalay bronzları)

## Alaşım elementlerinin etkisi

- **Fosfor:** Deoksidasyon amacıyla kullanılır. Alaşımı daha sert ve kırılđan yapar.
- **Nikel:** Sertliği ve mukavemeti arttırır. Max .% 6'ya kadar kullanılır. Y¼ksek sıcaklıkta bir katı metal ağı oluşturarak katılaşma noktasını, g¼zenek miktarını d¼ř¼r¼r. Basınç altında kullanılan malzemelerde sızmayı azaltarak dayanıklılığı arttırır. Kurşun segregasyonunu ¼nler.

# Fosfor Bronzlarının kullanım alanları



Fosfor bronzundan üretilmiş tenor ve soprano saksofon

1940larda bir Amerikan savaş gemisinin fosfor bronzundan yapılmış pervanesi

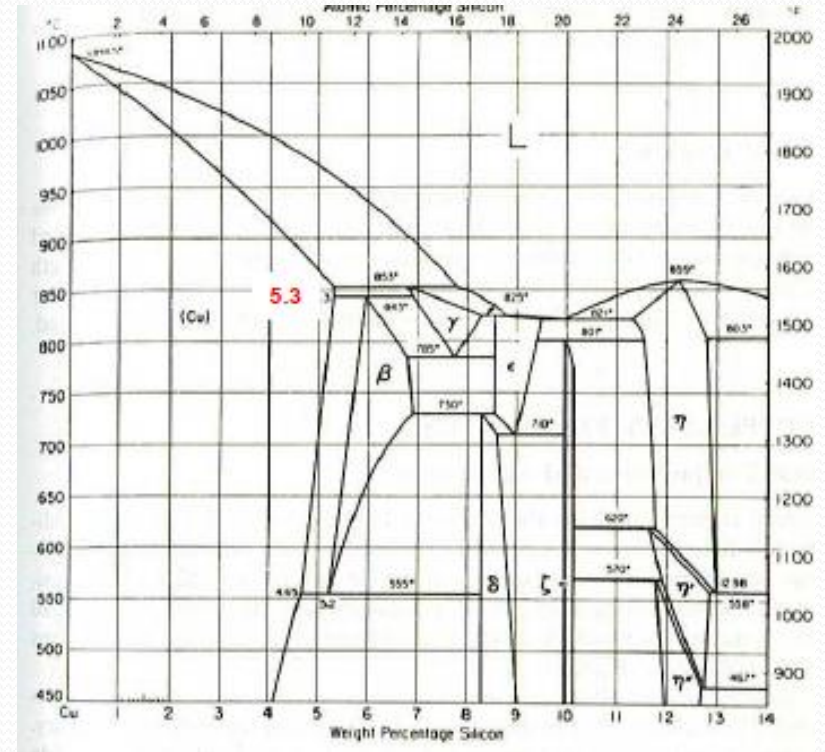


Fosfor bronzu ile sarılmış **Akustik gitar teli**



# Cu-Si alaşımları (Silisyum bronzları)

- Si'un Cu içinde maksimum katı eriyik yapabilme sınırı 843 °C'de % ağ 5,3'tür.
- Çoğu silisyum bronzları %1-3 Si içerir. Bu alaşımlar çökeltme sertleşmesi göstermezler.
- Bazı durumlarda özelliklerin iyileştirilmesi için Mn ve Fe ilave edilir.
- Silisyum bronzları yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet (390-100 MPa) ve tokluğa sahiptir. Bu nedenle, denizel atmosferlerde yüksek korozyon direnci gösteren kalay bronzlarına düşük maliyetli seçenek olarak kullanılmaktadırlar.

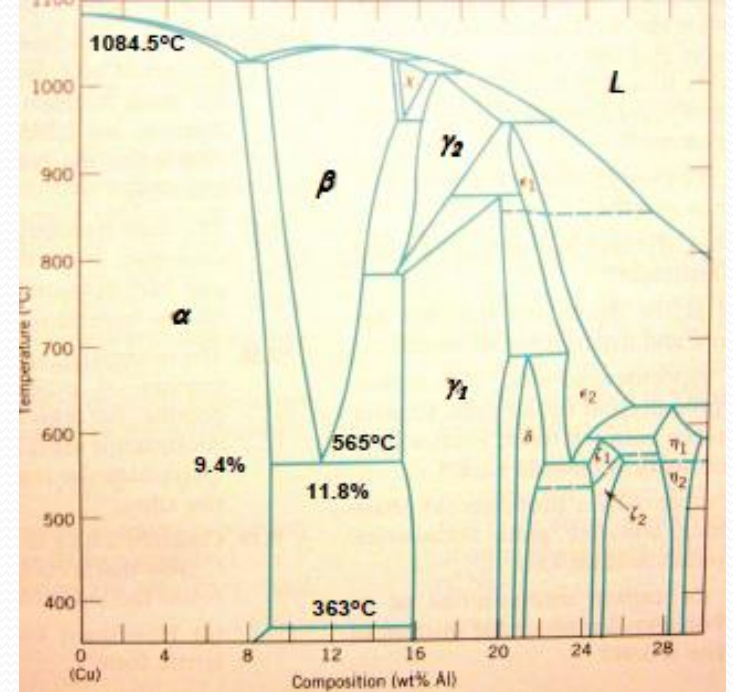


Cu-Si faz diyagramı

# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

Cu-Al faz diyagramı

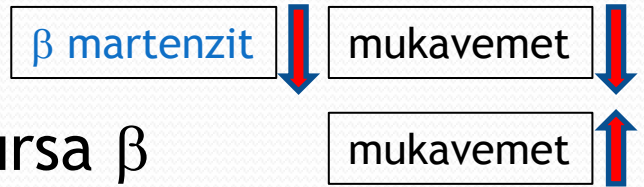
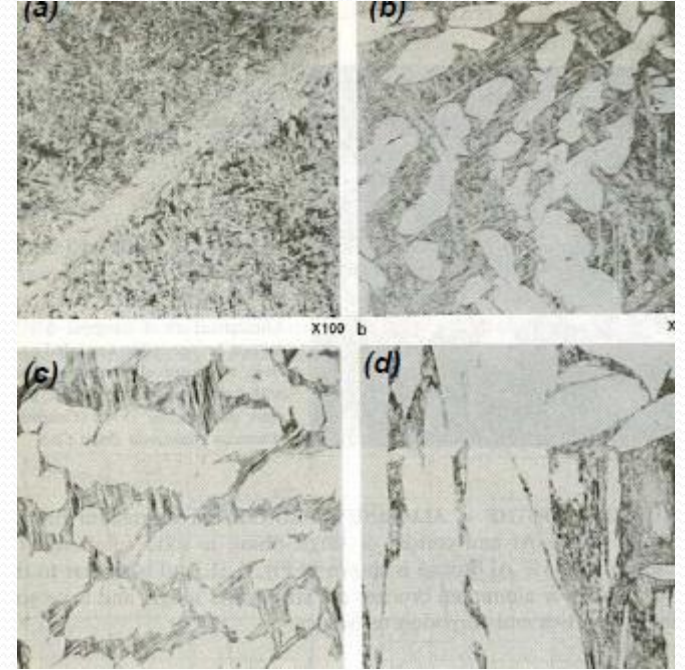
- Cu-Al alaşımları **Alüminyum Bronzu** olarak bilinirler ve yaklaşık %15'e kadar Al içerirler.
- Al'un Cu içinde katı eriyik yaptığı  **$\alpha$  fazının** çözünürlük sınırı  $565^{\circ}\text{C}$ 'de %9,4'e  $1035^{\circ}\text{C}$ 'de %7,4'e ulaşır.
- $1035^{\circ}\text{C}$ 'de % 9 Al'e  $\beta$  fazı hakim olmaya başlar.
- % 9,5 Al üzerinde Al içeren alaşımlar oda sıcaklığına hızla su verilirse yarı kararlı tetragonal  $\beta'$  yapının martenzitik transformasyonu oluşur.





# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

- 900° C'de Al > at% 8:  $\beta$  fazı da oluşur ve mikroyapı karmaşılaşmaya başlar.
- Uygulanan ısıtma işlemine bağlı olarak farklı yapı ve özellikler elde edilir.
- Örneğin % 9,5 Al 900° C'den su verilerek soğutulursa  $\beta'$  martenzitik yapı (Şekil a)
- Eğer 800 veya 560° C'ye yavaş soğutulursa  $\beta$  martenzit oluşur (Şekil b ve c).
- 500° C'ye soğutulur ve su verilirse  $\beta$  fazı ( $\alpha+\gamma_2$ ) (Alüminyum bronz perlit) bozunur (Şekil d)





# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

## $\beta'$ martenzitik yapının temperlenmesi

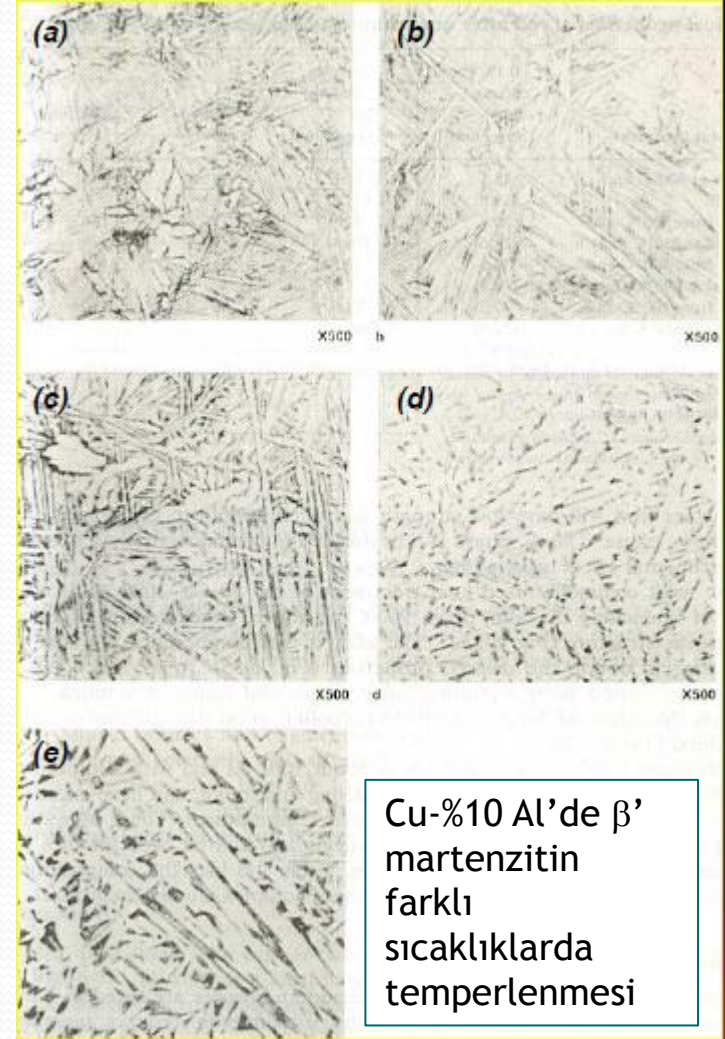
- $\beta'$  martenzitik 450-600°C'de temperlenerek iyi özellikler sağlanabilir.
- Temperleme sonucu çok ince  $\alpha$  fazı **çökeltileri** çok iyi mukavemet ve süneklik sağlar.

Artan temperleme sıcaklığı



Daha iri mikroyapı

- a) 900°C'de 1 s tutulup suda su verildi
- b) 400°C'de 1 s temperleme
- c) 500°C'de 1 s temperleme
- d) 600°C'de 1 s temperleme



# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

- Alüminyum bronzları yüksek ergime sıcaklığına sahiptir(yaklaşık  $1038^{\circ}\text{C}$ )
- Dar katılaşma aralığı vardır (likidus - solidus arası yaklaşık  $110^{\circ}\text{C}$ )
- Sıcaklığın artması ile  $\alpha$  ve  $\alpha + \beta$  fazlarının çözünürlük sınırları değişir.
- $565^{\circ}\text{C}$  ve % 11.8 alüminyumda meydana gelen ötektoid dönüşüm, ısıl işleme sertleştirilebilme karakteristiğini vurgular.
- Alüminyum brozları dayanımları yüksek, deniz suyu, sülfirik asit ve tuz çözeltilerine karşı korozyon direnci yüksek alaşımlardır.

# Alüminyum bronzları

**6% ile 12% aluminum**, %6'ya kadar Fe ve Ni

Yüksek mukavemet ve mükemmel korozyon direnci ve aşınma direnci gösterirler.

Katı eriyik sertleşmesi, soğuk deformasyon, ve Fe'ce zengin çökeltmesi mukavemeti belirler.

Yüksek alüminyumlu alaşımlar su verilebilir ve temperlenir.

Alüminyum bronzları denizcilik malzemelerinde, deniz suyu, oksitleyici olmayan asit ve endüstriyel proses sıvıları taşıyan tesisatlarının şaft, pompa ve valf parçalarında kullanılır.

Ağır iş rulmanlarında, makine parçalarında da kullanılır.

Alüminyum bronzdan dökülen parçalar mükemmel korozyon direnci, yüksek mukavemet, tokluk ve aşınma direnci gösterirler.

Dökülebilirlik ve kaynaklanabilirlikleri çok iyidir.

# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

## I.GRUP: % 4 - 9 Al içerir.

- $\alpha$  - katı çözeltilisinden oluşur. eriyiğinden oluşur.
- Homojen yapıya sahiptirler.
- Oldukça sünektirler.
- Mukavemetlerini arttırmak için ısıl işlem uygulanmaz.
- Nikel, demir ve / veya Fe - Mn ilave edilir.
- II. Gruba göre korozyon dirençleri de fazladır.

## II.GRUP: % 9 - 14 Al içerir.

- Yapı (  $\alpha+\beta$  ) fazındadır. İlk olarak  $\beta$  oluşur.

# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

Alüminyum bronzları işlem ve döküm alüminyum bronzları olarak 2 grupta incelenebilir.

- Demir, nikel veya mangan katkılı olabilen türlerinden ötektoid dönüşüm gösterenler su verilerek sertleştirilebilirler.
- Demir alaşımlarından yapıldıkları zaman, işletme sırasında kuvvetli sürtünme ve adezyondan dolayı yüzey hasarına yol açabilecek kılavuz makarası, kızak ve takımlar için en uygun malzemedir.



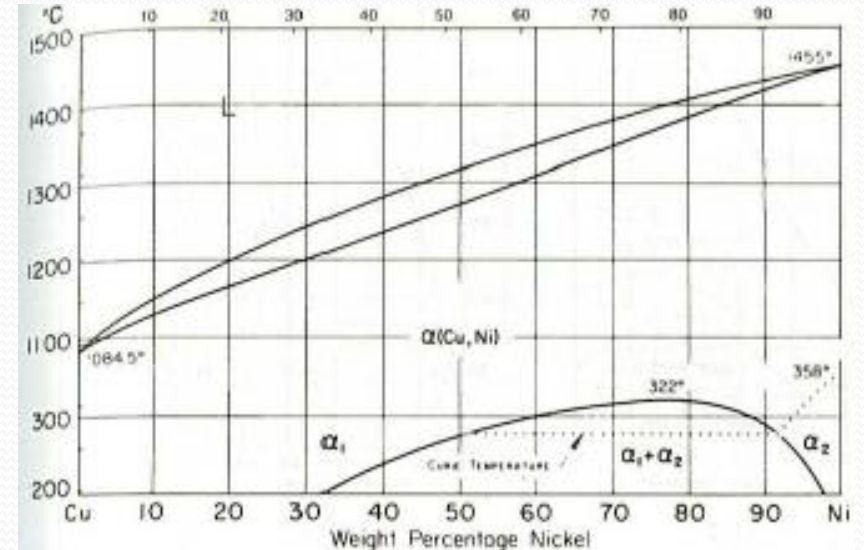
# Cu-Al alaşımları (Alüminyum bronzları)

## Alaşım elementlerinin etkisi

- **Kurşun:** Tornada mükemmel işlenebilme ve yatak olarak kayma özelliği verir. Bu nedenle dişli çarkları, volanların ve benzer parçaların dökümünde kurşun ilave edilir. Mikroyapı içinde ayrı fazda ve yumuşaktır.
- **Demir :**Tane küçültücü olarak kullanılır ve bu da çekme mukavemetini artırır. Genelde demir sert noktalara ve Fe segregasyonuna neden olduğu için, belli oranı geçmesi istenmez.
- **Nikel:** % 5 'e kadar kullanılır ve çekme mukavemetiyle sünekliliği artırır. Döküm alaşımlarına az miktarda ilaveler mekanik özellikleri iyileştirir.
- **Silisyum:** Mükemmel akıcılık ve dökülebilirlik özelliği kazandırıyor.

# Cu-Ni alaşımları ve zellikleri

- Cu ve Ni her ikisi de YMK yapıdadır ve birbirleri içinde tamamen çözünerek katı eriyik oluştururlar.
- Mikroyapı tamamen  $\alpha$  katı eriyiğinden oluşur.
- Ni Cu'a % 10, 20 ve 30 oranlarında ilave edilir ve **kupronikel** olarak adlandırılır.
- Ni mukavemeti arttırır, oksidasyon ve korozyon direncini geliştirir. Ancak % 1-3 Fe ilavesi korozyon direncini azaltır.



# Cu-Ni alaşımları ve zellikleri

- Yüksek sıcaklıklarda mukavemet özellikleri ve korozyon dirençleri çok iyidir.
- Özellikle -yüksek hız ve sıcaklık aralıklarını da kapsayacak Şekilde- her türlü su -temiz su, akar su, deniz suyu, endüstriyel atık sular) iŐleyen veya veya yönlendiren sistemlerde öncelikli kullanılır (yapıya bir miktar Mn ( $\leq \%3,5$ ) ve Fe ( $\leq \% 1,5$ ) katmak sureti ile korozyon ve erozyon davranıŐları iyileŐtirilebilir (CuNi 10 Fe; CuNi 30 Fe gibi) kimyasallara dayanım artar:
- Ayrıca, buhar kazanları tesisatlarında, kimyasal tesislerde, gemi kondenser boru malzemelerinde ve deniz suyundan tatlı su üretim üniteleri, vb yerlerde öncelikle kullanılır

# Bakır nikel alaşımları

**2% ile 30%** nikel içerirler.

Çok yüksek korozyon direnci

Sıcaklıkta kararlı

Fe, Cr, Nb ve/veya Mn mukavemeti ve korozyon direncini arttırır.

Gerilmeli korozyon çatlamasından muaftırlar

Su buharı ve rutubetli havada yüksek oksitlenme direnci gösterirler.

# Bakır nikel alaşımları

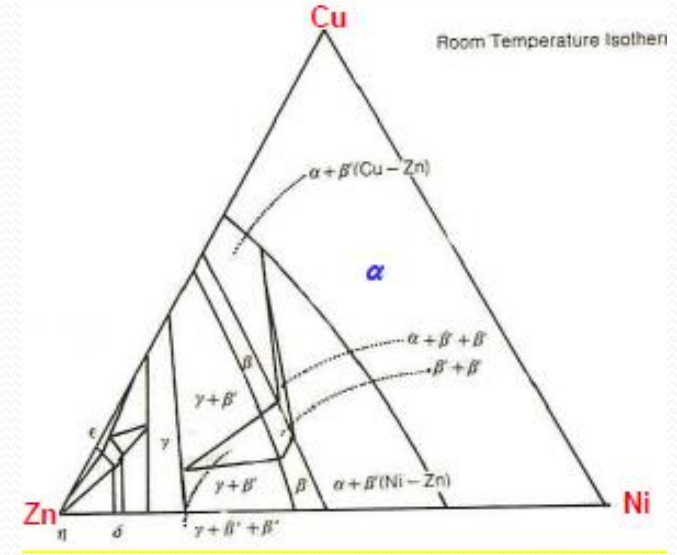
Daha yüksek nikelli alaşımlar deniz suyunda korozyona ve deniz suyunda organizma büyümelerine (biofouling) karşı dayanıklı olmaları ile bilinirler.

Elektrik ve elektronik ekipmanları, gemilerde kondensör boruları, açık deniz platformları, enerji santralleri ve valf, pompa, bağlantı parçaları, gemi gövde parçaları gibi çeşitli denizcilik ürünleri için tercih edilirler.



# Cu-Ni-Zn alaşımları (Ni gümüşleri)

- Cu-Ni-Zn üçlü alaşımları veya nikel gümüşleri gümüş içermezler ancak renkleri gümüş rengidir.
- Alaşım % 17-27 Zn ve %8-18 Ni içerir.
- Alaşımın rengi artan Ni içeriğine bağlı olarak açık fildişi renginden gümüşü beyaza değişir.
- Mikroyapı  $\alpha$  katı eriyiğinden oluşur.
- Gümüş görünümünde, fakat gümüşe göre çok daha ucuz malzeme olarak, optik ve saat sanayiinde ve müzik aletleri yapımında, tıbbi cihaz ve aletlerin üretiminde, süs eşyaları, ev ve mutfak eşyaları üretiminde tercihen kullanılırlar.



# Cu-Ni-Zn alaşımları (Ni gümüşleri)

- Nikelin etkisiyle gümüşe benzer bir renk alan bu malzemelerin kararmaya dayanıklılığı pirinçten daha iyidir. Kurşun katılmamış olanları zayıf akım röle yayları, gümüş kaplı çatal-bıçak takımları yapımında kullanılır.
- Kurşun katılmış olanları ise, optik aletler ve pergel yapımında kullanılır.
- Pirinçler ve nikel gümüşü gerilme korozyonuna karşı düşük dirence sahiptirler. Buldukları ortamda örn. yanma gazlarından gelebilecek çok az miktarda amonyak ve nem olması durumunda dış gerilmelerin belirli bir düzeye erişmesi sonucunda pirinç ve nikel gümüşü çatlayarak hasara uğrar.

# Cu-Ni-Zn alaşımları (Ni gümüşleri)

- Aynı zamanda nikel pirinçleri olarak da adlandırılır.
- Bakır, nikel ve çinko içerirler.
- Gümüş içermedikleri halde çok çekici gümüşü bir renkleri vardır.
- Makul seviyede mukavemet, ve iyi korozyon direnci gösterirler.
- Gıda ve içecek depo ve transfer donanımlarında, dekoratif yapısal uygulamalarda, sofrta takımlarında, optik ekipmanlar ve fotoğraf makine ve donanımlarında, müzikal aletlerde kullanılırlar.

# Özel sert bakır alaşımları

- Bakır krom alaşımları (CuCr)
- Bakır krom zirkonyum alaşımları (CuCrZr)
- Bakır berilyum alaşımları (CuBe)
- Bakır kobalt berilyum alaşımları (CuCoBe)
- Bakır nikel silisyum alaşımları (CuNiSi)
- Bakır alüminyum demir alaşımları (CuAlFe)
- Bakır alüminyum demir manganez alaşımları (CuAlFeMn)
- Bakır alüminyum demir nikel mangan alaşımları (CuAlFeNiMn)
- Bakır tungsten alaşımları (CuW)

# Diğer bakır alaşımları

*Kurşunlu bakırlar (C98200 ile C98840)*

Kurşunlu saf bakır veya yüksek bakır alaşımları

Bakır alaşımlarının yüksek iletkenliği ve makul seviyedeki korozyon direnci ile birlikte yüksek kurşunlu bronzların kaydırıcılık ve düşük sürtünme özelliklerine sahiptirler.



# bakır esaslı döküm alaşımları

Döküm alaşımlarının bir çoğu bakır matris içinde Zn, Sn ve Ni çözen tek faz katı eriyikleridir.

Döküm bakır alaşımları,

Kolayca dökülebildikleri

temin edilebildikleri

Geniş aralıkta fiziksel ve mekanik özelliklere sahip oldukları

kolayca işlenebildikleri

Lehimlenebildikleri

için tesisat bağlantı parçaları, gemi pervaneleri, enerji tesisleri burç ve rulman bilezikleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılırlar.

# döküm alaşımlarında Pb'nun rolü

Dendritler arası gözenekleri kapar.

Geçirmezliği attırır.

Sıvı taşıma ve depolama sistem ve donanımları için bu özellik kritiktir.

Kesme takımlarının keskin kenarları için yağlayıcı rolü görür ve

kolayca temizlenebilen küçük talaşların oluşmasını sağlar,

döküm parçaların soğutma uygulanmaksızın hızlı işlenmesini mümkün kılar.

Daha kaliteli yüzeyler verir.

# döküm alaşımlarında Pb'nun rolü

Rulman ve burç yatak uygulamalarında da Pb yağlayıcı vazifesi görür.

Aşırı miktarda olmadıkça Pb mukavemete zarar vermez fakat sünekliği arttırır.

Kurşunlu bakır alaşımları lehimlenebilir fakat kaynaklanabilirlikleri yetersizdir.

# Bakır döküm alaşımları

## ***bakırlar (C80100 ile 81200)—***

tav direnci için eser miktarda gümüş veya kaynak işleri için deoksidant olarak eser miktarda fosfor içeren saf bakırdır (minimum %99.7 Cu).

Bu alaşımlar elektrik konektörleri gibi yüksek ısı ve elektrik iletkenliği gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

## ***Yüksek bakırlar (C81400 ile C82800)—***

(% 95.1'den yüksek Cu) bu alaşımlar yüksek mukavemet ile yüksek ısı ve elektrik iletkenliği bir arada sunarlar.

# Bakır döküm alaşımları

## ***Krom-Bakır (C81400 ile 81540)***

%1.5'a kadar Cr

Saf bakırın 2 katı kadar mukavemet

Saf bakırın %80'i kadar elektrik iletkenliği.

Uygulamaları kaynak mandalları, yüksek mukavemetli elektrik bağlantıları

## ***Bakır-Berilyum (C82000 ile C82800)***

% 0.35-2.85% Be

Isıl işlem sırasında çökelen ikincil ince faz sayesinde yüksek mukavemet

Yeterli mukavemet ile yüksek iletkenlik veya makul iletkenlik ile yüksek mukavemet



# Döküm pirinçleri

**C83300 ile C85800 ve C89320 ile C89940**  
Cu ve Zn'dan müteşekkil

***Kırmızı pirinç (C83300 ile 83810)***

Zn (1-12%) ve Sn (0.2-6.5%) ve Pb (0.5-7%).

Pb sızdırmazlığı sağlar: dendritler arası gözenekleri kapar! / İmalatta işlenebilirliği arttırır.

Kırmızı renk alaşımında düşük Zn içeriği sayesinde.

Kırmızı pirinç (C83600) ticari olarak yüzlerce yıl kullanılmıştır ve diğer tüm alaşımlardan daha fazla üretilmekte ve tüketilmektedir.

# Döküm pirinçleri

## *Yarı-kırmızı pirinç (C84200 ile C84800)*

- Kırmızı pirinçlerden daha fazla Zn
- Daha düşük korozyon direnci
- Daha düşük malzeme maliyeti
- Daha açık, yarı-kırmızı renk
- Mukavemette belirsiz bir eksilme
- Benzeriz sulu ortam korozyon direnci
- Kırmızı ve yarı-kırmızı pirinçler tesisat parçalarında, birleştirme elemanlarında vanalarda ve su ölçüm metrelerinde kullanılır.

# Döküm pirinçleri

## *Sarı pirinç (C85200 ile C85800)*

- Zn miktarı daha yüksek (20-41%)
- Kırmızı pirinçlerden daha ucuz
- Dökülebilirlik iyi
- kokil kalıp ve basınçlı dökümle üretilen bazı alaşımların kolayca parlatılabilen çekici bir sarı rengi vardır.

# Döküm pirinçleri

- Döküm halinde mikroyapı Zn ve Si içeren alfa bakır katı eriyiği dendritlerinden oluşmaktadır.
- Daha sonra şekillendirme ve tav işlemlerinde dendritler kırılır ve ortaya eş eksenli ikizlenmiş alfa katı eriyik tanelerinden oluşan bir yapı çıkar.
- Kurşunlu silisli kırmızı pirinçlerde mikroyapı kurşunsuz alaşımlara benzer ancak kurşun partikülleri tane sınırlarında ve dendritler arasında dağılmıştır.

# Döküm pirinçleri

***Bakır-Bizmut ve SeBiLOYS (C89320 ile C89940)***

Bu alaşımlar düşük kurşunlu pirinç alaşımlarıdır.

Gıda üretim sistemlerinde ve şehir su şebekelerinde kullanılır.

SeBiLOY alaşımları kurşunlu pirinçlerin mükemmel sızdırmazlık ve işlenebilirlik özelliklerinden bir şey kaybetmeden şebeke suyunda kurşun çözünmesini en aza indirmek için geliştirilmiştir.

Bu Pb'nun yerine Se ve Bi kullanılması ile yapılır.

SeBiLoy I ve II kırmızı pirinçlerdir.

SeBiLOY III sarı pirinçtir.



# Cu-Mn alaşımları (Mn bronzları)

## *Mangan bronzları (C86100 to C86800)*

- Başlıca alaşım elementi olarak Zn (22-42%) içerirler. Buna ilave olarak % 2-5 civarında Mn bulunur.
- Dökme bakır alaşımları arasında en yüksek mukavemet sahip olanlardan biridir.
- Vites dişlileri, cıvata, valf gövdeleri için kullanılır.
- Ekonomik olarak cazip olduğunda yüksek mukavemetle birlikte daha iyi korozyon direnci gösterdiği için alüminyum bronzları mangan bronzlarının yerine tercih edilir.

# Cu-Si alaşımları (Si bronzları/pirinçleri)

## Silis-Bronzu ve silis-pirinci (C87300 to C87800)

- Silis-bronzu ve silis pirinci düşük ergime noktalı ve yüksek akışkanlıklı Zn ve Si alaşımlarıdır.
- Bu özellikleri ile kokil kalıp ve basınçlı döküm için uygundurlar.
- Düşük kurşun içeriği nedeniyle, silis bronzu kurşunlu tesisat pirinçlerinin yerini alır. Ancak sınırlı talaşlı imalat kabiliyeti hacimli şehir su şebekelerinde kullanımını engeller.

# Döküm bronzları

*Kalay bronzu (C90200 to C91700)*

Bakır kalay alaşımı

Sulu ortamlarda korozyon direnci yüksek

Yüksek mukavemet

İyi aşınma direnci

Çeliğe göre daha düşük sürtünme katsayısı

Bu özelliği ile rulman, piston bilezikleri ve dişli parçalarında tercih edilir.

# Döküm Bronzları

## ***Kurşunlu kalay bronzu (C92200 ile C92900)***

0.3-6% kurşun içeren kalay bronzu.

Kurşunlu kalay bronzu talaşlı imalat kabiliyeti yönünden avantaj sağlar.

## ***Yüksek kurşunlu kalay bronzu (C93100 to C94500)***

2-34% kurşun içeren kalay bronzu

Yüksek kurşun kaydırıcılık sağladığı için Rulman yataklarında ve burçlarda kullanılır

# Döküm Bronzları

## *Nikel-kalay-Bronzu (C94700 ile C94900)*

- 4-6% Ni içeren kalay bronzu
- Aşınma direnci
- Korozyon direnci
- Kalay bronzlarına göre daha yüksek mukavemet
- rulmanlarda, dişlilerde, aşınma kılavuzlarında pompa ve valf gövdelerinde, hareketli parçalarda



# Döküm Bronzları

## *Alüminyum-Bronzu (C95200 ile C95900)*

Koruyucu Alümina filmleri sayesinde yüksek oksidasyon direnci. Deniz suyunda, klorürlerde ve seyreltik asitlerde korozyon direnci daha üstün

Aşınmaya dirençli!

Dökülebilirliği ve kaynaklanabilirliği iyi

Pervane, valf, aşınma bilezikleri, asit tankı ve askıları uygulamalarında yaygın

Nikelli olanlar üstün erozyon, korozyon-kavitasyon direnci sayesinde sıvı hareketine maruz kalan pompa pervaneleri gibi uygulamalarda tercih edilir.

# bakır döküm alaşımları

## *bakır-Nikel (C96200 ile 96950)*

Bu alaşımlar kurşunsuz bakır-nikel katı eriyikleridir.

Deniz suyunda mükemmel korozyon direnci

Yüksek mukavemet

İmalat kolaylığı

Kullanım alanları:

Pompa, valfler, gemi kuyruk parçaları, ve diğer denizcilik yapısal uygulamaları

# bakır döküm alaşımları

## *Nikel-gümüş (C97300 ile C97800)*

Nikel ile gümüşü parlaklık ve renk!  
korozyon dirençleri yüksek.

Dökümü kolay!

Talaşlı imalat kapasiteleri yüksek!

Yüksek alaşım içeriğine rağmen basit katı eriyik yapıdadır.

Gıda sektörü donanımları, sızdırmazlık parçaları,  
mimari uygulamalar, valfler ve müzik enstrümanları  
imalatında kullanılırlar.

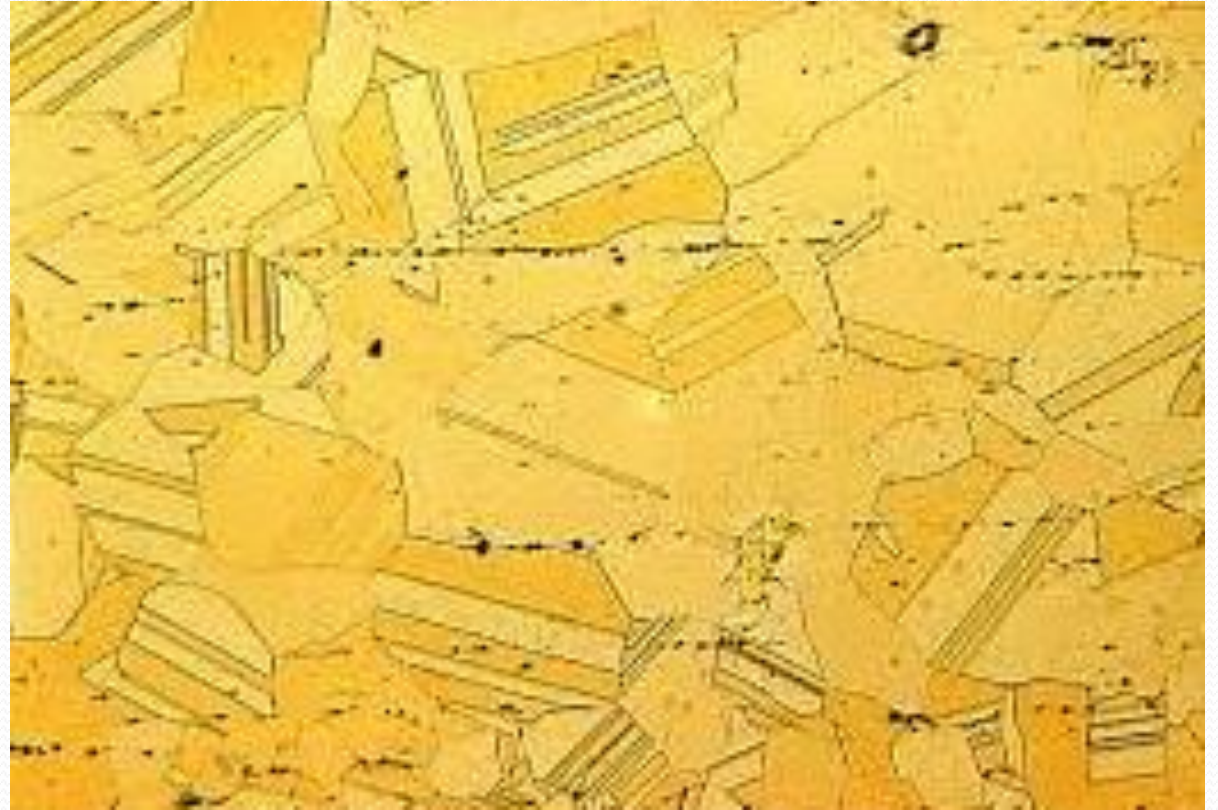
# mikroyapılar

Denizci pirinci-C46400-işlem görmüş

Cu 60

Zn 39.2

Sn 0.8





# mikroyapılar

## Yüksek bakır alaşımı-C18200

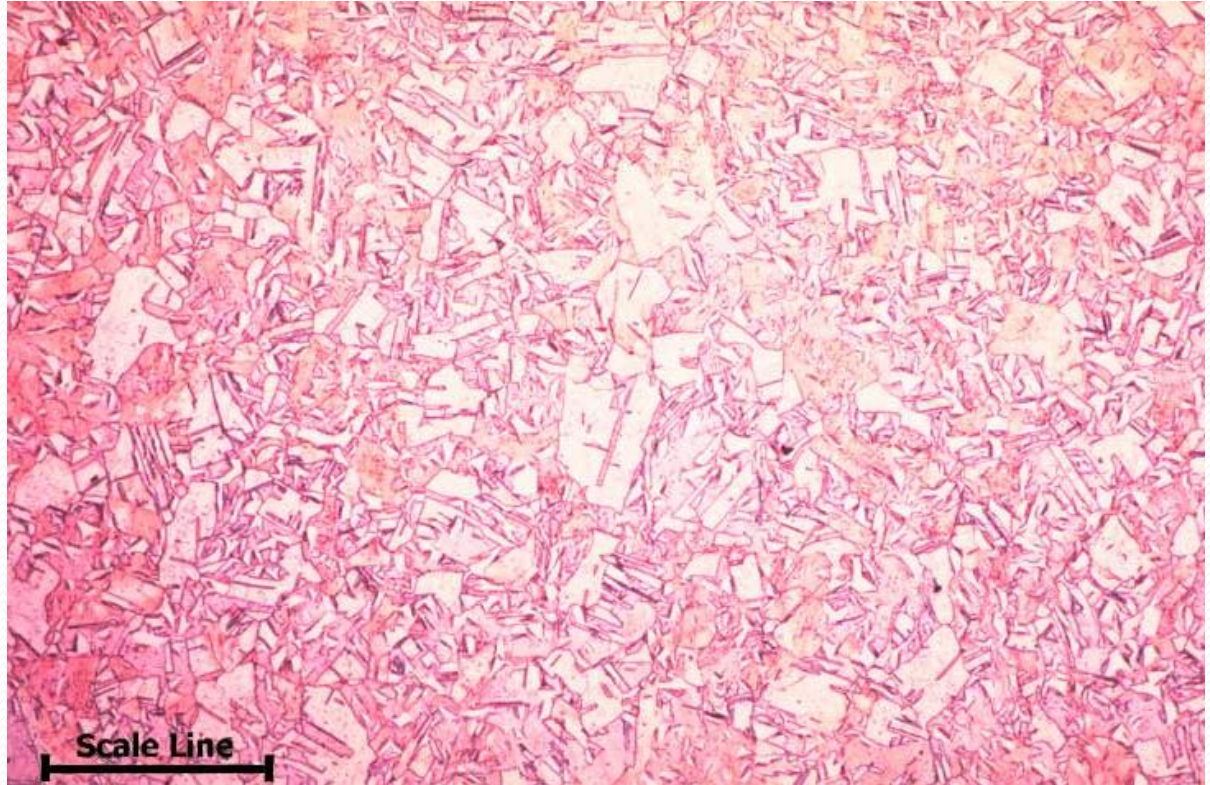
Cu 99.5

Cr 0.6-1.2

Si 0.10

Fe 0.10

Pb 0.05





# mikroyapılar

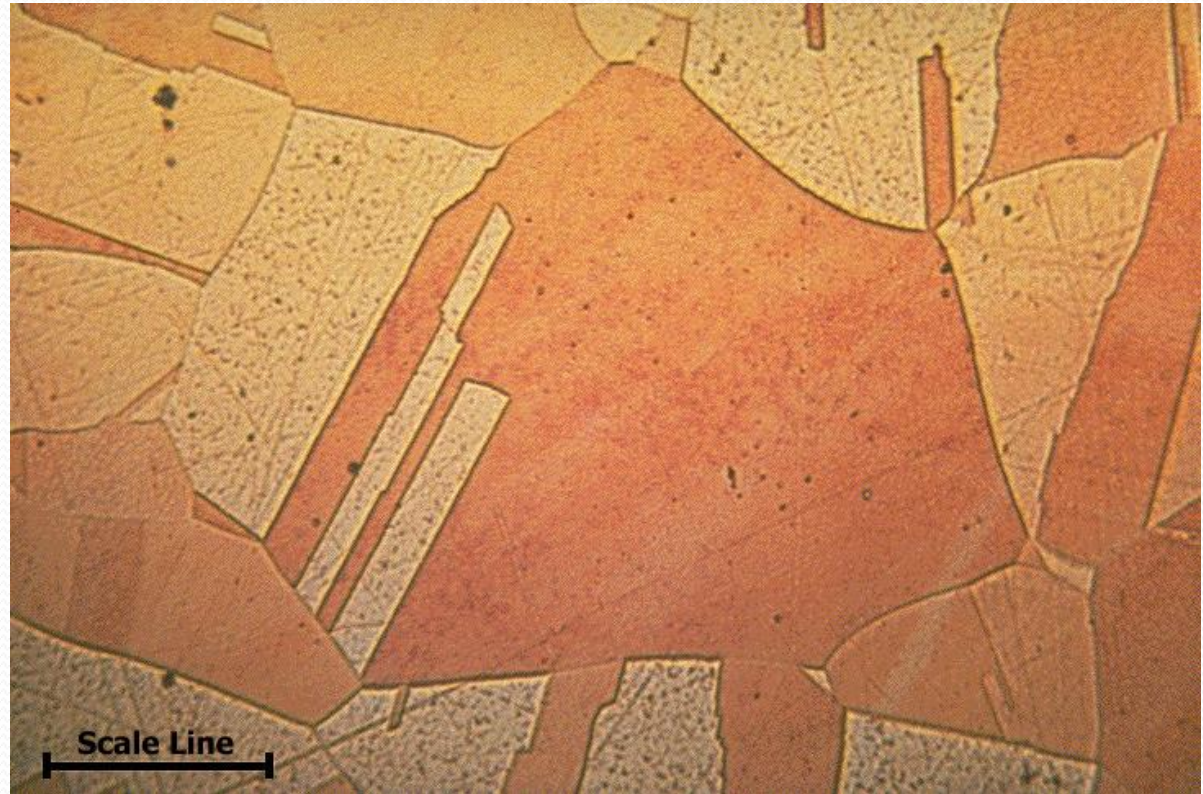
**Pirinç-C21000**

Cu 97.0-98.0,

Zn 1.9-3.0,

Fe 0.05,

Pb 0.02



# mikroyapılar

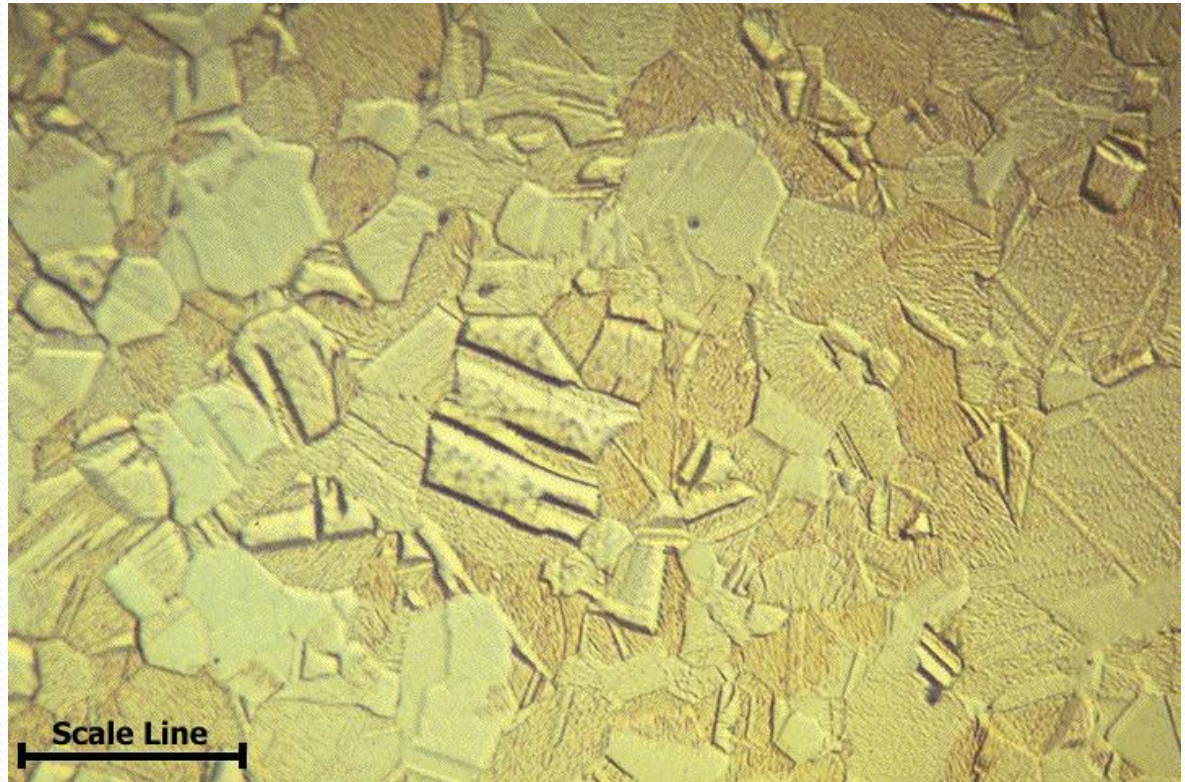
**Pirinç-C23000**

Cu 84.0-86.0,

Zn 13.9-16.0,

Fe 0.05,

Pb 0.05





# mikroyapılar

## Silis pirinci-C69710

Cu 75.0-80.0,

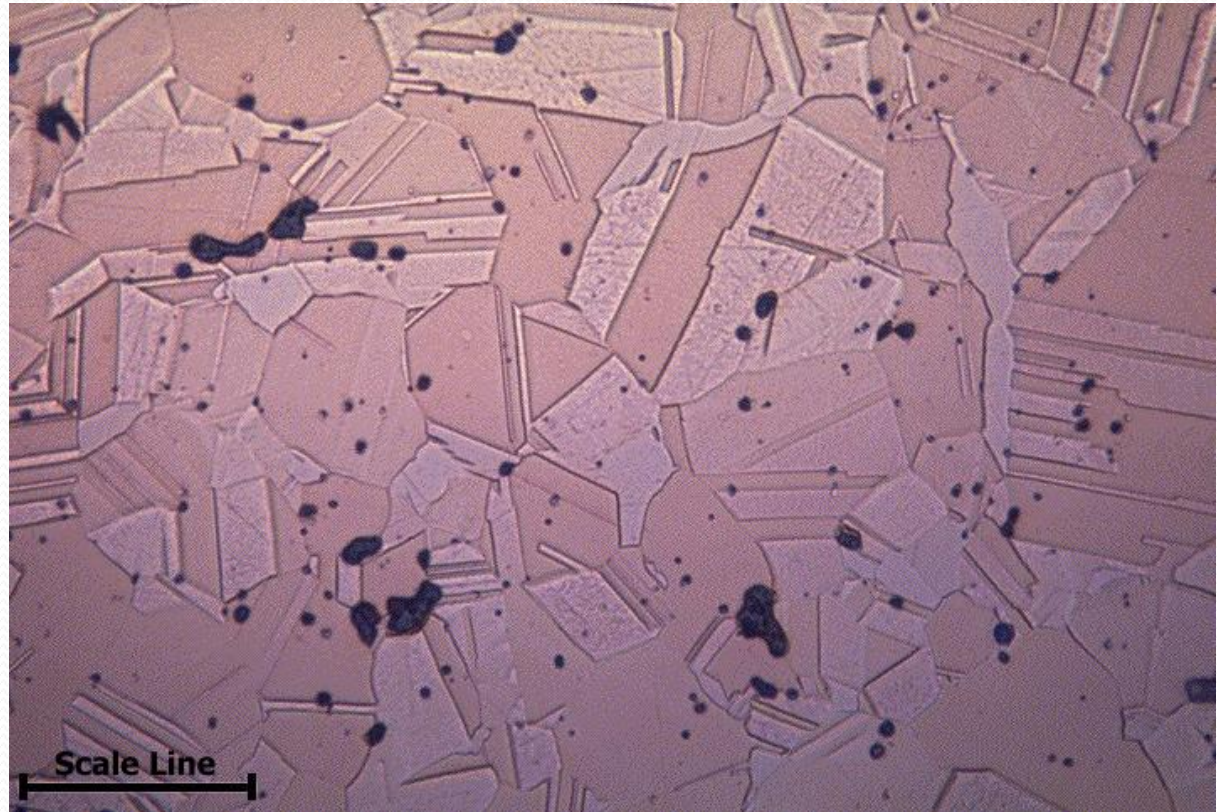
Si 2.5-3.5,

Zn 14.0-21.4,

Fe 0.20,

Pb 0.5-1.5,

Mn 0.4



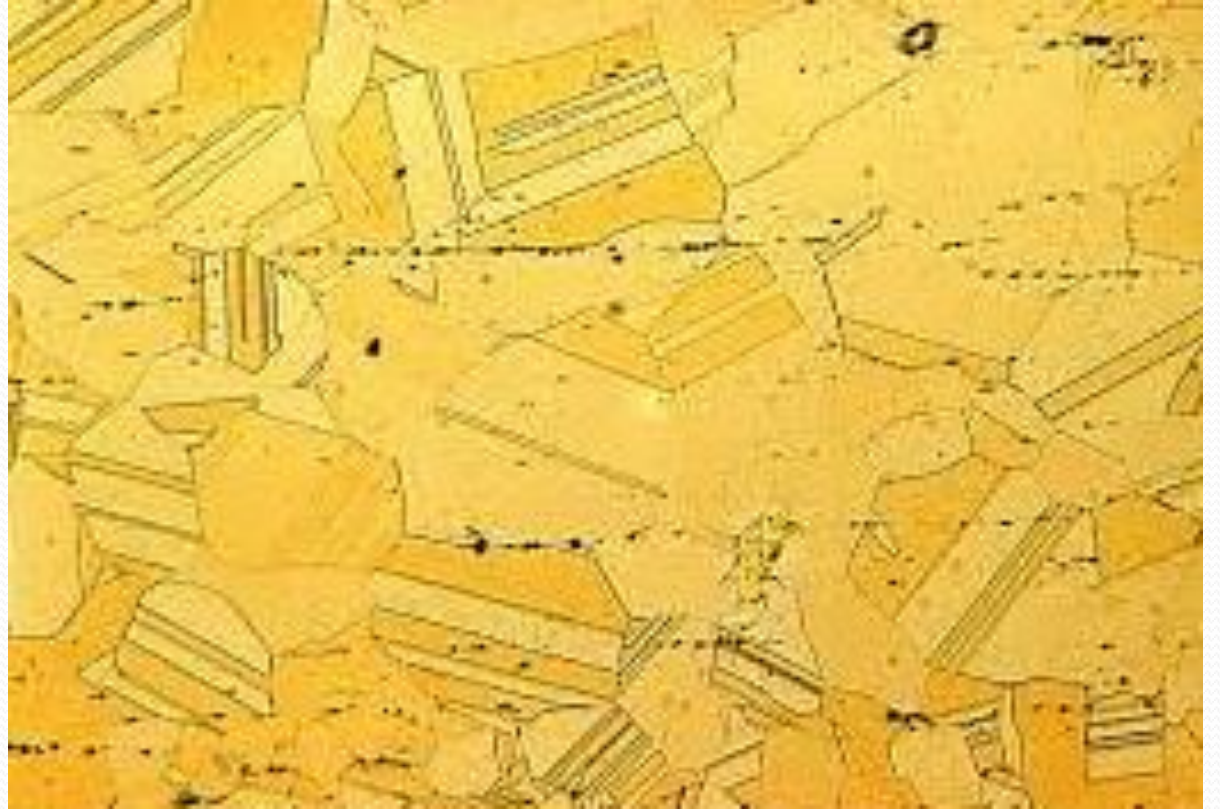
# mikroyapılar

**Denizci-kalay-pirinci-C46400-işlem görmüş**

Cu 60

Zn 39.2

Sn 0.8





# mikroyapılar

## Kalay pirinci-C46400 döküm yapısı

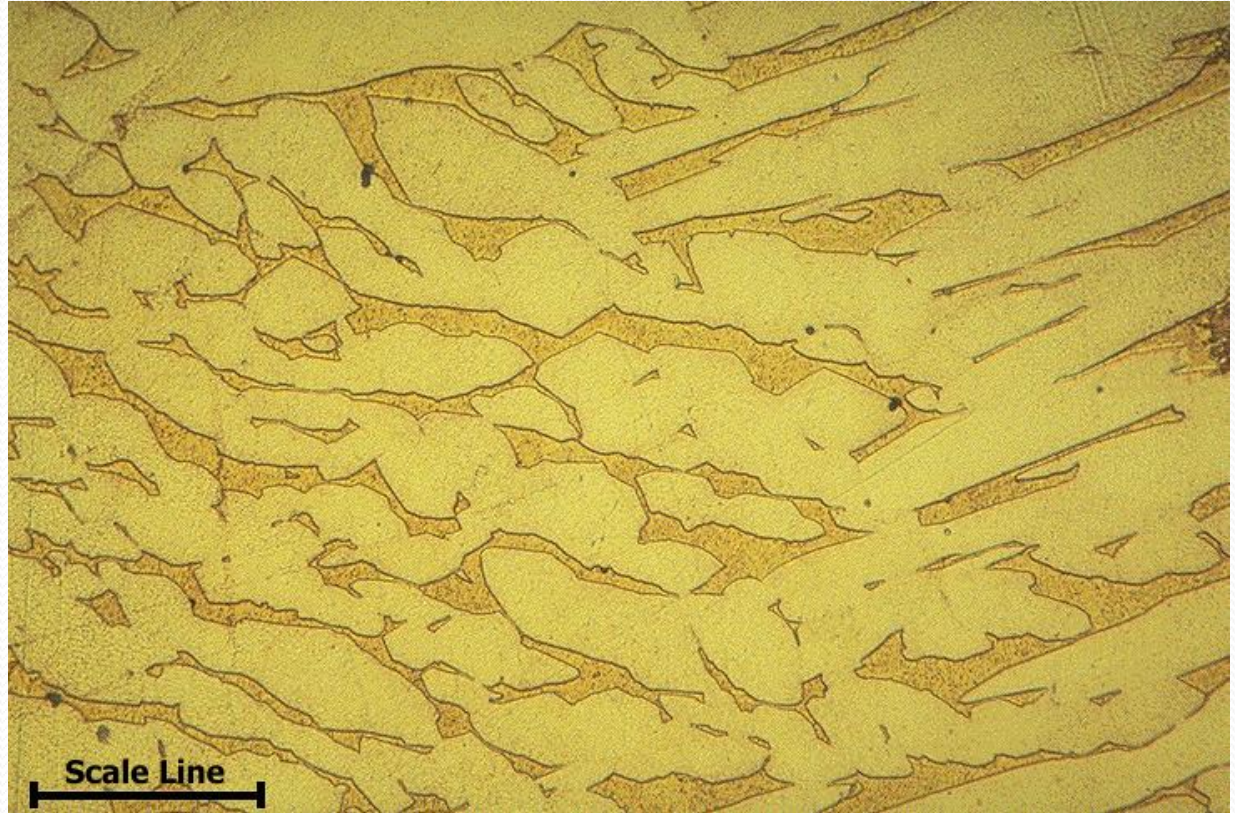
Cu 59.0-62.0

Zn 36.7-40.0

Sn 0.5-1.0

Pb 0.20

Fe 0.10





# mikroyapılar

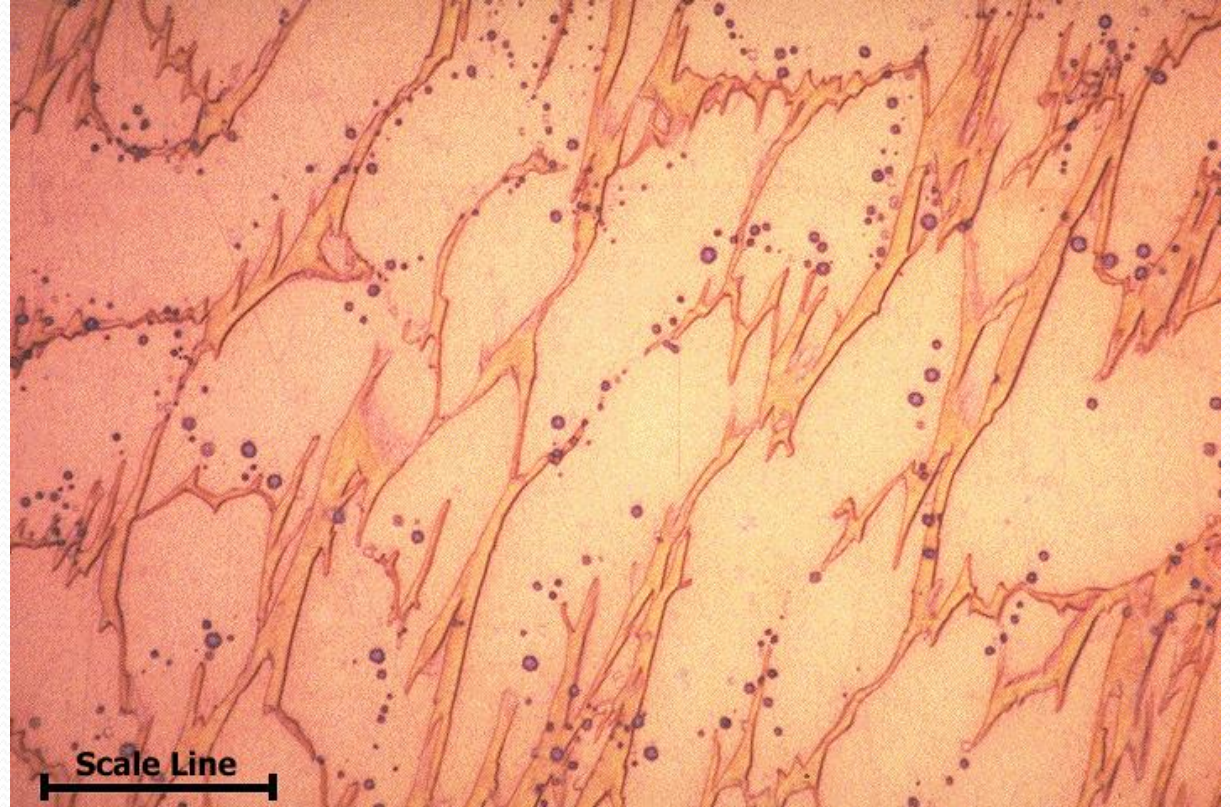
## Kurşunlu pirinç-C35300-döküm yapısı

Cu 59.0-64.5

Zn 33.2-40.0

Pb 1.3-2.3

Fe 0.10



# mikroyapılar

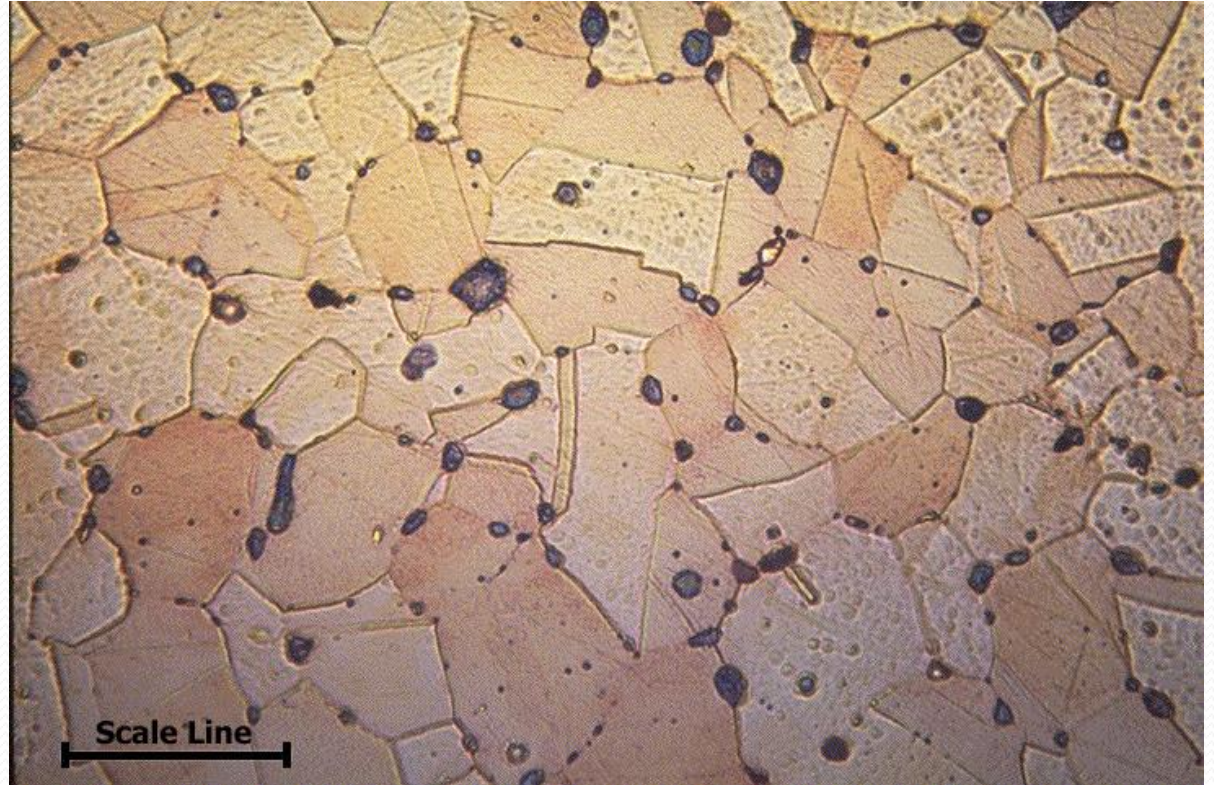
## Kurşunlu pirinç-C36000-işlem alaşımı

Cu 60.0-63.0

Zn 33.0-37.0

Pb 2.5-3.7

Fe 0.35





# mikroyapılar

## Fosfor bronzu-C50500-döküm yapısı

Cu 97.5-98.6

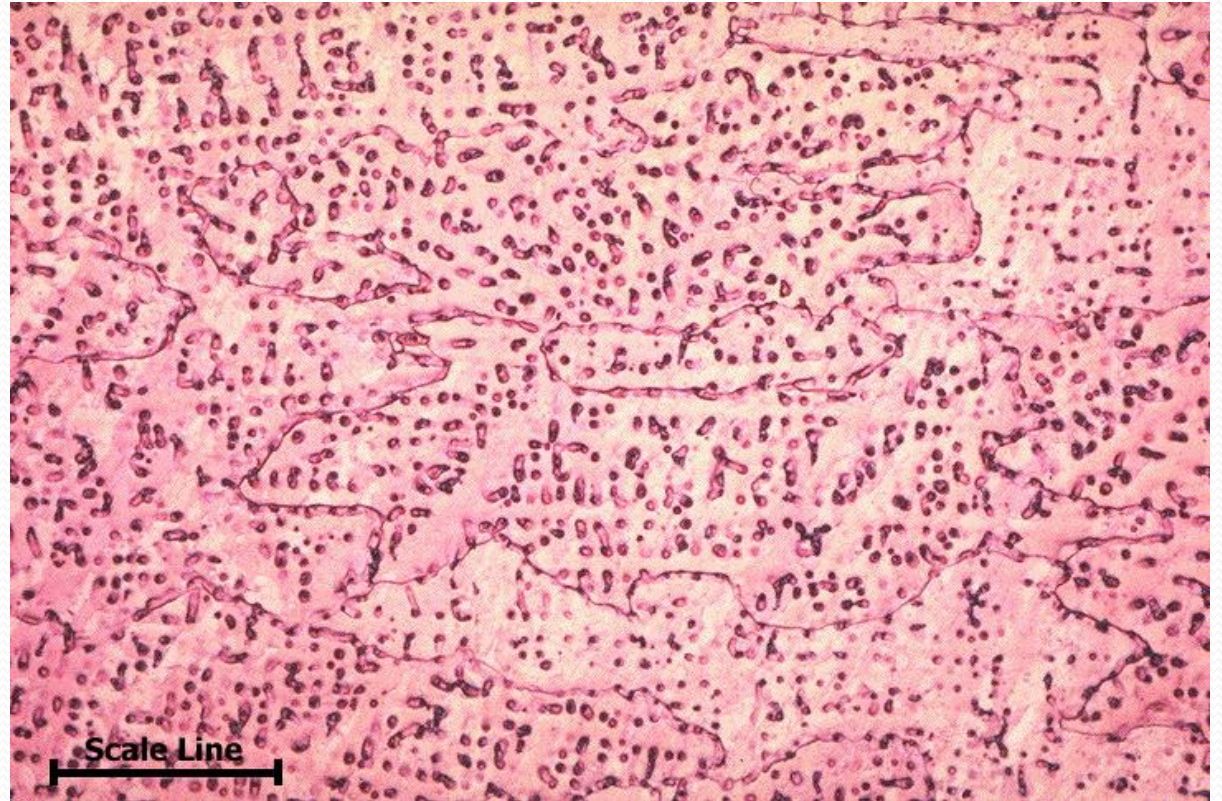
Sn 1.0-1.7

P 0.03-0.35

Zn 0.30

Fe 0.10

Pb 0.05





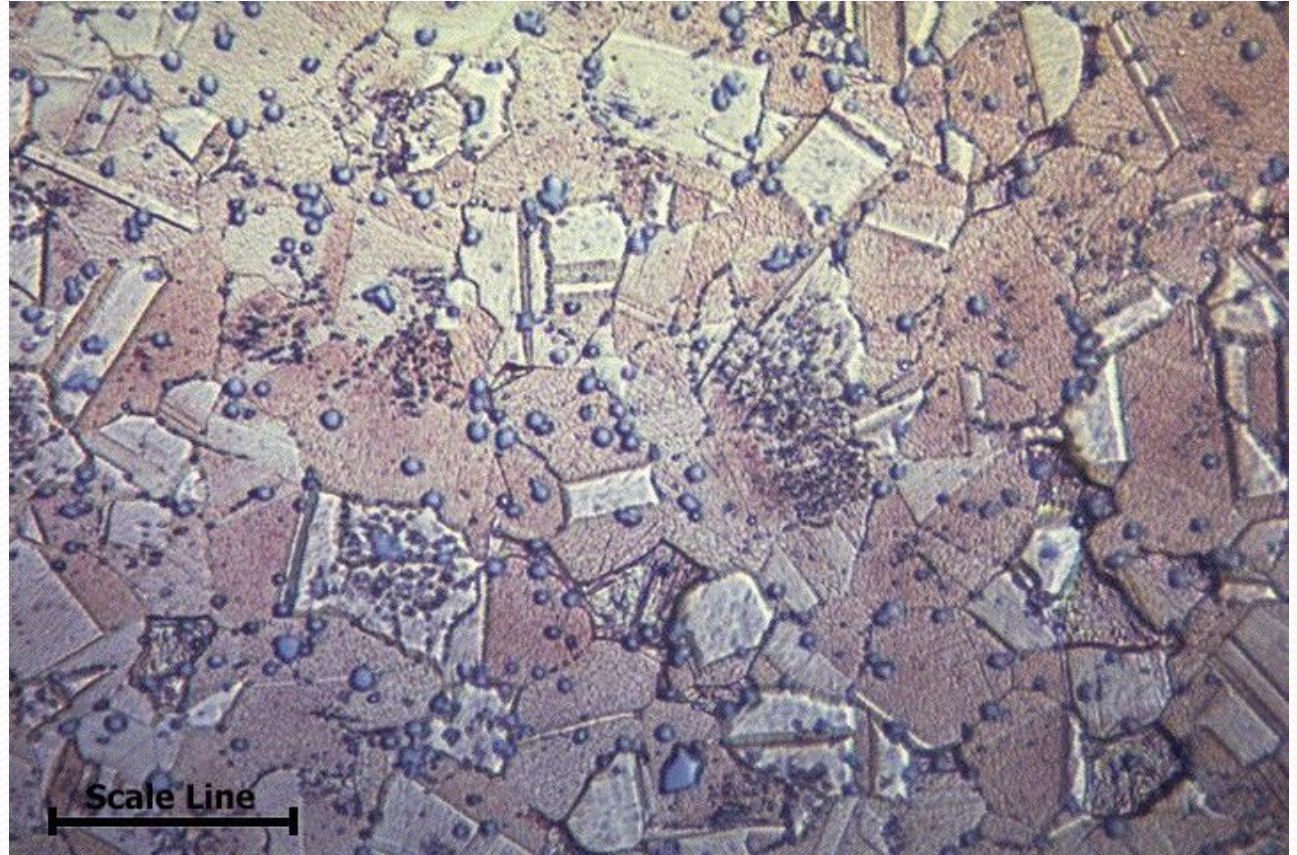
# mikroyapılar

**Alüminyum bronzu-C62400-ekstrüzyon yapısı**

Cu 87.1

Al 9.3

Fe 3.6



# Korozyon özellikleri

- Endüstriyel metaller içinde Emf serisinde en pozitif potansiyele, dolayısıyla metalik olarak en kararlı hale sahip metallerden birisi, korozyona dirençli bir metal.
- Ortama ( özellikle atmosferik ortamda) bağlı olarak yüzeyinde oluşan yeşil renkli (patina) oksitleri korozyondan koruyucu
- Özellikle su ve soğutma sistemlerinde uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Saf seyreltik oksitleyici olmayan sülfürik, fosforik ve asetik aside dayanıklı.
- Ancak kuvvetli asitler ve oksitleyici asitler bakırı korozyona uğratar. Amonyak atmosferlerinde ise gerilmeli korozyon çatlaması oluşur.



# Bakır ve alaşımları ikincil üretim

Bakır alaşımları pek çok döküm yöntemine uygundur;

- Sürekli döküm
- Kokil kalıba döküm
- Kuma döküm
- Santrifüj döküm
- Hassas döküm
- Enjeksiyon

Bakır alaşımlarının şekillendirilmesinde;

- Kapalı/açık sıcak ve soğuk dövme
- Soğuk çekme
- Haddelme
- Ekstrüzyon

# Ticari Bakır ürünleri

- Tel ve kablo
- Şerit, levha, plaka
- Çubuk, tüp, profil
- Dövme parçalar
- Ekstrüzyon profiller
- Döküm parçalar
- Toz metalurjisi ürünleri

# Ticari Bakır ürünleri

Bir çok işlem alaşımı soğuk şekil verilmiş olarak piyasada mevcuttur.

Mukavemet ve şekil verilebilirlikleri soğuk deformasyon miktarına ve alaşım bileşimine bağlıdır.

## Soğuk şekil verilen parçalar

Yaylar, birleştirme elemanları, küçük dişliler, eksantrik, elektrik kontakları, elektrik sistem parçaları

## Sıcak dövülen parçalar:

Tesisat bağlantı elemanları, vanalar,  
başka hiçbir imalat prosesi bu şekilleri istenen özelliklerde ve şekillerde ekonomik olarak üretmez.

# ticari Bakır ürünleri

Şerit, tabaka ve levha gibi yassı ürünler tipik olarak sıcak haddeleme ile üretilirler.

Tüp, boru ve çubuk profiller tipik olarak sıcak ekstrüzyonu takiben soğuk çekme ile üretilirler.

Tel şeklindeki ürünler ise, sürekli bir üretim çevriminde önce sıcak şekillendirme ve sonra soğuk şekillendirme operasyonları ile üretilirler.

# Ticari bakır ürünleri

Sıcak şekillendirme döküm yapısında mevcut dendritik örgüyü dağıtır. Yüksek çinkolu pirinçler, bronzlar ve nikel gümüşleri gibi alaşımlar genellikle 2 fazlı  $\alpha + \beta$  bölgesinde bulunurlar. Bu alaşımların soğuk deformasyon kapasiteleri sınırlıdır. Bu nedenle, ekstrüzyon vb işlemlerle son şekline yakın yarı mamül formlarında sunulurlar.

Daha sonra sıcak dövme ve/veya talaşlı imalat ile parça üretimi gerçekleştirilir.



# Kullanım alanları

- Elektrik enerjisi tüm ekonomik faaliyetlerin en önemli müşterek girdisidir. Elektriğin üretilmesinde, nakledilmesinde ve kullanılmasında bakır en iyi ekonomik iletken, vazgeçilemez stratejik bir metal.
- Evlerimizdeki aydınlatma gereçleri, radyo ve TV-cihazları, çamaşır ve bulaşık makinaları, buzdolabı ve mutfak robotları gibi çağdaş yaşamın gerektirdiği tüm donanımlar bakır kullanır.
- Uzun ömürlü çatı kaplaması olarak bakır levha ve mobilya malzemesi olarak pirinç kullanımına da rastlanmaktadır.

# Kullanım alanları

Trafolar, jeneratörler (elektrik üretimi)

Havai elektrik hatları (elektriğin harici nakli)

Torna, freze, matkap, kaynak makinaları gibi elektrikli makinalar (elektriğin tüketimi ve dahili iletimi!)

Gemi, tren, otomobil türünden ulaşım araçları (elektriğin üretimi, iletimi ve tüketimi)

~ % 80'inin elektrik/(elektronik) sektörü

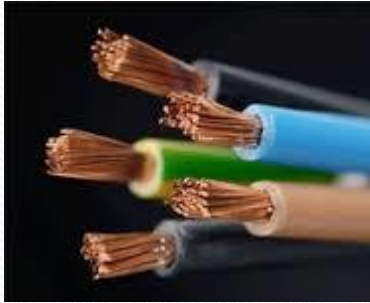
~ % 20'sinin ise pirinç, bronz v.b. alaşım halinde genelde makina sektöründe; boru ve içi boş profil halinde ısı eşanjörlerinde ve mobilya sanayinde, levha halinde inşaat ve makina sektöründe

# Kullanım alanları

Mimari uygulamalarda dayanıklılıkları ile  
Bronzlar antik dönemden itibaren heykel ve sanat  
eserleri  
yapımında



# Kullanım alanları





# Kullanım alanları





# Kullanım alanları



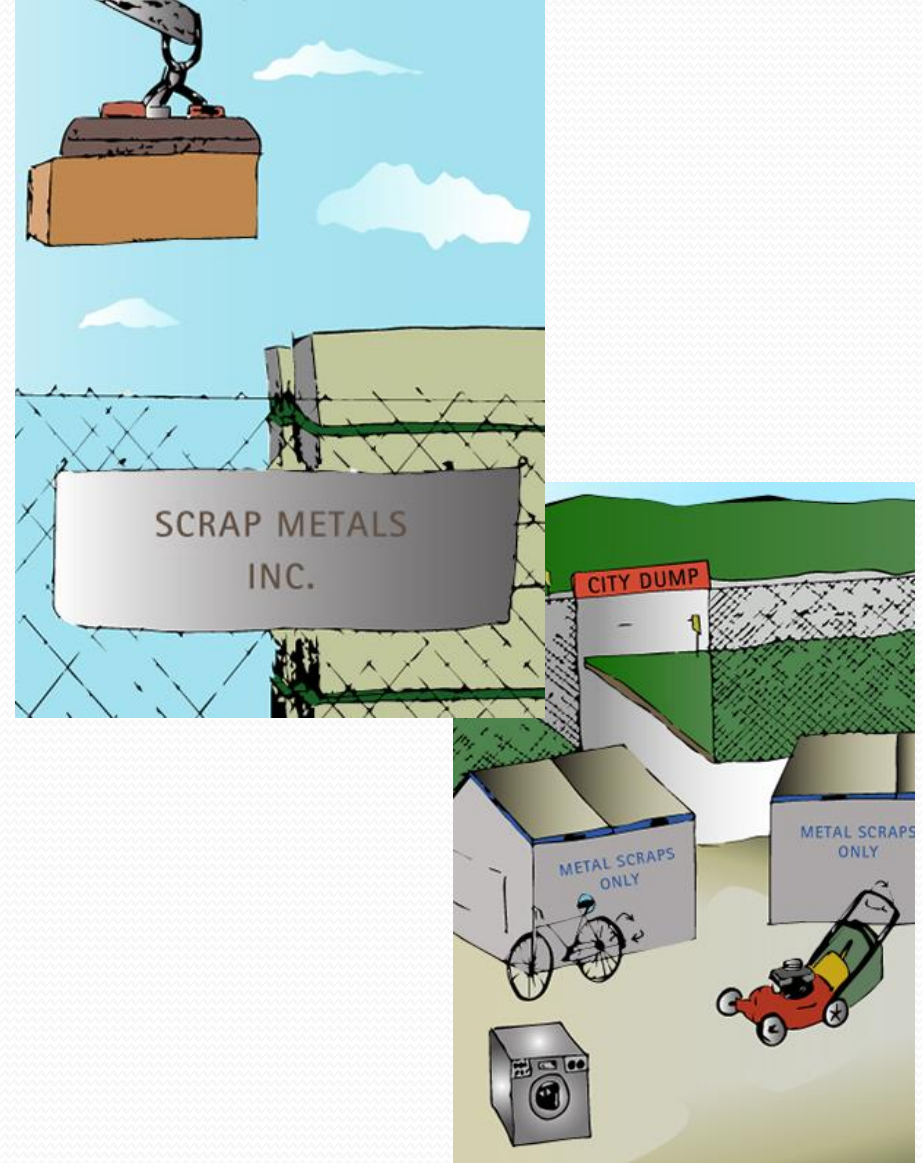
# Kullanım alanları

Bakır binek oto ve diğer taşıtlarda motorda, tüm iletkenlerde, radyatörlerde, konektörlerde, fren aksamında, rulmanlarda gerekli bir malzemedir. Ortalama bir otomobilde, 1.5 km bakır tel ve 20-45 kg bakır bulunur.



# Geri kazanım

Bakır ve alaşımları  
özellik kaybına  
uğramadan tekrar tekrar  
geri kazanılabilirler.



# Geri kazanım

## 21.10.2014 Tarihinden İtibaren Geçerli Bakır Alım Fiyatları

#	Ürün Adı	Fiyat
1	Soyma Bakır	14,40 TL
2	Ptt Kırma Bakır (Granür )	14,40 TL
3	Antkron Kırma Bakır ( Granür )	14,20 TL
4	Ttr Kırma Bakır ( İnce Granür )	14,20 TL
5	Lama Bakır ( Elektrolitik )	14,20 TL
6	Kırkambar Karışık Kırma (Granür)	13,10 TL
7	Kırkambar Bakır (Bobin,Yanık,Boru vb.)	13,00 TL

## 21.10.2014 Tarihinden İtibaren Geçerli Yarı Mamül Satış Fiyatları

#	Ürün Adı	Fiyat
1	Bakır Filmaşın	LME + 450 USD
2	Bakır Katot	LME + 200 USD
3	Min.%97 Bakır Külçe	LME -
4	Çinko Külçe	LME + 200
5	Zamak Külçe	LME -
6	Nikel Katot	LME + 1500 USD
7	Kalay Külçe	LME + 1500 USD
8	1.Sınıf (avrupa)min %99,99 Kurşun Külçe	LME + 200 USD
9	2. Sınıf (Yerli)min%97-Max%99 Kurşun Külçe	LME + 100





# metalik malzemeler

## 11.12.2014



# Çinko

sembol	Zn
Atom numarası	30
Grup adı	Transition metals
Grup, peryod, blok	12, 4, d
görünüm	Bluish pale gray
Atom kütlesi	65.409(4) g/mol
Atom çapı	135 pm
Elektron konfigürasyonu	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
Elektronların orbitlere dağılımı	2, 8, 18, 2

# Çinko

yoğunluk	7.14 gcm <sup>-3</sup>
Ergime noktası	419.53 °C
Kaynama noktası	907 °C
Kristal yapısı	hekzagonal
Oksidasyon derecesi	2 (atmosferik oksit)
Manyetik düzen	Diamanyetik
Young Modülü	108 GPa
Kayma modülü	43 GPa
Kütle modülü	70 GPa
Poisson oranı	0.25
Brinell sertliği	412 MPa

# Çinko

- Yer kabuğunda ortalama çinko miktarı ~70 mg/kg!
- Bazı bölgelerde çinko doğal jeolojik ve jeokimyasal süreçlerle %5-15 veya 50,000-150,000 mg/kg seviyelerine kadar zenginleşmiş!
- Çinko aynı zamanda havada, suda ve biokürede mevcut.
- Bitkiler, hayvanlar, ve insanlar da çinko içeriyor.
- Çinko madenciliği yüzeyde veya toprak altında bulunan bu bölgelerde yapılıyor.

# Çinkonun tarihçesi

- Çinko metalik olarak elde edilmeden yüzyıllar önce cevherleri pirinç ve çinko bileşikleri yapımında, yaraların ve yaralı gözlerin tedavisinde kullanılmış!
- Romalılar ilk pirinci Augustus döneminde MÖ20-MS14 yılları arasında elde etmiş!
- 13. Yüzyılda Marko Polo Pers ülkesinde çinko oksitin imalatının nasıl yapıldığını tarif eder.
- 1374'de Hindistan'da çinko yeni bir metal olarak kabul edilmiştir. O tarihte insanoğlu tarafından bilinen 8. metal.
- Çinko pirinç yapımına kullanılırken çinko oksit tıbbi ihtiyaçlar için değerlendiriliyordu.

# Çinkonun tarihçesi

- Çinko üretimi 17. yüzyılda Hindistan'dan Çin'e yayılmış ve pirinç endüstrisinin gelişmiş
- Çinko Avrupa'da yeni bir metal olarak 16. yüzyılda kabul edilmiş!
- 1743'te İngiltere'de ilk çinko üretim tesisi; daha sonra Almanya ve Belçika'da gelişmiş.
- 1836'da sıcak daldırma ile çinko kaplama, bilinen en eski korozyon koruma pratiği, Fransa'da başladı.
- ABD'de çinko üretimi 1850'de başladı.
- 1916'da elektrolitik prosesin pirometalurjik üretim prosesinin yerini alması ile çinko sanayinde önemli bir gelişme yaşandı.



# Çinko üretimi

- Demir, alüminyum ve bakırdan sonra sanayide en çok kullanılan metaldir.
- Demir ve çeliğin korozyona karşı direncinin artırılmasında, pirinç ve özel alaşımların yapımında, ayrıca çatı kaplama malzemeleri, lastik ve pil yapımında önemli miktarlarda çinko kullanılmaktadır.
- Görünür metal çinko rezervi dünyada yaklaşık 200 milyon ton, Türkiye'de 2.3 milyon tondur.
- Avustralya, ABD, Kanada, Çin en çok çinko rezervine sahip ülkelerdir.

# Çinko üretimi

- Dünyada çinko cevher üretimi 8 milyon ton, hurda çinko üretimi 0.5 milyon ton civarındadır.
- Türkiye'nin çinko metal tüketimi yılda 60 bin ton dolayındadır.
- Bunun 10 bin tonu geçici ihraç yoluyla yurtdışına gönderilen cevherlerden geri dönen metalle, bir bölümü hurdadan kazanılmakta, geri kalan 20-30 bin tonu ithalatla karşılanmaktadır.

# Çinko üretimi

- 1999 yılında kapatılan ve İncesu İcra Dairesi tarafından 14. kez satışa çıkarılan Çinkur, iflas masasından 4.6 milyon YTL'ye İpek Mobilya AŞ'ye satıldı.
- İpek Mobilya Yönetim Kurulu Başkanı Saffet Aslan, Çinkur'u sahip olduğu arazi nedeni ile satın aldığını ve kendi uğraş alanı olan mobilya sektörünün gelişmesinde kullanacağını söyledi.
- 1 Haziran 1996 yılında Özelleştirme İdaresi tarafından İranlı işadamlarının kurduğu Kayseri Maden Metal Ticaret AŞ'ye 14 milyon dolara satılan yılda 30 bin ton üretim kapasitesi ile ham cevherden çinko metali üreten Türkiye'nin tek fabrikası olan ÇİNKUR, 3 yıl üretim yapma şartı sonrasında 26 Kasım 1999 yılında üretimini durdurdu.

# Çinko retimi

- Türkiye'de metal içeriği olarak 860bin ton kurşun, 2.294 bin ton çinko rezervi vardır.
- Çinko rezervlerinin %35'i Rize-Çayeli bakır çinko yatağında bulunur.
- Türkiye'nin çinko metal tüketimi yılda 60 bin ton dolayındadır.

# Çinko üretimi

- en fazla tüketilen dördüncü demirdışı metaldir.
- Küresel çinko tüketiminin yaklaşık %60'ı galvanizli çelik yapımında kullanılmakta, galvanizli çelik ise toplam çelik üretiminin %10'una karşılık gelmektedir.
- Çinko, galvanizleme dışında sırasıyla çinko alaşımlarda, pirinç ve bronz üretiminde ve kimyasallarda kullanılmaktadır.



# Çinko üretimi

- USGS verilerine göre, 2013 yılı itibarıyla dünya çinko rezervlerinin yaklaşık %25'i Avustralya'da, onu sırasıyla Çin, Peru, Meksika ve Hindistan takip ediyor ve bu beş ülke dünya çinko rezervlerinin yaklaşık %64'üne sahip.
- Maden üretiminde ise, en büyük üretici olan Çin'i, Avustralya, Peru, Hindistan ve ABD takip ediyor; bu beş ülke küresel üretimin yaklaşık %69'unu gerçekleştiriyor.
- Çin, küresel rafine çinko tüketiminden yaklaşık olarak %40'luk bir pay almaktadır.

# Çinko üretimi

- Dünya rafine çinko talebinin %60'tan fazlası, Japonya ve Güney Kore'nin otomotiv üretimlerindeki yoğunluktan da kaynaklanan sebeplerle, başta bu ülkeler olmak üzere, Asya ülkelerinden gelmektedir.
- Küresel ticaret akışı, hem çinko cevheri konsantreleri hem de rafine çinko metali için Güney Amerika ve Avustralya gibi ana üretici ülkelere, Çin, Japonya ve Güney Kore gibi büyük tüketici ülkelere doğrudur. Avrupa ve Kuzey Amerika ülkeleri ise, hem mütevazı üretim oranları, hem de tüketim rakamları göz önünde bulundurulduğunda, Asya ülkelerine kıyasla, daha kendilerine yetebilen bir yapıya sahiptirler.

# Çinko cevherleri

- En yaygın bulunan ve madenciliği ön plana çıkan çinko minerali *zinc blende* olarak da bilinen *sفالerit* (ZnS) dir.
- *marmatit* karmaşık bir Zn-Fe sülfitidir; bolca bulunur fakat ergitilmesi güç olduğu için günümüzde değerlendirilmemektedir.
- 500 yıl boyunca çinko oksitli minerallerinden üretilmişti. Fakat günümüzde çinko metal elde etmek için kükürtlü mineralleri kullanılmaktadır.

# Çinko madenciliği

- Çinkonun %95'i kükürtlü maden yataklarından elde edilir.
- ZnS hemen her zaman Cu, Pb ve Fe'in kükürtlü bileşikleri ile birlikte bulunur.
- Başlıca Zn yatakları Çin, Avustralya ve Peru'da bulunur.
- Çin dünya Çinko üretiminin %29'unu gerçekleştirmiştir.

# Çinko madenciliği

- Çinko madenlerinin %80'i yer altında iken %8 kadarı yer üstünde, açık madencilik işletmeleridir.
- Buna karşın açık madenciliğin üretimdeki payı %15, yer altı madenciliğininki %64 dür.
- Elde edilen cevherler nadiren metal üretiminde doğrudan kullanılabilir. Bu nedenle cevher zenginleştirme uygulanmak zorundadır.



# Çinko madenciliği

- Çinko madenleri 5-15% kadar çinko içerirler.
- Konsantre elde etmek için cevher kırılır ve diğer cevherlerden ayrılmayı kolaylaştırmak üzere optimum boyuta öğütülür. Zenginleştirme işleminden sonra cevher tipik olarak %55 Zn ve bir miktar Cu ve Fe içerir.
- Cevher zenginleştirme işlemleri nakliye giderleri dikkate alınarak çoğunlukla maden sahasında yapılır.

# Çinko üretimi

flotasyonla çinko bileşikleri diğerlerinden hidrofobik karakterleri arasındaki farktan yararlanılarak cevher zenginleştirme yapılır ve konsantre elde edilir. Hidro ve pirometalurjik süreçlerle metalik çinko kazanılmadan önce konsantredeki kükürt uzaklaştırılmalıdır.

Kavurma işlemi ile kükürtlü bileşikler oksitlere dönüştürülür



Konsantre 900° C üzerindeki bir sıcaklığa getirilir ve bu sıcaklıkta ZnS daha aktif olan ZnO'e dönüştürülür.

# Çinko üretimi

Bu sırada kükürt oksijenle reaksiyona girerek  $SO_2$ 'ye dönüşür. Sülfür dioksit liç işleminde kullanılan sülfürik asit elde edilir.

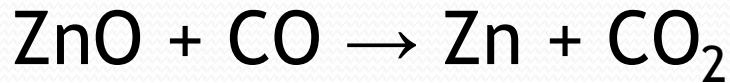
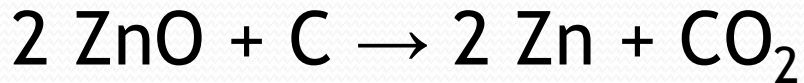
Üretimin devamı için 2 temel yöntem vardır:  
pirometalurji  
hidrometalurji

Günümüzde çinkonun %90'ı elektrolizli işletmelerde hidrometalurjik yöntemle üretilmektedir.

# Çinko üretimi

## Pirometalurjik yöntem

Pirometalurjik proseste ZnO 950° C'de karbon veya karbonmonoksit tarafından redüklenerek metalik Zn'ya dönüştürülür ve çinko buharı şeklinde distile edilir. Çinko buharı bir kondensörde toplanır:



Bu yöntem enerji tüketimi yüksek bir yöntem olup enerji maliyetlerinin artması ile önemini kısmen kaybetmiştir.

Bu şekilde üretim sadece Çin, Hindistan, Japonya ve Polonya'da yapılmaktadır.

# Çinko üretimi

## Hidrometalurji

pratiğinde ise ZnO sülfürik asit ile liç edilerek ZnO diğer kalsine bileşiklerden ayrılır.

ZnO asitte çözünürken, Fe, Pb ve Ag bileşikleri çözünmez.



çözelti yüksek saflıkta çinko elde edebilmek için mutlaka ayıklanması gereken empüriteler içerir.

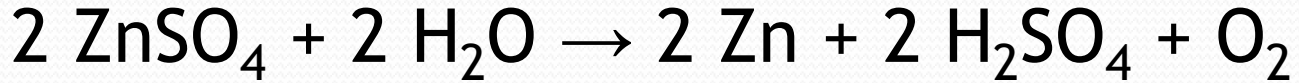
Saflaştırma çözeltiye çinko tozu ilave edilerek yapılır.

Giderilmesi hedeflenen tüm elementler elektrokimyasal skalada Zn'un altında kaldığından sementasyonla çöktürülürler.



# Çinko üretimi

En sonunda çinko elektroliz yöntemi ile redüklenir:



Buradan çıkan sülfürik asit liç aşamasına geri döner.

Saflaştırılmış çözelti kurşun alaşımli anot ve alüminyum katotlar arasında elektroliz edilir.

Zn alüminyum katotlar üzerine yüksek saflıkta kaplanır.

katottan sıyrılır, kurutulur ve ergitilip ingot şeklinde dökülür:

Çinko ingotların saflıkları:

Yüksek kalite: (HG) 99.95% ve

Özel yüksek kalite (SHG) 99.99% Zn saflığında

# Çinko



Çinkodan üretim büyük çoğunlukla basınçlı döküm teknolojisi ile yapılır.

Basınçlı dökümle üretilmiş çinko parçalar Banyo aksesuarlarından kapı pencere kollarına, ofis mobilyaları, otomotiv sanayi ve sayısız elektronik parçaya kadar hemen her yerde karşımıza çıkar.

# Neden inko basıncılı döküm parçaları?

Dekoratif ve işlevsel parçalar için hiçbir diğerk malzeme basıncılı döküm prosesi ile üretilen çinkonun özellikleri ve ekonomikliği ile rekabet edemez.

Çinko döküm alaşımları polimer esaslı kompozitlerden daha dayanıklıdır.

Çinko, sertliği, kaydırıcılık özellikleri boyutsal kararlılığı ve yüksek elastik modülü sayesinde dişli gibi çalışan mekanik parçalar için kalıplanmış polimerlerden daha caziptir.



# Neden inko basıncılı döküm parçaları?

Çinkonun mükemmel ısı ve elektrik iletkenliği, dar toleranslarla dökülebilirliği, elektrik bileşenleri, elektromanyetik perdeleme uygulamaları, ısı deposu gibi parçalarda onu ideal malzeme seçeneği yapar.

Çinko düşük sıcaklıklarda dökülebildiği için dökümle üretimi diğer metal ve alaşımlara göre enerji ve maliyet avantajı sunar.

Çinko alaşımlı dökümler estetikdir ve çok şık yapılabilir. Mesela, altına, paslanmaz çeliğe ve hatta deri görünümüne kavuşturulabilir.

# Çinko döküm alaşımlarının avantajları

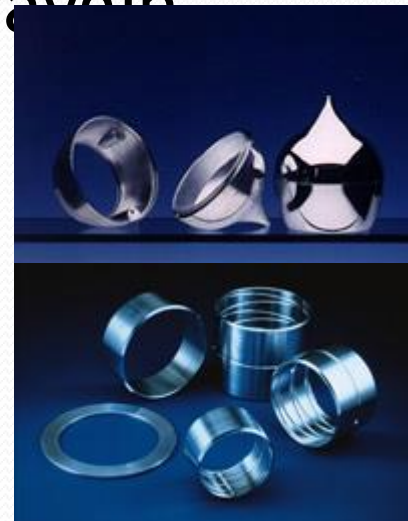
## Üretimde esneklik

kalite ve miktar ihtiyaçlarına uygun olacak şekilde her türlü döküm prosesi ile üretilebilir.

Çinko alaşımları gravite, kum kalıp, kokil kalıp, plaster kalıp döküm ile de ekonomik olarak üretilebilir.

Çok sayıda üretim için Basınçlı döküm en yaygın üretim yöntemidir.

Çinko alaşımları çok dar toleranslarla dökülebildiklerinden sonraki talaşlı imalat adımlarına gerek kalmaz.





# Çinko döküm alaşımlarının avantajları

## **Mukavemet/süneklik**

yüksek mukavemet (<415 MPa) ve süneklik bir arada.  
Yüksek şekil verilebilirlik: Eğme, presleme,  
perçinleme operasyonları için uygun!

## **tokluk**

tokluk ve mukavemeti bir arada çok az alaşımda var  
Darbe tokluğu döküm alüminyum, gri dökme demir  
ve plastiklerden daha yüksektir.

## **rijidlik**

mühendislik plastiklerinden daha iyidir.

# Çinko döküm alaşımlarının avantajları

## **Kıvılcımlanmaz**

Çinko alaşımları kıvılcımlanmaz ve kömür madenleri, tankerler, rafineri gibi tehlikeli bölgelerde kullanımını sakıncasızdır.

## **Yataklama özellikleri**

çinkonun mükemmel yataklama özelliği sayesinde tasarımda aşınma önlem parçaları ve bilezikler gereksizdir. Örneğin ağır iş endüstriyel uygulamalarında çinko alaşımları bronzlardan daha üstündür.

# Çinko döküm alaşımlarının avantajları

## **Yüzey işlemlerine uygunluk**

çinko dökümler dekoratif ve işlevsel nedenlerle kolayca ve ekonomik olarak parlatılabilir, kaplanabilir, boyanabilir, kromatlanabilir veya eloksal yapılabilir.

## **Dökülebilirlik-ince kesit**

her türlü döküm yönteminde yüksek akışkanlık çinko alaşımlarının çok ince kesitler halinde dökülebilmesine imkan tanır.

# Çinko döküm alaşımlarının avantajları

## **işlenebilirlik**

hızlı ve sorunsuz işlenebilirlikleri takım aşınmalarını en aza indirir, işleme maliyetlerini düşürür.

## **Düşük enerji maliyetleri**

düşük ergime noktaları sayesinde çinko alaşımlarının ergitilmesi ve dökümü daha düşük maliyetlerle yapılabilir.

# Çinko döküm alaşımlarının avantajları

## **Uzun kalıp ömrü**

düşük döküm sıcaklıkları sayesinde termal şoklar daha hafiftir ve basınçlı dökümle üretimde kalıplar uzun ömürlüdür ve kalıp maliyetlerinden tasarruf edilir. Alüminyuma göre kalıp ve takım maliyetleri 10 kat daha uzundur.

## **Temiz metal ve geri kazanılabilir**

mevcut en temiz alaşımlardan biridir.

Toksik değildir. Geri kazanımı cazip ve kolaydır.



# Alaşım elementlerinin etkileri

## Alüminyum

Mukavemeti ve akışkanlığı arttırır.

Kalıp malzemesi ile etkileşimi azaltmak için de kullanılır.

### **% 3.5 altındaki miktarlarda Al:**

- düşük mekanik özelliklere
- düşük yüzey kalitesine
- döküm aşamasında sıcak yırtılmaya yol açar.

### **% 4.5 üstünde Al**

- mekanik özellikler belirgin şekilde bozular.
- darbe mukavemeti dramatik olarak düşer.

Çinko alaşımlarını fazladan ısıtmak alüminyum kaybına neden olur ve bu durum mutlaka önlenmelidir.

# Alaşım elementlerinin etkileri

**bakır:**

Sertliği arttırır.

UTS gibi mekanik özellikleri arttırır.

Akışkanlığı arttırır.

%1 üstündeki miktarlarda döküm parçalarda tane büyümesine yol açar.

Döküm parçalarda boyutsal kararlılığa zarar verir.

∴ ZL 3 çinko basınçlı döküm alaşımları arasında en iyi boyut kararlılığına sahiptir.

# Alaşım elementlerinin etkileri

## **Magnezyum:**

Bazıları taneler arası korozyona neden olan empüritelerin olumsuz etkilerini giderir.

Mukavemeti ve sertliği artırır.

Darbe gevrekliği sıcaklıklarını aşağı çeker.

Kontrol edilmesi gerekir; çünkü:

- alaşım spektlerinde geçen miktarlar bile akışkanlığı düşürür.
- çok fazla bulunduğunda cüruf miktarını artırır.
- dökümde sıcak yırtılma eğilimini artırır.
- alırısı ısınma durumlarında Mg kaybı yaşanır ve bu duruma engel olunmalıdır.

# Çinko alaşımları

Çinko döküm alaşımları 2 ana gruba ayrılır:

## ZAMAK alaşımları

Zamak 3

Zamak 5

Zamak 7

Zamak 2

## ZA alaşımları

ZA-8

ZA-12

ZA-27

# Çinko alaşımları

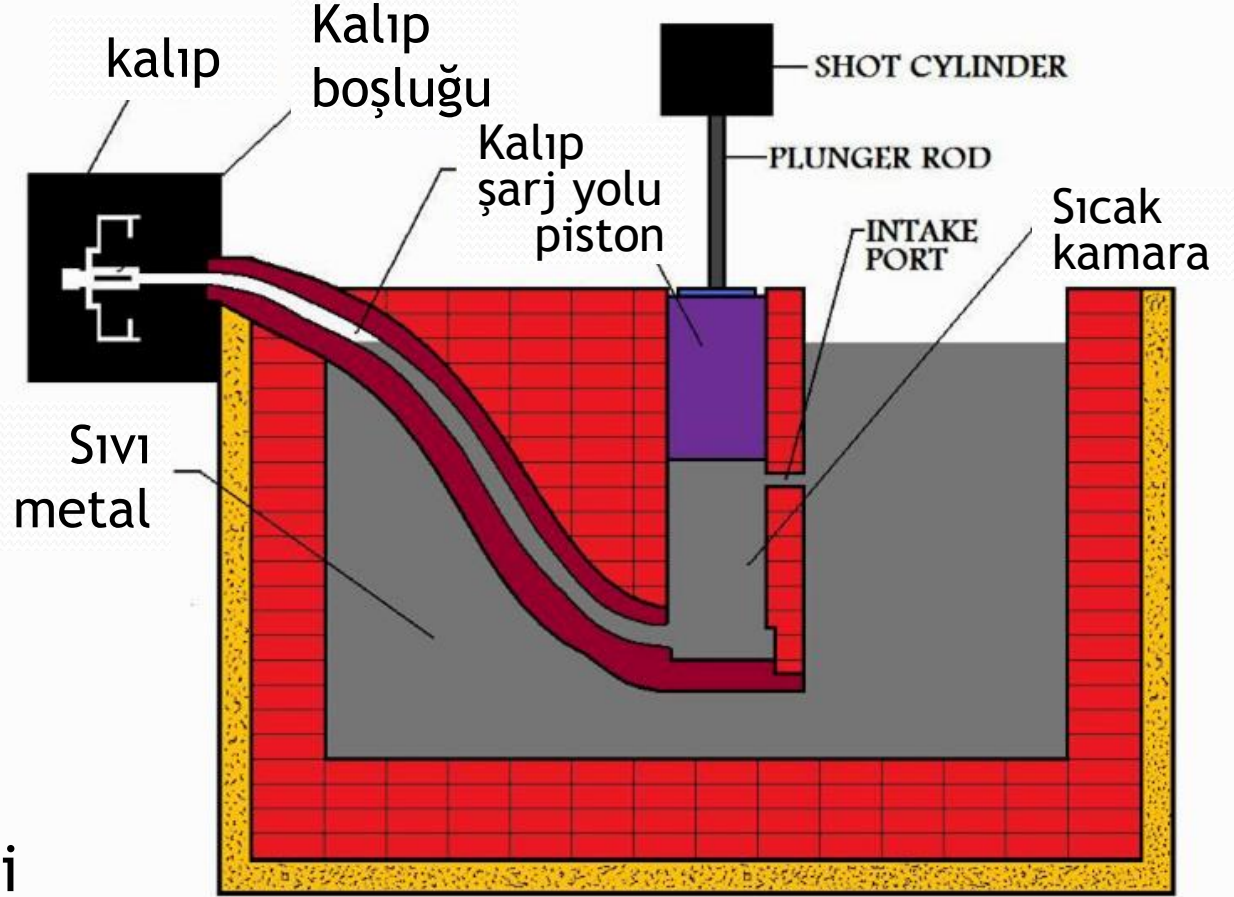
Zamak alaşımları yaklaşık %4 kadar Al içerir. mükemmel dökülebilirlik (basınçlı döküme uygun) yüksek mukavemete sahiptirler. Çinko basınçlı döküm parçalarının bir çoğu Zamak alaşımlarından yapılır.

ZA alaşımları daha yüksek miktarlarda Al içerir ve daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Zamak alaşımları 1920'lerde basınçlı dökümle üretim için geliştirilmiştir.

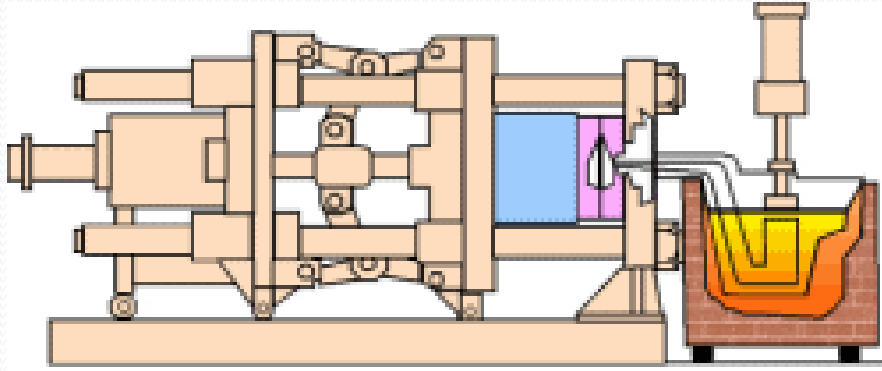


# Sıcak kamara basınçlı döküm

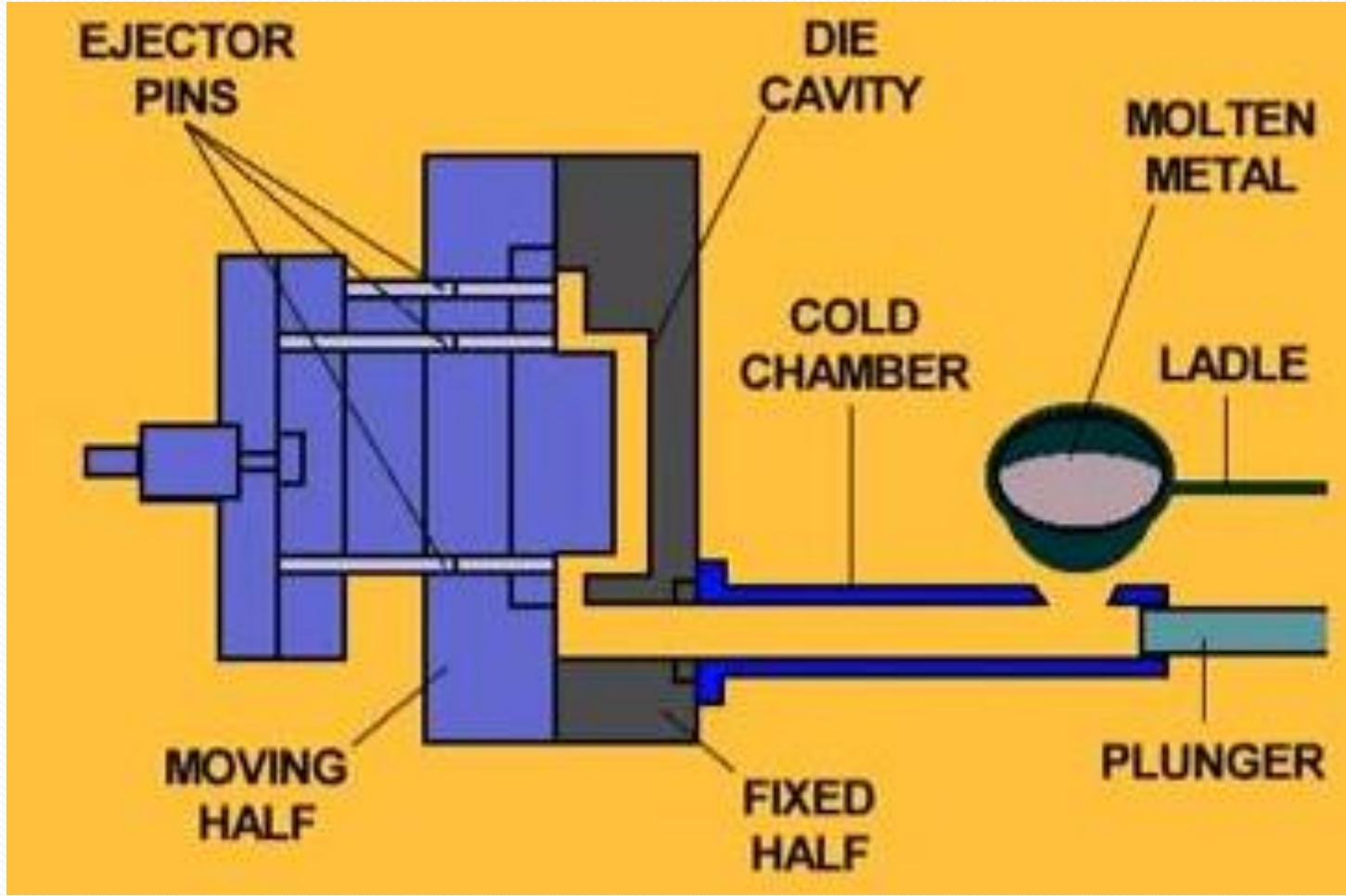
Sıcak kamaralı basınçlı dökümde sıvı metal rezervuarı döküm makinesine bitişiktir ve sıvı metal tedarigi döküm sürecüne bağlanmıştır. Basınçlı dökümde uygulanan basınç sayesinde döküm parça yüzey kalitesi yüksektir.



# Sıcak kamara basınçlı döküm



# Soğuk kamaralı basınçlı döküm



Çinko alaşımları için pek kullanılmaz!

# Çinko alaşımları

## Sıcak kamara basınçlı döküm alaşımları

<b>Alloy/Element</b>	<b>Aluminium</b>	<b>Magnesium</b>	<b>Copper</b>
<b>ZL 2</b>	3.8 - 4.2%	0.035 -0.06%	2.7 – 3.3%
<b>ZL 3</b>	3.8 - 4.2%	0.035 -0.06%	0.03% max
<b>ZL 5</b>	3.8 - 4.2%	0.035 -0.06%	0.7 – 1.1%
<b>ZL 8</b>	8.2 – 8.8%	0.02 – 0.03%	0.9 – 1.3%

# Zamak No. 3

- No. 3 alaşımı basınçlı döküm yapılacaksa akla ilk gelmesi gereken çinko alaşımıdır.
- Fiziksel ve mekanik özelliklerin çok cazip bir kombinasyonuna, uzun sürelerle boyutsal kararlılığa, süper dökülebilirliğe sahip bu alaşım Kuzey Amerika'da basınçlı döküm çinko parçalarının %70'nine tekabül eder.
- No. 3 alaşımı kaplama, kromatlama ve boyama için idealdir ve çok cazip yüzeye kavuşturulabilir.



# Zamak No. 5

- No. 5 alaşımından dökülen parçalar No. 3 alaşımına göre bir miktar daha mukavemetli ve serttir.
- Buna neden %1 kadar ilave edilen Cu'dır.
- Ancak süneklığı daha düşüktür.
- Eğme, büküm, perçinleme, dövme, presleme gibi ikincil operasyonlarda düşük süneklilik baş ağrıtabilir.
- AB'de yaygın olarak basınçlı dökümle üretilir.
- Akışkanlığı mükemmeldir.

# Zamak No. 5

- Sürünme direnci No.3 alaşımından daha iyidir.
- Bir miktar daha yüksek mukavemet gerektiğinde 5 nolu alaşım önerilir.
- Kaplanması, parlatılması, talaşlı imalatı en az 3 nolu alaşım kadar iyidir.

# Zamak No. 7

- No. 7 alaşımı No. 3 alaşımın bir modifikasyonudur.
- Daha dūřuk Mg içeriği ve empüriteler için daha sıkı bir kontrol bu alaşımda daha yüksek akışkanlık, süneklilik ve daha üstün yüzey kalitesi sağlamaktadır.
- No. 7 alaşımının büyük çoğunluğu montaj aşamasında döküm parçalar daha şekil verilebilir olsun istendiğinde kullanılır.
- Daha yüksek akışkanlık bazen tercih edilmekle birlikte bazı önlemler de gerektirir.

# Zamak No. 7

- No. 7 alaşımı ařırđ apaklanmayı önlemek için kalıp ayarđ, titizlikle seçilmiş döküm sıcaklığı, döküm parametre kontrolü gerektirir.
- Yüksek sneklđi nedeniyle, titreşimli sistemlerde apak temizliği nispeten daha güçtür.

# Zamak No. 2

- Gravite dökümde kullanılan yegane zamak alaşımıdır.
- Metal şekillendirme ve plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılır.
- Zamak ailesi içinde en yüksek mukavemete ve sertliğe sahip alaşımdır.
- Ancak yüksek Cu içeriği (%3) uzun dönemde yaşlanma sonucunda özelliklerin değişime uğramasına neden olur.



# Zamak No. 2

- Bu değişiklikler hafif uzama (1.4 mm/m/20 yıl), düşük süneklık ve düşük darbe performansı şeklinde görölür.
- Sürünme performansı diğer ZAMAK alaşımlarından daha üstündür.
- Bu alaşım yaşılanma sonrasında diğer ZAMAK alaşımlarından daha yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir.
- Yataklama kapasitesi de iyidir.

# Çinko alaşımları

- ZA alaşımları gravite döküm için geliştirilmiştir.
- Mekanik özellikleri, kum, kokil ve alçı kalıba dökülen bronz, dökme demir, alüminyumunkilerle yarışır.
- ZA alaşımlarının ayırt edici özellikleri yüksek alüminyum içerikleri ve mükemmel yataklama kapasiteleridir.
- 1980'lerde ZA alaşımları basınçlı döküm prosesi alaşımları olarak gelişmiştir.

# Çinko alaşımları

Sadece **ZA-8** alaşımı sıcak kamaralı basınçlı döküm tekniği ile üretilebilir.

Sıcak kamaralı basınçlı döküm yüksek otomasyona sahip ve verimli bir üretim prosesidir.

**ZA-12 ve ZA-27** alaşımları özel ergitme prosedürleri gerektirir ve alüminyum alaşımlarında olduğu gibi daha düşük verimle çalışan **soğuk kamaralı basınçlı döküm** yöntemi ile üretilmek zorundadır.

# ZA-8

- İyİ bir gravite döküm alaşımı olarak, ZA-8 basınçlı döküm için artarak tercih edilmektedir.
- ZA-8 sıcak kamaralı makinelerde dökülebilir ve 2 nolu dışındaki Zamak alaşımından daha yüksek mukavemet, sertlik ve sürünme özelliklerine sahiptir.
- Kolayca kaplanabilir ve diğer yüzey işlemleri uygulanabilir.
- Zamak No. 3 ve 5'in performansı soru işaretleri yarattığında ZA-8 yüksek mukavemet, sürünme özellikleri ve sıcak kamara prosesine uygunluğu nedeniyle ilk akla gelen seçenektir.

# ZA-12

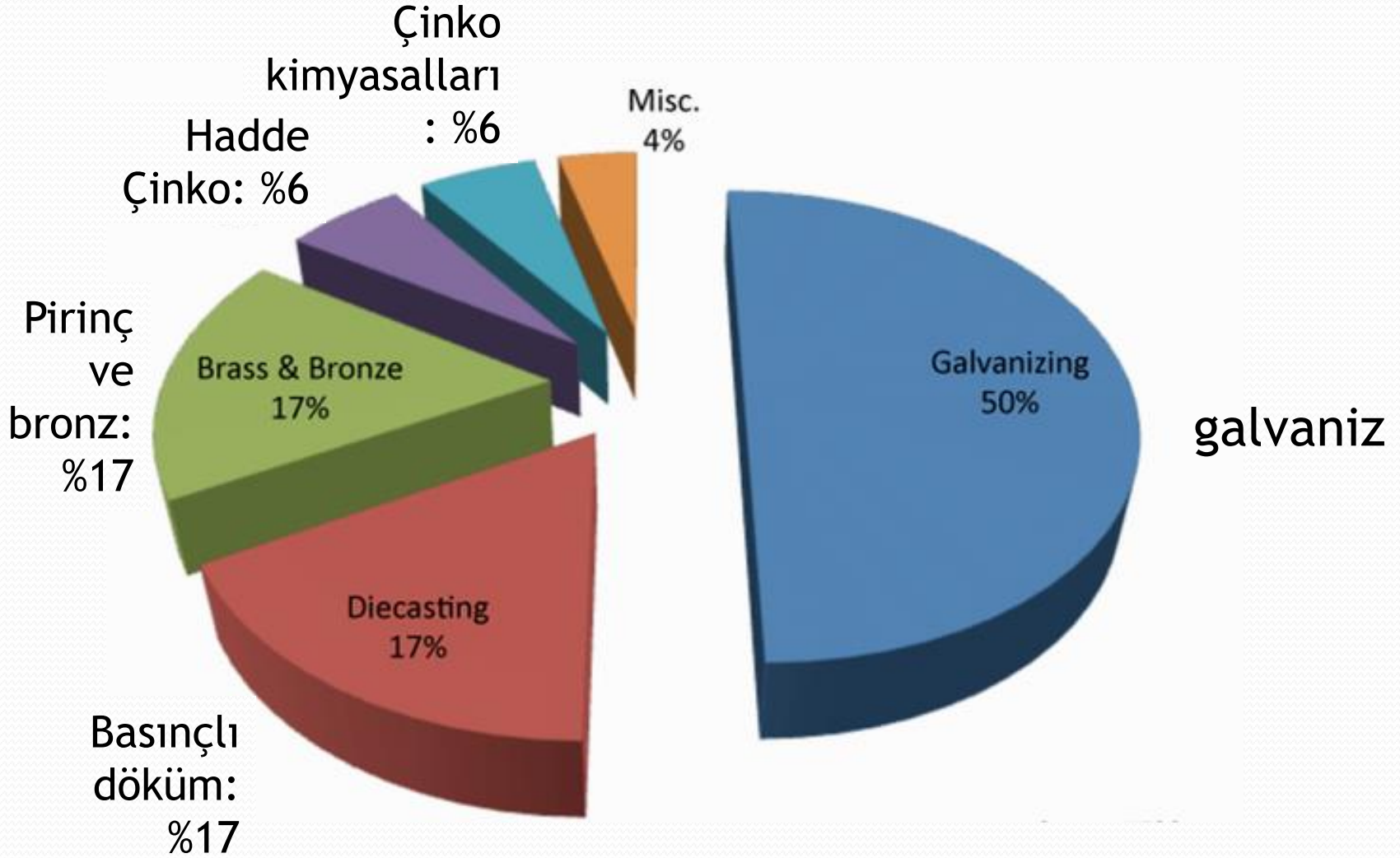
- Gravite veya basınçlı dökümle kolayca üretilebildiği ve yüksek performansa sahip olduğu için ZA-12 en becerikli Zamak alaşımıdır.
- ZA-12 kum, kokil ve grafit kalıba döküm için en iyi gravite döküm alaşımıdır.
- Aynı zamanda iyi bir basınçlı (soğuk kamara) döküm alaşımıdır ve ZA-27'den daha düzgün bir döküm yapısı, uzama ve darbe özellikleri verir.
- Bu nedenlerle, basınçlı dökülmüş ZA-12 mukavemet gerektiren uygulamalar için ZA-27 ile rekabet içindedir.
- ZA-12 alaşımı aynı zamanda kaplanabilir.



# ZA-27

- ZA-27 alaşımı ister gravite ister basınçlı (soğuk kamaralı) döküm olsun çinko alaşımları arasında yüksek mukavemet alaşımıdır.
- Aynı zamanda en hafif olandır ve mükemmel yataklama kapasitesi ve aşınma direnci gösterir.
- Ancak ergitme sırasında özellikle kalın kesitli parçaların dökümünde sağlam bir döküm yapısını güvence altına almak için özen gerektirir.
- Boyut toleransları dar olduğunda stabilizasyon ısıl işlemi de gerekebilir.
- Kaplama için uygun değildir.
- Mukavemet ve aşınma direnci gerektiğinde öncelikli tercihtir.

# Çinkonun kullanım alanları



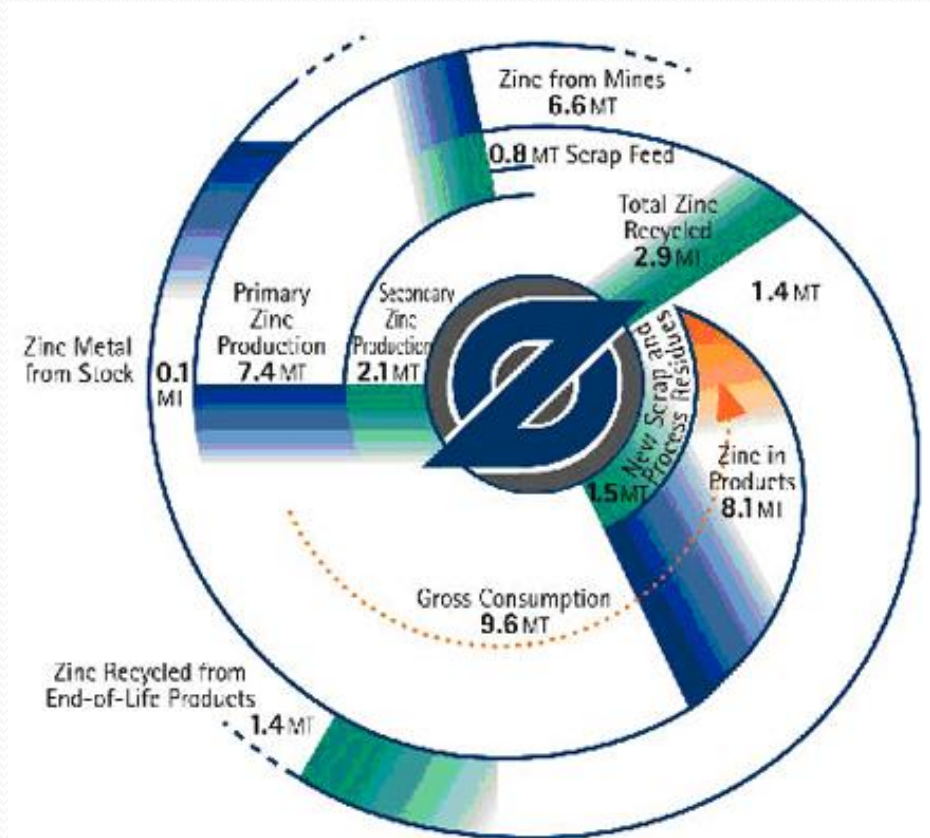
# Çinkonun kullanım alanları

- Dünyada yılda yaklaşık 12 milyon ton çinko üretilmektedir.
- Bunun yarısından fazlası çelikleri korozyondan korumak amacı ile galvanizlemede kullanılır.
- Üretimin %17 kadarı çinko esaslı alaşımların üretimine, basınçlı döküme gider. %17 kadarı da pirinç ve bronz alaşımlarının üretiminde kullanılır.
- Önemli miktarda çinko çatı elemanları, oluk ve boruların imalatı için haddelenmiş çinko ürünlerinde değerlendirilir.
- Kalanı ise çinko oksit ve çinko sülfat gibi bileşiklerde tüketilir.
- Başlıca kullanım alanları inşaat, taşımacılık, tüketici ürünleri, elektrik araçları ve genel mühendislik uygulamalarıdır.

# Çinkonun geri kazanımı

Halen dünya genelinde tüketilen çinko alaşımlarının %75 kadarı cevherlerinden kalan %25'lik kısmı ise geri kazanımdan gelmektedir.

Toplanan çinko alaşımlı ürünlerin %90'ı çinko olarak geri kazanılmaktadır.



# Çinko-galvanizleme

Bir asırdan uzun bir süredir çinko çeliklerin ömrünü uzatmakta ve onu atmosferik etkilerden paslanmaktan korumaktadır.

Çeliği korozyona karşı korumanın en ekonomik ve etkili yöntemi onları çinko ile kaplamaktır.





# Çinko kaplamalar

Galvanizli çeliklerin özellikleri:

yüksek mukavemet

şekil verilebilirlik

hafiflik

korozyon dayanıklılığı

estetik görünüm

geri kazanılabilirlik

düşük maliyet

Bu nedenlerle galvanizli çelik inşaat ve imalat sektörlerinde çok cazip bir malzeme seçeneğidir.

Otomotiv sektöründe, dayanıklı eşya üretiminde, konut, ticari ve sanayi yapılarında tercih edilir.

# Çinko kaplamalar

## **Çinko kaplamaların teknik performansı**

en uygun çinko kaplamayı seçerken göz önünde bulundurulması gerekli bir çok husus vardır.

Korozyondan korumaya ek olarak, kaplamanın şekil alabilirliği, yapışması, görünüşü, ve maliyeti dikkate alınmalıdır.

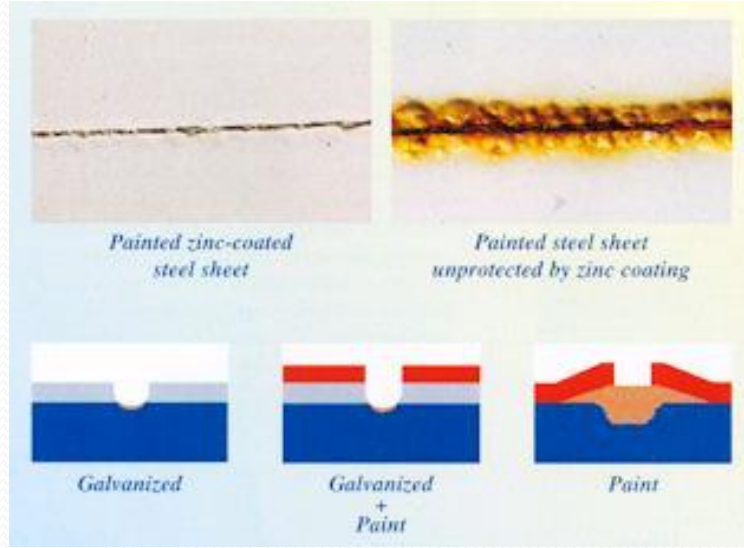
Bütün çinko kaplamalar, kapladıkları çelik gibi geri kazanılabilir.

## **Korozyon direnci**

Korunmasız bırakıldığında çelik her atmosferde paslanacaktır.

Çelik kaplamalar altındaki çeliği hem fiziksel bir bariyer oluşturarak hem de katodik koruma sağlayarak korur. Bu nedenle koşullar dikkate alınarak en uygun kaplamanın seçilmesi önemlidir.

# Çinko kaplamalar



*Boyalı çinko kaplı çelik çizildiğinde çinko hem alttaki çeliği korozyondan korur hem de üstteki boya tabakasının kalkmasına engel olur.*

## **Bariyer koruması**

çinko kaplamalar rutubetin çelikle temasına izin vermeyen sürekli, geçirmez ve dayanıklı bariyer oluştururlar. Rutubet yoksa korozyon da olmaz; tek istisna kimyasallarla temas durumudur.

Çinko kaplamaların etkinliği doğrudan kaplama kalınlığı ile orantılıdır. Kaplamanın ömrü kaplamanın korozyon hızına bağlıdır.

# Çinko kaplamalar

## **Katodik koruma**

**diğer bir mükemmel koruma yöntemi çinkonun çeliği galvanik olarak koruma kapasitesine dayanmaktadır.**

Alttaki çelik bir çizik veya kesik bölgesindeki gibi atmosfere açıldığında çelik çinko kaplamanın kendini feda etmesiyle katodik olarak korozyondan korunur.

## **Boyalı çinko kaplamalar**

**çinko kaplamalar kolayca boyanırlar.**

Dupleks kaplama ifadesi galvanizlenmiş ve boya uygulanmış çelik parçalar için kullanılır.

Rulo kaplama ve ön boyama ifadeleri ise, sürekli galvanizleme ve boyama uygulanan çelikler için kullanılır.

Boya alttaki çinko kaplamayı koruyan bir fiziksel bariyer görevi görür.

Çinko boya için mükemmel bir altlıktır. Çünkü boya filmi bozulduğunda çinkonun mükemmel korozyon direnci boya altının çürümesini ve boyanın dökülmesini önler.

# Korozyondan korunma için çinko spreyleme

Çinko kaplamalar çeliği korozyona karşı korumak için en etkin ve en ekonomik alternatifi sunmaktadır (1 asırdır!)

Çeliklere çinko kaplama galvanizleme ile uygulanır. Ancak rüzgar gülü gibi çok büyük parçaların galvaniz banyolarına daldırılması olanaksızdır. Bu gibi durumlarda parçalara çinko termal spreyleme uygulanır. Bu uygulama servisteki çelik parçalar ve galvaniz banyosu ile ulaşılması güç geometrileri için de kullanılır.





# Çinko levha

Çinko levhalar inşaat sektöründe çatı kaplama, duvar kaplama, su giderleri, için kullanılır.

Mimari uygulamalar için çinko alaşımları Cu ve Ti içerirler ve levha, rulo levha, çubuk şeklinde üretilir ve bu formda kullanılır.

Çinko levha plaket ve blok şeklinde grafik sanatlarda ve pil kutuları ve madeni para imalatında kullanılır.

Çinko levha sürekli döküm ve haddeleme teknolojisi ile üretilmektedir.

Çinko indüksiyon ocağında ergitilir, sıvı metal Hazelett makinesinde bantlar arasında katılaştırılır.

# Çinko levha

Bu şekilde üretilen levha 1m en ve 10-20 mm kalınlıktadır ve daha sonra arzu edilen kalınlıklara inceltilmek üzere soğuk haddelenir.



Çinko levhalar karmaşık çatı tasarımlarını mümkün kılar!



Çinko levhadan üretilen ABD madeni parası!

# Zinc for health

## Zinc Saves Kids<sup>®</sup>

An International Zinc Association (IZA) initiative in support of UNICEF



[www.ZincSavesKids.org](http://www.ZincSavesKids.org)



450,000 children die each year from zinc deficiency. Zinc Saves Kids is an initiative to improve the survival, growth and development of undernourished children by funding UNICEF-supported zinc programs around the world.

[Click here to learn more](#)



# Çinko basıncılı döküm parçalar

Üstün kaliteli, saldırgan atmosferlere dayanıklı çinko ürünler

Korozyon ve aşınma direnci gösterirler.

Uzun ve güvenilir bir servis ömrü sunarlar.



Tıraş makineleri basıncılı döküm çinkodan üretilmiş şık ve cazibeli bir gövdeden imal edilir.

Çinko ağırlığı ve yüzey kalitesi ile elde yarattığı his ve göze hoş görünmesi ve ekonomikliğı nedeniyle seçilmiştir.

# Çinko basıncılı döküm parçalar



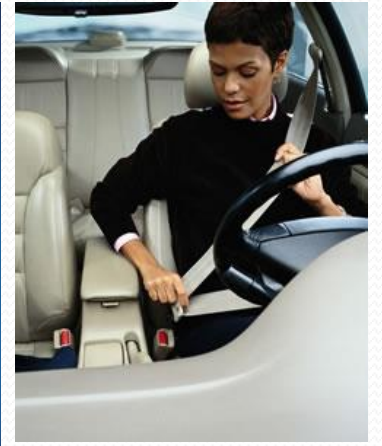
Banyo armatürlerinde çinko basıncılı döküm parçalar.

**Kaplamalı**

Mutfak robotları

Otomobil güvenlik kemeri

Gibi birçok uygulamada basıncılı döküm parçalar kullanılır.







magnezyum



# Magnezyumun özellikleri

Atom çapı: 320 pm

Atom no: 12

Atom kütlesi: 24.305

Elektron konfigürasyonu: [Ne] 3s<sup>2</sup>

Yoğunluk: 1.738 g/ cm<sup>3</sup>

Ergime noktası: 650°C

Elektronegativite: 1.310

Isıl genleşme katsayısı: 25.2x10<sup>6</sup>/K

Buharlaştırma noktası: 1090°C

Kristal yapısı: Close-packed hexagonal

$a$ : 0.32092 /  $c$ : 0.52105  $c/a$ : 1.633

# Mg tarihçe

Adını Yunanistan'ın Magnesia bölgesinden almıştır. 1618'de İngiltere'de bir çiftçi ineklerine bir kuyudan su vermek istemiştir. İnekler bu suyu acı tadı nedeniyle içmek istememiştir. Çiftçi bu suyun yaraları ve cilt rahatsızlıklarını giderdiğini fark etmiştir.

Bu sudan elde edilen madde Epsom tuzları olarak ün yapmıştır. Daha sonra bunun hidratlı magnezyum sülfat olduğu anlaşılmıştır.  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ .

Mg metali ilk kez İngiltere'de Sir humprey Davy tarafından 1808 yılında üretilmiştir. Bu üretimi magnezya ve civa oksitin karışımının elektrolizi ile yapmıştır.

# Magnezyum özellikleri

tüm metaller arasında en hafif; ( $\rho \sim 1.74 \text{g/cm}^3$ )  
alüminyumun üçte ikisi, demirin dörtte biri, bakır  
ve nikelin ise beşte biri.

Mekanik özellikler alaşımlama ile gelişir.

alüminyum kadar mukavemetli değil, fakat spesifik  
mukavemeti daha iyi.

dökülebilirlik iyi

Düşük ergime sıcaklığı ( $650^\circ \text{C}$ )

kaynaklanabilirlik iyi

Darbe ve vuruş direnci yüksek!

Özgül ısı kapasitesi yüksek!



# Magnezyum özellikleri

- Boyutsal kararlılık! Sabit son ölçüler için stabilizasyon tavı vb işlem gerektirmez.
- büzülme payı diğer metallere göre daha az!
- Döküm parçaların kalıptan çıkarılması sorunsuz; parça bozulmaz ve/veya gerilmeye uğramaz.
- Döküm parçada kalıntı gerilmeler çok az.
- Erime noktası üstündeki sıcaklıklarda yanar.
- (Katı halde yanma olmaz.)
- Enerji sönmleme kapasitesi yüksek (Titreşimleri ve gürültüyü emer: Titreşimli yapılar için ideal!)
- Mg döküm parçalar otomotiv uygulamaları için uygun (hava yastığı)

# Mg ve alaşımlarının zellikleri

- Sürtünme yapışması riski çok düşük; yataklama uygulamalarına uygun
- akıcılığından dolayı çok kolay ve dar toleranslarla dökülebilir.
- Dökümden sonra çoğu zaman talaş kaldırmaya gerek kalmaz. Bu sayede ek işleme adımlarına olan gereksinim ortadan kaldırılarak, parça maliyeti düşürülebilir.
- mükemmel işlenebilirliği yüksek kesme hızlarını mümkün kılar. Alüminyuma kıyasla yaklaşık 4 kat yüksek işleme hızı! Bu sayede aynı iş, alüminyuma göre daha az maliyetle yapılabilir.

# Mg ve alaşımlarının zellikleri

- Ancak yüksek hızlar kullanıldığında, özellikle ince talaşlarda tutuşma tehlikesi!
- 0.025 mm' nin altındaki ilerlemeler ya da iş parçasına sürtünen kesici takımlar, talaşları tutuşturmaya yetecek miktarda ısı açığa çıkarabilir.
- Magnezyumun yoğunluğu, alüminyuma göre %33, demir ve çeliğe göre %75 daha düşüktür. Düşük yoğunluğundan kaynaklanan l ağırlıklardan tasarruf imkanı; hızlı hareket eden parçalar için bir avantaj!

# Magnezyumun özellikleri

- Al, Zn, Ag ve Zr ile kolayca alaşımlanır.
- Al, Zn, Mn nadir toprak metalleri ile yüksek mukavemetli hafif alaşımlar yapar.
- Kuvvetli elektropozitif olduğu için katı eriyik yerine bileşikler yapar.
- Oda sıcaklığında deformasyonu güçtür.
- Magnezyum alaşımlı ürünlerin %85-90'ı döküm parçalar şeklindedir. Bunların büyük çoğunluğu Mg-Al-Zn alaşımıdır.
- Magnezyum, yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, bir metalin mekanik özelliklerine de sahiptir.

# Magnezyumun özellikleri

- Bol miktarda mevcut; yer kabuğunun %2.7 si Mg.
- Al ve Fe'den sonra en çok bulunan element!
- Doğada karbonatlar (dolomit ve magnezit) şeklinde bulunur.
- Tuzlu sularda klorürler (karnalit tuzları) olarak da bulunur.
- Tuzlu su tortuları, tuz gölleri ve okyanuslarla büyük bir farkla en çok bulunan metal!
- 1 km<sup>3</sup> deniz suyunda 2.3 milyon ton Mg.
- Amerikan Araştırma Enstitülerine göre ise dünya üzerinde 1350 milyon km<sup>3</sup> deniz suyu bulunmaktadır.



# Magnezyumun alaşımları

## Avantajlar:

- Basınçlı dökümle çok seri ve ekonomik olarak döküm parça üretilebilir.
- 120°C'ye kadar sürünme direnci yüksektir.
- Isı iletkenliği iyi
- İşlenebilirliği yüksek
- Kaynaklanabilir (koruyucu gaz altında ark kaynağı)
- Magnezyum alaşımları iyi dökülebilir alaşımlardır,
- sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri mevcuttur.
- En önemli alaşım elementleri alüminyum ve çinko,
- yaklaşık % 2.5-8 alüminyum ve % 0.5-4 çinko ilave
- edilir. Bu sayede mukavemeti artar.

# Magnezyumun dezavantajları

- Soğuk işleme şekil verilmesi güç
- Yüksek maliyet
- Mukavemet sınırlı/elastik modül düşük
- Sınırlı yorulma ve sürünme direnci (yüksek sıcaklık kullanımı riskli!)
- Tokluk sınırlı
- Oksijenle çok reaktif
- Empüritelerin varlığına hassas
- Diğer metallerle temas halinde galvanik korozyona meğilli/Korozyon hassasiyeti
- Magnezyumun oksidi  $\text{pH} < 10.5$  olan çözeltilerde kararlı değil.
- korozyon hızı alüminyum ve çeliğinkinin arasında

# Mg cevherleri-yatakları

Magnezyum magnezit ( $MgCO_3$ ) ve dolomit ( $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ) cevherlerinde önemli miktarlarda!

Ayrıca, deniz suyunda ve doğal tuzlu sularda  $1.3 \text{ kg m}^{-3}$  seviyelerinde çözünmüş karnalit ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ) klorür bileşikleri olarak bulunur.



Dolomite



Magnesite



Carnallite

# Mg cevherleri-yatakları

## Magnezit

Yerkürede 2.528 milyar ton magnezit rezervi, ülkemizde ~160 milyon ton (önemli bir bölümü Konya-Kütahya- Eskişehir üçgeninde; kalanı Erzincan, Çankırı

## Dolomit

Türkiye ise dolomit rezervi bakımından sınırsız imkanlara sahiptir.

## Asbest

Üçüncü önemli magnezyum hammaddesi (magnezyum hidro silika). Dünya asbest rezervi: 145 milyon ton. Bu rezervin %60' dan fazlası Kanada ve Rusya' da Türkiye asbest rezervi bakımından oldukça zengin: ülkenin çeşitli bölgelerinde büyük asbest yatakları vardır.

# Mg cevherleri-yatakları

Dünyadaki en büyük magnezyum yatakları:

Kuzey Amerika: ABD, Kanada

Güney Amerika: Brezilya

Avrupa: Norveç, Avusturya, Çek Cumhuriyeti,  
Yunanistan, Türkiye, Rusya, Sırbistan

Asya: Çin, Hindistan, K.Kore

Avustralya

Afrika

Deniz suyunda % 0.13 magnezyum var.

deniz suyunda  $1.83 \times 10^{10}$  ton magnezyum mevcut.

sadece İsrail' deki Ölü Deniz' de yaklaşık 20.000 yıl dünyaya yetecek kadar magnezyum vardır.





# Mg üretimi

Magnezyum bol fakat az üretiliyor!

800.000 metrik ton/yıl (alüminyum üretimi  
22.000.000 metrik ton)

Çin önemli bir üretici (2004 yılında 438.000 ton  
üretim!)

Otomotiv sektörünün ilgisi artarak devam ediyor!

Volkswagen/İsrail'de Ölü Deniz işletmeleri ile  
magnezyum üretimi için 200 milyon \$ lık anlaşma!

Toyota' nın Kanada' da yatırımını!

GM ve FORD Norsk Hydro ve Solikamsk Magnezyum  
ile uzun vadeli bir tedarik anlaşması!

# Mg üretimi

Magnezyum üretimi, enerji maliyetlerinin düşük olduğu ve/veya çok zengin yatakların bulunduğu bölgelerde yapılıyor!

toplam üretimin **%75'i elektroliz tesislerinde,**  
geri kalan **%25'i silikotermik yöntemlerle!**

En büyük üretim bölgeleri

İsrail

Avustralya

Norveç

Kanada

Çin

Rusya

# Türkiye'de Magnezyum

BURMAG: basınçlı döküm: önce Alüminyum a dönmüş sonra da İsraili bir firmaya satıldı!

VİG Metal: İkiz Merdaneli Sürekli Döküm

Türkiye'de Magnezyum Alaşımları Döküm Yapabilen Firmalar:

Troy Teknoloji Döküm: vakum altında Saf Argon Gaz koruyucu atmosferi ile döküm

RUTAŞ Pres Döküm Ltd. Şti.: Pres döküm tekniği ile Mg döküm kabiliyetine sahip

VİG Metal: kuma döküm (Magnezyum Döküm Teknolojisi

Geliştirilmesi -MÜGE Projesi (SSM-TAİ-Helikopter) 2014 yılında başladı)

Pavezyum Kimya Sanayi: Magnezyum tozu: MIL-DTL-382D

Eczacıbaşı ESAN Pidgeon prosesi ile saf mg üretecek 10.000 ton/yıl

KÜMAŞ Manyezit sırada

# Mg metal üretim yöntemleri

## Kalsinasyon

### **Pidgeon prosesi (ısıl indirgeme)**

Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) veya magnezit ( $\text{MgCO}_3$ ) ısıtılarak  $\text{CaOMgO}$  /  $\text{MgO}$  elde edilir (kalsinasyon)  
 $\text{CaOMgO}$  /  $\text{MgO}$ 'in ferrosilis ile redüksiyonu.

### **Dow prosesi (Elektroliz prosesi)**

Dolomit ve deniz suyu  $\text{HCl}$  ile muamele edilerek  $\text{MgCl}_2$  elde edilir.

Elektroliz hücrelerinde katotta Mg metal elde edilir.



# Magnezyum üretimi

Magnezyum üretimi,

**a) magnezyum oksitin ısı indirgenmesi (Pidgeon prosesi)**

**b) Magnezyum klorürün elektrolizi (Dow prosesi) ile yapılmaktadır.**

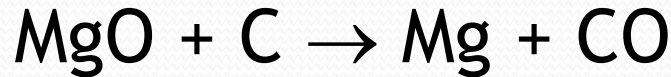
Elektroliz, elektrik enerjisinin ucuz üretilebildiği ülkelerde Mg üretmek için daha yaygın yöntemdir. Fakat Çin'deki tesislerin çoğu 1940'larda II. Dünya Savaşı sırasında Kanada'da geliştirilen ısı indirgeme yönteminin güncel bir versiyonunu (Pidgeon prosesi) kullanmaktadır.

# kalsinasyon

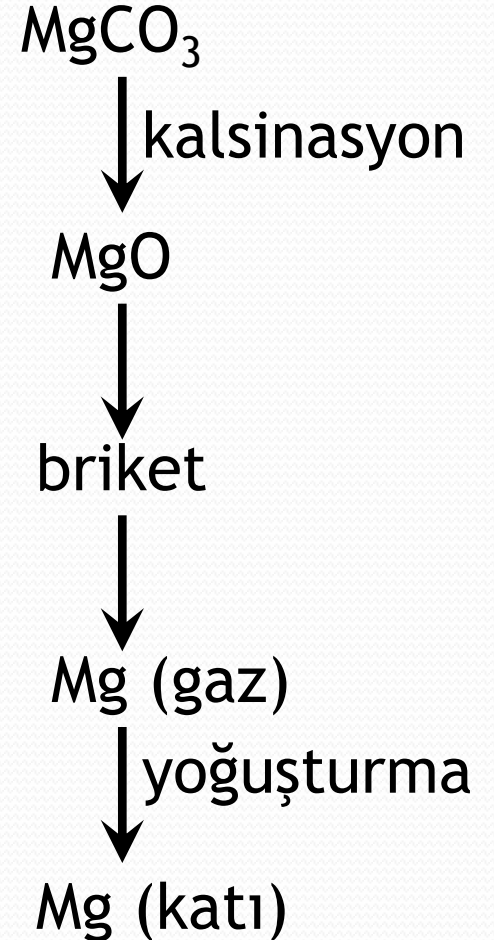
Magnezit ( $\text{MgCO}_3$ ) kalsine edilerek  $\text{MgO}$  elde edilir:



$\text{MgO}$  petrol koku ile karıştırılıp preslenerek briketler hazırlanır. Briketler  $\text{H}_2$  atmosferinde  $2500^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılarak  $\text{Mg}$  gazı elde edilir.



$\text{Mg}$  gazı  $120^\circ\text{C}$ 'ye hızlı soğutularak katı  $\text{Mg}$  metali üretilir.



# Ferrosilisle indirgeme

Dolomit (Kalsiyum magnezyum karbonat  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) cevheri kırılarak ufalanır ve  $1000\text{-}1100^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilerek  $\text{MgO} + \text{CaO}$  elde edilir.



sonraki işlem magnezyum oksidin indirgenmesidir.

Redükleyici madde ferro silistir (kum kok ve hurda demirin ısıtılması ile elde edilen yaklaşık %80 Silisli Fe-Si alaşımı)

Mg-Ca oksitleri ferro silis tozu ile karıştırılır ve briket şeklinde preslenir.

# Ferrosilisle indirgeme

Elde edilen briketler çelik bir otoklavda vakum altında yaklaşık 1200°C'ye ısıtılır.

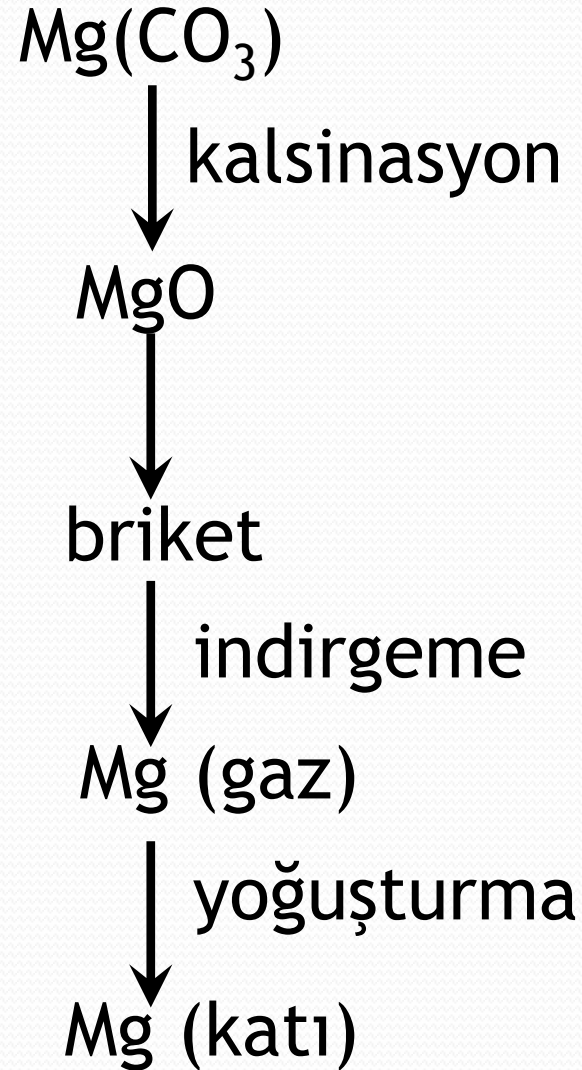
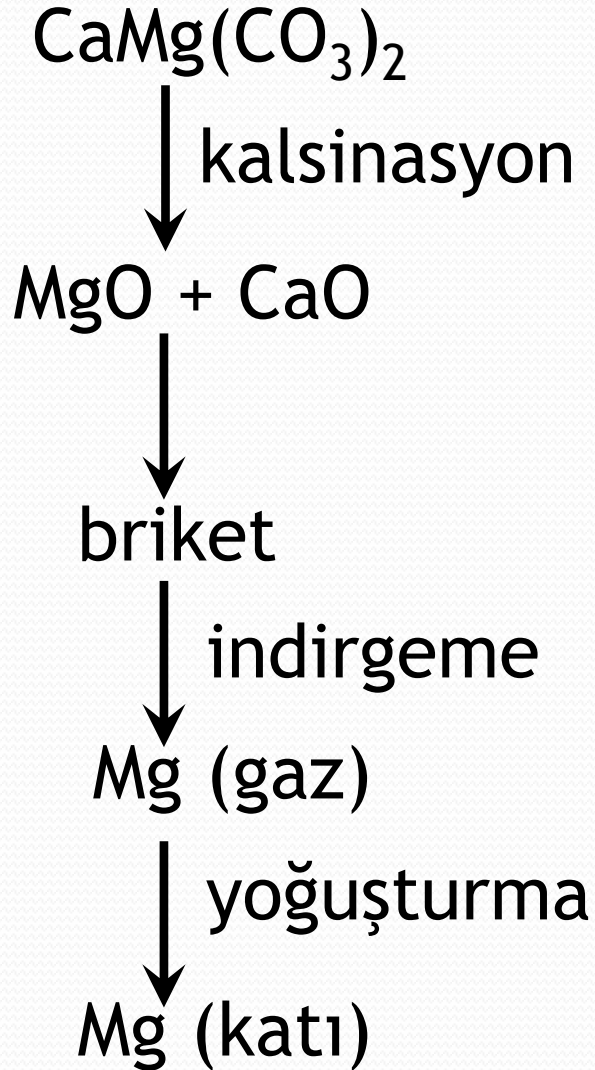
İndirgeme reaksiyonu düşük basınçta ve >1200°C civarında gerçekleşir.



Bu şartlarda Mg buhar şeklinde elde edilir.

Mg buharı çelik astarlı yoğuşturucularda ~800-850°C'ye soğutularak yoğuşturulur ve son olarak ingotlar şeklinde dökülür.

# Ferrosilisle indirgeme





# Ferrosilisle indirgeme

Mg'un elde edildiği reaksiyon endotermik bir reaksiyondur ve normal Şartlarda MgO yönünü tercih eder.

Fakat Mg buharı sürekli olarak sistemden alındığında Mg gazı yönünde tamamlanır. SiO<sub>2</sub> CaO ile birleşir ve sıvı cürufu oluşturur.

# Magnezyum üretimi

## *Elektrolitik proses*

Çin dışında tercih edilen yöntem elektrolitik yöntemdir.

Bu proses 2 aşamadan oluşur.

Deniz suyu veya tuzlu sudan saf magnezyum klorürün elde edilmesi

Eriyik magnezyum klorürün elektrolizi

Yüksek sıcaklıklarda kalsinasyon ile  $MgO$   $CaO$  karma oksidine dönüştürülen dolomit deniz suyu ile muamele edilir.

$MgOH$  çökelirken  $CaOH$  çözeltide kalır.

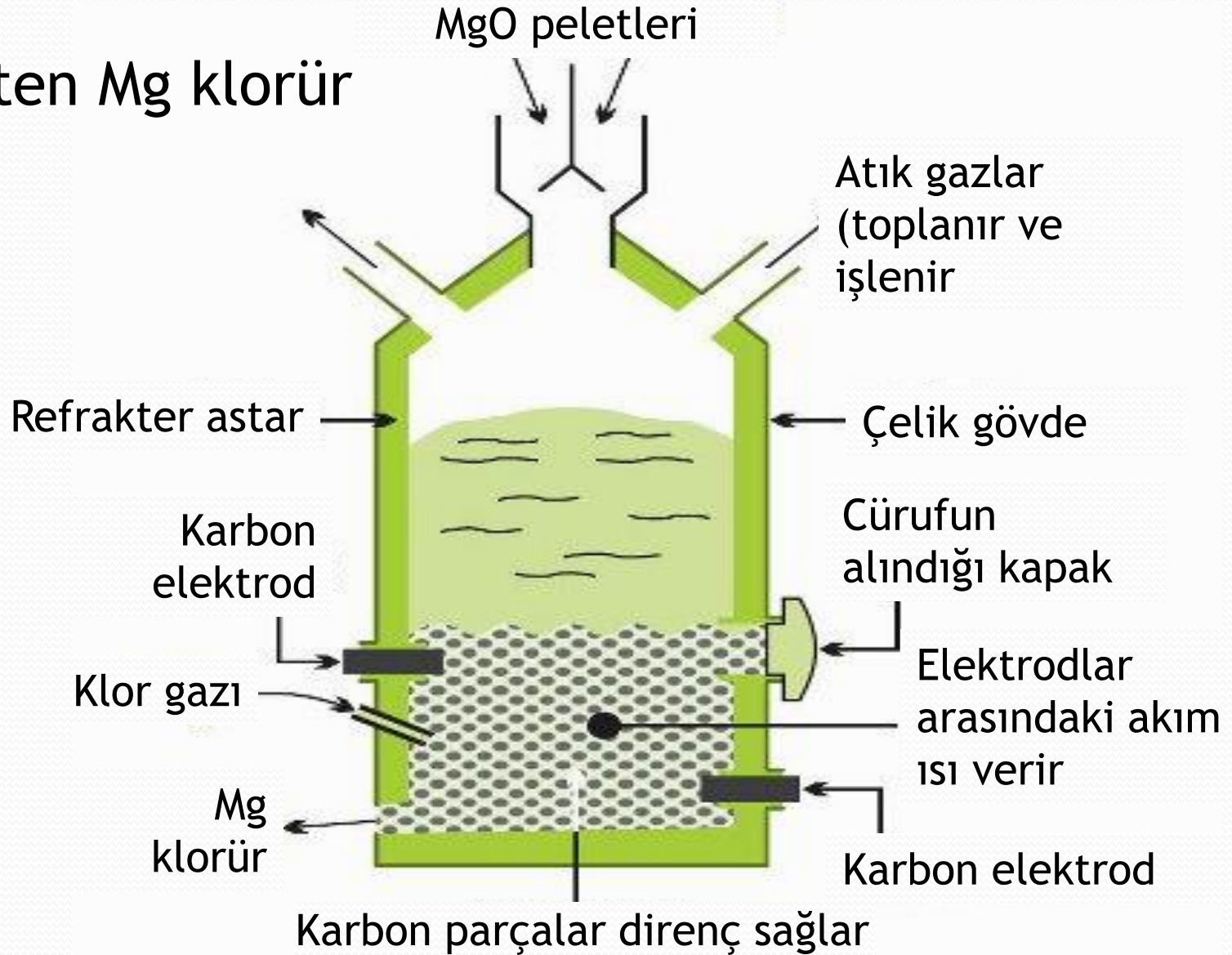
$MgOH$  filtrelenir.

Isıtılarak saf  $MgO$  elde edilir.

Karbon ile karıştırılıp elektrik ocağında yüksek sıcaklıkta klor akımı içinde ısıtılan oksit  $MgCl_2$ 'e dönüşür.

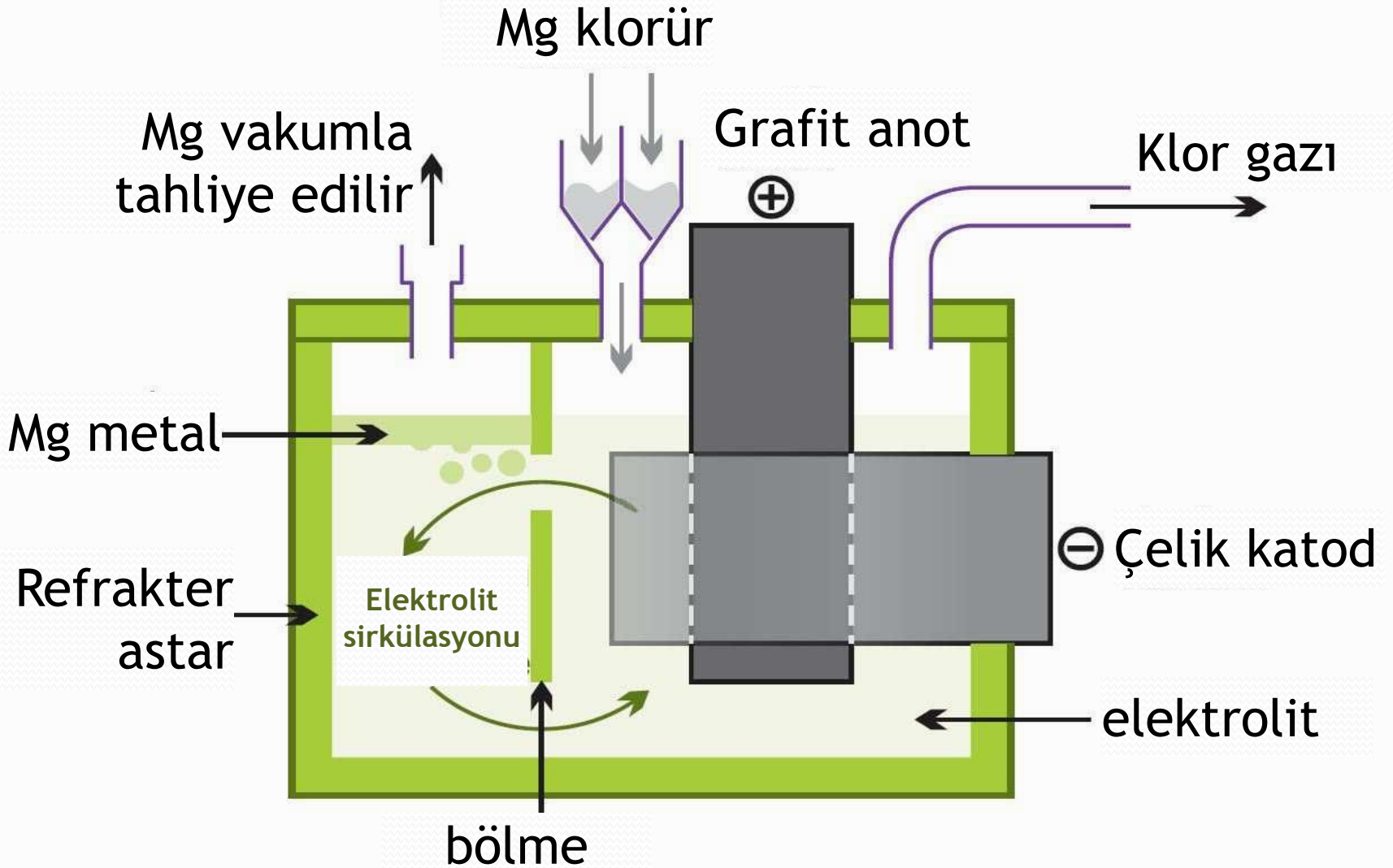
# Magnezyumun üretimi

Mg oksitten Mg klorür  
üretimi



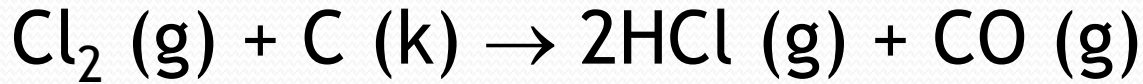
# Magnezyumun üretimi

## Mg klorürün elektrolizi



# Magnezyumun üretimi

Gerçekleşen reaksiyonlar:



MgCl<sub>2</sub> sürekli olarak elektroliz hücrelerine beslenir. Burada sıcaklık klorürü ergitecek kadar yüksektir. Mg klorürün elektrolizi ile Mg ve Cl elde edilir.



Ergimiş metal ingot şeklinde dökülür. Klor gazı klorlama fırınına geri gönderilir.



# Alaşım elementlerinin etkisi

## **Alüminyum**

Dökülebilirliği iyileştirir.

Katı eriyik ve çökelme sertleşmesi ile mukavemeti arttırır.

Korozyon direncini arttırır.

## **Mangan**

Korozyon direncini arttırır.

## **Çinko**

Akışkanlığı arttırır.

Çökelme sertleşmesi sağlar ve mukavemeti arttırır.

Korozyon performansına etkisi zayıftır.

# Alaşım elementlerinin etkisi

## Zirkonyum

Etkili bir tane küçültücüdür.

Çökelme sertleşmesi sağlar ve mukavemeti arttırır.

Korozyon performansına etkisi zayıftır.

## Silis

Dökülebilirliği arttırır.

Sürünme dayanımı iyileştirir.

Korozyon direncini azaltır.

## Toprak alkaliler

Dökülebilirliği arttırır.

Çökelme sertleşmesi sağlar

Korozyon direncini arttırır.

# Alaşım elementlerinin etkisi

## **gümüş**

Yüksek sıcaklık mukavemetini ve sürünme dayanımı iyileştirir.

Korozyon direncini azaltır.

## **kalay**

Dökülebilirliği arttırır.

## **kalsiyum**

Etkili tane küçültücüdür.

Deoksidan

Sürünme dayanımı arttırır.

Korozyon direncini azaltır.

# Alaşım elementlerinin etkisi

## **demir**

Çelik kalıplarla etkileşimi azaltır.

Korozyon direncine etkisi olumsuzudur.

## **Toryum**

Mikro gözenekleri azaltır.

Yüksek sıcaklık mukavemeti ve sürünme dayanımını iyileştirir.

# Mg alaşımları

En önemli alaşım elementleri

alüminyum

çinko

zirkonyum

toprak alkaliler

Yüksek sıcaklık uygulamaları için

Mg + nadir toprak metalleri

Çekme mukavemeti: 160-300 MPa

Akma mukavemeti: 80-190 MPa

kopma uzaması: %2-15



# Magnezyum alaşımları

Bir ok Mg alaşımı yüksek miktarlarda Fe, Ni ve Cu'ın neden olduğu potansiyel korozyon sorunlarını gidermek için yüksek saflıkta üretilirler.

Kum döküm alaşımları az miktarda Zr ilavesi ile ince tane yapılı üretilirler.

Temper tanımları alüminyum alaşımlarında olduğu gibidir.

-F, -O, -H1, -T4, -T5, ve -T6 kondisyonları kullanılır.

# Magnezyum alaşımları gösterilişi

iki harf ve iki/üç rakamdan oluşan tanım kodu:

**Harfler başlıca 2 alaşım elementini gösterir.**

İlk harf en çok bulunan; ikinci harf ikinci element

**Takip eden rakamlar bu 2 alaşım elementinin miktarını gösterir:**

ilk rakam en çok bulunan elemente,

2. rakam 2. elemente aittir.

A,B gibi harfler numaraları takip ederse bu, genellikle impurite seviyelerinde alaşım için A, B gibi bir modifikasyonu gösterir.

# Magnezyum alaşım eşitleri

A - Alüminyum

B - Bizmut

C - bakır

D - Kadmiyum

E - nadir toprak

F - demir

H - Toryum

L - Lityum

K - Zirkonyum

J - Stronsiyum

M - Mangan

N - Nikel

P - kurşun

Q - Gümüş

R - Krom

S - Silis

T - kalay

W - Yitrium

Z - inko

# Magnezyum alaşımları

AE Serisi : Mg + Al + nadir toprak alaşımları-  
Örn:AE42

AJ Serisi : Mg + Al + Sr alaşımları-Örn:AJ52 HP-  
(Yüksek Basınç)

AM Serisi : Mg + Al + Mn alaşımları-Örn:AM60B

AS Serisi : Mg + Al + Si alaşımları-Örn:AS31

AZ Serisi : Mg + Al + Zn alaşımları-Örn:AZ91D

EQ Serisi : Mg + Nadir toprak + Ag ve bakır  
alaşımları-Örn:EQ21

EZ Serisi : Mg + nadir toprak + Zn alaşımları-  
Örn:EZ33A

# Magnezyum alaşımları

HM Serisi : Mg + Th + Mn alaşımları-Örn:HM21A

HZ Serisi : Mg + Th + Zr alaşımları-Örn:HZ32A

QE Serisi : Mg + Ag + nadir toprak alaşımları-  
Örn:QE22A

QH Serisi : Mg + Ag + Th alaşımları-Örn:QH21

WE Serisi : Mg + Yt + nadir toprak alaşımları-  
Örn:WE43

ZC Serisi : Mg + Zn + Cu alaşımları-Örn:ZC71

ZK Serisi : Mg + Zn + Zr alaşımları-Örn:ZK11

ZT Serisi : Mg + Zn + Th alaşımları-Örn:ZT32



# Magnezyum alaşım çeşitleri

Örnekler:

**AZ91D**

%9 Alüminyum

%1 Çinko

Alaşımın modifikasyonu: D

**QE22A-T6**

%2 gümüş

%2 nadir toprak elementi

Alaşım modifikasyonu: A

T6 ısııl işlemleri uygulanmış

Çözeltiye lınmış/su verilmiş ve suni yaşlandırma uygulanmış.

# Mg alaşımları

## **Döküm Alaşımları**

akışkanlık, besleme, mukavemet ve korozyon dirençlerinin iyileştirilmesi bakımından Al, Zn, Zr ve nadir toprak elementleri ile alaşımlanıp döküm yöntemiyle üretilir.

## **İşlem Alaşımları**

haddelenmiş levha/folyo, ekstrüzyon (çubuk, boru ve şekilli parçalar) ve dövme mamuller olarak üretilir. İşlem alaşımlarının en önemli avantajı düşük fiyat, yüksek dayanım ve sünekliktir.

Döküm haline göre mekanik özellikler bakımından daha fazla alanda kullanılma özelliğine sahiptir.

# Magnezyum alaşım çeşitleri

Mg-Al döküm alaşımları

Mg-Al-Zn döküm alaşımları

Mg-Zn ve Mg-Zn-Cu döküm alaşımları

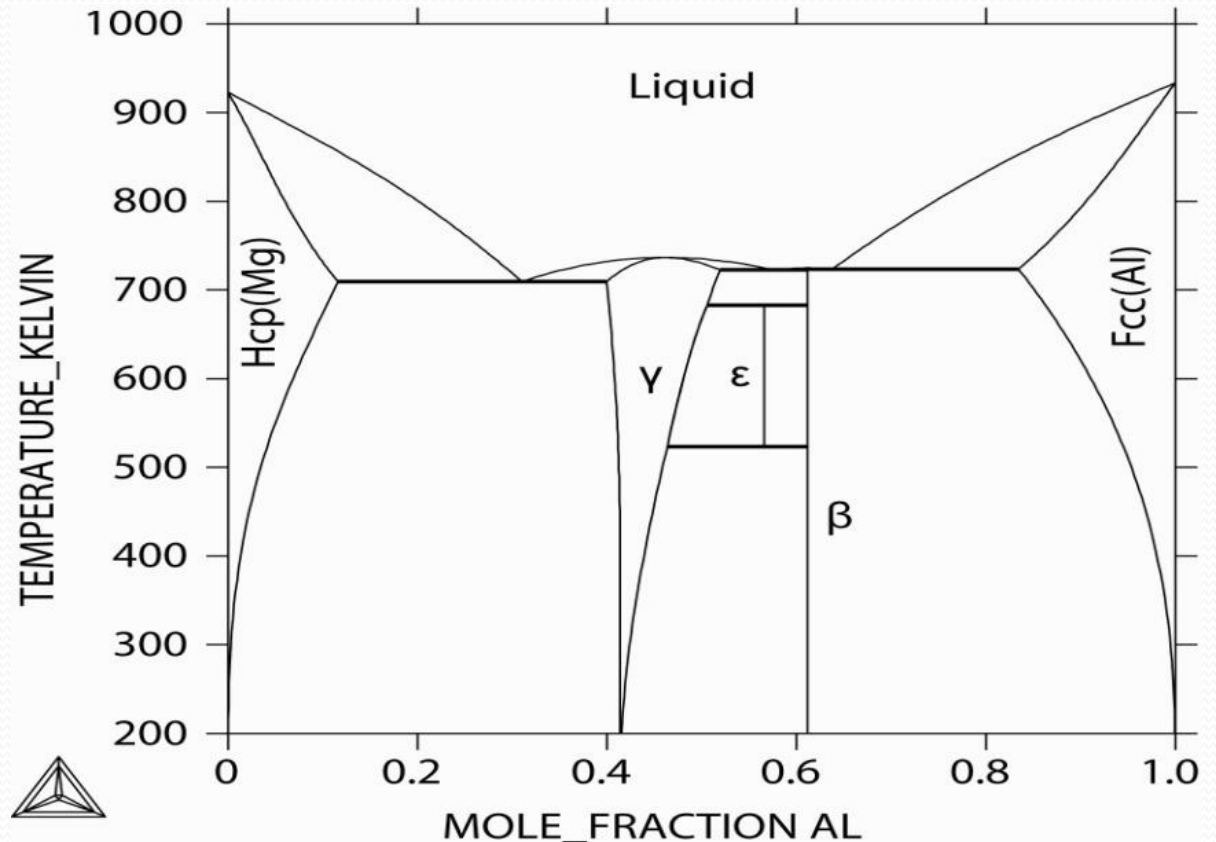
Mg-Zn-Zr ve Mg-RE-Zn-Zr döküm alaşımı

yüksek sıcaklık Mg döküm alaşımları

Mg işlem alaşımları

# Mg-Al döküm alaşımı

En yüksek Al çözünürlüğü 473 °C'de %12.7 kadardır. Çözeltiye alma işlemi sonrasında bu alaşımda GP zonları yerine doğrudan  $Mg_{17}Al_{12}$  denge fazı oluşur.



# Mg-Al döküm alaşımı

hafiftir ve yüksek süneklığe sahiptir.

Al ile mukavemet, dökülebilirlik ve korozyon direnci artar.

$Mg_{17}Al_{12}$  bileşik partikülleri iridir ve matrisle koheran değildir.

Bu nedenle bu alaşımlarda çökelme sertleşmesi mümkün değildir.

Çökelme sertleşmesi için bu alaşımlara Zn ilave edilir.



# Mg-Al-Zn döküm alaşımları

Hafif, mukavemetli ve korozyona dirençli, dökülebilirliği yüksek

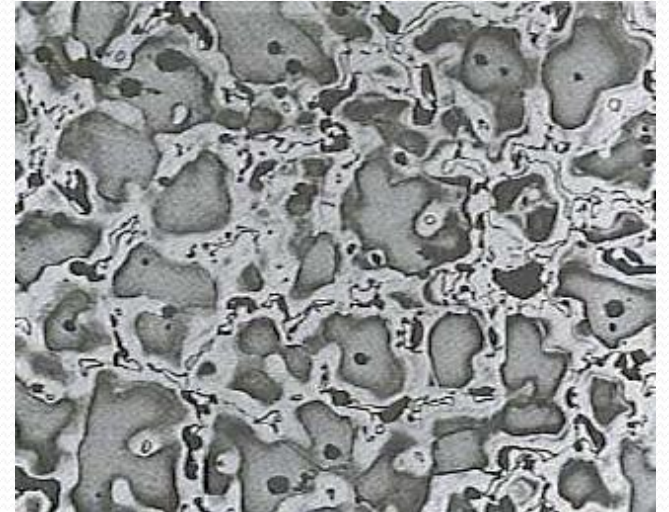
Mg-Al alaşımlarına Zn ilavesi ile katı eriyik + çökeltme sertleşmesi

Çekme mukavemeti: 214-241 MPa ve uzama: %1-8

Soğumanın hızlı olduğu durumlarda Döküm yapısında tane sınırlarında  $Mg_{17}Al_{12}$  ( $\beta$  fazı) örgüsü oluşur.

Bu mikroyapı çekme mukavemeti ve uzama değerlerini düşürür.

Hızlı soğutulmuş döküm parçada tane sınırlarında  $Mg_{17}Al_{12}$  ( $\beta$  fazı) örgüsü



# Mg-Al-Zn döküm alaşımları

Daha yavaş soğutulan alaşımda tane sınırlarında sürekli olmayan, perlitik yapıda  $\beta$  fazı oluşur.

%10 dan fazla Al+Zn ile alaşımlandırma yapılmaz çünkü alaşımın sünekliliği, gevrek metaller arası bileşik oluşumu nedeni ile azalır.

AZ80 alaşımının döküm yapısı:  
Daha yavaş soğuma ile  
sürekli çökeltme  
(discontinuous precipitation)

T6 kondisyonda:  
 $Mg_{17}Al_{12}$  ince ve homojen  
olarak dağılır. Mekanik özellikler üstündür.



# Mg-Al-Zn/Mg-Al-Mn döküm alaşımları

AZ91 döküm halinde ince ve homojen yapısı ile en yaygın basınçlı döküm alaşımıdır.

Ancak Al ve Zn ile bütün özellikler iyileşmez.

Artan alüminyum ile süneklik ve kırılma tokluğu düşer.

**Bu nedenle, daha az alüminyumlu ve mangan katkılı bir dizi alaşım geliştirilmiştir (AM serisi).**

Mn alaşımındaki Fe miktarını kontrol etmek için!.

%6 Al ve %0.05 Mn içeren (AM60) alaşımı, otomobillerde ön panel, direksiyon simidi ve koltuk iskeleti gibi güvenlik kritik parçalarda artan bir kullanım bulmuştur. Jantlarda da tercih edilmektedir.

# Mg-Al-Mn alaşımı

## AM60

Mg-Al-Mn alaşımı

Döküm halinde mükemmel süneklik!

Tipik olarak ısıl işlem uygulanmaz.

ABD'de üretilen Magnezyum alaşımlarının tamamı %3-13 kadar Al ve ~%0.1-0.4 Mn içerir.

Bir çok alaşımda %0.5-3 kadar Zn bulunur.

Bazıları ısıl işlemle sertleştirilebilir.

AZ63 ve AZ92 alaşımları çoğunlukla kum döküm için,

AZ91 alaşımı basınçlı döküm için

AZ92 genellikle kokil döküm için kullanılır.

# Basınçlı döküm alaşımları

Magnezyumun **basınçlı dökümü** için, ticari olarak kullanılan dört adet magnezyum alaşım serisi bulunmaktadır:

**Mg-Al-Zn (AZ) serisi,**  
**Mg-Al-Mn (AM) serisi,**  
**Mg-Al-Si (AS) serisi ve**  
**yeni geliştirilen Mg-Al-RE (AE) serisi**

AZ91D, piyasada en çok kullanılan basınçlı döküm magnezyum alaşımıdır.

AZ91D, iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasının yanında, mükemmel döküm kabiliyetine ve tuzlu su korozyon direncine sahiptir.



# Basınçlı döküm alaşımları

Yüksek saflıktaki AZ91D alaşımının yüksek korozyon direnci, üç önemli kirleticinin (Fe, Ni, Cu), kalıntı seviyelerinin kontrol altında tutulmasından kaynaklanmaktadır.

AZ91D alaşımının sağladığından daha fazla süneklik gerektiren uygulamalarda, yüksek saflıktaki AM60B basınçlı döküm alaşımı kullanılır.

AM60B alaşımı, AZ91D alaşımına kıyasla daha iyi uzamaya ve tokluğa sahiptir.

AM60B'nin çekme ve akma dayanımı, alüminyum içeriğinin oldukça azalmasına rağmen, AZ91D'ye oldukça yakındır.

# Mg-Al/Mg-Al-Zn, Mg-Al-Mn, Mg-Al-Si döküm alaşımları

## Basınçlı döküm

alaşım	Al	Mn	Zn	diğer	uygulama
AM60B	6.0	0.13			jant
AS41A	4.2	0.35		1.0 Si	Motor bloğu ve kutular; iyi sürünme direnci
AZ91D	9.0	0.15	0.7	0.001 Ni max 0.005Fe max	Basınçlı döküm Oto parçaları; çim biçme makinaları, iş makinaları, el aletleri, spor ekipmanları İyi korozyon direnci

# Mg-Al/Mg-Al-Zn ve Mg-Al-Mn alaşımları

## Kum ve kokil döküm

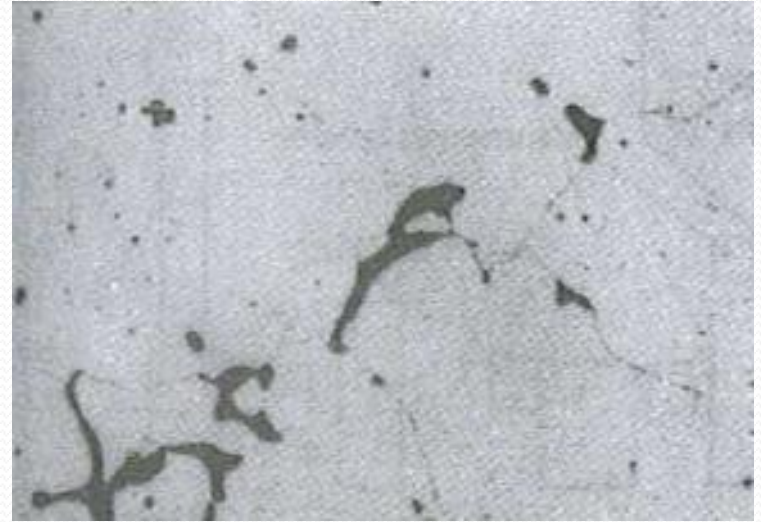
alaşım	Al	Mn	Zn	diğer	uygulama
AM100A	10.0	0.1			Sızdırmaz kum ve kokil dökümler
AZ63A	6.0	0.15	3.0	1.0 Si	Oda sıcaklığında iyi mukavemet ve süneklik gerektiren kum döküm parçalarda
AZ81A	7.6	0.13	0.7		Tok sızdırmaz kum döküm parçalarda
AZ91E	8.7	0.26	0.7	0.001Ni max 0.005Fe max	Oda sıcaklığında iyi mukavemet ve süneklik gerektiren kum ve kokil döküm parçalarda
AZ92A	9.0	0.10	2.0		Oda sıcaklığında iyi mukavemet ve süneklik gerektiren sızdırmaz kum ve kokil döküm parçalarda

# Mg-Zn döküm alaşımları

Yaşlanma sertleşmesi mümkün ( $MgZn_2$  çökeltileri GP zonlarından oluşuyor!)

Tane küçültme etkili değil!  
Mikro gözenekliliğe meğilli

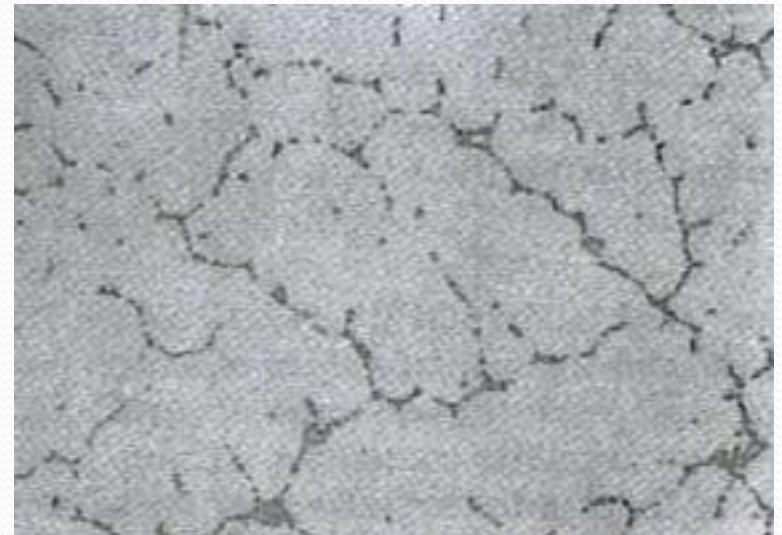
Tane sınırlarında ve dendrit aralarında Mg-Zn bileşikleri  
Mg-Zn alaşımı  $330^{\circ}C$ 'de  
8 st tav uygulanmış!



# Mg-Zn-Cu döküm alaşımları

Cu ilavesi sünekliği belirgin şekilde arttırıyor.  
Yaşlanma sertleşmesi kapasitesi Cu ile daha yüksek  
Akma: 130-160, çekme: 215-260 MPa, uzama: %3-8  
Bakır ilavesi aynı zamanda ötektik sıcaklığı da yükseltiyor.  
Bu sayede Zn ve Cu'ın çözünme miktarı da artıyor.

Cu ilavesi ile yapıdaki değişim:  
Mg-6Zn-1.5Cu alaşımı  
430°C'de 8 saat çözeltiye alınmış.  
Lameller yapı





# Mg-Zn-Zr döküm alaşımları

ZK51 ve ZK61 kum dökümdür.

%5-6 Zn ilavesi: katı eriyik sertleşmesi

%1 Zr ilavesi: tane küçültme

Bu alaşımlar dökümde mikro gözenek riski nedeniyle sınırlı kullanılır.

Zn nedeniyle kaynaklanamaz.

# Mg-RE-Zn-Zr döküm alaşımları

Bu alaşımlar (EZ33, ZE43) nispeten iyi dökülebilirliğe sahiptir. Nadir toprak elementleri → mikro boşlukları bastırma eğilimi → dökülebilirlik iyileşir.

Ce ve Nd nadir elementleri EZ33 ve ZE41 kum döküm alaşımları elde etmek için ilave edilir. Katılaşma sırasında tane sınırlarında oluşan düşük ergime noktalı ötektikler sayesinde dökülebilirlik iyidir. Fakat bu tane sınırı ötektiği yüzünden mikro gözenek riski vardır.

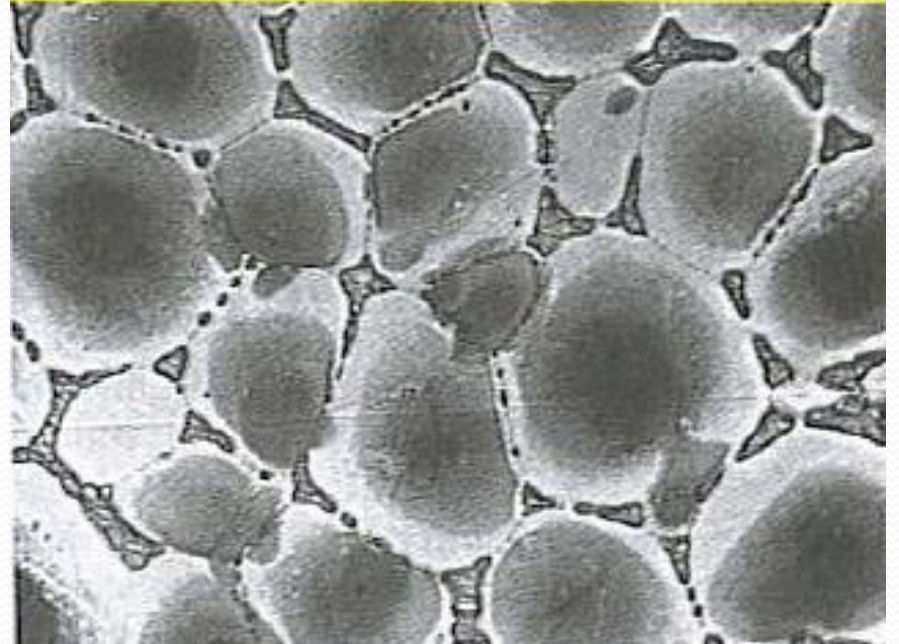
Tane sınırlarında Mg-Zn-RE fazını oluşturmak üzere Katı eriyikten Zn'un alınması sebebiyle daha düşük mukavemete sahiptir.

# Mg-RE-Zn-Zr döküm alaşımları

Çökeltme sırası:

Mg(aşırı doymuş katı eriyik)

↓  
GP zonları  
↓  
 $\beta''$  (sertleştirici)  
↓  
 $\beta'$   
↓  
 $\beta(\text{Mg}_{12}\text{Nd})$



400°C'de 48 saat ısıtılan Mg-RE-Zn-Zr alaşımı

# Mg-Zn-Zr ve Mg-RE-Zn-Zr alaşımları

alaşım	Zn	RE	Zr	uygulamalar
ZK51A	4.6		0.7	Kum döküm parçalar; oda sıcaklığı mukavemeti iyi!
ZK61A	6.0		0.8	Kum döküm parçalar; oda sıcaklığı mukavemeti iyi!
EZ33A	2.6	3.2	0.7	175-260C'deki uygulamalar için basınç sızdırmaz; kum ve kokil döküm
ZE41A	4.2		0.7	Kum döküm parçalar; oda sıcaklığı dayanımı yeterli!
ZE63A	5.7	2.5	0.7	ZK alaşımlarının sağladığından daha yüksek dökülebilirlik

# Magnezyum AS/AE alaşımları

Bazı uygulamalarda parça yüksek çalışma sıcaklıklarına ve sürekli gerilmelere maruz kalır. Bu servis şartları uzun vadede deformasyon ve sürünme kaygılarına neden olur. Bu şarlara uygun olan Mg alaşımları tane sınırlarında çok ince dispersoid taneleri oluşturan silisli AS ve nadir toprak elementli AE serisi alaşımlar arasından üretilir.

Kalsiyum ve stronsiyum katkılı Mg alaşımlarının özellikle sürünme dayanımının arttığı belirlenmiştir. Bu alaşımlar yüksek sıcaklık uygulamaları için caziptir.



# Yüksek sıcaklık Magnezyum döküm alaşımları

- Mg-Ag-RE alaşımları
- Mg-Y-RE alaşımları
- Mg-Ag-Th-RE-Zr alaşımları

hafiflikleri nedeniyle esas itibarı ile havacılıkta 200-250°C'de kullanılırlar.

Çekme mukavemeti: ~240 MPa.

QE22 alaşımı iniş takımlarında vites kutusunda kullanılır.  
WE43 üstün yüksek sıcaklık performansı için geliştirildi!

Toryum yaşlanma sertleşmesi ve daha ince tane yapısı nedeniyle cazip bir alaşımlama elementidir fakat hafif radyoaktif olması sebebiyle ticari olarak mevcut değildir.

# Mg-Ag-RE alaşımları

Gümüşün Mg-RE alaşımlarının çökeltme davranışı üzerinde olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Böylece yüksek sıcaklık uygulamaları için yeterli mukavemete ve sürünme direncine sahip QE serisi alaşımlar geliştirilmiştir.

QE22

2.5 Ag + %2 RE (mesela Nd)

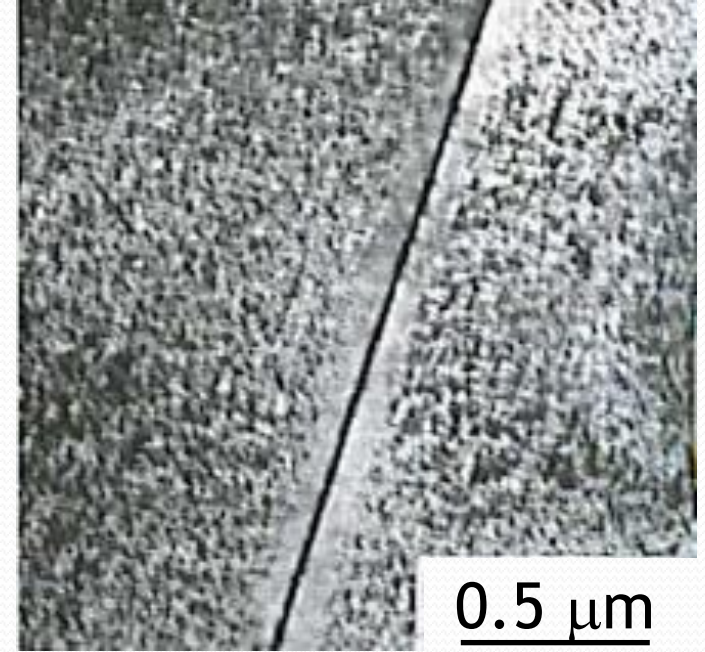
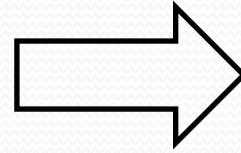
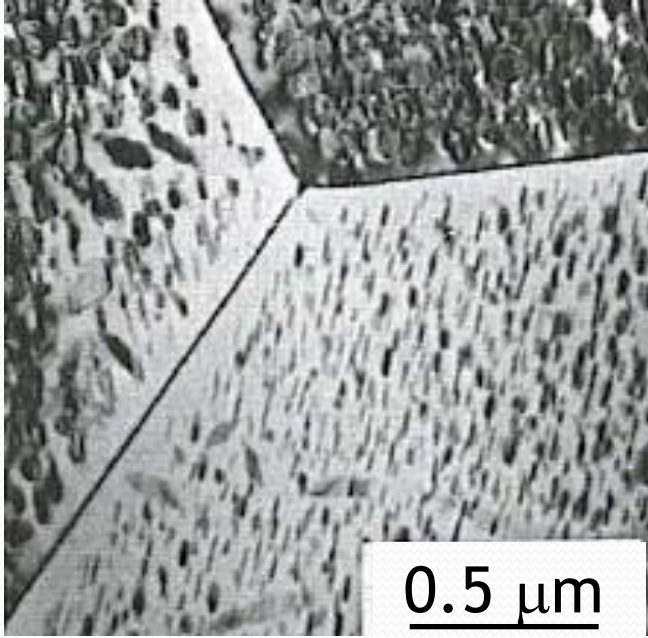
Mükemmel yaşlanma sertleőtmesi

(Mg<sub>12</sub>Nd<sub>2</sub>Ag ökelteleri sayesinde)

200°C'ye kadar iyi çekme mukavemeti

# Mg-Ag-RE alaşımları

+ Ag



Ag ilavesinden sonra daha ince ve daha sık çökelti dağılımı!

# Mg-Y-RE alaşımları

Mg-Y alaşımları Y'un %12.5 seviyesindeki çözünebilirliği sayesinde yaşlanma sertleşmesi kapasitesine sahiptirler.

300°C'ye kadar iyi mukavemet ve sürünme direnci gösterirler.

Ancak,

Y pahalı bir elementtir.

Yüksek ergime noktası nedeniyle

Mg ile alaşımlanması güçtür

(Terg ~ 1500°C)

Oksijene ilgisi bir hayli fazladır.



# Mg-Y-RE alaşımları

WE43

%4 Y, %2.25 Nd, %1 ağır nadir elementler, %0.3 Zr gelişmiş yüksek sıcaklık özellikleri  
250 MPa olan çekme mukavemeti 200°C'de uzun süreli servisten sonra korunmuş.  
İleri havacılık yapısal uygulamalarına aday.



# Mg-Ag-RE / Mg-Y-RE döküm alaşımları

## Yüksek Sıcaklık Mg Döküm Alaşımları

En iyi çekme özellikleri -T6 temper alaşımını 525° C de 8 saat çözeltiye alma, 60° C de su verme ve 250° C de 16 saat yaşlandırma ısıl işlem uygulamakla elde edilmiştir.

alaşım	Ag	Y	RE	Cu	Zr	uygulamalar
QE22A	2.5		2.2	0.08	0.7	200°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda kullanılacak kum ve kokil döküm parçaları; uçak motor parçaları, helikopter gövde parçaları, füze ve yarış otomobili parçaları
EQ21	1.5		2.1		0.6	
WE43		4	3.4		0.4	250°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda kullanılacak kum ve kokil döküm parçaları; iyi korozyon direnci; uçak motor parçaları; helikopter parçaları

# Magnezyumun ergitilmesi

Magnezyum, demirle reaksiyonu çok yavaş olduğundan yumuşak çelik potalarda eritilir ve döküme hazırlanır. Ergimiş magnezyum ve alaşımları oksijenle çok kolayca reaksiyona girer ve havada yanarlar.

Oksit filmleri oksidasyon sürecini hızlandırır.

Ergitme aşamasında  $MgCl_2$ ,  $KCl$  veya  $NaCl$  gibi klorürlerin karışımlarından oluşan flakslar kullanılır. Korozif etkileri nedeniyle döküme geçilmeden önce klorürlerin alınması zorunludur.

Alaşımlama ve rafinasyon aşamasında hava ile münasebeti kesmek üzere viskoz bir tabaka oluşturmak için  $CaF_2$ ,  $MgF_2$  ve  $MgO$ 'un karışımından oluşan flaks kullanılmalıdır.

Oksidasyon kayıplarını azaltmak için banyo yüzeyinde Kükürt hekza florür ( $SF_6$ ) gazından da yararlanır.

# Mg alaşımlarında tane küçültme

**Basınçlı döküm seçeneğinde, sıkıştırma dökümde, yarı-katı dökümde tane küçültme gereksizdir.**

Fakat yavaş katılaşma nedeniyle kum dökümde tane küçültme uygulanmalıdır.

**Alüminyumlu Mg alaşımlarında (Mg-Al/Mg-Al-Zn alaşımları), Karbon inokülasyonu ile tane küçültme**

Hekzakloretan veya heksaklorbenzen tabletleri karbon ilave edilerek  $Al_4C_3$  tanecikleri oluşturulur ve bu tanecikler heterojen çekirdeklenme için çekirdek görevi görürler.

**Alüminyum içermeyen Mg alaşımları**

**Zr ilavesi ile tane küçültme:**

Zr Mg'u çekirdeklendirecek heterojen çekirdekler oluşturur.

Zr Al ile bileşikler oluşturduğu için Al içeren alaşımlarda kullanılamaz.

# Magnezyum üretim notları

Döküm parça üretimi için

Basınçlı döküm

Kokil döküm

Kum döküm

Yarı-katı döküm

Sıkıştırma döküm

yöntemleri kullanılır.

Plastik şekil verme

hadde

dövme

ekstrüzyon

# Magnezyum dökümü

En yaygın olanı basınçlı dökümdür.

Basınçlı dökümle karmaşık, ince et kalınlıklı parçalar sıvı metalin sınırlı ısı sığası sayesinde yüksek hızlarda üretilebilirler.

Hem soğuk hem de sıcak kamaralı döküm makinaları Mg dökümü için uygundur.

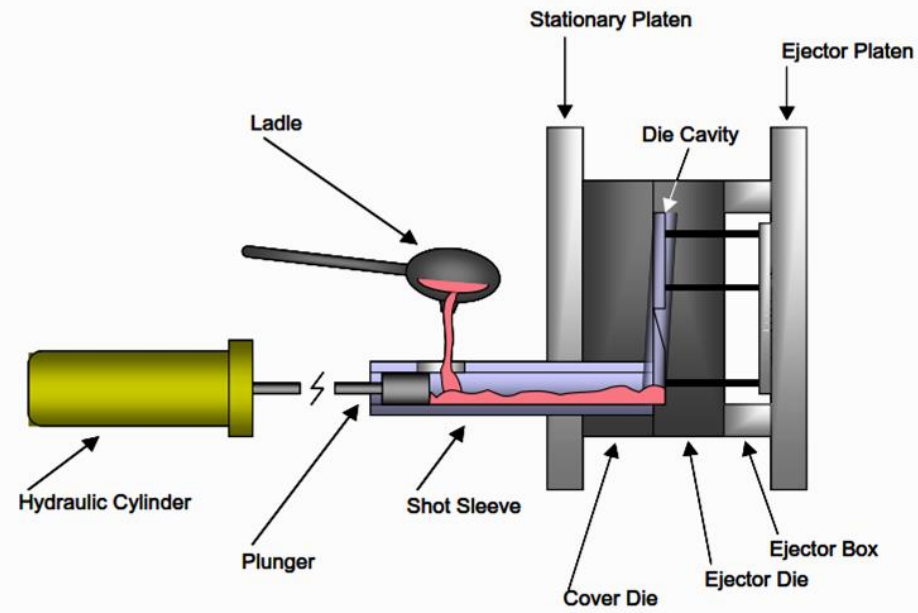
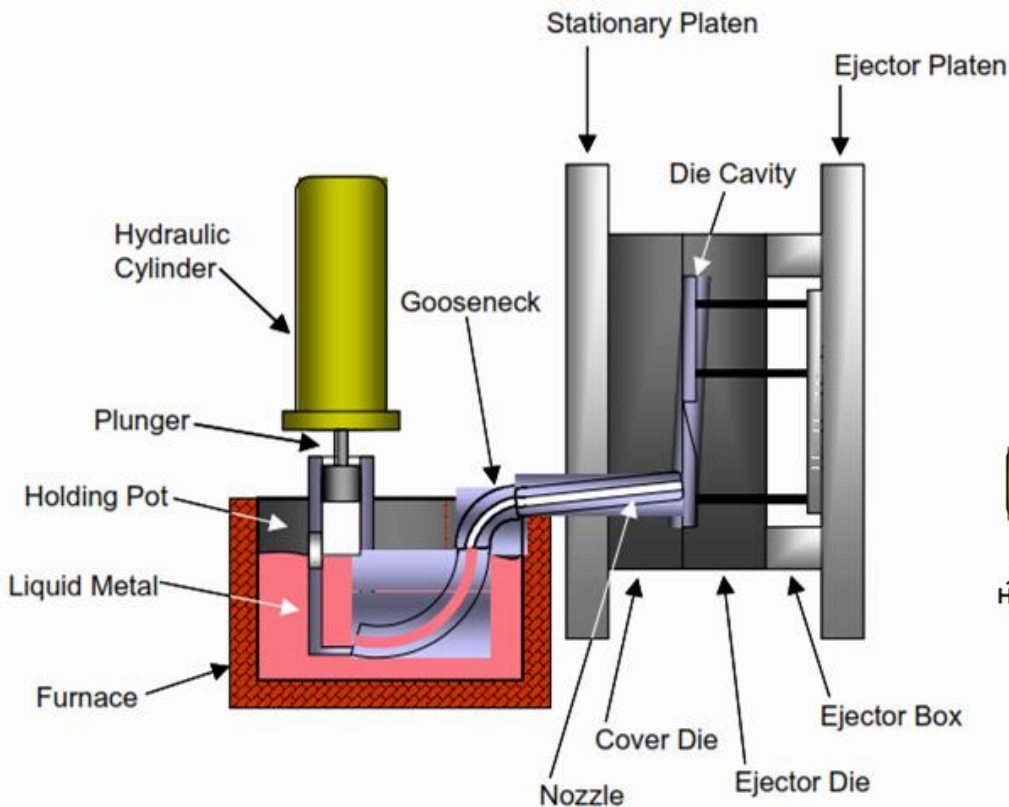
Mg Al'dan yaklaşık 2 kat daha pahalı olduğu halde, sıcak kamaralı basınçlı dökümü daha kolaydır ve alüminyumdaki soğuk kamaralı basınçlı döküme göre %40-50 kadar daha hızlıdır.

Optimum performans için, özellikle ince parçaların üretiminde magnezyum için alüminyuma göre daha yüksek üretim hızlarının kullanılması tavsiye edilir.

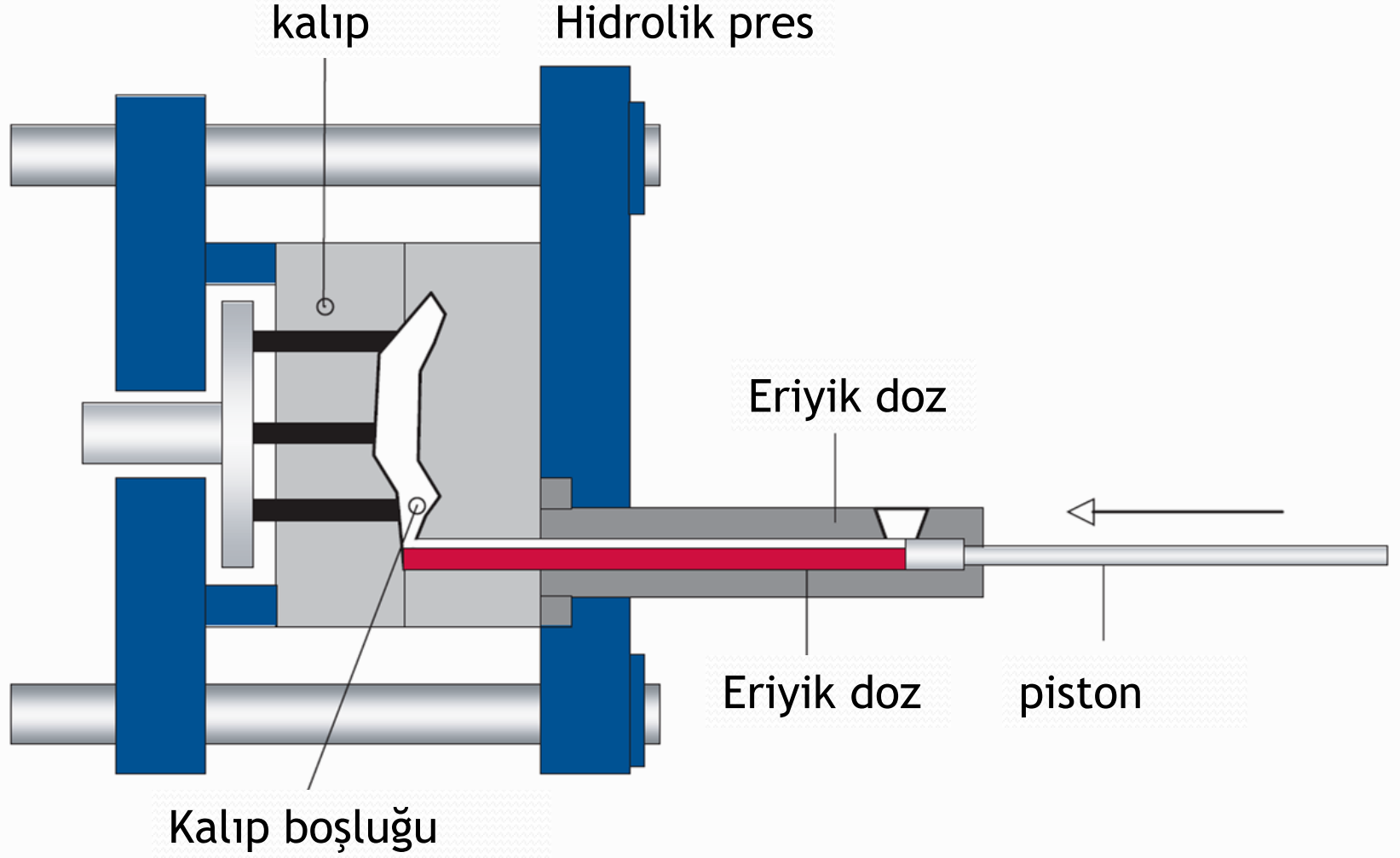


# Mg

High pressure die casting (HPDC) offers attractive flexibility in design and manufacturing of light metals components. The excellent die filling characteristics of magnesium alloys allow large, thin-walled and complex castings to be economically produced



# Basınçlı döküm



Soğuk kamaralı basınçlı döküm sistemi

# Basınçlı döküm

Sıcak kamaralı/soğuk kamaralı basınçlı döküm

Mg üretiminde en popüler ve en ekonomik yöntem

Düşük döküm sıcaklığı: 650-680 °C

Düşük ısı içeriği: alüminyumdan %50 daha hızlı eritilebilir.

Hassas ve kaliteli yüzey

Demir kalıplarla etkileşimi sınırlı/↑ kalıp ömrü

İşlenebilirliği iyi

Yüksek basınç ile hızlı kalıp dolumu

Yüksek üretim verimi ve hızlı katılaşma

İnce et kalınlıklı, son şekilde parçalar

İnce taneli ve iyi mekanik özelliklere

sahip mikroyapı



# Magnezyum dökümü

Sıcak kamaralı basınçlı dökümde nispeten küçük parçalar dökülür; döküm makinaları soğuk kamaralılara göre daha karmaşık ve pahalıdır.

Soğuk kamaralılarda kalın kesitli parçalar için tercih edilir.

Oksidasyondan korunma daha başarılıdır.

# Magnezyum dökümü

Standart basınçlı döküme göre vakumlu basınçlı döküm daha az gözenekli ve daha üstün özellikli parçaların dökümünü sağlar.

Magnezyum alaşımları yarı-katı döküm için de çok elverişlidir.

Yarı-katı prosesleri alaşım granülleri veya kısmen katılaşmış alaşım kullanır.

Bu teknik elektronik endüstrisinde kullanılan küçük parçalar için idealdir.



# Mg alaşımlarının kum dökümü

Özellikle çökeltme sertleşmesi olan alaşımlar dökümle üretilir.

Mg kumun rutubeti ile reaksiyona girerek MgO oluşturur ve bu reaksiyondan açığa H çıkar. Oksitler döküm parça yüzeyinde yanma tabir edilen kara lekeler oluşturur; hidrojen ise gözeneklere yol açar. Bu nedenle Mg alaşımlarının kum kalıba dökümlerinde önlem alınmalıdır.

Nemli kalıp kumu, kükürt, borik asit, etil glikol veya amonyum florür gibi kimyasallarla karıştırılarak bu reaksiyon önlenmeye çalışılır.

# Mg alaşımlarının dökümü

Gravite döküm süreçlerinde çıkıcının gaz kabarcıklarını sıvı metalden dışarı zorlayacak ve parçanın kalıbın şeklini mükemmel almasını sağlayacak şekilde basınç oluşturmak için mümkün olduğunca yüksek tasarlanması gerekir.

Bir çok Mg alaşımı yüksek miktarlarda Fe, Ni ve Cu'ın neden olduğu potansiyel korozyon sorunlarını gidermek için yüksek saflıkta üretilirler.

Kum döküm alaşımları az miktarda Zr ilavesi ile ince tane yapılı üretilirler.

# Mg dökümünün özellikleri

## Uzun kalıp ömrü:

Alüminyumdan farklı olarak sıvı Mg kalıp çelikleri ile reaksiyona girmezler. Bu sayede kalıp ömrü uzun, üretim verimliliği yüksektir.

Bu olumluluğu düşük erozyona, daha sınırlı sıvı metal ısısına ve kalıbın ısı yorulma şartlarının hafiflemesine borçluyuz. Mg basınçlı dökümünde kalıp ömürleri alüminyuma göre en az 3-4 kat daha uzundur.

# Mg dökümünün özellikleri

## Talaşlı imalat

Magnezyum bilinen en kolay işlenebilir metaldir. Metallerin işlenebilirliği yönünden standart oluşturur. İmalat için düşük enerji gereksinimi, daha derin işlemepaylarına, daha seri ve verimli çalışmaya imkan tanır.

Magnezyum alaşımları çok net talaş oluşturarak bu konuda katkı sağlar.

Talaşlarını proses etmek kolaydır.

# Mg döküm alaşımları

Akma mukavemeti: 75-200 MPa

çekme mukavemeti: 135-285 MPa

Uzama: 2-10%.

yoğunluk 1.8 g/cm<sup>3</sup>

Elastik modül: 42 GPa

## En yaygın döküm alaşımları:

AZ63

ZK61

QE22

AZ81

ZE41

QH21

AZ91

ZC63

WE54

AM50

HK31

WE43

AM60

HZ32

Elektron 21

ZK51



# Magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri

	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Çekme, MPa	240	225	210	190	215	175	230
Akma, MPa	160	130	125	90	140	110	145
Akma/basma	160	130	125	90	140	110	145
Uzama %	3	8	10	12	6	9	10
E, GPa	45	45	45	45	45	45	45
G, GPa	17	17	17	17	17	17	17
Sertlik HB	70	65	60	45	60	55	60
Darbe muk, J	6	17	18	18	4	5	5

# Magnezyum alaşımlarının fiziksel özellikleri

	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Yoğunluk, g/cc	1.81	1.8	1.77	1.75	1.77	1.76	1.79
Likidüs T	599	615	620	639	618	632	625
Erken ergime, C	420-435	420-435	420-435	420-435	420-435	420-435	590
Lineer genişleme katsayısı $\mu\text{m}/\text{m}$	26	26	26	26	26.1	26.1	26.1
Spesifik ergime ısı $\text{kJ}/\text{kg}$	370	370	370	370	370	370	370
Spesifik ısı $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Isı iletkenliği $\text{W}/\text{K}\cdot\text{m}$	51	61	65	94	68	84	84
Elektrik iletkenliği $\text{MS}/\text{m}$	6.6	nm	9.1	13.1	nm	10.8	11.7

# Magnezyum işlem alaşımları

HCP kafes yapısı nedeniyle deformasyon kapasitesi sınırlıdır.

Deformasyon sadece,

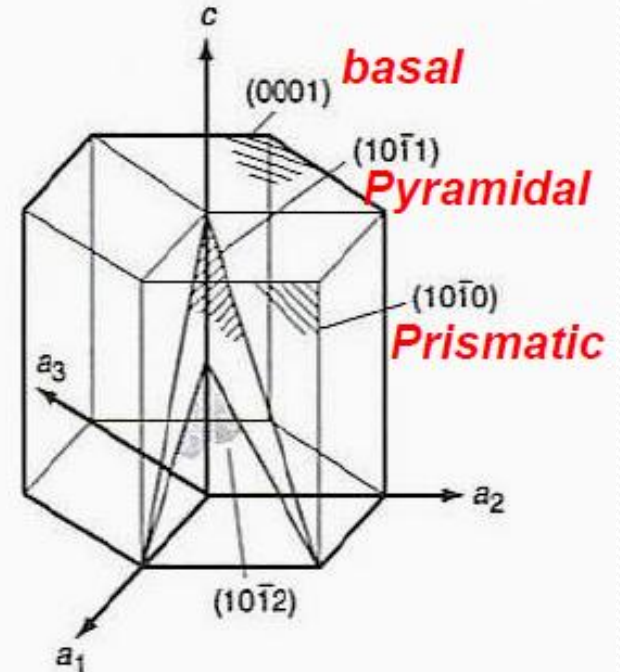
{1000} bazal düzlemlerinde  $\langle 1120 \rangle$  yönünde kayma,  
{1012} piramidal düzlemlerde ikizlenme ile

gerçekleşir.

250°C üstündeki sıcaklıklarda kayma hem piramidal hem de prizmatik düzlemlerde gerçekleşir.

Yüksek sıcaklıklarda (300-500°C) şekillendirme daha kolaydır.

Mg alaşımları genel olarak levha, profil çubuk ve tüp, boru ve dövme parça şeklinde üretilir.



# Magnezyum plastik Şekil verme

Oda sıcaklığında Şekil verilebilirliği zayıftır. Ancak 232-371°C aralığına ısıtıldığında bir çok plastik Şekil verme yöntemi uygulanabilir. Bu sıcaklıklarda koruyucu atmosfer gerekmez. Mg alaşımlarının işlenebilirliği tüm metaller arasında en iyidir. Bu sayede bir çok uygulamada talaşlı imalat maliyetinden sağlanan tasarruf malzemenin yüksek fiyatını dengelemiş olur. Ancak takımları keskin tutmak ve talaşlar için bolca yer bırakmak gereklidir. Mg alaşımları en az alüminyum alaşımları kadar kolayca nokta kaynaklanabilir.

# Sıcak ve soğuk şekillendirme

Mg alaşımları hızla deformasyon sertleşmesi tecrübe ederler ve yumuşatma tavı olmaksızın yüksek deformasyon oranlarında şekillendirilemezler.

Geniş radyüslerde nazik eğme ve bükme işlemleri soğuk olarak da yapılabilir. Ancak, keskin eğmeler, derin çekme operasyonları 260 ile 320°C aralığında yapılmalıdır.

Yavaş şekillendirme hızlı şekillendirmeden daha iyi sonuç verir.

Preste dövme, malzemenin akması için daha fazla süre tanıdığından çekiç dövmesinden daha iyi sonuç verir,

Dövme işlemi için sıcaklık aralığı 260 - 430°C dir.

Bu sıcaklık aralığı dışında işlenen metal kolayca kırılır.



# plastik Şekil verme

hekzagonal kafes yapısı nedeniyle Őekillendirilmeleri, kübik kafes yapısındaki alüminyum, bakır ve çelikten daha karmaşıktır.

Bu nedenle magnezyum alaşımları çoğunlukla döküm halinde kullanılırlar.

Plastik Şekillendirmede magnezyumu demir, bakır ve alüminyumdan ayıran başlıca özellik çalışma sıcaklıklarıdır.

Hekzagonal kafes yapısı nedeniyle magnezyum alaşımlarına uygulanabilecek deformasyon miktarı sınırlıdır.

Bu nedenle Mg alaşımları yüksek sıcaklıklarda Őekillendirilir.

# Magnezyumun ekstrüzyonu

ılık ya da yüksek sıcaklıklarda yapılır.

ekstrüzyon sıcaklığı 300-450° C arasında değişir.

Şekillendirme kullanılan kalıplar genellikle alaşımli çelikten imal edilir.

Dövme operasyonuna benzer şekilde, ekstrüzyon kalıpları da iş

parçasının soğumasını önlemek için, iş parçasına benzer sıcaklık değerlerine ısıtılmadır.

Şekillendirmede oluşan ısı soğutma ile giderilmez.

alaşımın katılaşma sıcaklığı aşılırsa, sıcak kırılma görülür.

# Magnezyumun haddelenmesi

**Haddelenecek malzeme ve hadde merdaneleri ısıtılmalıdır.**

Yassı ürünler genellikle Mg-Al-Zn alaşımlarından üretilir.

En yaygın alaşım AZ31B alaşımıdır ve 100°C seviyelerinde kullanılabilir.

HK31A ve HM21A alaşımları 315-345°C aralığındaki sıcaklıklarda kullanılabilir.

# Mg işlem alaşımları

Akma mukavemeti: 160-240 MPa,

Çekme mukavemeti: 180-440 MPa

Uzama: 7-40%.

En yaygın işlem alaşımları:

AZ31

AZ61

AZ80

Elektron 675

ZK60

M1A

HK31

HM21

ZE41

ZC71

# Mg işlem alaşımları

## İşlem alaşımları

Mg işlem alaşımlarının özel bir durumu vardır. Basma yüklemesindeki akma dayanımları çekme altındakinden daha düşüktür.

İşlem alaşımlarının şekil vermeden sonra çekme akma mukavemetlerini arttıran bir tekstürleri vardır.

Basma yüklemesinde akma mukavemeti, Mg alaşımlarının hekzagonal kafes yapıları nedeniyle basma yüklemesi altında çekmede olduğundan daha kolay gerçekteşen ikizlenme yüzünden daha düşüktür.



# Magnezyum alaşımları-genel

Çökelti sertleşmesi yaşayan Mg alaşımlarının mukavemet/ağırlık oranları mukavemetli alüminyum alaşımları ve alaşımlı çeliklerinki ile yakındır.

Ancak, Mg alaşımlarının yoğunluğu daha düşüktür ve birim ağırlıkta daha fazla yük taşıyabilirler.

Yüksek mukavemetin gerekmediği fakat hafif ve kalın kesitin gerektiği uygulamalarda tercih edilirler.

Örnek olarak, uçaklarda seri çalışan motor ve hareketli ve karmaşık döküm parçalar verilebilir.

# Magnezyum alaşımları-genel

Mg alaşımlarının mukavemeti yüksek sıcaklıklarda bir miktar düşer. 100°C kadar düşük sıcaklıklar bile akma mukavemetini etkiler.

Mg'un aktif karakterine rağmen alaşımlarının korozyon direnci iyidir.

Aynı atmosfer koşullarında korozyon hızı yumuşak çeliğinkinden daha düşüktür.

Tuzlu sularda sorun vardır. Fakat Mg alaşımlarında Ni ve Cu gibi empüritelerin kontrolü sayesinde tuzlu su korozyonu alanında da önemli iyileşme sağlanmıştır.

# Magnezyum-tiksokalıplama

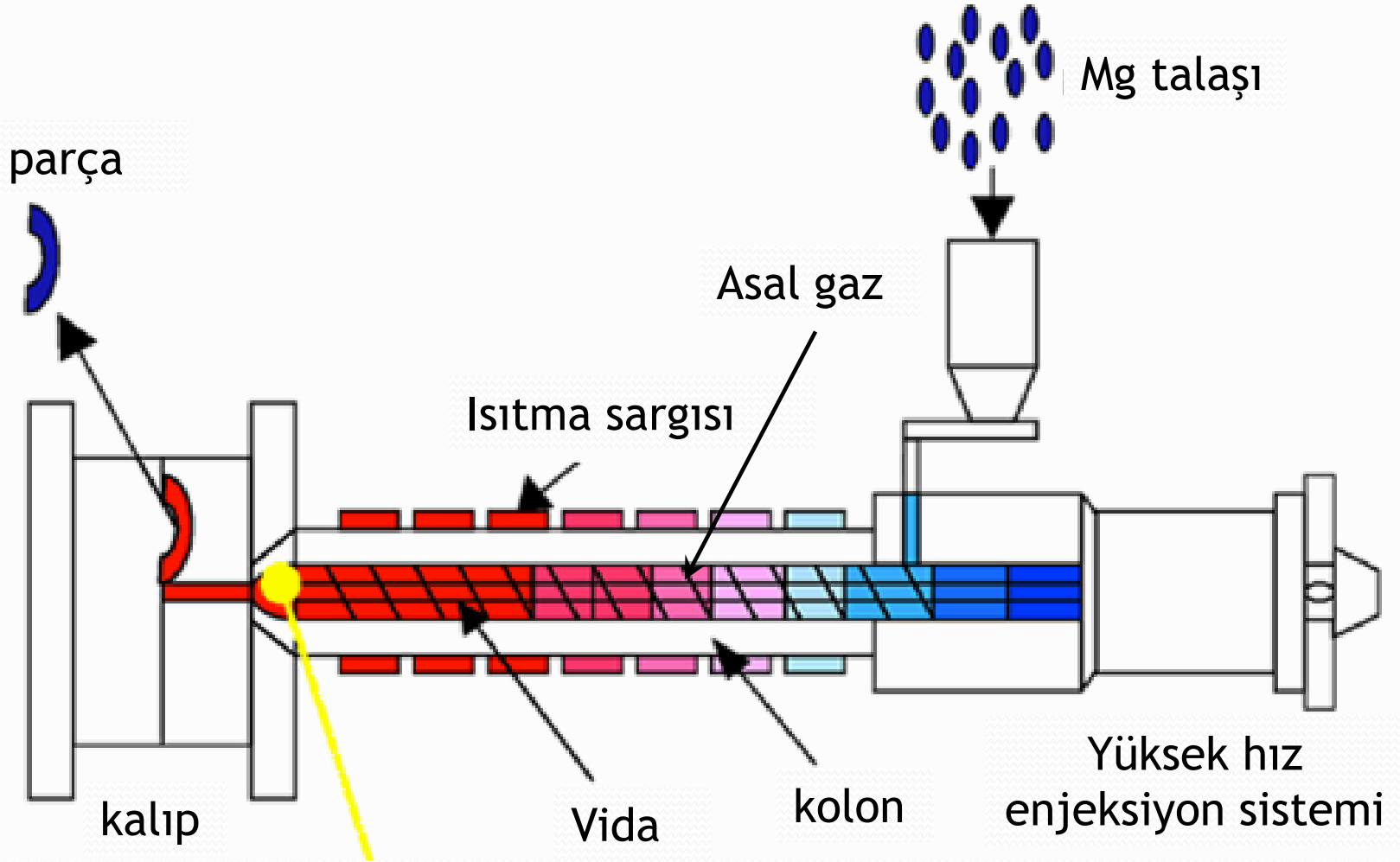
Bu yöntem yarı-katı dökümün bir çeşididir. Basınçlı döküm makinesi yerine enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılır.

Yöntem,

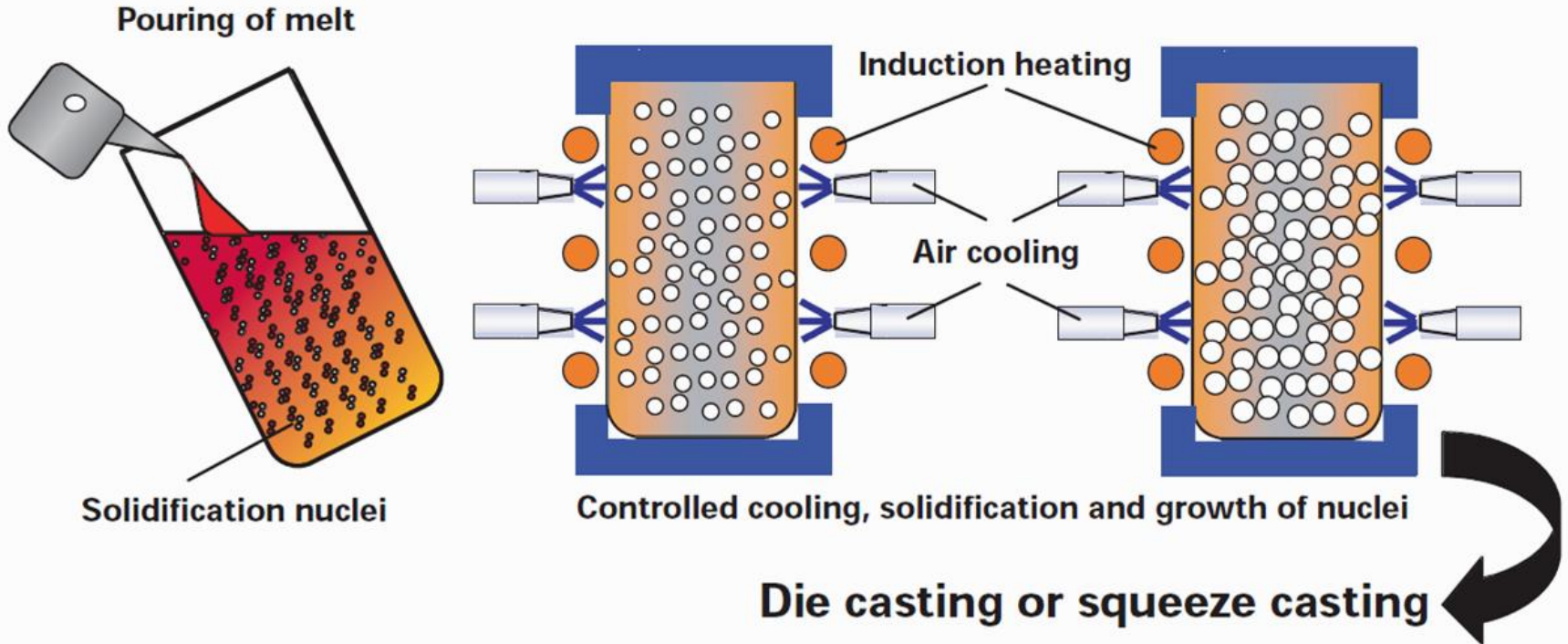
Vidalı taşıma bandında Mg granüllerini kısmen ergitme ( $\sim 560-620^{\circ}\text{C}$ ) ve daha sonra kalıp içine presleme şeklinde uygulanır.

Vidalı bant kolonu hava ile teması kesmek için ısıtma ve soğutma süreçlerinde asal gaz altında tutulur.

# Magnezyum-tiksokalıplama



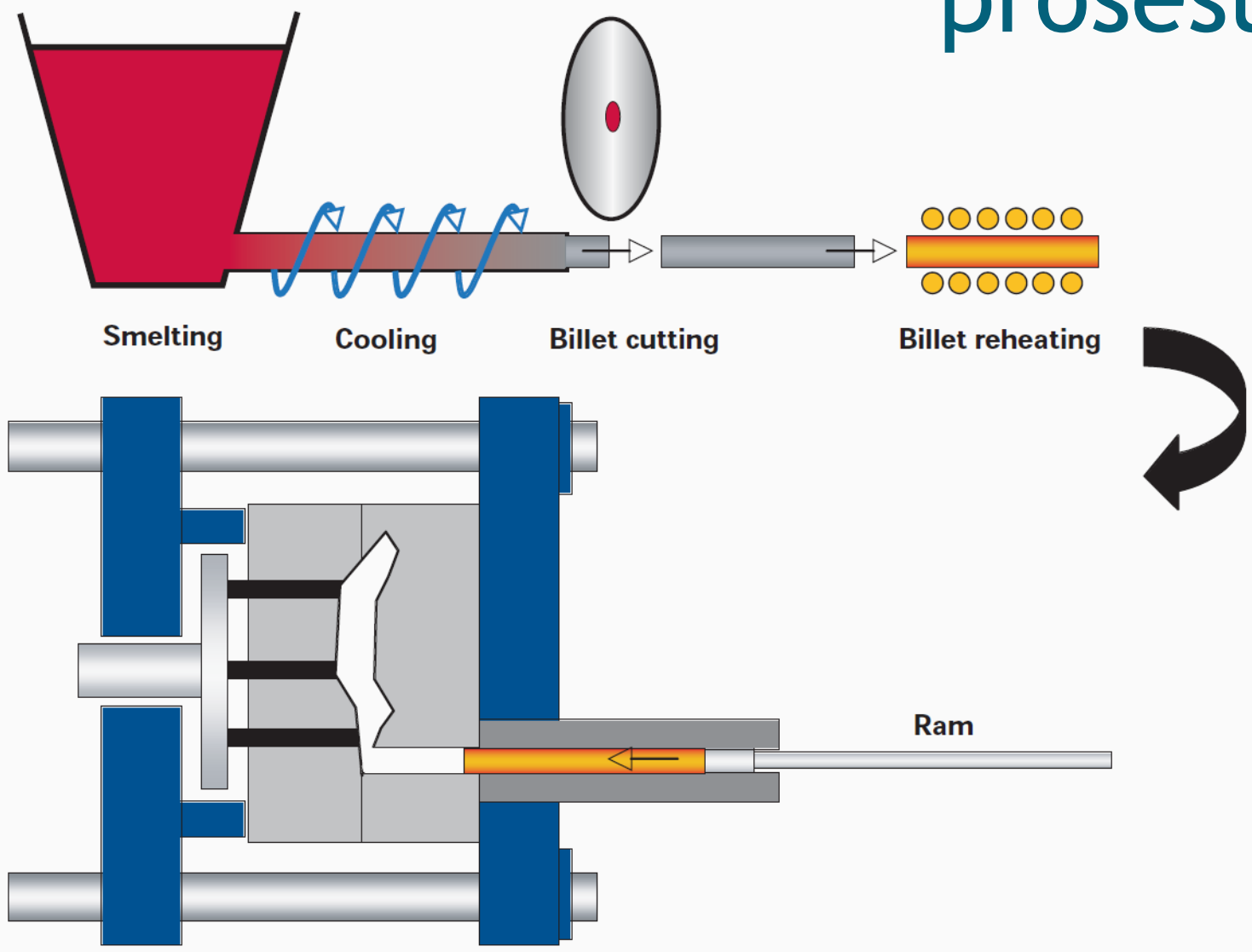
# Magnezyum yarı-katı döküm prosesleri



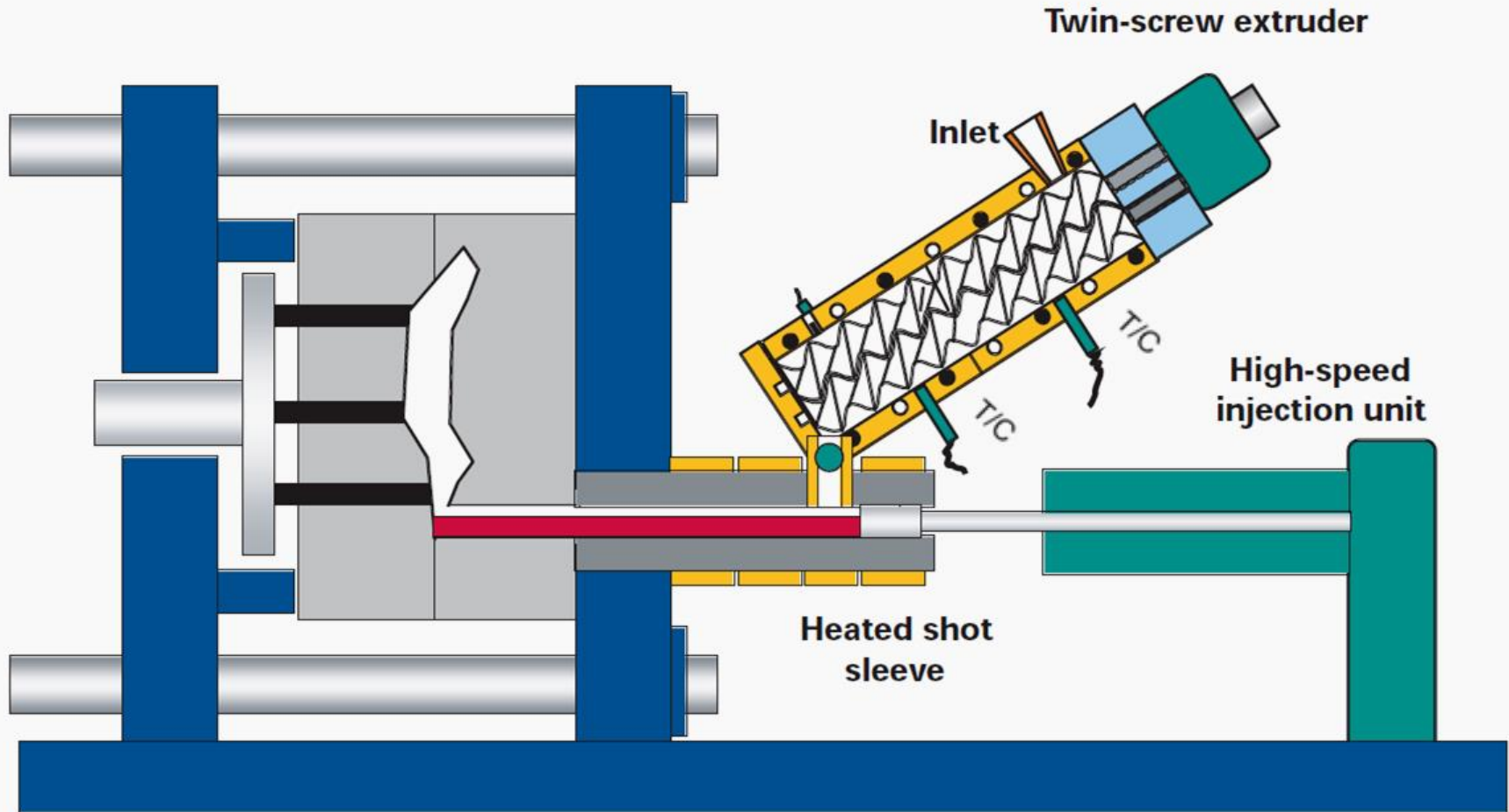
Yeni reo-döküm (NRC) prosesi



# Magnezyum yarı-katı döküm prosesleri



# Reo-döküm prosesi



# Başlıca Mg alaşımlarının temel özellikleri

	AZ	AM	AS	AE
Başlıca alaşım elementleri	Al, Zn	Al (Mn)	Al, Si	Nadir toprak
avantajları	Oda sıcaklığında iyi mukavemet, İyi dökülebilirlik	AZ serisinden Daha iyi süneklik	Mg <sub>2</sub> Si çökeltileri sayesinde daha yüksek mukavemet ve sürünme performansı	Mg-RE çökeltileri sayesinde iyi yüksek sıcaklık mukavemeti ve sürünme direnci
dezavantajları	Düşük sıcak mukavemet Düşük süneklik	Sınırlı oda sıcaklığı mekanik özellikleri, sınırlı dökülebilirlik	Sınırlı dökülebilirlik	Sınırlı dökülebilirlik

# Yapısal uygulamalar

Yapısal uygulamalar için Mg'un cazip özellikleri  
düşük yoğunluk

otomobil ve uçak parçaları;

taşınabilir aletler-portatif tezgahlar için;

bavullar, çantalar, bilgisayarlar, cep telefonları ve

kamera gövdeleri

spor ekipmanları

Yüksek sönümlenme kapasitesi

elektronik donanımlar için titreşim önleyici platformlar

ses ve gürültü azaltmak için panel ve duvarlar

Mükemmel işlenebilirlik

imalat süreçleri için kalıp, kılavuz ve bağlantı parçaları

# uygulamalar

Elektronik sektörü , bilgisayar ve cep telefonu kutuları da Mg alaşımları için çok uygundur.

Döküm tekniği ile şekillendirmenin avantajları dikkate alındığında, Mg alaşımları bu uygulamalar için çok cazip seçenekler sunar.

Uçak ve füze parçaları için cazip yüksek sıcaklık özellikleri  
Uçak ve füze elektroniğinde sönümlenme kapasitesi ve boyutsal kararlılık

Talaşlı imalat kabiliyeti

Bavul vb imalatında vuruk ve darbe direnci

Alkalin ortamlarda yüksek korozyon direnci

çimento-beton takım ve aletleri

X-ışını kasetlerinde X-ışınlarının geçişine düşük direnç



# yapısal uygulamaları-otomotiv

en önemli yapısal kullanımı otomotiv sektörü için basınçlı döküm parçalardır. Magnezyum döküm alaşımları hafif olmaları ile birlikte yüksek mukavemet sağladıklarından büyük ilgi görmektedir. Otomotiv sektörü Mg alaşımları için önemli bir pazardır.

Magnezyumun düşük yoğunluğu hızla hareket eden parçalar için büyük bir avantajdır.

Düşük yoğunluğu sayesinde Mg'dan parçaların kalın kesitli olması imkanı doğar ve bu şekilde stiffening için ek önlemler alınması gerekmez.

# yapısal uygulamaları-otomotiv

magnezyum alaşımları otomotivdeki en parlak yıllarını popöler 'VW Beetle' a borçludur.

arkadan motorlu olduğu için arka aksa gereksiz yük bindirmemek amacı ile hafif magnezyum alaşımlarının kullanımını gerekli kılmıştır.

1980' lerin başlarına kadar 19 milyon dan fazla Beetle' da yaklaşık 480 bin ton magnezyum kullanılmıştır.

Beetle'da sadece transmisyon gövdesi ve karterlerde kullanılan magnezyum parçalar 17 kg gelmekteyken, aynı parçaların dökme demirden yapılması haline göre 50 kg.'lık bir ağırlık avantajı sağlanmıştır. Öte yandan 1976' ya kadar magnezyum fiyatları iki katına çıkarken rakibi alüminyumun fiyatında değişiklik olmamıştır. Bu yüzden, VW Beetle' daki uygulamaları her ne kadar devam etse de, magnezyum alaşımları bir süre için popölerliğini kaybetmiştir.

# yapısal uygulamaları-otomotiv

Otomobillerde gösterge panelleri

Direksiyon simidi

Direksiyon sütunu

4-çeker sistemlerde vites kutusu

Muhtelif basınçlı döküm parçalar

Otomotiv sektörünün en büyük başarı hikayesi 21 milyon adet satılan VW kaplumbağa aracıdır. Ve birçok diğer parçası araç başına 22 kg olmak üzere Mg'dan imal edilmiştir ve bugüne kadar VW 450.000 ton Mg kullanmıştır.

# yapısal uygulamaları-otomotiv

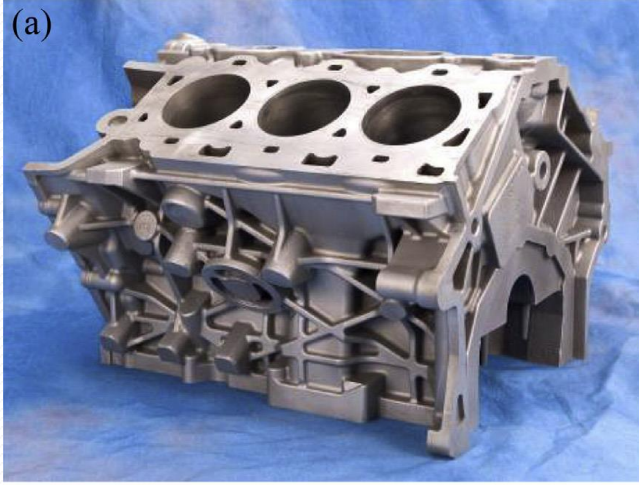
Dişli kutuları, emme manifoldları, karterler, yağ pompası vb. gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan parçaların üretimi için Mg alaşımları adaydır

İçten yanmalı motor bloklarında alüminyum, yüksek sıcaklıklara dayanımı ve yüksek mekanik gerilmeleri karşılayabilmesi nedeniyle yaklaşık 50 yıldır kendine yer bulmaktadır. Günümüzde ise dökme demirin yerini almaya başlamıştır. magnezyum blok % 75 daha hafiftir. Daha hafif olmasının yanında yüksek şok ve çökme dayanımı vardır. Ayrıca alüminyuma göre ses ve titreşimi daha iyi sönümler.





# yapısal uygulamaları-otomotiv



(a) Alçak basınçlı döküm silindir bloğu (b) yarı-katı prosesle üretilmiş motor kapağı (c) basınçlı döküm yağ kutusu (d) basınçlı döküm parça



# yapısal uygulamaları-otomotiv

Yarış arabalarında da süper sıcaklık özellikleriyle bilinen WE54 alaşımları kullanılmaktadır.

Formula-1 arabalarının çoğunun motor parçalarında yerini almıştır.



otomotiv sektöründe çok kullanılan alaşımlar AZ91D, AM50, AM60B Ve AS41B,



# yapısal uygulamaları-otomotiv

Günümüzün uygulama örnekleri arasında, Mercedes' in Roadstar modelinde kullandığı basınçlı dökümle üretilmiş AM20 ve AM50 alaşımli koltuk iskeletleri verilebilir. Magnezyum iskelet 8.4 kg iken, aynı koltuk çelik ile yapıldığında 35 kg gelmekte ve 20 ila 30 zımbalama ve kaynak işlemi gerektirmektedir.

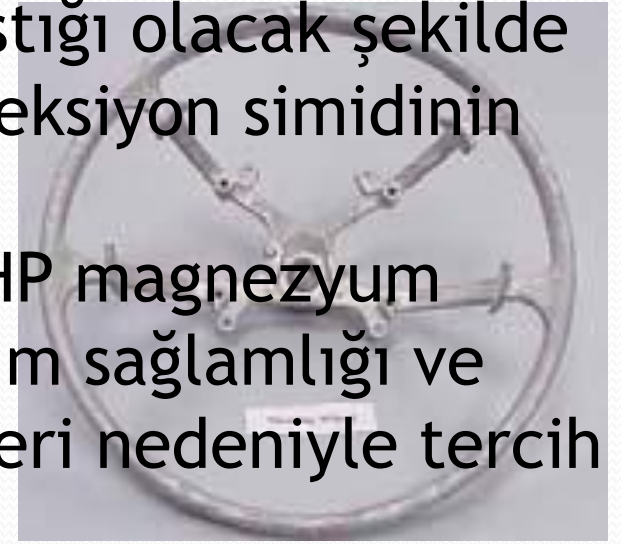


# yapısal uygulamaları-otomotiv

direksiyon simidi içinde bir hava yastığı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu nedenle de direksiyon simidinin ağırlığı azaltılmalıdır.

Japonya' da direksiyon simidi AM60HP magnezyum alaşımından üretilmektedir. Bu alaşım sağlamlığı ve şok enerjileri absorbe etme özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir.

Soğuk hazneli basınçlı dökümle üretilen bu parça 0.8 kg.



# yapısal uygulamaları-otomotiv

Gösterge paneli, AM50 veya AM60B Magnezyum alaşımı ile 12 kg, çelikten 18 kg gelmektedir.

magnezyum alaşımı gösterge paneli 25 ayrı parçanın birleşmesi ile oluşurken, çelik panel 67 ayrı parçanın birleşmesi ile oluşmaktadır.

•2004 yılında Kuzey Amerika'da yalnızca gösterge paneli uygulamalarında yıllık 25.000 ton magnezyum kullanılmıştır.

Land Rover  
Jeep  
gösterge  
paneli



# yapısal uygulamaları-otomotiv

Magnezyum alaşımları kaporta elemanları içinde de kendilerine kullanım yeri bulmuşlardır. Volvo' nun kapı içlerinde AM60 alaşımını kullandığı Başarılı uygulamaları vardır. Bu parça 5.5 kg ağırlığında olup, çelikten imal edilmiş benzerine göre % 45 hafiftir.





# yapısal uygulamaları-otomotiv

Jantlarda magnezyum hem sıcak mukavemeti, hem de düşük ağırlığı nedeniyle tercih edilir.

Jant uygulamaları için yorulma direnci caziptir.

Honda Prelude modelinde basınçlı dökümle üretilmiş AM60B alaşımli jantlar kullanmaktadır. Her bir jant 5.9 kg



Motor oturma kazığı

# yapısal uygulamaları-otomotiv

Magnezyum, % 12' nin üzerinde plastik deformasyon kabiliyeti ile travers yapımında kullanılabilir.

Magna Steyr isimli Alman şirketi AZ31B alaşımını ekstrüzyonla üreterek bir travers imal etmiştir.



Magnezyum alaşımları radyatör desteğinde de kullanım yeri bulmaktadır. Ford' un bu konuda AM50A alaşımından örnekleri vardır.

AM50A alaşımı radyatör desteği yalnızca 6 kg ağırlığındadır.



BUILT  
TOUGH





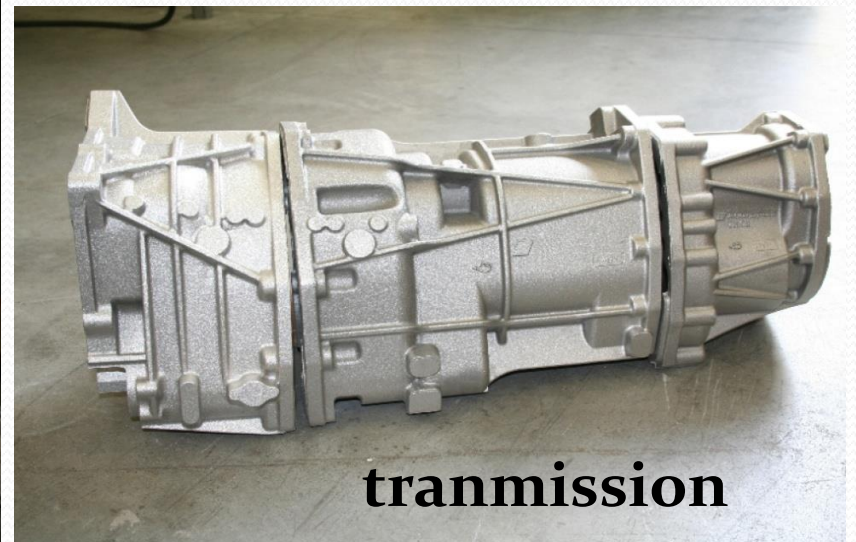
# Yapısal uygulamalar-havacılık



Pratt Whitney F119 motor gövdesi ELEKTRON WE43 alaşımı  
3.7-4.3 Y / 2.4-4.4 RE / min 0.4 Zr  
Isıl işlem: 525°C-8 st çözeltiye alma + havada/sıcak suda soğutma + 250°C'de 16 st yaşlandırma



# uygulamalar



tranmission



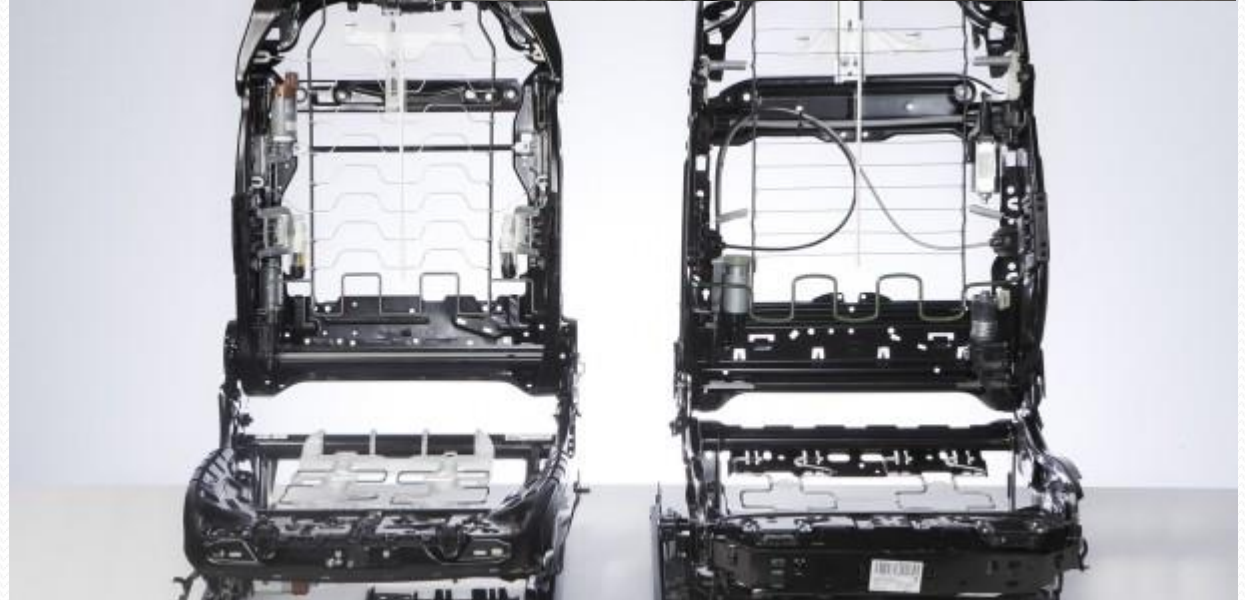


# uygulamalar





# uygulamalar



# uygulamalar



Engine case



# Genel uygulamalar

Başlıca kullanım alanı alüminyuma mukavemet ve korozyon direnci kazandırmak için özellikle 5XXX alaşım grubunun üretilmesi sürecidir.

Magnezyum elektromotif serisinde oldukça yukarıdadır. Bu sayede çeliği korozyondan korumak için kurban anot olarak kullanılır. Örneğin, gömülü su boruları, kalorifer donanımlarında korumada yaygındır. Gemi gövdelerinin, deniz platformlarının korunmasında kullanılır. Kurban anotlar döküm veya ekstrüde profil şeklindedir.



# Genel uygulamalar

Magnezyum nodüler dökme demir üretiminde grafit morfolojisi düzenlemede alaşım katkısıdır.

Toz veya granül şeklinde çelik üretiminde kükürt kontrolü için ilave edilir.

Pirinç ve bronz gibi bakır alaşımlarının ve nikel alaşımlarının üretiminde deoksidan olarak yararlanır.

Ti, Zr ve Be üretiminde redükleyici olarak kullanılır.

Kaliteli baskı işlerinde Mg plakalar baskı plakası olarak kullanılırlar.

Mg ayrıca batarya imalatında kullanılır.

# uygulamalar



# Alloy development

**Spesifik mukavemet**  
Hafif, yüksek mukavemet

**Süneklik**

**Sürünme mukavemeti**  
Monolitik alaşımlar

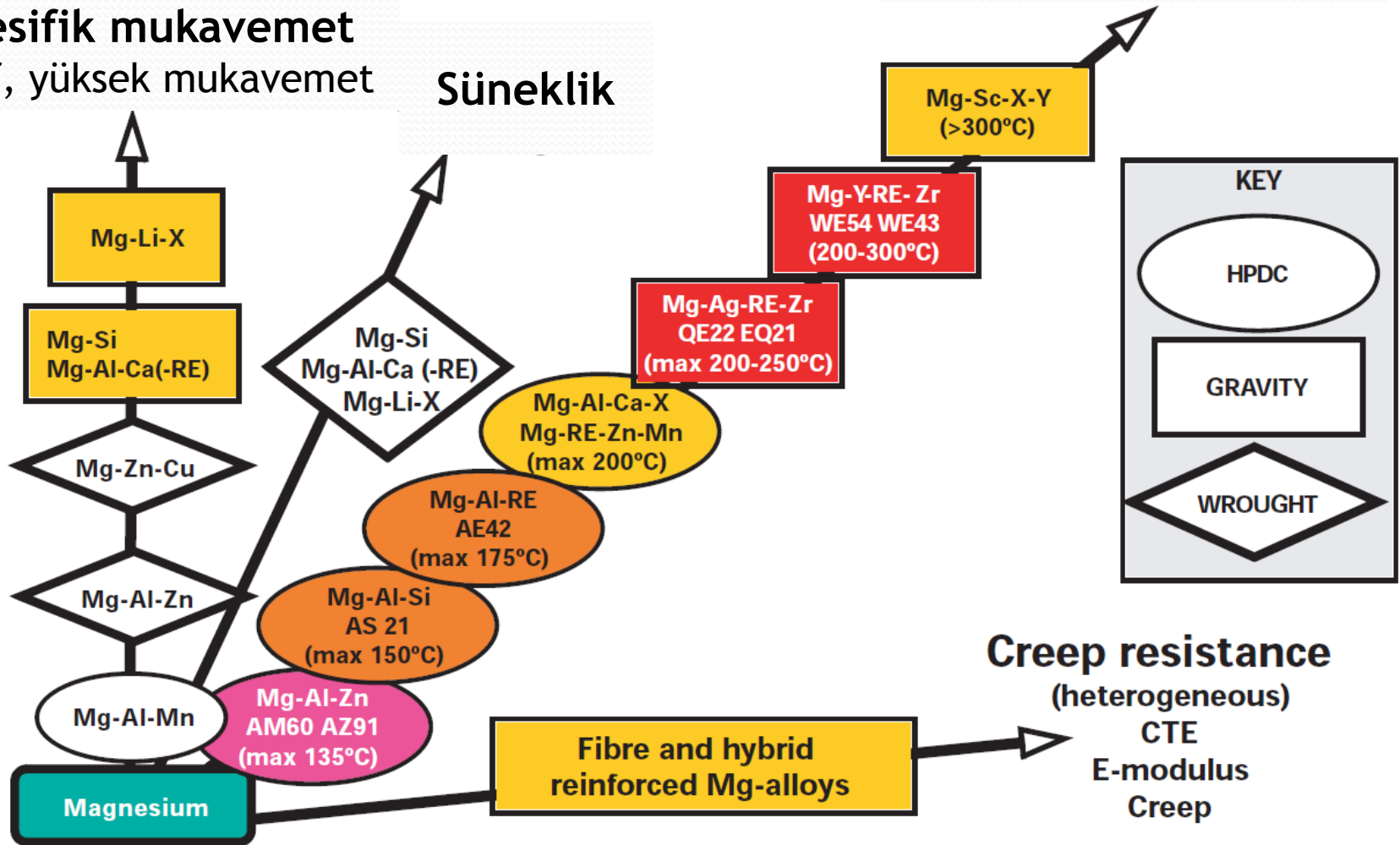


Exhibit 3.12 Performance drivers for magnesium alloy development

# titanium



Discovery date	1791
Discovered by	Rev. William Gregor
Origin of the name	The name is derived from the Titans, the sons of the Earth goddess of Greek mythology.
Allotropes	-

22

Ti

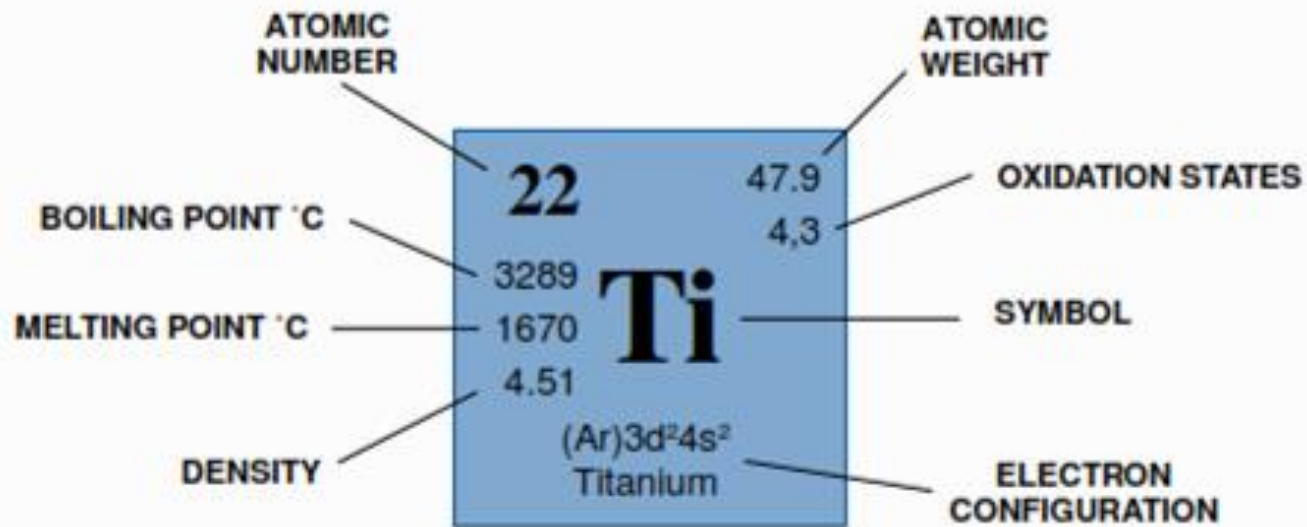
47.867

Group	4	Melting point	1670 °C, 3038 °F, 1943.15 K
Period	4	Boiling point	3287 °C, 5948.6 °F, 3560.15 K
Block	d	Density (kg m <sup>-3</sup> )	4508
Atomic number	22	Relative atomic mass	47.867
State at room temperature	Solid	Key isotopes	<sup>48</sup> Ti
Electron configuration	[Ar] 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>	CAS number	7440-32-6

**Periodic Table**

The Royal Society of Chemistry's interactive periodic table features history, alchemy, podcasts, videos, and data trends across the periodic table. Click the tabs at the top to explore each section. Use the buttons above to change your view of the periodic table and view Murray Robertson's stunning Visual Elements artwork. Click each element to read detailed information.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo



hcp Crystal Structure  
Lattice Parameters

$c=0.468$  nm  
 $a=0.295$  nm

Atomic Volume

10.64 cm<sup>3</sup>/mol

Covalent Radius

1.32 Å

Color

Dark Grey

Hardness

70 to 74 BHN

Coefficient of Thermal  
Expansion

$8.4 \times 10^{-6}$  /°C

Electrical Resistivity

42 μohm-cm

Thermal Conductivity

20 W/m·°K

Heat of Fusion

292 kJ/kg

Heat of Vaporization

9.83 MJ/kg

Specific Heat

518 J/kg °K

Magnetic Susceptibility

$3.17 \times 10^{-6}$  cm<sup>3</sup>/g

Magnetic Permeability

1.00005

Modulus of Elasticity

100 GPa

Poisson's Ratio

0.32

Solidus/Liquidus Temp.

1725°C

Beta Transus Temp.

882°C

Thermal Neutron Absorption

Cross Section

5.6 Barnes

Electronegativity

1.5 Pauling's



# titanyum

Al, Fe ve Mg'dan sonra yeryüzünde en bol bulunan 4. metal, 9. elementtir.

Varlığı 200 yıldan bu yana bilinmekle birlikte ticari üretimi 1950'lerde başlamıştır.

İlk keşfedilen minerali rutildir.

Bunun dışında,

İlmenit ( $\text{FeTiO}_3$ )

Arizonit ( $\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$ )

Perovskit ( $\text{CaTiO}_3$ ) ve

Titanit ( $\text{CaTiSiO}_5$ )

Minerallerinde bulunur.

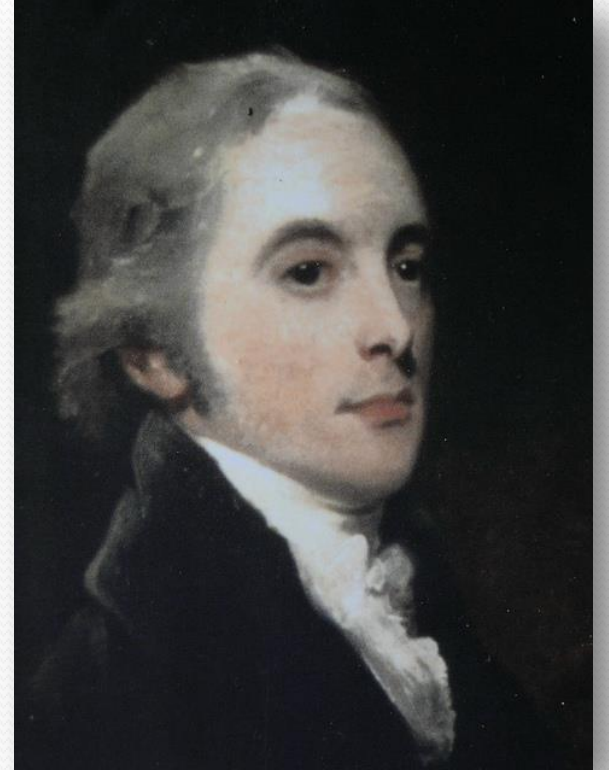
# tarihçe

İlk kez amatör bir mineralojist olan William Gregor tarafından 1790 yılında keşfedildi.

Titanyum metalin sıradışı özelliklerine ilgi II. Dünya Savaşından sonra arttı.

ABD'de hükümet destek programları ile Kroll prosesi geliştirildi ve bu prosesle sünger Titanyum üretildi.

1951'de ticari üretimin yolu (TIMET) açıldı.



# tarihçe

Bu dönemde Üstün mukavemet/ağırlık özelliği, korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklarda performansı ile ABD Savunma Bakanlığı Titanyumu savaş jetlerinin yapısal metali olarak seçti.

Titanyumdan ilk savaş jeti Douglas tarafından üretilen X3 Stiletto'dur.

Avrupa'da geniş ölçekli Ti üretimi İngiltere'de 1951 yılında başladı. Fransa'da da üretim başladı fakat 1963'de son verildi.

Japonya'da Ti üretimi Osaka Titanyum ve Toho Titanyum tarafından başlatıldı ve 1954'de ciddi bir kapasiteye ulaşıldı.

# tarihçe

1979'da ise en büyük Ti üreticisi Sovyetler Birliği idi.

Dünya Ti üretimi havacılık ve savunma sanayi ilgisi ile 1980'den 1990'a kadar sürekli arttı fakat bu tarihten sonra savunma harcamalarının kısılması ile 1995'e kadar düştü.

Bu tarihten sonra sivil havacılıktaki ilgi ile tekrar artışa geçti.

# titanyum

İngiltere'de Ti cevherinin keşfinden 120 yıl sonra, 1919'da M.A. Hunter tarafından Ti'un cevherinden elde edilmesine imkan tanıyan bir proses geliştirildi.

Bu proses rutilin ( $TiO_2$ ) kok ve klor ile karıştırılması ve ısıtılmasından ibaretti. Bu şekilde  $TiCl_4$  elde ediliyor ve  $TiCl_4$  Na tarafından redükleniyordu. Bu şekilde üretilen Titanyum esas itibarı ile çeliklerin üretiminde alaşım elementi olarak kullanılıyordu.

Bu prosesin yan ürünü olan  $TiO_2$  boya üretiminde pigment olarak değerlendiriliyordu.

Ancak Hunter prosesi büyük ölçekli üretim için uygun değildi. Büyük hacimli üretime imkan tanıyan prosesin mucidi Dr. Wilhelm Kroll dur. Kroll prosesinde redükleyici madde Na yerine Mg'dur.



# titanyum

Halen kullanılmakta olan cevherinden Ti metal üretim yöntemi Kroll prosesinin bir versiyonudur. Bu prosese sadece bir vakum damıtma adımı eklenmiştir.

Ti, uzun yıllar havacılık malzemesi olarak kullanılmıştır.

Zamanla korozyon dayanıklılığı ön plana çıkmış ve enerji sektöründe buna uygun alanlarda değerlendirilmiştir.

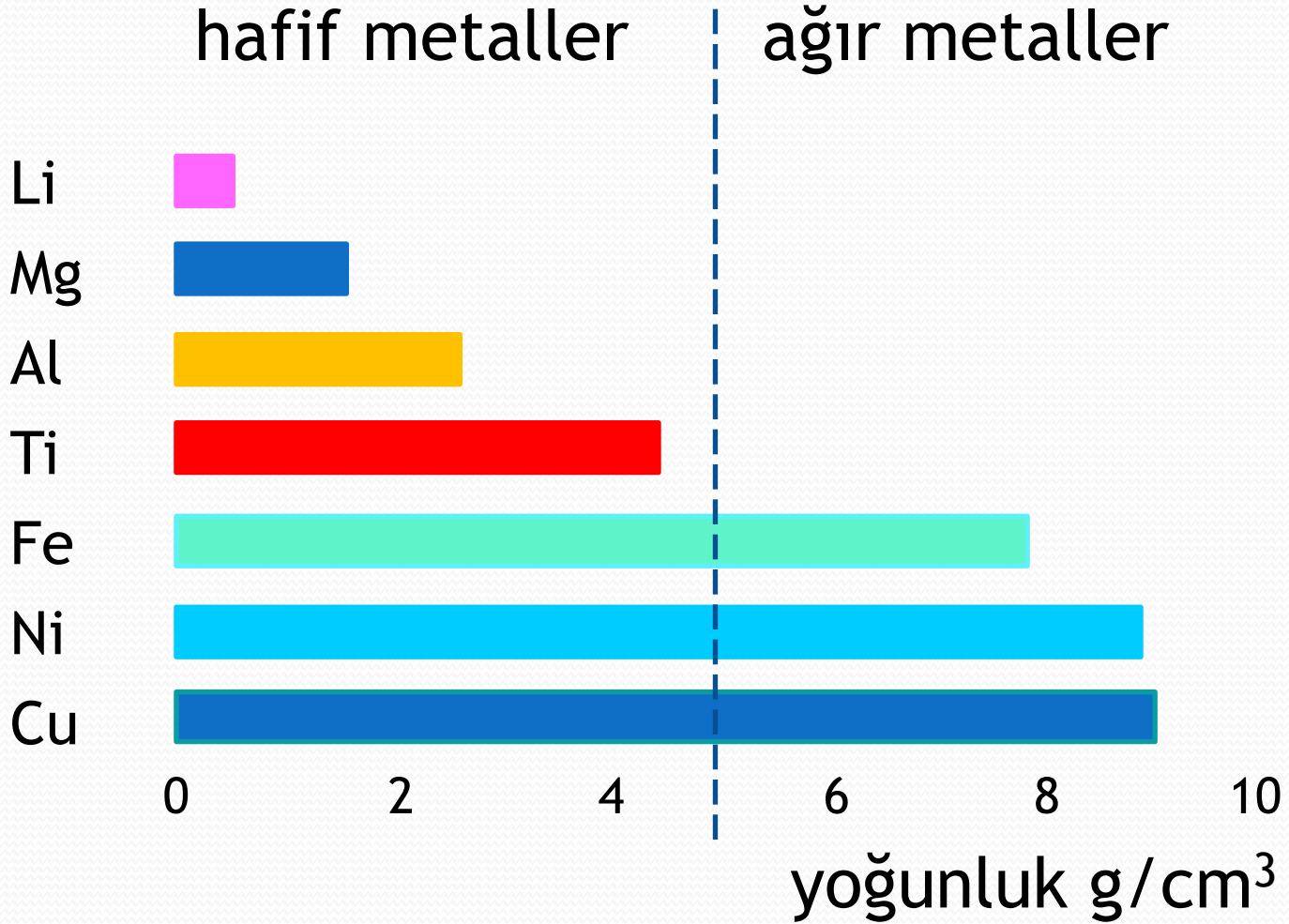
Daha sonra implant malzemesi olarak biyo-medikal alanda kendine yer edinmiştir.

Golf sopaları, tenis raketleri ve bisiklet gibi performanslarında da tercih edilmiştir.

Titanyumun otomotiv ve inşaat sektörlerinde de uygulamalarına rastlanabilir.

Diğer metallerde alerjisi olanlar için takı-saatlerde kullanılmaktadır.

# Titanyumun üstünlükleri



# Titanyumun üstünlükleri

Deniz suyu ve bir çok korozyif koşula dayanıklı

Yüksek korozyon direnci

Düşük yoğunluk

Biyo uyumluluk

TİTANYUM

Yüksek spesifik mukavemet

Manyetik değil

Çelikten daha yüksek ve alüminyumun 3 katı

# Titanyum

- Düşük yoğunluk:  $4.5 \text{ g/cm}^3$
- Yüksek Mukavemet/ağırlık ve tokluk; çelik kadar mukavemetli ve %45 daha hafif
- Alüminyum ve vanadyum ile alaşımlandığında çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı
- $\sigma_{\zeta} = 270-750 \text{ MPa}$ ; alaşımları  $\sigma_{\zeta} = 350-1200 \text{ MPa}$
- $\sigma_a = 165-485 \text{ MPa}$ ; alaşımları  $\sigma_a = 200-1170 \text{ MPa}$
- $E \gg 110 \text{ GPa}$  /  $G \gg 45 \text{ GPa}$
- Isıl işleme geniş yelpazede mekanik özellikler
- Yüksek Ergime noktası:  $1668^\circ \text{ C}$

# Titanyum

- 480°C'ye kadar sıcaklığa dayanım/ $T > 480^{\circ}\text{C}$ : oksit titanyumda çözünür ve gevrekliğe neden olur.
- Mükemmel korozyon direnci: yüzeyde çok ince koruyucu bir oksit filmi
- Biyo uyumlu
- asit ve alkalilere Al, Fe ve Mg'dan daha dayanıklı
- Mükemmel yüksek sıcaklık özellikleri
- Yüksek sürünme direnci
- Şok/darbe direnci
- Düşük ısıl genleşme
- Toksik değil



# Titanyum alaşımları

O, N, C ve H ile kolayca reaksiyona girer.

Çok reaktif olduğundan cevherlerinin çıkarılması ve üretimi güç; bu nedenle de pahalı.

- Saf titanyum £ 8000/ton
- Titanyum alaşımları  
£ 20000-30000/ton
- Alüminyum alaşımları ve çelikler  
£1,000 - £2,000/ton

Maliyetin göz ardı edilebileceği kritik yapısal uygulamalarda çoğunlukla işlem alaşımı formlarında kullanılır. %80'i havacılıkta!

# titanyum

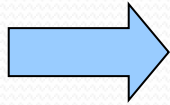
Dünya titanyum üretimi ve ticaretinde başı çeken ülkeler

Avustralya,  
Güney Afrika Cumhuriyeti,  
Sri Lanka ve  
B.D.T.'dir.

Ülkemizde titanyum mineralleri üretilmemekte,  
ihtiyaç ithalatla karşılanmaktadır.

# Titanyum üretimi

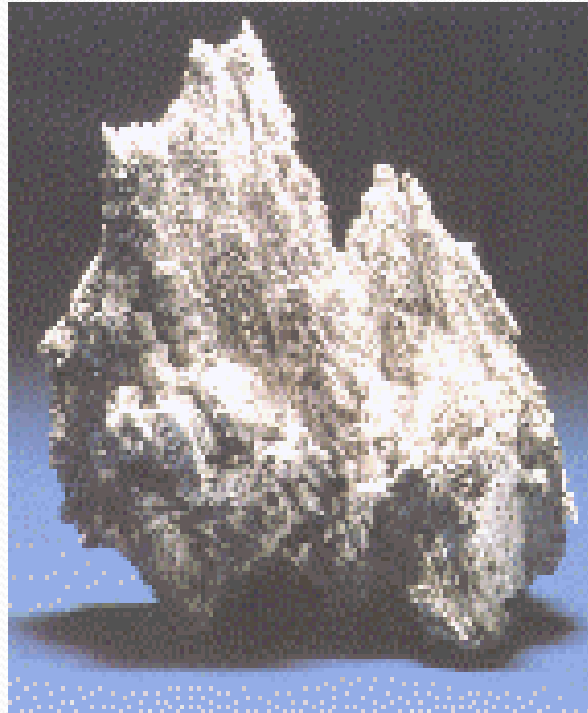
Rutil



Sünger Ti



Ti ingot



# Titanyum üretimi

- Titanyum ve karbon bir arada ısıtıldığında Titanyum karbür (TiC) oluşur.
- pik demirin üretiminde olduğu gibi Ti'un oksitli cevheri (rutil) yüksek fırında karbon ile redüklenererek üretilemez.
- Bu şartlarda saf titanyum elde etmek imkansızdır. Ayrıca, karbürün varlığı metali çok gevrek yapar.
- $TiO_2$  kovalent bağlıdır ve bu nedenle elektroliz yöntemi ile de elde edilemez.
- Bu nedenle redükleme işi için farklı bir redükleyici kullanmak gerekir.

# Titanyum üretimi

Titanyum üretiminin %99'u Kroll prosesi ile yapılır:

Titanyum  
oksit



Titanyum  
klorür



Titanyum

**TiO<sub>2</sub> karbon  
ve klor ile  
birlikte  
ısıtılır**

**TiCl<sub>4</sub> ergimiş Mg  
ile redüklenir ve  
Mg serbest kalır!**



# Titanyum üretimi

Ti oksitli cevheri rutilden ( $\text{TiO}_2$ ) Kroll prosesi ile elde edilir.

Rutil ( $\text{TiO}_2$ ) klor gazı ( $\text{Cl}_2$ ) ve kok ile birlikte yaklaşık  $900^\circ\text{C}$ 'de ısıtılır.



Renksiz  $\text{TiCl}_4$  elde edilir.

Cevherde diğer metaller de bulunduğundan başka metal klorürler de oluşur.

# Titanyum üretimi

Sıvı  $TiCl_4$  asal gaz (argon) ortamında ya Mg ya da Na ile reaksiyona sokulur.

sünger Ti elde edilir.



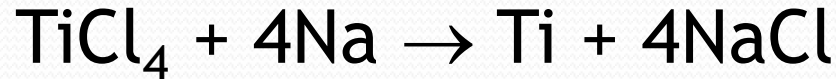
Na ve Mg geri kazanılır.

Çok saf sıvı  $TiCl_4$  argon veya azot atmosferinde kısmi distilasyon yöntemi ile diğer metal klorürlerden ayrılır ve kuru tanklar içinde stoklanır.

# Titanyum üretimi

## Sodyum ile redüksiyon (İngiltere'de)

TiCl<sub>4</sub> çok saf sodyumun yaklaşık 550 °C'ye ısıtıldığı bir reaktör içine ilave edilir. Bu süreç tamamen asal argon gaz atmosferinde gerçekleştirilir. TiCl<sub>4</sub>, Na tarafından redüklenir.



Bu reaksiyon sırasında sıcaklık ~1000 °C'ye çıkar. Reaksiyon tamamlandıktan ve malzemeler soğuduktan sonra (süreç birkaç gün devam eder!), karışım kırılır ve NaCl'u yıkamak için seyreltik HCl asit ile yıkanır

# Titanyum üretimi

*Magnezyum ile redüksiyon (İngiltere dışında her yerde)*

Yöntem Na ile uygulanana benzer. Bu kez redükleyici Na yerine Mg'dur.



MgCl<sub>2</sub> Titanyumdan düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta distilasyon ile ayrılır.

# Titanyum üretimi

Vakum ark rafinasyon (VAR) yöntemi  
Sünger Ti ve alaşım elementleri karıştırılır.  
Hidrolik preslerde briketler haline getirilir.  
Briketlerin yapılmasında işletme geri dönüşleri  
ve hurda da kullanılabilir.  
Briketler birinci ergitme elektrodu yapmak üzere  
birbirlerine birleştirilir.  
Elde edilen elektrod vakum ark rafinasyon  
ocağında iki veya üç kez ergitilerek titanyum  
ingotlar üretilir.

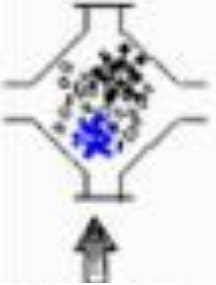


# Titanyum üretimi

Sünger Ti



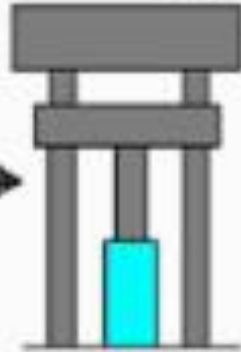
karıştırma



Alaşım ilavesi

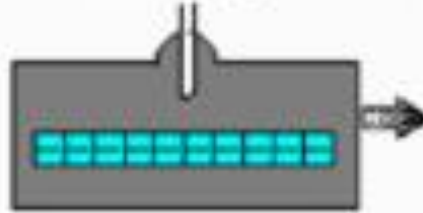


presleme

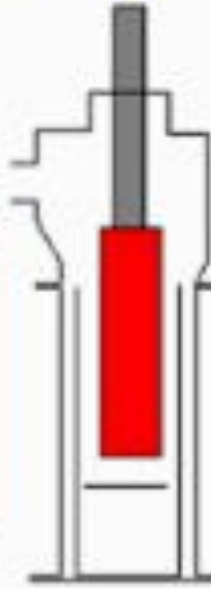


briket

birleştirme



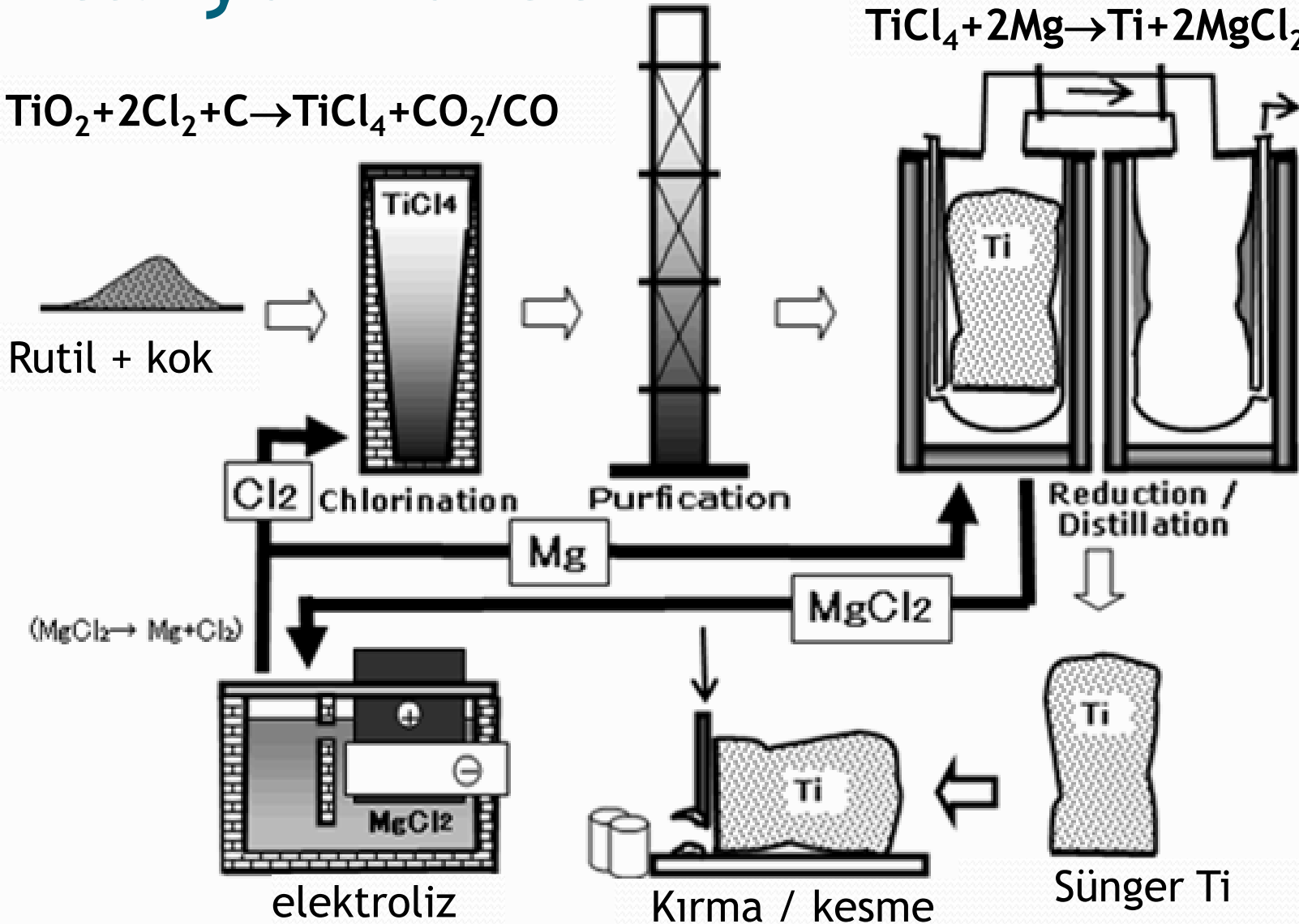
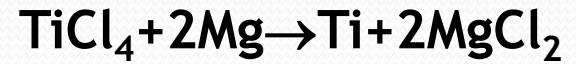
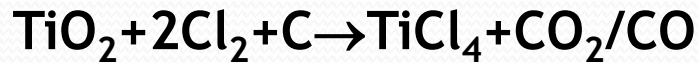
Birinci ergitme ikinci ergitme



ingot



# Titanyum üretimi



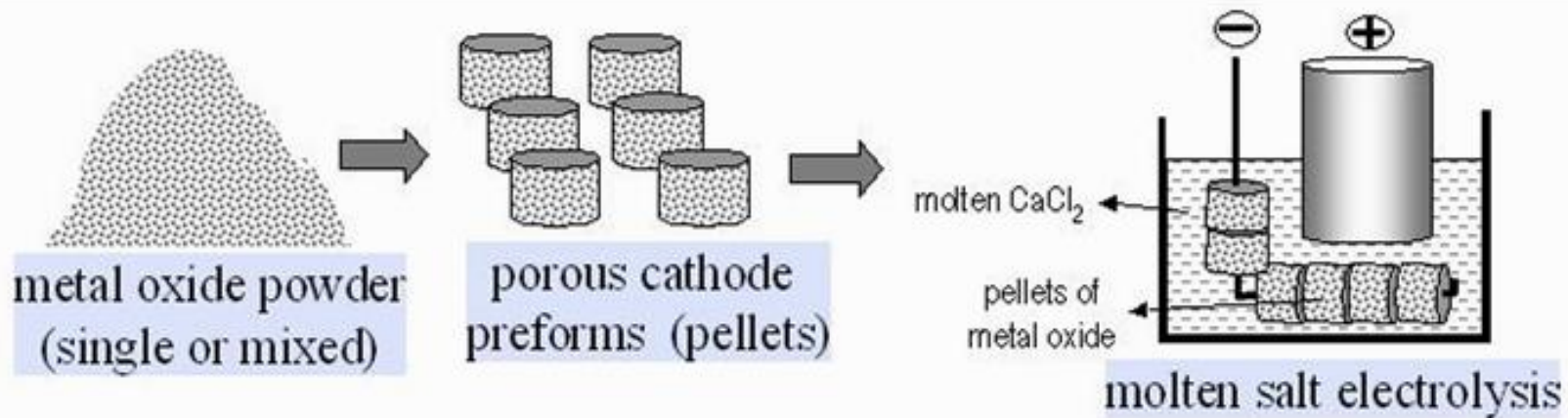
# Titanyum üretimi-FFC prosesi

- Daha temiz, daha seri, daha ucuz!
- $\text{TiO}_2$ 'deki oksijeni almak için elektroliz uygulanır. Sünger Ti metal elde edilir.

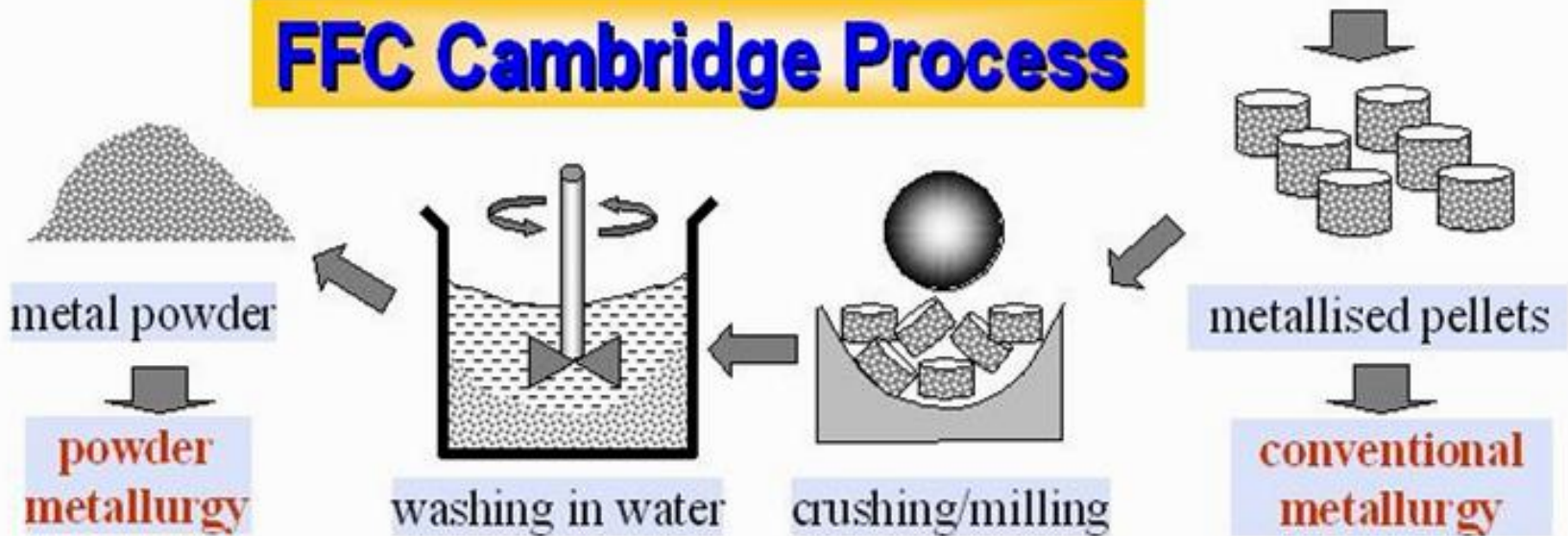


- Titanyum dışındaki bazı metallerin üretiminde yaygındır.
- Bu proses ile oksit karışımlarından doğrudan alaşım elde edilmesi de mümkündür. Mesela  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  karışımından NbTi süperiletkeni üretilmektedir.

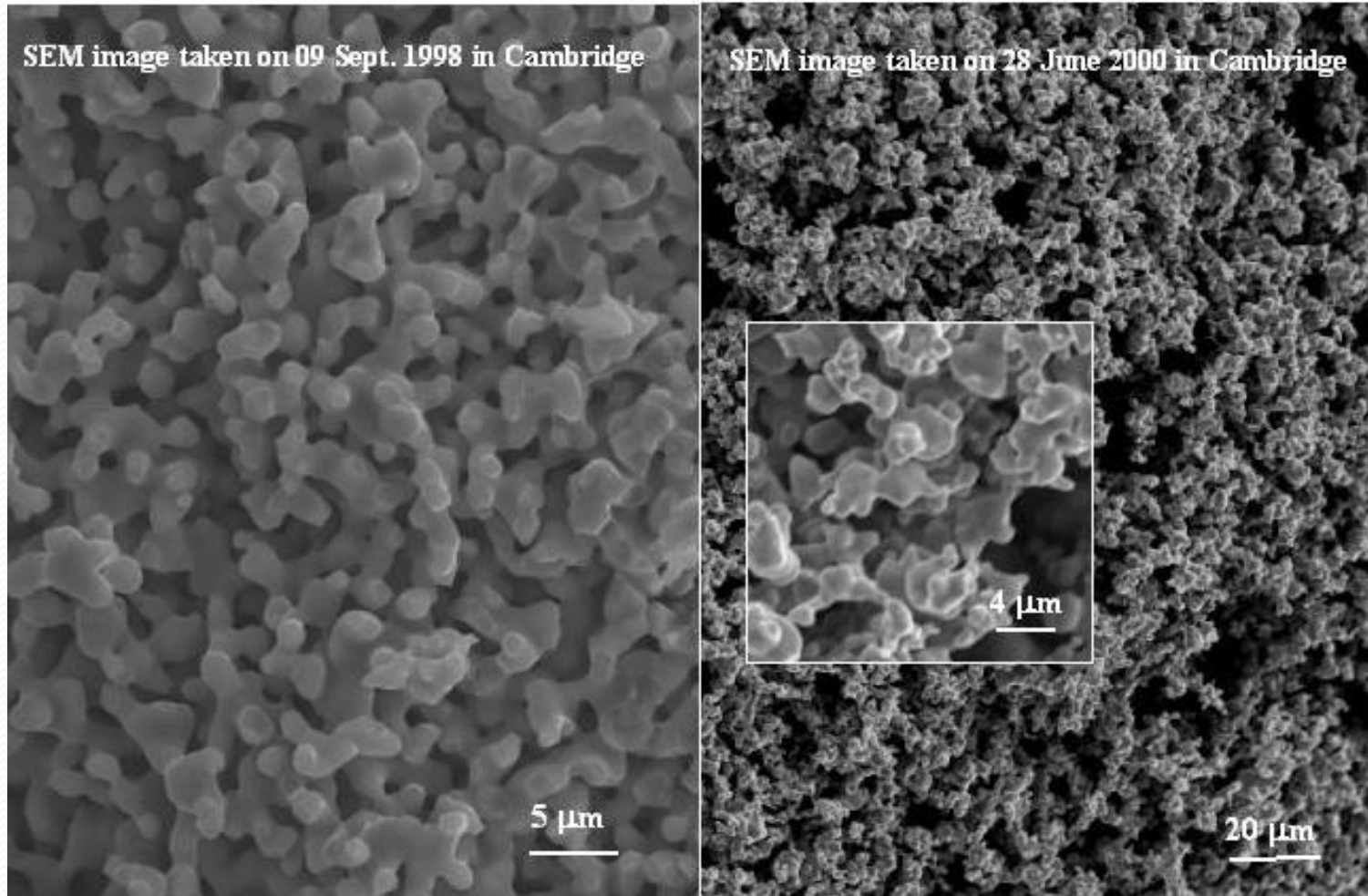
# Titanyum üretimi-FFC prosesi



## FFC Cambridge Process



# Titanyum üretimi-FFC prosesi

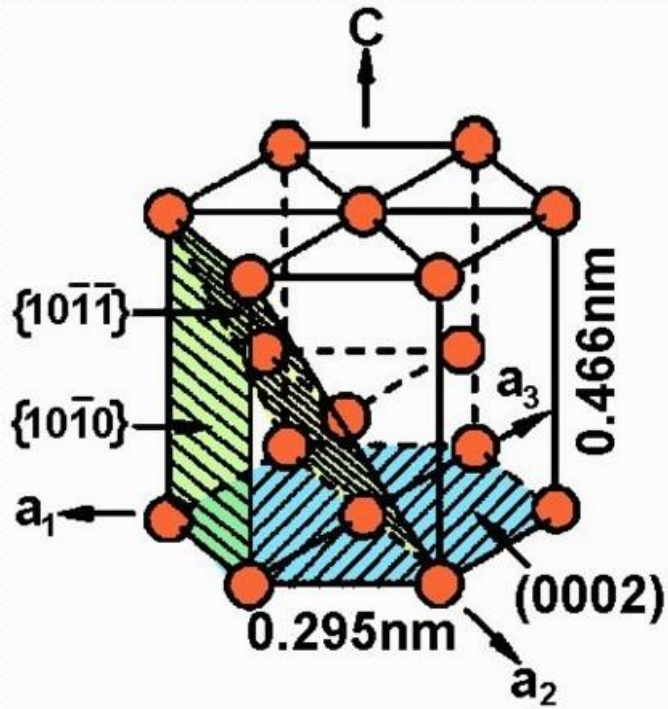




# Saf titanyum

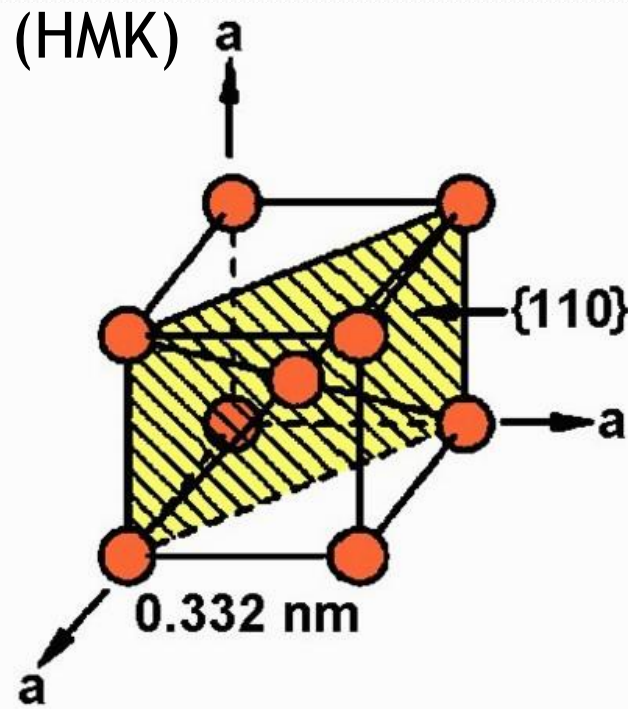
- $< 882^{\circ}\text{C}$  ( $\beta$  geiş sıcaklığı altında):  $\alpha$  fazı
- $> 882^{\circ}\text{C}$  ( $\beta$  geiş sıcaklığı üstünde):  $\beta$  fazı

$\alpha$  fazı: Sıkı paket hekzagonal



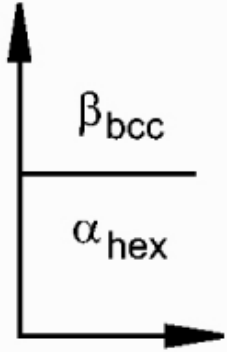
$$6 \text{ atom} / 0.106 \text{ mm}^3 = 56,6$$

$\beta$  fazı: Hacim merkezli kbik (HMK)



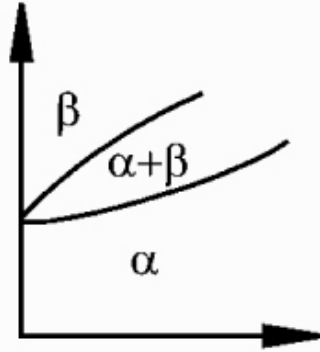
$$2 \text{ atom} / 0.0366 \text{ mm}^3 = 54,6$$

# Alaşım elementlerinin etkisi



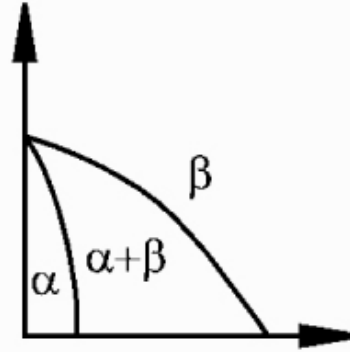
Ti

Nötr



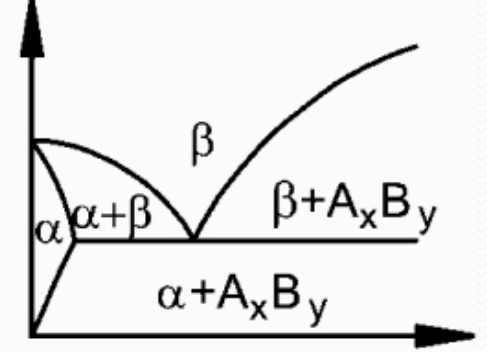
Ti

$\alpha$  yapıcı



Ti

$\beta$  yapıcı  
(izomorf)

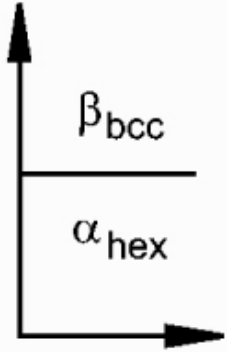


Ti

$\beta$  yapıcı  
(ötektoid)

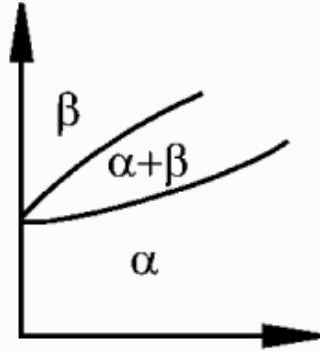
- Alaşım elementleri  $\beta$  geçiş sıcaklığını etkiler!
- $\alpha$  yapıcı elementler:  $\beta$  geçiş sıcaklığını yükseltir!
- $\beta$  yapıcı elementler:  $\beta$  geçiş sıcaklığını düşürür!
  - izomorf- katı eriyikte tamamen çözünenler
  - ötektoid - metaller arası bileşik yapanlar

# Alaşım elementlerinin etkisi



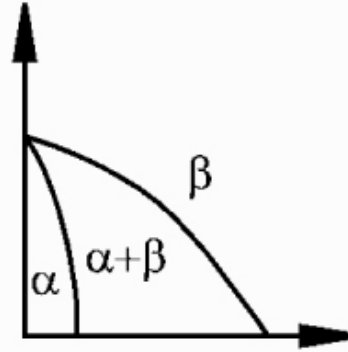
Ti

Nötr



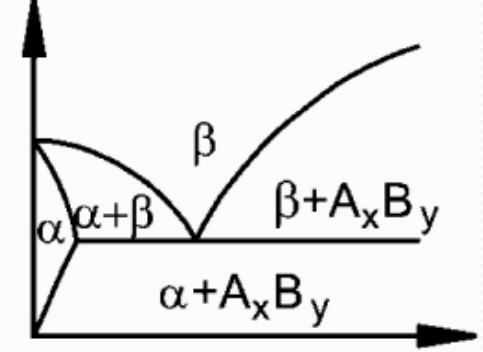
Ti

$\alpha$  yapıcı



Ti

$\beta$  yapıcı  
(izomorf)



Ti

$\beta$  yapıcı  
(ötektoid)

- Nötr elementler– **Zr, Sn, Si**
- $\alpha$  yapıcı elementler– **Al, O, N, C**
- $\beta$  yapıcı elementler –
  - izomorf – **Mo, V, Ta, Nb**
  - ötektoid – **Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, H**

# Titanyum alaşımları

- Saf Ti: sadece  $\alpha$  fazı (oda sıcaklığında!)

- Alaşımlama:

Saf Ti +  $\beta$  yapıcı elementler (az miktarda)

Saf Ti +  $\beta$  yapıcı +  $\alpha$  yapıcı elementler

( $\alpha$  yapıcılar  $\gg$   $\beta$  yapıcılar)

sadece  $\alpha$  fazı (oda sıcaklığında!)

}  $\alpha$  alaşımları

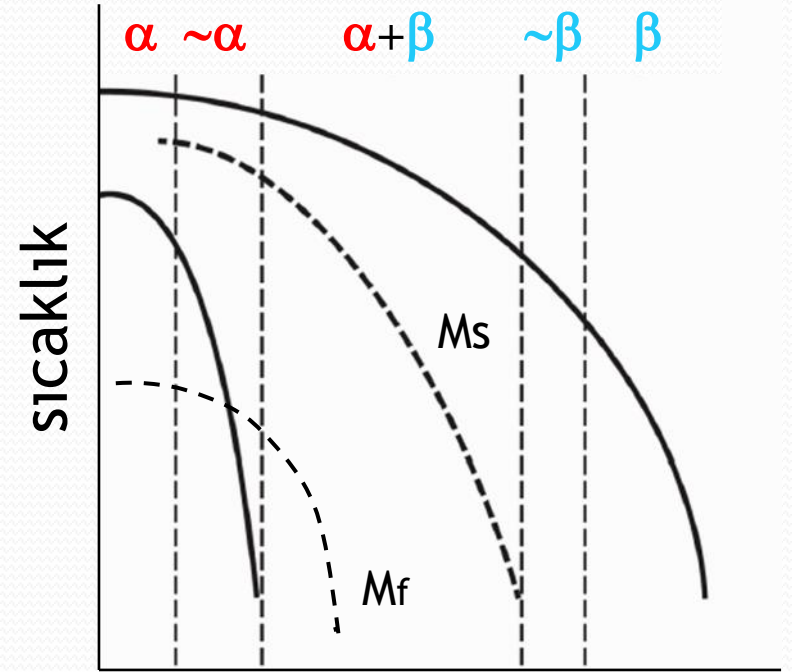
- Artan miktarda  $\beta$  yapıcı elementler  
 $\beta$  fazı kararlı hale gelir!

}  $\alpha+\beta$   
alaşımları

# Titanyum alaşım eşitleri

4 ticari alaşım grubu

- Ticari saflıkta titanyum
- $\alpha$  Alaşımları ve  $\alpha$ -yakın alaşımları
- $\alpha + \beta$  alaşımları
- Yarı kararlı  $\beta$  alaşımları
- Kararlı  $\beta$  alaşımları



←  $\alpha$  yapıcılar  
 $\beta$  Yapıcılar →



# Titanyum alaşım grupları

←  $\alpha$  yapıcı elementlerle artan  $\alpha$  fazı miktarı  
 $\beta$  yapıcı elementlerle artan  $\beta$  fazı miktarı →

$\alpha$	$\sim\alpha$	$\alpha+\beta$	$\sim\beta$	$\beta$
----------	--------------	----------------	-------------	---------

yoğunluk →

ıslıl işlem kapasitesi →

mukavemet →

← sürünme direnci

deformasyon hızı hassasiyeti →

← kaynaklanabilirlik

imal edilebilirlik →

# Titanyum alaşım grupları

$\alpha$	$\alpha$ -yakın/bir miktar $\beta$	$\alpha$ - $\beta$ karışımı	$\beta$ -yakın/bir miktar $\alpha$	$\beta$
Alaşımsız Ti	Ti-5Al-6Sn-2Zr-1Mo-0.2Si	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-4Mo	Ti-6Al-6V-2Sn	Ti-8Mn	Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn
	Ti-8Al-1Mo-1V			Ti-13V-11Cr-3Al
Ti-5Al-2.5Sn				

# titanyum

Ticari saflıkta titanyumun mikroyapısı

Saflık seviyesi: %99-99.5,

yapı: HCP

Başlıca elementler: Fe ve arayer

elementleri: C, O, N, H

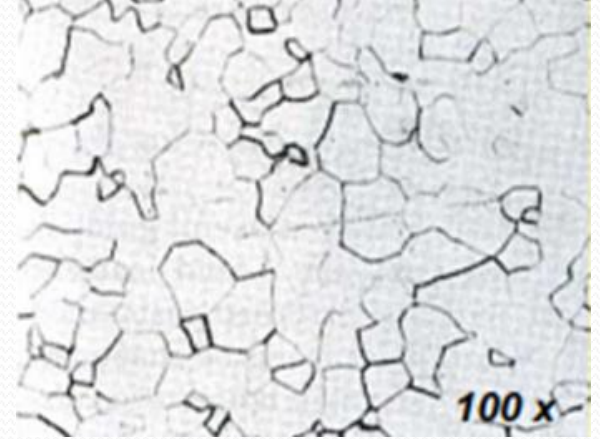
O kalite ve mukavemeti belirler

C, N, H empürite olarak

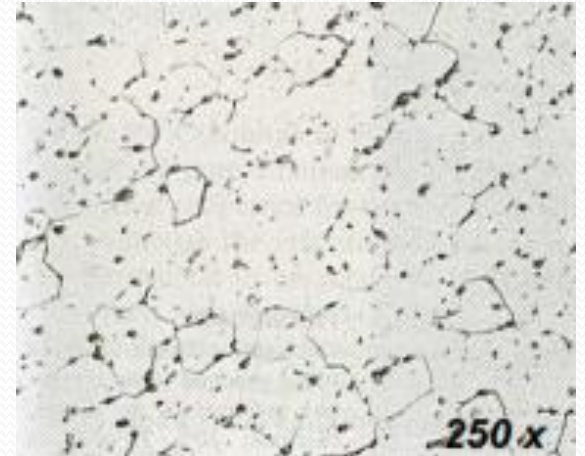
bulunur.

H kırılganlığa yol açar.

HCP  $\alpha$  fazı yapısında dağılmış küresel  $\beta$  partikülleri (empürite olarak %0.3 Fe bulunması sebebiyle!)



HCP  $\alpha$  fazı yapısı



# alfa titanyum alaşımı

## $\alpha$ yapıcılar:

**$\alpha$  yapıcı** elementler  $\alpha$  fazında daha fazla çözüneürler ve  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığını yükseltirler.

**Al, Sn, Ga, Ge gibi yer alan elementleri**

**O, N ve C gibi arayer elementleri**

Her 2 grup katı eriyik sertleşmesi sağlar!

Saf Ti ve  $\alpha$  yapıcı elementler içeren Ti alaşımları **alfa Ti alaşımları** şeklinde adlandırılırlar.

Bu alaşımlar HCP kafes yapısına sahiptir.

## $\alpha$ -yakın alaşımlar

Az miktarda sünek  $\beta$  fazı içeren (+%1-2 kadar Mo veya Si) alaşımlar

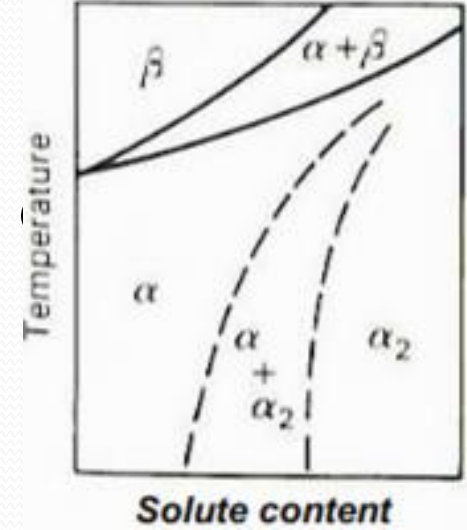
# Alfa titanyum alaşımları

Al ve O başlıca  $\alpha$  yapıcı elementlerdir. Al  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığını yükselterek alanını genişletir.

$\alpha$  yapıcı elementlerin miktarı % 9'u aşmamalıdır; aksi takdirde kırılganlığa neden olurlar.

% 5-6 kadar Al, çok ince dağılımlı  $\alpha_2$  düzenli fazının oluşmasına yol açar. Bu faz matrisle koherandır ve kırılganlık yapar.

$\alpha$  fazını kararlı yapmak ve mukavemet kazandırmak için az miktarda Sn ve Zr ilave edilir.





# Alüminyum eşdeğeri

- Daha az kullanılmakla birlikte  $\alpha$  yapıcılar için de bir amirik bağıntı mevcuttur.
- Al: en önemli  $\alpha$  yapıcılardan biridir.
- $[Al]_{eş} = [Al] + 0,33 [Sn] + 0,17 [Zr] + 10 [O + C + 2N]$
- Al eşdeğeri yaklaşık olarak %9'dan daha büyük olduğunda (bazı kaynaklara göre %5)  $Ti_3X$  metallerarası bileşik partikülleri oluşur:  $[Al]_{eş} < 9$
- Zr'un etkisi bilinmemekle birlikte diğer alaşım elementlerinin miktarına bağlıdır.
- **Oksijen eşdeğeri: %O + 2 %N + 0.67 %C**

# Alfa Titanium alaşımları

Yapı  $\beta$  faz bölgesinden soğutma hızına bağlıdır.

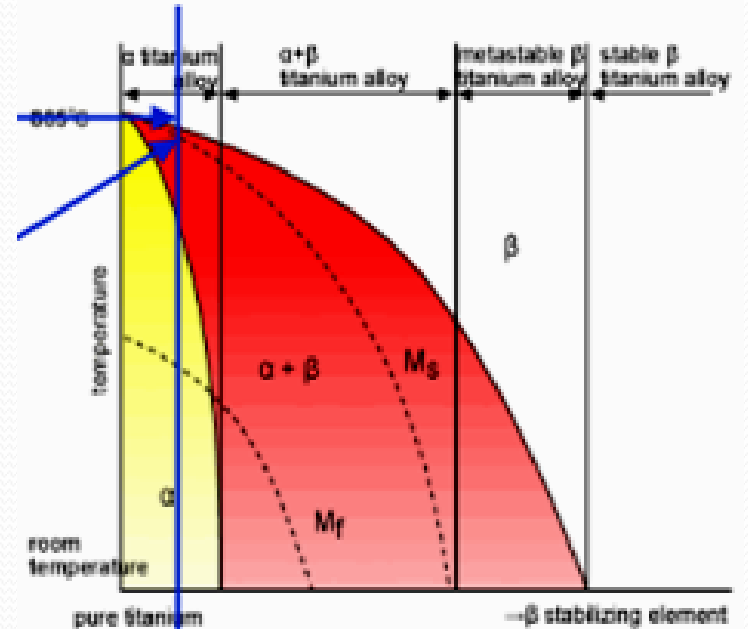
Yavaş soğuma:  $\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü yayınma ile: eş eksenli yapı

Orta hızda soğutma:  $\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü yayınma ile:  
widmanstatten yapısı

$M_s$  altındaki sıcaklıklara Hızlı soğutma:  $\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü  
yayınmasız; masif dönüşüm;  
iğnesel martensit yapısı:

$\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü yayınma ile

$\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü yayınmasız



# Alfa Ti/alfa-yakın alaşımları

Ortalama mukavemet

İyi bir kırılma tokluğu

İyi sürünme direnci

Mukavemet O ve Al miktarlarına bağlı (Al < %5-6)

Al ortalama yoğunluğu düşürür.

Kolayca kaynaklanabilirler

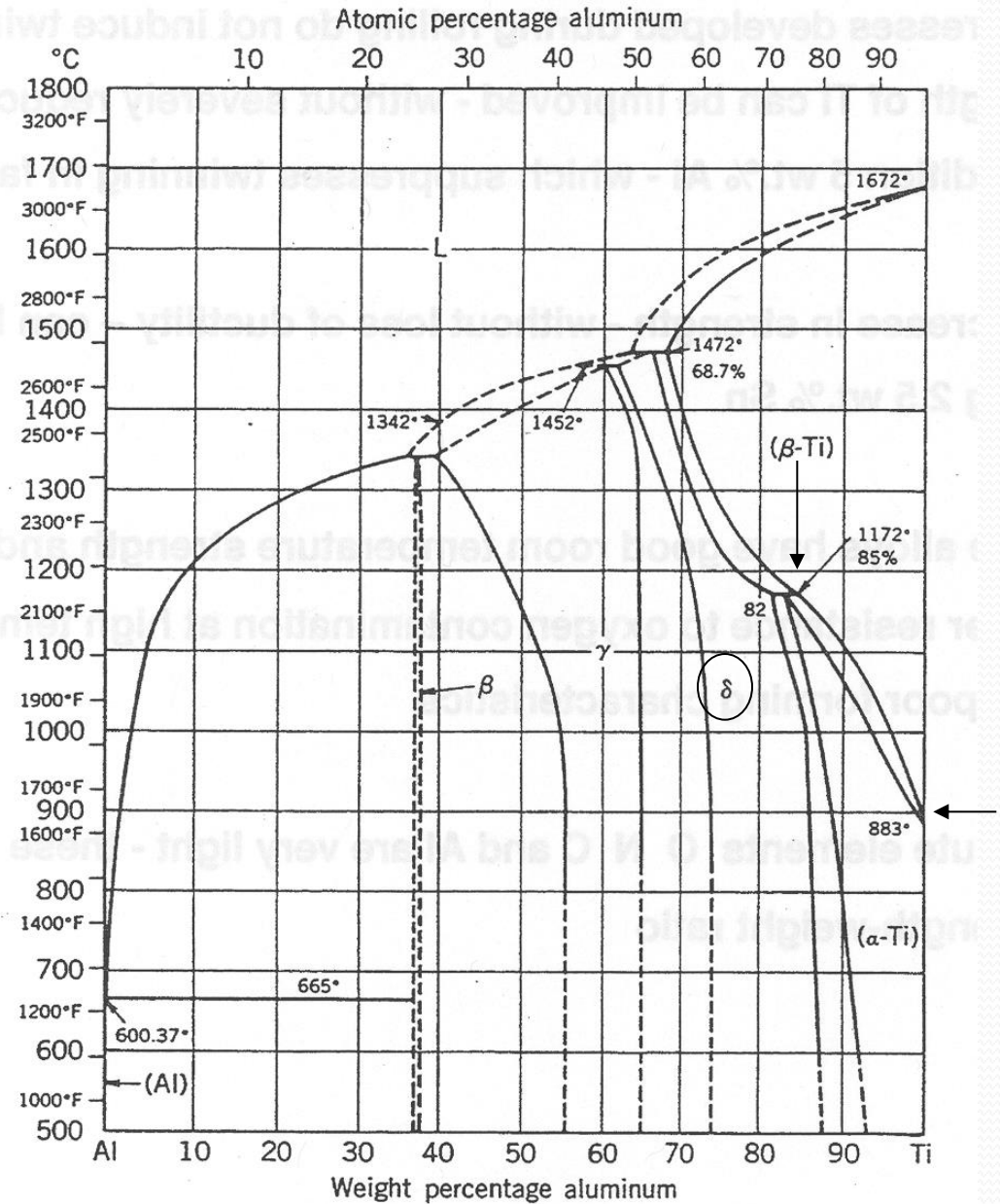
Ve ısı işlem gerektirmezler.

fakat  $\alpha$ -yakın alaşımlar az miktarda sünek  $\beta$  fazı içermeleri sayesinde ısı işlem uygulanabilirler ve sıcak dövülürler.

Yapı hekzagonal  $\alpha$ 'dan ibarettir.

600°C'ye kadar yüksek mukavemet ve oksidasyon direnci.

# Ti-Al faz sistemi



# Ti-Al faz sistemi

Al, Ti alaşımlarında en çok ve sık kullanılan alaşım elementidir.

Al,  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığını yükselten ve hem  $\alpha$  hem de  $\beta$  içinde ciddi miktarda çözünebilen yegane elementtir.

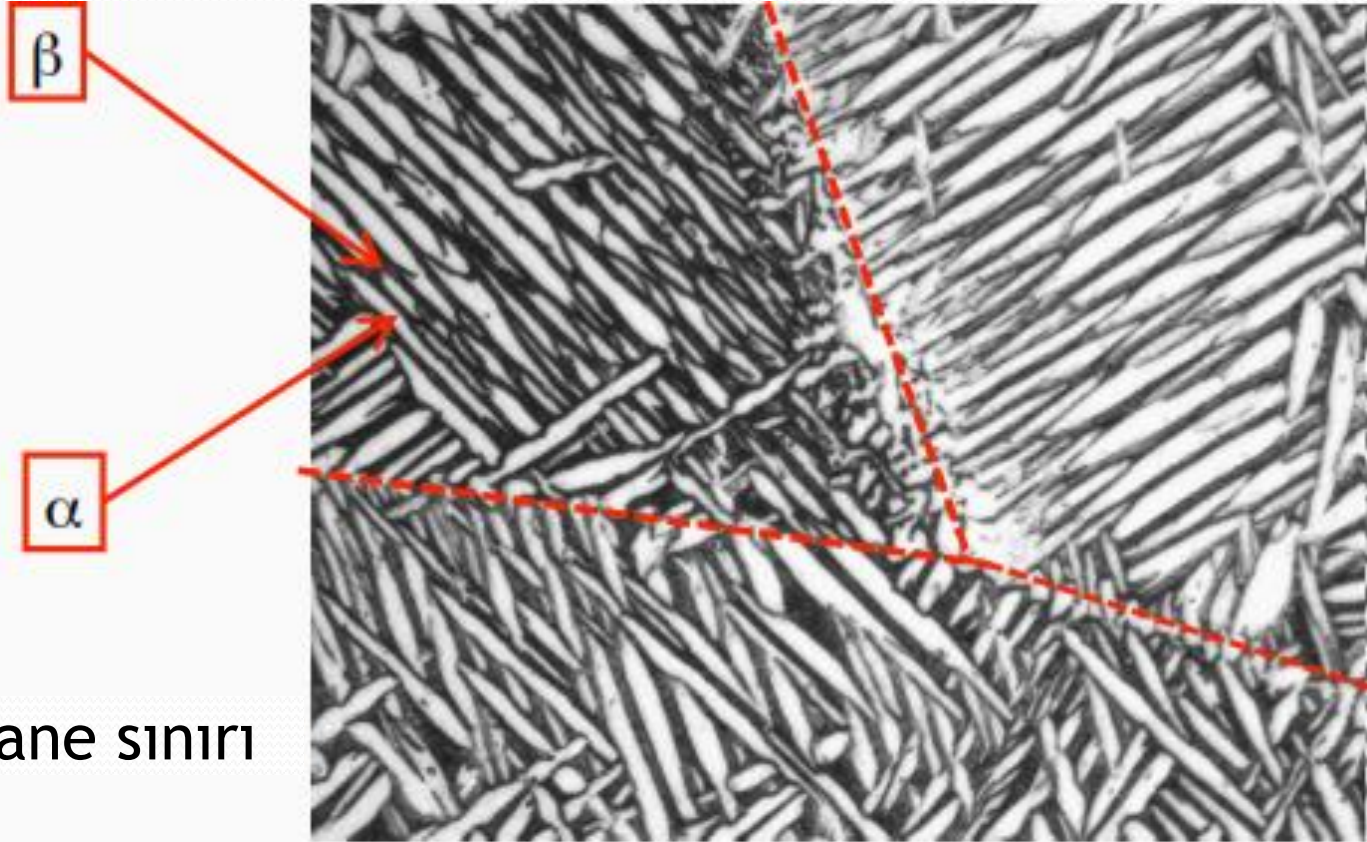
Yüksek miktarda Al hem mukavemeti hem de  $600^\circ\text{C}$ 'ye kadar oksitlenme direncini arttırır.

Al  $\alpha$ -Ti içinde %16'ya kadar çözünür ve  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığını  $882^\circ\text{C}$ 'den  $1172^\circ\text{C}$ 'ye yükseltir.

Ancak, %16 Al içeren alaşımda soğuma sırasında kırılđanlık yapan  $\delta$  fazı çökeler. Bu nedenle  $\alpha$  alaşımlarında Al miktarı %7'den azdır.



# $\alpha$ -yakın titanyum mikroyapısı



$\beta$  Fazı tane sınırı



# Alfa + beta alaşımları

## **$\beta$ yapıcılar**

$\beta$  İzomorf elementleri (tamamen kararlı  $\beta$ )

Mo, V, Nb ve Ta

$\beta$  Ötektoid yapıcı elementler (kısmen kararlı  $\beta$ )

Fe, Cr, Mn, Co, Cu, Si ve H

Bu elementler  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığını düşürürler ve daha yüksek konsantrasyonlarda tekrar yükseltirler.

Bazı elementler ise nötr'dür:

Zr, Hf ve Sn

# Alfa + beta alaşımları

## **$\beta$ yapıcılar**

$\beta$  İçeren Ti alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilir.

Bütün  $\beta$  alaşımları az miktarda  $\alpha$  yapıcı bir element olan Al içerirler.

En  $\beta$  kararlı alaşımlar Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr ve Ti 15V-3Cr-3Al-3Sn alaşımlarıdır.

$\beta$  Alaşımları çok yüksek Şekil verilebilirlik özelliğindedir.

$\beta$  Düşük sıcaklık uygulamaları için uygun değildir.

$\alpha$  Alaşımları ise krojenik uygulamalara aday malzemelerdir.

# Alfa + beta alaşımları

Oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\beta$  fazı bir arada bulunur.

Oda sıcaklığında %10-50 kadar  $\beta$  yapıcı elementler içerir.

%20'den daha fazla  $\beta$  yapıcı içerdiklerinde kaynaklanabilirlik azalır. Çünkü hızlı soğutma sonrasında  $\beta$  HCP martensite dönüşür.

Bu alaşımlara katı eriyik sertleşmesi sağladığı için  $\alpha$ -yapıcı Al ilave edilir.

V sünek  $\beta$  fazını kararlı kılar ve sıcak deformasyon kabiliyeti kazandırır.

En önemli  $\alpha+\beta$  alaşımı Ti-6Al-4V alaşımıdır.

Yüksek mukavemetli  $\alpha+\beta$  alaşımları arasında Ti-6Al-6V-2Sn ve Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo sayılabilir. Bu alaşımlar Ti-6Al-4V'dan daha mukavemetlidir ve daha kolay ısıl işlem uygulanabilir.

# $\alpha+\beta$ titanyum alaşımları

Orta-Yüksek mukavemete

Yorulma direncine

Sıcak deformasyon kapasitesine ve

425°C'ye kadar sürünme dayanımına sahiptir.  $\beta$  veya  $\alpha+\beta$  faz bölgelerinden hızlı soğutmadan sonra oda sıcaklığında  $\beta$  fazı kalması için %4-6 kadar  $\beta$  yapıcı ilave edilir.

$\alpha$  Alaşımlarına göre daha yüksek mukavemet ve sünekliğe sahiptirler.

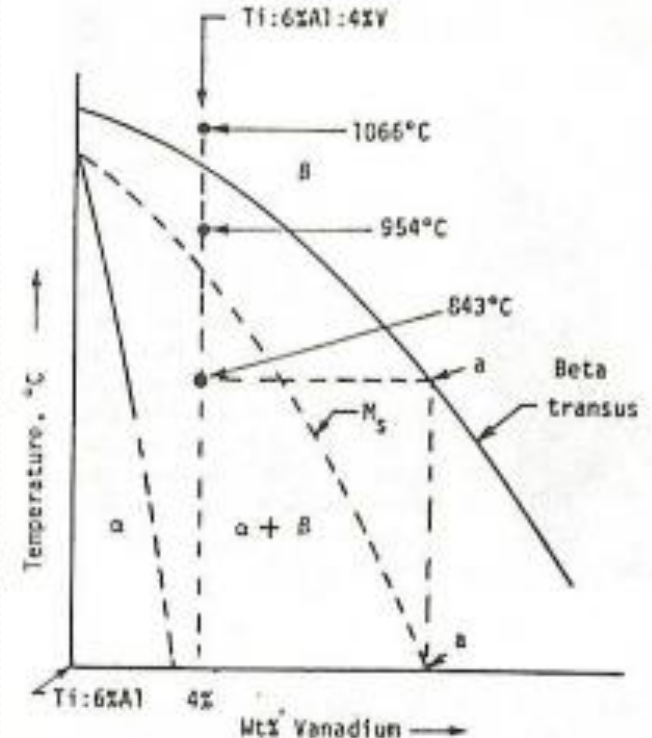
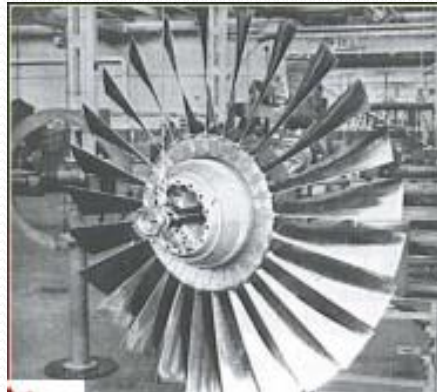
Kolay şekil verilebilir

Isıl işlem uygulanabilir

En popüler alaşım:

Ti-6Al-4V

Dövme Ti-6Al-4V  
kanatları





# $\alpha + \beta$ titanyum alaşımları

$\alpha$  Alaşımlarının mukavemeti  $Ti_3Al$  oluşumu riski ve yeralan elementlerinin sertleştirme kapasitesi sınırlı olduğu için fazla arttırılamaz.

$\alpha + \beta$  alaşımlarında ise,

katı eriyik sertleşmesi,

tane boyutu küçültmesi, ve

martensitik dönüşümle: ikinci bir faz  $\rightarrow$

çökeltme sertleşmesi

$\alpha + \beta$  alaşımlarında çökeltme sertleşmesi ikinci fazın oranı daha yüksek olduğu için daha etkindir.

Yüksek mukavemet gerektiğinde  $\alpha + \beta$  alaşımları tercih edilir.

# $\alpha + \beta$ titanyum alaşımları

Isıl işlem	akma (MPa)	ekme (MPa)	Uzama
$\beta$ : /1000°C- 0.5st + havada soğutma	910	1060	10
$\alpha + \beta$ : 700°C- 2st	990	1000	14.5
$\alpha + \beta$ : 900°C- 0.5st su verme 500°C 8st yaşlandırma	1100	1300	13 çökeltme sertleşmesi + tane küçülmesi sertleşmesi

# $\alpha + \beta$ titanyum alaşımları

## Alaşım tasarımı

$\alpha$  Fazını kararlı kılmak ve bu fazı sertleştirmek için %6-9 kadar  $\alpha$  yapıcı element +

$\beta / \alpha + \beta$  faz bölgesinden su verildiğinde Uygun miktarda  $\beta$  oluşturmak için %4-6 kadar  $\beta$  yapıcı element

Tipik bir alaşım: Ti-6%Al-4%V

	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Mo
Katı eriyik sertleşmesi (MPa/ağ%)	19	21	34	46	48	35	14	27
Su vermede $\beta$ oluşumu için gerekli en az alaşım miktarı	14.9	6.3	6.4	3.5	7	9	13	10

# $\alpha + \beta$ titanyum alaşımları

**Ti - 6Al - 4V**

Alüminyum yoğunluğu düşürür.

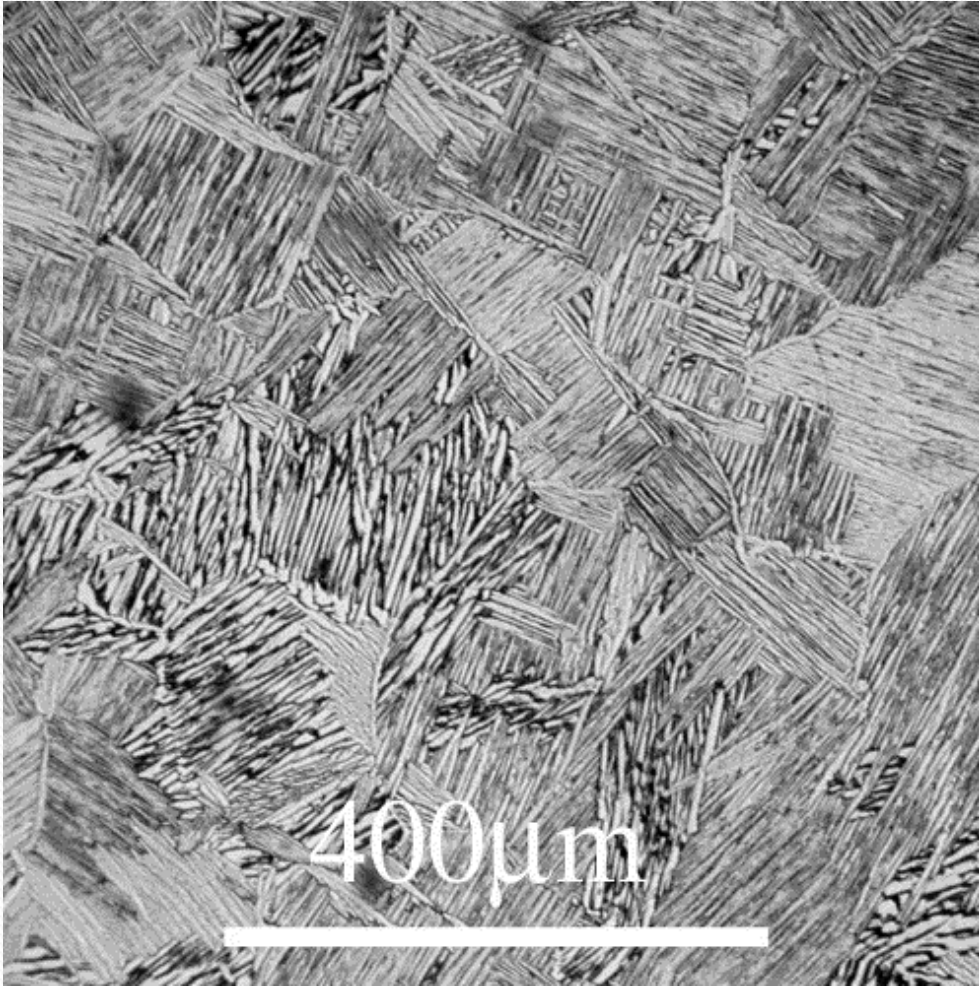
vanadyum  $\beta$  yapar.

Her ikisi de katı eriyik sertleşmesi sağlar

1100 MPa, 300° C'de sürünme direnci yüksek

Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı

# Ti-6Al-4V mikroyapısı



Ti6Al4V alaşımının  
mikroyapısı:  
Dökümden sonra tav  
uygulanmış  
Sepet örgü yapısı



# Yarı-kararlı beta alaşımları

Daha fazla beta yapıcı element

beta  $\rightarrow$  alfa dönüşümü

martensit başlama sıcaklığı

oda sıcaklığının altına düşer.

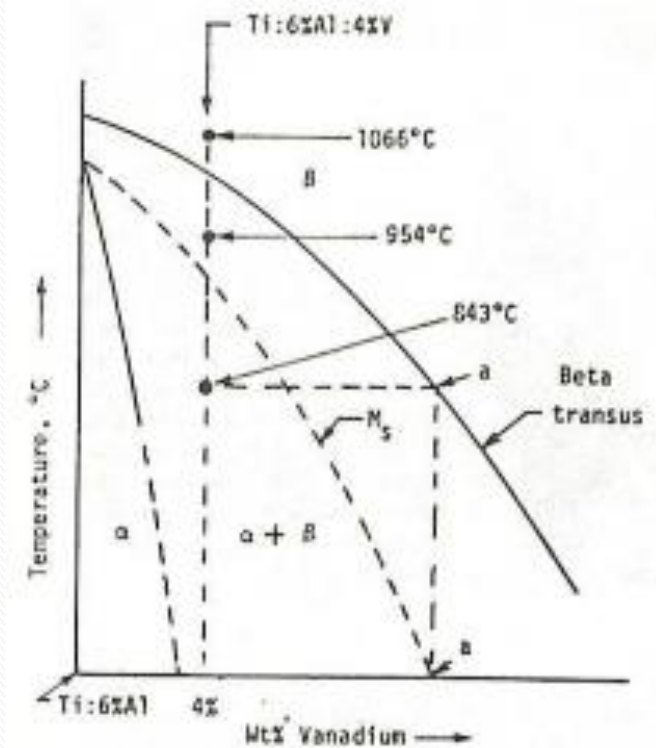
Alfa fazı su verme sırasında

oluşmaz.

Beta geçiş sıcaklığı altındaki

bir sıcaklıkta malzeme

tavlanırsa alfa fazı oluşur.



# Kararlı beta alaşımları

Daha da fazla beta yapıcı element

beta geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının  
altına dūřürülebilir.

Oda sıcaklığına soğutma sonrasında beta fazı  
hala kararlıdır..

# Molibden eşdeğeri

- Mo: en önemli  $\beta$  yapıcı elementlerden biri
- Alaşım elementlerinin faz yapısına etkisi
- $[Mo]_{eş} = [Mo] + 0,67 [V] + 0,44 [W] + 0,28 [Nb] + 0,22 [Ta] + 2,9 [Fe] + 1,6 [Cr] + 1,25 [Ni] + 1,7 [Mn] + 1,7 [Co] - 1,0 [Al]$
- V'un,  $\beta$  yapma kapasitesinin Mo'e eşitlenmesi için Mo'nin en az 1.5 katı kadar ilave edilmesi gerekir.
- Fe Mo'e göre 3 kat, V'a göre 4 kat daha etkili bir  $\beta$  yapıcıdır.
- Molibden eşdeğeri amprik bir değerdir.

# Titanyum alaşımlarında ısıt işlem

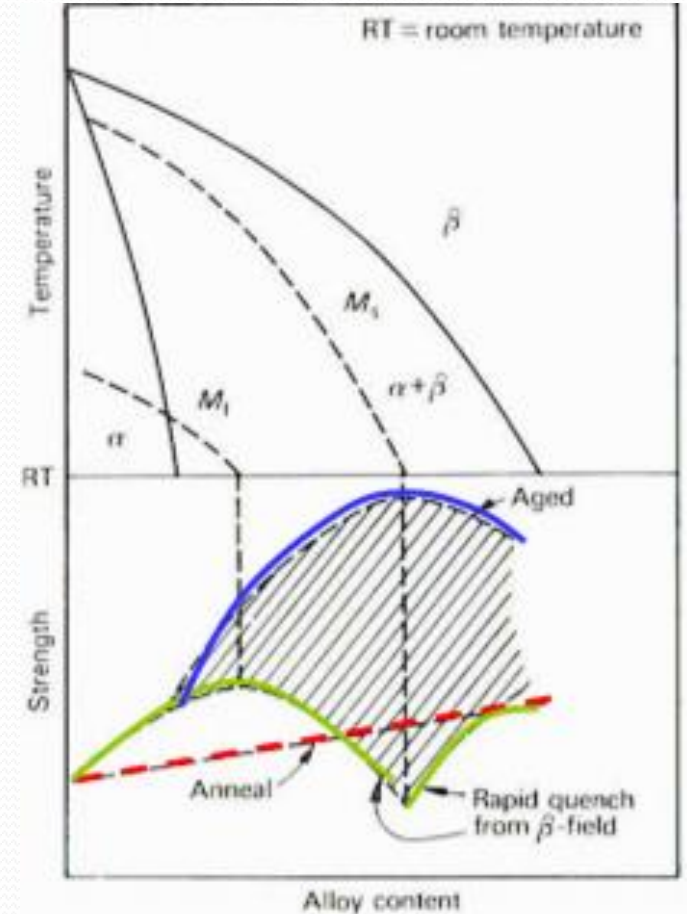
Isıt işlem sadece  $\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümünün gerçekleşebileceği  $\alpha + \beta$  ve  $\beta$  alaşımlarına uygulanır.

$\beta$  faz bölgesinden hızlı soğutma ile martensitik dönüşüm olur ve mukavemet artar.

Az alaşımlı titanyum ile  $\beta$  faz bölgesinden hızlı soğutma ile en yüksek mukavemet elde edilir.

Yüksek alaşımlı titanyumda  $\beta$  faz bölgesinden hızlı soğutma en düşük mukavemeti verir.

Yaşlanmadan sonra en yüksek mukavemete erişilir!



# Titanyum alaşımlarında faz dönüşümleri

## $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümleri

Saf Ti,  $\alpha$  alaşımları ve  $\alpha + \beta$  alaşımları

## **Martensitik dönüşümler**

$\beta$  faz sınırının altında ( $M_s$ 'den itibaren) gerçekleşir.  
hızlı soğutma şartlarında

$\beta \rightarrow \alpha'$  (Hekzagonal) martensit fazı

$\alpha'$  masif (saf Ti ve seyreltik alaşımlar)

$\alpha'$  iğnesel (yüksek alaşımlı alaşımlar)

$\beta \rightarrow$  orthorombic  $\alpha''$  martensiti (distorte yapı, yüksek alaşım)

$\beta \rightarrow$  atermal  $\omega$  fazı :  $M_s$  sıcaklığı oda sıcaklığı altında olan alaşımlarda



# Titanyum alaşımlarında faz dönüşümleri

## $\beta \rightarrow \alpha$ dönüşümleri

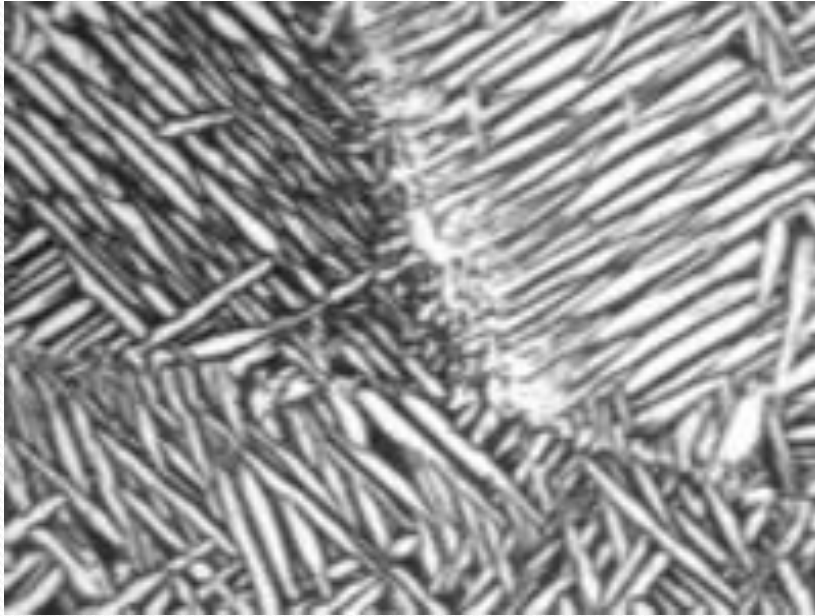
Çekirdeklenme ve büyüme ile (yayınmalı dönüşümler!)

Yavaş soğumada,

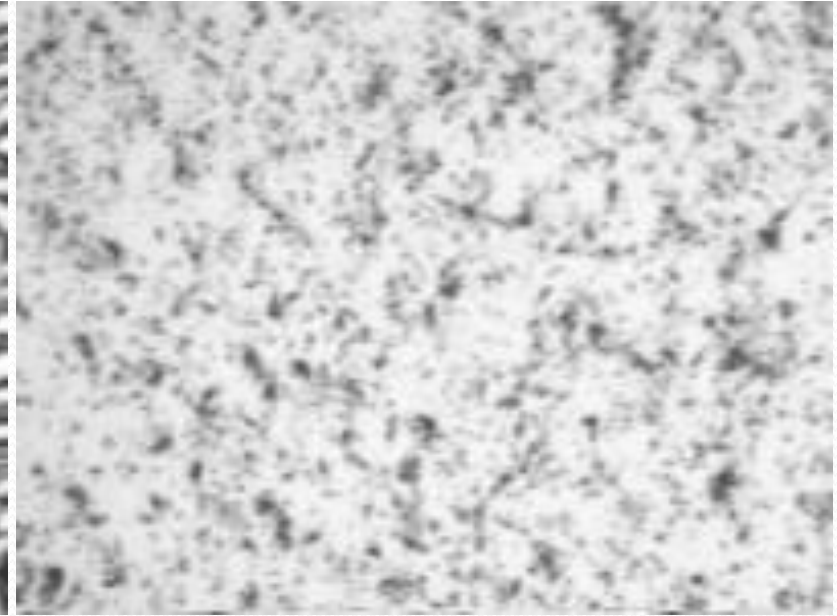
$\alpha$  Fazının  $\beta$  tane sınırlarında çökmesi ile laminer bir yapı

Daha hızlı soğuma: sepet örgü yapısı (Ti-6-4'de olduğu gibi!)

# mikroyapı



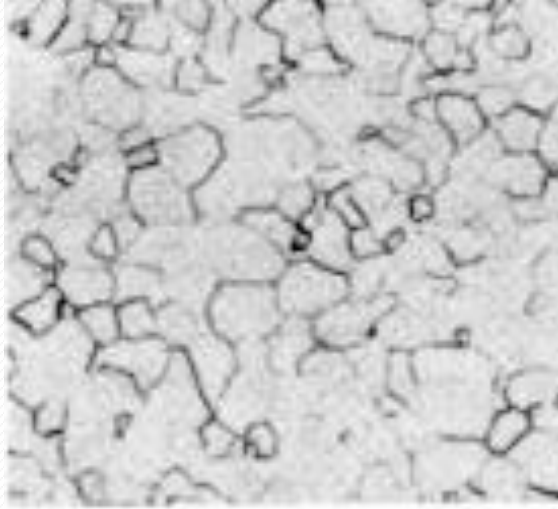
Alfa Titanyum



beta titanyum

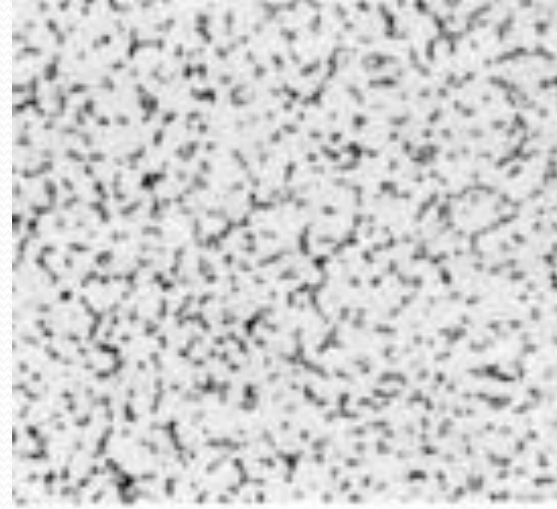
# Titanyum alaşımlarında mikroyapı

Eş eksenli  $\alpha$



(a) | 0.5 mm

$\alpha+\beta$  eş eksenli



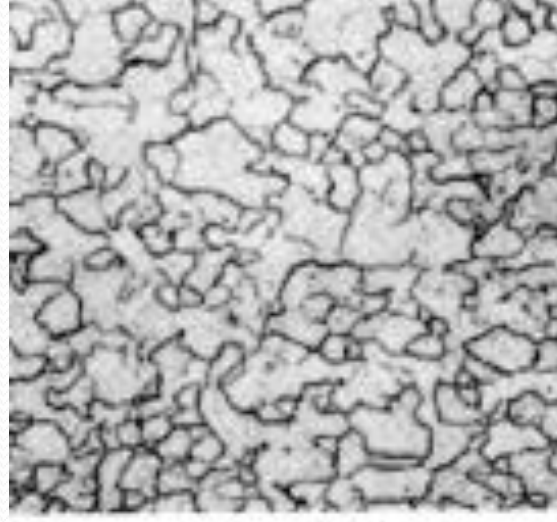
(b) | 50  $\mu$ m

iğnesel  $\alpha+\beta$



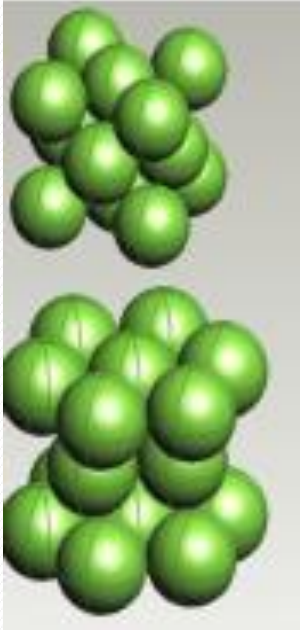
(c) | 50  $\mu$ m

$\beta$  eş eksenli



(d) | 0.5 mm

# Titanyum alaşımlarında mikroyapı

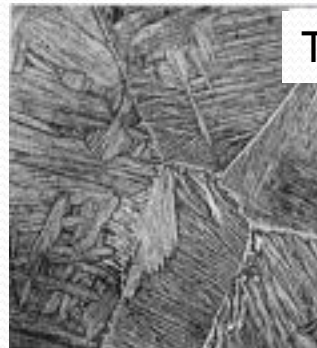
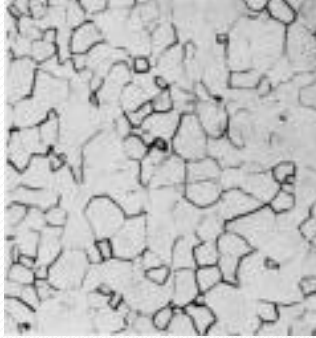


Eş eksenli  $\alpha$

$\beta$

$\alpha, \alpha'$

widmanstten  
yapısı



İğnesel  
martensit yapısı

$\alpha'$  hekzagonal

Ti-6Al-5.5Zr-0.5Mo

$\alpha+\beta$  widmanstten  
(sepet örgü) yapısı

- 700°C'de 1 st tav: eş eksenli  $\alpha$  taneleri
- $\beta$  faz alanından su verilmiş, martensitik  $\alpha$
- Widmanstatten  $\alpha$  plakalarının faz bölgesinden havada soğutulmuş
- $\alpha$ -yakın alaşımı: Widmanstatten  $\alpha$  plakalarının faz bölgesinden havada soğutulmuş :  $\alpha$  plakaları ve az miktarda  $\beta$  fazı

# $\beta$ Titanyum alaşımları

$\alpha/\beta$  faz sınırı üstündeki bir sıcaklıktan su verildiğinde  $\beta$  fazını oluşturmak için  $\beta$  yapıcı elementlerin yer aldığı bileşimler

$M_s$  sıcaklığı oda sıcaklığının altında olması gerekir. Bu alaşımlar oda sıcaklığında yarı kararlı  $\beta$  fazına sahiptir.

Temperleme sırasında  $\alpha + \beta$  fazlarına ayrışır ve ısıl işlemle sertleşmeye imkan tanır.

Alaşım bileşiminde  $\beta$  yapıcı elementlerin miktarının artırılması ile oda sıcaklığında  $\beta$  fazı kararlı hale gelir.



# $\beta$ Titanyum alaşımları

alaşım	uygulamalar
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn (beta III)	Uçak parçaları
Ti-8V-6Cr-4Mo-4Zr-3Al (beta C)	Uçak parçaları, yaylar, petrol, gaz ve jeotermal kuyu boruları
Ti-10V-2Fe-3Al (Ti 10-2-3)	Uçak iniş takımları için yüksek mukavemetli dövme parçalar, profil ve levhalar
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn (Ti 15-3)	Uçak yapısal levhaları, tüpleri,bağlayıcıları
Ti-15Mo-2.7Nb-3Al-0.2Si (Ti-21S)	Yüksek sıcaklık (260-425 C) uygulamaları için Oksidasyon ve korozyon dirençli levhalar jet motoru parçaları
Ti-5Mo-5V-8Cr-3Al (TB2)	Yüksek hız rotorları ve dövmeler
Ti-5Al-5V-5Mo-1Cr-1Fe (VT22)	Yüksek mukavemetli dövme parçalar, uçak iniş takımları

# $\beta$ Titanyum alaşımlarının zellikleri

Yüksek korozyon direnci

biyouyumlu

Çok yüksek mukavemet

Diğer Ti alaşımlarından daha düşük Young Modülü

Isıl işlem uygulanabilir

Kolayca şekil verilebilir

Sınırlı süneklilik

Biyomalzeme olarak kullanılan Ti alaşımları esasen havacılık malzemesi olarak geliştirilmişti (ticari saf Ti ve Ti-6Al-4V)

# Titanyumun sertleştirilmesi

## Arayer oksijen atomları

- Saf Ti'da oksijen %0.18'den 0.4'e arttırılırsa, mukavemet 180 MPa'dan 480 MPa'a yükselir (!)
- Ticari Ti alaşımlarında tipik oksijen miktarı 0.08 - 0.20 % kadardır.
- Daha yüksek oksijen gevreklik yapar.

# Titanyumun sertleştirilmesi

## Katı eriyik sertleşmesi

- $\alpha$  yapıcı elementler (Al, Sn)  $\alpha$  fazının sertliğini arttıırırlar (Ti-5Al-2.5Sn  $\rightarrow$  800 MPa)
- Tamamen çözünebilen  $\beta$  yapıcılar (Mo, Fe, Ta),  $\beta$  fazını sertleştirirler;
- diğerlerinin (Nb) etkisi yok denecek kadar azdır.
- Sertleşme etkisi atomların çapı ve elektron yapısı tarafından belirlenir.
- Sertlik mekanizması: dislokasyonların hareketliliğine engel olurlar.

# Titanyumun sertleştirilmesi

## Metallerarası bileşikler / Çökeltme sertleşmesi

Alüminyum nitürler, karbürler, silisitler ve benzerleri

Çökelti partiküllerinin boyutları ve dağılımı sertleştirme etkisi için kritiktir (orowan mekanizması).



# Titanyumun sertleştirilmesi

## Dislokasyon yoğunluğu ve tane küçültme

Ekstrüzyon ve dövme gibi plastik şekil verme işlemleri dislokasyon yoğunluğunu arttırabilir ve tane küçülmesine yol açabilirler.

Dislokasyonlar diğer dislokasyonların hareketine engel olarak mukavemetin artmasını sağlarlar.

Tane ve alt tane sınırları da dislokasyon hareketine engel olurlar.

şekil verme işlemleri tane büyümesine ve dislokasyon kaybına engel olmak için yeterince düşük sıcaklıkta yapılmalıdır.

# $\alpha+\beta$ alaşımlarının sertleştirilmesi

- Yeterli miktarda Al (veya Sn)  $Ti_3Al$  partiküllerinin oluşmasına yol açarlar (Al > ağ%9)
- $Ti_3Al$  özünme sıcaklığı yaklaşık  $550^{\circ}C$  dir ve son tav sıcaklığı bu sıcaklığın altında olmalıdır.
- $Ti_3Al$  partikülleri de hekzagonal yapıda ve dolayısı ile matrisle koherandır; dislokasyon hareketine engel olarak çökeltme sertleşmesi yaparlar.

# $\alpha+\beta$ alaşımlarının sertleştirilmesi

- $\alpha+\beta$  alaşımlarında tav sırasında elementler 2 faz arasında ayrışır.
- $\alpha$  yapıcılar  $\alpha$ ,  $\beta$  yapıcılar  $\beta$  fazına geçerler.
- Bu sayede ortalama bileşim izin vermediği halde  $\alpha$  fazında yeterli  $\alpha$  yapıcı zenginleşmesi olduğundan  $Ti_3Al$  ökelteleri oluşabilir.
- Faz sınırları dislokasyon hareketlerine engel olurlar.
- Tanecikler küçüldükçe sertleştirme etkileri artar.

# Yarı kararlı $\beta$ alaşımlarının sertleştirilmesi

- Arayer, katı eriyik ve dislokasyon yoğunluğu sertleşmesi
- $\beta$  matristeki faz dönüşümleri ile faz sınırı ve çökeltme sertleşmesi,
  - Faz ayrışması -  $\beta_{\text{fakir}} + \beta_{\text{zengin}}$
  - $\omega$  fazı partikülleri
  - $\alpha$  fazı partikülleri

# özet

- **Titanyum polimorfiktir - 2 kararlı faz**
  - $\alpha$ -phase- HCP
  - $\beta$ -phase- HMK
- **$\beta$  geçiş sıcaklığı altında  $\alpha$  fazı var!**
- **saf Ti - oda sıcaklığında sadece  $\alpha$  fazı var!**
- **$\alpha + \beta$  alaşımları**
  - Oda sıcaklığında  $\alpha + \beta$  karışımı
  - $\alpha$  oluşumu engellenemez!
- **Yarı kararlı  $\beta$  alaşımları**
  - Su vermeden sonra sadece  $\beta$  fazı
  - Tavlama ile  $\alpha$  fazı oluşur!



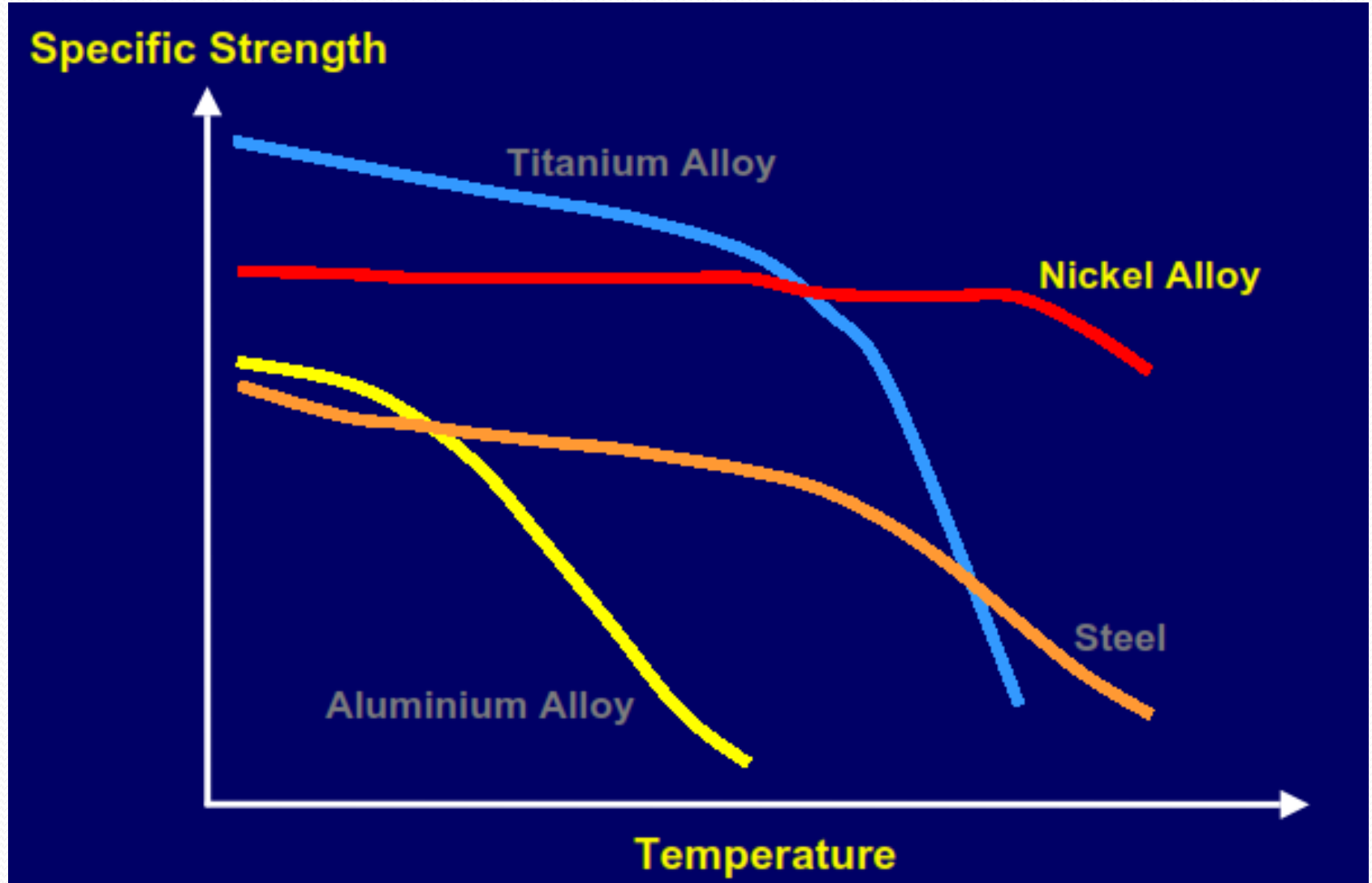
# özeti

- **$\beta \rightarrow \alpha$  dönüşümü**
  - Martensitik dönüşüm ve ardından büyüme ( $\alpha + \beta$  alaşımları)
  - Çökelme ve büyüme ( $\beta$  alaşımları)
- **omega fazı**
  - Nano-boyutlu çökelti,  $\alpha$  faz partikülleri için çekirdek görevi
- **Ti ve Ti alaşımlarının sertleştirilmesi**
  - Saf Ti esas itibarı ile oksijen miktarı ile
  - Alaşımlar: katı eriyik sertleşmesi, metallerearası bileşikler ve diğer faz partikülleri

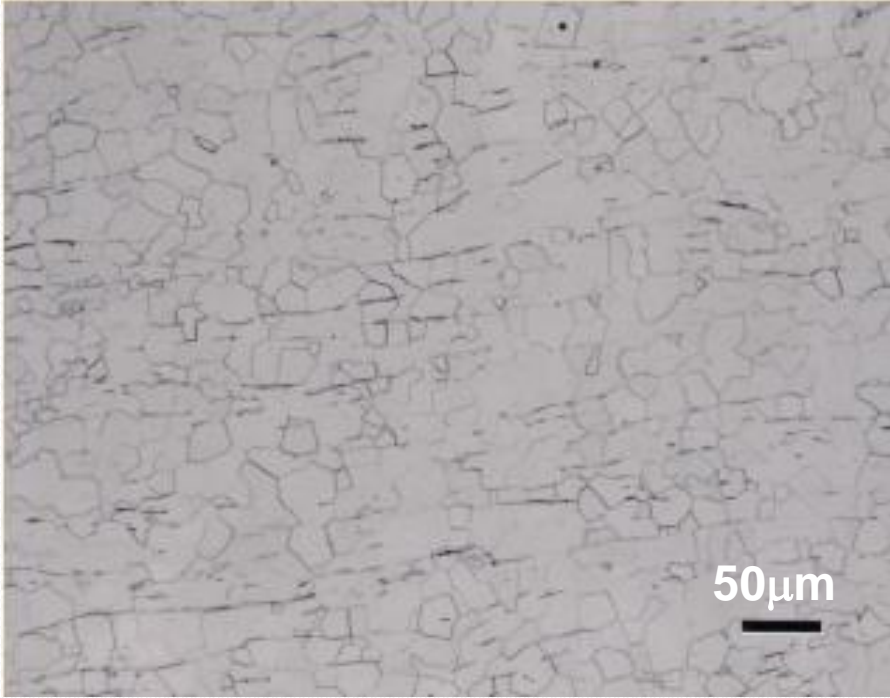
# Ti alaşımlarının mekanik özellikleri

	ekme Muk (MPa)	Akma muk. (MPa)	Uzama (%)
<b>Ticari saf Ti</b>			
%99.5 Ti	241	172	24
%99.0 Ti	552	483	15
<b>Alfa Ti alaşımları</b>			
%5Al-%2.5Sn	862	780	15
<b>Beta Ti alaşımları</b>			
%13V-%11Cr-%3Al	1290	1213	5
<b>Alfa-beta Ti alaşımları</b>			
%6Al-%4V	1034	965	8

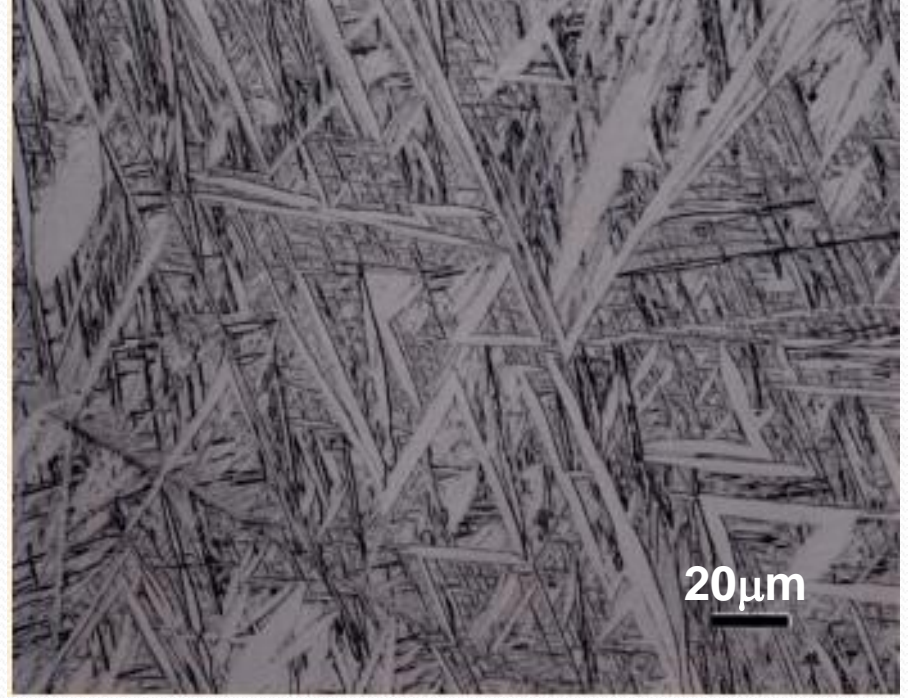
# Alaşım gruplarının karşılaştırılması



# $\alpha$ alaşımları

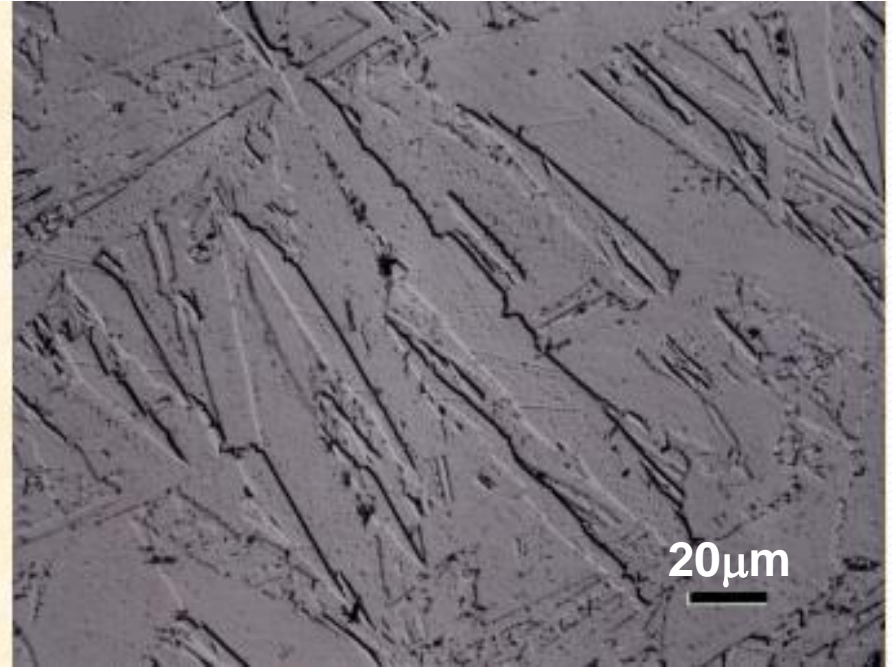
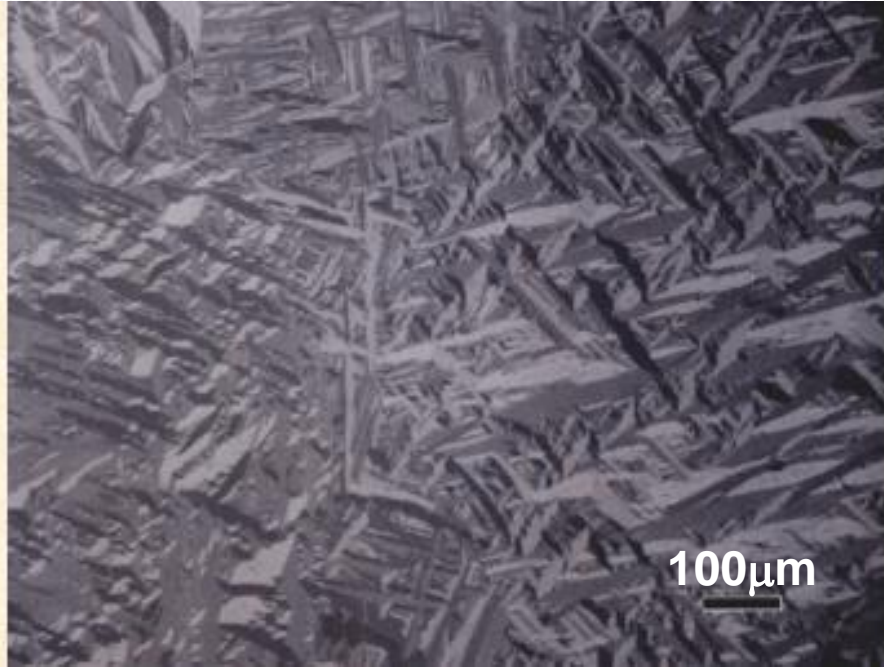


Ticari saflıkta Ti  
704 °C'de tavlannmış  
Tane yapısı



Ti - 3% W alaşımının  
iğnemsisi  $\alpha$  yapısı  
966 °C'de 15 dk ısıtılıp  
yağda soğutulmuş

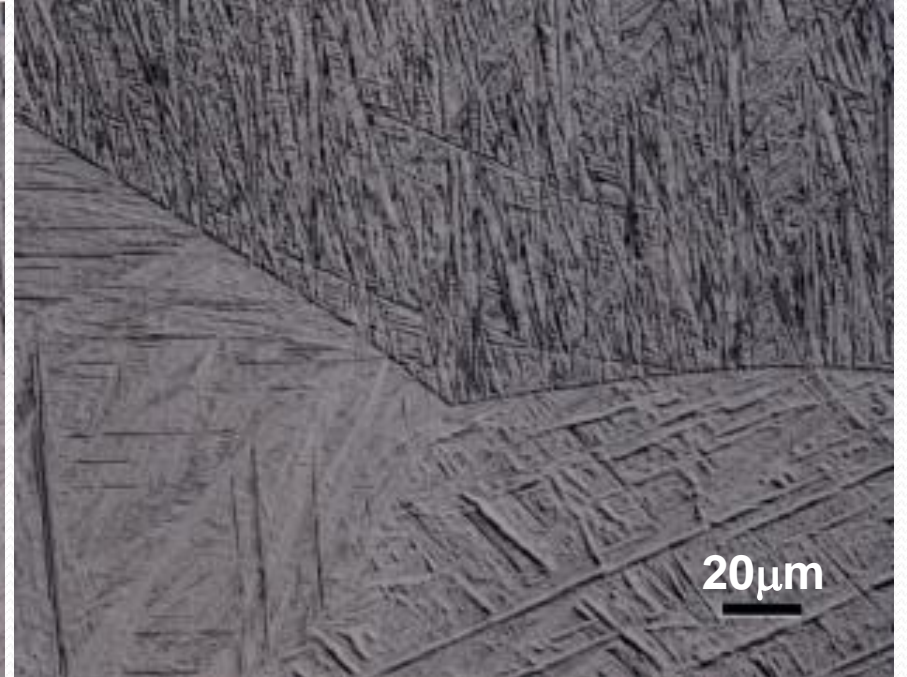
# tırtıllı $\alpha$



Ti - 0.6% Si alaşımı  
966 °C'de 15 dk ısıtılıp suda soğutulmuş  
Tırtıllı  $\alpha$  yapısı

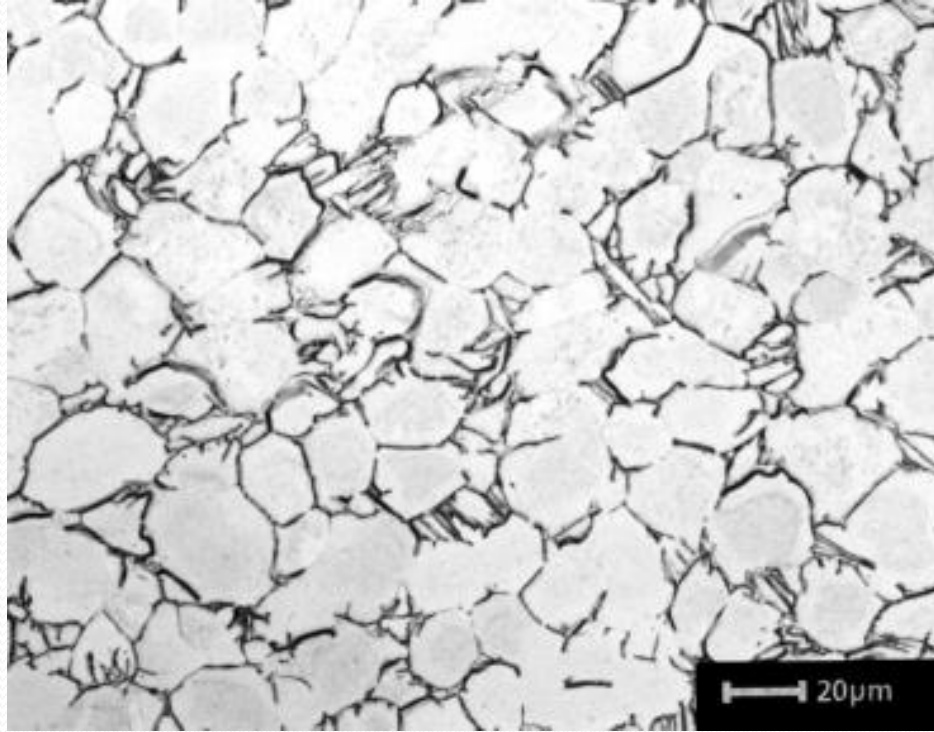


# $\alpha'$ martensiti



Ti - 3% Cr alaşımı  
1038 °C'de 15 dk ısıtılıp, suda soğutulmuş  
 $\alpha'$  martensiti

# $\sim\alpha$ alaşımı



Ti - 8Al - 1Mo - 1V  
 $\alpha$  taneleri

# ~ $\alpha$ alaşımı

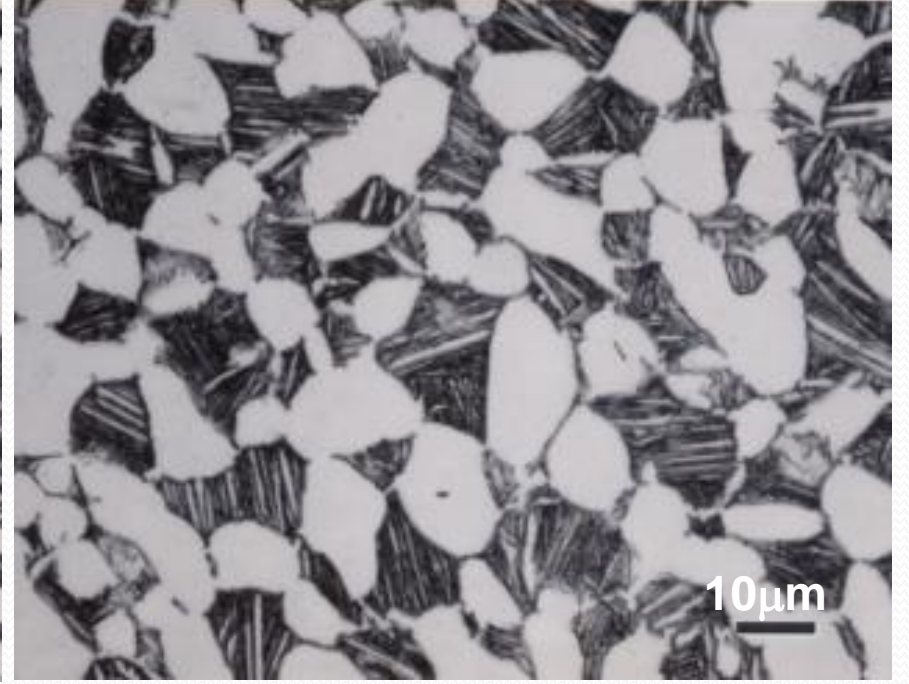


Ti - 8% Al - 1% Mo - 1 % V

Haddelenmiş

primer  $\alpha$  taneleri ve ince  $\alpha/\beta$  matris yapısı

# ~ $\alpha$ alaşımı



Ti-8% Al-1% Mo-1 % V

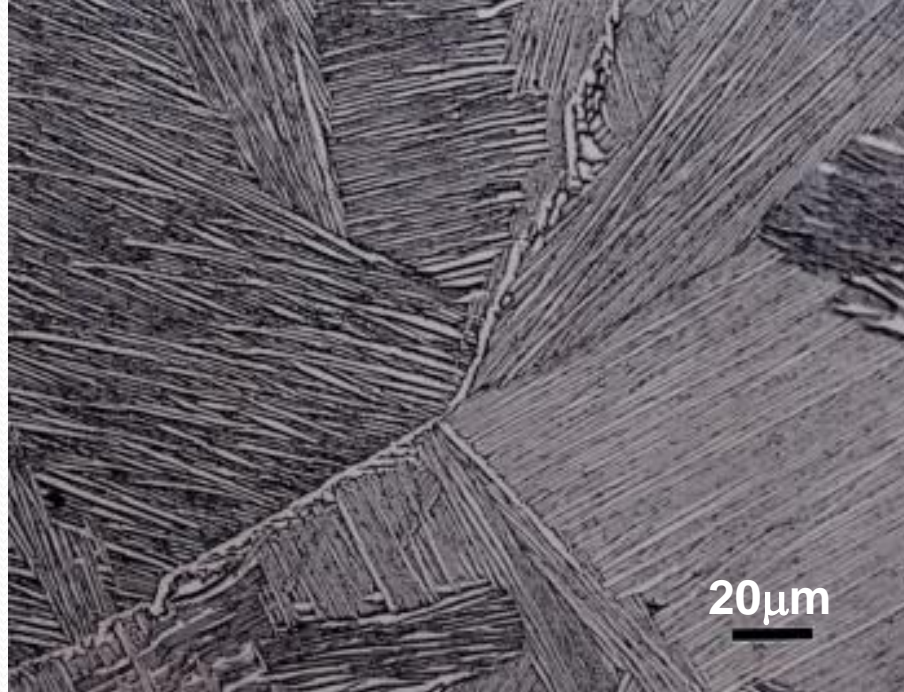
1010°C- 1 saat; havada soğutma, 593°C-8 saat, havada soğutma

Primer  $\alpha$  taneleri ve ince  $\alpha/\beta$  matris yapısı

$\beta$  Dönüşüm sıcaklığı ~ 1040°C.



# ~ $\alpha$ alaşımı



Ti - 6% Al - 2% Sn - 4% Zr - 2% Mo - 0.1% Si

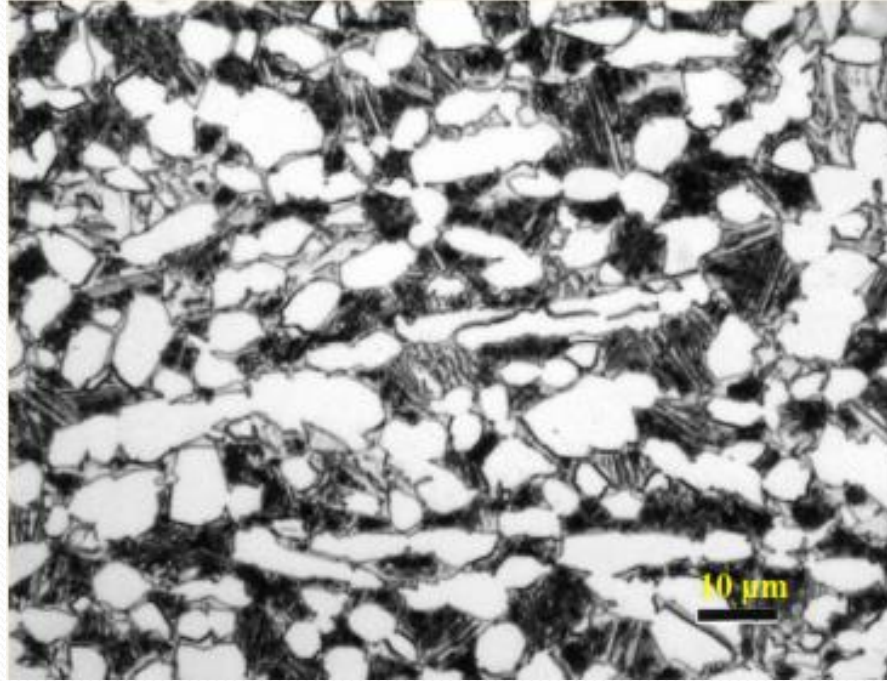
1038 °C'de dövme; 1024 °C - 2 st tavlama, havada soğutma

Widmanstätten  $\alpha$  yapısı ve dönüşmüş  $\beta$

$\beta$  Dönüşüm sıcaklığı:  $995 \pm 15$  °C.



# $\alpha/\beta$ alaşımları

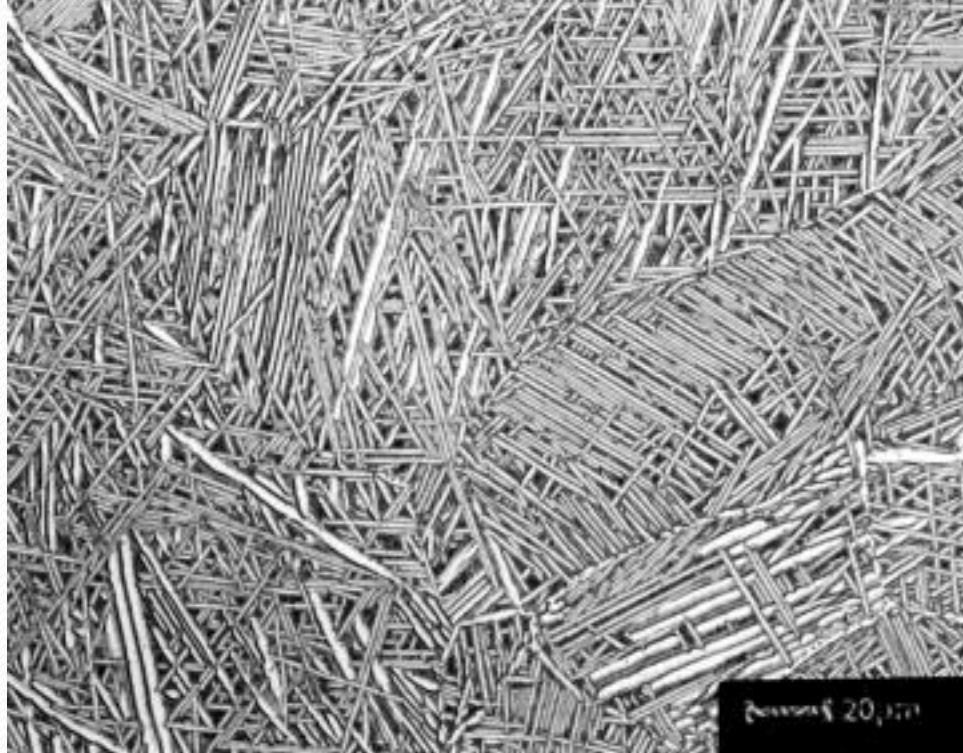


Ti - 6% Al - 2% Sn - 4% Zr - 6% Mo

Uzamış  $\alpha$  taneleri ve ince donüşmüş  $\beta$  yapısı

$\beta$  Donüşüm sıcaklığı: 935 °C.

# $\alpha/\beta$ alaşımları



Ti - 6% Al - 2% Sn - 4% Zr - 6% Mo

İri iğnemsli  $\alpha$  yapısı;  $\alpha$  iğneleri arasında dönüşmüş  $\beta$   
 $\beta$  Dönüşüm sıcaklığı: 935 °C.

# $\alpha/\beta$ alloys



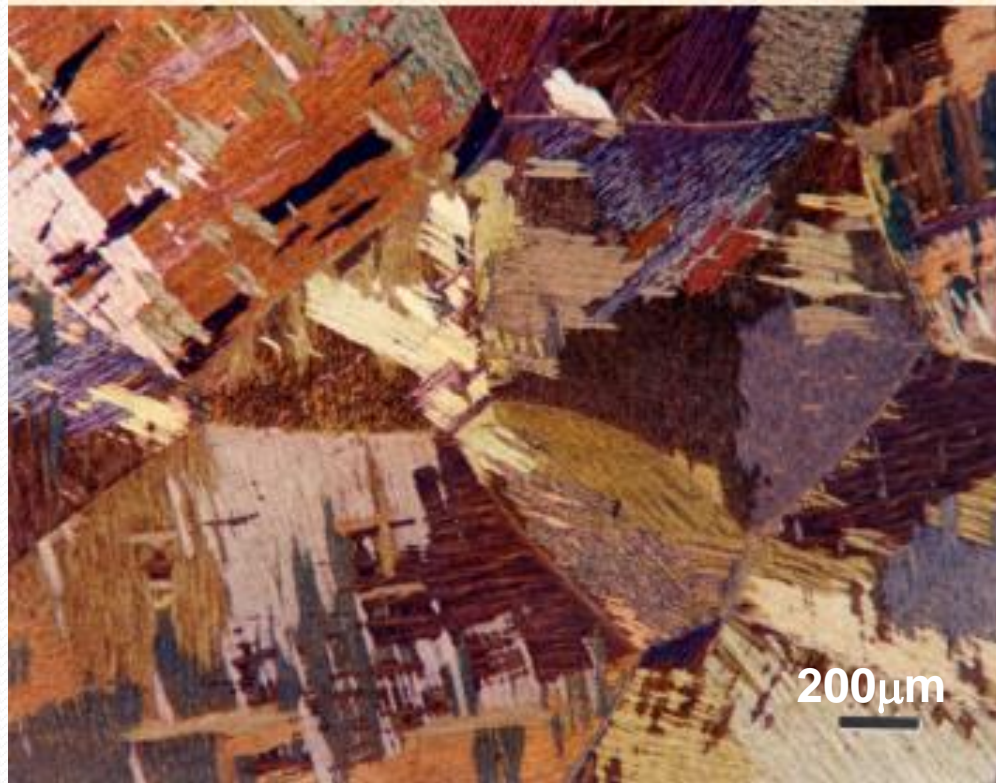
Ti - 6% Al - 2% Sn - 4% Zr - 6% Mo

Widmanstätten yapısı

$\beta$  Dönüşüm sıcaklığı: 935 °C.

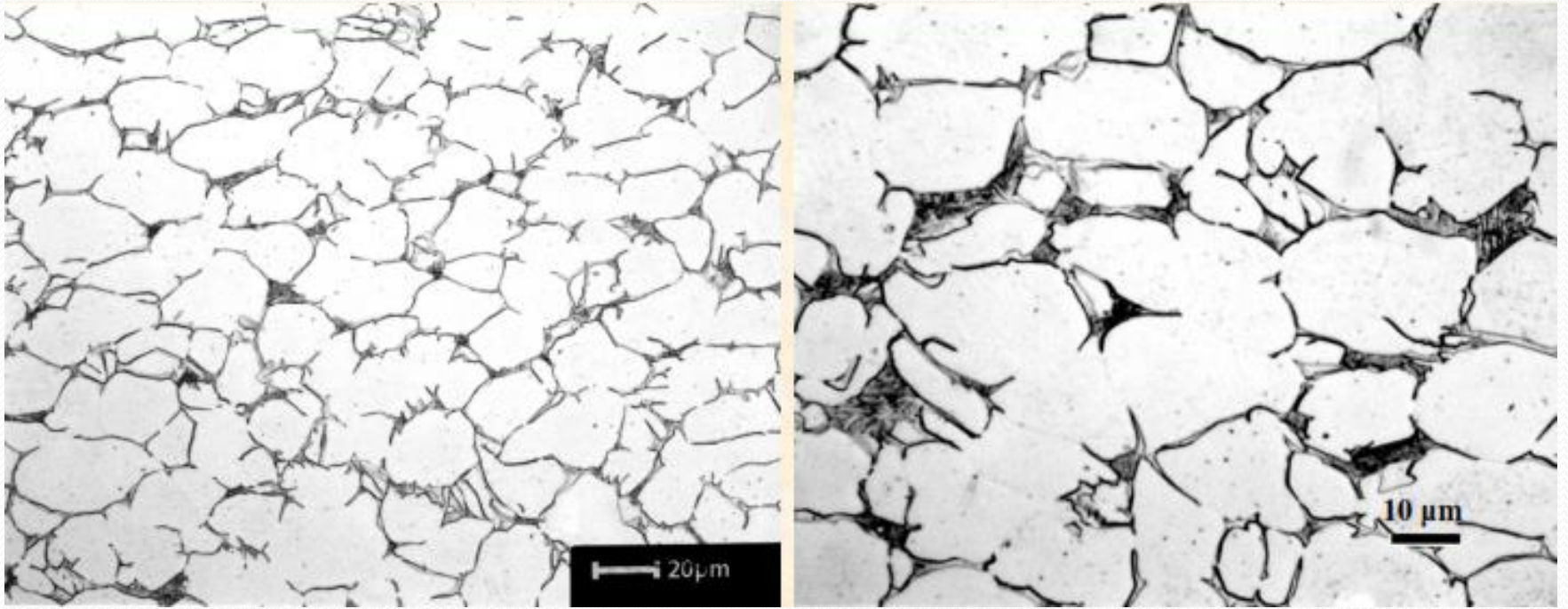


# $\alpha/\beta$ alloys



Ti - 6% Al - 4% V  
 $\alpha/\beta$  matrix

# $\alpha/\beta$ alaşımı



Ti - 6% Al - 4% V

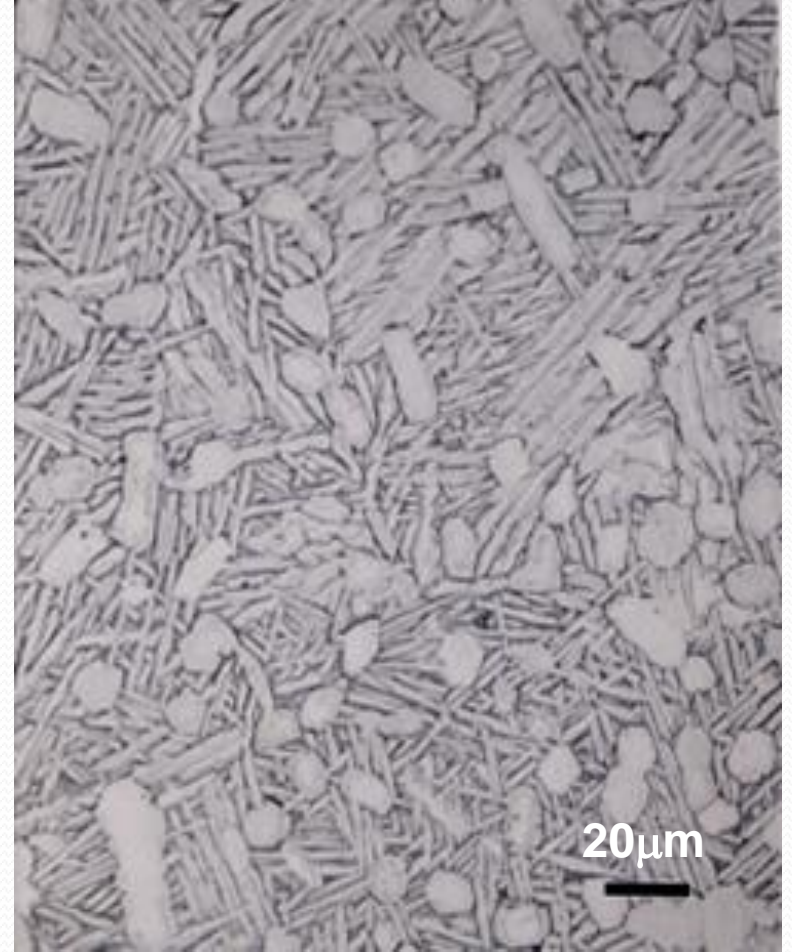
Primer  $\alpha$  matris

$\beta$  Dönüşüm sıcaklığı:  $995 \pm 15^\circ \text{C}$ .

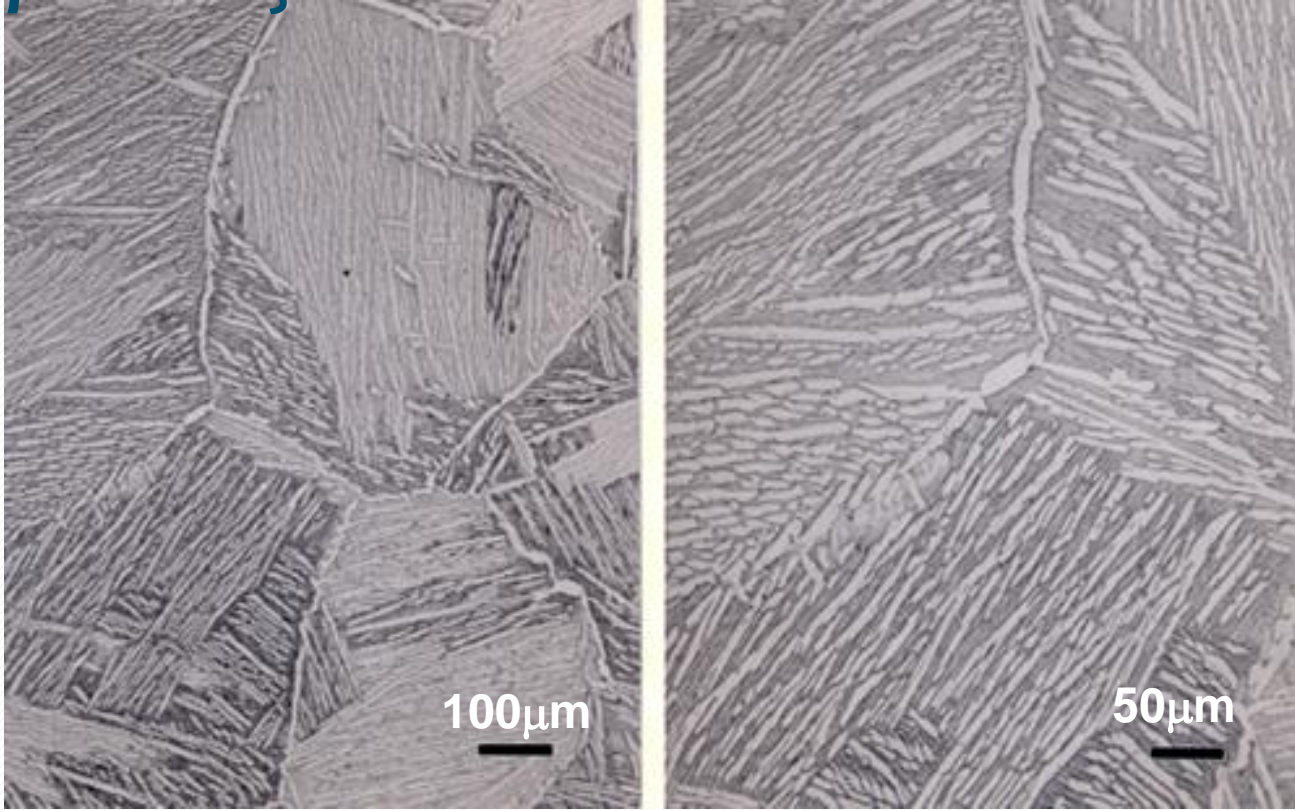


# $\alpha/\beta$ alaşımı

Ti - 6% Al - 4% V.  
950 °C' ısıtılıp su verilmiş.  
Eş eksenli  $\alpha$  taneleri, iğnemsis  
 $\alpha/\beta$  matris yapısı  
 $\beta$  Dönüşüm sıcaklığı:  $995 \pm 15$  °C.



# $\alpha/\beta$ alaşımı



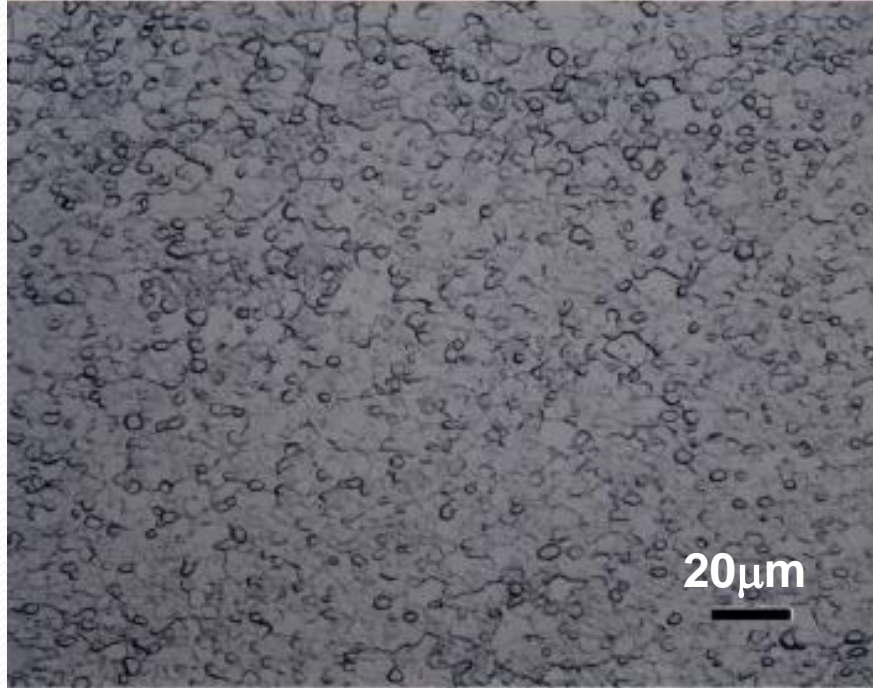
Ti - 6% Al - 4% V

1010 °C'ye ısıtılıp yavaş soğutulmuş

İri  $\beta$  taneleri ve iri  $\alpha/\beta$  matris yapısı

$\beta$  Dönüşüm sıcaklığı:  $995 \pm 15$  °C.

# $\beta$ alaşımı



$\sim\beta$ ; alaşımı: Ti - 10% V - 2% Fe - 3% Al  
 $\beta$  Dönüşüm sıcaklığı: 790-805 °C.

# Üretim teknikleri

## Ergitme yöntemleri

- Elektro-cüruf rafinasyonu
- Vakum ark tekrar ergitmesi
- Elektron demet ergitmesi
- Plazma ark ergitmesi
- İndüksiyon «skull» ergitmesi

## Döküm prosesleri

- Hassas döküm
- Lazer prosesleri

## Şekillendirme prosesleri

- Hadde, ekstrüzyon, dövme

## Isıl işlemler

# Titanium-indüksiyon kabuk

Reaktif elementlerin ergitilmesinde kontaminasyonları önlemek için su soğutmalı bakır pota kullanılır.

Metal pota içine yerleştirilir ve indüksiyon enerjisi ile ergitilir.

Ergime tamamlandığında su soğutması sayesinde pota iç yüzeyinde katılaşma gerçekleşir ve içinde sıvı metal bulunan bir kabuk oluşturulur.

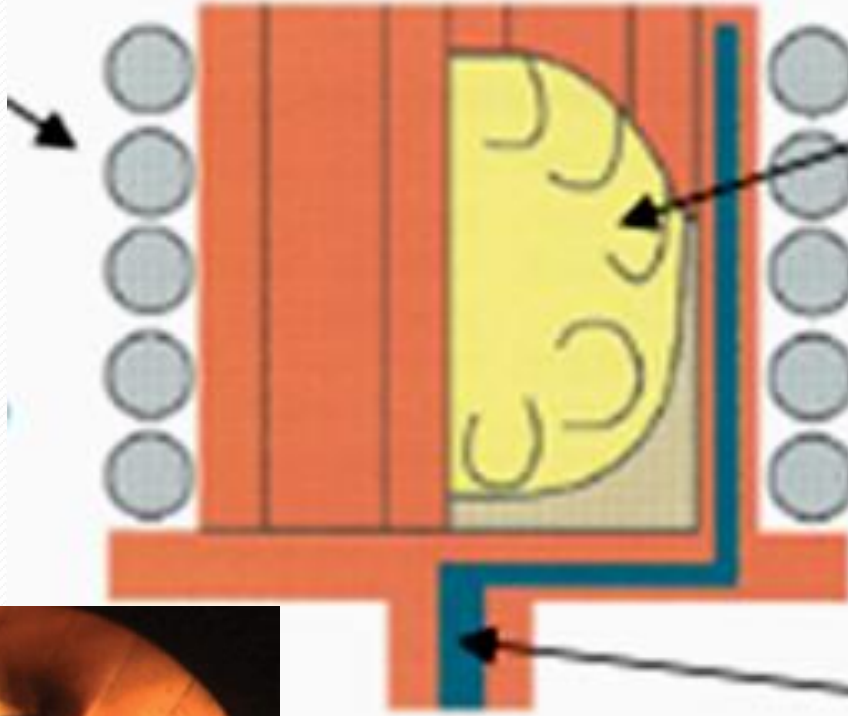
Bunun içine geri dönen metal veya hurda şarj edilebilir.

Ucuz ve yüksek kalitede titanyum üretmek için cazip bir yöntemdir.



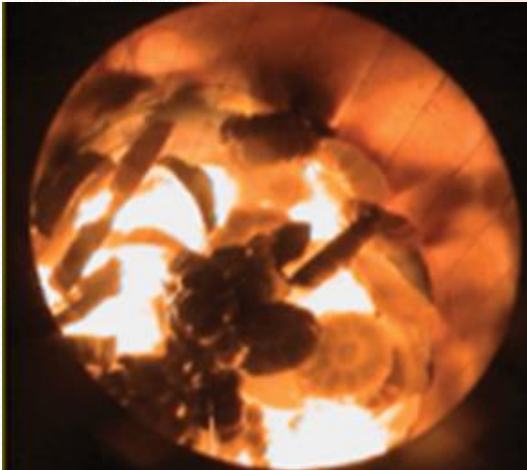
# Titanyum-indüksiyon kabuk

İndüksiyon  
bobini



Kabuk içinde  
sıvı metal

Su soğutma  
sistemi



# Üretim notları

## **işlenebilirlik**

- ekonomik
- 316 paslanmaz çeliğe benzer
- Yorulma ömrü için yüzey kalitesi kritik

## **kaynaklanabilirlik**

- Paslanmaz çelik ve nikel alaşımlarına benzer
- GTAW, GMAW, elektron ışın, lazer ve sürtünmeli kaynak

## **Şekil verme**

- Sıcak ve soğuk şekil verme
- Paslanmaz çeliğe benzer.

# korozyon

- Ticari saflıktaki titanyum bir çok atmosferde mükemmel korozyon direncine sahiptir.
- Titanyum alaşımları mükemmel korozyon dirençlerini yüzeylerindeki çok kararlı, sürekli, tutunması kuvvetli, koruyucu oksit filmine borçludur.
- Bu doğal oksit filmleri tipik olarak 10 nm'den daha incedir.
- Titanyumun korozyon direnci kuvvetli oksitleyici ortamlarda, florür iyonlarının varlığında, sürekli aşınma ve diğer metallerle kayma teması durumlarında zayıflar.

# korozyon

- Bu gibi riskli durumlarda oksit filminin kararlılığı ve bütünlüğü ortama inhibitörler ilave edilerek arttırılabilir.
- Titanyum alaşımlarının korozyon dayanıklılığı
- saf titanyuma göre daha zayıftır.
- Ana sorun aralık korozyonudur.
- 650°C üstündeki sıcaklıklarda Titanyumun oksitlenme direnci sınırlıdır.
- Titanyum ve alaşımları H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> gazlarına 260°C'ye kadar dayanıklıdır.

# korozyon

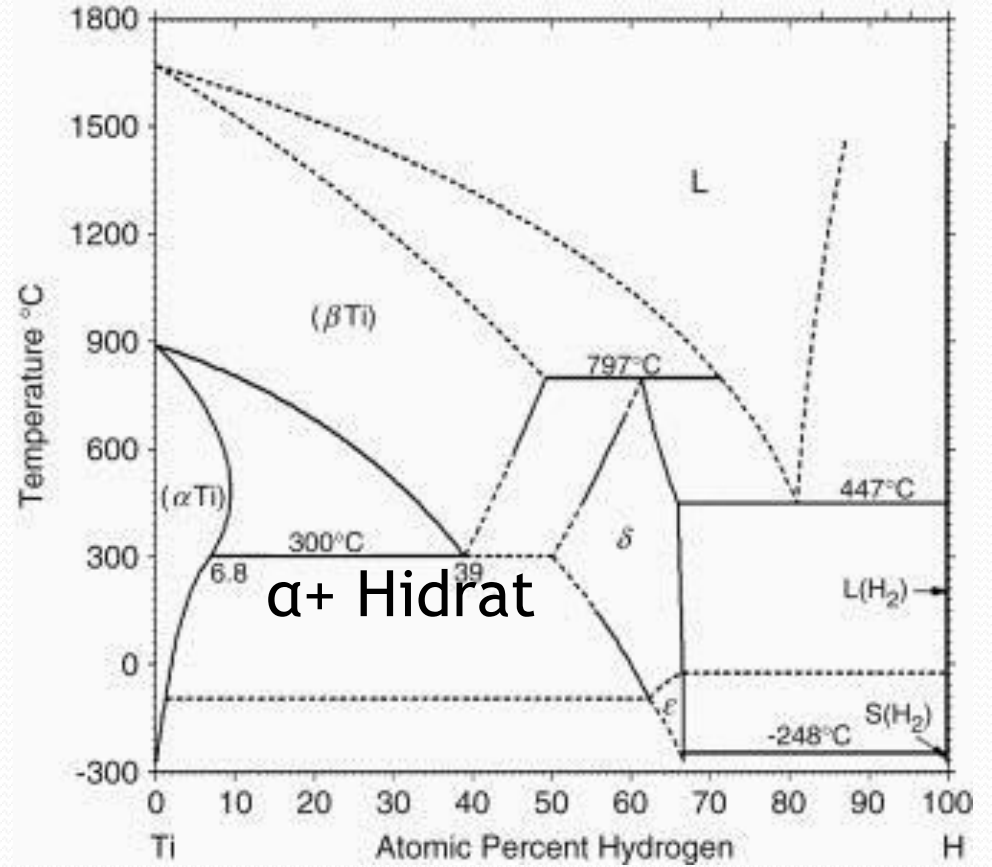
- Alaşımsız titanyum deniz suyu ve doğal sulara, meyve ve sebze sularına, vücut sıvılarına dayanıklıdır.
- Ergiyik kükürt, bir çok organik bileşik (asitler ve Klorürlü bileşikler) bir çok oksitleyici asitler Titanyuma zarar vermezler.



# Hidrojen gevrekliği

Hidrojen alaşımdaki fazlardan biri ile reaksiyona girerek yeni bir faz, hidrat, yapar. Bu faz alaşımın tane sınırlarında yer alarak gevrekliğe yol açar.

Hidrojenin kuvvetli bir  $\beta$  yapıcı elementi olması sebebiyle,  $\alpha \rightarrow \beta$  dönüşüm sıcaklığı  $882^\circ\text{C}$ 'den  $300^\circ\text{C}$ 'ye düşer.



# Titanyumun uygulamaları

- Elde edilen Ti cevherinin yaklaşık %95'i  $TiO_2$  üretiminde değerlendirilir.
- $TiO_2$  boya, kağıt, dişmacunu ve plastik üretiminde kullanılan beyaz bir pigmenttir.
- $TiO_2$  inert, opak ve güneş ışığında solmayan bir tozdur.
- $TiO_2$ 'den imal edilen boyalar yüksek sıcaklıklara, deniz suyuna dayanıklıdır.
- Güneş ışınlarına karşı koruma amaçlı olarak güneş kremlerinde de kullanılır.

# Uçak-uzay-havacılık

- Spesifik mukavemet, düşük yoğunluk, korozyon direnci, yorulma dayanıklılığı, çatlak direnci ve sürünmeye uğramadan yüksek sıcaklıklara dayanıklılık gibi özellikleri ile titanyum alaşımları uçaklarda, uzay gemilerinde, uydularda ve füzelerde kullanılmıştır.
- Al, Zr, Ni, V ile alaşımlanmış titanyum iniş takımları, egzoz boruları, hidrolik sistemleri gibi kritik yapısal parçalarda tercih edilmiştir.

# Uçak-uzay-havacılık

- Üretilen titanyum alaşımlarının hemen hemen üçte ikisi uçak motorlarında ve gövdelerinde kullanılmıştır.
- Boeing 777'de 59, Boeing 747'de 45, Boeing 737'de 18, Airbus A340'da 32, Airbus A330'da 18 ve A380 modellerinde 11 tonu motorlarda olmak üzere 77 ton Ti bulunmaktadır.
- Uçaklarda kullanılan Ti alaşımlarının yaklaşık yarısı Ti-6Al-4V alaşımıdır.

# Titanyum alaşımları-uygulamalar



Uçak parçaları: F22 Raptor - en hızlı uçak!



# Medikal uygulamalar

Toksik değildir ve vücut sıvılarına karşı dayanıklıdır. Vücut tarafından red edilmez.

Bu sayede vücutta 20 yıla kadar sorunsuz kalabilen bir çok implant uygulamasında ilk tercihtir.

Bu uygulamalarda Ti-6Al-4V alaşımı öndedir.

Ti'un elastik modülü düşük ve insan kemiğinininkine yakındır.

Bu sayede vücuda uygulanan yükler Ti ve iskelet tarafından daha homojen bir şekilde bölüşülür.

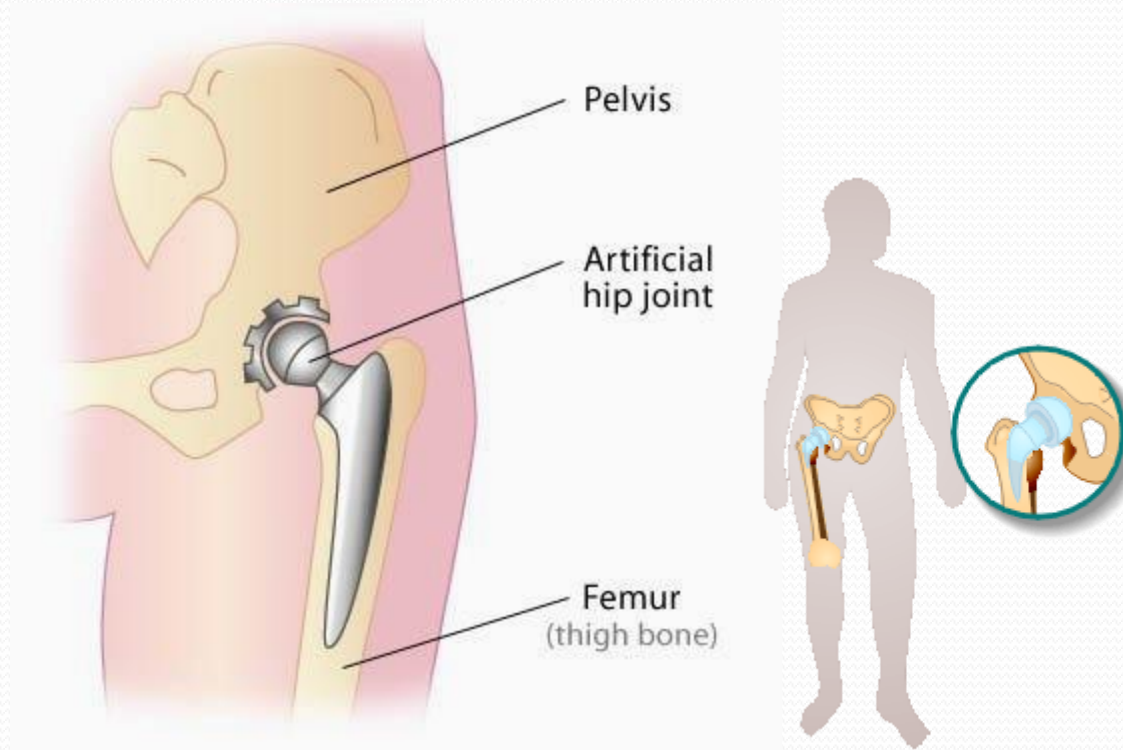
Bununla birlikte Ti'un stiffness değeri kemiğinininkinin 2 katıdır. Bitişikteki kemik daha az yük alır ve zamanla zayıflar.

Titanyum non-manyetik olduğu için implant taşıyan hastalar manyetik rezonans görüntüleme teknikleri ile incelenebilirler.

Ti aynı zamanda ameliyat ekipmanları, aletleri için de kullanılır.

# Titanyum alaşımları-uygulamalar

Yüksek mukavemetli, hafif ve korozyona dayanıklı olması titanyum alaşımlarını kalça protezi gibi biyomedikal uygulamalarda cazip bir malzeme yapar.



# Titanyum alaşımları-uygulamalar

Korozyona dirençli olması sebebiyle, titanyum alaşımları gemilerde gövde ve pervane mili gibi uygulamalarda kullanılır.



Aynı nedenle kimyasal üreten tesislerde kritik yapısal uygulamalarda tercih edilir.

# Titanyum alaşımları-uygulamalar

Yüksek mukavemet ile hafifliği bir araya getirdiği için silahlı kuvvetlerde her türlü zırh uygulamalarında değerlendirilir

Tank gövdeleri



Savaş uçakları



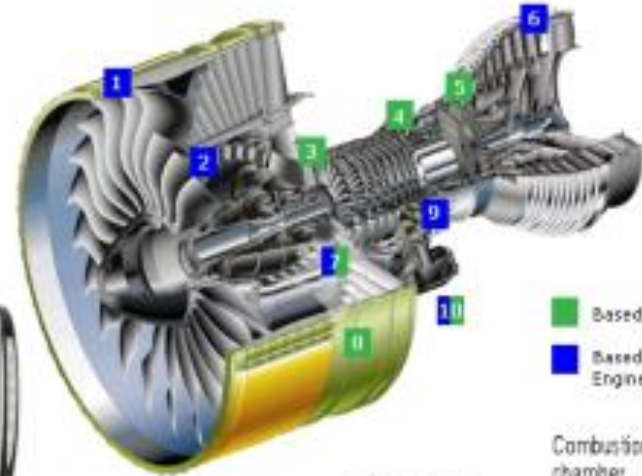
# Titanyum alaşımları-uygulamalar

Çok yüksek sıcaklıklara dayandığı için Uçak, Uydu ve mekiklerde yapısal uygulamalarda kullanılır.

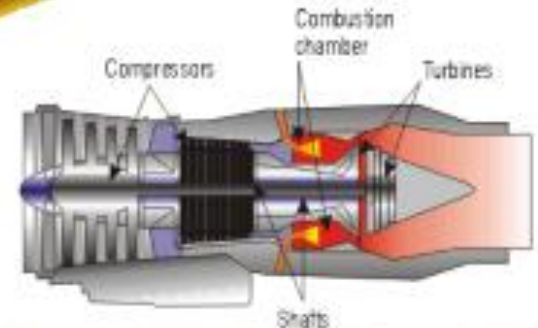




# Titanyum alaşımları-uygulamalar



- Based on GE Engine Platform
- Based on Pratt & Whitney Engine Platform



# Endüstriyel uygulamalar

- Kimyasal ve petrokimyasal üretim tesislerinde ısı değiştiriciler, tanklar, proses donanımları, vana uygulamalarında korozyona yüksek direnci nedeniyle kaynak yapılmış titanyum borular kullanılır.
- Nikel hidrometalurji tesislerinde yüksek mukavemetleri nedeniyle tercih edilirler.
- Kağıt sanayinde sodyumhipoklorit ve ağartmada ıslak klor gazına maruz kalan tüm donanımlarda titanyum alaşımları kullanılır.

# Titanyum alaşımları-uygulamalar



titanium heat-exchangers



# Mimari uygulamalar

- Titanyum zaman zaman mimari uygulamalarda da kullanılır.
- Moskova'daki Yuri Gagarin anıtı (40 m) Titanyumdan yapılmıştır.
- Bilbao'daki Guggenheim Müzesi çepeçevre Titanyum panellerle donatılmıştır.



# Mimari uygulamalar



Resembling a huge titanium-plated fantasy ship moored on the edge of the Nervion River, it has become the unlikely symbol of this northern Spanish city.

The world-famous Guggenheim museum there is now 15 years old.





# Mimari uygulamalar



# tüketici

- Titanyum alaşımları hafifliğin vaz geçilmez olduğu yarış otoları ve motorsikletlerinde kullanılırlar. Binek otolarında kullanımı yüksek fiyatı nedeni ile çok sınırlıdır.
- Tenis raketi, golf sopası, bisiklet profillerinde, dağcılık malzemeleri ve araç-gereçlerinde yaygın olarak kullanılır.
- Hafif ve alerji yapmaz olduğu için gözlük çerçevelerinde yaygındır.

# tüketici



# karşılaştırma

	Ti JIS 3	Ti-8Al-6V-2Sn	6061 ısııl işlemlı	1040 soğuk hadde	316 Paslanmaz
$\sigma_y$ (MPa)	345	1069	276	490	276
$\sigma_{UTS}$ (MPa)	480-620	1138	310	586	721
E (GPa)	104	114	72	207	190
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	4.5	4.4	2.8	7.8	7.8
HB/HR	110HB	39 HRC	95 HB	170 HB	85 HRB



# Titanyum alaşımları-uygulamalar





# denizcilik

- Deniz suyuna mükemmel dayanıklı olması sebebiyle Gemi pervaneleri millerinde ve donanımlarında, tuzlu su akvaryumlarında, balıkçılık ve dalgıç ekipmanlarında, sivil ve askeri denizaltı tarama sistemlerinde kullanılır.
- Sovyetler Birliği döneminde denizaltıların gövdesi Titanyum alaşımından üretilmiştir.



# Diğer

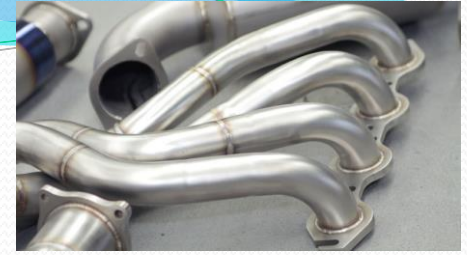
Yüksek mukavemet ve hafifliği nedeniyle hafif silah imalatında kullanılır. Tabanca gövdesi, namlu Yine bu özellikleri ile dizüstü bilgisayarlarda tercih edilir (Apple Power book serisinde gövde titanyumdur.)

Hafif ve korozyona dayanıklı olması gereken ve üst kalite her türlü aletin yapımında cazip bir malzeme seçeneğidir. (kürekler, el ve cep fenerleri vb) Korozyona karşı çok dayanıklı olması sebebiyle titanyum nükleer atıkların depolanmasında kullanılır.

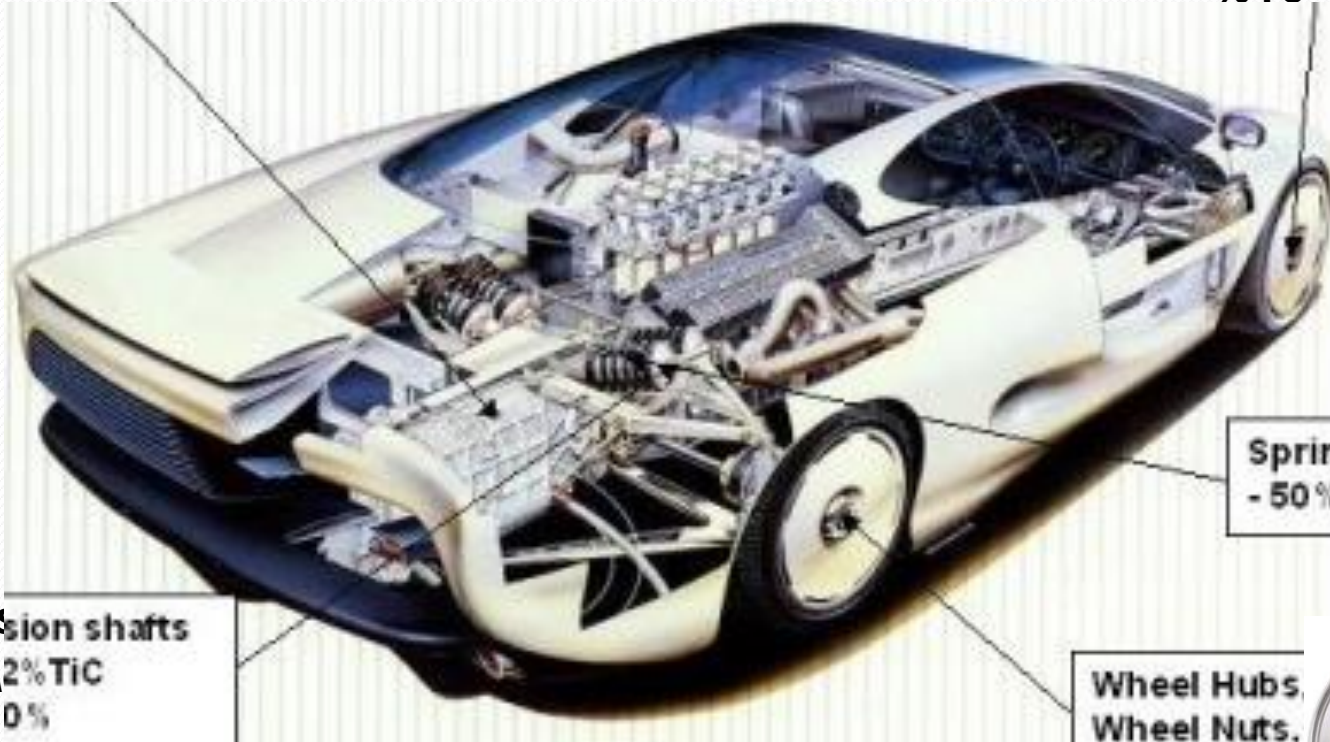


# otomotiv

Vites kutusu parçaları  
Ti-Metal matrisli kompozitler  
%10 TiC  
%50'ye varan ağırlık tasarrufu



Fren aksamı  
Ti-Metal matrisli kompozitler  
%10 TiC



Springs  
- 50% W  
aşırı  
e varan  
tasarrufu

Trans  
ion shafts  
Ti-M  
%2 TiC  
0%  
kompozitler  
%12 TiC  
%40 ağırlık tasarrufu

Wheel Hubs,  
Wheel Nuts,  
ve Civataları  
β-Ti alaşımları





# takı

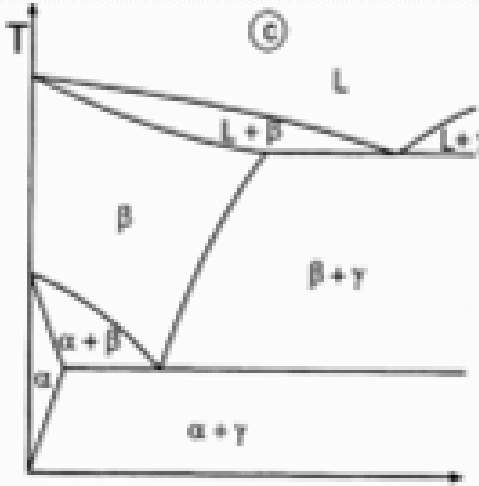
- Dayanıklılığı ve hafifliği sayesinde Ti başta yüzük olmak üzere bir çok takıda kullanılır.
- Asal metal olması ile alerji yapmaz.
- Havuzlarda çok vakit geçiren sporcuların takıları Ti alaşımlıdır.
- Dayanıklı, paslanmaz ve ten-uyumlu olması sebebiyle Kol saati kutuları ve kayışları Ti alaşımlarından yapılır.
- Çok cazip renklere eloksal yapılabildiği için Kulak ve vücudu delen takılarda tercih edilir.



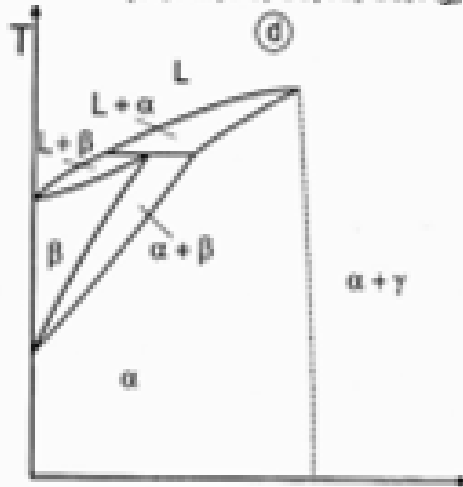
# takı



# Titanyum alaşımlarında mukavemet arttırıcı yöntemler



Ti → %X  
(Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ag)



Ti → %X (O, N)

Arayer elementleri ile alaşımlama imkanı:

Katı eriyik sertleşmesi imkanı

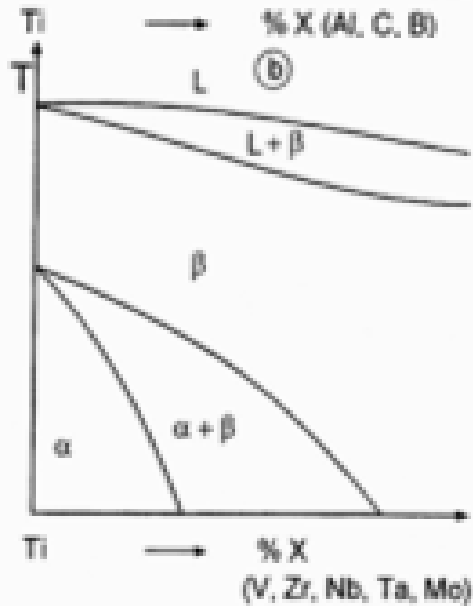
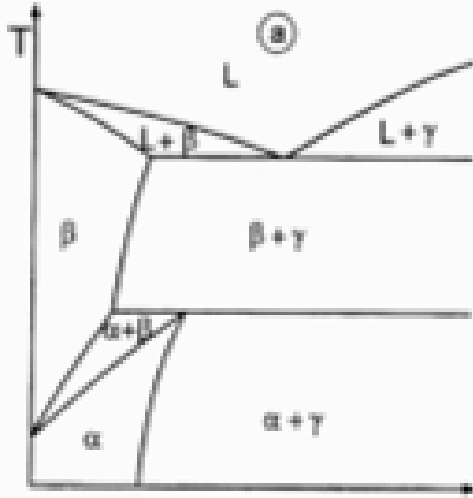
Atom çapları farklı olduğu için ciddi sertleşme

Çözünme sınırlı olduğu için sınırlı sertleşme

Çökelme sertleşmesi mümkün (TiN, TiC vb)

Martensitik sertleşme imkanı

# Titanyum metalurjisi



Geçiş metali olması sebebiyle  
Titanyumun karmaşık bir metalurjisi  
var:

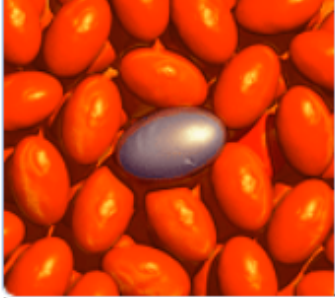
Geçiş metallerini yüksek oranlarda  
çözebilir.

Katı eriyik sertleşmesi imkanı  
Atom çapları benzer olduğu için  
sınırlı sertleşme

Martensitik sertleşme imkanı  
Arayer martensitleri orta seviyede  
sertleşme verir.

# nikel

## Nickel



Discovery date	1751
Discovered by	A.F. Cronstedt
Origin of the name	The name is the shortened for of the German 'kupfernickel' meaning either devil's copper or St. Nicholas's copper.
Allotropes	-

■ Group	10	■ Melting point	1455 °C, 2651 °F, 1728.15 K
■ Period	4	■ Boiling point	2913 °C, 5275.4 °F, 3186.15 K
■ Block	d	■ Density (kg m <sup>-3</sup> )	8907
■ Atomic number	28	■ Relative atomic mass	58.693
■ State at room temperature	Solid	■ Key isotopes	<sup>58</sup> Ni
■ Electron configuration	[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	■ CAS number	7440-02-0

Kristal yapısı: YMK  
Atomik kütle: 58.71  
Ergime noktası: 1455°C

Atomik no: 28  
yoğunluk: 8.89 g.cm<sup>-3</sup>

# Nikel alaşımları zellikleri

- Parlak gümüş renkte
- Yüksek tokluk ve süneklilik
- Yüksek oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık mukavemeti
- Yüksek oksidasyon direnci
- Yüksek korozyon direnci
- Ferromanyetik
  
- Pahalı
- Ucuz alaşım elementleri ile birlikteliği sınırlı!



# Nikel alaşımları zellikleri

- Nikelin korozyon dayanıklılığı en ayırt edici özelliğidir.
- Diğer metalleri korozyona karşı korumak için kaplama olarak kullanılır.
- En önemli kullanım alanı paslanmaz elik üretimidir.
- Nichrome bir nikel-Krom alaşımıdır ve az miktarlarda S, Mn ve Fe içerir.
- Bu alaşım kızıl sıcak iken bile korozyona direnir. Bu nedenle elektrikli fırınlarda ve tost makinelerinde kullanılır.

# Nikel alaşımları

- Cu-Ni alaşımı deniz suyundan şebeke suyu elde edilen tesislerde,
- Nikel eliği zırhlarda, diğer nikel alaşımları tekne pervane millerinde ve türbin kanatlarında,
- Nikel pillerde ve tekrar şarj edilebilen Ni-Cd pillerinde,
- Ni-metal hidrür bataryaları hibrid araçlarda kullanılmaktadır.
- Çok uzun zamandır madeni para imalatında nikelden yararlanılır.
- ABD de Nickel adı verilen madeni para %25Ni-%75 Cu alaşımıdır.

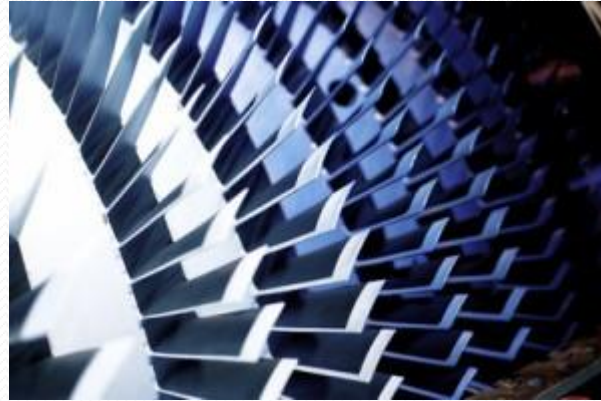
# Nikel alaşımları

- Nikel alaşımları korozyondan korunma ve yüksek sıcaklık performansı için kullanılırlar.
- Bu uygulamalarda yüksek ergime noktaları ve yüksek mukavemetleri avantaj sağlar.
- Nikelin kafes yapısı YMK dir ve Şekil verilebilirliği çok iyidir.
- Cu-Ni sistemi tam çözünürlüğün bulunduğu faz sistemlerindedir.
- Ni:Cu 2:1 oranındaki ticari alaşımlara Monel alaşımları denir.
- Monel alaşımları katı eriyik sertleşmesinin güzel bir örneğidir.

# Nikel alaşımları

- Uygulamaları nikel alaşımlarının korozyona karşı dayanıklı olmaları ve yüksek sıcaklıklardaki performanslarına dayanır.
- Kimya sanayi, ısı değiştiriciler, reaksiyon fırınları, döner fırınlar, türbin kanatları
- Paslanmaz eliklerde alaşım elementi, bakır, kobalt ve krom alaşımlarında da alaşım katkısı

# Nikel alaşımları





# Nikelin üretimi

Yeryüzündeki Nikelin önemli bölümü dünyamıza meteorlarla gelmiştir. Bu meteorlardan biri milyonlarca yıl önce Ontario bölgesine düşmüştür. Dünya Nikel üretiminin %15'i hala bu bölgeden karşılanmaktadır.

2 tür nikel madencilik faaliyetleri ile çıkarılır:

Lateritler:

başlıca mineraller

nickeliferous limonite:  $(Fe, Ni)O(OH)$

garnierite (a hydrous nickel silicate):  $(Ni, Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$ .

magmatic sulfit yatakları,

Başlıca mineral: pentlandite:  $(Ni, Fe)_9S_8$ .

Avustralya ve Yeni Kaledonya en büyük rezervlere sahip!

# Nikel alaşım türleri

Ticari saflıkta nikel

Nikel-bakır alaşımları-Monel alaşımları

Nikel-krom alaşımları

Nikel-esaslı süperalaşımlar

Nikel-demir süper alaşımları

# Saf Nikeller

## Saf nikeller

ticari saflıkta nikel

yüksek saflıkta nikel

Dispersiyon-sertleşmeli nikel ve  
nikel kaplamalar

alaşım	Ni	Cu	Fe	C	Mn	Si	Mg
Nikel 200	99.5	0.13	0.08	0.08	0.20	0.05	-
Nikel 201	99.6	0.13	0.01	0.01	0.20	0.05	-
Nikel 205	99.5	0.10	0.02	0.02	0.20	-	0.04
Nikel 270	99.98	-	0.01	0.01	-	-	-

# saf Nikeller

Yüksek saflıkta Nikel %99.99 Ni içerir.

Ticari saflıktaki nikel %99.5 Ni (+Co) saflığındadır.  
tavlanmış halde katı eriyik şeklindedir.

Üstün mekanik özellikler

Mukavemetini yüksek  
sıcaklıklarda korur.

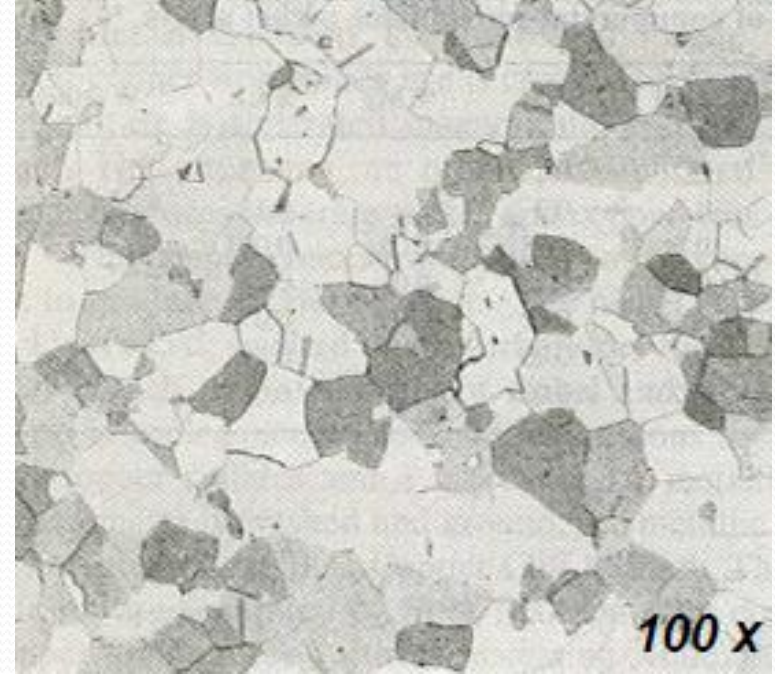
Üstün korozyon direnci

Uygulamalar

Gıda üretim donanımları

Elektrik ve elektronik parçalar

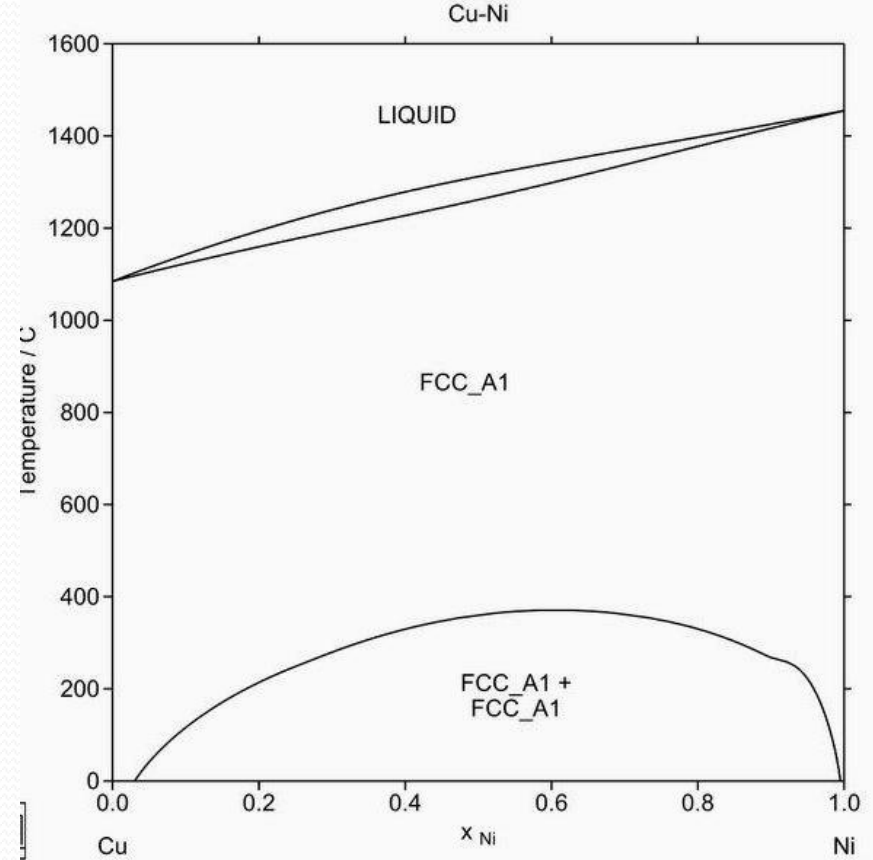
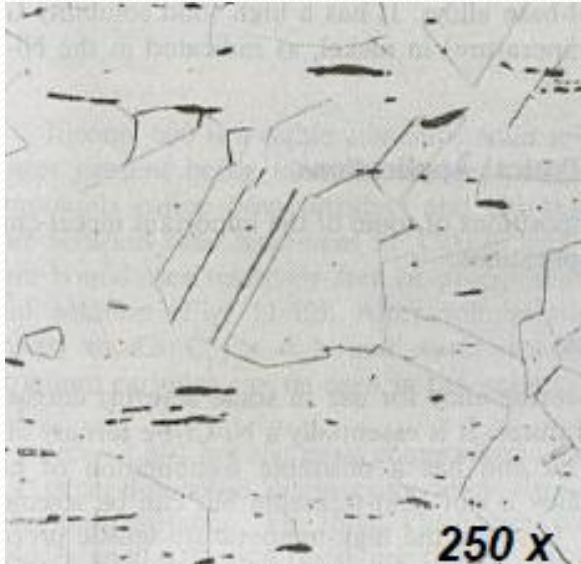
Kostik işleme ekipmanları



Soğuk çekildikten sonra 829C'de  
tavlanmış nikel 200 alaşımı

# Nikel-bakır alaşımları (moneller)

Ni ve Cu birbirleri içinde tamamen çözünür.  
En önemli Ni-Cu alaşımları %67 Ni ve %33 Cu içerir.  
**monel alaşımları**



Soğuk çekilmiş ve daha sonra 829°C'de tavllanmış Monel R405 alaşımı; katı eriyik matris ve siyah renkli sülfid kalıntıları



# Nikel-bakır alaşımları (moneller)

## Özellikleri:

- Geniş bir sıcaklık aralığında yüksek mukavemet ve tokluk
- Üstün kaynaklanabilme
- Mükemmel korozyon direnci

## Uygulamalar

- Pompalar, denizci bağlantı parçaları
- Kimyasal üretiminde yapısal uygulamalar
- Petrol kuyu delici ve donanımları

# Nikel-bakır alaşımları

Nikel ve bakır birbirleri içinde tamamen çözünür.  
Nikel-bakır alaşımları,  
katı eriyik sertleşmeli  
Çökeltme sertleşmeli  
kolay işlenebilir alaşımları  
içerirler.

alaşım	Ni	Cu	Fe	C	Mn	Al	Ti	S
alaşım 400	63	28-34	2.5	0.30	2.5	-	-	
Alaşım K-500	63	27-33	2.0	0.25	1.5	0.5	2.3-3.15	0.35-0.85
Alaşım R-405	63	32	2.5	0.30	2.0	-	-	0.012

# Çökeltme sertleşmeli Nikel alaşımları

- Bazı nikel alaşımları ciddi miktarda çökeltme sertleşmesi gösterirler.
- belli başlı alaşım elementleri: Mg, Al, Si ve Ti
- çözeltiye alma/soğutma/ ortalama bir sıcaklığa tekrar ısıtılır ve burada hedeflenen özellikler elde edilinceye dek bekletilir.

# Çökeltme sertleşmeli Nikel alaşımları

alaşım	Çözeltiyeye alma tavı T( C)-t (st)	soğutma	yaşlandırma
Monel K-500	980 0.5-1	suda	595°C'ye ısıt; 16 st tut, fırında 540°C'ye soğut; 6 st tut; fırında 480°C'ye; 8 st tut ve havada soğut
Inconel 718	980 1	havada	720°C'ye ısıt; 8 st tut, fırında 620°C'ye soğut; toplam süre 18 st olacak şekilde beklet; havada soğut
Inconel X-750	1150 2-4	havada	845°C'ye ısıt; 24 st tut, havada soğut; 750°C'ye tekrar ısıt; 20 st tut; havada soğut.
Hastelloy X	1175 1	havada	760°C'ye ısıt; 3 st tut, havada soğut; 595°C'ye tekrar ısıt; 3 st tut; havada soğut.





# Nikel-krom alaşımları

- Ni-Cr faz sisteminde kromun nikel içinde çözünürlüğü ötektik sıcaklıkta %47'den oda sıcaklığında %30'a kadar düşer.
- Ni-Cr alaşımları genellikle termal geçmişe bağlı olarak ya tane sınırlarında ya da tane ilerinde az miktarda krom karbürleri bulunan tek fazlı alaşımlardır.
- Yaklaşık %35 üstünde Cr ile mikroyapı çift fazlı hale gelir.

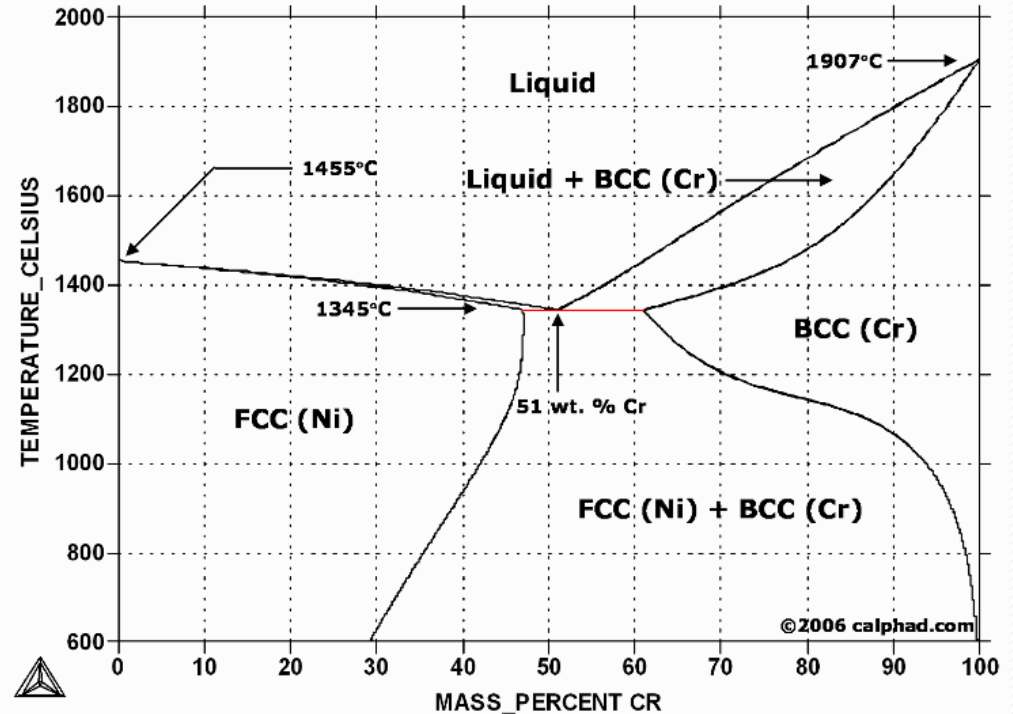
# Nikel-krom alaşımları

Krom Nikel ile oda sıcaklığında yaklaşık %30'a kadar katı eriyik yapar.

Bu alaşımların benzersiz korozyon direnci krom ilavesi sayesinde.

INCONEL 600 (%15.5Cr, %8Fe) standart bir mühendislik malzemesidir.

INCONEL 601, INCONEL 625 gibi gelişmiş türleri de vardır.



# Nikel-krom alaşımları

## INCONEL 600 Özellikleri:

Yüksek sıcaklıklarda yüksek korozyon direnci  
Yüksek mukavemet ve Şekil verilebilirlik

## Uygulamalar

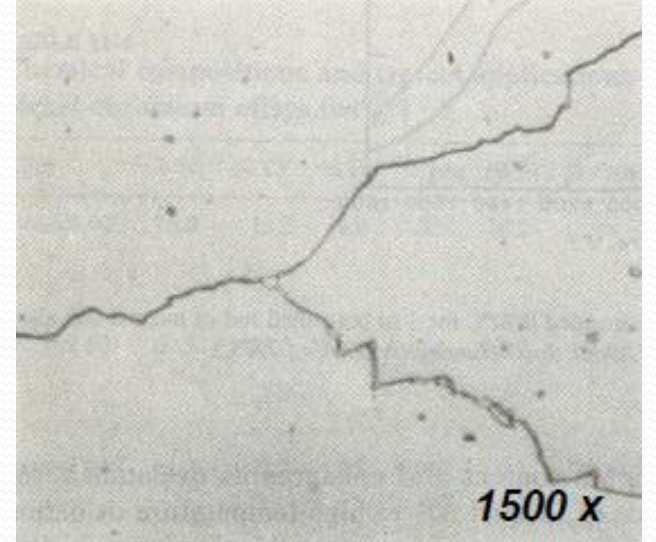
Isı değiştiricilerinde tp-boru  
Kimya/gıda sektörü uygulamaları  
Fırın parçaları

## Inconel 600 alaşımı:

1200°C'de 1 st + 870°C'de 4 st

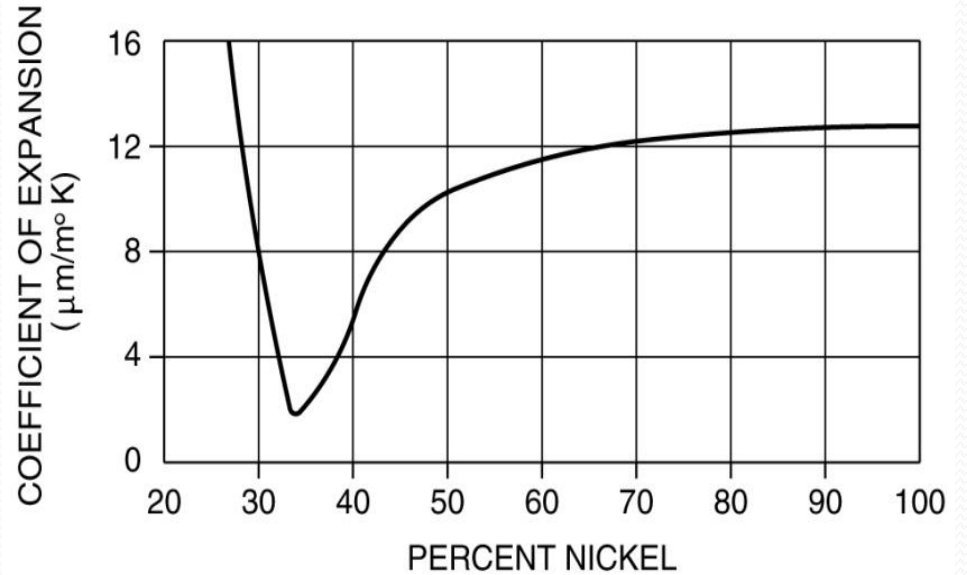
Katı eriyik matris ve tane sınırlarında  
Cr-karbürler

Tane içlerinde Ti karbürler ve nitrürler



# INVAR alaşımları

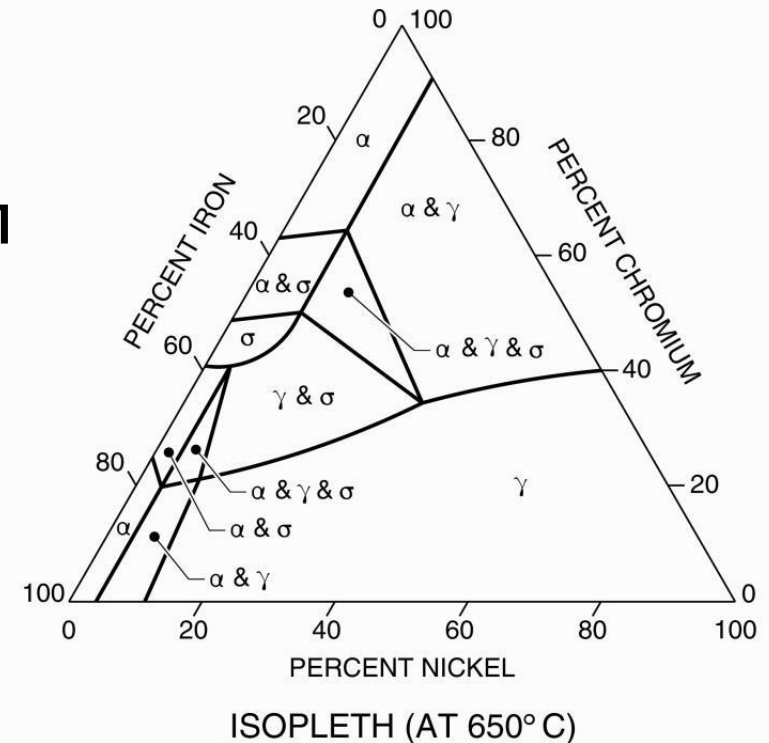
%36 Ni -Fe: tüm metaller arasında en düşük genleşme katsayısına sahiptir. Bu alaşımın ticari adı INVAR veya Ni-Lo 36'dır. Invar alaşımın düşük genleşme katsayısı dar bir sıcaklık aralığındadır. Düşük genleşmeli alaşımlar ısı genleşme arzu edilmeyen hareketli parçalarda, cam-metal bağlantılarında ve elektronik cihazlarda kullanılır.



# Ni-Fe-Cr alaşımları

- Ni-Fe-Cr faz sisteminde gama faz alanı çok geniş.
- Faz diyagramınının Fe koşesine doğru %40 Cr'a kadar uzanır.
- Gama faz bölgesi birçok ticari sızak alaşımını barındırır.
- Bu alaşımlar ısıya dayanıklı dökümler ve demir esaslı süper alaşımlar şeklinde 2 gruba ayrılırlar.

yüksek





# Nikel-esaslı süperalaşımlar

Yüksek sıcaklık ısıya dayanıklı alaşımlar: yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini korurlar.

3 çeşit Ni-esaslı süper alaşım var:

Ni-esaslı süperalaşımlar

Ni-Fe esaslı süperalaşımlar

Co-esaslı süper alaşımlar



# Nikel-esaslı süperalaşımlar

Bu alaşımlar,  
Yüksek miktarda Cr ile birlikte,  
Çökelti oluşturmak için Ti, Al ve  
Mo, Co, Nb, Zr, B ve Fe içerirler.  
Mikroyapıları karmaşıktır.

## Uygulamalar

Uçak ve uzay araçları, uydular, roket motorları  
Endüstriyel gaz türbinleri  
Yüksek sıcaklık yapısal uygulamaları  
Nükleer reaktörler, denizaltılar  
Buhar jeneratörleri, petrokimya endüstrisi

# Ni-esaslı süperalaşımalar

- en önemli süperalaşım grubu.
- Ni, Cr, Co, Fe, Mo, W ve Nb içerirler.
- 40'ın üzerinde işlem yaklaşık 30 adet döküm süper alaşımı vardır.
- Ni süperalaşımaları 1095° C'ye kadar sıcaklıklarda kullanılabilirler.
- Bu alaşımalar uçaklarda bir çok sistem ve donanımda kullanılırlar. Manifoldlar, kolektör bilezikleri, egsoz vanaları vb.
- Ni süper alaşımaları levha formunda yanma astarları, gaz türbin kutuları ve jet motorlarında kullanılır.

# Nikel süperalaşımlarında başlıca alaşım elementleri

IIA	IIIA	IVB							
	B 0.097	C 0.077							
	Al 0.143		IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA
		Ti 0.147	V 0.132	Cr 0.125		Fe 0.124	Co 0.125	Ni 0.125	
	Y 0.181	Zr 0.158	Nb 0.143	Mo 0.136		Ru 0.134			
		Hf 0.159	Ta 0.147	W 0.137	Re 0.138				

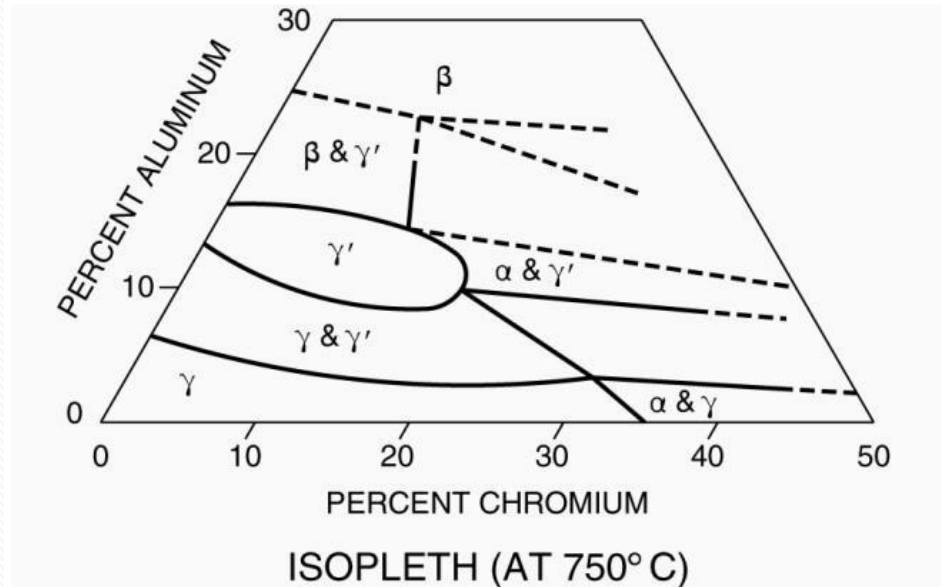
Element

Atomic Radius (nm)

$\gamma'$  former    
  Minor alloying additions    
   $\gamma$  former

# Ni-esaslı süperalaşımalar

- Ni-Cr-Al faz diyagramını bir çok nikel süperalaşımındaki sertleşme mekanizmasının temelini oluşturur.
- Bu üçlü faz diyagramınının 750° C kesitinde %30 Cr'a kadar, gamma katı eriyiği  $\text{NiAl}_3$  veya gamma prime ( $\gamma'$ ) fazı çevrelenmiştir.





# Ni-esaslı süperalaşımalar

- Nikel parçalar için başlıca şekillendirme teknikleri dövme ve soğuk şekil vermedir.
- Nikel alaşımlarının dövme işlemlerinin büyük çoğunluğu 870-1095 ° C aralığında gerçekleştirilir.
- Bazı nikel alaşımları yüksek sıcaklıklarda aşırı mukavemetlidir. Bu yüzden dövme presi tane büyümesine neden olabilecek sık ara tavlara gerek olmaması için yeterli kapasitede olmalıdır. Homojen tane yapısı ve optimum mekanik özelliklere ihtiyaç duyan süper alaşımlar için bu konu önemlidir.

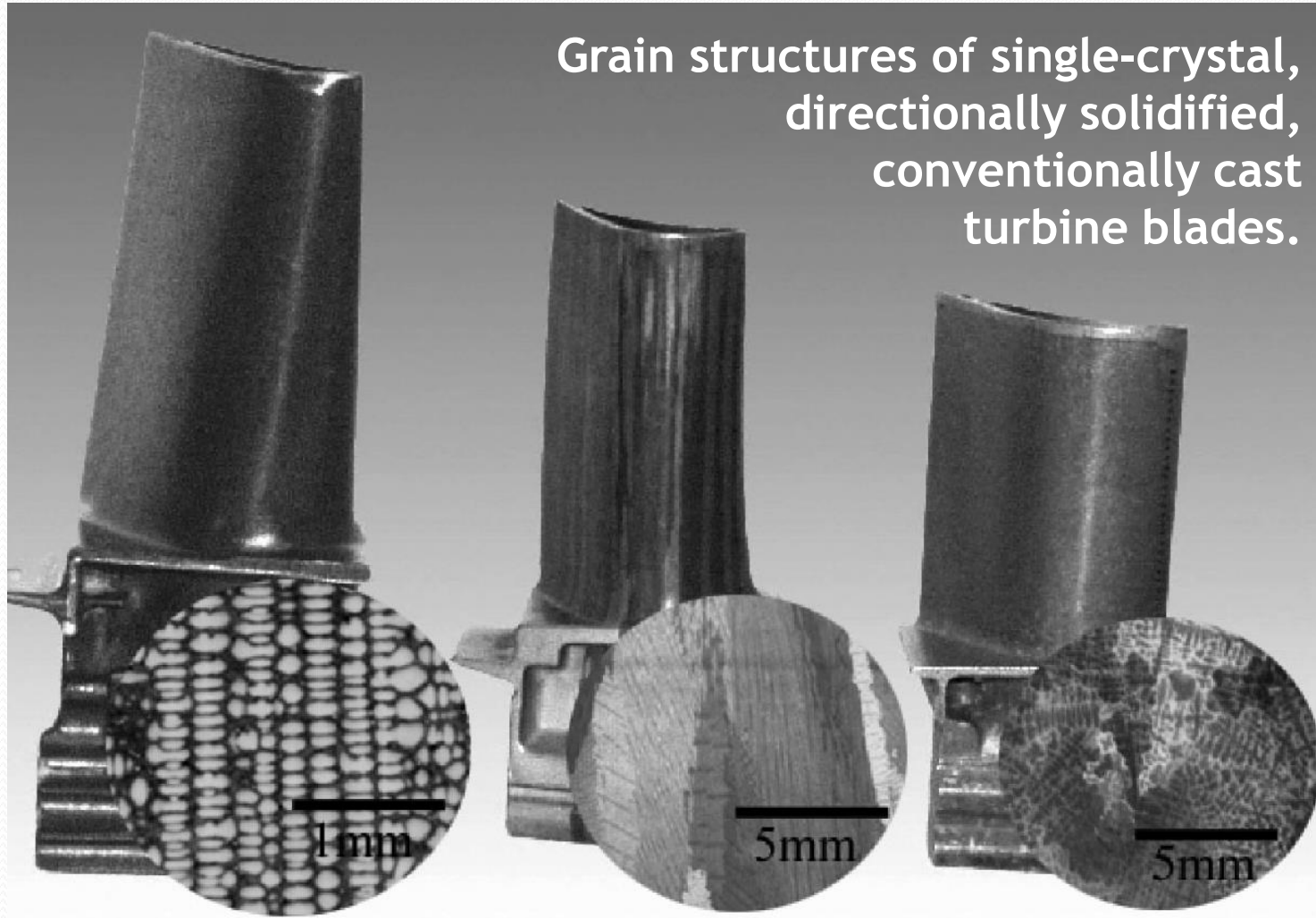
# Ni-esaslı süperalaşımalar

Bazı nikel alaşımlarının dövme sıcaklık aralığı oldukça dardır. Düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle dövülen parça ile kalıp temas süresini en aza indirmek gerekir. Böylece çil etkisi ve yüzey çatlakları engellenir. Sıcak şekillendirme operasyonlarında kükürt kontaminasyonuna izin verilmemelidir.

## Hafif ve ağır dövme işlemleri için sıcaklık aralıkları

Alloy 200	Up to 860	860 to 1225
Alloy 301	860 to 1030	1030 to 1225
Alloy 400	650 to 925	925 to 1175
Alloy K-500	870 to 1030	1030 to 1150
Alloy 600	Up to 650 and 870 to 1030	1030 to 1225
Alloy 625	—	1000 to 1175
Alloy 718	890 to 950	950 to 1120
Alloy 722	975 to 1030	1030 to 1205
Alloy X-750	975 to 1030	1030 to 1205
Alloy 800	Up to 650 and 875 to 1005	1005 to 1205
Alloy 825	Up to 650 and 875 to 1005	1005 to 1175

# Nikel süperalaşımında mikroyapı



# Nikel esaslı süperalaşımların tek kristal uygulamaları

- Normal süper alaşımlarının en az 50 °C üstünde kullanılmaları mümkündür.
- Aerofolyoların, gaz türbin motorlarının imalatında kullanılırlar.

# Nikel-demir süperalaşmaları

- Demir daha ucuz olduğundan kısmen Ni yerine kullanılır.
- Nikel esaslı süper alaşımara göre özellikleri düşürür.
- Bu nedenle Ni-Fe süperalaşmaları düşük sıcaklıklarda kullanılır.
- Ni-Fe süperalaşmaları %25-45 Ni ve %15-60 Fe içerirler.
- Daha yüksek Ni çalışma sıcaklığını yükseltir (815°C'ye kadar!)



# Nikel-demir süperalaşımaları

- Artan Ni ile yüksek sıcaklık performansı iyileşir fakat maliyet artar.
- Örnekler: INCONEL 707, 718, 901.
- Mikroyapı ostenitik YMK matris üzerine kuruludur.
- Mo ve Cr ilavesi ile katı eriyik sertleşmesi sağlanabilir
- Ti, Nb ve Al ilavesi ile metallar arası bileşikler oluşturularak çökelme sertleşmesinden yararlanılabilir.

# Fe-esaslı süperalaşımlar

- Demir esaslı süperalaşımlar: işlem alaşımları
- %9-49 Ni + %12-22 Cr + %22-62 Fe + diğer alaşım elementleri
- ostenitik paslanmaz çeliklerin hüviyetinde
- 760°C sıcaklıklara kadar kullanım için uygun

# Fe-esaslı süperalaşımlar

Alloy	%Ni	%Cr	%Co	%Mo	%W	%Nb	%Al	%Ti	%Fe	%Mn	%Si	%C	%B
A-286	26.0	15.0	—	1.3	—	—	0.20	2.0	54.0	1.30	0.50	0.05	0.015
Disaloy	26.0	13.5	—	2.7	—	—	0.10	1.7	54.0	0.90	0.80	0.04	0.005
Alloy 901	42.5	12.5	—	5.7	—	—	0.20	2.8	36.0	0.10	0.10	0.05	0.015
Haynes 556*	20.0	22.0	20.0	3.0	2.5	0.1	0.30	—	29.0	1.50	0.40	0.10	—
Incoloy 800	32.5	21.0	—	—	—	—	0.40	0.4	46.0	0.80	0.50	0.05	—
Incoloy 801	32.0	20.5	—	—	—	—	—	1.1	44.5	0.80	0.50	0.05	—
Incoloy 802	32.5	21.5	—	—	—	—	—	—	46.0	0.80	0.40	0.40	—
Incoloy 807	40.0	20.5	8.0	0.1	5.0	—	0.20	0.3	25.0	0.50	0.40	0.05	—
Incoloy 825 <sup>†</sup>	42.0	22.0	—	3.0	—	—	0.20	0.8	28.0	1.00	0.50	0.05	—
Incoloy 903	38.0	—	15.0	—	—	3.0	0.70	1.4	41.0	—	—	—	—
Incoloy 907	38.0	—	13.0	—	—	4.7	0.03	1.5	42.0	—	0.15	—	—
Incoloy 909	38.0	—	13.0	—	—	4.7	—	1.5	42.0	—	0.40	0.01	0.001
N-155 <sup>†</sup>	20.0	21.0	20.0	3.0	2.5	1.0	—	—	30.0	1.50	0.50	0.15	—
V-57	27.0	14.8	—	1.3	—	—	0.30	3.0	52.0	0.30	0.70	0.08	0.010
19-9 DL	9.0	19.0	0.4	—	1.3	—	—	0.3	bal	1.00	0.50	0.30	—
16-25-6	25.5	16.25	—	6.0	—	—	—	—	bal	2.00	1.00	0.10	—
Pyromet <sup>®</sup> CTX-1	37.7	0.1	16.0	0.1	—	3.0	1.00	1.7	39.0	—	—	0.03	—
Pyromet CTX-3	38.3	0.2	13.6	—	—	4.9	0.10	1.6	bal	—	0.15	0.05	0.007
17-14CuMo <sup>§</sup>	14.0	16.0	—	2.5	—	0.4	—	0.3	62.4	0.75	0.50	0.12	—
20-Cb3 <sup>  </sup>	34.0	24.0	—	2.5	—	1.0	—	—	35.0	—	—	0.07	—

# Nikel alaşımları uygulamaları

- Primer nikelin en önemli kullanım alanı paslanmaz elik üretimidir.
- Saf nikel nikel kaplama, toz metalurjisi, batarya elektrodlarında ve nikel esaslı alaşımların üretiminde alaşım katkısı olarak kullanılır.

<b>Application</b>	<b>Usage</b>
Stainless and heat-resistant steels	48%
High-nickel alloys	15%
Plating	10%
Other alloy steels	9%
Foundry (ferrous and nonferrous)	8%
Superalloys	5%
Other	5%

# Nikel





# Nikel mi, çevre ve doğa mı?

**MANİSA'nın Turgutlu İlçesi sınırlarında kalan ve yaklaşık 2 milyon ağacın kesilmesinin öngörüldüğü Çaldağı'nda nikel cevherinin çıkartılmasıyla ilgili hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporuna, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onay verildi.**

Çaldağı eteklerinde faaliyete geçecek ilkel yöntemle nikel cevherinin çıkartılacağı gerekçesiyle tepkilere neden olan madenle ilgili firma tarafından bu yılın başlarında hazırlanan 2'nci ÇED raporu da 27 Ekim'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylandı.

projenin hazırlık aşamasında yaklaşık 200 bin ağaç kesildi, tesis çalışmaya başladıktan sonra da yaklaşık 1 milyon 800 bin ağacın kesileceği iddia ediliyor.

TURÇEP (Turgutlu Çevre Platformu), "Konuyu mahkemeye taşıyor. Yırcı deneyiminden sonra..."

# Nikel mi, çevre ve doğa mı?

Manisa İli Gördes İlçesi sınırları içinde bulunan nikel madeni, Meta Madencilik Ltd. Şti. tarafından 2003 yılında işletilmeye başlanmıştır. Maden işletmesinde üretime başlanılan tarihten bugüne kadar, açılan iki adet maden ocağından 230.000 ton nikel cevheri çıkarılmıştır.

Çıkarılan cevherin 150.000 tonu Yunanistan, Makedonya ve Çin gibi çeşitli ülkelere ihraç edilmiştir.

2008 yılından itibaren ihracat faaliyetlerine son verilerek, kalan 80.000 ton nikel cevheri yeni kurulacak tesisin deneme üretiminde kullanılmak üzere stok alanında muhafaza edilmektedir.

Firma, 2007 yılından itibaren Zorlu Grubunun katılımı ile Meta Nikel Kobalt Madencilik A.Ş. olarak faaliyetini sürdürmektedir. Şirket aynı yıl düzenlediği Gördes Nikel Kobalt Yatırım Projesi'ni yürürlüğe koyma kararı alarak 2011 de fizibilite çalışmalarını tamamlamıştır. Yatırım çalışmalarına 2011 tarihinde başlanması ve 2013 yılında nikel ve kobalt uç ürünlerin üretimine geçilmesi planlanmıştır.

Projenin uygulamaya konulması için ENCON Çevre Danışmanlık Ltd. Şti. tarafından Gördes Nikel Kobalt Projesi Nihai Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Raporu düzenlenmiştir. Rapor, yapılan revizyonlarla son şeklini alarak Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından onaylanmıştır.

# kobalt

## Cobalt



Discovery date	1739
Discovered by	G. Brandt
Origin of the name	The name is derived from the German word 'kobald', meaning goblin.
Allotropes	-

### Fact box



■ Group	9	■ Melting point	1495 °C, 2723 °F, 1768.15 K
■ Period	4	■ Boiling point	2927 °C, 5300.6 °F, 3200.15 K
■ Block	d	■ Density (kg m <sup>-3</sup> )	8800
■ Atomic number	27	■ Relative atomic mass	58.933
■ State at room temperature	Solid	■ Key isotopes	<sup>59</sup> Co
■ Electron configuration	[Ar] 3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup>	■ CAS number	7440-48-4

# Kobalt ve kobalt alaşımları

- Kobalt demir gibi manyetiktir ve mıknatıs üretiminde kullanılır. Alüminyum ve nikel ile alaşımları güçlü mıknatıslar arasındadır.
- Kobalt alaşımları yüksek sıcaklık mukavemetinin önemli ve gerekli olduğu jet türbinleri ve gaz türbin jeneratörlerinde kullanılır.  
Cazip görünüşü, sertliği ve korozyon direnci sayesinde elektro-kaplama işlerinde önemlidir.
- Kobalt tuzları asırlardır boyalarda, seramiklerde, enamel ve camlarda, kap kaçaklarda eşsiz renkler elde etmek için kullanılır.
- Radyoaktif Co-60 kanser tedavisinde yararlanır.

# Kobalt

kobaltit, skutterüdit ve örtrit minerallerinde bulunur.

Önemli rezervler

Kongo,

Kanada

Avustralya

Zambia ve

Brezilya'da mevcuttur.

Ancak kobaltın büyük bir bölümü Nikel madenciliğinin yan ürünü olarak elde edilir.

Kobalt da dail olmak üzere bazı geçiş elementlerinin rezervleri okyanus derinliklerindedir.



# Kobalt ve kobalt alaşımları

- Kobalt alaşımları Ni alaşımları gibi korozyondan korunma ve yüksek sıcaklık performansı için kullanılırlar.
- Bu uygulamalarda yüksek ergime noktaları ve yüksek mukavemetleri avantaj sağlar.
- Kobalt 417°C stnde YMK altında ise HCP yapıdadır.
- Kobalt benzersiz aşınma direnci, vücut sıvılarına dayanıklılığı ile kalça ve diz protezleri gibi biyomedikal uygulamalarda ön plana çıkar.

# Co- esaslı süperalaşımalar

- Kobalt- esaslı süperalaşımalar Nikel süperalaşımalarından daha düşük sürünme mukavemetine sahiptirler.
- Kobalt süperalaşımaları bir dizi karbürler ve katı eriyik fazları ile sertleşirler.
- Kobalt bazlı süperalaşımalar Ni süperalaşımalarına benzer fakat daha toleranslı uygulamalarda kullanılırlar.

Alloy	%Ni	%Cr	%Co	%Mo	%W	%Ta	%Nb	%Al	%Fe	%Mn	%Si	%C	%Zr	%Other
Air Resist 213	—	19.0	66.0	—	4.7	6.5	—	3.5	—	—	—	0.18	0.15	0.1 Y
Elgiloy®	15.0	20.0	40.0	7.0	—	—	—	—	16.0	2.0	—	0.10	—	0.04 Be
Haynes 188	22.0	22.0	39.2	—	14.0	—	—	—	3.0	—	—	0.10	—	—
L-605	10.0	20.0	52.9	—	15.0	—	—	—	—	—	—	0.05	—	—
MAR-M 918	20.0	20.0	52.5	—	—	7.5	—	—	—	—	—	0.05	0.10	—
MP35N®	35.0	20.0	35.0	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MP159®	25.5	19.0	35.7	7.0	—	—	0.6	0.2	9.0	—	—	—	—	3.0 Ti
Stellite 6B	3.0	30.0	52.0	1.5	4.5	—	—	—	3.0	2.0	2.00	1.1	—	—
Haynes 150	—	28.0	50.5	—	—	—	—	—	20.0	—	0.75	—	—	0.02 P and 0.002 S
S-816	20.0	20.0	bal	4.0	4.0	—	4.0	—	3.0	1.2	—	0.40	—	—
V-36	20.0	25.0	bal	4.0	—	—	2.3	—	2.4	1.0	—	0.32	—	—

# Co-esaslı süperalaşımlar

- Aşınma dirençli kobalt alaşımlarının önde gelenleri Stellite ve Triballoy alaşımlarıdır.
- Stellite %25-35 Cr, %1-3 C, %4-25 W içeren toz metalurjisi ile üretilen işlem ya da döküm alaşımlarıdır.
- Triballoy alaşımları toz metalurjisi ile üretilen intermetalik malzemelerdir.

STELLITE MATERIALS										
Alloy	%Cr	%W	%Ni	%Mo	%Si	%Mn	%Fe	%C	%B	%Other
Stellite 3	31.0	12.5	3.0	—	1.0	1	3	2.4	1	1
Stellite 6	29.0	4.5	3.0	1.5	1.5	1	3	1.2	1	2
Stellite 6B	30.0	4.5	3.0	1.5	2.0	2	3	1.1	—	—
Stellite 12	30.0	8.5	3.0	—	1.0	1	3	1.5	1	3
Stellite 19	31.0	10.5	3.0	—	1.0	1	3	1.9	1	2
Stellite 31	25.5	7.5	10.5	—	1.0	1	2	0.5	—	2
Stellite 190	26.0	14.0	3.0	1.0	1.0	1	5	3.1	1	2
Stellite 98M2	30.0	18.5	3.5	0.8	1.0	1	5	2.0	1	2; 4.2 V
Stellite Star J	32.5	17.5	3.0	—	1.0	1	3	2.5	1	2

# Alaşım elementleri

## Krom

- Oksitlenme ve yüksek sıcaklık korozyonu direncini artırır.
- $M_7C_3$  ve  $M_{23}C_6$  karbürleri oluşturarak mukavemeti artırır.

## Tantalum/Kolombiyum

- Katı eriyik sertleştiricileri
- $Co_3M$  bileşiği ve  $MC$ ,  $M_6C$  karbürü oluşturarak sertleşme sağlar.

## Alüminyum

- Oksitlenme direncini artırır.
- $CoAl$  bileşiğini oluşturur.

# Alaşım elementleri

## Titanyum

- MC karbürleri ve  $\text{Co}_3\text{Ti}$  bileşiği oluşturarak mukavemet sağlar.
- Yeterli Ni bulunduğunda  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  ile de mukavemeti arttırır.

## Nikel

- YMK matrisi kararlı kılar.
- $\text{Ni}_3\text{Ti}$  bileşiği ile mukavemet sağlar.
- Dövülebilirliği arttırır.

## Bor ve zirkonyum

- Tane sınırlarına etkisi ve çökelti oluşumu ile mukavemet sağlar; Zr MC karbürleri ile mukavemeti arttırır.



# Alaşım elementleri

## Karbon

- $MC$ ,  $M_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$  ve  $M_6C$  karbürleri ile mukavemet artışı

## Yitriyum, Lantalum

- Oksitlenme direncini arttırır.

# uygulamalar

türbin kanatları

- implant malzemeleri
- eksoz kutusu
- brülör astarları
- vb yapısal levha uygulamaları

Kobalt alaşımları Nikel alaşımlarına benzer pratiklerle kaynak yapılabilirler. Kaynak işlem şartları paslanmaz çelikler için uygulananlardan daha farklı değil. Sadece daha fazla kaynak kuvveti gerekli olabilir.



# Refrakter metaller

25.12.2014



# refrakter metaller

**Be**  
4

IVB	VB	VIB	VIIIB	VIII			IB
<b>Zr</b> 40	<b>Nb</b> 41	<b>Mo</b> 42		<b>Ru</b> 44	<b>Rh</b> 45	<b>Pd</b> 46	<b>Ag</b> 47
<b>Hf</b> 72	<b>Ta</b> 73	<b>W</b> 74	<b>Re</b> 75	<b>Os</b> 76	<b>Ir</b> 77	<b>Pt</b> 78	<b>Au</b> 79

Period 5

Period 6

**U**  
92

REACTIVE  
METALS

REFRACTORY  
METALS

PRECIOUS  
METALS



# Refrakter metaller

73 <b>Ta</b> Tantalum 180.948 2-8-18-32-11-2	41 <b>Nb</b> Niobium 92.906 2-8-18-12-1	42 <b>Mo</b> Molybdenum 95.94 2-8-18-13-1	74 <b>W</b> Tungsten 183.85 2-8-18-32-12-2	75 <b>Re</b> Rhenium 186.207
--	---	---	--	---------------------------------------

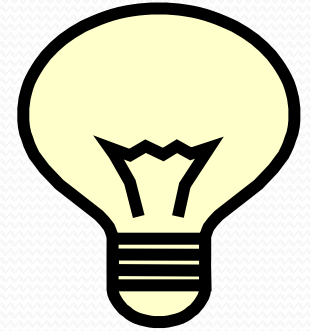
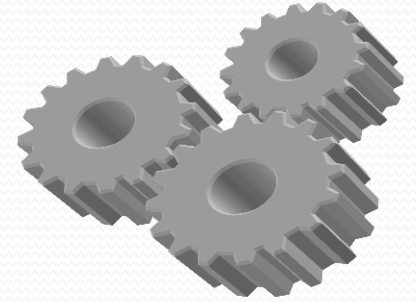


# Refrakter metaller

- ergime noktaları 2000°C'nin üstünde olan metaller
- Yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeleri kolay!
- Düşük sıcaklıklarda işlenmeleri zor!
- Pahalı!
- Tozları toksik ve biyolojik etkileri olabilir; deri ile temasta tahriş edici!
- Nb, Ta, Mo, W ve Re
- dökümle imal edilmezler.
- Üretimleri toz metalurjisi ile!
- Saf halde gevrek!
- Tornalanmaları güç!

# Refrakter metaller

- Metalik bağları zayıftır ve bu nedenle akma dayanımları dūşüktür.
- HMK kristal yapısındadırlar. Bu nedenle sünek-gevrek geçiş sıcaklığı gösterirler.
- Sadece sıcak Şekillendirme!
- Isıl değişimlere, yüksek sıcaklıklara
- Aşınmaya
- Yüksek sıcaklıklarda korozyona dayanıklı



# Refrakter metal ve alaşımlar

- Refrakter metallerin kullanıldığı yerlere rnekler
- Ampül filamanları (tungsten),
- roket nozülleri, nükleer santral jeneratörleri (niobyum),
- elektronik kapasitör (tantalum ve niobyum) ve
- kimya süreç ekipmanları
- Torna uçları
- Kaynak elektrodları
- Medikal ekipmanlar

# Refrakter metal ve alaşımları

- Refrakter metaller oksitlendiklerinden havada yüksek sıcaklıklarda ve uzun sürelerle çalışamazlar.
- Vakumda, uzayda veya oksijensiz ortamlarda kullanılabilirler.



# Refrakter metallerin özellikleri

metal	Terg (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme MPa	Akma MPa	Geçiş T (°C)
Nb	2468	8.57	117	55	-140
Mo	2610	10.22	345	207	30
Ta	2996	16.6	186	165	-270
W	3410	19.25	455	103	300
Rh	3186	21.02	1070	290	

# Refrakter metallerin özellikleri

metal	Kristal yapısı	UNS kodu	Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Ergime noktası (C)	Isı iletkenliği W/m.K	Isıl genleşme katsayısı 10 <sup>6</sup> /K	Elektrik direnci, nΩ.m	Elastik modülü GPa
Ta	HMK	R05001- R05999	16.65	2996	57.5	6.6	125	185
Nb	HMK	R04001- R04999	8.57	2468	53.7	7.2	125	113
Mo	HMK	R03001- R03999	10.22	2610	138	4.9	52	324
W	HMK	R07001- R07999	19.26	3410	173	4.6	53	405
Rh	HCP	R40001- R49999	21.00	3180	71	6.7	193	469

# tungsten

Atom numarası: 74  
Ergime noktası: 3422 °C  
Yoğunluk: 19.25 g/cm<sup>3</sup>  
E: 411 GPa  
Kafes yapısı: HMK



# tunsten

- Wolfram/tunsten
- Çok sert bir metaldir.
- Rengi çelik grisi ile beyaz arasındadır.
- En yüksek ergime noktasına sahiptir:  $3422^{\circ}\text{C}$
- Yüksek sıcaklıklarda en yüksek mukavemet ( $1650^{\circ}\text{C}$  ve üstü)



# Tungsten esaslı alaşımlar

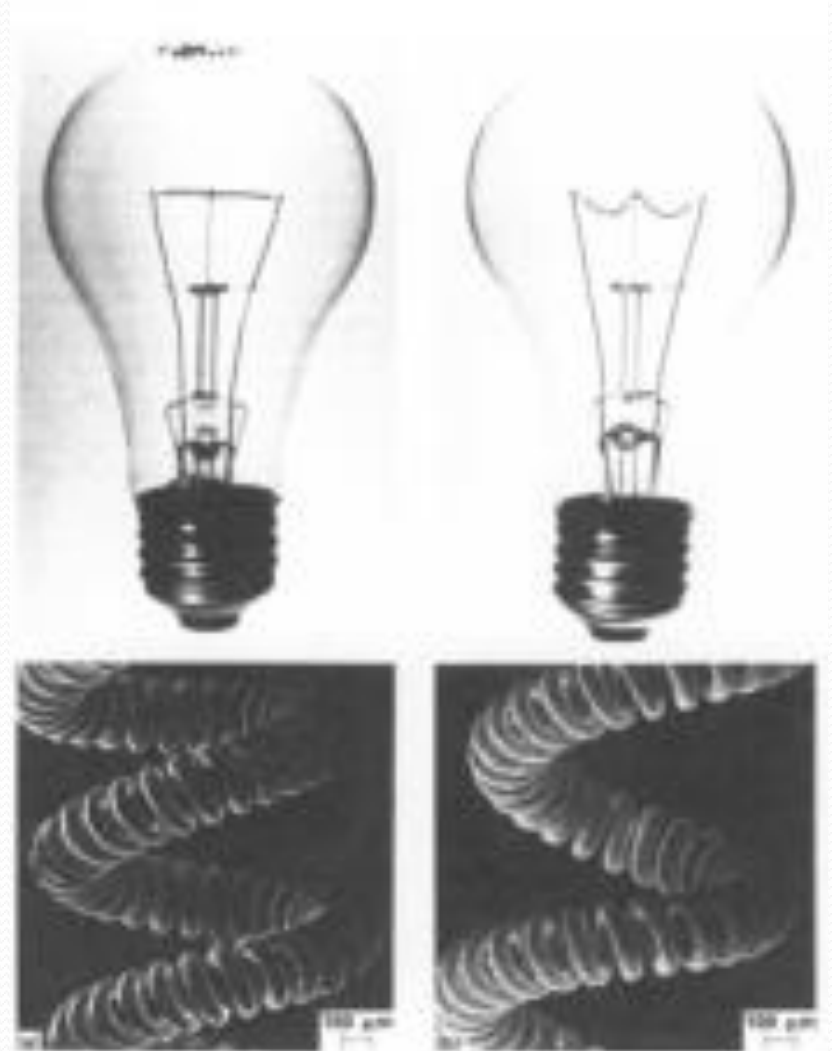
Z=74

Yoğunluk: 19.26 g/cm<sup>3</sup>

E: 414 GPa

Kafes yapısı: HMK

Ampül filamanlarında  
Karbürlü kesme takımlarında  
Çeliklerde ve  
süperalaşımlarda alaşım  
elementi olarak  
Uçak-uzay sektöründe





# Tungsten esaslı alaşımlar

- Alaşımsız tungsten
- Doplanmış tungsten
- Katı eriyik alaşımları  
%2-20 Mo veya %1-25 Re içerirler!
- Dispersiyon sertleşmeli alaşımlar  
%1-2 ThO<sub>2</sub> veya HfC
- W ağır alaşımlar  
W-Ni-Cu veya W-Ni-Fe

# Alaşımsız Tungsten

- zellikler deformasyon geçmişine, saflık seviyesine ve test yönüne bağlıdır.
- Yeniden kristalleşme sıcaklığı altında artan deformasyon mukavemeti ve sünekliliği arttırır ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını düşürür.
- Bu durum hareketli dislokasyonların oluşmasından kaynaklanır.
- Yeniden kristalleşmiş yapılar sınırlı sünelik gösterirler ve taneler arası kırılma ile kırılırlar.
- Tane küçültme sünekliliği ve mukavemeti arttırır.

# Katı eriyik Tungsten alaşımları

- Tipik olarak Mo veya Re bulunur.
- Mo yoğunluğu dūřürür ve döküm alaşımlarında tane yapısını küçültür. Mo aynı zamanda ergime sıcaklığını dūřürür ve prosesi kolaylaştırır.
- Re tungsten alaşımlarını sünek yapar.
- W-Re alaşımları yüksek sıcaklık ısılıçiftlerinde, tahrik sistemi parçalarında ve X-ışınları tüplerinde kullanılır.
- Re ısııl yorulma ve ısııl şok direncini arttırır.

# dispersiyonlu Tungsten alaşımları

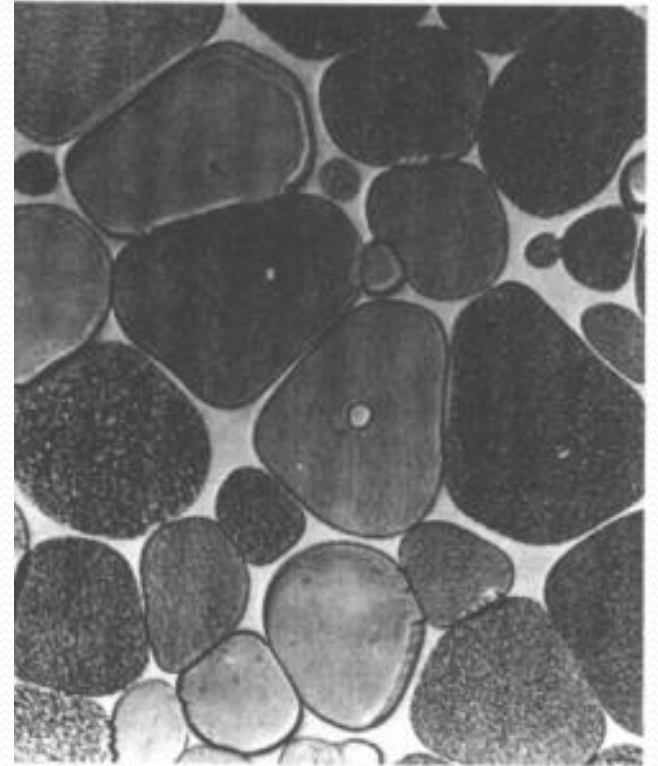
- ThO<sub>2</sub> takviyeli W alaşımları bu gruptaki en popöler alaşımlardır.
- Ampül filamanlarında kullanılır.
- Ark kaynağı için elektrod malzemesidir.
- ThO<sub>2</sub> tungstenin yüksek servis sıcaklıklarında buharlaşma kaybını azaltır.
- ThO<sub>2</sub> aynı zamanda yeniden kristalleşmeyi ve yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini önler.

# ağır Tungsten alaşımları

W tanelerinin geçiş elementinden matris içinde gömülü olduğu sıvı faz sinterlemesi (toz metalurjisi) ileretilen alaşımlardır.

Radyasyon bariyeri, elektrik kontak malzemesi, kinetik enerji delicilerine (bomba) karşı zırh malzemesi olarak kullanılırlar.

95W-3.5Ni-1.5Fe ağır alaşımı; sıvı faz sinterlemesi ileretilmiş. Yapı Fe ve Ni'ce zengin ile çevrelenmiş W tanelerinden oluşuyor!





# Tungsten alaşımları

- HMK kristal yapısı
- sünek-gevrek geçiş sıcaklığı oda sıcaklığına yakın.
- kaynak bölgesi sünek değil.
- O, N, C çözüneürlüğü düşük.
- bu nedenle tane sınırlarında oksit, nitrit ve karbür filmlerine rastlanır.
- Kaynak işleminin saf asal gazda veya vakumda yapılabilir.
- gerilme konsantrasyonlarına ve yükleme hızına hassas
- Renyum ile alaşımlama sünekliği arttırır: W 20-30%Re (ticari bir alaşım fakat sigma fazı nedeniyle katılaşmada çatlak riski var!)

# Molibden

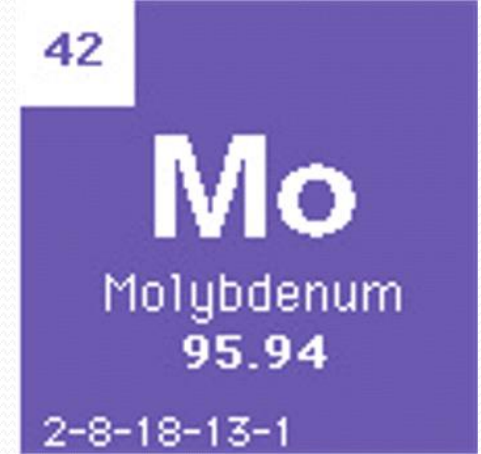
Atom numarası: 42

Ergime noktası: 2610°C

Yoğunluk: 10.22 g/cm<sup>3</sup>

E: 324 GPa

HMK



Yüksek stiffness ve hafiflik gerektiren uygulamalarda ısı özellikleri ile termal şok ve yorulma şartlarında ideal: mikroelektronikte önemli!

demir-çelik ve süper alaşımlarda alaşım elementi diğer tüm refrakter metallere göre daha fazla kullanılır. Mo esaslı hadde ürünleri pazarın %5'i

# molibden

- Az miktarlarda çelik ve diğer metalleri sertleştirmek için alaşım katkısı olarak kullanılır.
- Çok sert bir metaldir.
- Rengi metalik gridir.
- Pahalıdır: 2000 yılında \$100/kg
- Yüksek ergime noktası
- Molibdenin birçok medikal uygulaması da vardır.

# Molibden ve alaşımları

## avantajlar

Yüksek spesifik elastik modülü ( $E/\rho$ )

Yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet

Yüksek ısı iletkenliği

Düşük spesifik ısı

Düşük ısıl genleşme katsayısı

# Molibden ve alaşımları

## Olumsuz yönleri

HMK kafesi yapısındadır.

Bu nedenle sünek-gevrek geçişi vardır.

VIA grubu metallerinin tümünde olduğu gibi DBTT oda sıcaklığı üstündedir.

Yani, bu metal de oda sıcaklığında gevrekler.



# Molibden ve alaşımları

## **Karbürle sertleştirilenler**

Küçük refrakter metal karbürlerinin dispersiyon sertleştirme kapasitesine ve yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmesine dayanırlar.

## **Katı eriyik sertleştirmesi**

Difüzyonu sınırlamak için katı eriyik elementlerinin ilavesi ile tasarlanmıştır.

## **Kombinasyon alaşımları**

Karbür ve katı eriyik sertleşmesi

## **Dispersiyon sertleşmeli toz metalurjisi alaşımları**

Toz metalurjisi üretimi sırasında yapıya kazandırılan ikinci faz partiküllerinin yeniden kristalleşme sıcaklığını arttırmasına ve YK tane yapısını kararlı kılmaları esasına göre

# Karbürle sertleştirilen Molibden alaşımları

Alloy	Ti	Zr	C	Hf	Comments
TZM	0.5	0.08	0.03	---	Most popular. Brittle
TZC	1.2	0.03	0.01	---	
MHC	---	---	0.05	1.5	
ZHM	---	0.50	0.20	1.5	

uygulamalar

Ni alaşımları için sıcak dövme kalıp malzemesi

Cam işleme ekipmanları ve

vakum fırınlarında ısıtma elemanları

# katı eriyik sertleşmeli Mo alaşımları

- Mo-25W / Mo-30W
- kimyasal dirençleri yüksek!
- Çinko eriyiklerinin proses edilmesinde kullanılır.
- W-esaslı alaşımlara ucuz ve hafif bir alternatif!
- Mo-5Re ve Mo-41Re alaşımları ısıtıl çift teli ve uzay ve uçak sanayinde yapısal uygulamalarda kullanılıyor!
- Re Mo alaşımlarına yüksek sıcaklık mukavemeti ve düşük sıcaklık sünekliği verir.

# Dispersiyon sertleşmeli Mo esaslı alaşımlar

Z-6: Mo-0.5 ZrO<sub>2</sub>

MH (HD): Mo-100 ppm K - 300 ppm Si

KW: Mo-200 ppm K - 300 ppm Si - 100 ppm Al

Bu alaşımlar toz metalurjisi ile üretilirler.

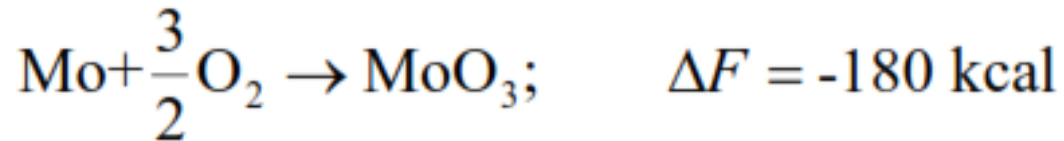
İnce dağılımlı Dispersoidler işlem görmüş yapıyı kararlı kılıp yeniden kristalleşmeyi önler.

Düşük sıcaklık performansı için kararlı tane yapısı!

Bu alaşımların sürünme dirençleri yüksek!

# Mo esaslı alaşımların oksidasyonu

Bu alaşımlar havada kullanılamazlar. Uçucu oksitler oluşur!



m.p. of  $\text{MoO}_3 = 795^\circ\text{C}$

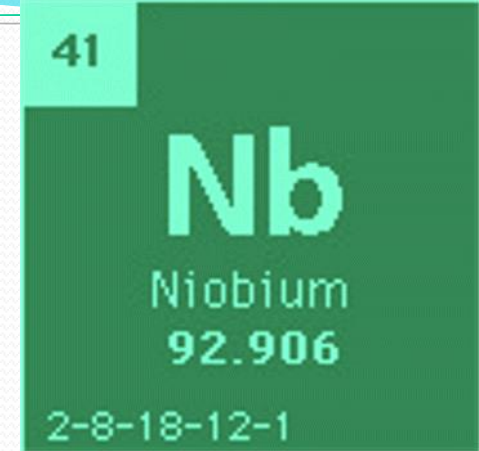
b.p. of  $\text{MoO}_3 = 1155^\circ\text{C}$

Sıvı oksit, Mo ve O iyonlarının oksitten geçmesine izin verdiği için bu alaşımlara zarar verir.

Yüksek sıcaklık kaplamaları ile korunmaları gerekir.



# niobyum



- Nadir yumuşak geçiş metallereinden biridir.
- Atmosfere açık bırakıldığında gri-mavi renktedir.
- Fiziksel olarak asaldır ve saf halde bulunur.
- Bir çok uygulama alanı vardır: alaşımlama; reaktörler; takı-mücevher!

# niobyum

Atom numarası: 41

Atom ağırlığı: 92.90 g

Ergime noktası: 2468 °C

Yoğunluk: 8.57 g/cm<sup>3</sup>

E: 103 GPa

Kafes yapısı: HMK

Başlıca alaşımlar:



Alloy	Nb	Mo	V	Zr	W	Hf	Ti	Ta	Other	Properties
B-66	Bal	5	5	1	–	–	–	–	–	Moderate strength & ductility
Nb-1Zr	Bal	–	–	1	–	–	–	–	–	Low strength & ductility
C-103	Bal	–	–	–	–	10	1	–	–	Low strength & ductility
FS-85	Bal	–	–	1	10	–	–	27	–	Moderate strength & ductility
Cb-1	Bal	–	–	1	30	–	–	–	0.05 C	High strength

# niobyum alaşımları

Refrakter metaller arasında  
en düşük ergime noktasına,  
En düşük yoğunluğa  
en düşük Elastik modüle

Nb en yüksek ısıl genleşme katsayısına sahiptir.

Bir çok normal ve korozyif ortamda kararlıdır.

# niobyum alaşımları

## Kullanımlar

B-66 ve FS-85 uzay mekiklerinde

Nb-1 Zr SP100 uzay istasyonu nükleer santralinde

C-103 roket parçalarında

# niobyum alaşımlarında mukavemet arttırma

Yer alan elementleri: Mo, W, V, Ta

Ara yer elementleri: C, N

Reaktif elementler: Zr, Hf, Ti

Bu elementlerin tümü karbür yapar. Bu nedenle onları önce çözeltiye almak ve sonra çalışma sıcaklıklarında çökelmelerini sağlamak istiyoruz.

Ti oksitlenme direncini arttırır.

W ve Ta yüksek sıcaklık mukavemeti için ilave edilirler.

# niobyum alaşımları

Nb alaşımları oksitlenmeye meğillidir.

Oxide	Wt.% O <sub>2</sub>	T <sub>mp</sub> (°C)	ΔF
Nb	–	2468	
NbO	14.7	1945	~-100 kcal
NbO <sub>2</sub>	25.6	1915	~-190 kcal
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30.1	1480	~-450 kcal

Oksit akacak ve alaşımı kaplayacaktır.  
Nb oksijeni çözer ve bu gevreklik yapar.



# Niobium

- {bcc} with no allotropic transformation
- Tensile Strength > 25 ksi; YS > 15 ksi
- Interstitials (O,N,H,C) effect mechanical properties
- Oxidizes rapidly at > 750F
- Absorbs Hydrogen 500-1750F
- Reacts with carbon, sulfur and halogens at elevated Temp
- Excellent Corrosion Resistance in Aqueous solutions because of tenacious oxide formation

# Niobyum alaşımları

Alloy with Tantalum, Tungsten, Molybdenum, Hafnium, Titanium, Zirconium

- Produced into sheets, plates etc.

## Typical Weldable Niobium Alloys

Common Designation	Nominal Composition, %
Nb-1Zr*	99Nb-1Zr
B-66	89Nb-5Mo-5V-1Zr
C-103	89Nb-10Hf-1Ti
C-129Y	80Nb-10W-1Hf-0.1Y
Nb-752	87.5Nb-10W-2.5Zr
FS-85	61Nb-28Ta-11W-1Zr
SNb-291	80Nb-10Ta-10W

# tantalyum



- Çok ağır ve korozyona çok dayanıklı çok nadir bir metal
- Mavi-gri renkte.
- Isı ve elektriği çok iyi iletir.
- Kapasitör ve süper alaşımlarda alaşım elementi olarak kullanılır.

# tantalyum alaşımları

Atom numarası: 73

Ergime noktası: 2996 °C

Yoğunluk: 16.6 g/cm<sup>3</sup>

E: 185 GPa

Kafes yapısı: HMK



Korozyona direnci mükemmeldir.

Yüksek sıcaklık kimyasal reaksiyonları için pota yapımında ve ısıtma elemanlarında kullanılır.

400 °C üstünde şiddetli oksitlenme.

# tantalyum alaşımları

En yaygın Ta alaşımları:

Ta-10W

Ta-2.5W → çok kolay Őekillendirildikleri için ısı değiştiricilerinde kullanılır.

Ta vücut doku ve sıvılarına karşı dayanıklıdır ve bu yüzden implant malzemelerinde ve ameliyat zımbalarında tercih edilir.

elastik modülü insan kemiğinkine çok yakındır. Oksitlenme direncini arttırmak için kaplamalar geliştirilmiştir.

# tantalyum

- HMK kafes yapısına sahiptir.
- Bütün sıcaklıklarda sünekliği iyidir.
- Ağırdır; yoğunluğu çeliğinkinin 2 katı
- Bir çok kimyasala karşı iyi korozyon direnci
- 300 °C üstünde oksitlenir.
- 150 °C üstünde hidroflorik, fosforik ve sülfürik asitten etkilenir
- yüksek sıcaklıklarda klor ve flor gazları ile C, H ve N ile reaksiyona girer.
- çekme:
- çekme=207-345 MPa; akma=165-220 MPa; uzama=20-30%



# tantalyum

## uygulamalar

- Kimya sektörü
- Elektrik kapasitörleri
- Yüksek sıcaklık fırın komponentleri

# Tantalyum Metal üretimi

## Toz metalurjisi

- direnç kaynağı önerilmez çünkü kaynakta porozite fazla olacak.

## Vakum ark ergitme & Elektron demet ergitme

- direnç kaynağına uygun

# Tantalyum alaşımları

alaşım	bileşim
KBI-10	97.5 Ta-2.5W
Ta-10W	90T-10W
FS-63	97.4Ta-2.5W-0.15Nb
T-111	90Ta-8W-2Hf
T-222	87.5Ta-10W-2.5Hf-0.01C
Astar 811C	90.3Ta-8W-1Re-0.7Hf-0.025C

# rhenium alaşımları

Atom numarası: 75

Atom ağırlığı: 186.21 g/mol

Ergime noktası: 3180 °C

Yoğunluk: 21.04 g/cm<sup>3</sup>

E: 469 GPa

Kafes yapısı: HCP

Re ve alaşımları çok sünektir.

Mo ve W alaşımlarına sünelik sağlaması için ilave edilir.

Re karbür yapmaz.

Yüksek ergime noktasına karşın, Al, Fe veya Ni sıvıları ile temas etmemelidir; bu metaller Re'ü çözer.

Re 600 °C üstündeki sıcaklıklarda Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> oluşumu ile aşırı şekilde oksitlenir. Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 297°C'de erir ve 353 °C'de kaynar



# Rhenium

- {hcp} crystal structure - different from other refractory alloys
- Highest modulus of all metals
- No ductile to brittle transition
- Low thermal conductivity (1/2 of Mo; 1/3 of W)
- High resistivity (3-4 times Mo & W)
- Superior tensile and creep properties
- Resistant to surface oxidation; oxides that form have good conductivity
- However, embrittled by GB penetration of liquid-phase oxides
- Does not form a carbide (i.e. low intra-granular embrittlement)
- Available in sheet, strip, wire, tubing

# reaktif metaller

<b>Be</b> 4									
	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIII			IB	
	<b>Zr</b> 40	<b>Nb</b> 41	<b>Mo</b> 42		<b>Ru</b> 44	<b>Rh</b> 45	<b>Pd</b> 46	<b>Ag</b> 47	Period 5
	<b>Hf</b> 72	<b>Ta</b> 73	<b>W</b> 74	<b>Re</b> 75	<b>Os</b> 76	<b>Ir</b> 77	<b>Pt</b> 78	<b>Au</b> 79	Period 6
<b>U</b> 92									
<b>REACTIVE METALS</b>	<b>REFRACTORY METALS</b>			<b>PRECIOUS METALS</b>					



# Reaktiv metaller

Periodic Table																	
1 H	The Royal Society of Chemistry's interactive periodic table features history, alchemy, podcasts, videos, and data trends across the periodic table. Click the tabs at the top to explore each section. Use the buttons above to change your view of the periodic table and view Murray Robertson's stunning Visual Elements artwork. Click each element to read detailed information.																2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

# Reaktif metallerin özellikleri

metal	Kristal yapısı	UNS kodu	Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Ergime noktası (C)	Isı iletkenliği W/m.K	Isıl genleşme katsayısı 10 <sup>6</sup> /K	Elektrik direnci, nΩ.m	Elastik modülü GPa
Zr	HCP	R60001- R69999	6.51	1852	22.7	5.9	400	99.3
Ha	HCP	R02001- R02999	13.31	2227	23.0	5.9	351	138
Be	HCP	R10001- R19999	1.85	1277	20.1	11.5	40	303
U	ortoro mbik	M08001- M08999	18.90	1133	27.6	12.0	300	202

# Zirkonium



# zirkonyum

Titanyuma benzer fakat yoğunluğu %50 daha yüksek

- $T_{\text{oda}}=870\text{ }^{\circ}\text{C}$  {hcp} Alfa;  $>870\text{ }^{\circ}\text{C}$  {bcc} Beta
- $205^{\circ}\text{C}$ 'de görünür oksitlenme;  $425\text{ }^{\circ}\text{C}$  üstünde zayıf-tutunmaz oksit
- saf Zr: çekme 414 MPa; akma 276 MPa; uzama 18%
- mineral ve organik asitlerde, deniz suyunda korozyon direnci

## uygulamalar

- Petrokimya
- gıda proses işletmeleri
- Nükleer endüstri (SS'den daha az, refrakter alaşımlardan daha yüksek nötron absorpsiyonu)



# Zirkonyum Alaşımları

## Alfa yapıcılar:

Al, Be, Cd, Hf, C, O, N, Sn

## Beta yapıcılar:

Co, Nb, Cu, H, Fe, Mn, Mo, Ni, Ag, Ta, Ti, W, V

## Low Solubility, Intermetallic Compounds

C, Si, P

ASTM kodu	Zr + Hf, min	Sn	Nb	Fe + Cr	O, max.
R60702	99.2	-	-	0.2 max	0.16
R60704	97.5	1.0-2.0	-	0.2-0.4	0.18
R60705	95.5	-	2.0-3.0	0.2 max	0.18
R60706	95.5	-	2.0-3.0	0.2 max	0.16

# Zirkonyum Alaşımları

Mükemmel korozyon direnci sayesinde agresif koşullarda çalışan, malzemelerde alaşım elementi olarak kullanılır. Oksijene aşırı ilgisi nedeniyle «getter» olarak ve vakum tüplerindeki kullanımını yaygındır.

## **Nükleer uygulamalar**

Zirkonyum tedariğinin %1'lik bölümü nükleer reaktör yakıt tanklarının kaplanmasında kullanılır.

## **Uzay ve uçak sanayi**

Isıya dayanıklılığı sayesinde Zr ve oksidi uzay mekik parçalarında kullanılır.

Zirkonya ayrıca zımpara vb aşındırıcıların önemli bir bileşenidir.

## **Biyomedikal**

Diz ve kalça protezlerinde Zr içerikli bileşikler kullanılır.



# hafnium

Atom numarası: 72

Ergime noktası: 2233 °C

Yoğunluk: 13.31 g/cm<sup>3</sup>

E: 78 GPa

Kafes yapısı: HCP



# hafniyum

Parlak ve sünek metal; Zr'a benzer.

- Toda-1760°C HCP; >1760 °C HMK
- yoğunluk Zr'un 2 katı
- su, su buharı, alkali metal eriyiklerinde Zr'dan daha iyi korozyon direnci
- 399 °C üstünde havada yavaşça oksitlenme
- 900 °C üstünde nitrür
- 700 °C üstünde hidrür oluşturur!
- kuvvetli nötron absorblayıcı

# hafniyum

Çok az miktarlarda N, O, C ve H ile kontamine olduğunda hafniyum ciddi bir gevreklik yaşar.  
Kaynak işlemleri vakumda yapılır.  
Direnç kaynağına uygun değildir.

# hafniyum

uygulamalar

Nükleer yapısal uygulamalar

Kontrol kolları

Nükleer tanklar



# hafniyum

Hafniyum için sadece birkaç teknik uygulama var: Zirkonyumla benzerliği nedeniyle aday olduğu uygulamalarda Zr tercih edilir. Üretimi, elde edilmesi güç ve çok nadir bir metaldir.

## **Nükleer reaktörler**

Hafniyumun birkaç izotopunun çekirdekleri çok sayıda nötron abzorpları.

Üretilen miktarın büyük bölümü nükleer reaktörlerde kontrol çubukları olarak kullanılır.

# hafniyum

Hafniyum Fe, Ti, Nb, Ta ve diğer iddialı yapısal uygulamalara aday alaşımlarda alaşım elementi olarak kullanılır.



Apollo Lunar modellerinde sıvı roket yakıtı nozüllerinde kullanılan alaşım %89 Nb, %10 Hf ve %1 Ti içermektedir.

Çok az miktarda Hf ilavesi Ni-esaslı alaşımlarda koruyucu oksitin yüzeye tutunmasını arttırır. Bu şekilde özellikle çevrimsel sıcaklık dalgalanmalarında ısıl gerilmelerden zarar gören oksit filmlerinin dayanıklılığı artar.



# berilyum

Atom numarası: 4

Ergime noktası: 1287 °C

Yoğunluk: 1.85 g/cm<sup>3</sup>

E: 287 GPa

Kafes yapısı: HCP



# berilyum

- HCP kristal yapısı ile oda sıcaklığında sınırlı süneklik gösterir.
- yoğunluğu alüminyumunkinin %70'i kadardır.
- döküm veya toz metalurjisi ile üretilir.
- doğal refrakter oksit filmi var.
- berilyum ve bileşikleri toz, duman ve buharı toksiktir

# berilyum

## Radyasyon penceresi

Düşük atom numarası ve X ışınlarını çok az abzorbe etmesi sebebiyle en eski ve en yaygın uygulamasıdır.

## Mekanik uygulamalar

Elastik deformasyona direnci, düşük yoğunluğu ve geniş bir sıcaklık aralığında boyutsal kararlılığı ile savunma ve uçak sanayinde, uçak, güdümlü füze, uzay araç-uydu vb yapısal uygulamalarda kullanılır. Sıvı yakıtlı bazı roketler ve roket burunları saf berilyumdan imal edilmiştir.

1998-2000 yıllarında McLaren formula takımı Be-Al alaşımını pistonlu Mercedes-Benz motorları kullanmıştır. Bu motorlar daha sonra Ferrari'nin protestosu üzerine yasaklanmıştır.

Bakıra %2 kadar Be katıldığında elde edilen alaşım saf bakırdan 6 kat daha mukavemetli olmaktadır.

# berilyum

Berilyum alaşımları yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek sertlik ve mukavemet, nonmanyetik karakter ve iyi korozyon ve yorulma direnci ile tercih edilirler.

Bu uygulamalara rnek:

Mg'a 50 ppm Be ilave edildiğinde oksitlenme direncinde ciddi artış ve yanıcılıkta düşüş sağlanır.

## aynalar

Düşük ağırlık ve uzun süreli boyutsal kararlılığın kritik olduğu Meteoroloji uydularında geniş alanlı aynalarda kullanılır.

## Manyetik uygulamalar

Berilyum nonmanyetik olduğu için savaş gemilerinde mayın temizleme ekipmanlarında

Manyetik rezonans ekipmanlarında

# berilyum

- **Nükleer uygulamalar**
- **Akustik**  
Düşük yoğunluk ve yüksek rijidlik ile yüksek frekans speaker larında
- **Elektronik**  
Be p-tip yarı iletkenidir.

# kıymetli metalller

Be  
4

IVB	VB	VIB	VIIB	VIII			IB
Zr 40	Nb 41	Mo 42		Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47
Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79

Period 5

Period 6

U  
92

REACTIVE  
METALS

REFRACTORY  
METALS

PRECIOUS  
METALS





# kıymetli metallerin özellikleri

metal	Kristal yapısı	UNS kodu	Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Ergime noktası (C)	Isı iletkenliği W/m.K	Isıl genleşme katsayısı 10 <sup>-6</sup> /K	Elektrik direnci, nΩ.m	Elastik modülü GPa
Au	YMK	P00001-P00999	18.88	1064	318	14.2	22.1	77
Ag	YMK	P07001-P07999	10.50	962	429	19.7	15.9	74
Pt	YMK	P04001-P04999	21.45	1772	72	9.1	106	171
Pd	YMK	P03001-P03999	12.02	1554	72	11.1	105	115
Ir	YMK	P01001-P01999	22.42	2410	147	6.8	53	517
Os	HCP	P02001-P02999	22.57	3045	87	6.2	95	558
Rh	YMK	P05001-P05999	12.41	1966	150	8.3	45	319
Ru	HCP	P06001-P06999	12.41	2310	117	9.1	76	414

# Kıymetli metaller

- Kıymetli ve dolayısı ile pahalıdırlar.
- Korozyona çok dayanıklıdırlar.
- Elektriği çok iyi iletirler.
- Alaşımları bu özellikler ile elektrot olarak kullanılır.
- Korozyon dirençleri sayesinde otomobil egsoz sistemlerinde ve petrol rafinasyonunda nano toz şeklinde katalizör olarak kullanılır.
- Egsoz gazlarında  $CO \rightarrow CO_2$  ve  $NO_x \rightarrow N_2 + O_2$ .
- reaksiyonlarını tetiklerler.