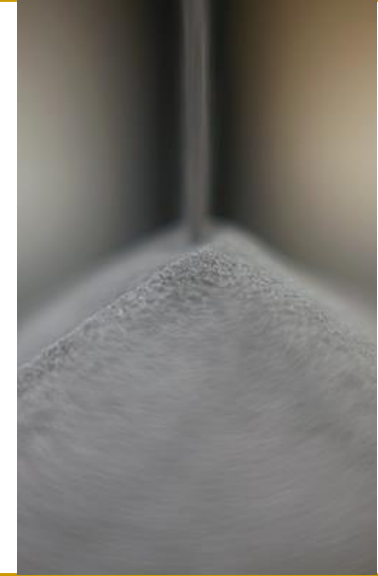


# Toz Metalurjisi

# Powder Metallurgy



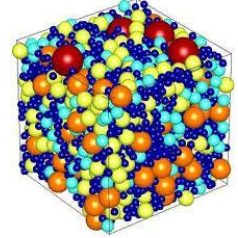
Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU



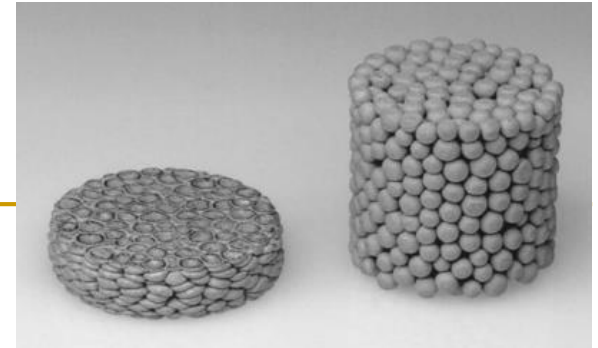
**DERS 6**

# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme



- Küresel tozlarda paketlenme özelliği yüksekken karmaşık şekilli tozlarda düşüktür. Fakat nihai yoğunluk açısından karmaşık şekilli tozların yoğunluğu daha yüksektir.
- Tozlarda sıkıştırılabilirlik: Toz kütlelerinin yoğunlaştırılabilme derecesidir. Tozların basınca verdiği tepki.
- Uygulanan bir yük altında tozun yoğunlaşmasını ölçer. 2 yolla ilişki kurulur
  1. Hedeflenen ham yoğunluğa ulaşmak için gereken basınç
  2. Bir basınçta preslemeden sonraki ham yoğunluk
  3. Genel olarak sıkıştırılabilirlik ifade edilmek istenirse; 400 Mpa basınç altında yoğunluk değişimi olarak ifade edilir.
- Sıkıştırma oranı:  $(\rho_{ham})/(\rho_{gör})$
- $\rho_{ham}$ : Toz kütlesinin sıkıştırma sonrası ancak sinterleme öncesi yoğunluğudur
- $\rho_{gör}$ : Görünür yoğunluk

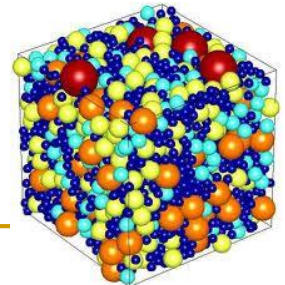


# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme

- Sıkıştırılabilirlik, uygulanan bir yük altında tozun yoğunlaştırılmasının bir ölçüsüdür.
- Kalıp toz ile doldurulur (görünür yoğunluk) ve yoğunluk sıkıştırmadan sonra ölçülür (ham yoğunluk).
- Ham yoğunluk sıkıştırılabilirliğin göstergesidir.
- Sünek tozlarda ham yoğunluk görünür yoğunluğun 2-3 katı olabilir.
- Tozlar arası yüksek sürtünme, düşük görünür yoğunluk verir. Ham yoğunluk için, partikül boyutu, sertlik etkilidir.
- Sıkıştırılabilirliğin bir ölçüsü belirlenen bir ham yoğunluğa ulaşmak için gerekli basıncın belirlenmesidir.

| Toz cinsi         | parçacık şekli    | safsızlık (%) | basıncı (MPa) |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------|
| Su atomize        | düzensiz yuvarlak | 0,2           | 510           |
| Su atomize        | düzensiz yuvarlak | 0,4           | 700           |
| Su atomize        | düzensiz yuvarlak | 0,8           | 770           |
| İndirgenmiş oksit | düzensiz sünger   | 1,2           | 1300          |

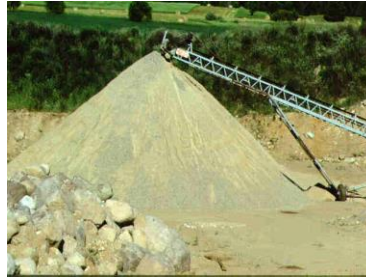
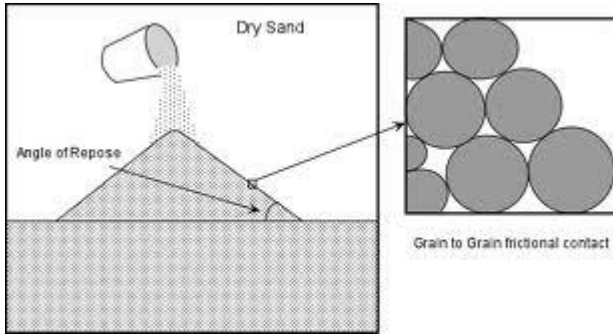
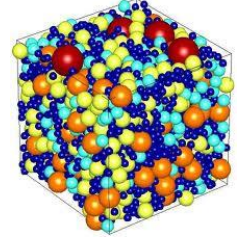


# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme

- Yığılma açısı

Toz şekli, boyutu, sertliği ve bu gibi toz özellikleri yoğunluk üzerinde etkilidir.



# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme

### ■ Yığılma açısı

$$\tan \theta = h / r$$

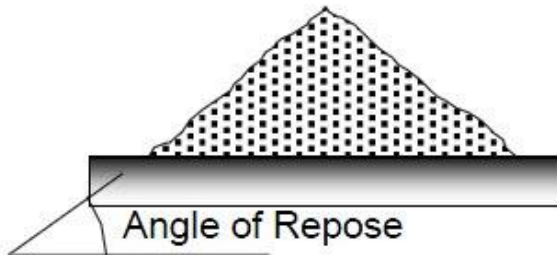
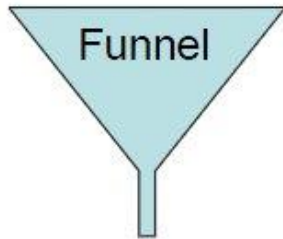
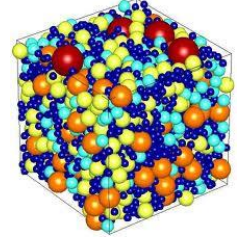
$$\theta = \tan^{-1}(h / r)$$

$$h = \text{yığının.yüksekliği}$$

$$r = \text{yığının.yarıçapı}$$

$$\theta = \text{yığın.açısı.(angle.of.repose)}$$

| Angle of repose | Flow      |
|-----------------|-----------|
| <25             | excellent |
| 25-30           | good      |
| 30-40           | passable  |
| >40             | very poor |

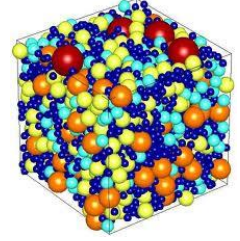


Düşük miktarda yağlayıcı – yığın açısını azaltır  
Düzensiz partikül yüzeyi – yüksek yığın açısı  
Düşük yığın açısı – daha iyi akış özellikleri

# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme

- Yığılma açısı

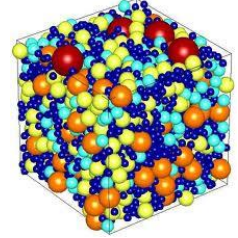


Akış zamanı: yerçekiminin etkisi altında bir tozun hangi hızda beslenebileceğinin bir ölçüsüdür. Küçük tozlar yüksek sürtünme nedeniyle genellikle akmaz. Bu tür tozlar, serbestçe akmayan tozlar olarak tanımlanır ve şekil vermek zordur.

# Toz Metalurjisi

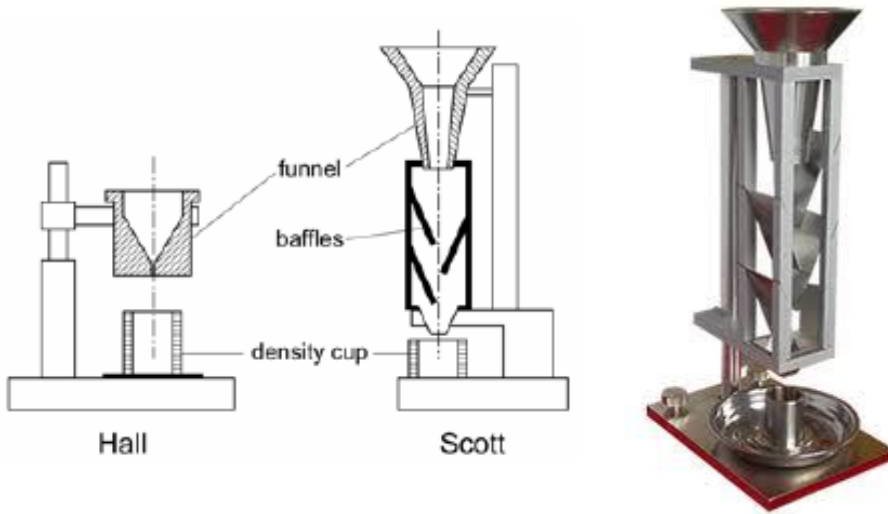
## Paketlenme ve sürtünme

### ■ Yığılma açısı



Görünür yoğunluk ölçümü için Hall, Scott ve Arnold yöntemleri kullanılır.

Hall akış ölçeri, akış hızı ve görünür yoğunluk için kullanılır. Kaba tozlar için kullanılır. Daha ince tozlar için Carney hunisi kullanılır. Akmayan tozlar için Scott yöntemi kullanılır.



Hall akış ölçeri: 50 gr tozun sadece yerçekimi etkisi ile Hall hunisinden aktığı saniye cinsinden süredir. Kısa süre tozların serbest akışını, uzun süreler tozlar arasındaki yüksek sürtünmeyi gösterir. (Genellikle % 5 hata, bu da 2-3 sn demek) Sadece mukayese amaçlı.

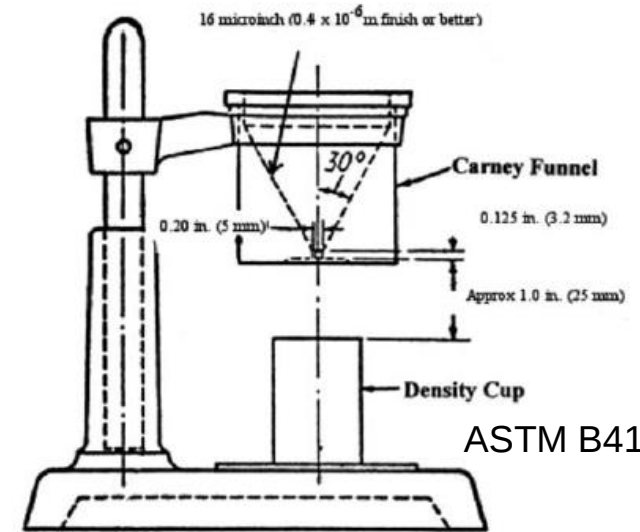
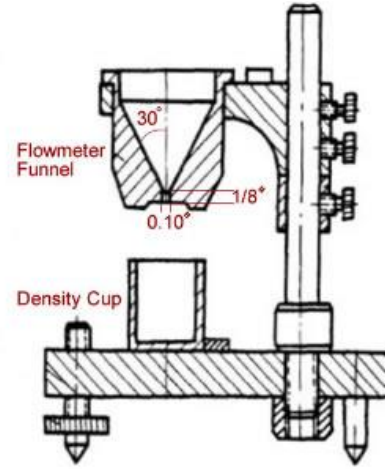
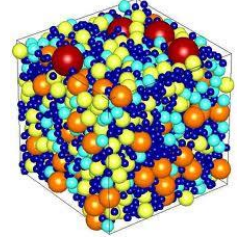


# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme

### ■ Yığılma açısı

Görünür yoğunluk ölçümü için Hall, Scott ve Arnold yöntemleri kullanılır.



ASTM B417

FIG. 1 Carney Flowmeter Funnel and Stand

9.1 Calculate the apparent density as follows:

$$\text{Apparent density } AD_c, \text{ g/cm}^3 = M/V$$

where:

$M$  = mass of powder in the density cup in grams and

$V$  = volume of the density cup in cubic centimetres.

# Toz Metalurjisi

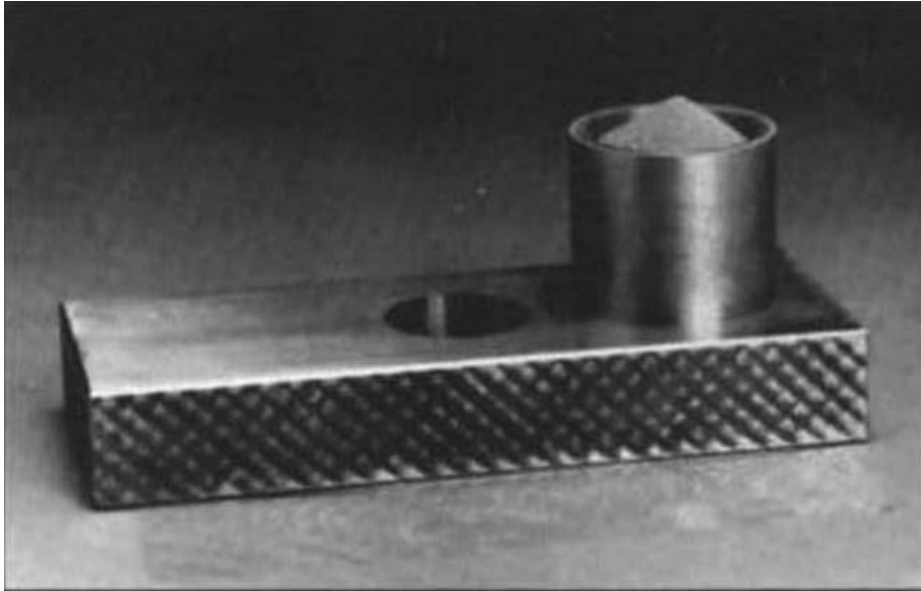
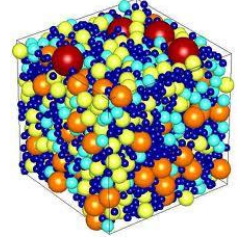
## Paketlenme ve sürtünme

### ■ Yığılma açısı

Görünür yoğunluk ölçümü için Arnold

Bu yöntemle toz akışını en aza indiren 20 cm<sup>3</sup> lük silindirik bir hacme doldurulan tozun fazlası sıyrılır. Bu teknik, toz sıkıştırma işlemlerinde kalıp boşluklarının doldurulması ile en iyi ilişkiyi sağlar.

Hata payı genellikle 0,1 gr/cm<sup>3</sup>



$$\text{Arnold Apparent Density, } (AD_A), \text{ g/cm}^3 = \frac{M}{V}$$

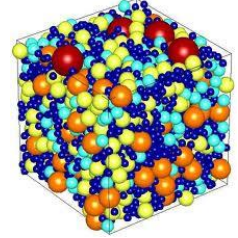
where:

$M$  = mass of test specimen, g.

$V$  = volume of die cavity, 20.0 cm<sup>3</sup>.

# Toz Metalurjisi

## Paketlenme ve sürtünme



- Yüzey kirliliği ve testler: oksijen, nem ve diğer uçuculardan kaynaklanan yüzey kirliliği, indirgeme testi ile ağırlık kaybından anlaşılır. Toz hidrojen atmosferinde ısıtılır, ağırlık kaybından ilişki kurulur. Metalik tozlarda yüzeyde oksitlenme varsa asit ile reaksiyona sokularak işlem yapılır.
- Şekil detayları için SEM,
- Akış, karıştırma ve sürtünme ölçümü
- İç yapının metalografik etüdü
- Örnek: malzeme: W
- Boyut: -325 mesh
- Bileşim: % 99,99 W
- Safsızlıklar: X
- Görünür yoğunluk
- Vurgu yoğunluğu
- BET 0,12 m<sup>2</sup>/g
- Boytu aralığı : D10 3,5

D50: 6,2

D90: 8,9



## Toz Üretim Yöntemleri

# Toz Metalurjisi

## Toz Üretimi

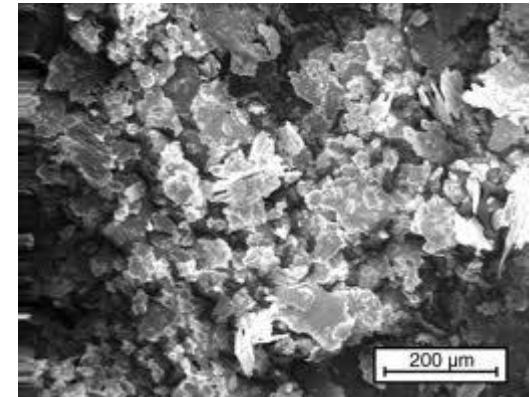
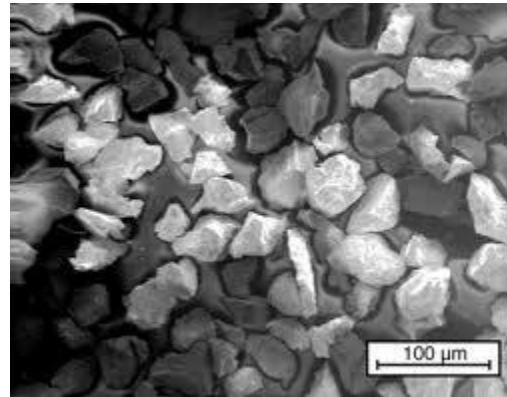
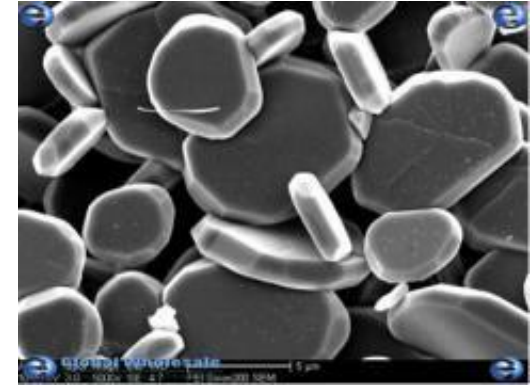


### ■ Toz üretimi neden önemlidir?

- Şekil, boyut ve mikroyapı
- Maliyet, beklentiler ve tepkimeler

Amaç yeni yüzey alanı oluşturmak

1 cm<sup>3</sup> malzeme 1 mikron küresel parçacıklara ayrıldığında  
6x10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip 2x10<sup>18</sup> parçacık oluşur.



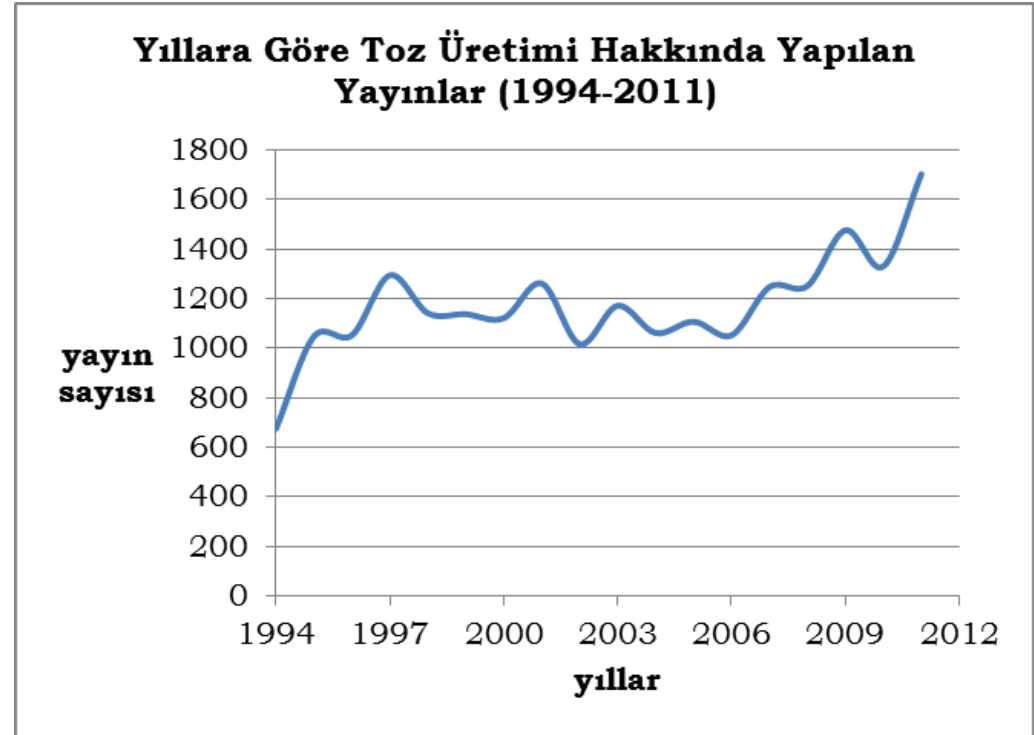
# Toz Metalurjisi

Toz Üretimi



## ■ Toz üretim yöntemleri

- Mekanik üretim yöntemleri
  - Talaş imalat
  - Öğütme
  - Mekanik alaşımlama
  - Darbeli teknikler
- Elektroliz ile üretim
- Kimyasal üretim yöntemleri
  - Katının gazla bozunması
  - Isıl bozunma
  - Sıvıdan çökeltme
  - Gazdan çökeltme
  - Katı-katı tepkimeli sentez
- Atomizasyon teknikleri
  - Gaz atomizasyonu
  - Su atomizasyonu
  - Savurmalı atomizasyonu
  - Plazma atomizasyonu



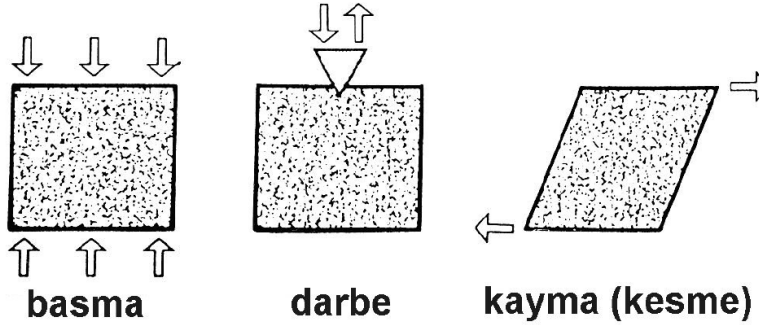
# Toz Metalurjisi

## Toz Üretimi



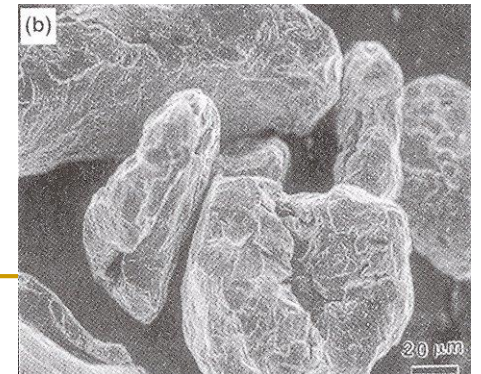
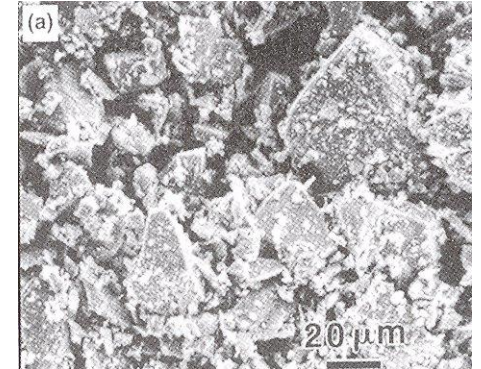
### ■ Mekanik Yöntemler

- ❑ Darbe
- ❑ Aşındırma ile öğütme (küçük boyutlu partikülleri kopması)
- ❑ Kesme (büyük boyutlu)
- ❑ Basma



Mekanik yöntemlerle tozun hazırlanmasında kullanılan genel kuvvetler.

- ❑ mm boyutlu tozlar için çekiçli kırıcılar
- ❑ 1-100 mikronluk tozlar için bilyeli öğütücüler kullanılır.
- ❑ Toz şekilleri düzensizdir



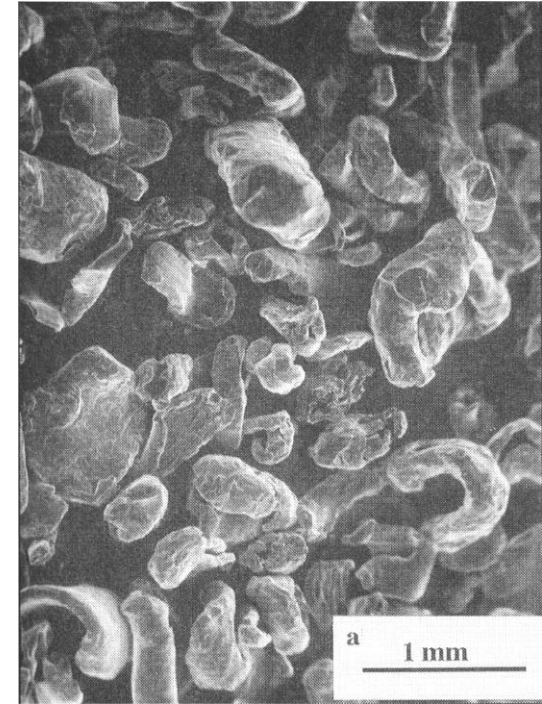
# Toz Metalurjisi

Toz Üretimi



## ■ Mekanik Yöntemler – Talaşlı imalat

- ❑ Talaşlı imalat: Düzensiz şekilli kaba tozlar elde edilir.
- ❑ Kullanılan hava veya sıvılardan dolayı oluşan kirlilikler kimyasallar ile temizlenir.
- ❑ Tozlar için sadece bir kaynaktır.
- ❑ Hurdaların değerlendirilmesi için iyi bir yoldur.
- ❑ Verim düşüktür.



Mekanik kesme ile elde edilen alüminyum tozları  
Yrd. Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU

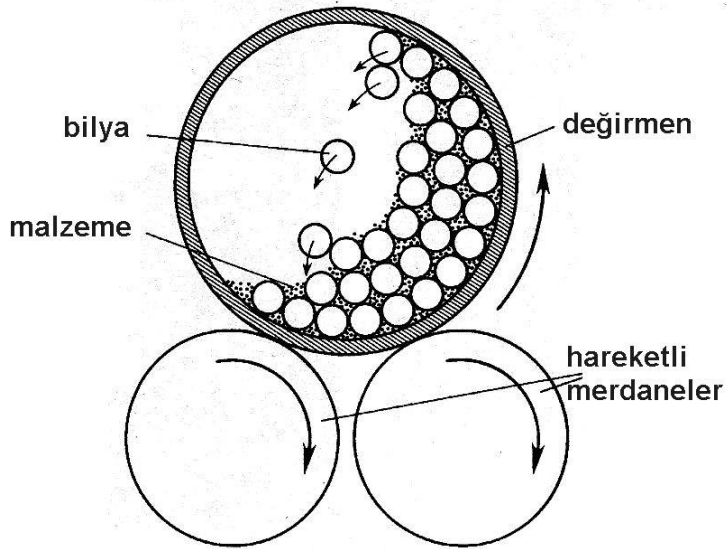
# Toz Metalurjisi

## Toz Üretimi

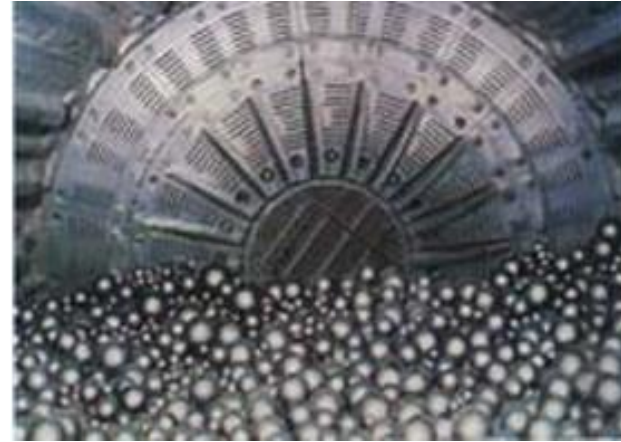


### ■ Mekanik Yöntemler - Öğütme

- ❑ Öğütme: sert bilyeler, çubuklar veya çekiçler ile yapılan mekanik darbe işlemidir.
- ❑ Gevrek malzemeler için kullanılır.



Kavanoz tipi değirmen



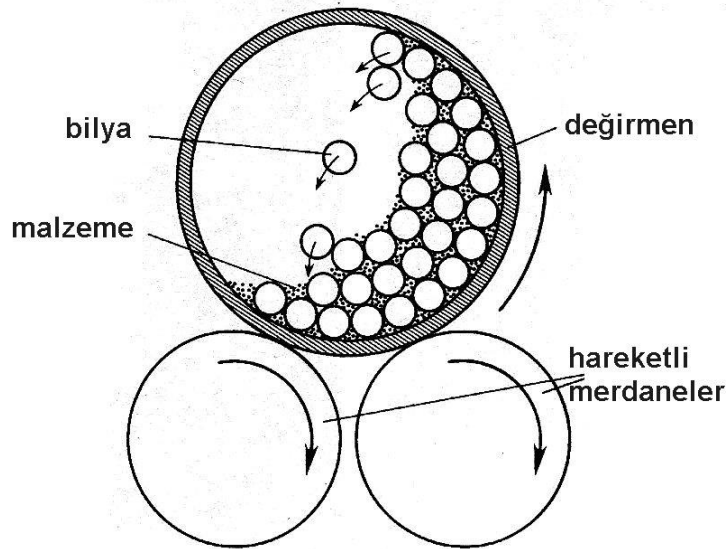
# Toz Metalurjisi

Toz Üretimi



## ■ Mekanik Yöntemler

□ Öğütme:



$$\sigma = \sqrt{\frac{2Er}{D}}$$

Darbe gerilmesi malzemedeki kusurlara bağlıdır.

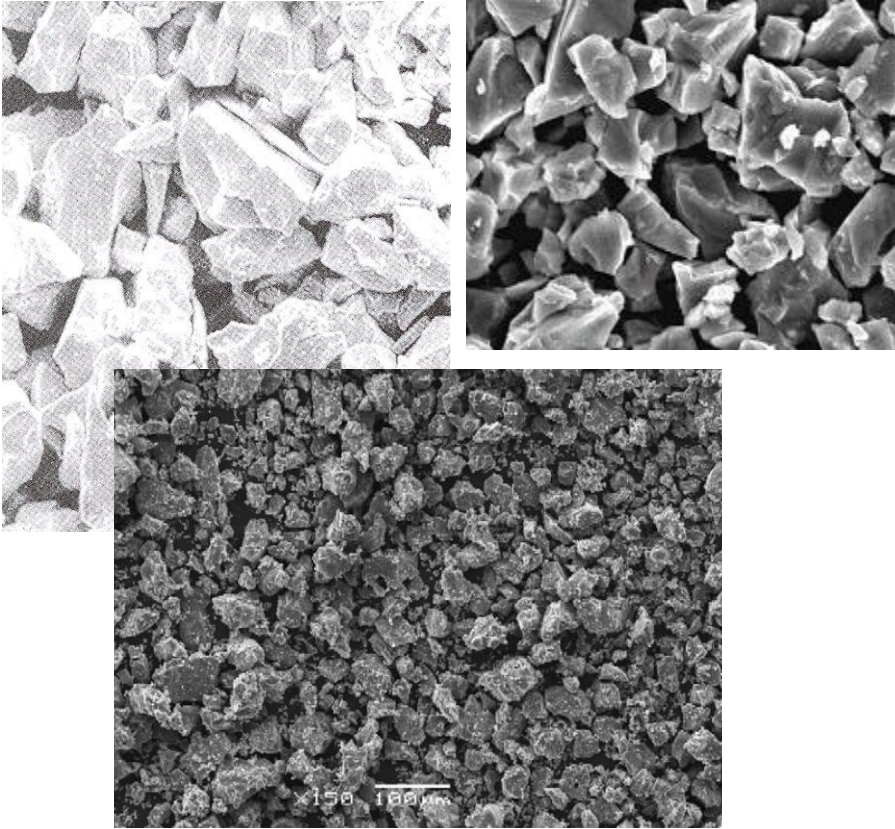
# Toz Metalurjisi

Toz Üretimi



## ■ Mekanik Yöntemler

### □ Öğütme:



Sünek malzemeler için uygun değil.  
Çözüm?  
Titanyum örneği... Hidrür oluşumu



Hidrülenmiş Nb tozu

Yrd. Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU

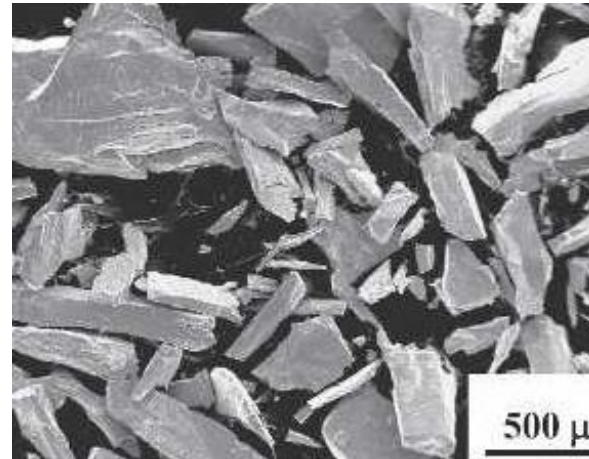
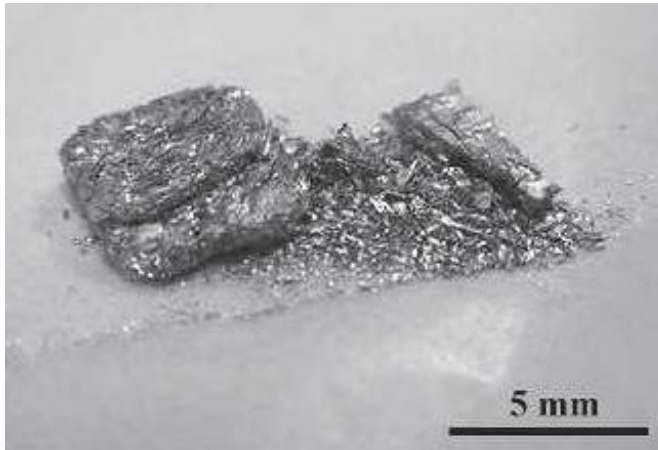
# Toz Metalurjisi

Toz Üretimi



## ■ Mekanik Yöntemler

### □ Öğütme:



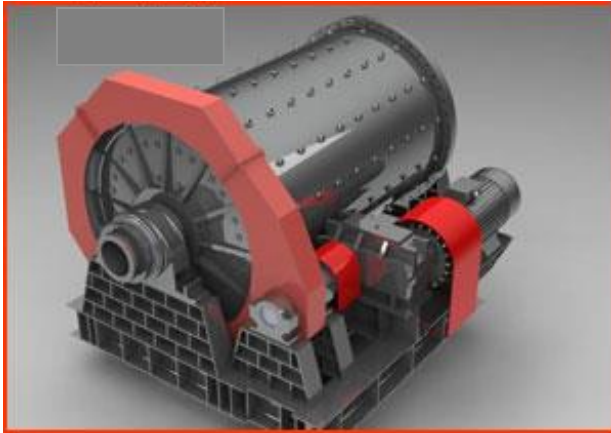
# Toz Metalurjisi

## Toz Üretimi



### ■ Mekanik Yöntemler

#### □ Öğütme:



Kavanozun dönme hızı önemli.  
Enerjinin büyük bir kısmı ses ve ısıya dönüşür, verim düşük

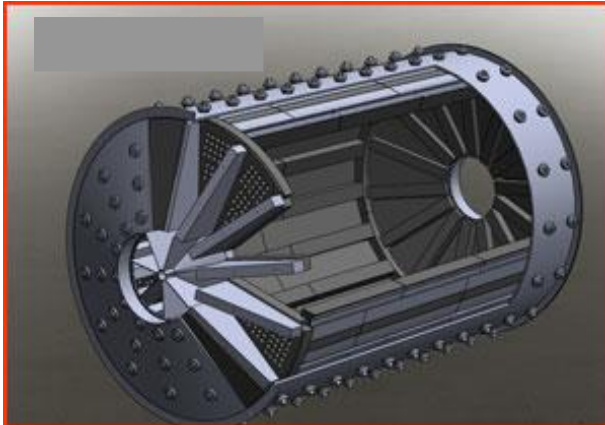
En uygun öğütme için:  
Bilya çağı toz çapının yaklaşık 30 katı  
Bilyalar kavanozun yarısını doldurmalı  
Öğütülecek malzeme kavanozun yaklaşık %25'ini doldurmalı

Elde edilen tozlar sert, düzensiz şekilli, zayıf akma ve paketlenmeye sahip

Kavanoz ve bilyelerden gelen kirlilikler önemli.  
Aynı malzemede seçilirse önlenir.

Özellikle toz topaklarının dağıtılması amacıyla kullanılır  
Borürler, karbürler, nitrürler, oksitler, intermetalikler bu yolla üretilir.

Öğütme yaygın olarak tavlama sonrası elektrolitik, atomize veya indirgenme ile elde edilen tozlardaki aglomerasyonu önlemek amaçlı kullanılır

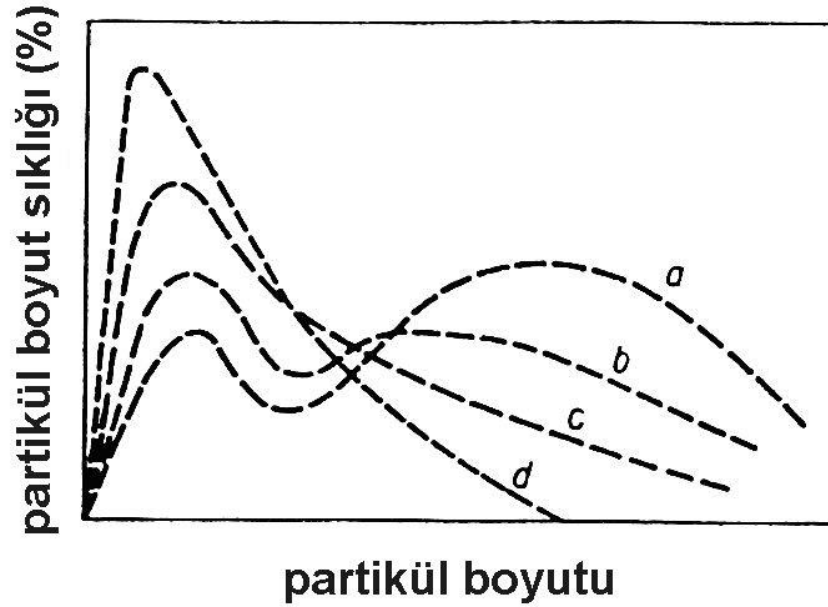


# Toz Metalurjisi

Toz Üretimi



- **Mekanik Yöntemler**
- Öğütme:



Mekanik ayırma sonucunda bir tozun partikül boyut dağılımında değişim. a orjinal partikül boyut dağılımı; b, c ve d öğütme süresinin artmasıyla partikül boyut dağılımında meydana gelen değişim ( $b > c > d$ ).