

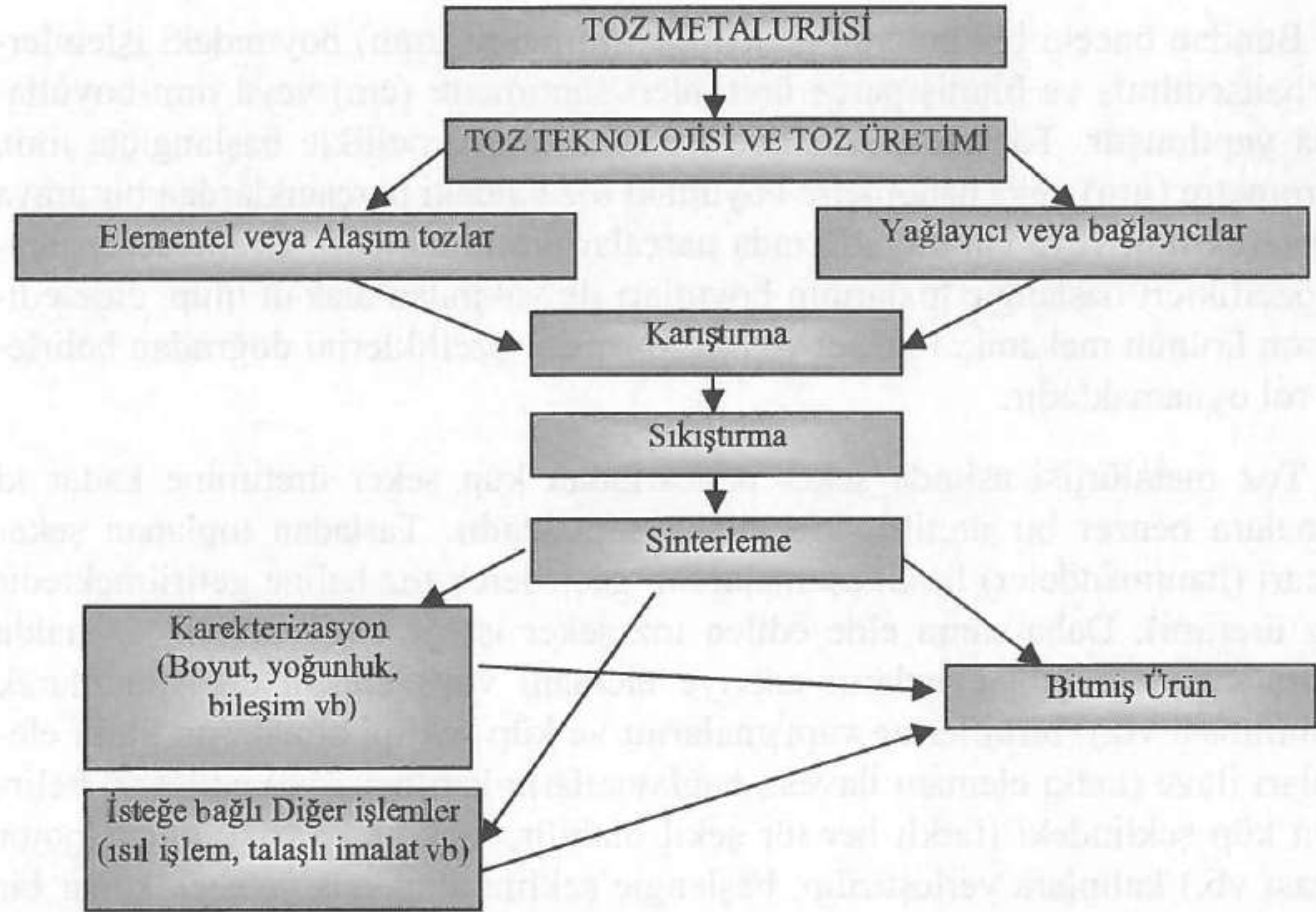


## TOZ METALURJİSİ

## Toz Metalurjisi



## Toz Metalurjisi



### Toz metal parçaların tercih edilmesinde bir çok önemli faktör vardır

- Karmaşık geometrili parçaların ekonomik üretimi,
- Yüksek miktarlardaki parçalar için yüksek hassasiyet ve maliyet,
- Mikroyapısal uygunluk,
- İstenen oranlarda alaşım imkanı,
- Gözenekli parça üretimi, diğer yöntemlerle üretimi mümkün olmayan parçaların üretimi (tungsten filamanları),
- Amaca uygun şekillendirebilme,
- Yüksek kalite,
- Tam yoğunluk sağlanabilmesi,
- Homojen mikroyapılı malzeme üretimi,
- Amorf, mikrokristal, nano boyuttaki malzemelerin sentezlenebilmesidir.



### Toz Üretimi

1. Toz hazırlama
2. Metal tozun üretimi
3. Toz Sıkıştırma
4. Sinterleme
5. Yağ emdirme ve kalibrasyon (gerekirse)
5. Tam yoğunluk işlemleri ve diğer isteğe bağlı

## Toz Hazırlama

1. Mekanik yöntemler,
2. Kimyasal yöntemler,
3. Elektroliz yöntemi,
4. Atomizasyon yöntemleri



- Gaz atomizasyonu yöntemi
- Su atomizasyonu yöntemi
- Yağ atomizasyonu yöntemi
- Vakum atomizasyonu yöntemi
- Dönen elektrot prosesi
- Eriyik döndürme

Talaşlı üretim  
Mekanik öğütme  
Mekanik alaşımlama

- Sol-jel
- Kimyasal çökeltme
- Kimyasal reaksiyon
- Kimyasal buhar çökeltme (CVD)
- Kimyasal indirgenme
- Ayrışma (dekompozisyon)
- Elektrolitik yöntemidir.

### Mekanik Yöntemler – Talaşlı Üretim

Talaşlı imalat ile elde edilen birçok metalik malzeme talaşı uzun ve gevrek bir yapı içerir. Bunlardan elde edilen tozlar oldukça iridir ve saf değildir. Bu talaşlar kimyasal yollarla temizlenir ve boyutlarını küçültmek amacıyla öğütme işlemine tabi tutulurlar

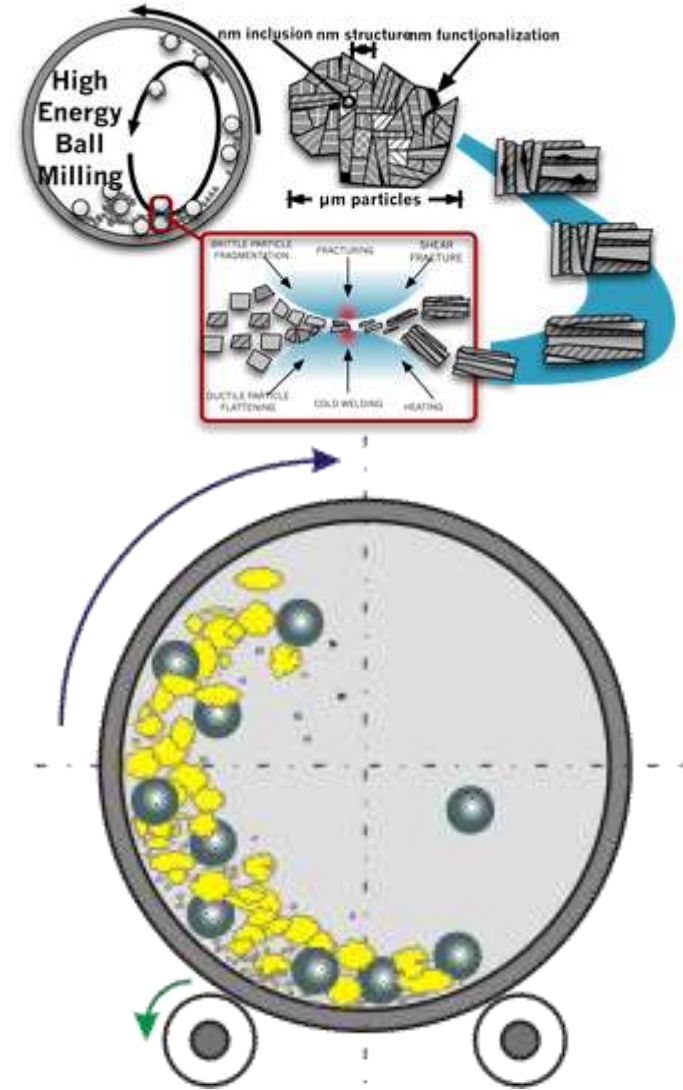


Hem talaşların iri oluşu ve öğütme gerektirmesi sonucu yavaş bir süreç olması, hem de üretim esnasındaki hava ve talaşlı imalat sıvıları ile kirlenmelerin oluşması bu yöntemin dezavantajlarıdır. Bu nedenle toz üretim yönteminin seçiminde öncelikli bir yöntem değildir.

## Mekanik Öğütme

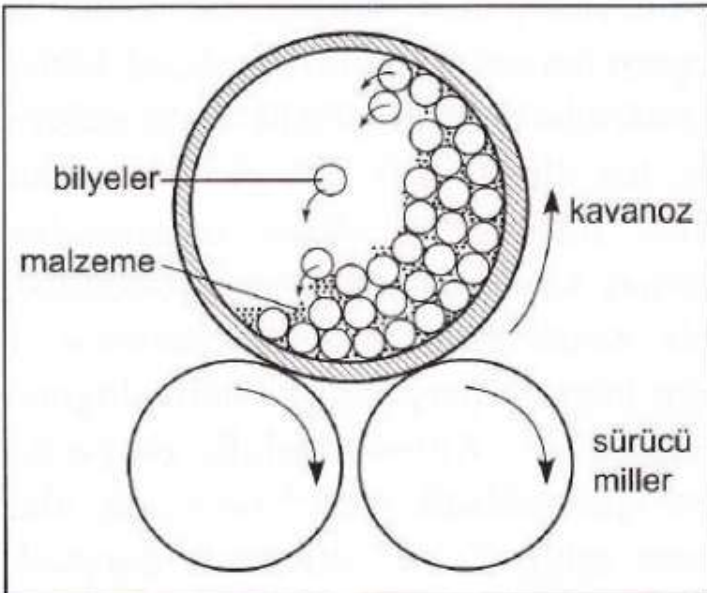
Mekanik öğütme sert metal yada seramikten yapılmış bilyaların çarpması sonucu oluşan darbe etkileri altında özellikle gevrek ve kırılgan esaslı malzemelerin ufalanarak toz haline getirilmesi işlemidir ve toz üretim yöntemleri içerisinde eski ve en klasik olanıdır

Bu yöntem daha çok boyacılık ve baskı uygulamaları için flex metal tozu üretiminde kullanılır. Buradaki temel mekanizma, parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır.



## Mekanik Öğütme

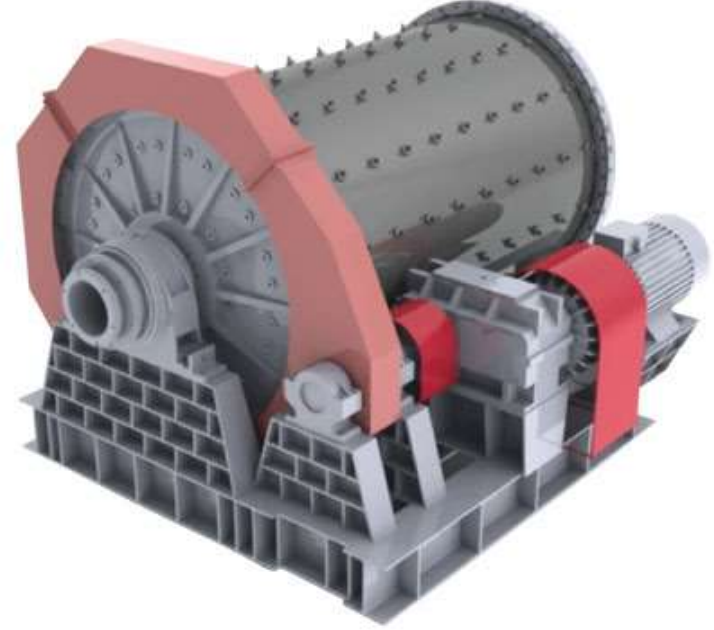
Öğütücünün dönme hızı kritiktir. Çok fazla bir hız malzemenin ve bilyelerin öğütücü duvarlarına yapışmasına ve dolayısıyla malzeme ve bilyeler arasındaki bağıl hareketin azalmasına sebep olarak, topaklaşma meydana gelir. Diğer taraftan çok düşük bir hız ise öğütücünün alt kısmında yeterli olmayan bir hareket meydana getirir. İdeal dönme hızı bilyelerin ve malzemenin öğütücünün en üst kısmına kadar yükselerek, geriye kalan malzemenin üzerine düşmesini sağlamalıdır.



Eğer öğütülen malzeme gevrek ise, bilyelerle çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara bölünür. Öğütülen malzeme sünek parçacıklardan oluşuyor ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar ve ancak aşırı deformasyon sertleşmesi sonucunda gevrekleşerek daha küçük toz parçacıklarına bölünebilirler. Öğütme işleminin su, alkol veya bir hidrokarbon sıvı içinde gerçekleştirilmesi öğütme süresini kısaltmasının yanında daha ince tozlar üretilmesini de sağlar.

### Mekanik Öğütme

Kırılgan malzeme tozlarının (manganez, krom, antimuan, bizmut gibi) üretiminin yapıldığı bu yöntemde, malzemenin cinsine göre sert porselenden veya sert alaşımla kaplı çelik öğütücülerden faydalanılır. İri taneli öğütülecek malzeme; öğütücünün içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyeler ile birlikte döndürülerek darbe etkisiyle ufalanır.



Bilyelerden ve öğütücünün çeperlerinden gelen kirlenme veya buharlaşma bu tekniğin bir dezavantajıdır.

Mekanik yöntemle çok sert-gevrek olan metal alaşımları ve seramik malzemelerin tozlarının üretimi yapılabilmektedir. Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Cu ve pirinçtir. Bunlardan başka Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe esaslı ve Cu esaslı tozlarının üretimi de örnek olarak verilebilir.

### Mekanik Alaşımlama

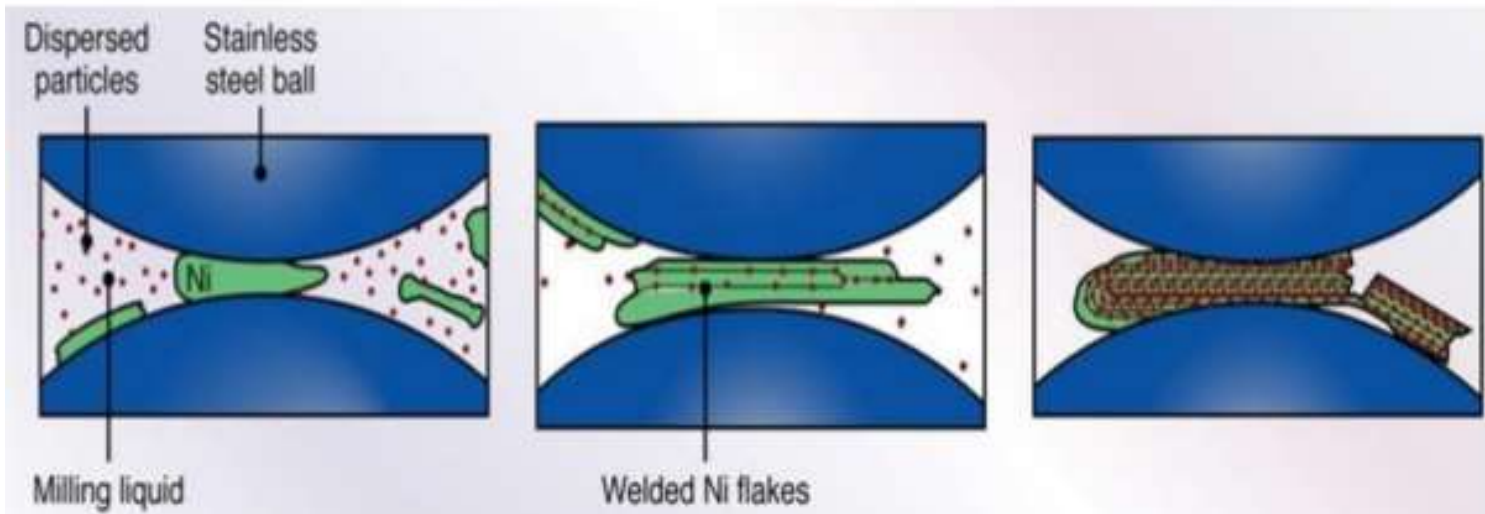
Mekanik alaşımlama (MA), genellikle homojen dağılıma sahip, kontrollü ve oldukça ince tozlardan oluşan çoğunlukla bir katı hal reaksiyonu şeklinde gerçekleşen kum ve yüksek enerjili öğütme işlemine denilir. Bu yöntemde alüminyum (Al), bakır (Cu), magnezyum (Mg), demir (Fe), paslanmaz çelik gibi metalik malzemeler içerisine SiC, TiC, TiN, SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vb. oksit, karbür veya nitrürler takviye edilerek kompozit elde edilir.

Mekanik alaşımlama (MA) ile toz üretimi esnasında önemli parametreler; ham madde, bağlayıcı elemanlar, öğütme türü, bilya-toz oranı (BTO), öğütme hızı, öğütme zamanı, öğütme atmosferi ve değirmen sıcaklığıdır. MA yöntemi, farklı malzeme tozlarının bir araya getirilerek alaşım tozu üretiminde kullanılır.



## Mekanik Alaşımlama

tozlar kapalı bir kap içerisinde konulur ve bir elektrik motoru ile kanatlara sahip olan mil döndürülür. Yüksek sertliğe sahip milin üzerine yerleştirilen kollar ve bilyeler yardımı ile tozlar deforme edilir ve bu tozlarda kırılma ve soğuk kaynaklaşmalar ardışık sürekli gerçekleşir ve daha homojen ve daha ince bir toz karışımı elde edilir. Genellikle tozlardan en az bir tanesi bağlayıcı olması bakımından yumuşak, diğeri ise sert oksit, karbür, nitrür parçacıklarıdır.



### Mekanik Alaşımlama

MA yöntemi, karıştırma esnasında kum ve katı haldeki tozların birbirlerine periyodik olarak kaynaklanmasını ve tekrar bu kaynakların kırılmasını sağlayarak daha ince ve daha homojen bir mikroyapı elde edilmesini sağlamaktadır. Mekanik alaşımlama esnasında diğer mekanik öğütme işlemlerinde olduğu gibi metal ve oksit kirlenmeleri ile karşılaşmaktadır. Bunu engellemek için mekanik işlem esnasında mekanik karıştırma kolları, bilyeler ve karıştırma kabının malzemeleri ya karışım tozları ile aynı malzemedir veya aşınmaması için çok daha sert malzemelerden seçilmelidir.

Öğütme süresince kabın çeperleri ile toz ve bilyeler arasında oluşan sürtünmeden dolayı sıcaklık yükseldiğinden oksitlenme meydana gelebilir. Oksitlenmeyi önlemek için öğütücüde organik sıvılar (alkol veya stearat) ve koruyucu asal atmosferler (Argon, Helyum, Azot vb.) kullanılmalıdır.

### Kimyasal Yöntemler

Bu yöntem ilk olarak bakır tozlarının üretimi için kullanılmıştır. Daha sonrada sünger demir üretiminden önce demir tozu üretimi için standartlaştırılmıştır. Demir elektrolizinde, düşük karbonlu demir katot olarak kullanılıp metal tozu paslanmaz çelik anotlar üzerinde biriktirilmektedir. Elektrolit olarak sülfat veya klorürler kullanılmaktadır

Saf ve yoğun olan demir, hidrojen içeriği nedeniyle gevrekler. Bu gevreklik, mekanik öğütme işlemini kolaylaştırdığı için bir avantajdır. Ancak elektrolitik demir tozu üretimi ekonomik olmadığı için bu tozların elektroliz yöntemi ile üretimi yaygın değildir. Diğer yandan metalik malzemelerin birçoğunun tozları kimyasal yöntemlerle üretilebilmektedir.

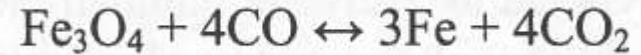
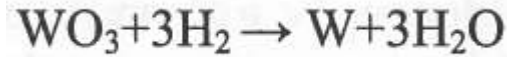
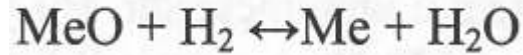
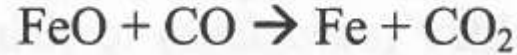
### Kimyasal Yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, 'nikel ve kobalt) karbonmonoksit (CO) veya hidrojen ( $H_2$ ) gibi indirgeyici gazlarla kimyasal olarak indirgenmesi ile yapılmaktadır.

Bu yöntemle toz üretiminde ana kimyasal işlemleri metal oksit, karbonatlar, nitratlar veya halojenli (VIIA Grubu F, Cl, Br ve I) bileşiklerin bir gaz (genellikle  $H_2$ ) veya katı (karbon veya yüksek oranda reaktif metal) yardımıyla indirgenmesi oluşturur

## Kimyasal Yöntemler

- Sol-jel
- Kimyasal çökeltme
- Kimyasal reaksiyon
- Kimyasal buhar çökeltme (CVD)
- Kimyasal indirgenme
- Ayrışma (dekompozisyon)
- Elektrolitik yöntemidir.



### **Metal oksitlerini indirgeyerek toz üretiminin avantajları;**

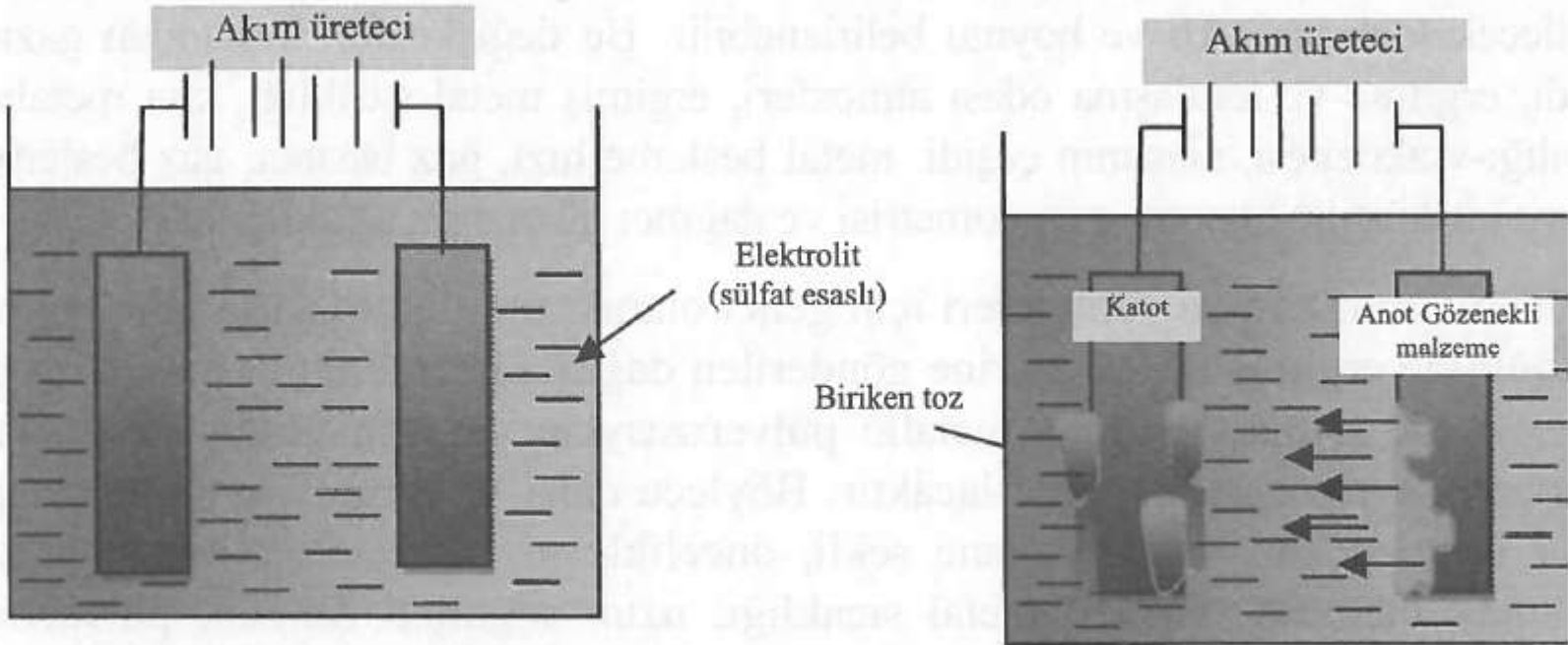
1. Ucuz metal oksitlerinin bulunuşu,
2. Oksit metal parçacık boyunun kontrolündeki kolaylık,
3. Gözenekli toz üretim imkanı,
4. İşlem kapasitesinin değişkenliğidir.

### **Bunun yanında dezavantajları ise;**

1. Saf indirgeyici gazların yüksek maliyeti,
2. Metal tozlarının saflığının oksitlerin saflığına bağlı olması,
3. Alaşım tozlarının üretilmemesidir.

**Elektroliz Yöntemi**

Metal tozlarının elektroliz yöntemiyle üretiminde klasik elektroliz hücresi kullanılır. Anot, katot ve elektroliz banyosundan oluşan bu hücrede tozu üretilmek istenen ham madde anotta çözünür ve katot üzerinde birikir.



**Şekil 6.4.** Elektroliz ile toz üretimi, a) elektrolizden önce, b) elektrolizden sonra.

### Elektroliz Yöntemi

Elektroliz kabında uygulanan voltajın etkisiyle anottan ayrılan parçalar katot üzerinde birikir. Bu metal parçacıkların birikmesi, gevşek bağlantılı tozlar halinde (bakır ve gümüş gibi) veya sıkı ancak gevrek bir tabaka halinde (demir ve manganez gibi) oluşmaktadır. Her iki halde de, katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir.

Yüksek saflıktaki metal tozların üretimlerinde kullanılan elektrolitik tekniklerin uygulanmasında bir takım zorluklar vardır. Bunların arasında katottaki birikmede kirlenmenin olması ve bundan dolayı işlemde hemen sonra katot ürününün hemen yıkanması ve öğütülmesi belirtilebilir. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek safiyetleri ve içlerinde metal dışı kalıntıları bulundurmamışları, dolayısıyla iyi sıkıştırılabilir özelliklerine sahip olmalarıdır. Bu yöntemle üretilen metallerin başında bakır gelir, aynı zamanda krom ve magnezyum da bu yöntemle üretilir.

### Atomizasyon Teknikleri

Endüstride en yaygın kullanılan yöntemlerin başında atomizasyon yöntemleri gelir. Günümüzde üretilen metal tozlarının yaklaşık %80'i atomizasyon yöntemleriyle elde edilmektedir. Genellikle ergitilebilen tüm metalik malzemelerin tozları bu yöntemlerle üretilmektedir.

Atomizasyon, sıvı faz halindeki metalin yaklaşık 100  $\mu\text{m}$  veya daha küçük boyutlarda sıvı damlacıklara parçalanıp, bu parçacıkların ani ve aşırı soğuması ile katılaşarak toz haline gelmesi işlemidir.

Bu yöntemde, pota içerisinde ergimiş halde bulunan sıvı metal serbest veya üstten bir basınç yardımı ile üzerinde küçük delikler bulunan dar bir delikten geçirilir. Bu çıkış esnasında ergiyik metal üzerine su, yağ, veya farklı gazlar gönderilerek sıvı metalin küçük parçalara ayrılması sağlanır. Soğuk bir yüzeye karşılaşan metal parçacıkları düşme zamanına bağlı olarak farklı şekillerde katılaşır.

### Atomizasyon Teknikleri

Tüm atomizasyon yöntemleri için genel olarak; üretilen tozların tane boyuta, özellikle ergimiş metal üzerine gönderilen dağıtıcı hüzmelerin basıncına bağlıdır. Basınç arttıkça ergimiş metalin pülverizasyonu artacak ve ergiyik metal daha çok sayıda parçacığa ayrılacaktır. Böylece daha ince tane boyutuna sahip tozlar üretilecektir. Tozların tane şekli, öncelikle toz parçacıklarının soğuma zamanına bağlıdır.



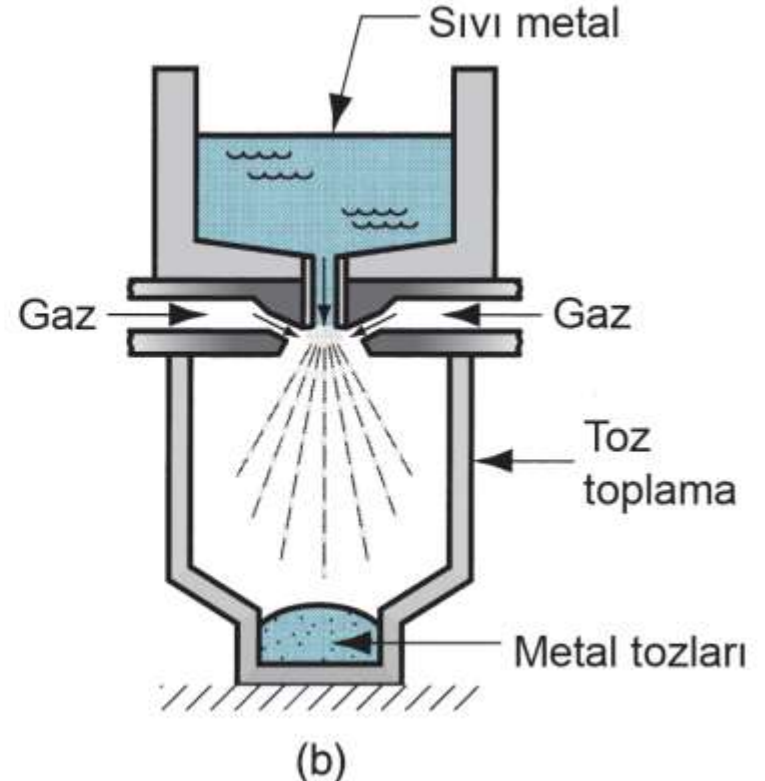
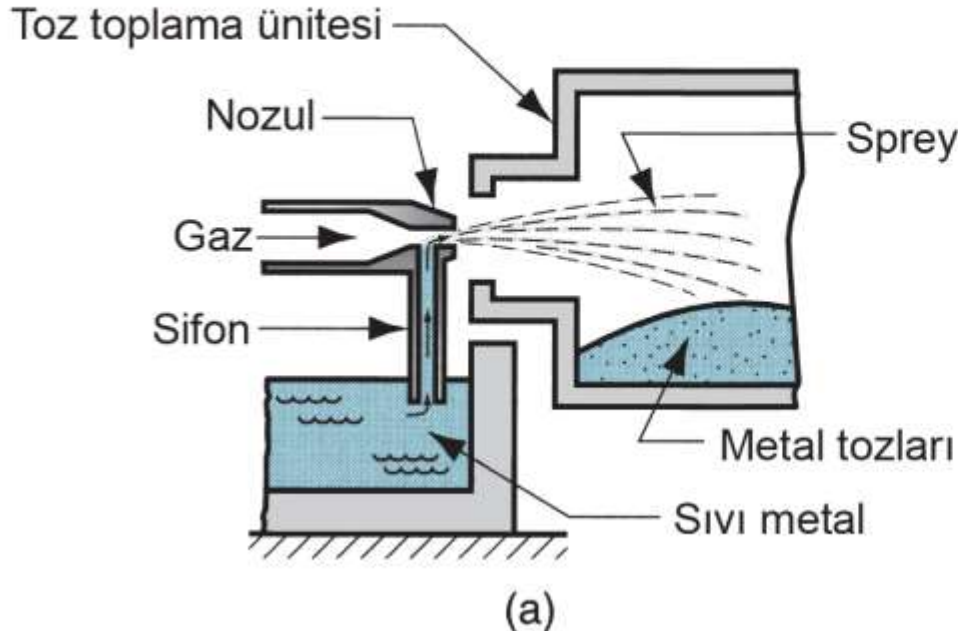
### Atomizasyon Teknikleri

Atomizasyon teknikleriyle bir tozun ortalama boyuta, toz boyuta dağılımı, toz şekli, yüzey kompozisyonu da dahil olmak üzere kimyasal bileşimi ve mikro yapısı kontrol edilebilir. Bu ana özellikler, tozların ve bitmiş metal parçaların görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler. Atomizasyon tekniklerindeki yüksek toz üretim hızı, ekonomik bir üstünlüktür. Ayrıca saf ve alaşımlı tozların üretiminde uygulanabilirlikleri ve karakteristiklerin kontrolündeki kolaylıkları bu teknikleri daha yaygın hale getirmiştir. Günümüzde paslanmaz çelik, pirinç, demir, alüminyum, çinko, kalay ve kurşun gibi metal ve alaşımların tozlarının üretiminde oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

1. Gaz atomizasyonu yöntemi
2. Su atomizasyonu yöntemi
3. Yağ atomizasyonu yöntemi
4. Vakum atomizasyonu yöntemi
5. Dönen elektrot prosesi
6. Ergiyik döndürme yöntemi.

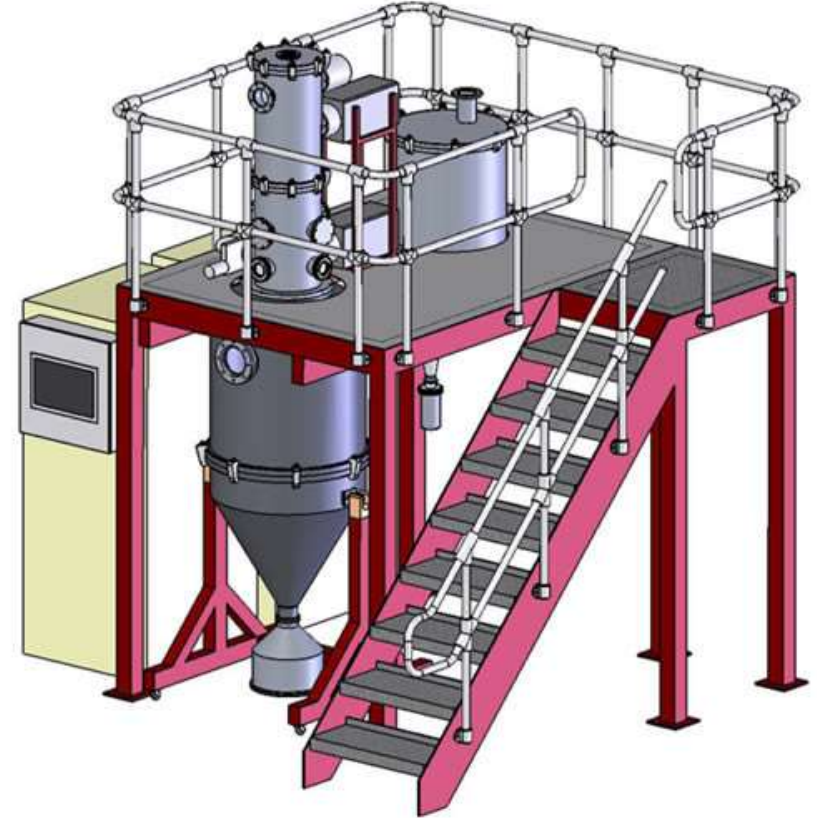
## Gaz Atomizasyonu Yöntemi

Genellikle hava, azot, helyum, ve argon gibi gazlar ile atomizasyonun sağlandığı yönetime gaz atomizasyonu yöntemi denir. Bu yöntemde elde edilen tozlar genellikle küreseldir. Gaz atomizasyonunda en önemli parametreler; gaz basıncı, gaz ve metal akış hızı ve metalin aşırı ısıtılmasıdır. Bu parametreler kontrol altına alınarak elde edilecek tozun şekli veya boyutu önceden belirlenebilir.



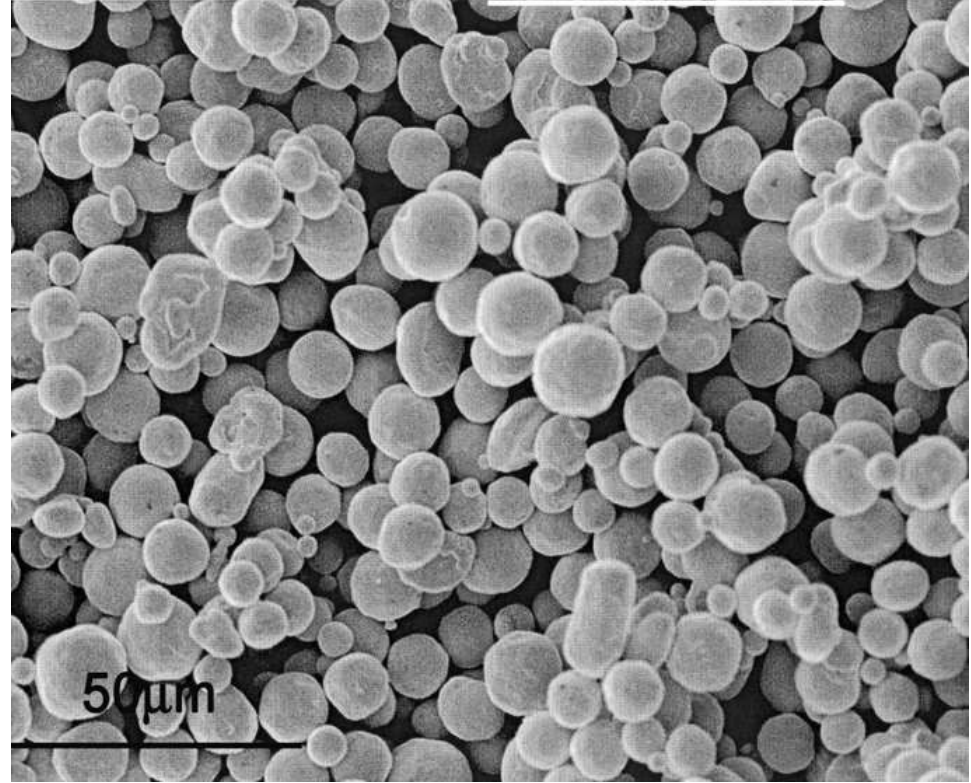
## Gaz Atomizasyonu Yöntemi

Genellikle düşük ergime sıcaklığına sahip metaller için yatay gaz atomizasyon yöntemi kullanılır. Yüksek sıcaklıkta eriyen metallerin gaz atomizasyonunda ise ergitme, bir indüksiyon ocağı ile yapılmakta ve buradan potaya boşaltılarak eriyik metalin nozula sürekli ve aynı basınç ve miktarda akması sağlanmaktadır.



### Gaz Atomizasyonu Yöntemi

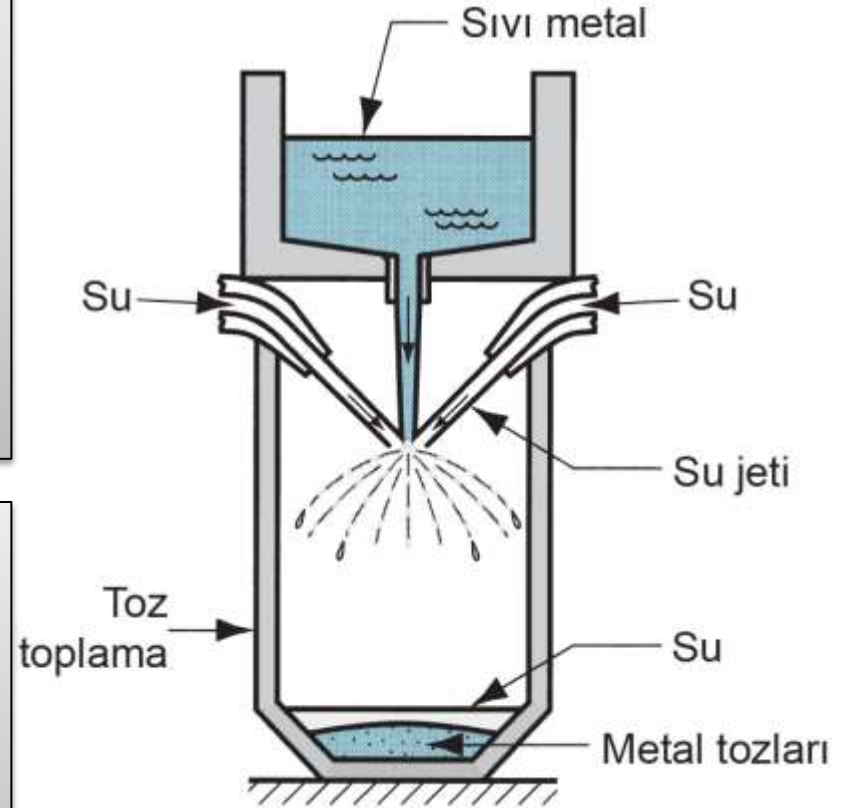
Küresel tozların sıkıştırılabilirliği yüksek olduğu için gaz atomizasyon yöntemi diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca bu yöntemin diğer önemli bir üstünlüğü, saf metallerde olduğu gibi alaşımların da tozlarının üretilebilmesidir. Bunlar; çelikler, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımları, nikel-kobalt alaşımları, bakır alaşımları vb. birçok alaşımın tozu bu yöntem ile üretilebilmektedir.



## Su Atomizasyonu Yöntemi

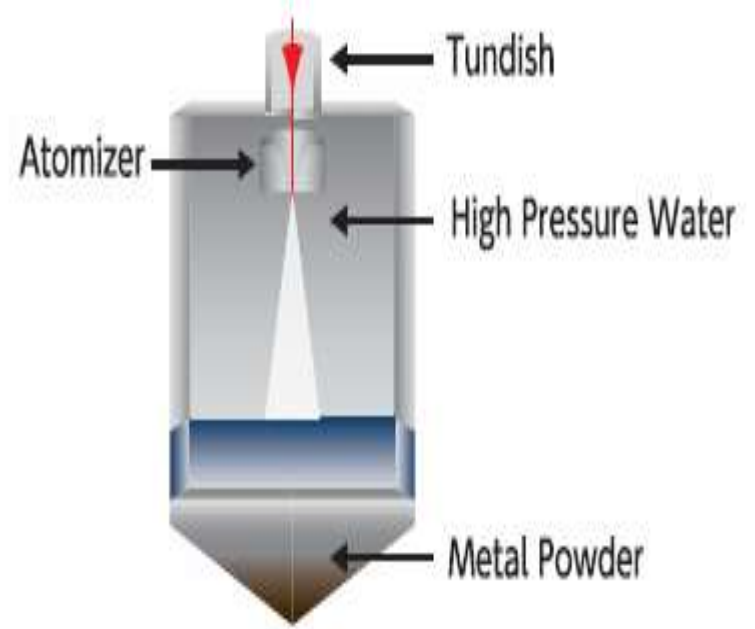
Düşey doğrultuda akıtılan sıvı metal üzerine küçük çaplı deliklerden basınçlı olarak fiskiyeler yardımıyla püskürtülen basınçlı su ile ergiyik metal tozunun atomize edilerek metal tozu üretimine su atomizasyon yöntemi denir. Atomizasyon yöntemleri arasında su atomizasyonu yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir

Su, gaza göre daha hızlı soğutma sağladığından oluşan tozlar gaz atomizasyondan farklı olarak küresel olmayıp daha karmaşık veya lamel şekillidirler



## Su Atomizasyonu Yöntemi

Atomize edilen metal ve kullanılan suyun reaksiyonu ise sistemin dezavantajlarından biridir. Bu nedenle oksijenin sorun olmadığı veya küçük miktarlarda oksijenin tolere edildiği ya da sistemden atomizasyon sonrası ısı veya kimyasal işlemlerle kolayca uzaklaştırılabildiği metal ve alaşımlarda kullanılabilir.

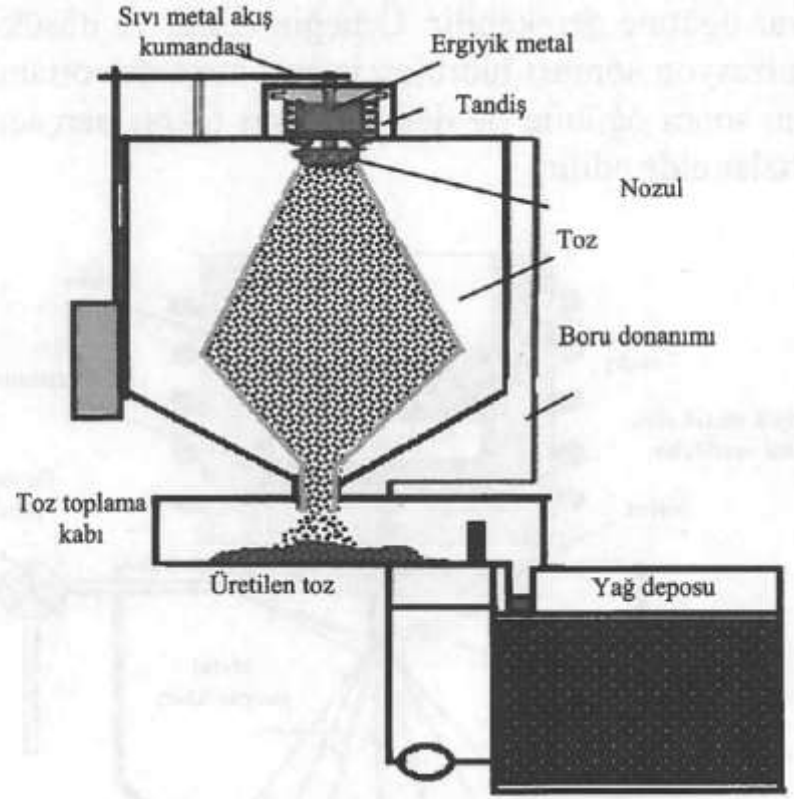


Isı kullanılması durumunda tozlar arasında yapışma veya topaklaşmalar oluşabileceğinden tekrar öğütme gerekebilir. Örneğin demir ve düşük alaşımlı çelik tozları sulu atomizasyon sonrası hidrojen içeren atmosfer ortamlarında redüklenir. Redüklemeden sonra öğütme ile demir tozları tekrar parçacıklara ayrıştırılarak daha küçük tozlar elde edilir.

## Yağ Atomizasyonu Yöntemi

Diğer atomizasyon yöntemlerinden farklı olarak bu yöntemde ergiyik metal üzerine atomizasyonu oluşturmak için yağ gönderilir, Yağ atomizasyonu, özellikle düşük oksijen içeren tozlann üretimi için kullanılır. Bu yöntemle koruyucu atmosferde milyonda 60 birimin (ppm) altında oksijen içeren toz üretmek mümkündür.

Yüksek soğutma hızı düzensiz şekilli tozların üretilmesini sağlarken oksitlenme olmaması, metal tozlarının gaz ile su atomizasyonu arasında tercih edilmesine sebep olmaktadır



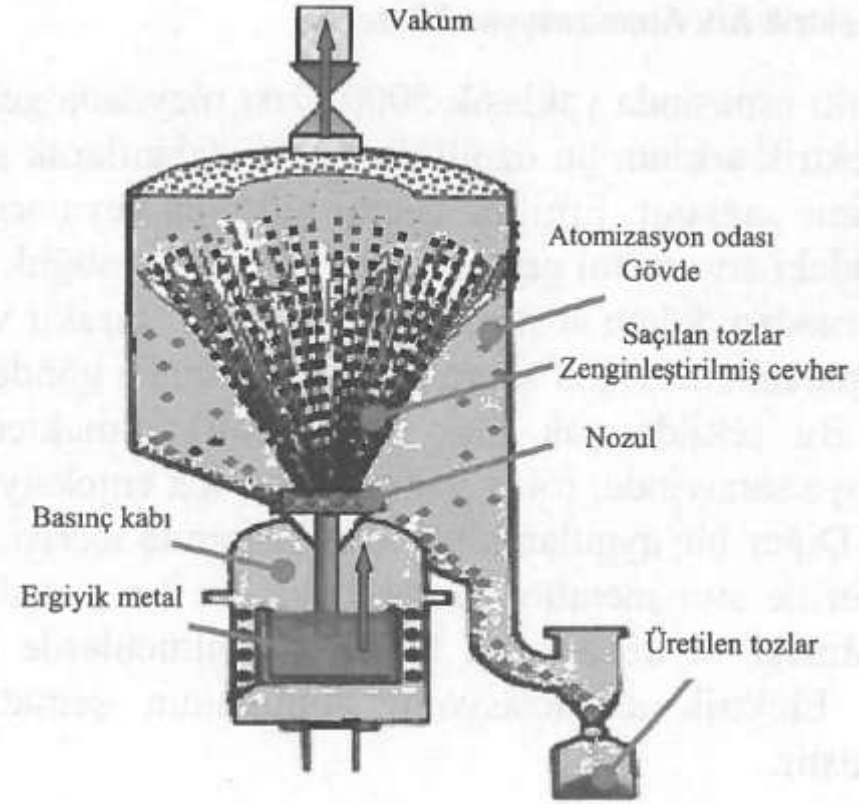
## Yağ Atomizasyonu Yöntemi

Yağ atomizasyonunda kullanılacak olan yağın özellikleri büyük önem taşımaktadır.

1. Tutuşma sıcaklığı çok yüksek olmalıdır.
2. Oda sıcaklığında vizikozitesi düşük olmalıdır.
3. Zehirleyici etkisi olmamalıdır (dioksin içermemelidir).
4. Ucuz ve kolay temin edilebilir olmalıdır.
5. Atomizasyon sırasında özelliğini kaybetmemeli ve tekrar kullanılabilmelidir.
6. Kükürttten etkilenen alaşımların atomizasyonunda kullanılacaksa, kükürt oranı düşük olmalıdır.

## Vakum Atomizasyonu Yöntemi

Diğer bir atomizasyon yöntemi de vakum ortamında oluşturulan atomizasyondur. Bu yöntem oksidasyona karşı duyarlı nikel, kobalt, demir, alüminyum alaşımlarının tozlarını üretebilmek için geliştirilmiştir. Atomizasyon işlemi hidrojen gazı altında gerçekleştirilir

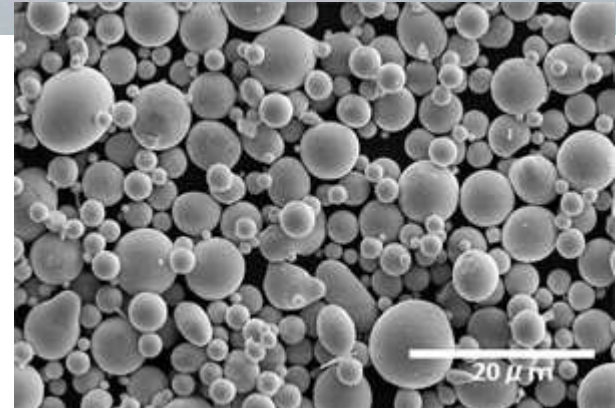
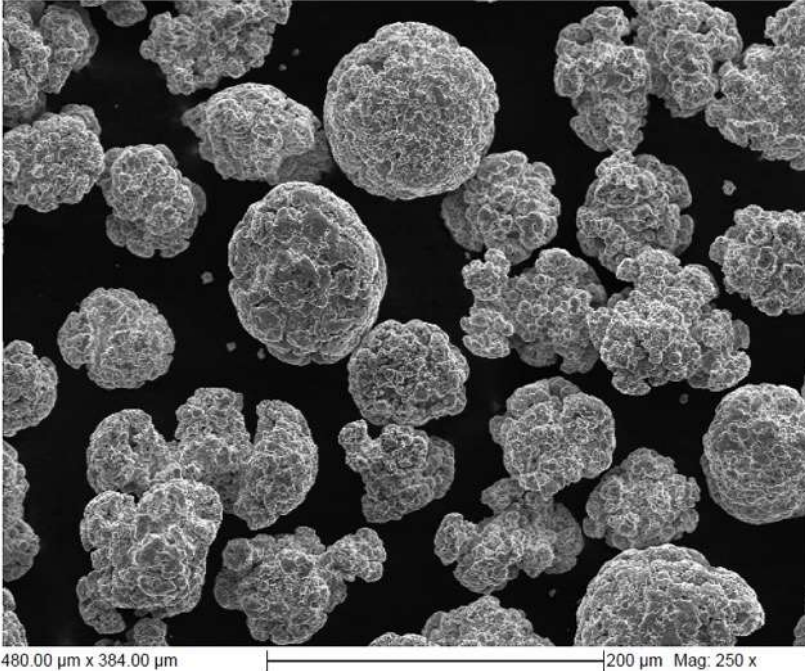


Bu yöntem de metal, indüksiyon ocağında ergitilir ve yüksek güçteki pompalar ile vakum oluşturulup, eriyik içerisine daldırılan bir seramik tüp-boru vasıtası ile eriyik yukarı doğru çekilerek atomizasyon odasına iletilir.

### Vakum Atomizasyonu Yöntemi

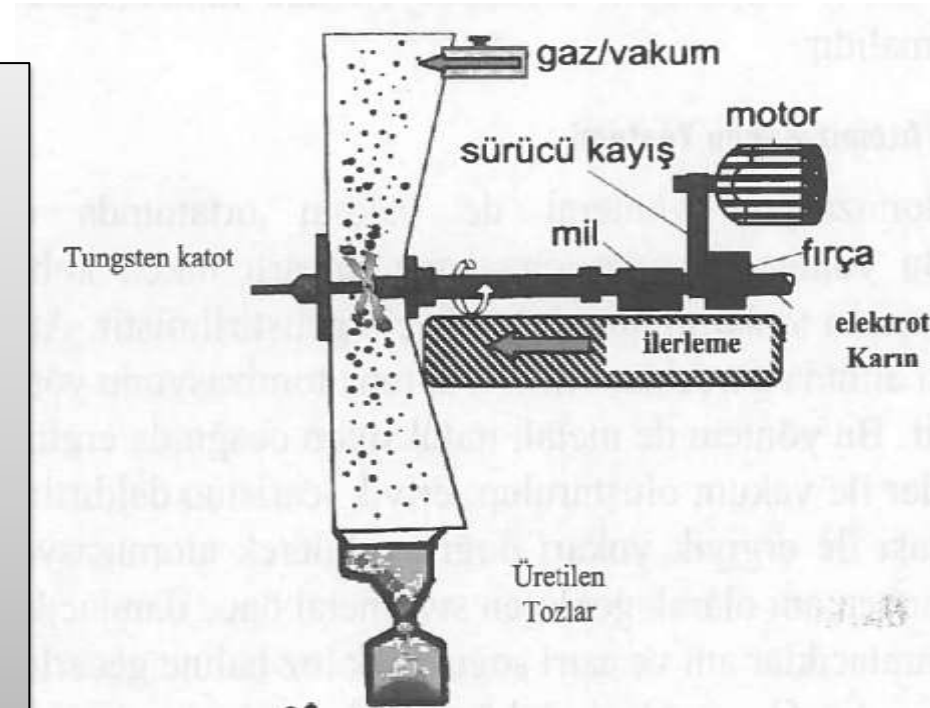
Bu iletim sonucu ani olarak genişleyen sıvı metal önce damlacıklara ayrılır ve daha sonra bu damlacıklar ani ve aşırı soğuyarak toz haline geçerler. Bu yöntem sayesinde Ni, Co, Fe, Cu ve Al esaslı küresel alaşım tozları temiz ve yüksek saflıkta elde edilir.

Nickel Powder OH900 Lot # 900-100975



## Dönen Elektrot Yöntemi

Bazı malzemelerin ergime sıcaklıklarının yüksek olması veya reaktif özellikleri nedeniyle önceki açıklanan atomizasyon yöntemleriyle üretilme mümkün olmamaktadır. Özellikle titanyum, zirkonyum ve nikel esaslı süper alaşımların tozlarının üretimleri bu yöntemle yapılmak zorunda kalmaktadır.

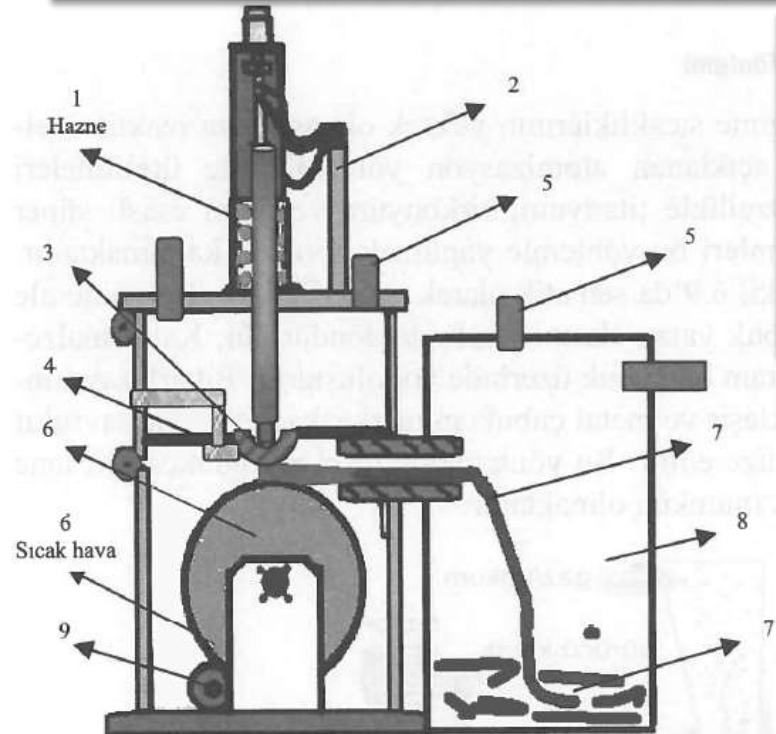


Bu yöntemle atomize edilecek metal çubuk yatay eksenini etrafında döndürülür. Katot malzemesi olarak kullanılan volfram bu çubuk üzerinde ark oluşturur. Bu ark sayesinde kısmi bir ergitme gerçekleşir ve metal çubuktan merkezkaç etkisiyle savrulur ve metal damlacıkları atomize edilir. Bu yöntemle küresel ve oldukça eşit tane boyutlu metal tozu üretmek mümkün olmaktadır.

## Elektrik Ark Atomizasyonu Yöntemi

Elektrik arkı esnasında yaklaşık  $5000^{\circ}\text{C}$  ısı meydana gelmektedir. Geliştirilen metotla elektrik arkının bu özelliğinden faydalanılarak su soğutmalı bir bakır potada ergime sağlanır. Ergitme işlemi hidrojen veya argon ortamında yapılır. Ergiyik haldeki sıvı metal, gazları absorbe eder ve soğuk bakır potaya ulaştığında ani soğumadan dolayı absorbe ettiği gazı geri bırakır ve bu esnada damlacıklar halinde parçalanır.

Daha sonra su dolu bir tanka gönderilerek ani soğumaları sağlanır. Bu şekilde çok ince tozlar üretilebilmektedir. Üretilen tozlar elektronikte, boya sanayiinde, roket yakıtında ve toz enjeksiyon kalıplarında kullanılmaktadır.



1. Su soğutmalı elektrod
2. Güç kaynağı
3. Su soğutmalı bakır pota
4. Gaz girişleri ve çıkışları
5. Gaz ve/veya vakum valfleri
6. Bakır tambur
7. Üretilen şerit metaller
8. Toplama kabı
9. Hareket motor mili

**Atomizasyon Yöntemi**

| Toz üretim yöntemi | Toz boyutu aralığı, mikron | Toz parçacık şekli | Toz dağılım aralığı | Üretim Maliyeti |
|--------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Gaz Atomizasyon    | 15-300                     | Küresel            | Orta                | orta            |
| Su Atomizasyon     | 5-800                      | Düzensiz, nodüler  | Geniş               | düşük           |
| Ergiyik savurma    | 200-1000                   | Pul                | Orta                | düşük           |
| Döner pota         | 200-1000                   | Çubuk              | Dar                 | Düşük           |
| Döner disk         | 50-300                     | Küresel            | Orta                | Yüksek          |
| Döner elektrod     | 200-600                    | Küresel            | İki modlu           | yüksek          |

## Atomizasyon Yöntemi

| Malzeme Türü                             | Yaygın Toz Üretim Yöntemleri                                                                            |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alaşımlı çelikler<br>(Takım çeliği, vb.) | Su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, savurma atomizasyonu                                                 |
| Alümina                                  | Öğütme                                                                                                  |
| Alüminyum                                | Hava, gaz atomizasyonu, öğütme                                                                          |
| Berilyum                                 | Öğütme, gaz atomizasyonu                                                                                |
| Sert metaller (WC-Co)                    | Öğütme, aşındırarak öğütme                                                                              |
| Kobalt                                   | Oksit indirgeme, kimyasal çökeltme                                                                      |
| Kompozitler (Al-SiC vb)                  | Mekanik alaşımlama, plazma atomizasyon                                                                  |
| Bakır                                    | Elektrolitik, su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, ikimyasal çökeltme, oksit indirgeme                    |
| Bakır alaşımları                         | Su atomizasyonu, hava atomizasyonu                                                                      |
| Altın                                    | Elektroliz, hava atomizasyonu, kimyasal çökeltme                                                        |
| İntermetalikler (NiAl)                   | Gaz atomizasyonu, tepk.,mel, sentez, savurmalı atomizasyon                                              |
| Demir                                    | Oksit indirgeme, su atomizasyonu, elektroliz, karbonil bozunma, gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon |
| Nikel alaşımları                         | Asal gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, savurmalı atomizasyon                                           |
| Nikel                                    | Karbonil bozunma, elektrolizle biriktirme, su atomizasyonu                                              |
| Değerli metaller (Ag vb)                 | Hava atomizasyonu, elektrolitik biriktirme, kimyasal çökeltme                                           |
| Reaktif metaller<br>(Ti vb)              | Klorür indirgeme, savurmalı atomizasyon, kimyasal çökeltme, hidrojen indirgeme                          |
| Isıya dayanıklı metaller<br>(W)          | Oksit indirgeme, savurmalı atomizasyon, kimyasal çökeltme, plazma atomizasyonu                          |
| Özel alaşımlar (Co-Cr)                   | Gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon, mekanik alaşımlama                                             |
| Uranyum                                  | Oksit indirgeme, hidrojen indirgeme                                                                     |

## Toz Karakterizasyonu

Toz metalürjisi yöntemleriyle üretilen tozların özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklerin muayene edilmesi üretilecek son ürün olan toz metal parçaların üretiminin tüm aşamalarında etkilidir. Bu nedenle öncelikle tozların belli başlı önemli özelliklerinin bilinmesi gereklidir.

Genel olarak toz özelliklerinin incelenmesinde yaygın olan iki tür inceleme yöntemi uygulanmaktadır. Bunlar;

1. Tozların fiziksel özelliklerinin incelenmesi,
2. Tozların kimyasal özelliklerinin incelenmesi

| Özellik türü                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Malzeme özellikleri                                                                                        | Üretime bağlı özellikler                                                                                                                                                                                                                        | Tozun kütle özellikleri                                                                                                                                                                                                               | Tozun gözeneklilik özellikleri                                                                                                                                                                                                                     |
| -Kristal yapısı,<br>-Saflığı,<br>-Teorik yoğunluk,<br>-Ergime noktası,<br>-Plastisitesi,<br>-Elastisitesi, | -Tane şekli,<br>-Tane büyüklüğü,<br>-Yoğunluk,<br>-Yüzey durumu,<br>-Tanenin mikroyapısı (kristal yapısı),<br>-Kafes hata türleri ve yoğunluğu,<br>-Tanenin içerdiği absorbe edilen gaz miktarı,<br>-Yüzey oksit miktarı,<br>-Reaksiyon durumu, | -Partikül özellikleri,<br>-Toz tane büyüklüğü,<br>-Toz tane dağılımı,<br>-Toz özgül yüzey alanı,<br>-Yığılma yoğunluğu,<br>-Sıkıştırma yoğunluğu,<br>-Akıcılığı,<br>-Partiküller arası sürtünme özellikleri,<br>-Sıkıştırılabilirlik, | -Gözeneklerin geometrik şekli,<br>-Toplam gözenek hacmi,<br>-Partiküller arası gözenek hacmi,<br>-Partiküllerin içindeki gözenek hacmi,<br>-Partiküller arasındaki gözenek sayısı,<br>-Ortalama gözenek büyüklüğü,<br>-Gözenek büyüklüğü dağılımı, |

### Toz Karakterizasyonu

Tozların özelliklerini tespit edebilmek için ilk olarak numune almaya ihtiyaç vardır. Genellikle numune olarak çok az toz alınabildiğinden, alınan tozların gerçeği temsil etmesine dikkat etmek gerekir. Numune alma, statik ve hareketli olmak üzere iki şekilde yapılır. Statik numune almada; sabit bir toz kabından birden fazla değişik noktadan numune alınmalıdır. Deneyler için genelde 100 g toz yeterli olmaktadır. Hareketli numune almada ise; toz kütlesi hareket halindeyken numune alınır.

### Tozların Fiziksel Özellikleri

Tozların fiziksel özellikleri; tane boyutu, tane şekli, toz tane yapısı, özgül yüzey alanı, görünür yoğunluk ve akış hızıdır. Belirtilen bu özelliklerden toz şekli, toz boyut dağılımı ve spesifik yüzey alanı tozların ham yoğunluğuna, sıkıştırılabilirliğine ve sinterleme sonrası dayanımlarına etki etmektedir. Metal tozlarının en önemli iki özelliği tane şekli ve tane boyutudur.

Tozların tane şeklinin tayini ışın ve elektron mikroskobu ile yapılmaktadır. Tane şekli; tozların akış, ham mukavemet, sinterlenebilirlik, gerginlik, görünür yoğunluk gibi özelliklerini etkilemektedir. Toz tane şekli, tek boyutlu (iğnemsî, düzgün olmayan çubuksu), iki boyutlu dendritik ve üç boyutlu (pul) olarak sınıflandırılabilir.

Tane şekli küresel olan tozların akıcılığı yüksektir. Diğer yandan pul şeklindeki tozlar iyi akış özelliği göstermezler. Görünür yoğunluğu en yüksek toz, küresel tozdur. Köşeli tozlar ile yüksek gözenekli tozlar düşük yoğunluk sergilerler.

### Toz Tane Boyutu Ölçümü

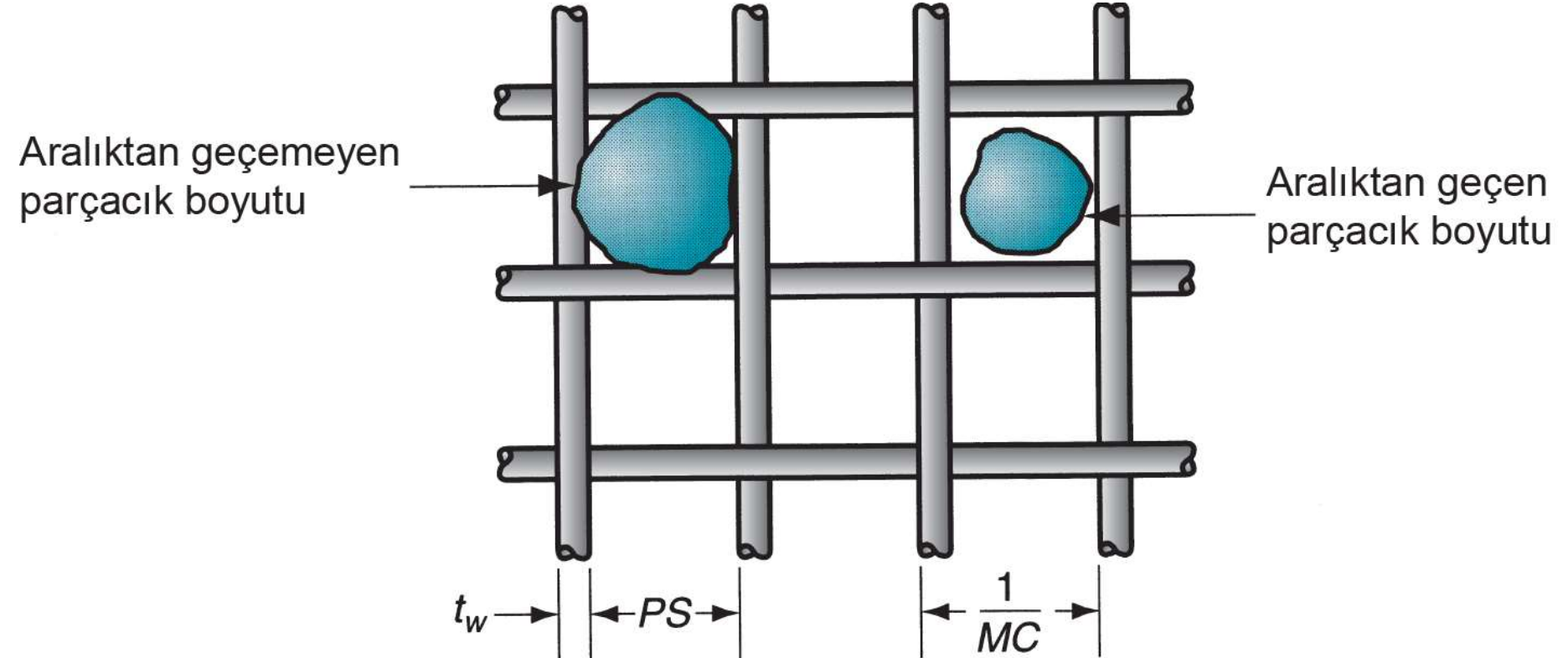
Toz tane boyut ölçümü çeşitli tekniklerle yapılır. Ancak toz ölçüm yöntemlerinde kullanılan parametrelerin farklılıklarından dolayı, her tane boyutu ölçüm tekniklerinden aynı sonuçlar alınmayabilir. Tane boyutu ölçüm cihazlarının çoğu tek bir geometriyi ölçerler ve parçacık şeklinin küresel olduğunu kabul ederek ölçüm sonucunu verirler.

Çeşitli toz üretim teknikleriyle üretilmiş tozların tane boyutu ölçümünde kullanılan bir çok teknikler vardır. Bunlardan en yaygın kullanılanları aşağıda verilmiştir.

1. Elek analizi
2. Sedimentasyon
3. Işık hüzmesi
4. X- ışınları
5. Mikroskopik analiz

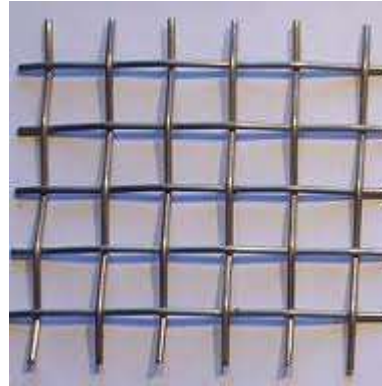
## Elek Analizi

En çok kullanılan tane boyutu ölçüm tekniklerinden birisi elek analizidir. Elekler metalsel veya ipek tellerden yapılmıştır. Birim alandaki mevcut delik sayısı eleği karakterize eder ve Meş (mesh) olarak belirtilir. Elek boyutunun belirlenmesinde en yaygın kabul, bir inç'teki tel sayısına dayanır ve elek boyutu birim uzunluktaki tellerin sayısı ile ifade edilir.



## Elek Analizi

Elek toz ölçüm tekniği hiçbir zaman bir toz tanesinin gerçek boyutunu ölçemez, sadece belirli bir değerden büyüktür veya küçüktür diye ayrılmasını sağlar.

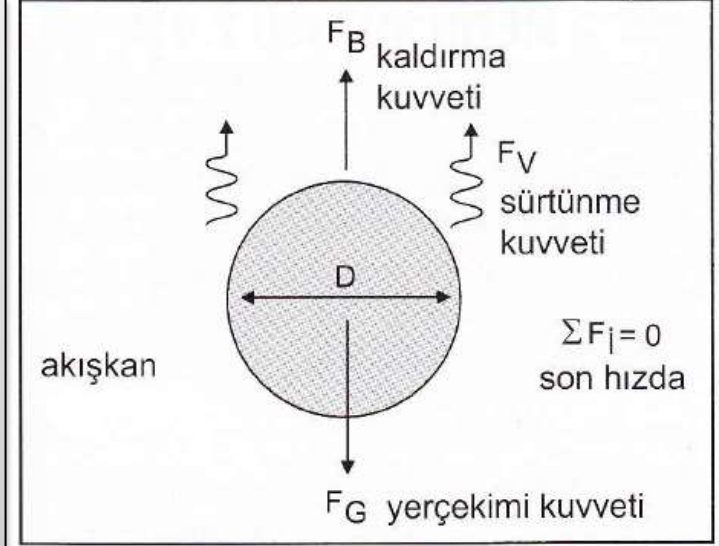


### STANDARD MESH OPENING PARTICLE

| Tyler | U.S. | mm    | inches |   |
|-------|------|-------|--------|---|
| 4     | 4    | 4.75  | 0.187  | ● |
| 6     | 6    | 3.35  | 0.132  | ● |
| 8     | 8    | 2.36  | 0.094  | ● |
| 10    | 12   | 1.70  | 0.066  | ● |
| 12    | 14   | 1.40  | 0.056  | ● |
| 14    | 16   | 1.18  | 0.047  | ● |
| 16    | 18   | 1.00  | 0.039  | ● |
| 20    | 20   | 0.85  | 0.033  | ● |
| 24    | 25   | 0.71  | 0.028  | ● |
| 28    | 30   | 0.60  | 0.023  | ● |
| 32    | 35   | 0.50  | 0.020  | ● |
| 35    | 40   | 0.425 | 0.017  | ● |
| 42    | 45   | 0.355 | 0.014  | ● |
| 48    | 50   | 0.300 | 0.012  | ● |
| 60    | 60   | 0.250 | 0.0098 | ● |
| 65    | 70   | 0.212 | 0.0083 | ● |
| 80    | 80   | 0.180 | 0.0070 | ● |
| 100   | 100  | 0.150 | 0.0059 | ● |
| 115   | 120  | 0.125 | 0.0049 | ● |
| 150   | 140  | 0.106 | 0.0041 | ● |
| 170   | 170  | 0.090 | 0.0035 | ● |
| 200   | 200  | 0.075 | 0.0029 | ● |
| 250   | 230  | 0.063 | 0.0025 | ● |
| 270   | 270  | 0.053 | 0.0021 | ● |
| 325   | 325  | 0.045 | 0.0017 | ● |
| 400   | 400  | 0.038 | 0.0015 | ● |
| —     | 500  | 0.025 | 0.0010 | ● |

## Sedimentasyon Tekniği

Sedimentasyon işleminin ilk adımı tozların bir çökme tüpünde dağıtılmasıdır. Yöntem genellikle su gibi bir akışkan içinde yapılır, ancak küçük boyutlu tozlar için hava kullanılır. Çökme zamanına karşı dibe çöken tozun hacim veya ağırlık ölçümleri, parçacığın boyut dağılımını hesaplamayı sağlar. Su içerisinde yer çekimi etkisinde çökmenin gerçekleştiği sedimentasyon tekniği, sadece yaklaşık 1-20 mikron boyut aralığında toz boyutu ölçümünde yaygın olarak kullanılır.

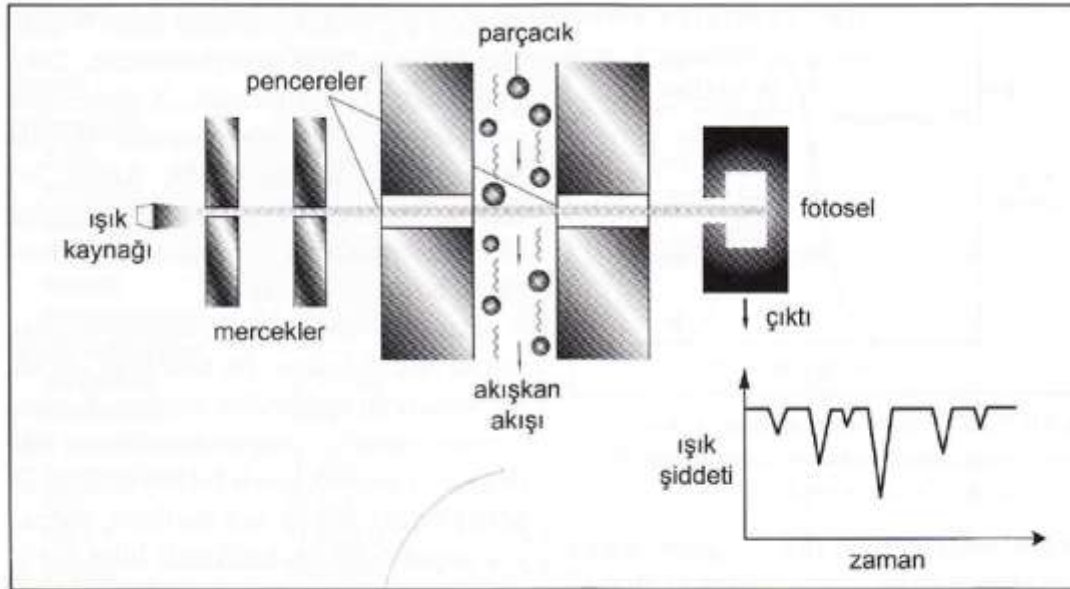


**Şekil 2.9.** Viskos bir akışkan içindeki küresel bir parçacık için sabit çökme hızını sağlayan kuvvet dengesi.

Yöntemin dezavantajı olarak farklı bileşimlerdeki tozların boyut analizinde bu teknik doğru sonuçlar vermeyebilir. Özellikle su içerisinde demir tozu ölçümü önerilmez. Isıya dayanıklı metal tozları ve seramik tozlarının toz tane boyutu ölçümünde sedimentasyon yöntemi daha çok tercih edilir.

## Işık Hüzmesi Tekniği

Tane boyutu analizi için kullanılan mevcut akış tekniklerinin büyük bir bölümü ışık hüzmesine dayanmaktadır. Tane boyutu, kırılan ışık hüzmesinin şiddetini ve açısal miktarını etkilemektedir. Bu teknikte akışkan, bir birinden ayrılmış taneciklerle birlikte detektör sisteminin önünden geçirilir. Kırılan ışığın şiddeti, tanecik çapıyla ters orantılı olarak değişmektedir. Kırılan ışığın şiddeti ve açısal bilgilerinin bilgisayar ile analizi, hızlı tane boyutunu ölçüm olanağı sağlar.

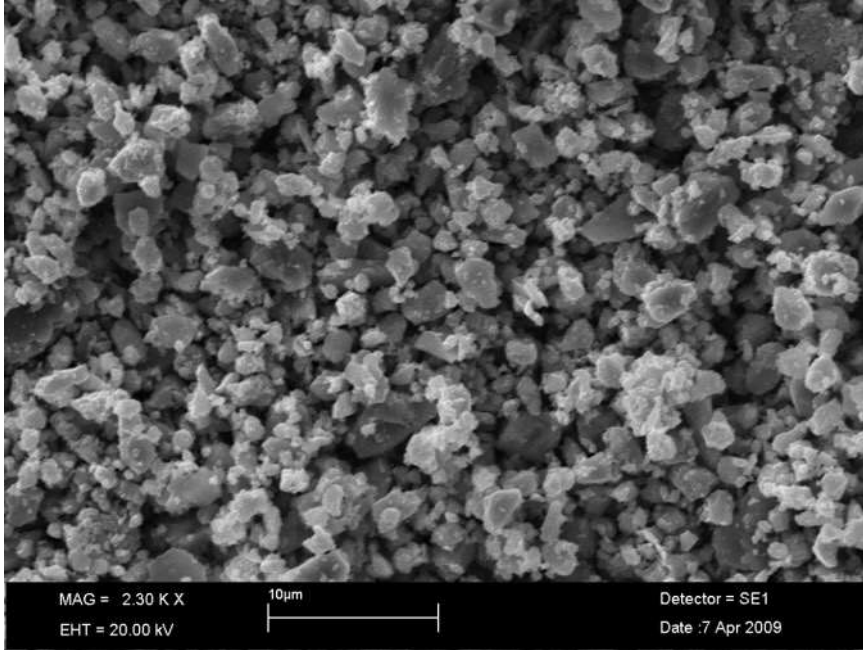


**Şekil 2.17.** Işık engellenmesine dayalı parçacık boyut analizi. Ölçümde parçacıkları izdüşüm alanlarına bağlı olarak saymak ve ölçmek için kesintili ışık demeti kullanılır.

### X ışını Teknikleri

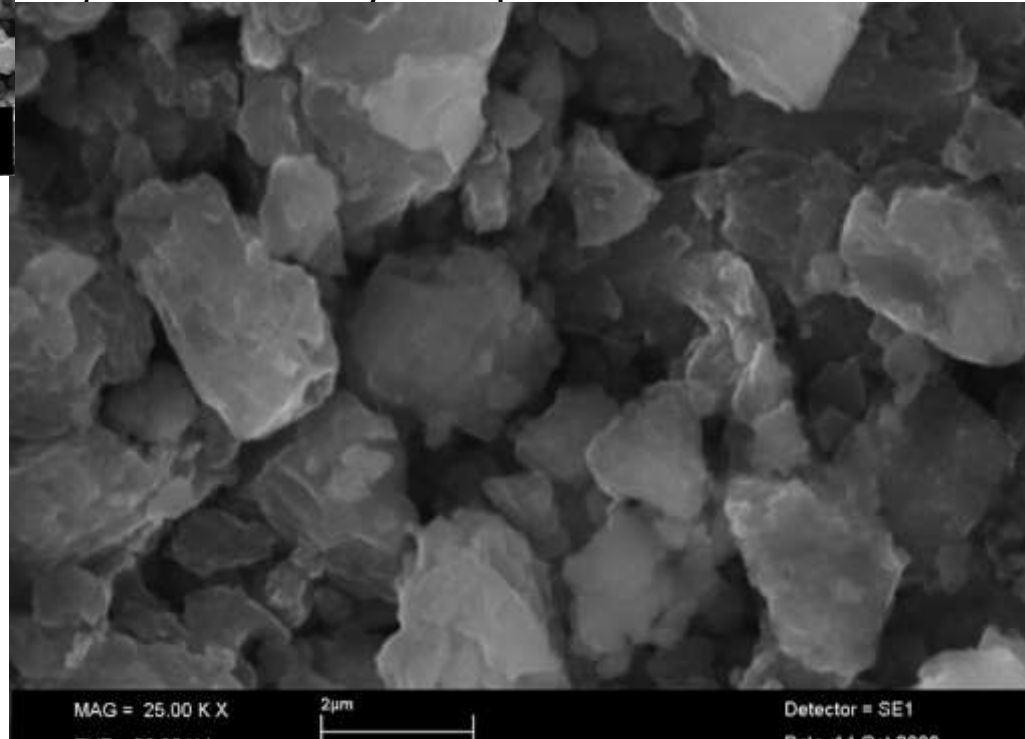
Toz tane boyut ölçümlerinde en yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle çok küçük toz tanelerinin boyut ölçümünde tercih edilir. Küçük açı saçınımı olarak bilenen bir teknik olup, X- ışınlarının şiddeti parçacığın hacmi ile değişkenlik gösterir. Özellikle 50 nanometre (nm) den küçük parçaların toz tane boyutu analizinde yüksek oranda doğruluğa sahip bir yöntemdir

### Mikroskobik Analiz



Son yıllarda özellikle elektron mikroskoplarının hem boyut ve şekil, hem de kimyasal analiz sonuçları gibi bir çok önemli sonucu birlikte verebiliyor olması bu tekniğin daha çok tercih edilmesine neden olmaktadır

Toz tane boyutu analizi; optik yansıtımlı ışık, geçirilen ışık, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) gibi tekniklerin yaygın olarak kullanıldığı yöntemdir. Özellikle 50 mikrondan küçük tanelerin büyüklük ve dağılımını veren en yaygın metot olan mikroskobik analiz sayesinde tanelerin gerçek boyutları, belirli bir miktar içindeki tane sayısı tespit edilebilmektedir.



## Parçacık Şekli



Küresel



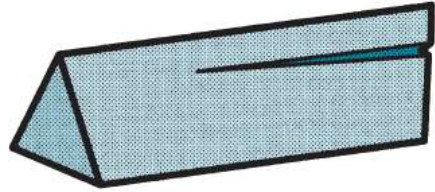
Yuvarlak



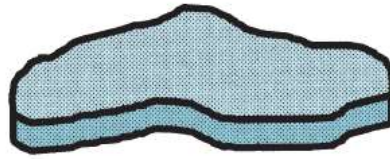
Silindiril



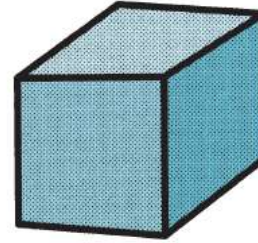
Süngerimsi



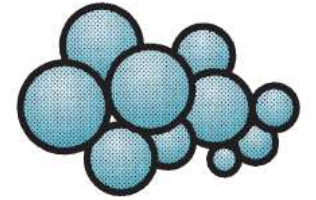
Asiküler



Kar tanesi şeklinde



Kare şekilli



Agrega şeklinde

### Toz Yüzey Alanı

Yüzey alanı, toz şekline ve toz büyüklüğüne bağlıdır. Bu alan, birim kütle başına alan ( $m^2/g$ ) olarak tanımlanır. Küresel tozlarda toz çapı küçüldükçe “özgül yüzey alanı” artar.

### Görünür ve Teorik Yoğunluk

**Görünür yoğunluk;** belirli bir hacimde tozun sıkıştırılmamış ağırlığıdır ve  $g/cm^3$  olarak ifade edilir. Presleme kalıbının tasarımında bilinmesi gereken en önemli toz özelliğidir. Görünür yoğunluk; toz şekline, toz tane büyüklüğüne ve metalin yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Tozların görünür yoğunluğu, yani preslenmemiş ve yerleşmemiş tozların verilen hacminin kütlesi, önemli bir parametredir. Görünür yoğunluk tozlardaki boşluk derecesi ve toz şeklinin bir fonksiyonudur. Görünür yoğunluğun düşmesi ise presleme aşamasında hacim azalmasını ve böylece soğuk kaynak miktarını artırır. Neticede daha yüksek ham mukavemetli parça elde edilmiş olur. Parçanın sinterlenme verimi de soğuk kaynak miktarının artmasından dolayı artacaktır

**Teorik yoğunluk** ise, ergitilerek dökülmüş malzemelerin yoğunluğudur. Metal tozlarından parça üretimi sırasında tozlar titreşime maruz kaldıkları için tozlara ait vurgu yoğunluğunun bilinmesinde fayda vardır. Kaba toz doldurulur ve sonra kap herhangi bir titreşimli cihazda titreştirilir veya kaba dışarıdan vurularak tozun kabın içinde titreşim sonucu sıkışması sağlanır. Daha sonra son durumdaki tozun kap içindeki gösterge karşılığı hacmi okunarak toz ağırlığı arttırılır. Tartılan toz kütle, konan hacme bölünerek tozun vurgu yoğunluğu tespit edilir.

### Akış Hızı

Prensip olarak sabit ağırlıkta (50 gr) alınan tozların yer çekimi etkisinde bir huni içerisinden ne kadar sürede geçtiği tespit edilerek hesaplanır. Akış süresi, toz partikülleri arasındaki sürtünme, tozlarla huni yüzeyi arasındaki sürtünme, huni ağzı ve toz tane boyutu arasındaki ilişki, partiküllerin şekli ve yoğunluğu, huninin geometrisi gibi faktörlere bağlıdır

Akış hızı, seri parça imalinde kalıbın doldurulma zamanı ile doğrudan ilgili olduğundan önemlidir. En iyi akış özelliğini küresel tozlar verir. Pul şeklindeki tozlar kolay akmazlar ve kalıpları bu tür tozlarla doldurmak zordur.

Toz taneciklerinin şekli, boyutu ve dağılımı, üretim metodu, tozun nemli veya kum olması toz yüzeyindeki oksitler akma özelliğini büyük ölçüde etkiler. Örneğin toz yüzeyindeki alüminyum oksit kaydırıcı etki yaparken, magnezyum oksit ise tutucu tesir yapar. Tozun akıcılık özelliğini arttırmak için toza yağlayıcılar ilave edilir.

### Tozların Sıkıştırılabilirliği

Belirli bir toz kütlesinin basınç altında kolay sıkışabilme ve teorik yoğunluğa yaklaşma derecesine tozun sıkıştırılabilirliği denir. Sıkıştırılabilirlik tozu şekillendirme sırasındaki davranışını belirlediğinden çok önemlidir.

Bir tozun sıkıştırılabilirliği; toz şekline, toz tane büyüklüğüne ve dağılımına, tozun sertliğine ve normal yağlayıcılara bağlıdır.

Yüksek sıkıştırılabilirlik, presleme (yoğunluk kazandırma) ve sinterleme (pişirme) yöntemi ile yapılan parça imalatında birincil öneme sahip faktördür.

Sıkıştırma oranı, tozun sıkıştırmadan önceki hacminin sıkıştırmadan sonraki hacmine oranıdır.

### Tozların Sıkıştırılabilirliği

Eşit sıkıştırma basıncına rağmen her metal tozunda presleme sonucunda ulaşılan yoğunluk o malzemenin teorik yoğunluğuna göre farklılık gösterir. Bu durum tozun üretim yöntemine, özgül yüzeyine, tane şekli, boyutu, yüzey durumuna, tozun ön işlem durumuna veya ısıtma işlem durumlarına bağlıdır.

Malzeme ne kadar yumuşak ise sıkıştırılabilirliğide o kadar yüksektir

### Paketleme Yoğunluğu

Toz taneleri arasındaki sürtünme kaymayı engellediği için iyi paketlenmeyi ve sıkıştırmayı engellerler. Yüzey alanı arttıkça, tozlar arasındaki sürtünme de artar. Böylece daha az akış ve daha küçük paketleme yoğunluğu oluşur. Bu ise sıkıştırarak şekil verme, paketleme, harmanlama ve karıştırma işlemlerinde sorun oluşturur.

### Tozların Kimyasal Özellikleri

Üretilen metal tozların kimyasal karakterizasyonu açısından tozlar üç gruba ayrılır.

1. Elementel saf tozlar,
2. Ön karışımli tozlar
3. Bileşik tozlar

### Tozların Kimyasal Özellikleri

- *Elementel metalsel tozların*, en önemli kimyasal özellikleri saflıklarıdır. *Saflık* adı kimyasal analizle tayin edilebilir ve sinterlenmiş cisimlerin imalatına ve bilhassa özelliklerine birinci derecede tesir eder.
- Metalsel tozların saflığı birinci derecede üretime giren hammaddenin saflığına bağlıdır.
- Genellikle tozların içerisinde üretim sırasında kimyasal olarak yabancı parçacıklar karışır.
- Yeterli indirgenmemiş toz taneciklerinde oksit kalıntılarına rastlanabileceği gibi tane sınırlarında da oksitler görülür.
- Tozların hava ile teması sonucu da tozlar oksitlenebilir.

### Tozların Kimyasal Özellikleri

- *Ön karışım*lı tozlar, genellikle iki veya daha fazla tozun belirli oranlarda bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Mesela alüminyum ve bakır tozlarının önceden karıştırılması buna örnek verilebilir.
- Bunların kimyasal özellikleri karışım oranlarına bağlıdır. Sonuçta üretilecek metal toz, numunenin özelliklerini belirleyeceğinden karışım oranlarının dikkatle hesaplanması ve karışıma girmesi önemlidir.

### Tozların Kimyasal Özellikleri

- *Bileşik haldeki tozlar*, üretilen her bir toz tanesi aynı bileşime sahip tozlardır.
- Alüminyum bakır alaşımları, magnezyum alüminyum çinko alaşımları veya paslanmaz çelik tozlar buna örnek olarak verilebilir.
- Tozların üretim yöntemleri bileşik haldeki tozun da kimyasal bileşimine etki eder. Bu nedenle üretim esnasında alınacak tedbirler veya seçilecek toz üretim tekniği, üretilen tozun kimyasal bileşimini belirleyecek rol oynar

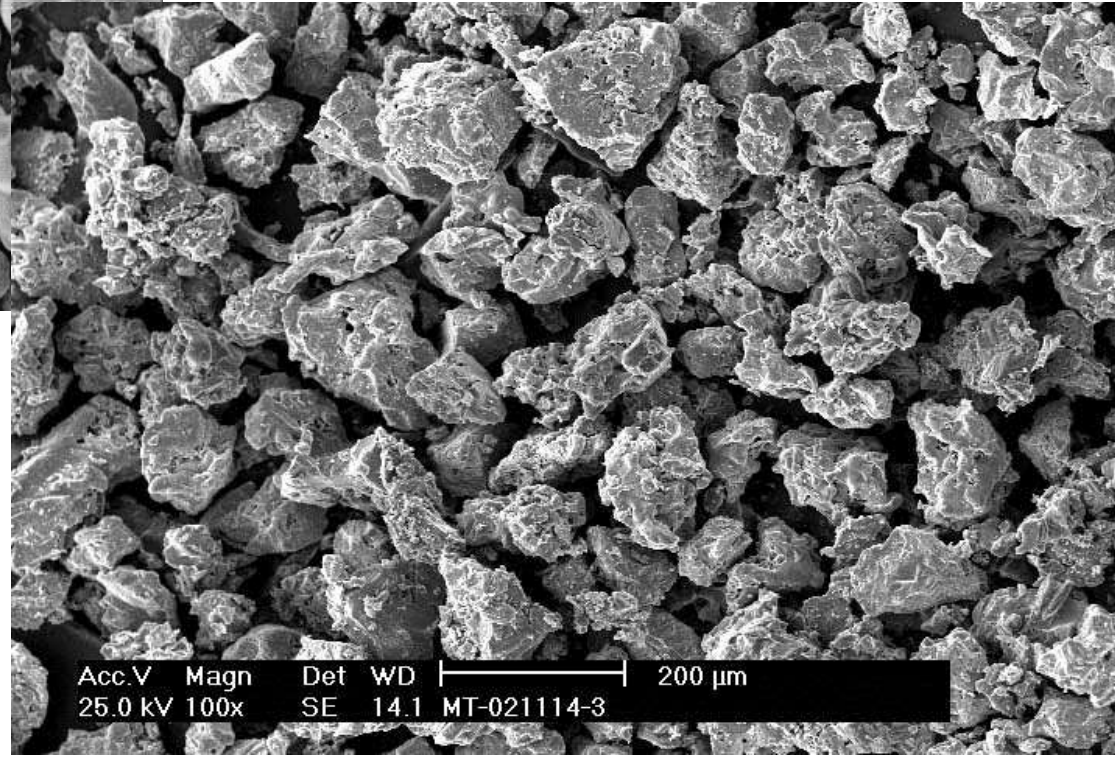
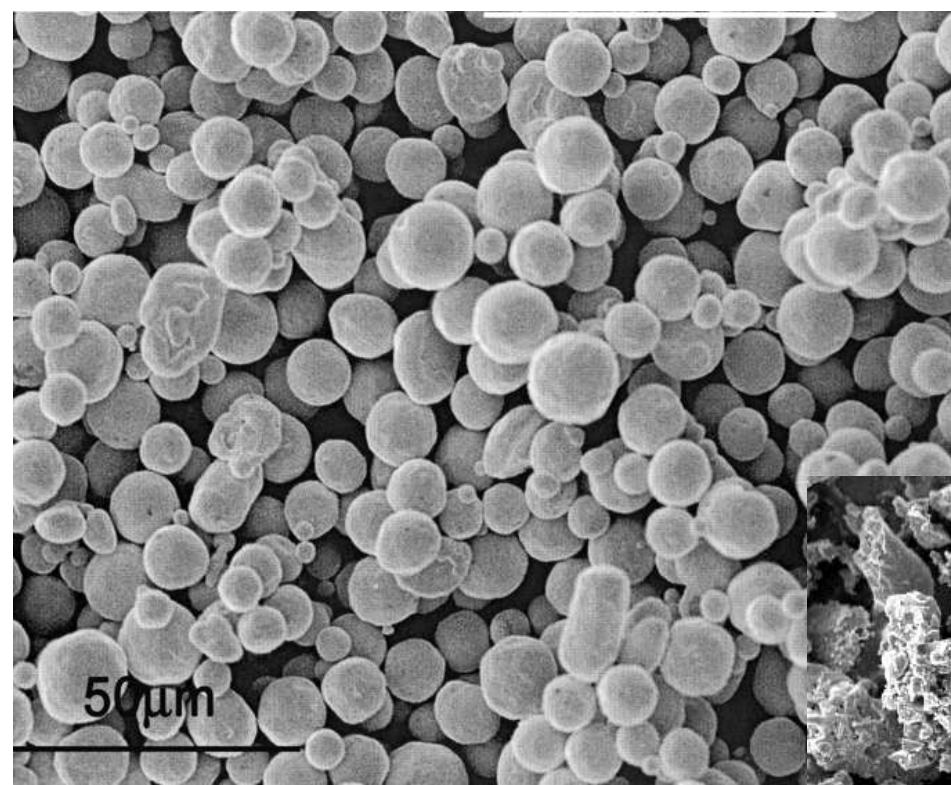
### Toz Şekillendirme

Toz tanelerinin kalıp içerisinde sıkıştırılabilirliğini arttırmak ve sinterlemeyi kolaylaştırmak, yoğunluğu geliştirmek ve sıkıştırma öncesi tozlara spesifik özellikler kazandırmak amacı ile bir takım işlemler yapılır. Bunlar, tozun sınıflandırılması, harmanlama ve karıştırma, yağlayıcılar ve toza karıştırılması ve ayrıca ısıl işlem yapılmasıdır.

## Toz Şekillendirme

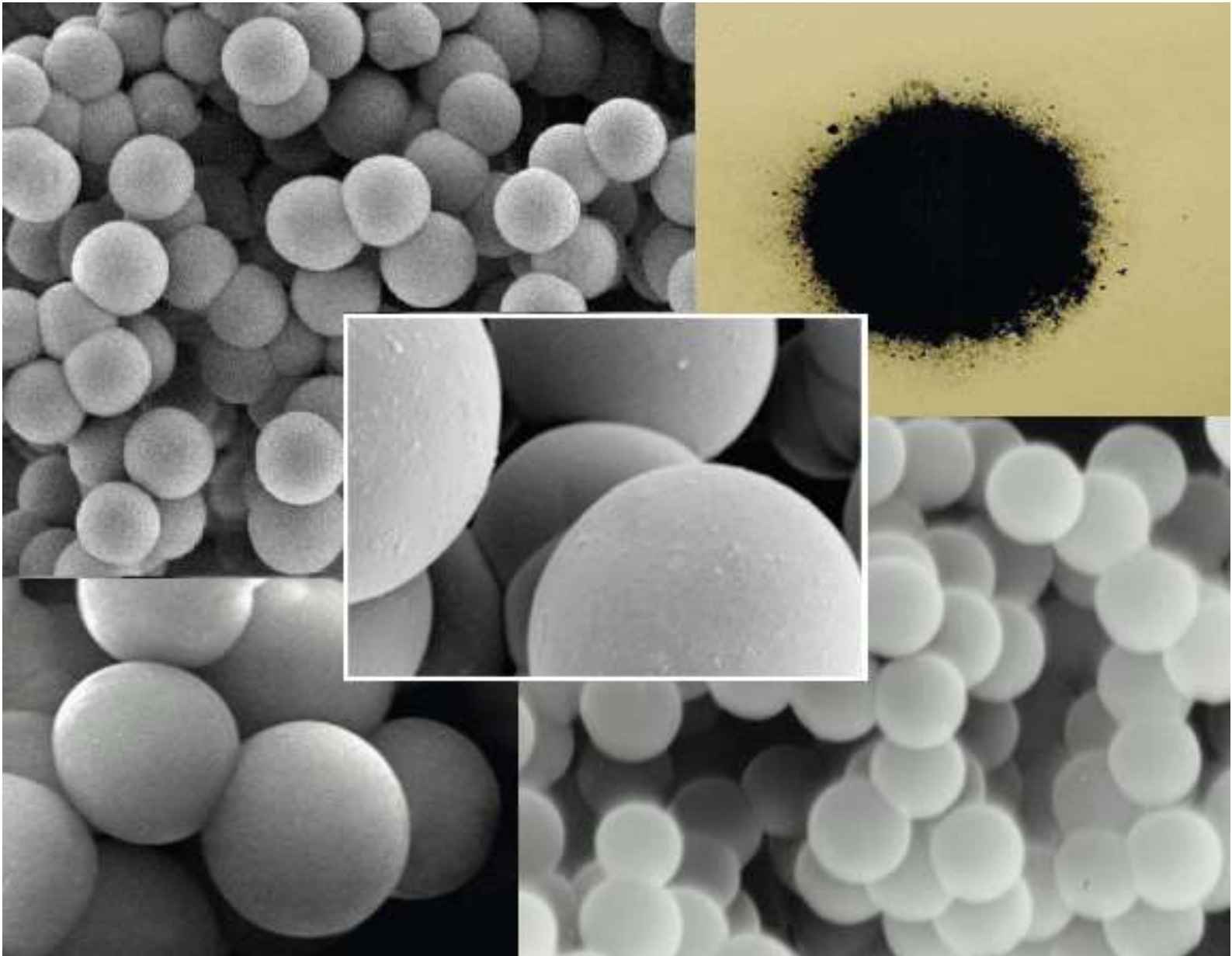


## Toz Şekillendirme



## TOZ METALURJİSİ

---



## Harmanlama ve Karıştırma

- Aynı kimyasal özelliğe sahip fakat farklı tane boyutlarındaki tozların karıştırılmasına **harmanlama** denilmektedir.
- **Karıştırma** ise, farklı kimyasal özelliklerdeki tozları birleştirmek bir araya getirmek ve homojen bir dağılım elde etmek için yapılan işleme denilmektedir.
- Harmanlama; sıkıştırma öncesi, tozların aynı tane boyutu dağılımını sağlamak için yapılır.
- Örneğin sinterlemeyi kolaylaştırmak için kaim taneli tozların içerisine ince taneli tozların belirli oranlarda katılması istenebilir. Bu da toz malzemenin son yoğunluğunu geliştirmektedir.

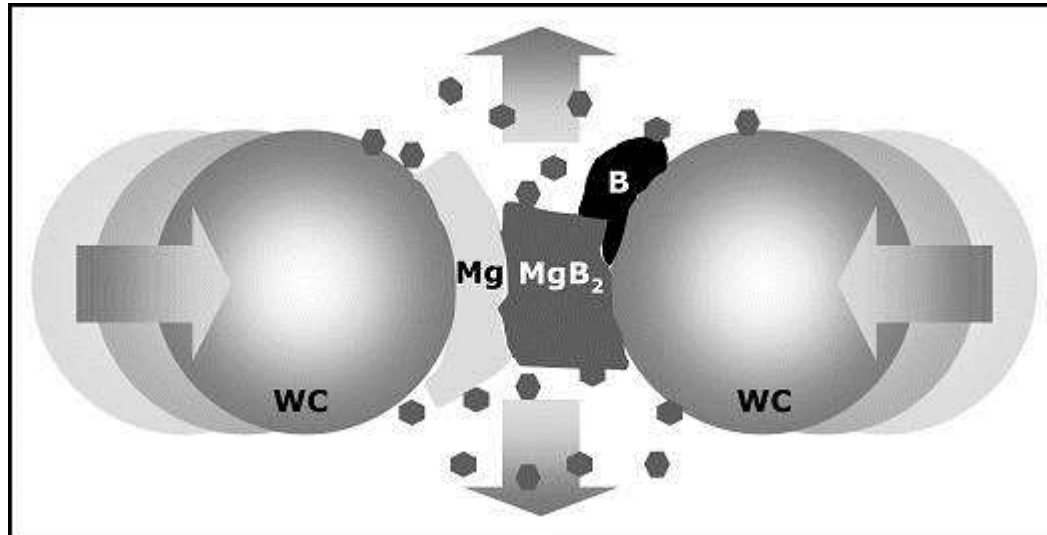
### Toz Şekillendirme

Gereğinden fazla sürede yapılan harmanlama ve karıştırma işlemlerinin olumsuz etkileri de vardır.

- Tozlar harmanlama veya karıştırma esnasında gerilme sertleşmesine maruz kalır ve preslemenin zorlaşmasına sebep olur.
- Bu işlemler esnasında tozların kirlenmesi ise diğer bir dezavantajdır.
- Farklı tane boyut, şekil ve yoğunluktaki tozların karıştırılmasından sonra bu farklılıklar nedeni ile tekrar ayrışmalar görülebilir. Bu nedenle, karışım tozlarının taşınması sırasında tozları, sarsıntıdan korumak ve tekrar karıştırma işlemine tabi tutmak gerekebilir

## Toz Şekillendirme

Metal tozlarının üretimi aşamasında toz yüzeylerinde çok azda olsa oksit kirlenmesi ve üretim yöntemine bağlı olarak soğuk sertleşme oluşur. Bu olay preslenebilirliği zorlaştırmaktadır. Bu nedenle preslemeden önce hem oksit tabakalarını gidermek hem de deformasyon sertleşmesini azaltmak amacı ile bir tavlama ısıl işlemi yapılır.



### Toz Şekillendirme

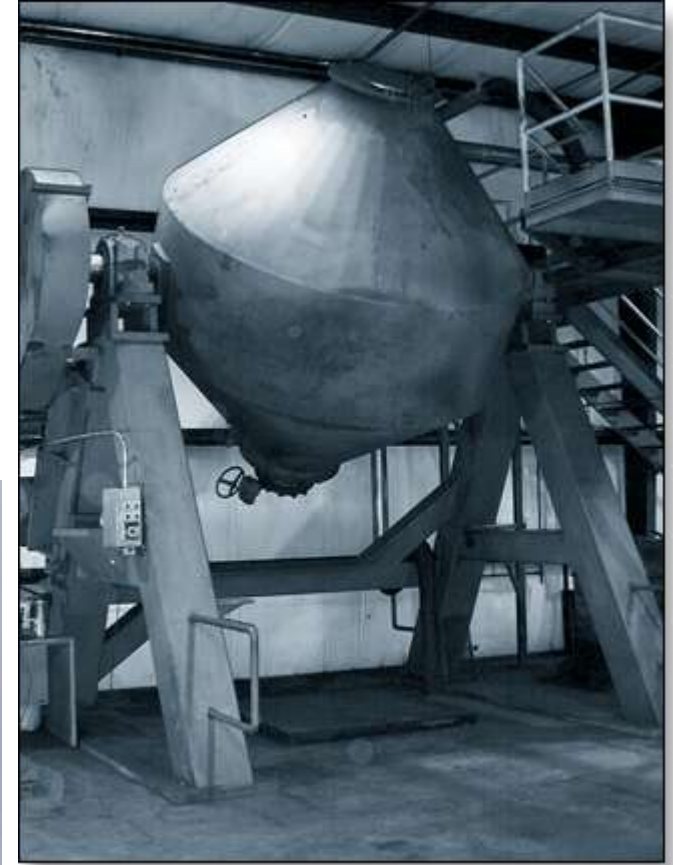
Karıştırma işlemi, tozların tane boyutuna ve şekline göre topaklanmasını önlerken, akış karakteristiğini ve görünür yoğunluğunu da değiştirir.

Ayrıca taneciklerin nispeten kırılmasına, yuvarlaklaşmasına ve yüzey pürüzlülüğünün giderilmesine sebep olur.

Karıştırma, genelde toza yağlayıcı veya alaşım elemanı ilavesi gerektiğinde yapılır. Amaç, farklı yapıdaki malzemelerden isteğe ve ihtiyaca bağlı yeni bir karışım elde edilmesidir. Karıştırma işleminde bilye ve toz oranına dikkat edilmelidir



## Toz Şekillendirme



### Yağlayıcılar ve Bağlayıcılar

- Toz sıkıştırma esnasında, toz tanecikleri arasındaki sürtünmeyi ortadan kaldırarak tozların akıcılığını arttırmak ve şekillendirme de meydana gelen enerji kayıplarını azaltmak ve tozun sıkıştırılabilirliğini arttırmak için, toz içerisine belirli oranlarda katılan maddelere **yağlayıcılar** denir.
- Presleme esnasında toz tanecikleri ve kalıp iç duvarları arasındaki sürtünme olayı, sıkıştırma basıncının artmasına ve kalıbın aşınmasına sebep olur. Ayrıca oluşan sürtünme kuvveti, presleme ile şekillendirilmiş parçanın kalıp içerisinden çıkartılması esnasında parçanın katı halini muhafaza etmesini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Çinko stearat, alüminyum stearat, lityum stearat, magnezyum stearat, kalsiyum stearat, stearik asit ve grafit en çok kullanılan yağlayıcılardır.

### Yağlayıcılar ve Bağlayıcılar

- Yağlayıcılardan farklı olarak *bağlayıcılar*, preslenmiş kütlenin ham dayanımını artırmak üzere toz halde iken katılırlar.
- **Bağlayıcı**, tozu istenilen geometriye sokmak ve o şekli sinterlemeye kadar muhafaza etmek için geçici olarak ilave edilen maddelerdir. Sert toz taneleri için bağlayıcının rolü, kusursuz bir son şekil elde etmede yağlayıcının etkisinden daha fazla bir etkiye sahiptir. Ucuz olmaları ve ısı erimelerinin düşük olması nedeniyle genelde mum benzeri polimerler kullanılır.

## TOZ METALURJİSİ

**Tablo 6.5.** Metal tozlarına preslemeyi kolaylaştırmak amacıyla katılan yağlayıcılar.

| Yağlayıcı madde        | Kimyasal formülü        | Ergime sıcaklığı,<br>°C | Buharlaşma, ayrışma<br>sıcaklığı, °C |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Stearatlar             | $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ | 140                     | 335                                  |
|                        | $Ca(C_{18}H_{35}O_2)_2$ | 180                     | 350                                  |
|                        | $Pb(C_{18}H_{35}O_2)_2$ | 116                     | 360                                  |
| Asitler (yağ asitleri) |                         |                         |                                      |
| Stearin                | $CH_3(CH_2)_{16}COOH$   | 69,4                    | 360                                  |
| Benzol                 | $C_6H_5COOH$            | 122                     | 249                                  |
| Sülfürler              | $MoS_2$                 | 1185                    | -                                    |
|                        | $WS_2$                  | 1258                    | -                                    |
| Kapron asidi           | $CH_3(CH_2)_4COOH$      | -4                      | 205                                  |
| Grafit                 | C-kristalin             | 3500                    | -                                    |

| Bağlayıcının kullanıldığı<br>üretim yöntemi | Bileşimi,<br>(% ağırlık) |
|---------------------------------------------|--------------------------|
| Ekstrüzyon                                  | % 56 su                  |
|                                             | % 25 metil selüloz       |
|                                             | %13 gliserin             |
|                                             | %6 borik asit            |
| Enjeksiyon kalıplama                        | %55 parafin mumu         |
|                                             | %35 polietilen           |
|                                             | %10 stearik asit         |
| Slip döküm                                  | %4 sodyum lignosülfonat  |
|                                             | %95 su                   |
|                                             | %1 kasliyum nitrat       |
| Şerit döküm                                 | %80 toluen               |
|                                             | %13 polietilen glikol    |
|                                             | %7 polivinil alkol       |

### Toz Sıkıştırma

Toz şekillendirme teknolojisi pek çok durumda dört basamaktan oluşur. Bunlar;

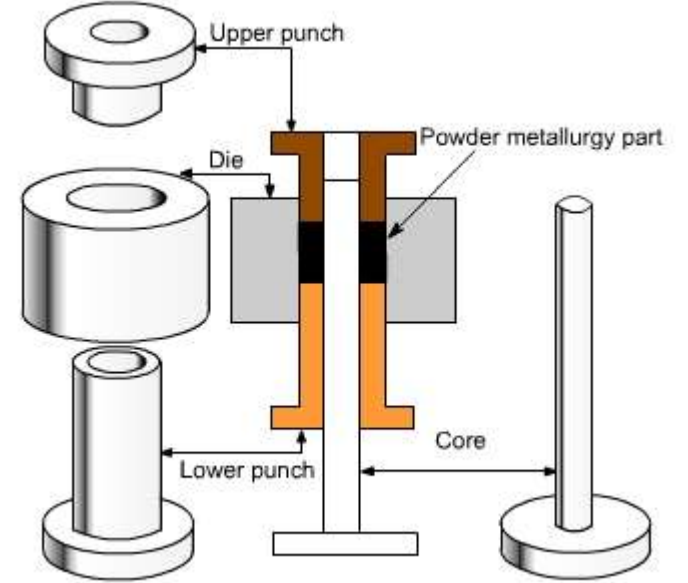
- (I) tozların belli bir geometriye sahip kalıplara doldurulması,
- (II) basınç altında soğuk, sıcak veya yarı sıcak durumda sıkıştırma,
- (III) bağlayıcının uzaklaştırılması ve
- (IV) ham ürünün sinterlenmesi süreçlerini kapsar.

Bu basamaklardan toz sıkıştırma yöntemleri yaygın olarak beş farklı teknikten oluşmaktadır. Bu teknikler

1. Presleme
2. Haddeleme
3. Ekstrüzyon
4. İzostatik presleme
5. Toz enjeksiyon kalıplama teknikleridir.

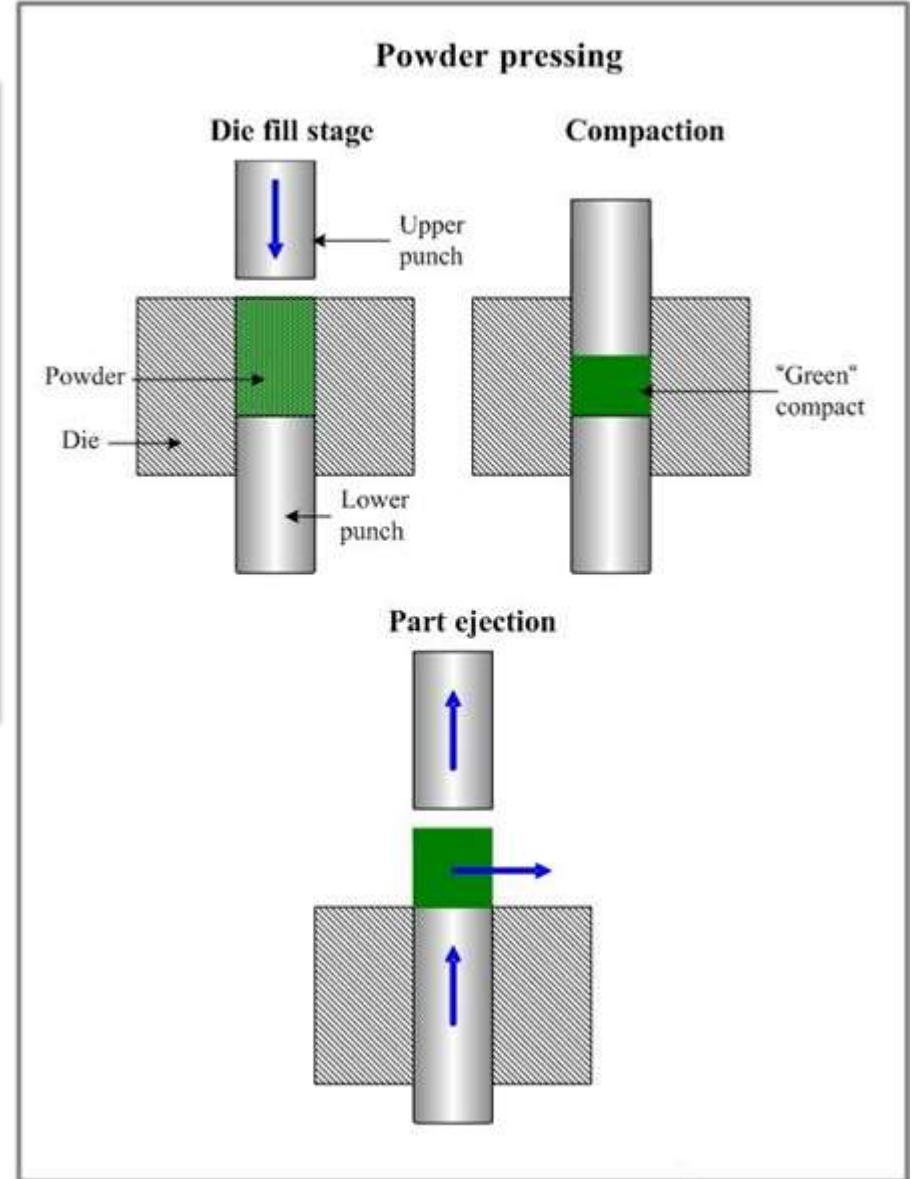
## Presleme

Toz tanelerinin sıkıştırılarak toz metal ürün hale dönüştürülmesinde en yaygın kullanılan toz sıkıştırma yöntemi **preslemedir**. Presleme, kalıp adı verilen ve genellikle çelikten yapılan tek veya çift taraftan sıkıştırılabilen bir hacim içerisinde yapılır. Presleme ile imal edilecek parçanın şekil ve boyutları tam olarak verilmeye çalışılır. Bu işlemle şekil ve boyutlandırmanın yanında ayrıca parçaya istenen düzeyde bir **ham yoğunluk** ve mekanik dayanım kazandırılır



## Presleme

Daha yüksek sıkıştırma ve yoğunluk için daha yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Sıkıştırılan toza **ham parça** adı verilir. Presleme sonrası yoğunluğa **ham yoğunluk** ve presleme sonrası mukavemete ise **ham mukavemet** denilir

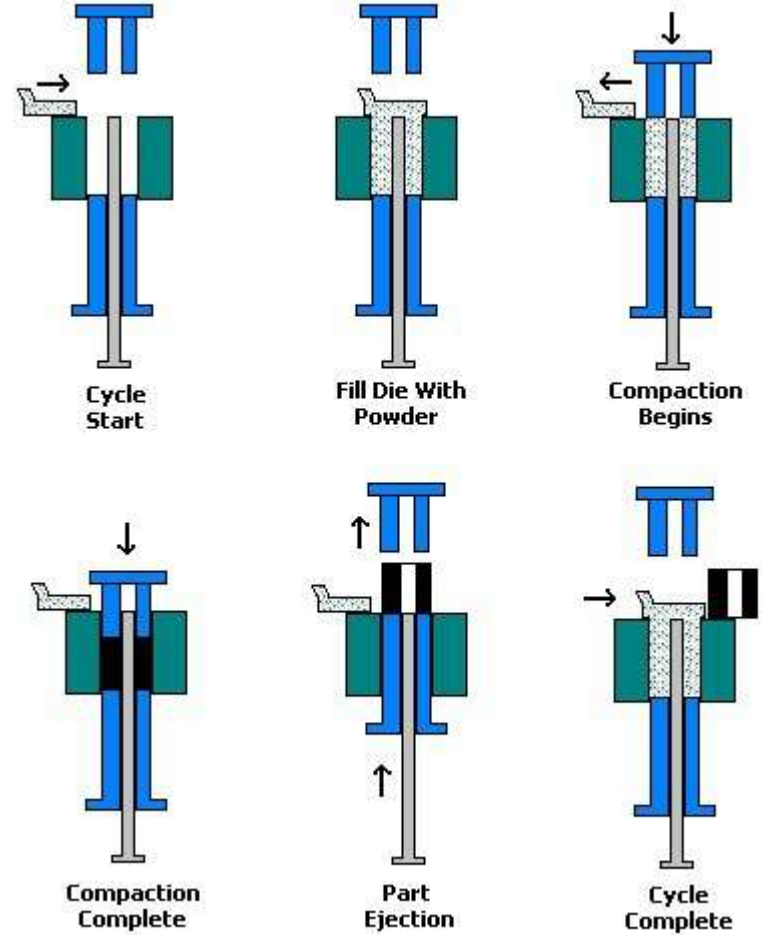


## Toz Şekillendirme

Sıkıştırma ve yoğunlaştırma işlemleri genellikle bir kalıp içerisinde yapılır. Kalıpta presleme ve yoğunlaştırma işlemi genellikle üç aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar;

- Kalıp boşluğuna hesaplanan miktarda metal tozu, yağlayıcı ve bağlayıcı karışımının birlikte doldurulması,
- Tek yada çift taraflı zımbalar ile basınç altında tozun sıkıştırılması,
- Kalıp içerisinden ham parçanın çıkartılmasıdır.

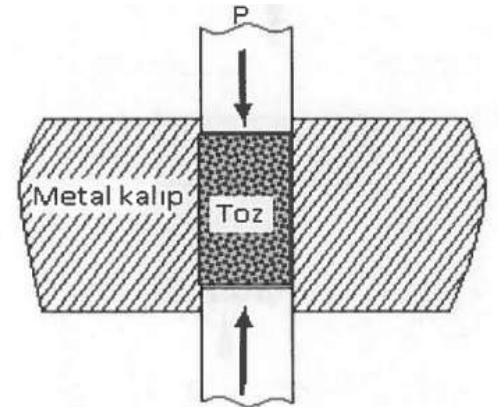
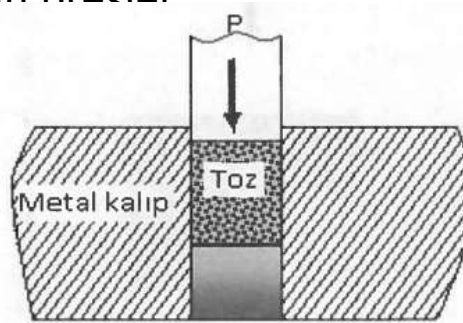
Powder Metal Compaction Cycle



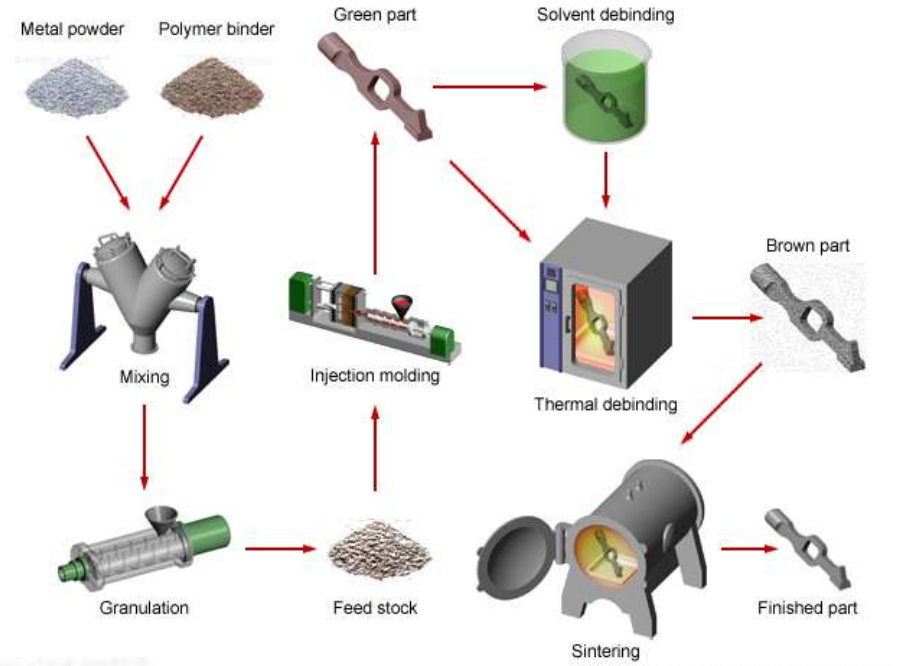
### Presleme

1. Kalıp boşluğuna hesaplanan miktarda metal tozu, yağlayıcı ve bağlayıcı karışımının birlikte doldurulması,
2. Tek yada çift taraflı zimbalar ile basınç altında tozun sıkıştırılması,
3. Kalıp içerisinden ham parçanın çıkartılmasıdır

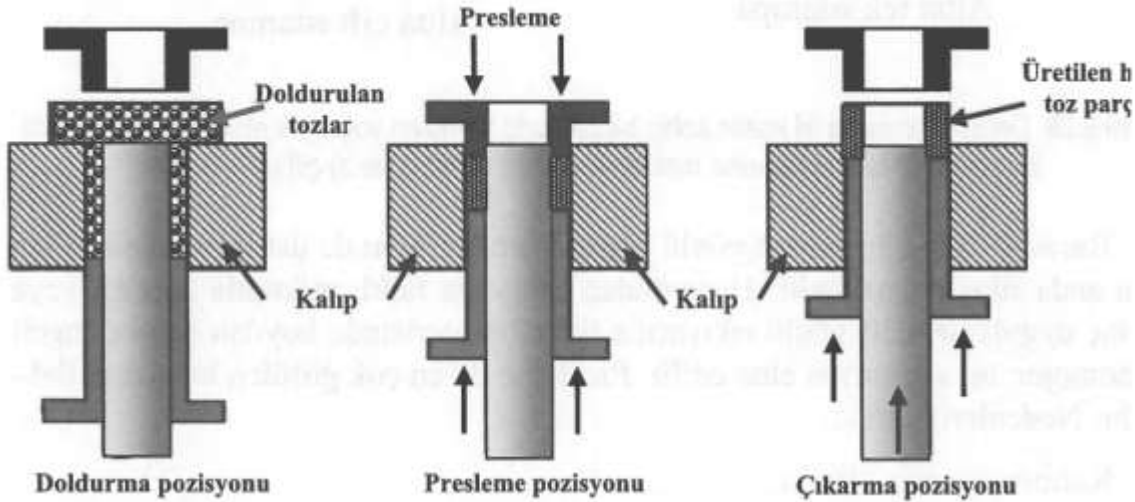
Kalıplara basınç, mekanik yada hidrolik olarak uygulanır. Bu süreçte kullanılacak olan presler yüksek çalışma hızı, yüksek presler kolay kullanım nisbeten düşük işletim sahip olmalıdır.



## Presleme

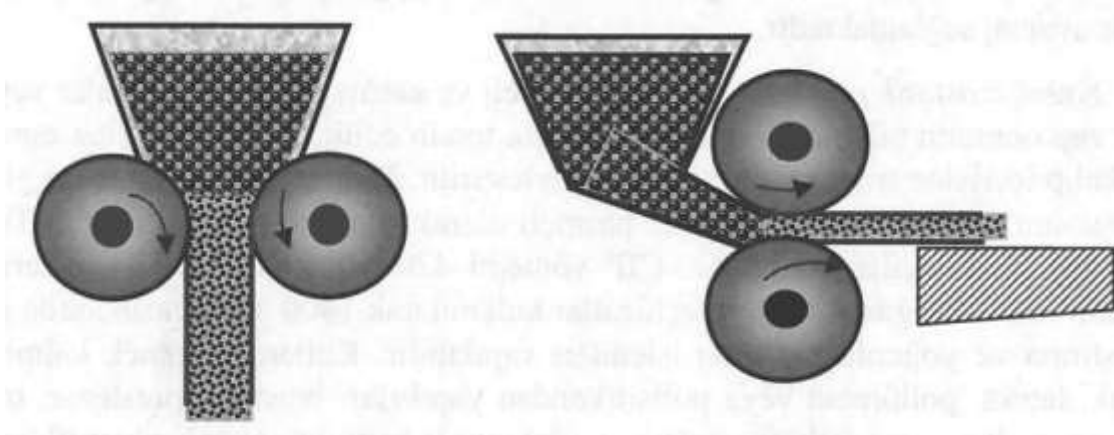


Copyright © 2009 CustomPartNet



### Haddeleme

Bu yöntem ile genellikle çubuk, levha, şerit ve tüp gibi basit geometrik şekillerdeki parçaların sıkıştırılması işlemleri yapılır



Tozların haddeler arasında a) dikey ve b) yatay haddelenerek sıkıştırılması işlemi

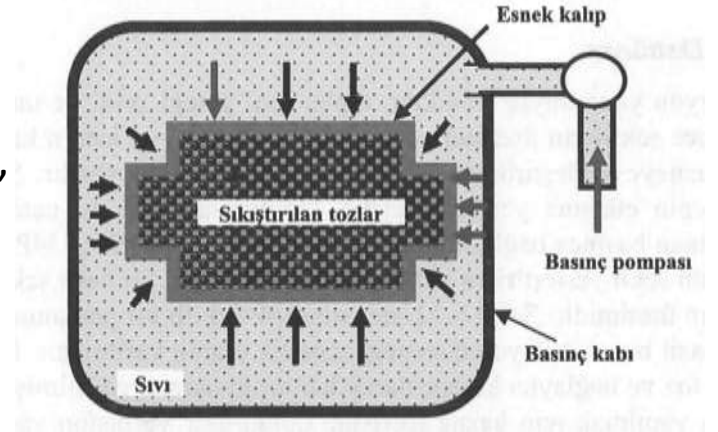
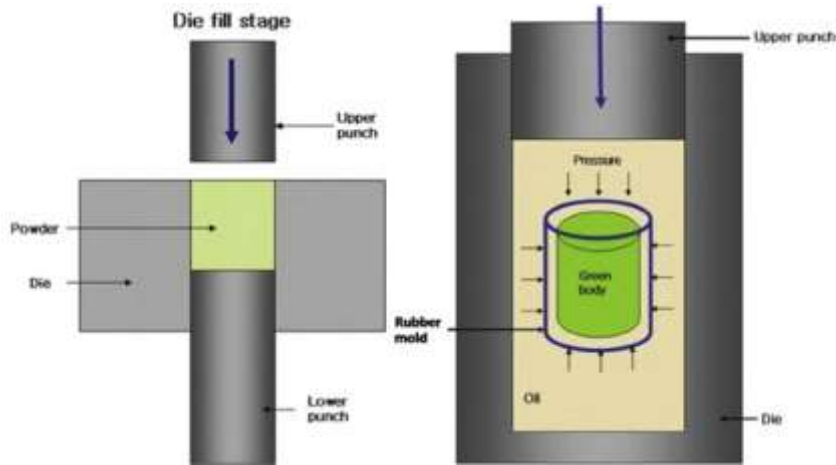
### Ekstrüzyon

Ekstrüzyon yöntemiyle çubuklar, tüpler, bal peteği şekli ve matkap uçları gibi uzun ince şekillerin üretimi yapılır. Toz ve bağlayıcı içeren karışım ısınmış olan hazneye yerleştirilir ve bir piston vasıtasıyla sıkıştırılır. Şekil verme kalıbı haznenin çıkışına yerleştirilmiştir. Doldurulan tozların uçtaki kalıptan akışı uygulanan basınca bağlı olarak değişir



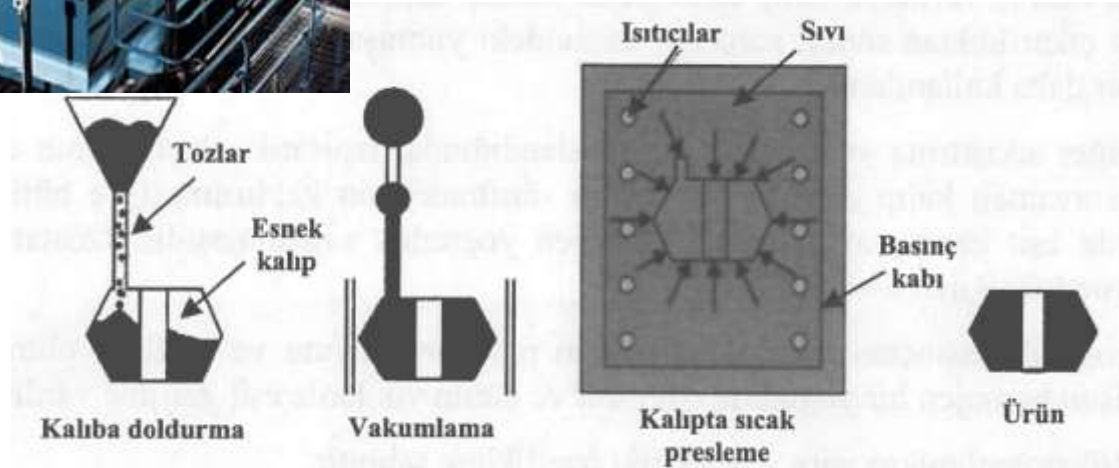
## İzostatik Presleme

Kullanılan esnek kalıp plastik, lateks, poliüretan veya polisilikondan yapılırlar. İzostatik presleme büyük, uzun, ince veya kalıpta sıkıştırma yöntemiyle homojen olarak sıkıştırılması mümkün olmayan veya zor olan parçaların sıkıştırılmasında kullanılır.



## İzostatik Presleme

Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınçlarda aynı zamanda ve eşit olarak taneciklerin kuvvetli difüzyon bağları yoğunlaşması ile birlikte şekillendirilmesi yöntemidir



### İzostatik Presleme

İzostatik presleme tekniğinin üstünlükleri;

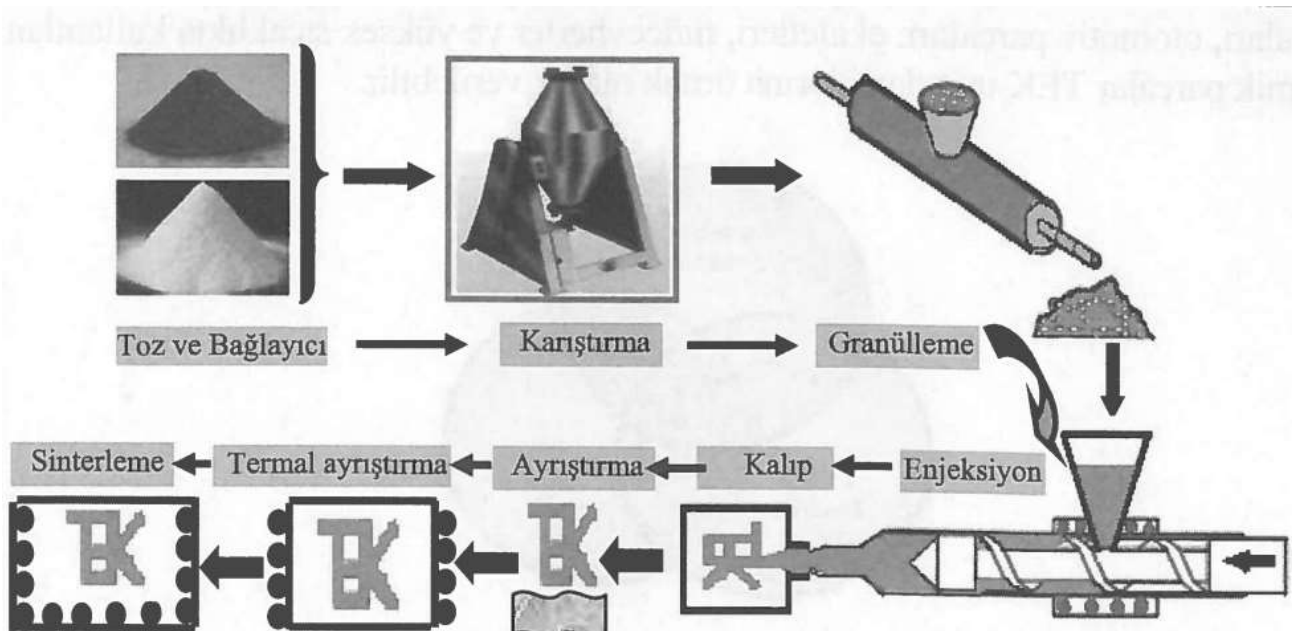
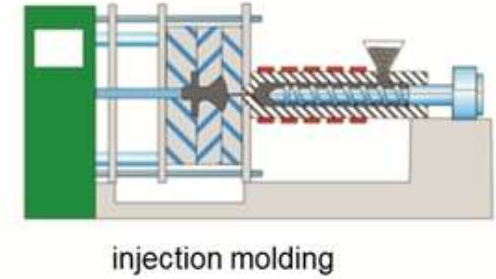
- a. İzostatik basınçtan dolayı, sıkıştırılan parçanın boyutu ve şekli ne olursa olsun homojen bir yoğunluk dağılımı ve bütün yönlerde eşit gerilme vardır
- b. Mükemmel mikroyapı ve elektriki özelliklere sahiptir.
- c. Kalıp duvarı sürtünmesi olmadığı için, sıkıştırılmış malzemelerde kalıntı gerilmesi yoktur.
- d. İşlenmesi zor ve alışılmış kalıplarla üretilmesi zor malzemelerden parça üretimi mümkündür.
- e. Diğer tekniklere göre daha az malzeme kaybı, işçilik ve enerji bakımından daha ekonomiktir

## Toz Enjeksiyon Kalıplama

1. karıştırma,
2. enjeksiyon kalıplama,
3. bağlayıcı giderme,
4. sinterleme (pişirme)dir.



powderinjectionmoulding.com



### Yoğunluk Dağılımı Kontrolü

Toz metalurjisinde parçanın sıkıştırıldıktan sonraki yoğunluğu malzemenin mukavemet özellikleri üzerinde etkiye sahiptir. Genel olarak bitmiş toz metal parçaların yoğunluğuna etki eden parametreler şunlardır:

1. İlk şekillendirme basıncının arttırılması, tanecik hareketini ve deformasyonu arttırır. Buda toz taneciklerinin daha fazla kırılarak ufalanmalarını sağlar.
2. Toz tanelerinin büyük olması, toz kütlelerinde daha büyük deformasyonla neden olan gerilme dağılımlarının oluşmasını sağlar.
3. İlk sertlik ve mukavemetin düşük olması şekillendirme esnasındaki deformasyonu kolaylaştırır.
4. Şekillendirme hızının azaltılması toz tane hareketlerini arttırır.

1. Yağlayıcı kullanımı,
2. Yüksek basınç kullanımı,
3. Düşük h/d oranı,
4. Yüzer kalıp kullanılması,
5. Çift hareketli sıkıştırmayla presleme yapılması,
6. Parçaların bazı kısımlarına ön sıkıştırma uygulanması.

### Kalıp Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Metal tozlarını sıkıştırma kalıbı tasarımında bilinmesi gereken önemli nokta uygulanan pres kuvvetine göre uygun malzeme seçimi ve ölçümlenmenin iyi yapılmasıdır. Kalıp tasarımında genellikle Ç1050 çeliği tercih edilir. Özel amaçlı tasarımlarda alaşımlı çelikler kullanılabilir.

Toz sıkıştırmada üretilen parçanın üst yüzey alanı hesaplanıp,  $\text{cm}^2$  başı başı olarak 4-6 tonluk bir kuvvet uygulanır. Bu bilgidan yola çıkılarak uy pres tipi ve gücü belirlenebilir. Parçanın üretiminde unutulmaması gere önemli bir husus da yoğunluk hesabıdır.

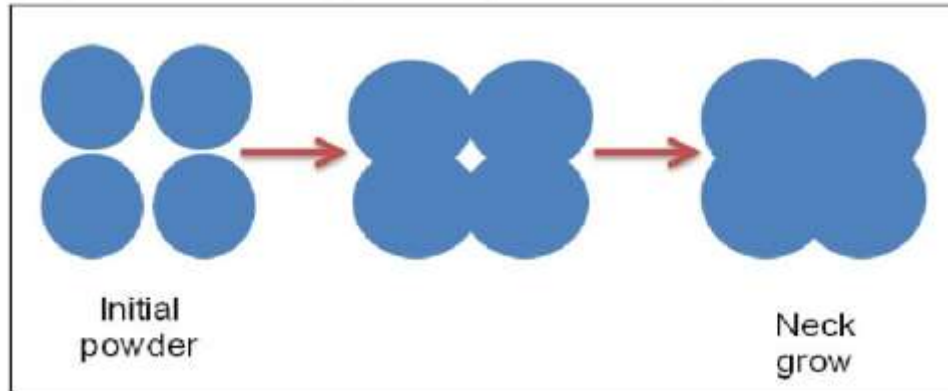
Toz sıkıştırma da üretilecek parçanın yüksekliğine göre kalıp tasarlanır. kışma sonunda parça kalıp boşluğunun yaklaşık olarak 1/3'ü oranında çıkar. oran pratik bir değır olup yoğunluğa göre değışim göstermektedir.

Tozlar kalıba boşluk kalmayacak şekilde doldurulup, kalıp yüzeyinden şük veya yüksek seviyede olmamalıdır. Seviye farkı yoğunluk hesaplarını ğıştirdiğı gibi üst zımbanın deformasyona uğramasına sebep olacaktır.

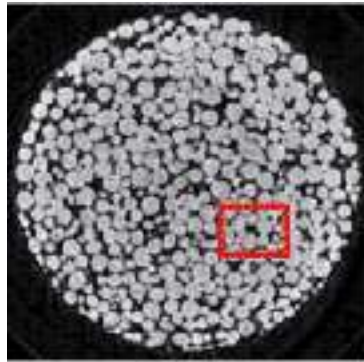
Üst ve alt zımbanın aynı ekseninde ve boşluksuz olarak çalıştığından e olunmalıdır. Bu ise prese kalıbın sağlam ve düzgün montajı ile mümkün Parçanın kalıptan çıkarılması için iticiler kullanılmalı, itici kuvvet ve hızı çaya zarar vermeyecek değırlerde olmalıdır. Hareketli parçaların yağları kalıp ömrünü arttıracaktır. Bu işlemin aksatılmamasında fayda vardır.

### Sinterleme

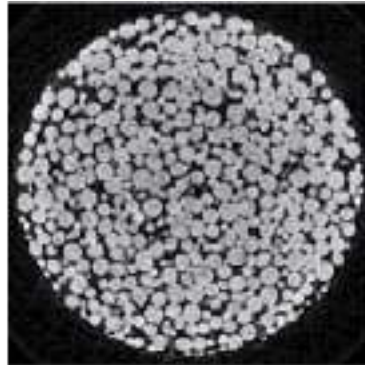
Sinterleme, toz metalürjisinde uygulanan bir ısıtma işlemidir. Bu ısıtma işlemi kısıtlanmış ve şekillendirilmiş toz karışımının, ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda ısıtılarak tozlar arasında kimyasal bağ oluşturulmasıyla yapılır. Sinterleme yüksek sıcaklıklarda ana malzemenin ergime sıcaklığının  $1/3$ 'ü kadar altındaki bir sıcaklıkta uygulanır. Amaç makro düzeyde malzemenin özelliklerinin geliştirilmesidir. Sıkıştırma işlemleriyle oluşan mekanik bağlar sinterleme esnasında kimyasal bağlarla da bağlanarak özellikleri geliştirir. Sinterleme işleminde uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak taneler arasında da bağlar oluşur. Bağlar; adhezyon, yüzeysel ve hacimsel difüzyon yollarıyla oluşmaktadır. Sinterlemede uygulanan sıcaklıkla malzemede aşağıdaki değişiklikler meydana gelir. Bunlar;



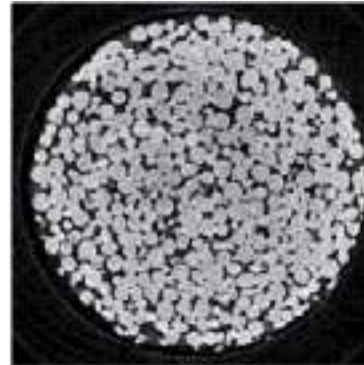
## Sinterleme



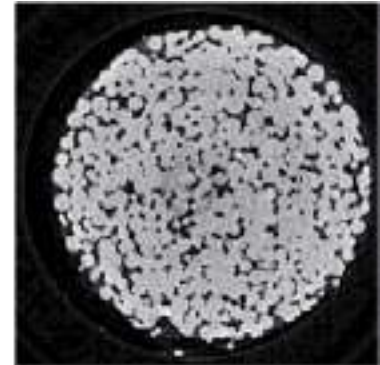
a)  $200\ \mu\text{m}$



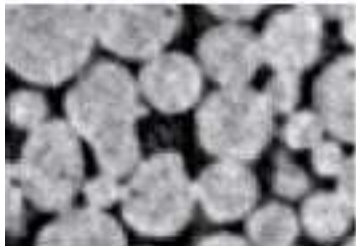
b)



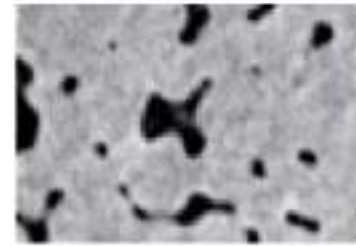
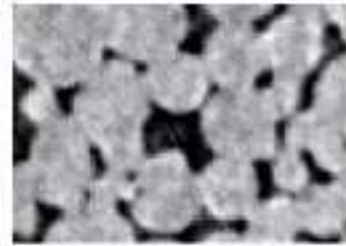
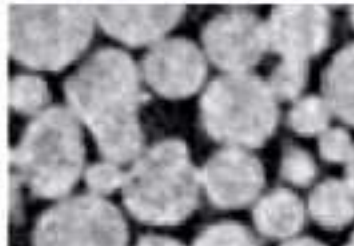
c)



d)

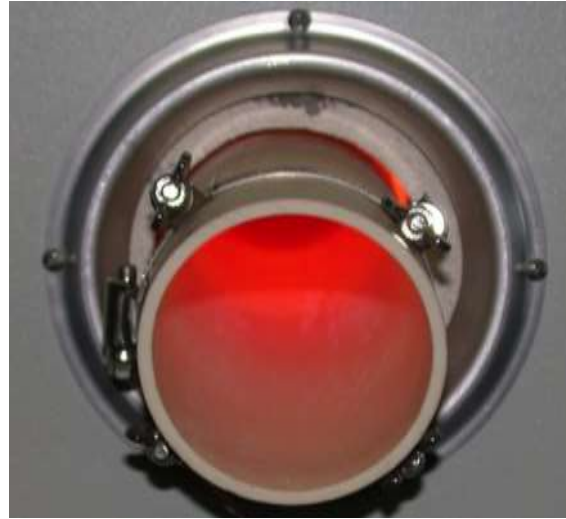
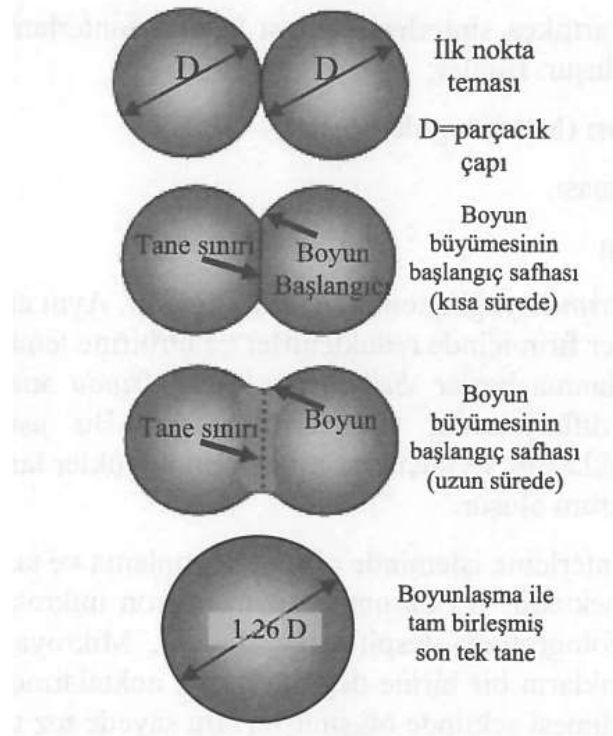


$100\ \mu\text{m}$

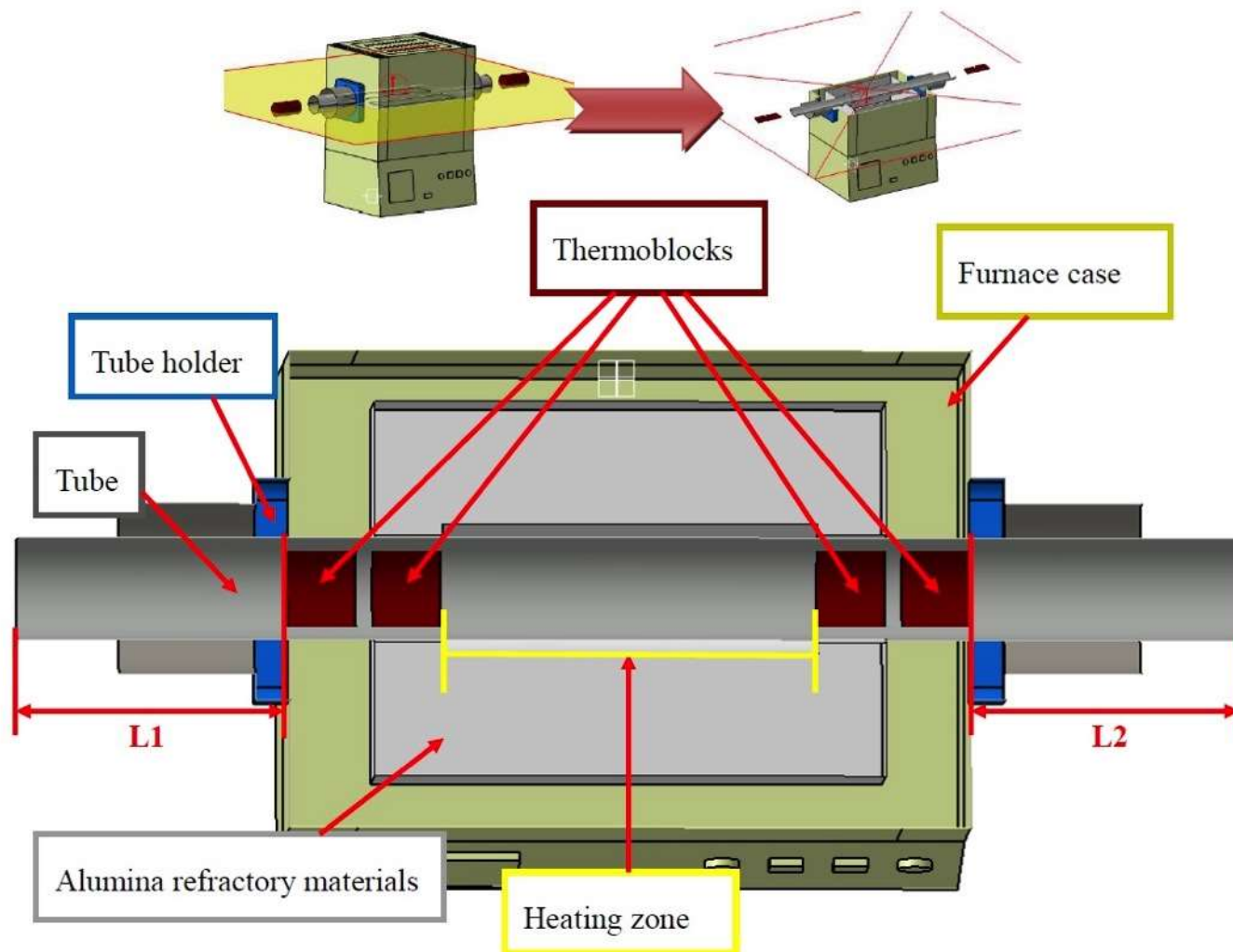


## Katı Faz Sinterleme

Sinterleme işlemi, farklı yöntemlerle sıkıştırılmış toz metal(T/M) parçalarına çalışma ortamındaki şartlara dayanabilecek özellikleri kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta uygulanıyorsa katı faz sinterleme olarak tanımlanabilir. Tekbileşenli (saf metalgibi) sistemlerde sinterleme sıcaklığı genellikle metalin ergime sıcaklığının  $2/3$  veya  $4/5$ 'i alınarak tespit edilirken, çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığı düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının hemen üzerinde, ergime sıcaklığı yüksek olan bileşenin ergime sıcaklığının ise altında seçilir.



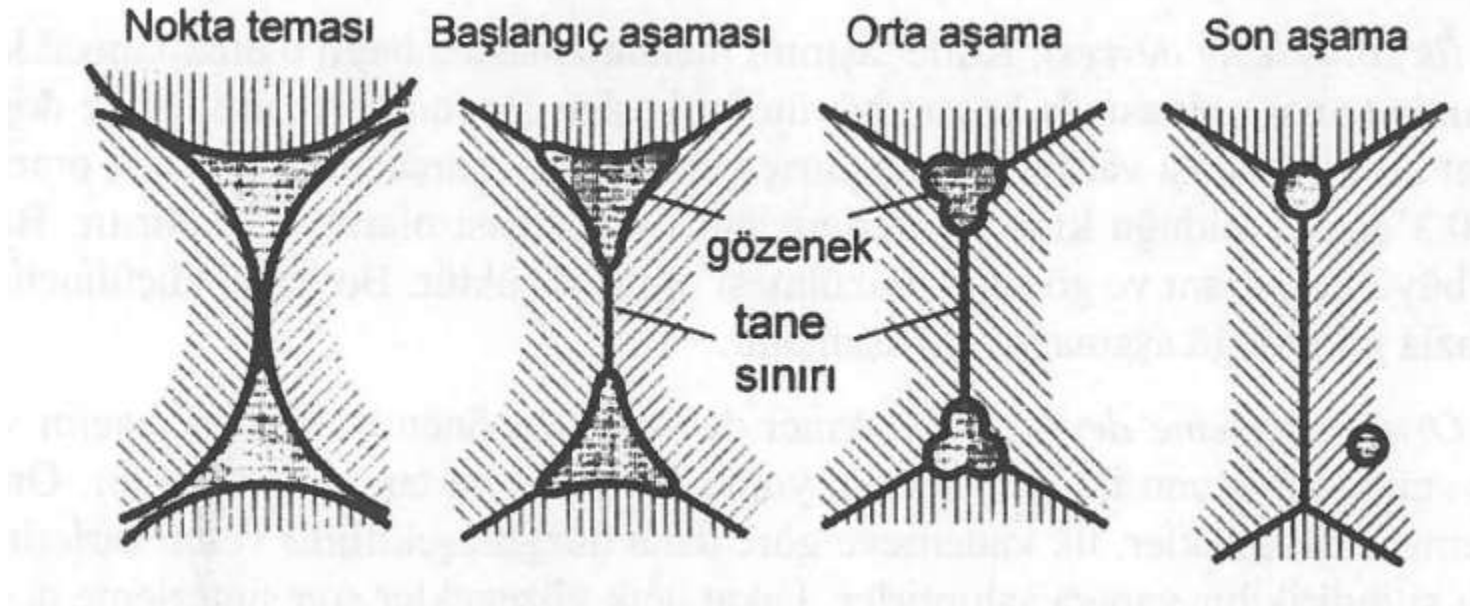
## Katı Faz Sinterleme



## Sıvı Faz Sinterlemesi

### Sinterleme Teorisi

- Sinterlemeyi başlatacak maddenin aktifliği ve yüzey özellikleri,
- Dispersiyon,
- Sıcaklık ve dağıtma hızı (taşıyım mekanizmaları),
- Isıtma sırasındaki malzeme üzerindeki basınç,
- Tane iriliği ve kristal anizotropisi,
- İlave taneler ve safsızlıklar.



### Sinterleme Atmosferi ve Etkisi

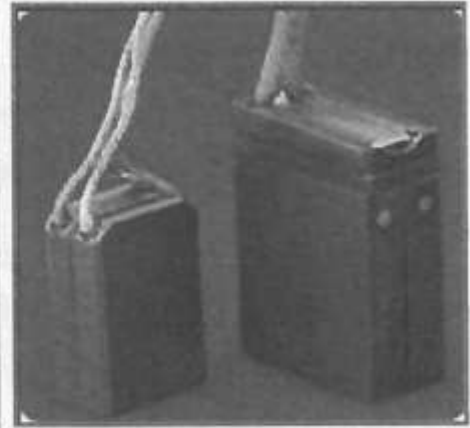
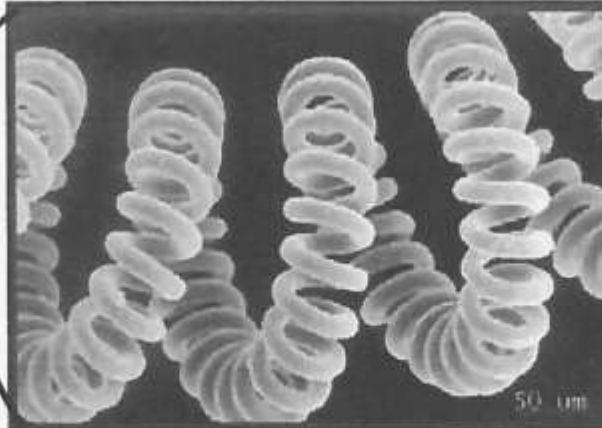
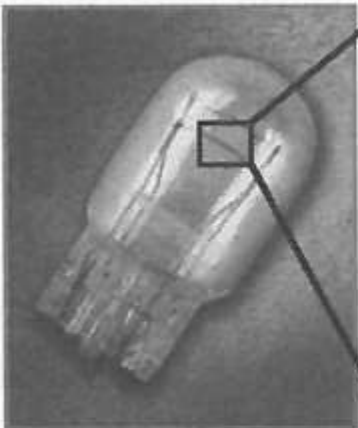
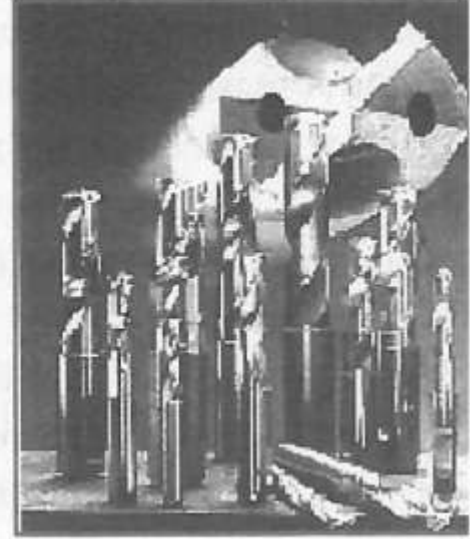
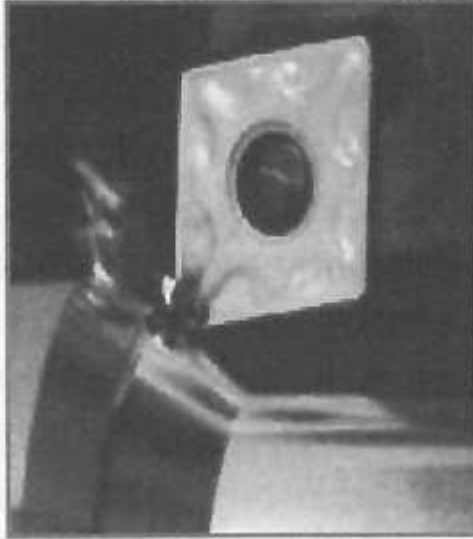
Sinterleme için gerekli atmosfer prensip olarak parçaların ve fırının oklenmesini önlemek, yüzey oksitlerini indirgemek, fırında buharlaşan yağlayıcı gazları dışarı atmak ve demir karbon alaşımlarında olduğu gibi blok parça bileşimini kontrol etmek için kullanılır. Genellikle, bu atmosferler endotermik gaz ve kırılmış amonyaktır. Bununla birlikte saf hidrojen ve egzotermik gaz da nadir olarak kullanılır. Ne yazık ki her malzemenin sinterlenmesinde kullanılabilecek ortak bir gaz yoktur. Atmosfer seçimi, sinterlenecek malzemeye göre yapılır. En iyi şartları sağlayacak atmosfer seçilirken ekonomiklik ve güvenlik gibi diğer faktörlerde hesaba katılır. Genellikle argon, azot, karbondioksit, hidrojen gibi gazlar koruyucu gazlar olarak kullanılmaktadır.

## Son İşlemler

Yukarıda belirtilen toz aşamalarından geçmiş olan ve yeni bir ürün haline gelmiş olan toz metal parçalar daha sonra isteğe bağlı olarak bir dizi lemden daha geçirilebilir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmaya çalışılmıştır. Bu işlemler; *tam yoğunlaştırma, talaşlı imalat, ısıtma işlemleri ve kaplama yüzey işlemleri*dir. Malzemelerin tekrar sinterlenmesi, basınç uygulanması işlemleri uygulanarak yoğunlukları geliştirilebilmektedir. Diğer yandan

metal parça üzerinden geleneksel veya modern talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak yüzey kalitesi, boyut hassasiyeti geliştirilebilir. Torna, frezleme, honlama, taşlama vb. bir çok talaşlı imalat yöntemi uygulanabilir. İşlem üretilmiş toz metal parçaların üretim esnasındaki gerginliklerin giderilmesi, işlenebilirliğin geliştirilmesi, yüzey sertleştirme veya homojenleştirme veya sertleştirme işlemleri için uygulanabilmektedir. Toz metal parçaların, korozyon direncini artırmak, görünüm kazandırmak veya isteğe bağlı tabaka kalınlığı oluşturmak için kaplama yapılabilir. Tüm bu işlemler toz metal parçaların kullanılmadan önceki yapılabilecek en son işlemler olup, bunlar dahada geliştirilebilir.

## Uygulama Alanları



(a)

(b)

(c)