

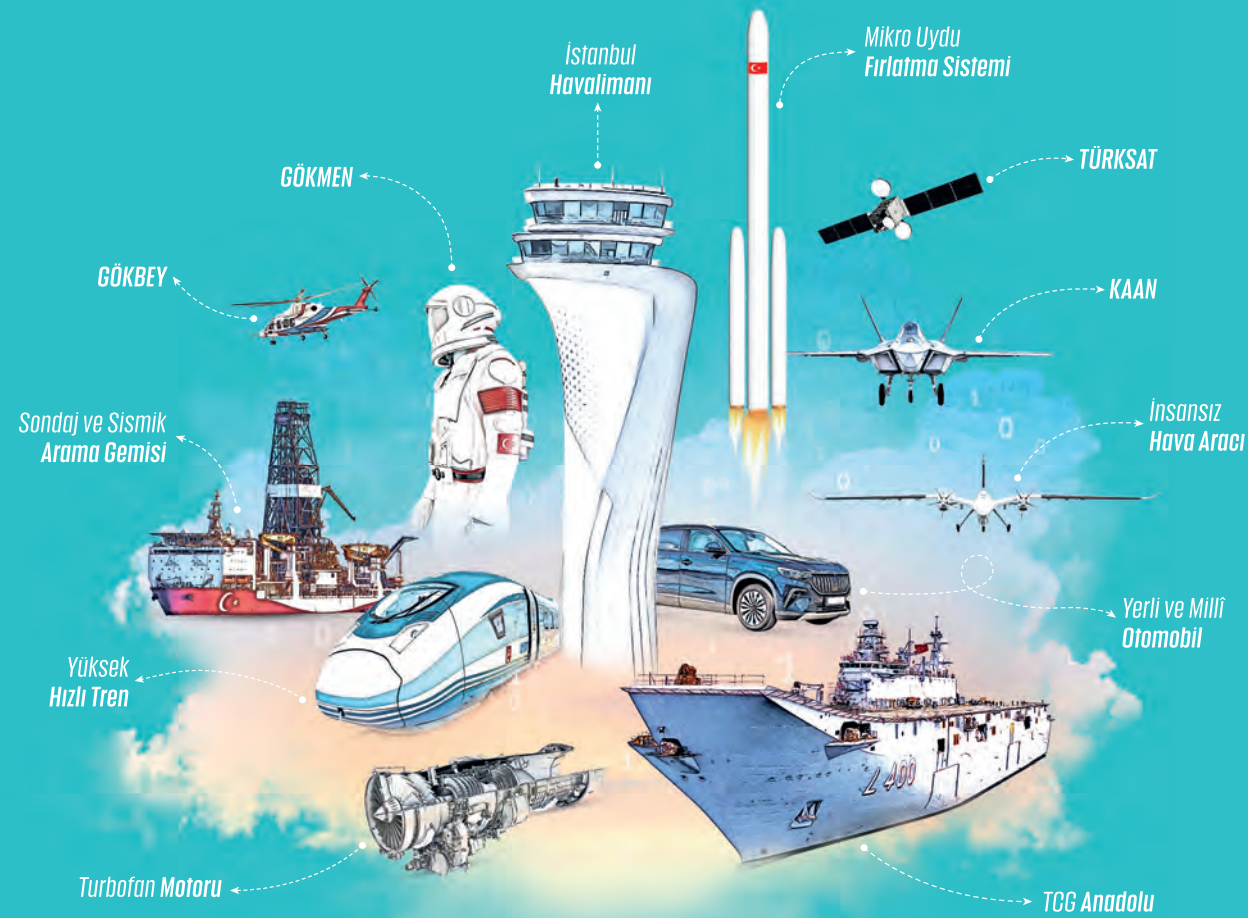
Bu kitaba sığmayan daha neler var!

eba
www.eba.gov.tr



Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!

Teknoloji Yolculuğumuz



**BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA
ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.**

ISBN: 978-975-11-8005-6

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşınması Zorunlu Değildir.

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

METALÜRJİ TEKNOLOJİSİ **ALANI**



**TOZ
METALÜRJİSİ**

11-12 DERS MATERYALİ



MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

METALÜRJİ TEKNOLOJİSİ ALANI

TOZ METALÜRJİSİ

11-12

DERS MATERYALİ

YAZAR

Ünal ERGEN



MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI - 9389
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ - 3049

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Ders materyalinin metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

DİL UZMANI	Mustafa Gürkan İNCİ
PROGRAM GELİŞTİRME UZMANI	Fulya ÖLKEN
REHBERLİK UZMANI	Feyza SÜNBÜL
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME UZMANI	Özlem ÇABUKEL
GÖRSEL TASARIM UZMANI	Ramazan UZUNBOY

ISBN: 978-975-11-8005-6

Millî Eğitim Bakanlığınının 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.

BASKI

Ayrıntı Basım Yayım ve Mat. Hiz. Sanayi Ticaret A.Ş.
Saray Mahallesi 126. Cadde No: 20
Kahramankazan/Ankara
Sertifika No: 49599



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'sım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

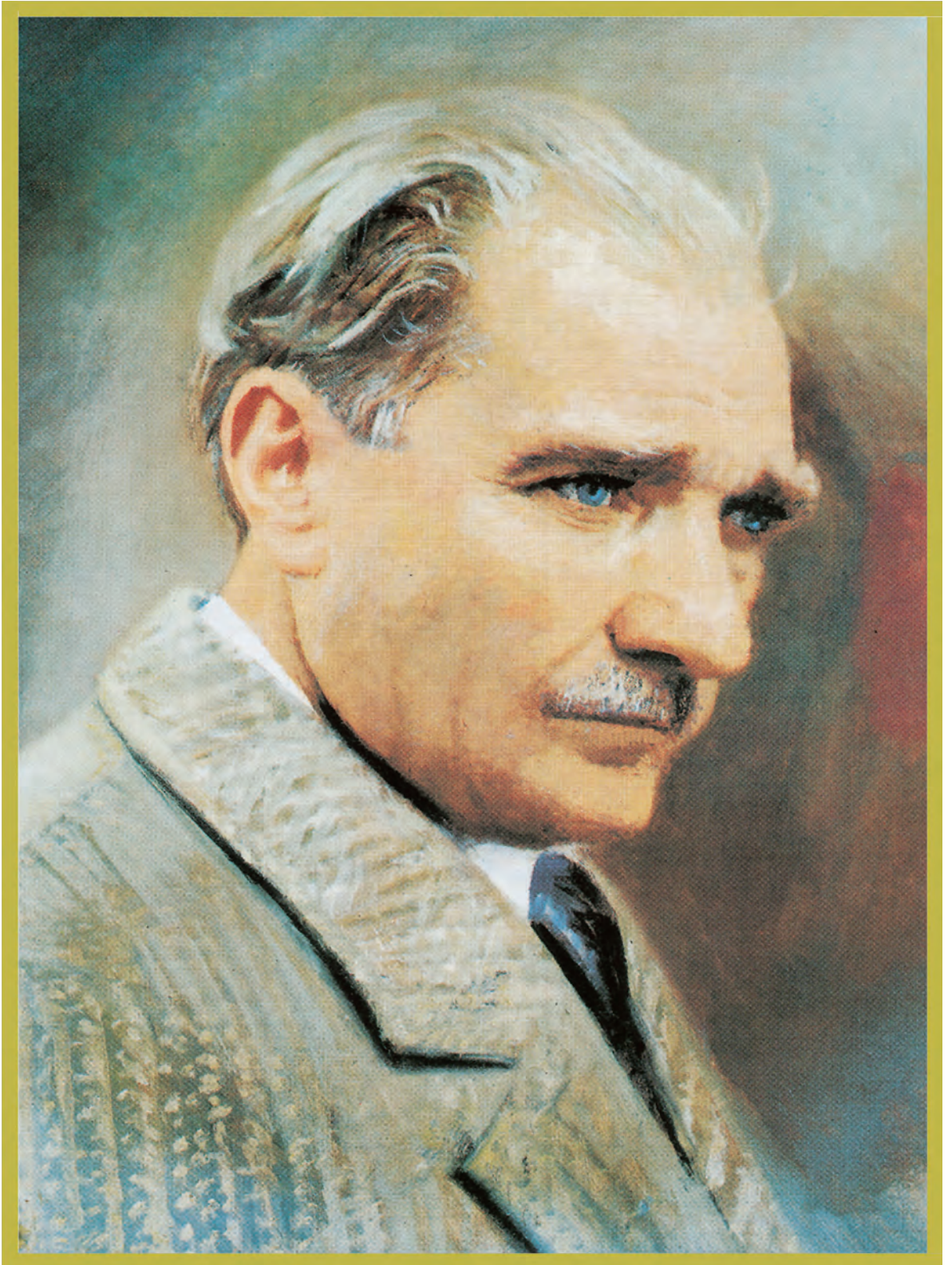
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsaît bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DERS MATERYALİNİN TANITIMI	10
ATÖLYE VE LABORATUVAR GENEL ÇALIŞMA TALİMATI	12
TOZ METALÜRJİSİ UYGULAMASINA İLİŞKİN AÇIKLAMALAR.....	13



1. ÖĞRENME BİRİMİ

TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

1.1. TOZ METALÜRJİSİNE GİRİŞ.....	16
1.2. TOZ KAREKTERİZASYONU.....	23
1.3. TOZ ÜRETİMİ.....	26
1.3.1. Mekanik Yöntem.....	26
1.3.2. Kimyasal Yöntem.....	27
1.3.3. Diğer Üretim Yöntemleri.....	28
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	36



2. ÖĞRENME BİRİMİ

KALIP MAKİNELERİ VE KALIPLARI

2.1. KALIPLAMA MAKİNELERİ.....	40
2.2. TOZ METALÜRJİ KALIPLARI.....	43
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	46



3. ÖĞRENME BİRİMİ

SİNERLEME VE ŞEKİLLENDİRME

3.1. SİNERLEME	50
3.2. KALIP İLE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	53
3.3. DİĞER ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	58
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	64



4. ÖĞRENME BİRİMİ

ÜRÜNÜN KONTROLÜ VE ÜRETİM HATALARI

4.1. ÜRETİM HATALARI.....	70
4.2. BİTİRME İŞLEMLERİ.....	72
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	76
CEVAP ANAHTARI.....	79
KAYNAKÇA	80

DERS MATERYALİNİN TANITIMI

Öğrenme biriminin numarasını gösterir.

Öğrenme biriminin adını gösterir.

Öğrenme biriminde yer alan konuları gösterir.

1 ÖĞRENME BİRİMİ

TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

KONULAR

- 1.1. TOZ METALÜRJİSİNE GİRİŞ
- 1.2. TOZ KAREKTERİZASYONU
- 1.3. TOZ ÜRETİMİ

Öğrenme biriminde neler öğrenileceğini gösterir.

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- 1. Toz metalürjisi tekniğinin tarihi gelişimi, avantaj ve dezavantajları
- 2. Toz karakterizasyon işlemlerinde toz numunesi alma, eleme, sedimentasyon ve parçacık boyutu yöntemleri ve toz şekillendirme

Öğrenme birimindeki temel kavramları gösterir.


TEMEL KAVRAMLAR

mikron, atomizasyon, toz, presleme, elektroliz, santrifüj, ergiyük, sinterleme, redükleme

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Okulda ve evde tozların zararlı etkilerinden korunmak için neler yapılabilir?
Sınıfta arkadaşlarınızla bilgi paylaşımı yapınız.

Öğrenme birimi karekodu



Sayfa numarasını gösterir.

15

Öğrenme biriminin adını gösterir.

Konu başlıklarını gösterir.

Konu sonlarındaki etkinlikleri gösterir.

TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

1.1. TOZ METALÜRJİSİNE GİRİŞ

Tarihteki toz metalürjisi ile üretilmiş ilk ürün olarak seramik kalınları kabul görmüştür. Seramik, topraktan kil esaslı sinterlenmiş gömlek anlamına gelmektedir. Metal tozlarından oluşan parçalara ise İnkalar dönemine ait mücevher kalınlırlarında rastlanmıştır. Metal tozlarının mücevher yapımında uygulandığı tespit edilmiştir. Misirliğin demir tozlarını kullanmaları ise milattan önce 3000'li yıllara kadar uzanmaktadır. Milattan sonra 375 ile 414 yılları arasında indirgenmiş demir tozlarından yapılmış Hindistan'daki 6,5 tonluk Delhi sütunu görülmeye değerdir (Görsel 1.1). 1800'ü yıllarda ise metal tozları kullanılarak platinden laboratuvar gereçleri yapıldığı görülmüştür. Aynı tarihlere madeni paraların, presleme ve sinterleme metodu ile bakır, gümüş ve kurşun tozlarından üretildiği araştırmalarla kanıtlanmıştır.

Toz kullanımı ile üretimin en önemli dönüm noktalarından biri, Edison'un, tungsten tozları kullanarak dayanıklı lamba filamanı çalışmalarıdır (Görsel 1.2). Bu teknolojiyi geliştiren fizikçi William David Coolidge, 1910 yılında tungsten maddesini filament olarak ampullerde kullanarak fabrikasyon olarak ampulleri üretmeyi ve kullanma sunmayı sağlamıştır. Devamında 1930'lu yıllarda sert metaller (WC-Co), gözenekli yataklar ve elektrik temas elemanları gelişimini sürdürmüştür. Günümüze kadar metal toz kullanım alan ve çeşitliliği artarak devam etmiştir. Silisyum karbür, renyum, titanyum diborür, zirkonyum, tantalum, berilyum oksit ve titanyum gibi tozlardan, üretilen zor olan çok sayıda malzeme üretimi yapılabilmektedir.

Endüstride yaygın olarak kullanılan alüminyum, silika, alümina, bakır, demir, paslanmaz çelik, bronz ve porselen malzemelerin tozlarından oluşan parça üretme çeşitliliği artarak devam etmektedir. Önceleri, toz esaslı parçalar sadece uzulük sebebi ile tercih edilirken günümüzde kalite, homojenlik, yapsal özelliklerdeki parçaların kolay üretilmesi toz metalürjisinin kullanım alanını çok genişletmiştir.



Görsel 1.1: Delhi sütunu



Görsel 1.2: Ampul

METALÜRJİ ALANI 16

TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

ETKİNLİK

A) Aşağıda verilen toz metalürjisi ile ilgili ifadeleri uygun olan seçenekte (X) işareti ile belirleyiniz.

Toz metalürjisi ile üretimin avantaj ve dezavantajları ile ilgili ifadeler	Avantaj	Dezavantaj
1. Üretim hızının yüksek olması		
2. Toz metalürjisi ile üretilen parça sayısının en az 10 000 adet olması		
3. Üretim sayısına göre maliyetlerin düşük olması		
4. Tozların kalıp içerisinde akışkanlıklarının sınırlı olması		
5. Düşük malzeme kaybı ile verimli üretim sunması		
6. Çok karmaşık ve iç içe geçmiş parça üretimi çeşitliliğinin az olması		
7. Karmaşık yapı ve özelliklerde olmasına rağmen çok kaliteli parçaların ekonomik üretiminin yapılabilmesi		
8. Üretim aşamasında iyileştirilemeyen mekanik özelliklerin sonradan düzeltilmesinin zor olması		

B) Aşağıdaki sorunun cevabını sorunun altındaki noktali alana yazınız.

1. Toz metalürji ile parça üretiminin nasıl yapıldığını açıklayınız. Üretim aşamalarını ana başlıklar halinde yazınız.

C) Aşağıdaki cümlede verilen boşluğa doğru ifadeyi yazınız.

1. Toz: Dünya Sağlık Örgütüne göre mikromondan küçük, bir süre havada asılı kalan ancak kendi ağırlığı ile çöken küçük katı partiküllere denir.

METALÜRJİ ALANI 22

Alan adını gösterir.

Öğrenme birimi sonundaki ölçme ve değerlendirme sorularını gösterir.

TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Çeşitli metal ve seramik tozların üretilmesi, bu tozların özelliklerine göre farklı iş ve mekanik işlemler uygulanarak birleştirildiğinde çok kullanışlı endüstriyel parçalara dönüştürülmesini sağlayan imalat sürecine ne ad verilir?

A) Endüstri
B) Makina sanayi
C) Metalürji
D) Sanayi
E) Toz metalürjisi

2. Çeşitli toz üretimi teknikleri kullanılarak aşağıdakilerden hangisiyle ilgili imalat ürünleri elde edilemez?

A) Alüminyum
B) Bakır
C) Çinko
D) Demir
E) Tungsten

3. Toz parçacıklar kaç mikromondan küçük olursa akçığere ulaşır?

A) 10 B) 20 C) 30 D) 40 E) 50

4. Katı hâledeki malzemeye öğütme işlemi uygulanarak yapılan, toz üretimi yönteminin adı nedir?

A) Atomizasyon
B) Elektroliz
C) Kimyasal
D) Mekanik
E) Sinterleme

5. Aşağıdakilerden hangisi toz metalürjisinin avantajlarından değildir?

A) Üretim hızının yüksek olması
B) Üretilen malzeme yüzeylerinin düzgün olması
C) Üretim sayısına göre maliyetlerin düşük olması
D) Düşük malzeme kaybı ile verimli üretim olması
E) Küçük malzemeye göre toz üretimi maliyetinin fazla olması

METALÜRJİ ALANI 18

*Bu ders materyalinde ölçü birimlerinin uluslararası kısaltmaları kullanılmıştır.

**METALÜRJİ TEKNOLOJİSİ ALANI
TOZ METALÜRJİSİ 11-12
DERS MATERYALİ**

ATÖLYE VE LABORATUVAR GENEL ÇALIŞMA TALİMATI

1. Çalıştığınız atölyenin makine, takım ve cihazlarını iyice tanıyınız.
2. Takım ve makineleri kullanım teknikleri dışında çalıştırmayınız.
3. Gereksiz davranış, gürültü ve uygun olmayan hareketlerden kaçınınız.
4. Bilgi sahibi olmadığınız işleri yapmayınız. Sorumlu kişilerden destek alınız.
5. Çalışan kişileri kesinlikle rahatsız etmeyiniz.
6. Çalışma ve dinlenme sürelerinizi çok iyi değerlendiriniz.
7. Değişik birimlerde çalışmanız gerektiğinde ilgililere bilgi veriniz.
8. Etrafınızdaki çalışan hareketli makinelerin yanından geçerken veya bunların yanında çalışırken dikkatli olunuz.
9. Bir araç gereci veya yaptığınız bir işi atölyede taşıırken dikkatli olunuz, etrafınızdakileri rahatsız etmeyiniz.
10. Atölye içinde yanıcı ve patlayıcı maddelerin yanından geçerken dikkatli olunuz. Bu maddeleri kullanarak yapacağınız iş ve işlemler sırasında gerekli güvenlik tedbirlerini alınız. Tehlikeli olabilecek eylemlerden kaçınınız.
11. Atölyedeki uyarı levhalarında belirtildiği şekilde davranınız.
12. Atölyedeki her eğitim, öğretim ve üretim çalışmasının temizlik ve düzenli bir kullanım gerektirdiğini unutmayınız.
13. Tereddüt ettiğiniz durumlarda hiçbir işlem yapmadan derhâl öğretmenlerinize bilgi veriniz.

TOZ METALÜRJİSİ UYGULAMASINA İLİŞKİN AÇIKLAMALAR

1. İş sağlığı ve güvenliği kurallarına uygun olarak çalışmalar yaptırılır.
2. Kişisel koruyucuları kullanma alışkanlığı kazandırılır.
3. Atölye ortamında uygulama faaliyetine ait bilgiler öğrencilere uygulama öncesinde anlatılır.
4. Yapılacak uygulama faaliyetine ait araç gereç, donanım ve koşullar sağlanır.
5. Öğrencilere, makine ve araç gereç kullanırken koruyucu ekipman kullanma alışkanlığı kazandırılır.
6. Ders öğretmeni çalışma öncesi en az bir örnek uygulama yapar.
7. Öğrencilerin uygulamaları kendi kendine yapmasına imkânlar dâhilinde fırsat verilir.
8. Uygulamaların özelliğine göre grup çalışması yaptırılır.
9. Uygulamalardaki kazanımların pekişmesi için birden fazla uygulama faaliyeti yaptırılır.
10. Öğrencilere, kullanılan araç gerecin işi bittikten sonra bunların temizlik ve bakımını düzenli olarak yapma alışkanlığı kazandırılır.

- » Uygulamalar için verilen süre yalnızca işin yapımı içindir.
- » Dönem içinde belirlenecek uygulama ve üretim işlerine öncelik verilebilir. Uygulama ve üretim diğer işlerin önünde ve farklı bir özelliğe sahip olacaktır.
- » Çalışma planı oluşturulurken atölye şartları göz önünde bulundurulur. Metalürji alanı zümre öğretmenler kurulunda alınan karara göre bu çalışma planında değişiklikler yapılabilir.



1

ÖĞRENME BİRİMİ

TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

KONULAR

- 1.1. TOZ METALÜRJİSİNE GİRİŞ
- 1.2. TOZ KAREKTERİZASYONU
- 1.3. TOZ ÜRETİMİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. Toz metalürjisi tekniğinin tarihi gelişimi, avantaj ve dezavantajları
2. Toz karakterizasyon işlemlerinde toz numunesi alma, eleme, sedimentasyon ve parçacık boyutu
3. Toz üretim yöntemleri ve toz şekillendirme



TEMEL KAVRAMLAR

atomizasyon, elektroliz, mikron, presleme, redükleme, santrifüj, sinterleme, toz



HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Okulda ve evde tozların zararlı etkilerinden korunmak için neler yapılabilir?
Sınıfta arkadaşlarınızla bilgi paylaşımı yapınız.



1.1. TOZ METALÜRJİSİNE GİRİŞ

Tarihte toz metalürji ile üretilmiş ilk ürün olarak seramik kalıntıları kabul görmüştür. Seramik, topraktan kil esaslı sinterlenmiş çömlek anlamına gelir. Metal tozlarından oluşan parçalara ise İnkalar dönemine ait mücevher kalıntılarında rastlanmıştır. Metal tozlarının mücevher yapımında uygulandığı tespit edilmiştir. Mısırlıların demir tozlarını kullanmaları ise milattan önce 3000'li yıllara kadar uzanmaktadır. Milattan sonra 375 ile 414 yılları arasında indirgenmiş demir tozlarından yapılmış Hindistan'daki 6,5 tonluk Delhi sütunu görülmeye değerdir (Görsel 1.1). 1800'lü yıllarda ise metal tozları kullanılarak platinden laboratuvar gereçleri yapıldığı görülmüştür. Aynı tarihlerde madeni paraların, presleme ve sinterleme metodu ile bakır, gümüş ve kurşun tozlarından üretildiği araştırmalarla kanıtlanmıştır.



Görsel 1.1: Delhi sütunu

Toz kullanımı ile üretimin en önemli dönüm noktalarından biri, Edison'un, tungsten tozları kullanarak dayanıklı lamba flamanı çalışmalarınıdır (Görsel 1.2). Bu teknolojiyi geliştiren fizikçi William David Coolidge (Vilyam Deyvid Kulic), 1910 yılında tungsten maddesini filament olarak ampullerde kullanıp fabrikasyon ampulleri üretmeyi ve kullanıma sunmayı sağlamıştır. Devamında 1930'lu yıllarda sert metaller (WC-Co), gözenekli yataklar ve elektrik temas elemanları gelişimini sürdürmüştür. Günümüze kadar metal toz kullanım alan ve çeşitliliği artarak devam etmiştir. Silisyum karbür, renyum, titanyum diborür, zirkonyum, tantalum, berilyum oksit ve titanyum gibi tozlardan, üretimi zor olan çok sayıda malzeme üretimi yapılabilmektedir.



Görsel 1.2: İlk ampul

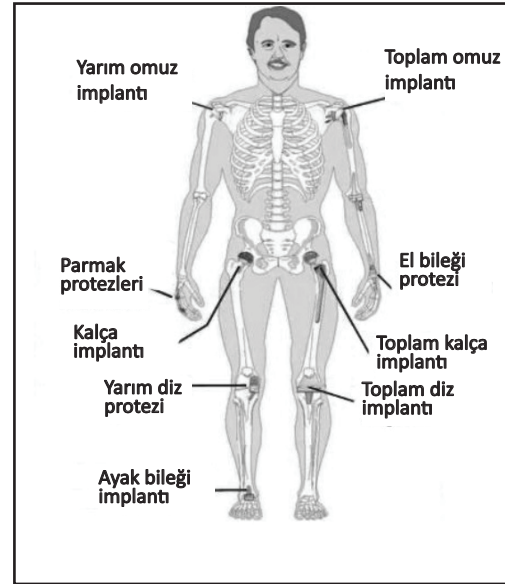
Endüstride yaygın olarak kullanılan alüminyum, silika, alümina, bakır, demir, paslanmaz çelik, bronz ve porselen malzemelerin tozlarından oluşan parça üretme çeşitliliği artarak devam etmektedir. Önceleri, toz esaslı parçalar sadece ucuzluk sebebi ile tercih edilirken günümüzde kalite, homojenlik, yapısal özelliklerdeki parçaların kolay üretilmesi toz metalürjisinin kullanım sahasını çok genişletmiştir.

Yeni toz bileşimleri sayesinde, jet motorlarından otomotive, uzay sanayi ürünlerinden biyomedikal protezlere kadar farklı alanlarda istenilen özelliklerde amaca uygun üretimlerle toz metalürji alanı gelişmeye devam etmektedir. Malzemelerin tozlarından oluşan parça üretme çeşitliliği artarak devam etmiştir. Toz metalürjisi ile üretilen parçalar Görsel 1.3' te verilmiştir.



Görsel 1.3: Toz metalürjisi ile üretilen parçalar

Biyomalzemeler, vücuttaki hasarlı kısımların onarılması ya da değiştirilmesi için eklem ve kemik protezleri gibi ortopedik uygulamalarda kullanılır. Yaygın olarak protez diş veya dolgu malzemesi gibi dental uygulamalarda kullanılmaktadır. İmplant uygulama operasyonları pahalı, zaman alıcı ve zor oldukları için uzun ömürlü ve en uygun nitelikte malzemeleri tercih etmek gerekir. Hayati önem taşıyan biyomalzemelerde hassas döküm ve toz metalürjisi yöntemiyle üretilen ürünler tercih edilmektedir (Görsel 1.4). Son geliştirmelere göre medikal, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde 3-B yazdırma baskı metodu kullanımının artarak %84 pazar payına ulaşacağı tahmin edilmektedir.



Görsel 1.4: Toz metalürjisi ile üretilen biyomalzemeler

Son yıllardaki gelişmelere bağlı olarak ASTM (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu) tarafından eklemeli imalat teknolojileri araştırma grubu eklemeli imalat yöntemleri, ASTM F42' ye göre sınıflandırılmış ve standart altına alınmıştır. Bu standarda göre temel eklemeli imalat yöntemlerinin sınıflandırılmasında dikkate alınan özellikler şunlardır:

1. Besleme malzemesinin formu (toz, tel, sac ve eriyik)
2. Besleme malzemesi (plastik, metal, seramik, kâğıt, mum, kompozit vs.)
3. Kullanılan ışının tipi (lazer, ultraviyole, elektron gibi)
4. Yapılan işlem (ergitmeli, sinterlemeli, yapıştırılmalı gibi)

Bu yöntemlerin altında da toplam on beş eklemeli imalat metodu kayıt altına alınmıştır. Toz metalürjisi günümüz üretim tercihlerinde AR-GE ve dizayn mühendisleri tarafından her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır.

Toz metalürjisi, çeşitli metal ve seramik tozların üretilmesini, bu tozların özelliklerine göre değişik ısıl ve mekanik işlemler uygulanarak birleştirilip çok kullanışlı endüstriyel parçalara dönüştürülmesini sağlayan imalat sürecidir (Görsel 1.5).



Görsel 1.5: Toz metalürjisi ile üretim

Bu üretim metoduyla toz üretme, istenilen tozların homojen bir şekilde karıştırılması, toz karışımının kalıp içerisinde sıkıştırılması ve toz tanelerinin birbirleriyle bağ oluşturmaları sağlanır. Devamında atmosfer kontrollü, belirli sıcaklık ve sürede sinterleme işleminin yapılması sağlanır. Daha sonra bitirme işlemleri ile parça üretimi tamamlanır.

İleri imalat yöntemlerinden olan toz metalürjisi, teknolojik malzemelerin üretilmesi için uygun bir metottur. Küçük parçaların çok fazla sayıda, aynı zamanda ekonomik olarak üretimini sağlayan bir yöntemdir. Toz metalürjisi ile üretilen parçalar son kullanım yerinde başka işlemler uygulamaya gerek kalmadan kullanılabilir. Gelişmelere bağlı olarak üretim süreçleri değişmektedir. Sinterleme, sıcak izostatik presleme, toz metal enjeksiyonu, nano-parçacık teknikleri ve mekanik alaşımlama gibi üretim süreçleri kullanılmaktadır. Çok karmaşık şekilli ürünlerin daha kolay bir şekilde elde edilmesinde uygulanan bir yöntemdir. Toz metalürjisi sürekli gelişen ve büyüyen bir pazara sahip olan ileri teknoloji alanlarından biridir.

Toz metalürjisi ile üretim metodunda toz üretimi ve karışımı önemli bir yer tutmaktadır. İyi bir toz karışımı elde etmek için karışım sırasında karışıma belli oranlarda yağlayıcı eklenir. Yağlayıcı eklenmesindeki temel hedef, kalıp içerisinde homojen karışımdaki tozları presleme işleminde, kalıp yüzeyleri ile toz taneciklerinin birbiri arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve parça ile yüzey arasında çok ince bir film tabakası oluşmasını sağlamaktır. Yağlayıcılar da genel olarak metal toz karışımındadır. Kullanılan yağlayıcı miktarı arttıkça kalıptan parçayı çıkarmak kolaylaşır. Fakat yağlayıcı miktarı arttıkça parça yüzeyindeki kabarcık oluşumu da artar ve yüzey kalitesi düşer.

Karışıma ilave edilen sıvı yağlayıcılar genellikle tozun akma kabiliyetini düşürür. Bu nedenle kuru toz yağlayıcılar tercih edilir. Yağlayıcı uygulamasında diğer bir seçenek de kalıp yüzeylerinin yağlanmasıdır. En çok kullanılan, yüksek sıcaklık koşullarında çok kararlı olan yağlayıcılar şunlardır: Stearik asit, çinko stereat, lityum stereat, kalsiyum stereat gibi metal stereatlar (dokunulduğunda beyaz ve ipeksi ince tozlar) ile sentetik mumlardır.

Yağlayıcı miktarı preslenecek parçanın şekline bağlı olarak %0,5 – 1,5 oranlarındadır. Genel olarak demir, çelik, alüminyum alaşımları, bakır, nikel, tungsten, molibden ve tungsten karbür gibi tozlardan gelişmiş imalat ürünleri ileri üretim teknikleriyle elde edilir. Çok sayıda üretimi düşünülen küçük parçalar bu metotla ekonomik ve kısa sürede elde edilir. Toz metalürji ile üretimin avantaj ve dezavantajları şunlardır:

Toz Metalürjisinin Avantajları

1. Üretim hızının yüksek olması
2. Üretilen malzeme yüzeylerinin düzgün olması
3. Üretim sayısına göre maliyetlerin düşük olması
4. Düşük malzeme kaybı ile verimli üretim sunması
5. Üretilen parçalar arası tolerans değerlerinin çok iyi olması
6. Girinti, çıkıntı ve karmaşık şekilli parçaların üretimine uygun olması
7. Yüksek sıklık ve yoğunluktaki metal ve alaşımların üretimine imkân vermesi
8. En az bir metal ve alaşımdan oluşan çeşitli malzeme üretiminin yapılabilmesi
9. Makro ve mikro yapı özellikleri çok iyi olan parçalar elde edilmesi
10. Yüksek ergime sıcaklığına sahip metal ve alaşımların üretimine uygun olması
11. Parçaların fiziksel özelliklerine etki ederek geçirgen büyük ya da küçük gözenekli parça üretimi yapılabilmesi
12. Karmaşık yapı ve özelliklerde olmasına rağmen çok kaliteli parçaların ekonomik üretiminin yapılabilmesi



Toz Metalürjisinin Dezavantajları

1. Yüksek kalıp maliyeti: Kalıpların yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve aşınmaya çok dayanıklı pahalı malzemelerden yapılması
2. Toz metalürjisi ile üretimin 10 000 adetten başlaması, az sayıda parça üretimi için ekonomik olmaması
3. Tozların kalıp içerisinde akışkanlıklarının sınırlı olması
4. Çok karmaşık ve iç içe geçmiş parça üretim çeşitliliğinin az olması
5. Külçe malzemeye göre tozların elde edilme maliyetlerinin daha fazla olması
6. Üretim aşamasından sonraki mekanik iyileştirmelerin zor olması



Toz metalürjisi tekniğinde farklı boyut, şekil ve özelliğe sahip metal tozları kullanılır (Görsel 1.6).



Görsel 1.6: Toz metalürjisi ile üretilen parçaların yapımında kullanılan tozlar

Üretimi yapılan parçalarda yüksek dayanıma sahip, sağlam, hassas özelliklerde parçalar elde edilir. Toz metalürjisi ile üretim işlemlerinde, şekillendirme veya presleme sonrasında parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması sağlanır. Bu üretim metodunda düşük enerji ve ham madde kullanımı ile yüksek verimlilikte üretim yapılır. İşlemlerin seri üretime uygun olması ve çevreye zarar vermemesi bu metotla üretim yapma tercihlerinde etkili olmuştur. Metal tozları kullanılarak otomotiv ve uzay sanayi başta olmak üzere savunma sanayi, medikal sektör, çeşitli tüketici ürünleri gibi geniş bir alanda üretim yapılmaktadır. Toz metalürji metoduyla üretimi yapılan ürün çeşitlerinden bazıları şunlardır; mıknaş, filtre, kesici takım uçları, kontaktörler, kendinden yağlamalı yataklar, ofis makineleri, ortopedik gereçler, elektrik kontakları, jet motor parçaları, uçak fren balatası, dişli çark, nükleer güç yakıt eleman parçaları, akü elemanları, tungsten lamba filamentleri, dişçilik malzemeleri örnek verilebilir. Metal toz boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, savunma sanayi parçaları, kaynak elektrotları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri üretiminde metal tozları önemli yer tutmaktadır. Tozlar genel olarak her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

İş Yeri Güvenliği ve Sağlığını Etkileyen Faktörler

Çalışma düzeni ve üretim metodu, çalışma sistem yapısı, çalışan-makine uyumu, çalışma süreleri, dinlenme süreleri, vardiyalı çalışma, çalışma hız ve kapasitesi, üretim artış hedefleridir. İş yerindeki gürültü, ısı, nem, havalandırma, toz ve vibrasyon durumunun iş kazalarının meydana gelmesi üzerinde büyük etkisi vardır.

Tozlar insan sağlığı açısından zararlı etkilere sahiptir. Nefes yoluyla alınan parçacığın vücutta biriktiği en önemli bölgelerden biri akciğerlerdir. 10 mikron üzeri parçacıklar akciğerlere ulaşmadan genizdeki mukoza tarafından yakalanır. 10 mikrondan daha küçük parçacıklar akciğerlerden girerek vücut içinde çözünebilir. Toksik malzemelere çok dikkat edilmesi gerekir. Toz hâldeki kurşun gibi malzemelere direkt temas etmemek için gerekli iş sağlığı ve güvenliği kurallarına kesin uyulmalıdır. Toz parçacıkları toksin olmasa bile solunum yollarını ve akciğerleri tahriş edeceğinden gerekli tedbirlere özen gösterilmelidir. İnsan hücrelerine kadar etki edebilen nano ölçekteki tozlar özellikle büyüme çağındaki insan akciğerlerinin görevini yerine getirememesine sebep olabilir. Kişisel koruyucu donanım: Çalışanı, yürütülen işten kaynaklanan, sağlık ve güvenliği etkileyen bir veya birden fazla riske karşı koruyan, çalışan tarafından giyilen, takılan veya tutulan, bu amaca uygun olarak tasarımı yapılmış tüm alet, araç, gereç ve cihazlar, (KKD Yönetmeliği, Madde 4) kullanılmalıdır (Görsel 1.7).



Görsel 1.7: Kişisel koruyucu donanım (KKD) (maske, gözlük ve baret)

Oksijen ve azotun bulunduğu çalışma ortamındaki tozların tehlikesi ise ısıl kararsızlık oluşturmalarıdır. Küçük parçacıklar, oda sıcaklığında cam kap içerisinde korunsalar bile bir sene içinde 3000 ile 4000 ppm miktarında oksijen alarak oksitlenir. Gerekli güvenlik önlemi alınmazsa küçük tozlar havada yanabilir, 2 MPa (20 atmosfer) yüksek yanma basınçlarına yol açan potansiyel patlayıcı özelliği gösterebilir. Daha da kötüsü bazı tozların 100 MPa/s basınçlara çıkabilmeleridir. Alüminyum, zirkonyum, tantalyum, toryum, titanyum ve magnezyum havada 20 ile 40 g/m³ miktarlarda bulunması durumunda ateş alır. Ateş almaya bir kıvılcım ya da sıcak bir yüzey de sebep olabilir. Üniteler içinde biriken tozlar da ani patlamalara neden olabilir. Toz metalürjisinde iş güvenliği ve sağlığı bakımından çok dikkat edilmesi gereken olmazsa olmaz unsur havalandırma sistemleridir.



ETKİNLİK

A) Aşağıda toz metalürjisi ile ilgili ifadeler verilmiştir. İfadelerin karşısındaki kutucuklarda ifadeye uygun seçeneği "X" işareti ile işaretleyiniz.

	Toz metalürjisi ile üretimin avantaj ve dezavantajları ile ilgili ifadeler	Avantaj	Dezavantaj
1.	Üretim hızının yüksek olması		
2.	Toz metalürjisi ile üretilen parça sayısının en az 10 000 adet olması		
3.	Üretim sayısına göre maliyetlerin düşük olması		
4.	Tozların kalıp içerisinde akışkanlıklarının sınırlı olması		
5.	Düşük malzeme kaybı ile verimli üretim sunması		
6.	Çok karmaşık ve iç içe geçmiş parça üretim çeşitliliğinin az olması		
7.	Karmaşık yapı ve özelliklerde olmasına rağmen çok kaliteli parçaların ekonomik üretiminin yapılabilmesi		
8.	Üretim aşamasında iyileştirilemeyen mekanik özelliklerin sonradan düzeltilmesinin zor olması		

B) Aşağıdaki sorunun cevabını sorunun altındaki noktalı alana yazınız.

1. Toz metalürji ile parça üretiminin nasıl yapıldığını açıklayınız. Üretim aşamalarını ana başlıklar hâlinde yazınız.

.....

.....

.....

.....

.....

C) Aşağıdaki cümlede verilen boşluğa doğru ifadeyi yazınız.

1. Toz: Dünya Sağlık Örgütüne göre mikrondan küçük, bir süre havada asılı kalan ancak kendi ağırlığı ile çöken küçük katı partiküllere denir.

1.2. TOZ KAREKTERİZASYONU

Toz karakterizasyonu toz numunesi alma, eleme, sedimentasyon ve parçacık boyutu gibi konuları içerir. Toz metalürjisi ile ileri seviyedeki endüstriyel parça üretiminde ilk aşamadan son aşamaya kadar tüm işlemler çok önemlidir.

İlk aşamada çeşitli şekil, boyut ve yoğunluktaki tozların alınması ve bunların homojen olarak karışmalarını sağlamak üretimin son aşaması kadar önemlidir. Devamında standart toz dağılımı için tozların çok iyi harmanlanması gerekir. Tozların sıkıştırma (pirketleme) işleminde önce homojen olması için etkin bir şekilde karıştırılması gerekir. Karıştırma ve harmanlamaya etki eden faktörler şunlardır; karıştırıcıdaki toz miktarı, karıştırma ve dönme hızı, karıştırma süresi, karıştırıcının boyutlarının yanı sıra kullanılan tozların fiziksel ve kimyasal özellikleri, ortamdaki nemlilik ve atmosferik koşullar.

Toz metalürjisi ile üretilen parçalar endüstrinin çok değişik alanlarında kullanıldığı için kullanılan tozların özelliklerinin dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekir. Hatta üretim tekniklerinin belirlenmesine bile kullanılacak toz özellikleri etki etmektedir. Toz özellikleri denildiğinde tozun tane büyüklüğü, şekli, yüzey alanı, iç yapısı, fiziksel ve kimyasal analizi gibi değişkenler akla gelmelidir. Bunun yanında tozun görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, akış hızı ve ham dayanım farklılıkları da dikkate alınmaktadır.

ASTM standartlarında toz numunenin nasıl alınacağı ve toz özellikleri belirtilmiştir. Numune miktarı çok az olacağından tüm tozu temsil etmesi için statik ve hareketli olmak üzere iki farklı şekilde numune alımı yapılır. Statik numune alma bir toz varilinin farklı birkaç noktasından numune alınarak yapılır. Hareketli numuneyse toz kütlesi hareket hâlindeyken alınmaktadır. Deneyler için 100 gr toz tercih edilmektedir.

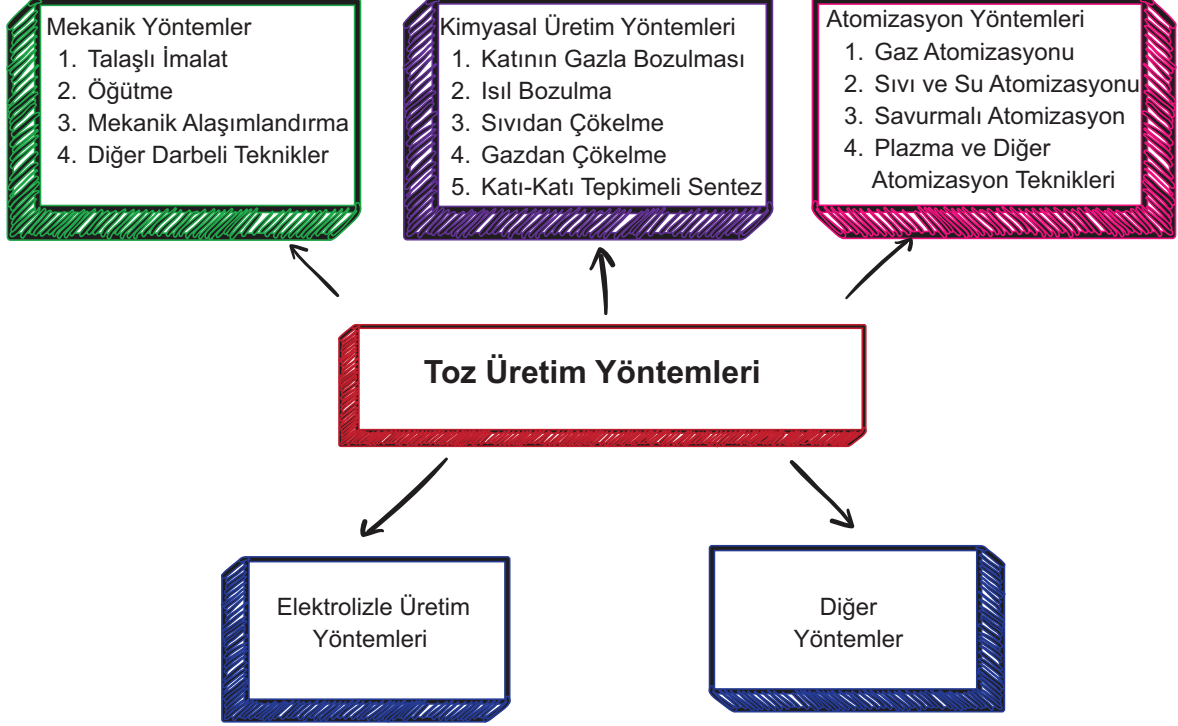
Toz şekli, tane boyutunu bulmada çok önemlidir (Görsel 1.8). Küresel şekilli tozlarda çapın bilinmesi yeterlidir. Pul şeklindeki tozlarda ise parçacıkların pul kalınlığı ve düzlem yönündeki boyutunun ölçülmesi gerekir.



Görsel 1.8: Toz tane şekilleri

1.3. TOZ ÜRETİMİ

Toz üretimi genel olarak mekanik yöntem, atomizasyon yöntemi, kimyasal yöntem ve elektrolit yöntem gibi tekniklerle yapılır (Görsel 1.9).



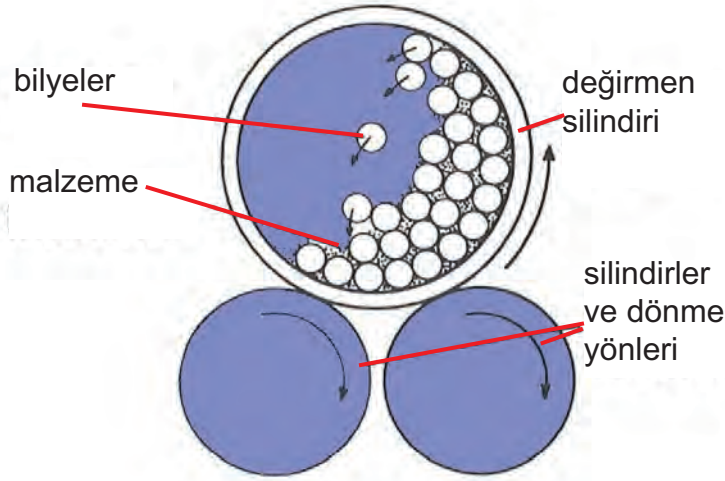
Görsel 1.9: Toz üretim yöntemleri

Endüstride kullanılan tozların %60'tan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir. Toz metalürjisiyle parça imalatı toz üretimi ile başlar. Parça imalatında çok farklı tekniklerle üretilen tozlar kullanılır. Tozların özellikleri, preslemeden sinterlemeye ve devamındaki son ürün çıkma aşamasına kadar etki etmektedir. Genel olarak dört toz üretim tekniğiyle metal tozların özelliklerine etki edildiğinden toz hazırlama yöntemi çok önemlidir. Genel olarak bilinen toz üretim teknikleri şunlardır:

1.3.1. Mekanik Yöntem

Bu yöntemde katı hâldeki malzemeye öğütme işlemi uygulanarak toz üretimi yapılır. Bu işlem için silindirik değirmenler kullanılır. Değirmen içerisinde aşınmaya dayanıklı sert büyük çaplı bilyeler vardır. Değirmen içerisine konan malzeme bilyeler dâhil değirmen hacminin yarısını geçmemelidir. Öğütme işleminde değirmenin dönmesi ile öğütülecek malzemenin daha sert olan bilyeler arasında sıkıştırılması, burulması, ovuşturulması kısaca darbe alması

sonucu malzeme parçalara ayrılır. Hareketin devamı sonucunda ise küçük toz tanecikleri oluşur (Görsel 1.10).



Görsel 1.10: Mekanik yöntem

1.3.2. Kimyasal Yöntem

Metal tozların kimyasal yöntemle elde edilmesi, metal oksitlerin bakır (Cu), demir (Fe), tungsten (W), nikel (Ni), molibden (Mo) ve kobalt (Co), karbonmonoksit (CO) veya hidrojen (H) gibi indirgeyici gazlarla kimyasal olarak indirgenmesi ile olur. Bu yöntemde bileşik ya da saf metal hâldeki tozların üretilmesi için çeşitli kimyasal reaksiyonlardan faydalanılır. Bu reaksiyonlar şunlardır:

a) Katının Gazla Bozulması

Metal tozlarının üretilmesinin en klasik yöntemlerinden biridir. Genel olarak oksitlerin ısıtılmış hidrojen ile bozulmasından faydalanılır [Magnezyum oksit (MgO) (katı hâli) + Hidrojen (H) (gaz hâli) → Mg (katı) + H₂O (gaz hâli)]. Diğer bir uygulama şeklinde saflaştırılmış bir oksitle grafit veya kireç taşı (CaCO₃) gibi bir indirgeyici karıştırılır ve sisteme ısı verilir. Buradaki reaksiyonda çıkan karbon monoksit (CO) gazının etkisiyle oksit indirgenerek metal tozları üretilir.

b) Isıl Bozulma

Buhar bozulması ve yoğuşurma süreçleri bir arada kullanılarak toz parçacıkları üretilir. Yöntem bir metalin karbon monoksit (CO) ile tepkimeye girmesi ile başlar ve sıcaklık, basınç eş zamanlı uygulanarak devam eder. Elde edilen bileşiğin soğutulmasıyla yoğuşması sağlanır. Son olarak saflaştırma uygulanır. Bu yöntemde yüksek enerjiye ihtiyaç duyulması kullanım alanını oldukça azaltmaktadır.

c) Sıvıdan Çökeltme

Nitrat (NO_3^-), klorür (Cl^-) ya da sülfat (SO_4^{2-}) benzeri çözülmüş bileşikler kimyasal işleme tabi tutularak çökertilmiş parçacıklar elde edilir.

ç) Gazdan Çökeltme

Vanadyum, niyobyum, zirkonyum, titanium, bakır vb. metallerin klorürleri, florürleri ya da oksitleri bu yöntem için tercih edilir.

d) Katı-Katı Tepkimeli Sentez

Nikel (Ni) ve alüminyumun (Al) eş sayıda atom bulunduran Nikel Alüminidler (NiAl) ele alındığında Ni 1453 °C'de, Al 660 °C'de ergirken NiAl alaşımı yaklaşık olarak 1650 °C'de ergir. Tepkime sırasında ortaya çıkan ısı kontrol edilmezse bileşenler yüksek ısılara çıkarak gevşek bir yapı oluşturur. Sıcaklık azar azar artırılarak ilerleyen bir tepkime dalgası başlatılır. Üretilen parçacıklar genellikle küreseldir. Yöntem özellikle seramiklerin üretilmesinde tercih edilir. Bu yöntem uygulamalarından biri de sünger demir tozudur. Kok, magnetit (Fe_3O_4) ve kireç taşıyla karıştırılıp seramik kaplara alınır.

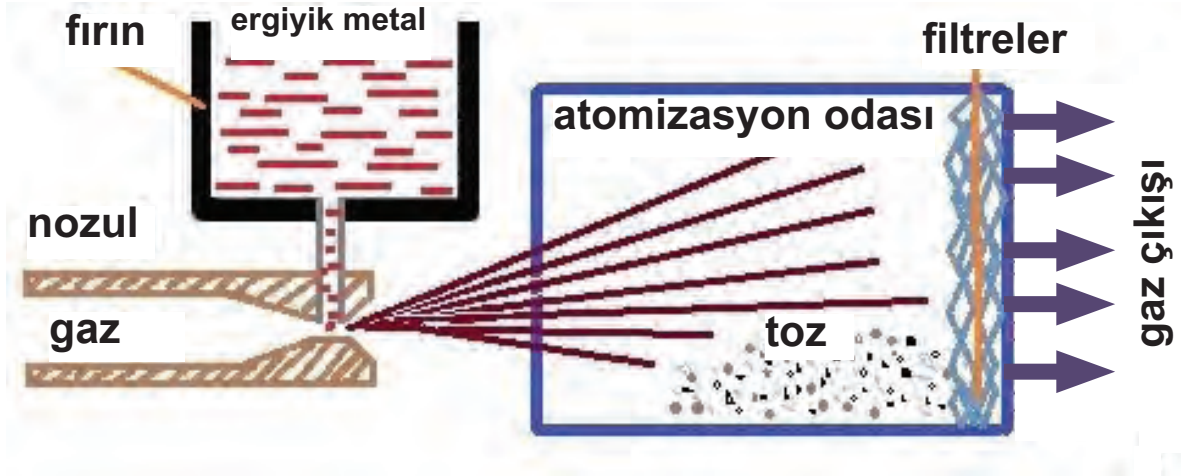
Karışım 1260 °C sıcaklıkta ve 68 saat süresince seramik kap içerisinde fırınlarda bekletilir. İndirgenmenin tamamlanmasıyla sünger demir elde edilir. Bu sünger demir külçeleri öğütülerek istenilen tane boyutunda toz hâline getirilir. Sünger demir tozu, H_2 gazı altında 870 °C'de tavlansın oksijen (O) ve karbondan (C) uzaklaştırılıp, elekten geçirilerek toz son hâline alır. Bu yöntemde 5–10 µm ila 100–500 µm boyutlarında değişik geometrik şekillere sahip tozlar üretilmektedir. Kimyasal toz üretim metodunda katı, sıvı ya da buhar fazı tepkimeleleriyle toz üretimi yapılmaktadır.

1.3.3. Diğer Üretim Teknikleri

Genel toz üretim yöntemleri teknolojidaki yeni gelişmelerle birlikte çeşitlenmiştir. Bu yöntemler şunlardır:

1.3.3.1. Atomizasyon Yöntemi

Atomizasyon yöntemi ile toz üretiminde ergimiş metale yüksek enerjili gaz ve sıvı çarptırılarak toz elde edilmektedir. Pota içerisinde metal ergitilir. Pota içerisindeki ergimiş metal potanın altındaki küçük bir delikten kontrollü olarak sızdırılır. Bir nozulden püskürtülen gaz ya da sızdırılan sıvı, metale püskürtülür. Bu püskürtme ile sıvının metal ile çarpışması sonucu küçük damlacıklar oluşur. Bu damlacıkların birbiri ile çarpışmadan veya bir yüzeye çarptırılmadan hızlıca soğutulmasıyla toz üretimi yapılmış olur.



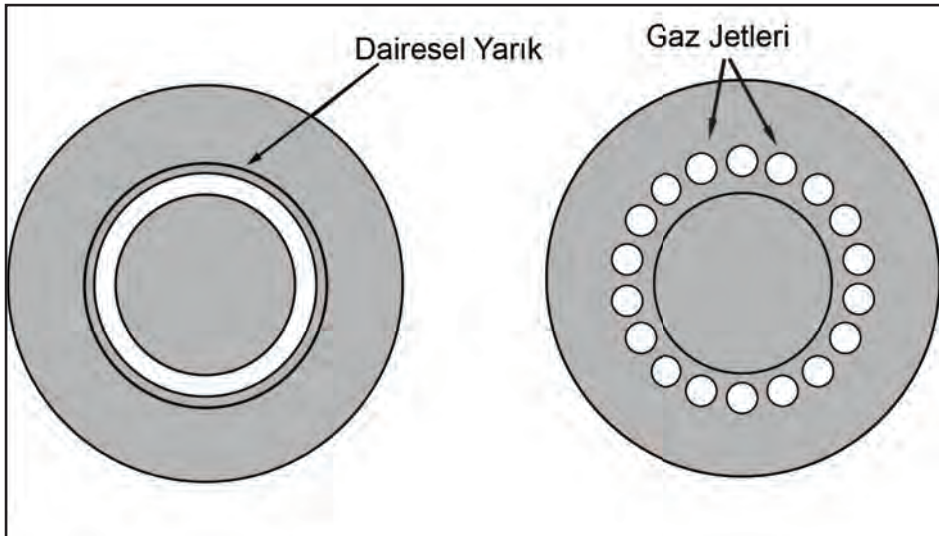
Görsel 1.11: Atomizasyon yöntemi

Nozul, gaz jetlerinin akışını kontrol ederek istenen özelliklerde tozun üretilmesini sağlayan geometrik yapıdır. Görsel 1.11'deki atomizasyon ünitesinde görülen nozul, gaz jetlerini sıvı metal ile temas ettirip sıvı metalin parçacıklara ayrılmasını sağlar. Bir başka deyişle nozul tipi, tozların boyutunu ve şeklini önemli derecede etkiler.

Nozullar sahip oldukları gaz çıkış geometrilere göre ikiye ayrılır (Görsel 1.12).

- Jet etkili
- Dairesel yarıklı

Nozul parçası, gaz iletim sisteminde, yüksek hızlı gaz jeti ve sıvı metal arasındaki etkileşimi sağlayan önemli bir parçadır. Atomizasyon işleminde nozul geometrisi oldukça önemli bir yere sahiptir.

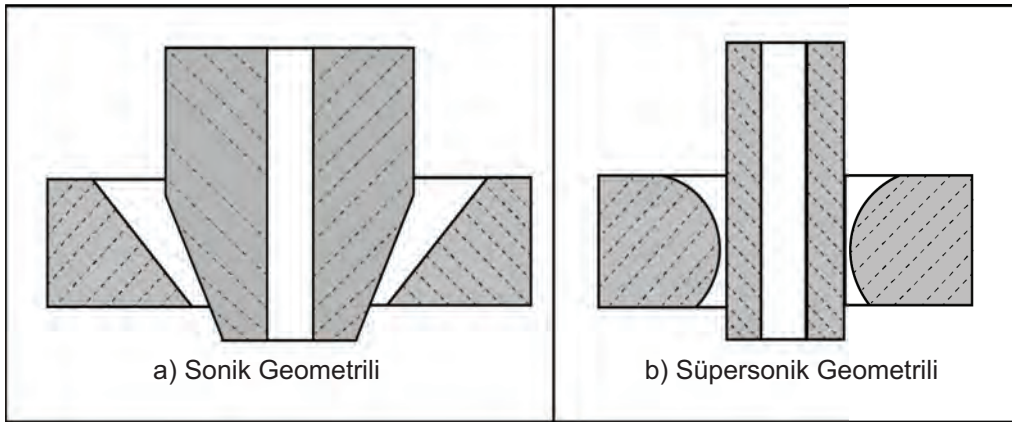


Görsel 1.12: Nozul çeşitleri

Nozul, toz üretim ünitesine monte edildikten sonra geometrisinde herhangi bir değişiklik oluşmadığı için atomizasyon ünitesinin sabit parçalarından bir tanesidir. Bu yüzden atomizasyon işlemi gaz basıncı, gaz tipi, sıvı metal akış oranı, akış borusunun çıkıntı mesafesi ve sıvı metalin aşırı ısıtılması gibi işlemlerle ayarlamalar yapılabilir. Buna rağmen bazı parametrelerdeki değişim oldukça sınırlıdır. Örneğin helyum ve argon asal gazlar olup pahalıdır. Nötr atmosfer oluştururlar. Helyum gaz kullanımı ortalama toz boyutunu düşürmesine rağmen azot gazı ekonomik olduğu için tercih edilir.

Nozul tipleri ile ilgili bilgilerin bilimsel bir sır olarak saklanması dolayısıyla nozul tipleri genel olarak sınıflandırılmamaktadır. Az sayıda yayınlanmış bilgilere göre nozullar geometrilerine göre ikiye ayrılır (Görsel 1.13).

- a) Sonik nozullar (daralan geometrili)
- b) Süpersonik nozullar (daralan-ge genişleyen geometrili)



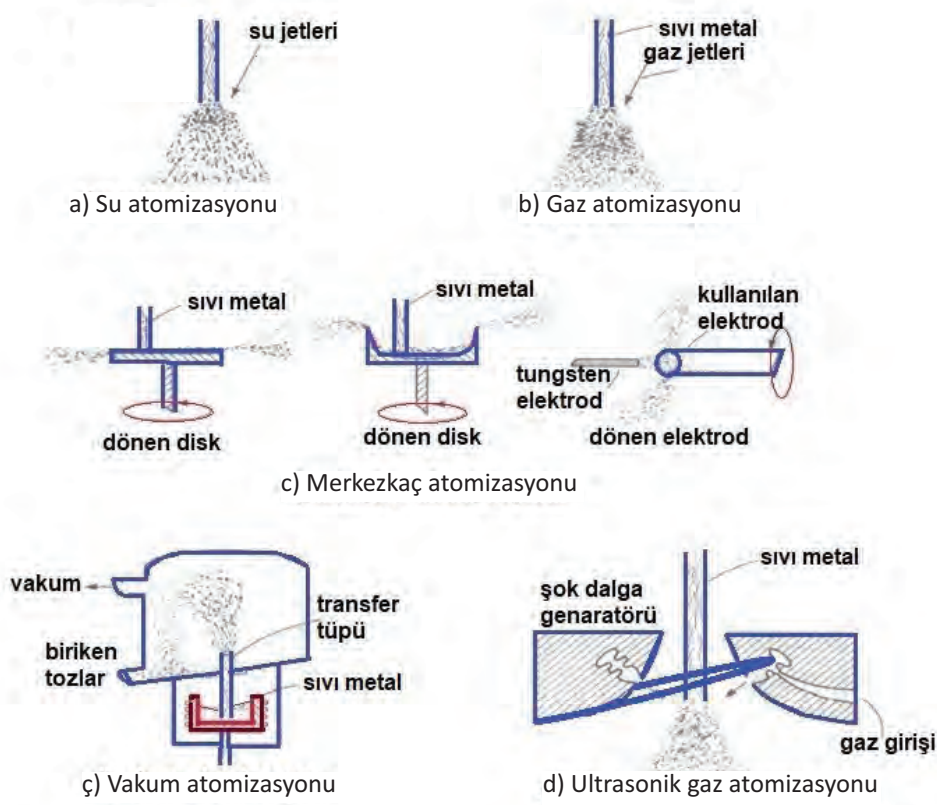
Görsel 1.13: Geometrilerine göre nozul çeşitleri

Nozul performans incelemelerinde, nozula gazın gönderilmesi sonucu oluşan gaz akış bölgelerine bakılır. Nozul tasarımında atomizasyon işleminde yüksek verimle çalışması en çok dikkate alınan ölçüttür.

Püskürtülen sıvı olarak en çok su kullanılır. Su atomizasyon yönteminde, ergiyik metal üzerine su jeti uygulaması yapılır ve toz malzeme üretilir. Suyun soğutma hızı gaza göre yüksektir. Bu durum toz malzemede kimyasal ayrışmanın daha az, tozların şeklinin daha düzensiz, toz yüzeyinin ise daha kaba ve oksitli olmasına sebep olmaktadır. Gaz olarak tozun homojen ve küresel geometriye sahip olması bu yöntemin sağladığı üstünlüklerdir. Nozulden püskürtülen sıvı ya da gazın püskürtme basıncı, hacmi ile pota altından; su buharı, hava, hidrojen, azot (N) ve argon (Ar) gazı yaygın olarak kullanılmaktadır. Akıtılan sıvı metalin akış çapına göre değişik ortalama boyuta sahip tozlar elde edilir. Katılaşma hızı ise toz tane şeklinin oluşumuna etki eder. Taneciklerin küresel olması isteniyorsa katılaşma hızı yavaşlatılır.

Karmaşık şekiller elde edilmek isteniyorsa katılaşma hızı artırılır.

Görsel 1.14' te atomizasyon işlemlerindeki yöntemler görülmektedir. Bunlar gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, merkezkaç (santrifüj) atomizasyonu, döner elektrot atomizasyonu, vakum atomizasyonu ve ultrasonik gaz atomizasyonudur.



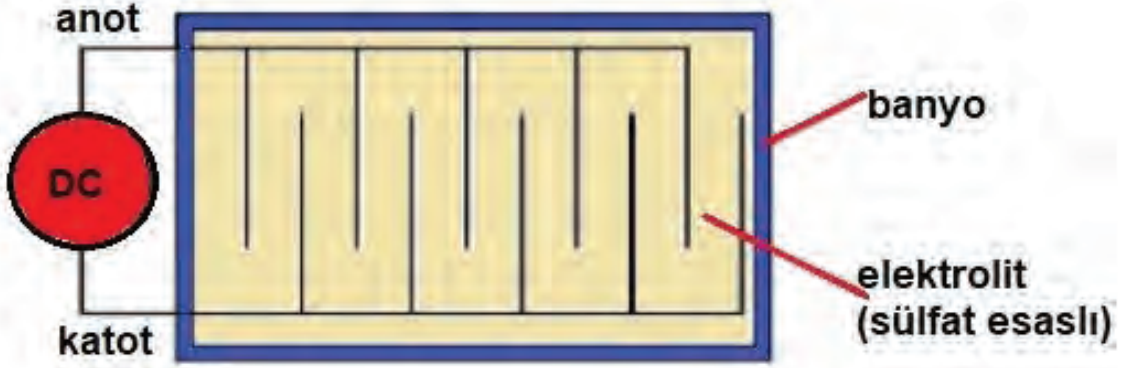
Görsel 1.14: Şematik atomizasyon süreçleri

Bu yöntemde ergimiş metal alaşıma yakın, hemen hemen aynı kimyasal bileşime sahip toz üretimi yapılabilir. Kolay oksitlenen metal atomizasyonunda argon gibi asal gazlar kullanılır. Endüstride demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, alüminyum, kalay, kurşun, çinko ve kadmiyum tozlarının üretilmesinde atomizasyon yöntemi yaygın olarak kullanılır.

1.3.3.2. Elektrolit Yöntemi

Elektroliz ile üretim tekniği, bir elektroliz hücresinin katodu üzerinde belirli koşullarda element tozlarının çöktürülmesidir. Elektrolitin kimyasal bileşimi ve mukavemeti, sıcaklık, akım yoğunluğu seçilerek birçok metalin sünger veya toz durumunda katot üzerinde biriktirilmesi işlemidir. Devamında ise yıkama, kurutma, indigeme, tavlama ve öğütme yöntemleri kullanım durumuna göre uygulanabilir. Bu metotla üretilen metallere en önemlisi bakırdır. Krom ve magnezyum da bu yöntemle üretilen metallere dendir.

Bu yöntemle %94'e varan saflıkta demir, bakır, mangan, çinko ve gümüş tozları elde edilebilir. Yöntemin en önemli üstünlüğü endüstride çok iyi kabul edilen bu saflıkta toz üretimidir. Bu yöntemle genelde süngerimsi biçimde tozlar elde edilir. Olumsuz yönü ise üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Elektrolizle toz üretimi, sisteme verilen belirli bir voltajla elektrolit sıvı içerisindeki anot katot çözünmesiyle başlar. Elektrolit, sülfat esaslı sıvı içerisindeki katot üzerinde oluşan saf toz birikintinin saflaştırılmasında kullanılır. Katot üzerindeki birikinti sıyrılır, yıkanır, kurutulur ve öğütülerek toz hâline getirilir (Görsel 1.15). Son aşamada gerilimleri azaltmak ve uçucu maddeleri gidermek için tavlama yapılır.



Görsel 1.15: Elektrolit yöntemi

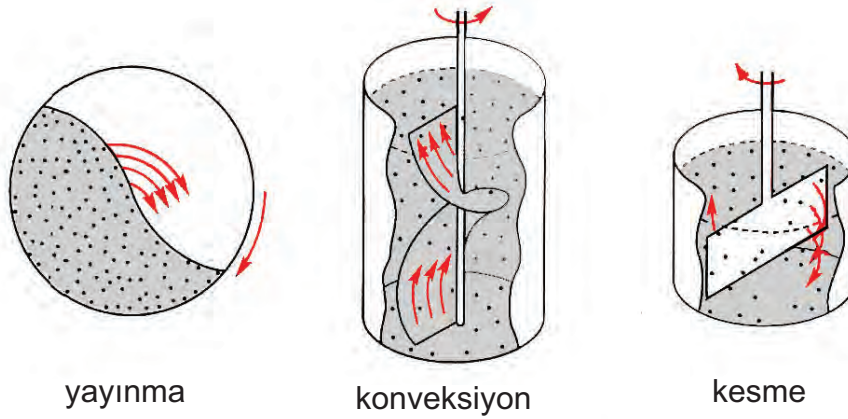
1.3.3.3. Toz Karıştırma ve Harmanlama Yöntemi

Toz karıştırma ve harmanlama işlemlerinde amaç sinterleme sırasında yeni alaşım oluşması için tozların birleştirilmesidir. Sıkıştırma işlemi için yağlayıcıların eklenmesi yine şekillendirme için toz-bağlayıcı karışımının hazırlanması gereklidir. Genel olarak tozların taşınması sırasında titreşim nedeniyle oluşan ayrışmayı engellemek tozların harmanlanmasındaki ana sebeptir.

Tozların parçacık boyutundaki bu ayrışması parçacıkların boyutunu, yoğunluğunu ve şekil farklılıklarını oluşturur. Bunlardan boyut farkından gelen ayrışma en belirginidir. Boyut ayrışması yoğunluk değişimine neden olduğundan görünür yoğunluğun azalmasına sebep olur. Bu da sıkıştırma ve sinterleme işlemlerinde istenmeyen düzensizlikler oluşturur. Tozların parçacık boyutu 100 mikron ve altında ise parçacıklar arası sürtünme çok fazla olur. Buna bağlı olarak da boyuta bağlı ayrışma çok daha az olur. Taşımaya bağlı boyut ayrışmasının engellenmesi için harmanlama işlemi kullanılır.

Kuru Toz Karıştırma: Yayınma ile karışım dönen silindir içerisinde, konveksiyon ile karışım vidalı karıştırıcıda ve kesme ile karışım ise bıçaklı karıştırıcıda yapılmaktadır. Yayınma ile karışım her parçacığın toz kütle içerisinde hareketi ile oluşur. Toz yatak düzlemi dış kenarda kırılarak yüzeyden akışın gerçekleşmesini sağlar.

Sürekli dönen silindir taze tozları ve kesme düzlemlerini ortaya çıkarır. Bu durum parçacıkların birbiri içerisinde karışmalarını sağlar (Görsel 1.16).



Görsel 1.16: Kuru toz karıştırma yöntemleri

Toz metalürji ile parça üretiminde toz harmanlama veya karıştırma işlemleri sırasındaki oluşabilecek sıkıntıları en aza indirmek için kullanılan malzeme, parçacık boyutları, karıştırıcı tipi, karıştırıcı boyutu, karıştırıcı içerisindeki tozun göreceli hacmi, karıştırma hızı, kesme ve karıştırma zamanı her zaman göz önünde tutulmalıdır. Taşıma sırasında tozların yeniden harmanlanması, kuru tozun titreştirilmemesi, boyut ayrışması varsa kuru tozun serbest düşüşle beslenmemesi ve toz-bağlayıcı karışımı için gereksiz kesmenin giderilmesi birçok sorunun oluşmasını engelleyerek seri, kaliteli bir üretim sağlayacaktır.

Karışımın her yerinde parçacık ve bağlayıcı miktarları aynı olmalıdır. Toz-bağlayıcı hazırlamanın ilk aşaması sıvı bağlayıcılarla karıştırma işlemidir. Parçacıkların bir araya getirilmesi için yeterli miktarda bağlayıcı ilavesi yapılır. Karışımın sebep olduğu kusurlar sonradan yapılacak işlemlerle düzeltilemez.

Karışım içerisindeki düzensizlikler iki ana şekilde oluşur. Bu şekillerden biri bağlayıcının tozdan ayrışması, diğeri bağlayıcı içerisindeki farklı boyutlarda tozların birbirinden ayrışmasıdır. Küçük ya da düzensiz şekilli parçacıklardan homojen yapı elde etmek için daha uzun karıştırma sürelerine ihtiyaç vardır. Karıştırma sırasında küçük parçacıklar topaklaşarak homojen karışım zamanının uzamasına neden olabilir. Bazı durumlarda topaklanma hızı dağılımın karışım hızını dengeler ve karışım süresi ne olursa olsun karışım homojen olmaz. Karıştırma esnasında homojen yapının oluşmaması sonraki aşamalarda zorluklara neden olur. Karışımın her bir bölümü aynı toz miktarına sahip olmalı ve tozun parçacık boyut dağılımı da her bir bölümde aynı olmalıdır. Karışımın homojenliği, belirli noktalardan alınan yoğunluk, ısı kapasitesi, elektrik iletkenliği, viskozite ve hatta renk testleri kullanılarak bileşim farklılıklarının ölçümü ile belirlenir. Karışımın kalitesi sık sık alınan numunelerin karşılaştırılması ile izlenir.

Üç farklı düzeyde homojenlik vardır. Bunlar büyük ölçekli ayrışarak tabakalanmış yapılar, kısmi homojenlik içeren topaklanmış yapılar ve iyi dağılmış ideal homojen yapılardır.

1.3.3.4. Bağlayıcılar

Bağlayıcılar etkili yapıştırıcılardır. Polimer katkıları, toz özelliklerini değiştirmek için katkı maddeleri içinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Isıl ergimede kolay ayrışmaları ve ucuzluklarından dolayı basit mum benzeri polimerler tercih edilir. Bağlayıcıların tozlara iyi yapışma ve şekillenmiş parçalarda da iyi dayanım sağlaması istenir. Enjeksiyon kalıplama, şerit ve slip döküm gibi soğuk izostatik presleme ve kalıpta sıkışma işlemlerinde kullanılan bazı bağlayıcı formülleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1: Toz Metalürjisi Teknolojisinde Kullanılan Bağlayıcı Örnekleri

Bağlayıcı Uygulama Alanı	Bileşimi (% ağırlık)
ekstrüzyon	15 amonyum poliakrilat+15 amonyum stearate+45 metil selüloz+25 gliserin
ekstrüzyon	56 su+25 metil selüloz+13 gliserin+6 borik asit
enjeksiyon kalıplama	69 parafin mumu+20 polipropilen+10 Brezilya mumu+1 stearik asit
enjeksiyon kalıplama	75 yer fıstığı yağı+25 polietilen+10 stearik asit
slip döküm	4 sodyum lignosülfonat+95 su+1 kalsiyum nitrat
slip döküm	93 su+4 agar+3 gliserin
şerit döküm	3 amonyum poliakrilat+75 su+11 poliakrilat emülsiyonu+11 gliserin
şerit döküm	80 toluen+13 polietilen glikol+7polivinil alkol

Katkı kimyasalları organik veya inorganik olup sınıflandırılmaları şöyledir:

- **Çözücüler:** Geçici sıvı dağıtıcılar katkı maddesinin dağılması için kullanılır (su), parçacıkların ayrışmasında kullanılır (amonyak poliakrilat).
- **Plastikleştiriciler:** Karışımının viskozitesini düşürmekte kullanılır (gliserin).
- **Yüzey aktif maddeler:** Bağlayıcı-toz ıslatmasını artırmada kullanılır (stearik asit).
- **Kalınlaştırıcılar:** Toz-bağlayıcı karışımının viskozitesini artırmada kullanılır (guar zamkı).
- **Bağlayıcılar:** Tozlara ham dayanım sağlamak için kullanılır (parafin).
- **Yağlayıcılar:** Parçanın aşınmasını azaltmak için kullanılır (çinko stearat).



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 1. Çeşitli metal ve seramik tozların üretilmesi, bu tozların özelliklerine göre farklı ısı ve mekanik işlemler uygulanarak birleştirildiğinde çok kullanışlı endüstriyel parçalara dönüştürülmesini sağlayan imalat sürecine ne ad verilir?**
 - A) Endüstri
 - B) Makina sanayii
 - C) Metalürji
 - D) Sanayii
 - E) Toz metalürjisi
- 2. Gelişmiş toz üretim teknikleri kullanılarak aşağıdakilerden hangisiyle ileri imalat ürünleri elde edilemez?**
 - A) Alüminyum
 - B) Bakır
 - C) Çinko
 - D) Demir
 - E) Tungsten
- 3. Toz parçacıkları kaç mikrondan düşük olursa akciğere ulaşır?**
 - A) 10
 - B) 20
 - C) 30
 - D) 40
 - E) 50
- 4. Katı hâldeki malzemeye öğütme işlemi uygulanarak yapılan, toz üretim yönteminin adı nedir?**
 - A) Atomizasyon
 - B) Elektroliz
 - C) Kimyasal
 - D) Mekanik
 - E) Sinterleme
- 5. Aşağıdakilerden hangisi toz metalürjisinin avantajlarından değildir?**
 - A) Düşük malzeme kaybı ile verimli üretim yapılması
 - B) Külçe malzemeye göre toz üretim maliyetinin fazla olması
 - C) Üretim sayısına göre maliyetinin düşük olması
 - D) Üretim hızının yüksekliği
 - E) Üretilen malzeme yüzeylerinin düzgün oluşturulması



2 ÖĞRENME BİRİMİ

KALIP MAKİNELERİ VE KALIPLARI

KONULAR

- 2.1. KALIPLAMA MAKİNELERİ
- 2.2. TOZ METALÜRJİ KALIPLARI

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. Pres kalıplama makineleri, kalıp ve kalıp malzemeleri
2. Toz metalürjisi kalıplama tasarım teknolojisi ve kalıpların bakım teknikleri



TEMEL KAVRAMLAR

bağlayıcı, ekstrüzyon, maça, termoplastik, zimba



HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Tükenmez kalem, pergel ve silgi gibi her öğrencinin kullandığı gereçlerden binlerce on binlerce üretiminin ne ile ve nasıl olabileceği hakkında sınıfınızda arkadaşlarınızla bilgi paylaşımında bulununuz.



2.1. KALIPLAMA MAKİNELERİ

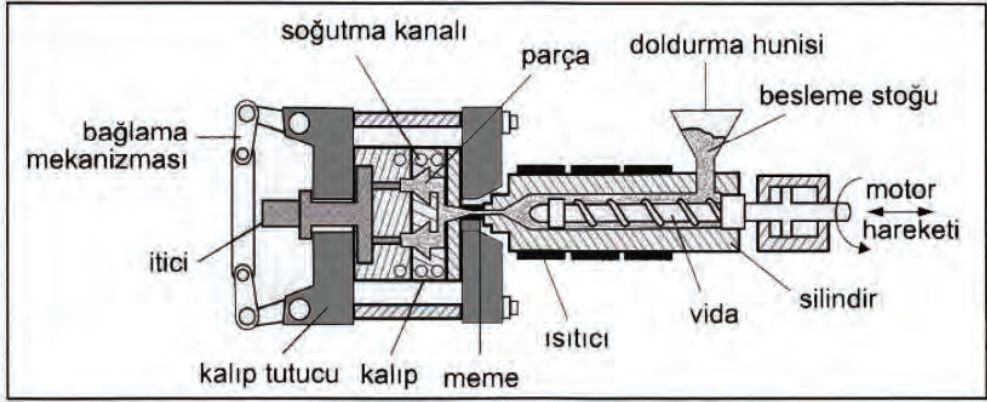
Toz metalürjisinde kalıp makineleri ile üretim, tozların bir kalıp içerisinde sıkıştırılarak istenilen şeklin elde edilmesi esasına dayanır (Görsel 2.1). Preslemede sıcak veya soğuk yöntemler uygulanabilir. Toz enjeksiyon makinede kullanılacak kalıbın, üretimi düşünülen parçadan daha büyük boyutta olması gerekir. Kalıp malzemesinin sert, dayanıklı ve işlenebilir olması kalıbın kullanım ömrünü artırır. Sert kalıp üretiminin pahalı olmasına rağmen bu kalıpların aşınma direncinin yüksek olması fazla sayıdaki üretimler için gereklidir. Kalıpta istenilen özelliklerin olması kalıbın kullanım ömrünün artmasını sağlar.



Görsel 2.1: Toz metalürjisi kalıplama makinesi

Toz enjeksiyon kalıplar 300.000 adet parça üretimine göre tasarlanarak yapılır. Üretim uygulamalarında ise tasarlanan sayının on kat fazlası ile üretim gerçekleştirildiği görülmüştür. Kalıp boyutu, sinterleme işlemi sırasında oluşacak parçadaki çekme hesaba katılarak büyük tutulur. Kalıp boşluğunun etrafında kalıbı açma-kapama, parçayı çıkarma, kalıp bölümlerini ayarlama, parçayı soğutma, yolluk, dağıtıcı ve girişi sağlayan hareketli ilave parçalar vardır.

Üretilen parça yılda 10.000 adetten fazla üretilen kalıpta sıkıştırma, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemi tercih edilir (Görsel 2.2). Eğer yılda 100 adet parçadan daha az üretim gerçekleştirilecekse sulu çamur, soğuk izostatik presleme ve sıcak yoğunlaştırma yöntemleri daha ekonomiktir.



Görsel 2.2: Enjeksiyon kalıplama makinesi

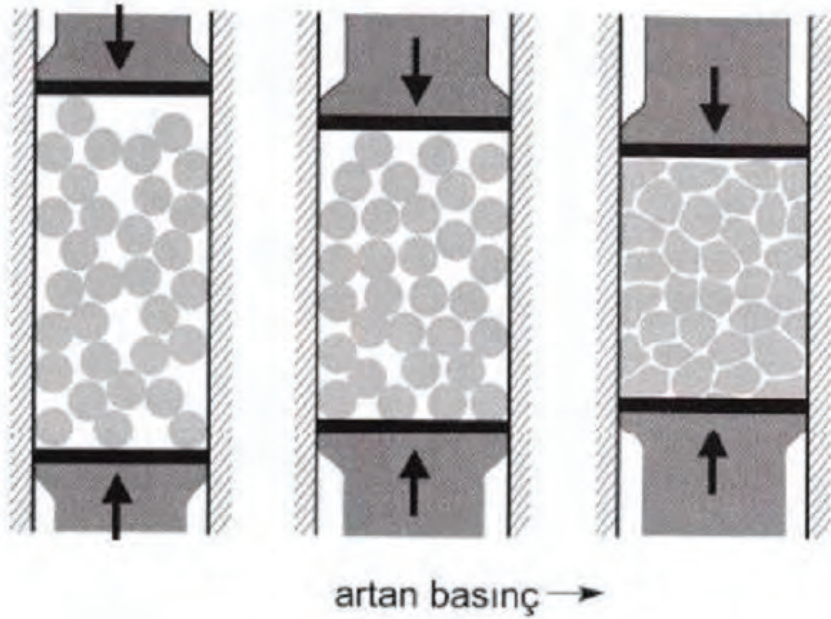
Enjeksiyonla kalıplama işlemi, tozların ve uygun bağlayıcıların karıştırılması ile başlar. Yüksek sinterleme yoğunluğuna ulaşabilmek için genellikle küresel şekle yakın ve ortalama çapı 20 μm 'un altında olan toz parçacıklar kullanılır. Bağlayıcılar termoplastik karışımlardır. Bunlar tozların akış özelliklerine yardım ederek kalıbı tam doldurmasını sağlar. Tozlar kalıplandıktan sonra bağlayıcı uzaklaştırılır ve yapı sinterlenir.

Enjeksiyon kalıplama kalıp tasarımı ve makine işletimi ile ilgili bilgisayar yazılım paketlerinden yararlanır. Bu yazılımlar imalata başlamadan gerçek değerlere yakın maliyet hesaplama imkânı sağlar. Farklı üretim teknikleri ile farklı malzemeler kullanılarak parça tasarlama fırsatı verir. Üretim sürecini ve süresini önceden gerçekliğine yakın hesaplayabilme imkânı sunar. Hatta olabilecek hata ve aksaklıkları önceden görme fırsatı vermesi bu yazılımların önemini artırır.

Toz metalürjisi ile parça üretiminde, kalıplama makinelerindeki kalıbı doldurmak için gerekli basınç bir piston ya da ileri geri hareket eden vida ile yapılır. Makinenin besleme hunisinden silindire giren toz-bağlayıcı karışımının bağlayıcı ergime sıcaklığı üzerinde (130-190 $^{\circ}\text{C}$) ısıtılarak kalıp içerisine basınçla çok kısa bir sürede girmesi sağlanır. Bağlayıcı bir termoplastik polimerdir. Su ve çeşitli inorganik bileşikler de kullanılabilir. Bir bağlayıcı bileşimi parafin mumu veya diğer katı mumlardan oluşur. Bu bağlayıcıda %30 polipropilen ve tozun bağlayıcıya yapışmasını sağlamak amacıyla çeşitli yağ ya da başka ısıtıcı maddelerde bulunur. Bu karışımdaki bağlayıcı yaklaşık 150 $^{\circ}\text{C}$ civarında tamamen ergir. Toz-bağlayıcı silindir sonundaki memeden çıkar, yolluk, dağıtıcı ve giriş kanalından geçerek kalıp boşluğuna akar. Kalıp boşluğunun alttan dolması sırasında kalıp içerisindeki hava kılcal kanaldan dışarı alınır. Bu hava kanalları kalıbın üst tarafındadır.

2.2. TOZ METALÜRJİ KALIPLARI

Görsel 2.3'te tozların sıkıştırılması ile elde edilen kütle görülmektedir. Toz metalürjisinde kullanılan kalıplar sert metallere olan tungsten karbür esaslı kobalt alaşımıdır. Bu tür kalıplar zor işlenebilen sinterlenmiş malzemelerdir. Elde edilmesi pahalı ancak çalışma ömürleri çok uzundur.



Görsel 2.3: Metalürjik açıdan sıkıştırma prensibi

Takım çelikleri; maça, zımba ve çeşitli kalıp yapımında kullanılır. Takım çeliklerinin ucuz olmaları ve kolay işlenmeleri düşük maliyetle elde edilmelerini sağlar. Bazı takım çelikleri toz metalürjisi teknikleriyle üretilir. Bu tür kalıpların aşınma dirençlerini artırmak için kaplama işlemi uygulanabilir. Kaplamalar ince film tabakası şeklinde uygulanır. Kaplama işleminde, titanyum nitrür (TiN), titanyum karbür (TiC), tungsten disülfür (WS₂) veya elmas filmler uygulanır.

Kalıp Ömrü ve Bakımı

Kalıpta kısa zamanda oluşan hasar, kalıp malzemesinin yetersiz olduğunu gösterir. Genellikle kalıba uygulanan talaşlı imalat hataları kalıplarda yorulma ve kırılmaları artırır. Kalıplarda keskin köşelerin olması pek istenmez. Kalıpta çiziklerin bile olmaması için kalıplar iyi bir parlatma işlemine tabi tutulmalıdır. Kalıp malzemesinde gözle görülemeyen iç hatalar kalıp ömrünü kısaltır. Kalıp çalışması sırasındaki hasarları en aza indirebilmek için gerilme hesapları yüksek tutularak üretilir.

Kalıp üretim malzemesine ısıl işlem yapılır ve son parlatma işlemi uygulanır (Görsel 2.4).



Görsel 2.4: Kalıplama makinesinde kullanılan kalıplar

Kalıbı açma-kapama, parçayı çıkarma, kalıp bölümlerini ayarlama, hareketli ilave parçalar, parçayı soğutma ve yolluk, dağıtıcı ile girişi sağlayan mekanizmalar iyi tasarlanmalıdır. Kalıp tasarımındaki bu tür önlemler kalıp ömrünü artırır. Görevini düzgün yapması için çok hassas toleranslar gereken kalıp imalatının maliyeti yüksektir. Bazı tasarım değişiklikleri kalıp ömrünü artırdığı gibi kalıp imalat maliyetlerini de azaltır. Kalıp elemanlarının birbiri üzerindeki hareketi sırasında aradaki boşluktan toz girmemesi için parçaların sıkı geçmesi gerekir. Toz parçacıkları genellikle 20 μm boyutunda olduğu için kalıp elemanlarının geçme boşlukları da en fazla bu kadar olabilir. Kalıbın ömrü kalıp malzemesinin dayanabileceğinden daha küçük basınç uygulanması ile doğru orantılıdır.

Kalıplama esnasında, makinenin meme sıcaklıkları ortalama 175 °C, kalıp sıcaklığı 40 °C'dir. Bu parçanın üretimi sırasında, kalıp dolum süresi yaklaşık 0,5 saniye, kalıp soğutma süresi 18 saniye ve her bir parça üretimi arasında geçen süre ortalama 37 saniyedir.

Toz metalürjisinde makine ile üretimin kesintisiz devam edebilmesi için günlük, haftalık, aylık ve yıllık kontrollerin yapılması gerekir. Bu kontrollerde görülen en küçük hata ve eksikliklere yönelik bakımlar anında yapılmalıdır. Makinenin kalıp ve hareketli aksamaları yoğun çalışma şartlarına göre tasarlanmıştır. Hizmet ömürleri uzundur. Ancak hareketli kısımların yeterince yağlı kalmasına özen gösterilmelidir. Tozların hareketli kısımlarda birikmesini önlemek için de sık sık temizlenmelidir. Kalıpları kenetleme ünitesi basıncının çalışma basıncından biraz yüksek kalması gerekir. Bu durum kalıpların çalışma sırasında açılmasını önlemek içindir. İş parçasının sağlam alınması, çalışanlar ve çevreye zarar gelmemesi için gereklidir.



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Toz metalürjisi alanında kalıp makinesinde üretim yapabilmek için tozların içerisinde sıkıştırıldığı parçanın adı nedir?

- A) Dağıtıcı
- B) Dişli
- C) Kalıp
- D) Mil
- E) Yolluk

2. Genel olarak tozları preslemede kaç çeşit yöntem uygulanmaktadır?

- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) 5

3. Toz enjeksiyon makinede kullanılacak kalıbın, üretimi düşünülen parçanın boyutuna göre oranı nasıl olmalıdır?

- A) Beş kat büyük
- B) Büyük
- C) Eşit
- D) Küçük
- E) Beş kat küçük

4. “Kalıp malzemesinin sert, dayanıklı ve işlenebilir olması kalıbın kullanım ömrünü artırır.”

Bu özelliklere sahip kalıp malzemesinden kalıp yapıldığında aşağıda verilen ifadelerden hangisi doğrudur?

- A) Kalıp maliyeti azalır.
- B) Kalıp maliyeti değişmez.
- C) Kalıp maliyeti artar.
- D) Kalıbın işlenebilme özelliği artar.
- E) Kalıbın yüzey görünüm özelliği azalır.



3

ÖĞRENME BİRİMİ

SİNERLEME VE ŞEKİLLENDİRME

KONULAR

- 3.1. SİNERLEME
- 3.2. KALIP İLE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ
- 3.3. DİĞER ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

1. Sinterleme yöntemi ve esasları, sinterdeki katkı maddeleri ve sinterleme makineleri
2. Kalıp ile şekillendirme yöntemleri



TEMEL KAVRAMLAR

enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyonla kalıplama, izostatik presleme, lazer, püskürtme şekillendirme, sinterleme, slip döküm, şerit döküm, tek eksende presleme



HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Kek hamurunun hazırlanmasında, hamurun kek kabına konulmasında ve özellikle kekin pişirilme aşamasında dikkat edilmesi gereken durumlar nelerdir? Düşüncelerinizi sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.



3.1. SİNERLEME

Sinterleme, üretimi düşünülen parçaların kalıplarda preslenmiş yaş biriketlerine dayanım kazandırmak amacıyla belirli atmosfer koşulları ve yüksek sıcaklıkta uygulanan pişirme işlemidir. Diğer bir ifade ile sinterleme, gözenekli yapıda sıkıştırılmış toz parçalarını gözeneksiz yapıya sahip malzemeye dönüştürmek için yapılan bir ısıl işlem uygulamasıdır. Sinterleme atmosferinin en önemli görevi, yüksek sıcaklıktaki kimyasal tepkimeleri kontrol etmektir. Sinterleme işleminde kullanılan çeşitli atmosferik koşullar şunlardır:

- Oksitleyici (karbondioksit, su veya oksijen)
- Nötr (argon, helyum veya vakum)
- İndirgeyici (hidrojen veya karbonmonoksit)
- Hidritleyici (hidrojen veya amonyak)
- Hidrit giderici (vakum veya argon)
- Nitrürleyici (azot veya amonyak)
- Karbürleyici (metan veya propan)
- Karbon giderici (karbondioksit, su veya oksijen)

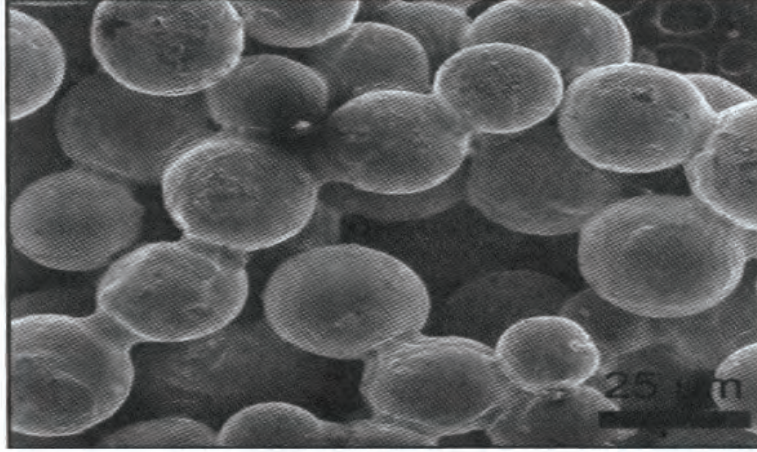
Sinterleme sırasında bu atmosfer şartlarından biri veya birden fazlası bir arada olabilir. Örneğin hidrojen ve metan karışımı ile hem indirgeyici hem de karbürleyici ortam oluşturulabilir.

Tozların kalıp içersinde sıkıştırılıp şekil verilmesinden sonra oluşan parçada meydana gelen mekanik bağlar, sinterleme işlemi ile metalik bağlara dönüştürülmüş olur. Bu işlemle sıkıştırılan tozlara şekil ve mukavemet kazandırılır. Sinterleme sonrasında parça dayanım oranının sinterleme öncesine göre yüz kat kadar arttığı ölçümlerle kanıtlanmıştır.

Sinterleme işlemi, tek bileşenli sistemlerde metalin mutlak ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yapılır. Birden fazla bileşenli sistemlerde genellikle ergime sıcaklığı, en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılmaktadır. Sinterleme sıcaklığı sıkı katı parçayı oluşturan ana malzemenin ergime sıcaklığının %70-80'i arasında olmalıdır. Bazı ısıya dayanıklı malzemeler için ergime sıcaklığının %90'ına kadar çıkılabilir. Demir (Fe) esaslı malzemeler için sinterleme sıcaklığı 1100-1200 °C arasındadır. Sinterlemede geçen süre kısaltılmak isteniyorsa sinterleme sıcaklığının artırılması gerekir. Ancak sinterleme sıcaklığının 1150 °C'yi aşması üretim maliyetini yükseltir. Sinterleme sıcaklığının artması ile malzemenin elektrik iletkenliği, mukavemet, yoğunluk ve süneklik gibi özellikleri artmaktadır.

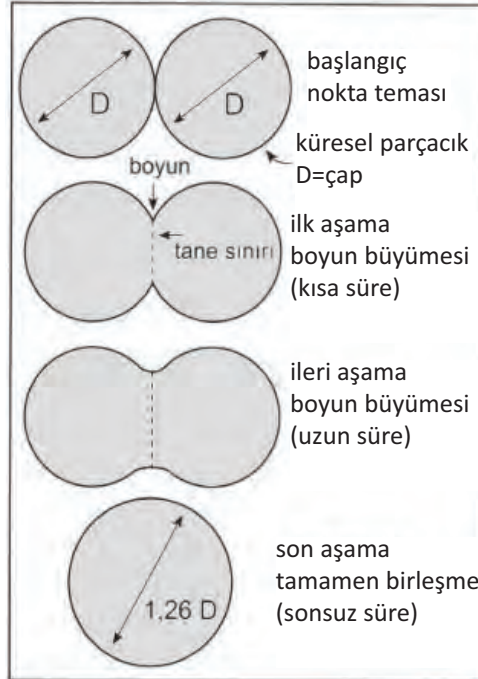
Sinterleme, bir araya gelen ve temas eden parçacıkların yüksek sıcaklıklarda bağlanmasını sağlar. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı hâlde atom hareketleriyle veya sıvı fazda oluşabilir.

Görsel 3.1'de küresel parçacıklar arasında katı hâlde boyun oluşumu net bir şekilde görülmektedir. Bu boyunlaşma ile oluşan yeni yapıda mukavemet ham mukavemete oranla artarak parçada birçok özelliğin iyileşmesini sağlar.



Görsel 3.1: Mikroskopta toz parçacıklarının boyun verme görüntüsü

Birbiriyle temas hâlinde olan iki küresel parçacık esas alındığında her bir parçacık üzerinde birçok temas noktası olduğu görülür. Sinterleme işlemi ilerledikçe temas hâlindeki parçacıklar, aralarındaki bağlar ile birleşir. Her temas noktasında parçanın bir tane sınırı büyür ve katı-buhar ara yüzeyinin yerini alır. Uzun süre sinterleme, iki parçacığın birleşerek tek küresel parçacık oluşturmasını sağlar (Görsel 3.2).



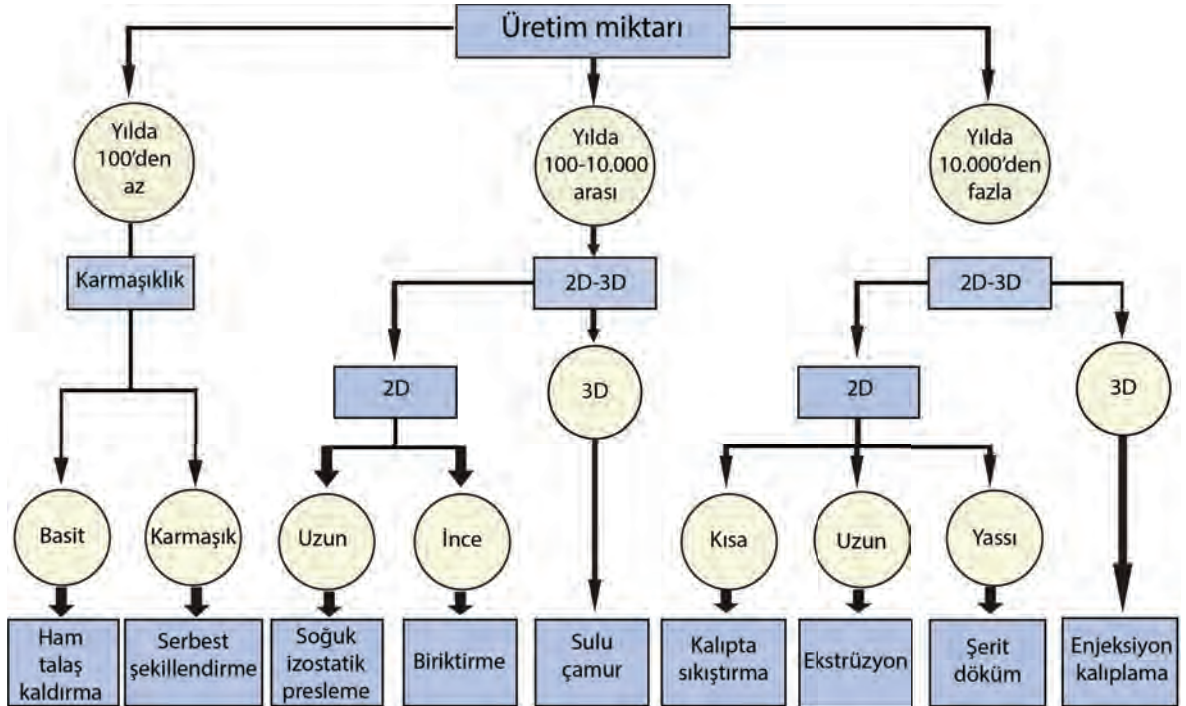
Görsel 3.2: Sinterlemede parçacıklar arası bağ oluşumu

3.2. KALIP İLE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Toz metalürjisi ile parça imalatı son yıllarda gelişen teknolojilerle çok çeşitlenmiştir. Yeni yöntemlerle üretim çeşidi ve parça üretim miktarı artmaya devam etmektedir. Toz metalürjisi ile parça üretiminde dört temel şekillendirmenin sınıflandırılması şöyledir:

1. Gözeneklerin sulu çamurda bağlayıcılar ile doldurulduğu yöntemler (toz enjeksiyon kalıplama vb.)
2. Yüksek basınç etkisi ile parçacıkların bağlanması ve ham kütlelerin oluşturulması
3. Basınç ve sıcaklığın aynı anda uygulanmasıyla tozların sıkıştırılması (sıcak izostatik presleme)
4. Serbest şekillendirme teknikleri veya sinterleme ile şekillendirme

Üretimi düşünülen bir parçadan yılda 10.000 adet ve üzeri üretim yapılacaksa kalıpta sıkıştırma, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi yöntemler tercih edilir. Yılda 100 parçadan daha az üretim gerçekleştirilecekse sulu çamur, soğuk izostatik presleme ve sıcak yoğunlaştırma yöntemlerini tercih etmek ekonomiktir. Görsel 3.3'te toz şekillendirme yöntemlerini belirlemede etkili olan üretim sayıları görülmektedir.



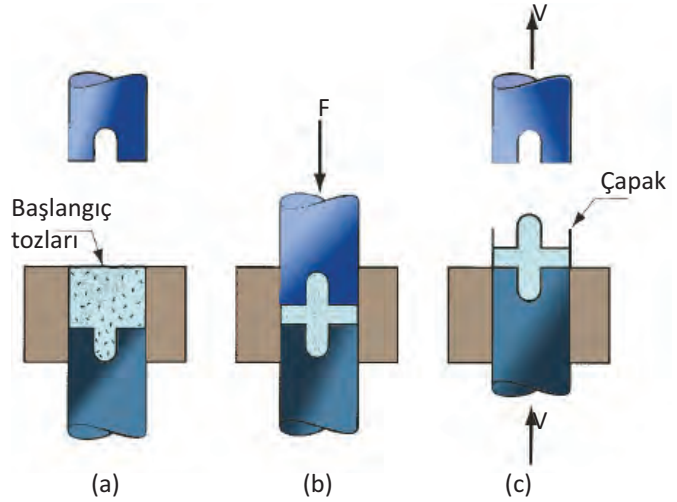
Görsel 3.3: Toz şekillendirme yöntemi akış diyagramı

Parçanın geometrisi yani karmaşıklığı üretim metodu belirlemeye etki eden en önemli ölçütlerdendir. İki boyutlu (2D) şekiller, uzunlukları boyunca aynı profile sahip olup uzunluk-kalınlık veya çap-uzunluk gibi iki boyut ile tanımlanır. Üç boyutlu (3D) şekiller ise her üç eksen boyunca tanımlanması gereken karmaşık parçalardır. Sulu çamur veya enjeksiyon kalıplama teknikleri üretilen parça sayısı da göz önüne alındığında karmaşık şekilli üç boyutlu parçaların üretilmesi için çok uygundur.

Toz metalürjisi ile parça üretiminde en çok tercih edilen şekillendirme metotları şunlardır:

a) Tek Eksende Presleme

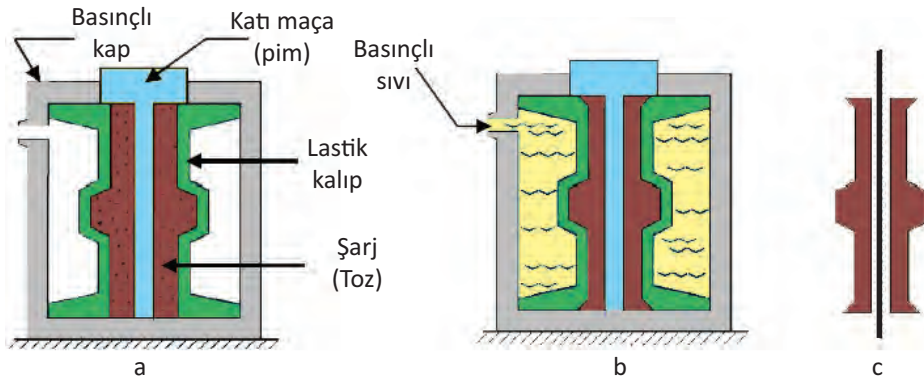
Bu metotla, iki rijit plaka arasında kalıp içerisine yerleştirilmiş tozun tek eksenli bir basınç altında sıkıştırılması ile parça üretilir (Görsel 3.4). Tek eksenli kalıp sıkıştırma, kolay ve ekonomik bir yöntemdir. Kesme uçları, aşındırma ve kesme diskleri gibi basit şekilli parçaların seri üretiminde tercih edilir.



Görsel 3.4: Tek eksenli presleme

b) İzostatik Presleme

Bir sıvı ya da gaz ortam içinde tozlara birden fazla yönden gelen basınç uygulanarak sıkıştırma yapılan yöntemdir. Basıncı bir akışkan ortam içerisine esnek poliüretan bir kalıbın daldırılması ile parça elde edilir. Uygulama sıcaklığına bağlı olarak soğuk ve sıcak izostatik presleme adı verilen iki farklı uygulaması vardır. Görsel 3.5'te oda sıcaklığında soğuk izostatik preslemeyle gerçekleşen parça üretimi görülmektedir. Görselin "a" kısmında tozların esnek bir kalıp içine yerleşmiş hâli, "b" kısımda tozları sıkıştırmak için kalıba doğru hidrostatik basınç uygulandığı ve "c" kısımda basıncın kaldırılıp parçanın çıkarılmış hâli gösterilmektedir.



Görsel 3.5: İzostatik presleme

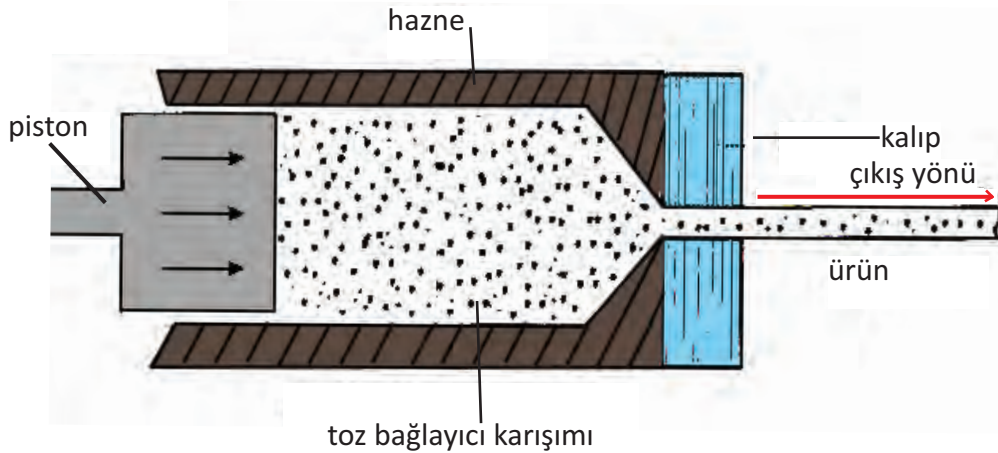
Sıcak izostatik presleme (HIP) ise yüksek sıcaklıklarda yapılır. Basınç ortamında azot veya argon gazı kullanılır. Sıcak izostatik presleme yönteminde uygulanan çalışma basınçları, 44.000 psi ile 15.000 psi (100 Mpa, 300 MPa) arasındadır. HIP yönteminde presleme ve sinterleme birlikte gerçekleştiği için toz parçacıkların gözenek ve boşluklarının istenilen değeri diğer metotlara göre oldukça iyidir.

c) Enjeksiyonla Kalıplama

Küresel şekle yakın, çapı 20 μm 'un altındaki toz parçacıkları termoplastik bağlayıcı kullanılarak karıştırılır. Tozlar kalıplandıktan sonra bağlayıcı uzaklaştırılır ve sinterleme işlemi yapılır. Bu yöntemle üretimin en önemli avantajı, seri üretime uygun olması ve karmaşık parçaların kalıplanmasına imkân vermesidir. Kalıplamadan sonra toz karıştırma işleminde kullanılan bağlayıcıların uzaklaştırılması gerekir. Bu bağlayıcıları uzaklaştırmak için ısıl bağlayıcı uzaklaştırma yöntemi yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemde parça yavaş yavaş 600 °C'nin üzerinde ısıtılarak bağlayıcının ayrışması sağlanır. Bir diğer ayrıştırmada ise parça bir çözücü içerisine daldırılır. Bu yöntemle bağlayıcı bileşenlerinden birinin çözünerek parçadan uzaklaştırması sağlanmış olur. Diğer bir yöntemde ise kılcal kuvvetler sıvı bağlayıcının büyük gözeneklerden daha küçük gözeneklere yavaş yavaş hareket etmesinden yararlanır. Bu yöntemin başarılı olabilmesi için bağlayıcı moleküllerinin kılcal boşluklardan küçük olması gerekir.

ç) Ekstrüzyonla Kalıplama

Ürünün şekli ekstrüzyon kalıbına bağlıdır. Basit durumlarda şekil dairesel bir deliktir ancak çoğu zaman üretilecek parçada merkezî delikler, kayar kama yerleri veya diğer geometrilerin bulunması gerekir. Bal petekleri gibi şekillerin oluşturulmasında kalıp merkezine maça oluşturmak için ise ızgaralar kullanılır. Tüp, çubuk ve matkap ucu gibi uzun ince şekilli parçalar kalıplanır. Toz-bağlayıcı karışımı, ısıtılmış haznede bir piston kullanılarak sıkıştırılır. Şekil, haznede sıkıştırılan karışımın kalıbın dışına çıkmasıyla oluşur (Görsel 3.6). Bağlayıcı katılaştıktan sonra yapıştırıcı gibi davranıp parçacıkları üretim esnasında bir arada tutar. Sinterlemeden önce bağlayıcılar enjeksiyonla kalıplamadaki yöntemlerle uzaklaştırılır. Ekstrüzyonla kalıplama kapasitörler, mikroelektronik altlıklar, kaynak çubukları gibi parça üretimine elverişlidir.

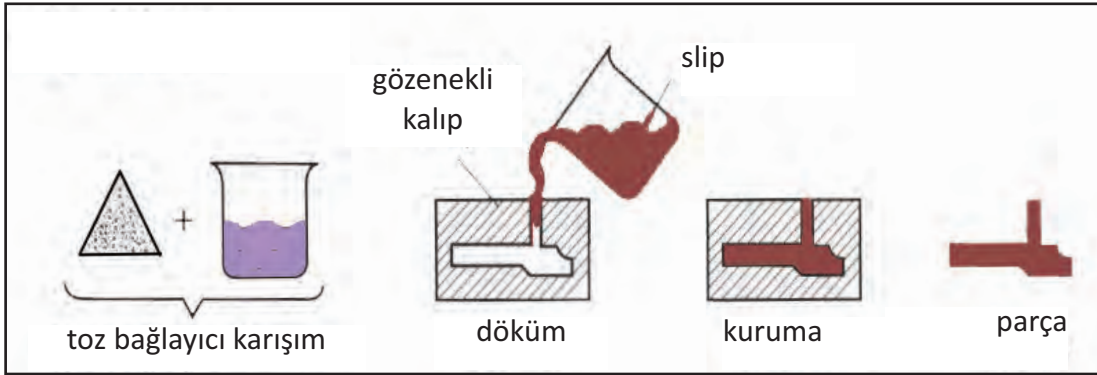


Görsel 3.6: Ekstrüzyon yöntemi

d) Sulu Çamur Teknikleri

Sulu çamur yöntemlerinde kullanılan toz ve katkıların viskozitesi enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon kalıplama yöntemlerinde kullanılan karışıma göre düşüktür. Sulu çamur tekniğinde genel olarak kullanılan iki yöntem şunlardır:

1. Slip (Sıyırma) Döküm: Bu yöntemde, üretilmek istenilen toz ve katkı elemanlarından (bağlayıcı) hazırlanan çamur gözenekli bir kalıp içerisine dökülür (Görsel 3.7). Karışım içerisindeki su, kalıptaki gözeneklerden kılcal etkiyle uzaklaştırılır. Doğal kuruma işlemi ile parça elde edilmiş olur.



Görsel 3.7: Slip (sıyırma) döküm işleminin şematik gösterimi

Slip dökümde kalıp gözeneklerinin büyüklükleri yaklaşık $0,1 \mu\text{m}$ 'dır. Kalıpta kuruma süresi parça kalınlığına bağlı olarak birkaç dakikadan 24 saate kadar uzayabilir. Bu süreyi kısaltmak için kalıbın dışına vakum uygulaması, sulu çamuru sıkıştırma veya kalıba dönme kuvveti uygulanabilir. Sıyırma işlemi döküm porselen, lavabo gibi ev ihtiyaçlarının yapımında sıklıkla uygulanır.

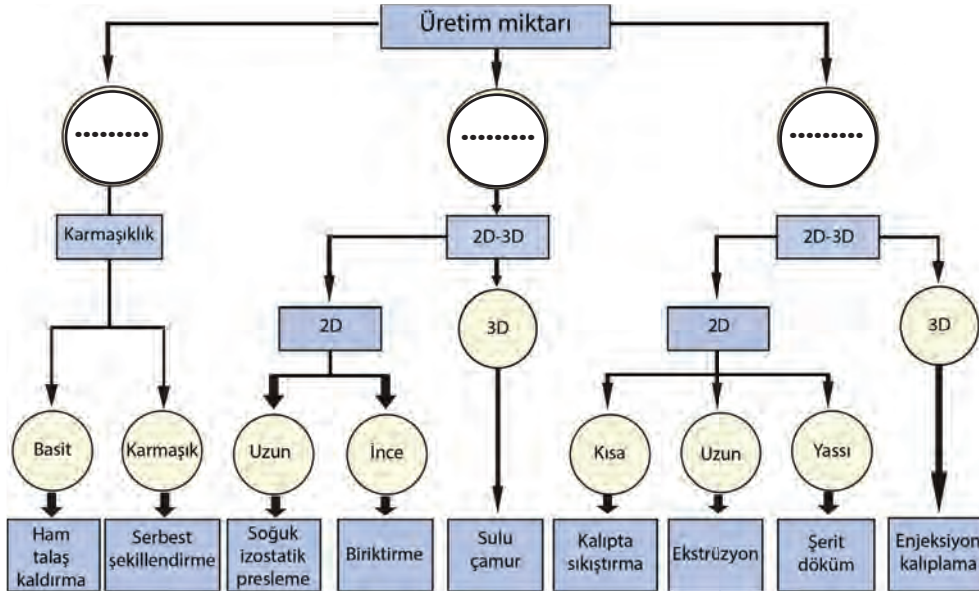
Slip döküm için genellikle bağlayıcı karışimli su, aljinat ve yüzey aktif maddelerden oluşan karışım kullanılır. Diğer bağlayıcı çeşitlerinde ise suda çözülen, selüloz amonyum polimetilmetakrilat, polivinil alkol veya alkolde çözünen diğer polimerlerden oluşan karışımlar kullanılabilir.

Slip dökümün en çok kullanıldığı alanlardan birisi seramik banyo takımlarının üretimidir. Ayrıca, prototip şekiller ve hatta pilot takım setleri üretiminde de kullanılır. Bağlayıcı bir termoplastik olduğundan kalıp dolduktan sonra sulu çamur donar.

2. Şerit Döküm: Bu metotla düşük viskoziteli toz-çözücü-polimer karışımların hareket eden bir plastik tabaka üzerinde çökerek birikmesi ile parça üretilir. Burada toz-bağlayıcı çamuru hareket eden bir plastik tabaka üzerine sürekli beslenir. Çamurun küçük bir aralıktan geçmesi sağlanır. Çamur, bir neşter vasıtasıyla sabit kalınlıkta tabaka hâline getirilir.

ETKİNLİK

Aşağıda verilen toz şekillendirme yöntemi akış diyagramında boş bırakılan kısımları doldurunuz.



3.3. DİĞER ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Diğer şekillendirme yöntemlerinden biri üç boyutlu bir nesnenin bilgisayarla dilimlenmesi işlemidir. Her dilimlemede oluşan iki boyut lazerle yapışkan kâğıt kesilerek elde edilir. Her takip eden iki boyutlu kesim kesilen kâğıt kalınlığındadır. Bu kesimler üç boyutlu model üzerine istif edilir. Bu işlemlerle elde edilen nesnelere, binaların mimari modelleri ve mühendislik tasarımında boyut, şekil ve uyma analizi bakımından başarılı olmuştur. Bu katman teknolojilerinden yararlanılarak tabakalardan üç boyutlu cisimler yapmak için lazer ve UV ışıkla sertleşen polimerler üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Daha sonraları ise metal ve seramik tozlardan katmanlar üretmek için platform oluşturulmuştur. Genel olarak kullanılan iki işlem metodu şunlardır:

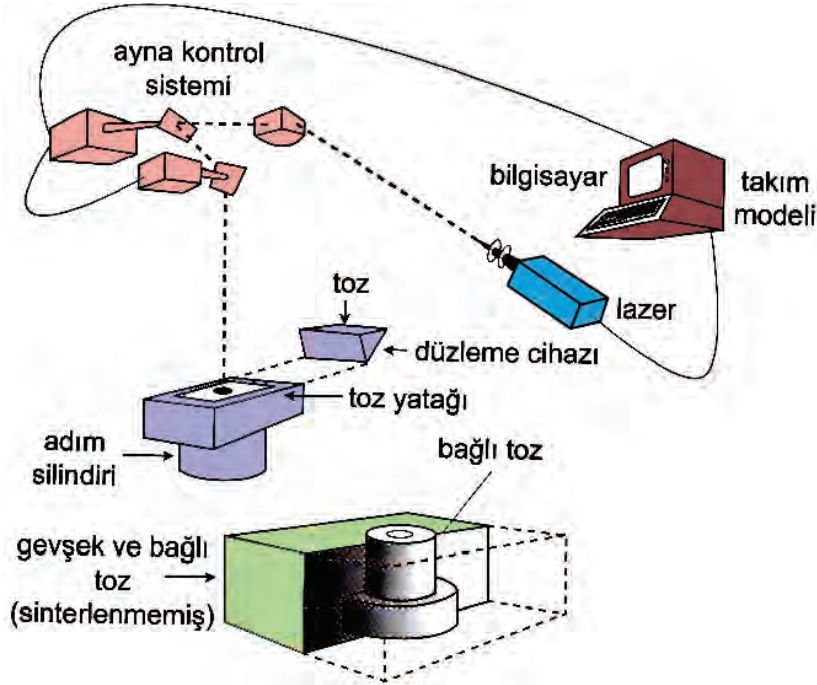
- * Toz tabakayı yaymak ve daha sonra iki boyutlu profile yapıştırmak.
- * İki boyutlu toz tabakayı oluşturmak ve daha sonra profili mevcut tabakaya uygun şekilde katmanlamak.

Eğri yüzeyler her tabakada merdiven basamakları şeklinde olabilir. Katmanlama işleminden sonra şekillendirilmiş toz kütle, bağlayıcılarından arındırılıp sinterlenir. Ham şekil, sinterlemedeki çekme dikkate alınarak biraz büyük yapılır. Plastik enjeksiyon kalıpları prototipleri, roket motoru parçaları, sert metal petrol sondaj uçları, sanatsal şekillerin ve mücevherlerin üretimi başlıca kullanım alanlarını oluşturmaktadır.

Genel ve yaygın olarak tercih edilen diğer şekillendirme yöntemleri şunlardır:

a) Lazer

Üç boyutlu cisimlerin polimer kaplanmış toz tabakalarının bir araya tutturulmasıyla şekil almasıdır. Üretimi düşünülen cismin her bir diliminde serbest toz-polimer karışımı lazer ile ısıtılır. Lazer gücü polimeri eritecek şekilde ayarlıdır. Böylece ham kütleyi oluşturan parçacıklar arasında yapışkan bir bağ meydana gelir. Bağ oluşturulması gereken alanlara lazer ışını gönderilir (Görsel 3.9). Lazer ışını değmeyen alanlardaki tozlar ise yapışmaz ve serbest hâlde kalır. Cisme bir sonraki işlem için toz tabakası serilir ve lazer yeni tabakayı aynı şekilde bağlar. Birbiri ardına tabakalarda yapılan işlemlerle cisme son hâli verilir. İstenilen şekil elde edilince işlem tamamlanmış olur.



Görsel 3.9: Lazer metodu

b) Mürekkep Püskürtme

Mürekkeple püskürtme metodu genel olarak bilgisayar ortamındaki belge ve resimlerin yüksek hızda ve çeşitli çözünürlüklerde kâğıtlara basılmasında kullanılır. Toz metalürjisi ile üretimde ise bu metottan yararlanılarak mürekkep yerine polimer çözücü karışımı kullanılmıştır. Bu akışkan, ince toz tabakasının üzerine püskürtülür.

Damlacıkların darbesinden dolayı serbest toz hareketleri oluşur ve parçada hassasiyet bozulur. Damlacık, toz tabakası üzerine düştükten sonra çözücü buharlaşarak polimeri terk eder ve polimer enjeksiyonla kalıplanmış ham kütledekine benzer şekilde parçacıklar arasında bağlayıcı görevi yapar. Mukavemet sağlamak için yeteri kadar bağlayıcı püskürtülmeli. Tabakaların birbirine sıkıca bağlanmasını sağlayacak kadar ince katmanların oluşturulması ile şekil elde edilir.

c) Ekstrüzyon

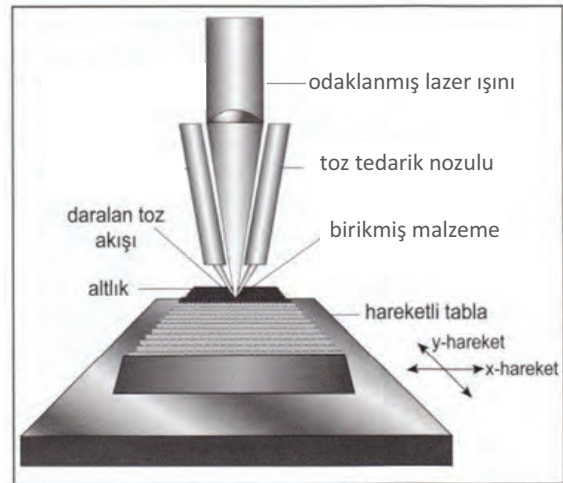
Termoplastik polimer toz karışımından iki boyutlu tabaka oluşturmada kullanılan bir başka yol ekstrüzyondur. Şırınga benzeri ve çapı 0,12 mm'den küçük çaplı nozul hareket ettikçe üç boyutlu cisim oluşturacak olan polimer-toz kütlelerini istenilen yerlere biriktirir. Bir destek malzemesi boşlukları geçici olarak doldurmak için kullanılır. Bu işlem dirsek, askı ve diğer geometrik şekiller için gereklidir. Ekstrüzyon nozulunun yolu bilgisayar tarafından kontrol edilir. Böylece daha önceden bilgisayarda saklanmış resme benzer katı cisim oluşturulur. Ekstrüzyon nozulu çapı artarken üretim hızı da artar ancak boyut hassasiyeti azalır. Birçok teknoloji benzer fikirlerle çalışır, ısıtılmış nozuldaki ılık polimer-toz besleme stoğu ekstrüze edilir. Besleme stoğu enjeksiyon kalıplamada kullanılanlara benzer. Bağlayıcı giderme ve sinerleme çevrimleri de toz enjeksiyon kalıplama ile aynıdır.

ç) İstiflenmiş Tabakalar

Katmanlama yaklaşımına göre şerit döküm toz tabakalarından katmanlar kesilir. Bu katmanlar üçboyutlu cisim oluşturacak şekilde sırasıyla istiflenir. Katmanlar bilgisayar kontrollü bir robot kolu, X-Y çizici veya bir lazer ışını ile kesilebilir. Katmanlar yüksek kalınlık hassasiyeti ile geleneksel şerit döküm cihazlarında hızlı bir şekilde oluşturulabilir. İstiflenmiş tabakaların önemli problemlerinden birisi katmanlar arasındaki konum hatasıdır. Bazı şekiller çok sayıda katmandan dolayı büyük çarpılmaya sebep olabilir. Bu nedenle önceden kesilmiş tabakaları istifleme esaslı katmanlama işleminde üretim hızı arttıkça hassasiyet düşer.

d) Yüksek Güç Lazeri

Bu yöntemde odaklanmış bir ışına toz beslemesi yapılarak ışının hemen yanında yarı katı bir havuz oluşturulur. Birçok uygulamada bol toz sağlamak için çoklu toz besleyicileri kullanılır. Akışkan tekniğindeki gelişmeler kullanılarak daha homojen toz dağılımı elde edilmektedir. Lazer ışının pozisyonu sabittir. Tabla hareketleri bilgisayarla istenildiği gibi yapılır (Görsel 3.10).



Görsel 3.10: Lazer metodunda tabla hareketi

Bu yöntemin üstünlüklerinden en önemlisi çoklu toz besleyiciler olmasıdır. Farklı toz parçacıkları karıştırılarak kompozit veya çözünmeyen alaşımlar çok kolay elde edilir. Yüksek soğutma hızları tane boyutunu küçülterek sinterlenmiş parçalarda mümkün olandan daha fazla mukavemet elde edilmesini sağlar. Geleneksel talaşlı imalatla üretimi mümkün olmayan soğutma kanalları bu yöntemle çok rahat üretilebilmektedir.

Lazer sonrası bitirme işlemleri yavaştır. Bir üretim zamanının ortalama %40'ını son yüzey hazırlama işlemleri aldığından lazerle üretilmiş kaba yüzey işlerinin üretiminde tercih edilir. Otomotiv, savunma ve uzay sanayi alanları yanı sıra sınırlı sayıda üretimlerde de tercih edilmektedir.

e) Püskürtmeli Şekillendirme

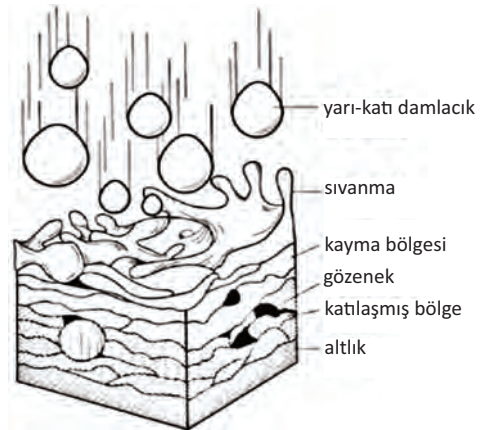
Bir altlık üzerine parçacık veya damlacıkları biriktirme işlemidir. Bu işlemde toz parçacıklarından bir kaplama şeklinde veya serbest ince duvar ya da katman şeklinde bir kütle oluşturulur. Püskürtme biriktirme işlemi, yapılması planlanan şeklin sıcak ve parçacıkların da yarı katı olduğu sırada altlığa en iyi yapışma sağlanarak parça elde edilmesidir. Gelen parçacıklar sıçrama, damlacıklar da sıvı fışkırması şeklinde ise karışım ergiyik hâlde demektir. Bu durum verimi düşürür. Altlığa gelen parçacıklar katı ise altlığa değdiği an parçada yapışmadan geriye doğru çekmeler görülür. Altlığa gönderilen parçacıklardaki sıvı hacimsel olarak %30-%50 arasında ise işlem en verimli şekilde gerçekleşir.

Püskürtme işlemindeki en önemli aşama çarpma sırasında yarı katı parçacıklar oluşturacak şekilde püskürtmenin ayarlanmasıdır. Bu işlem için kullanılan uçlara göre iki çeşidi şunlardır:

1. Çarpma anında ergiyik (ısı püskürtme) hâldeki birikintiler
2. Çarpma anında katı (soğuk püskürtme) hâldeki birikintiler

Elektrotlar arasındaki potansiyel farkı plazma oluşturur. Oluşturulan gaz 5000°C'nin üzerindedir. Bu sıcaklık üst sınırı teorik olarak 30.000 °C dir. Elektrotlar arasında akan yüksek hızlı gaz arkın çarpılmasını ve içerisinde olan toz parçacıklarının da taşınmasını sağlar.

Plazma arkındaki geçiş sırasında parçacıklar ergiyerek bir altlığa yarı katı damlacıklar hâlde birikir. Altlığa ulaşan damlacıklar Görsel 3.11'de gösterildiği gibi altlığa sıvanarak katmanlı yapı oluşturur. Eğer damlacıklar uçuş sırasında katlaşır veya parçacıklar alev içinde ergimezse altlığa çarpma sırasında geri sıçar. Çoğu zaman 40 µm ile 80 µm arasındaki parçacıklar plazma püskürtme için uygundur.

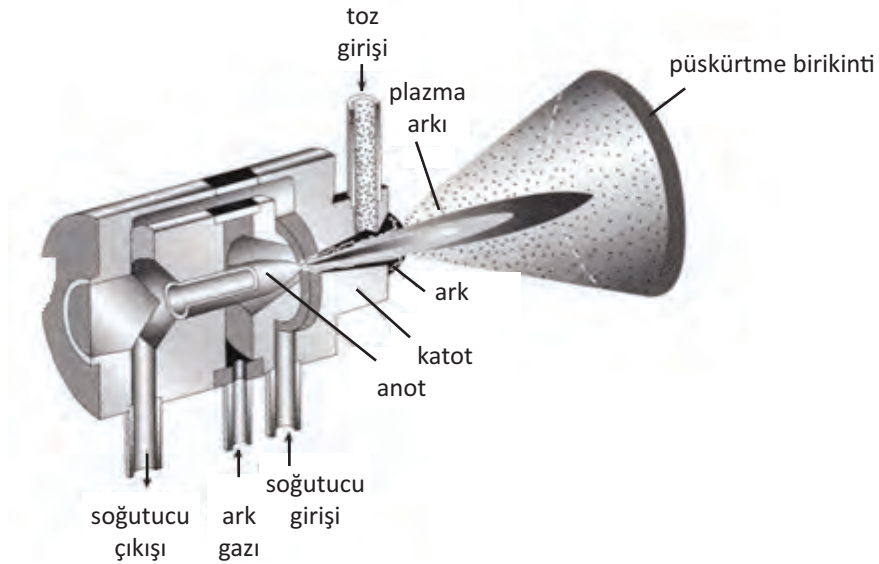


Görsel 3.11: Püskürtme plazma metodunda elde edilen damlacıkların altlığa sıvanma anı

Püskürtme işlemi atmosfer basıncında yapılıyorsa biriktirilen kütlenin teorik yoğunluğa oranı %85 kadardır. Püskürtme işlemi vakum ortamında yapıldığında teorik yoğunluğun %99' una ulaşılabilir.

Biriktirilmiş bir mikro yapı örneği Görsel 3.12'de gösterilmiştir. Örnekte, nikel ve alümina tozları karışımı birlikte püskürtülmüştür. Bu özel mikro yapı özellikleri diğer üretim teknikleri ile elde edilemeyen bileşimlerin elde edilmesini sağlar. Püskürtme teknolojileri jet motorları, güç türbinleri, korozyon ve aşınmaya dirençli uygulamalar için oldukça kullanışlıdır.

Yarı-katı püskürtme ile ergiyik metal atomizasyonundan oluşan damlacıklar, nozula yakın bir yere yerleştirilmiş olan altlık üzerinde biriktirilmesi ile sağlanır. Bir çeşidi asal gaz atomizasyonu ünitesi ile çalışırken bir diğeri toz besleyicisi yerine ergiyik metal potası bulunan ısıtılmış püskürtme gibidir (Görsel 3.12). Püskürtme altlık üzerine sıvanarak biriktirilmektedir.



Görsel 3.12: Püskürtme plazma motodu

Biriktirme sonunda soğuk altlık ısıyı hızla çeker. İyi şartlarda püskürtme yapıldığında, biriken kütle döküm veya dövmede mümkün olandan daha homojendir. Seramik takviye fazları püskürtme alevine ilave edilerek kompozitler oluşturulabilir. Bazı durumlarda ürün doğrudan kullanım için yeterince yoğunluğa sahipken diğer durumlarda sıcak dövme, ekstrüzyon ya da başka işlem gerektirebilir.

f) Diğer Birleştirilmiş Cisimler

Katmanlama teknolojilerine benzer şekilde, üç boyutlu basit parçalar (dikdörtgen, kare ve silindir) karmaşık gövdeler yapmak için birleştirilir ya da istiflenir. Montaj için klasik yol parçaları sinterlemeden sonra birleştirilmektedir. Diğer yandan ham parçaları sinterleme öncesi birleştirmek mümkündür.

Bu şekildeki ham montajın yapıldığı üç yaklaşım şunlardır:

1. İlk parçayı kalıplamak ve bu ilk parçayı ikinci parçanın kalıplanmasında ek parça olarak kullanmak.
2. Sırasıyla iki besleme stokunu bir kalıp boşluğuna kalıplamak.
3. Bağlayıcı giderme ve sinterleme işleminden önce iki ayrı kalıplanmış parçayı ham hâlde montajlamak.

Basit ham montaj yaklaşımında iki parça aynı malzemeden presleme veya toz enjeksiyon kalıplama ile üretilir. Bunlar az miktarda bağlayıcı veya çözücü kullanılarak birbirine yapıştırılır ve sinterlenir. Her iki parça aynı malzemeden üretildiğinde sinterlemedeki uygun boyutsal değişim sayesinde sağlam bağ oluşur.

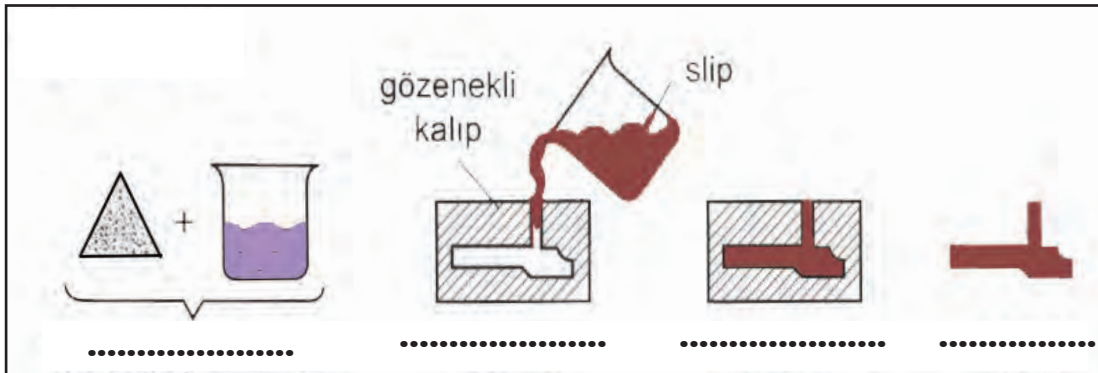
Parçalar farklı malzemelerden üretildiğinde ara yüzey kusurlarından kaçınmak için parçacık boyutu, ısıtma hızı ve diğer faktörlerin ayarlanması gerekir.

Pahalı olan malzeme sadece gerektiği yerde kullanıldığı için iki malzemeden oluşturulan parçalarda maliyette azalma vardır. Örneğin bir matkap ucunun uç kısmı kesmeyi sağlarken sap sadece güç aktarır. Tüm matkap ucunu sert metalden yapmak yerine ucu WC-Co'dan ve sapı çelikten yapmak daha ucuzdur. Birleştirme kalıplamadan sonra fakat sinterlemeden önce yapıldığı için işlem ham montaj olarak adlandırılır.



ETKİNLİK

Aşağıda slip (sıyırma) döküm işleminin şematik gösterimi verilen görsel içinde boş bırakılan (.....) kısımlara uygun ifadeleri yazınız.





ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 1. Toz metalürjisi ile üretimi düşünülen parçaların kalıplarda preslenmiş yaş biriketlerine dayanım kazandırmak amacıyla belirli atmosfer koşulları ve yüksek sıcaklıkta uygulanan pişirme işlemine ne denir?**
 - A) Ergitme
 - B) Kalıplama
 - C) Kaplama
 - D) Montaj
 - E) Sinterleme
- 2. Aşağıdakilerden hangisi toz metalürjisi ile parça üretiminde dört temel şekillendirme sınıflandırmasından biri değildir?**
 - A) Düşük basınç etkisi ile paçacıkların bağlanması
 - B) Gözeneklerin sulu çamurda bağlayıcılar ile doldurulduğu yöntemler
 - C) Yüksek basınç etkisi ile paçacıkların bağlanması ve ham kütlenin oluşturulması
 - D) Basınç ve sıcaklığın aynı anda uygulanmasıyla tozların sıkıştırılması
 - E) Serbest şekillendirme teknikleri veya sinterleme ile şekillendirme
- 3. Toz metalürjisi alanında üretimi düşünülen parçadan yılda en az kaç adet ve üzeri üretim planlandığında kalıpta sıkıştırma, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemleri tercih edilir?**
 - A) 1
 - B) 10
 - C) 100
 - D) 1.000
 - E) 10.000

4. "Toz karışım, bant üzerinde duran bir sıyırıcı yardımıyla aynı kalınlıkta dağıtılır. Daha sonra dağılım (dispersiyon) sıvısı kontrollü bir şekilde buharlaştırılarak veya sinterleme işlemi uygulanarak parça elde edilir."

Toz metalürjisi ile parça üretimde en çok tercih edilen şekillendirme metotlarından hangisi sulu çamur tekniği yöntemidir?

- A) Enjeksiyon kalıplama
 B) İzostatik presleme
 C) Slip (sıyırma) döküm
 D) Şerit döküm
 E) Tek eksenli presleme
5. Toz metalürjisi ile üretimi düşünülen cismin her bir diliminde serbest toz-polimer karışımı lazer ile ısıtılır. Lazer ışını gönderilmeyen alanlardaki tozlar ise yapışmamış hâlde serbest kalır. Daha sonra cisme bir sonraki dilime denk gelen toz tabakası serilir ve lazer yeni tabakayı aynı şekilde bağlar.

Birbiri ardına yapılan tabakalarla cisme son şekli verilerek istenilen parça üretimine ne ad verilir?

- A) Enjeksiyon kalıplama
 B) İstiflenmiş tabakalar
 C) Katman birleştirme
 D) Kokil döküm
 E) Lazer
6. Termoplastik polimer toz karışımından iki boyutlu tabaka oluşturmada kullanılan bir başka yoldur. Şırınga benzeri ve çapı 0,12 mm'den küçük çaplı nozul hareket ettikçe üç boyutlu cismi oluşturacak olan polimer-toz kütlelerini istenilen yerlere biriktirir. Bir destek malzemesi boşlukları geçici olarak doldurmak için kullanılır. Bu işlem dirsek, askı ve diğer geometrik şekiller için gereklidir. Besleme stoğu enjeksiyon kalıplamada kullanılanlara benzer.

Bağlayıcı giderme ve sinterleme çevrimleri de toz enjeksiyon kalıplama ile aynı olan bu metod aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Ekstrüzyon
 B) Kalıpta sıkıştırma
 C) Metal döküm
 D) Montaj birleştirme
 E) Yüksek güç lazer



4

ÖĞRENME BİRİMİ

ÜRÜNÜN KONTROLÜ VE ÜRETİM HATALARI

KONULAR

- 4.1. ÜRETİM HATALARI
- 4.2. BİTİRME İŞLEMLERİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Üretim hataları ve bitirme işlemleri



TEMEL KAVRAMLAR

boyutlandırma, çapak, gerilme giderme, ısıtma işlemi, karbürleme, lazer damgalama, monevleme, nitürleme, tavlama



HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Sınıfınızda her gün kullandığınız sıraları dikkatli inceleyiniz. Sıralarda gördüğünüz farklılıkları arkadaşlarınızla paylaşınız.



4.1. ÜRETİM HATALARI

Alınan tüm önlemlere rağmen sinterlenmiş parçalarda bile kusurlu parçalar olabilir. Bu kusurlu parçalar kullanılacağı yerlerde çok ciddi hasarlara yol açabilir (Görsel 4.1).



Görsel 4.1: Toz metalürjisi uygulamaları ile üretilen ürün çeşitleri

Görünmeyen ham çatlaklar sinterlemeden sonra mikroskop altında çok rahat tespit edilebilir (Görsel 4.2). Parçalardaki bu hatalar ayrıca ultrasonik ve radyolojik kontroller yapılarak da bulunabilir. Toz metalürjisi ile üretim yapılan parçalarda önlem alınmadığında sıklıkla görülen hatalar, çatlak ve gerilmelerdir. Kalıp ile kalıp arasında sıkıştırılarak elde edilen parça arasında yüksek düzeyde sürtünme meydana gelir.



Görsel 4.2: Optik mikroskop

Parçanın kalıptan çıkarılması sırasında da ciddi miktarda sürtünme oluşur. Bu işlemlerin olduğu sırada ham parçanın dayanımı düşük, buna karşın çıkartma gerilmeleri ise yüksektir. Üretilen parçadaki çatlağın sebebi kalıp ya da kalıp hareketleri olabilir.

Çok kademeli parçalarda her kademeye aynı basınç uygulanacak şekilde toz taşınmalıdır. Eğer kalıp hareketleri uygun bir sırada olmazsa parçanın bir bölgesi daha önce sıkıştırılmış olacağından üretilen parça yüzeylerinde çatlak oluşur. Bunun karşıtı olarak pres eksenine dik oluşan çatlaklar genellikle çıkartma sırasında oluşur. Diğer bir problemse uzun kalıp parçalarında oluşan gerilmelerdir. Kalıptaki gerilmeler, kalıp boyu ile orantılıdır. Uzun kalıp elemanlarında, kısa kalıp elemanlarına göre daha fazla gerilme olur ve bu da sıkıştırma çevriminin sonunda gerilme kaynağı olabilir.

Genel olarak ham çatlak ve gerilmelere sebep olan üç sebep şunlardır:

1. Genellikle aşınmadan kaynaklanan kalıp yüzey bozuklukları
2. Uygun olmayan kalıp hareketleri
3. Çıkartma sırasında oluşan çekme gerilmeleri

Toz metalürjisi ile parça oluşturmak için yüksek sıkıştırma basınçları kullanılır. Bu basınç uygulamasının hızlı ve kısa sürede olması çok iyi sonuçlar verir. Basınçlara dayanabilecek özel kalıplar gereklidir. Parça içinde kirlilik olmaması için tozun temiz olması gerekir. Kalıp parçalarının eğilmemesi için kalıp boyları mümkün olduğunca kısa tutulur. Kalıp parçaları sert malzemelerden yapılır. İşlenmesi zor olmasına rağmen sert metaller bu basınçları taşıyabilir. Bu zorlamaları aza indirmek için ılık sıkıştırma adı verilen, tozun ve kalıbın sıkıştırma tekniği kullanılabilir. Bu işlemdeki ısıtma ile sıkıştırma tekniği, ısıyla polimerlerin parçacıkları birbirlerine yapıştırması esasına dayanır. Tek darbeli bir sıkıştırmada enerji ve üst basınç birbirleriyle çok yakından ilişkilidir. Yoğunluk hiçbir zaman %100'ü aşamayacağı için sıkıştırma ile ulaşılabilecek yoğunluğun bir sınırı vardır. Soğuk izostatik presleme, kademeli ve karmaşık şekilli parçalar veya boy-çap oranının büyük olduğu parçalar için tercih edilir. Bu toz-kalıp birleşimi yağ veya su gibi bir sıvının olduğu kabın içinde sıkıştırılır. Genellikle yağlayıcılar kullanılmaz. Bununla beraber sert metallerin ham yoğunluğunu artırmak için bazı parafinler ilave edilebilir. 1400 MPa'ya kadar sıkıştırma basınçları mümkün olmasına rağmen genellikle 420 MPa altındaki basınçlar kullanılır.

Esnek kalıp, oda sıcaklığında lastik, lateks, poliüretan veya polisilikondan yapılır. Bunların seçilmesinin sebebi bir kalıpta daldırma veya dökümle kolaylıkla üretilebilmeleridir. Eğer kalıp yumuşak ise sıkıştırma sırasında parçacıklar arasındaki gözeneklere girme riski vardır. Bu nedenle sert ve dayanıklı polimerlerin kullanılması yaygındır. Lastik kalıplar karmaşık şekilli olabilir fakat toz yoğunlaşmasını karşılayacak şekilde büyük olmalıdır. Genellikle tozun dolumu sırasında kalıbın şeklini kaybetmesini önleyebilmek için kalıp dışarıdan desteklenmelidir. Bazı durumlarda ise sıkıştırmadan önce kalıbın içindeki hava boşaltılır. Islak ve kuru kalıplama olmak üzere iki tip soğuk izostatik presleme tekniği vardır. Kuru kalıplama yöntemi seri üretimlerde kullanılır. Esnek kalıp basınç haznesi içine monte edilmiştir. Esnek kalıp şekil değiştirir fakat hazneden dışarı çıkarılmaz. İki uçtaki tapalar vasıtasıyla toz doldurulur ve parça esnek kalıptan çıkartılır.

İzostatik presleme; büyük, uzun, ince veya kalıpta sıkıştırma yöntemiyle homojen olarak yapılamayacak parçaların üretiminde kullanılır. İzostatik presleme, kalıp yüzeyi sürtünmesi olmadığı için kalıpta sıkıştırma yöntemine göre biraz daha fazla yoğunluk verir. İzostatik preslenmiş parçalarda yoğunluk daha küçük olduğu için büyük sinterleme daralmaları sırasında çarpılma olmaz. Bu nedenle sert metaller, kalıp çelikleri, paslanmaz çelikler ve birçok seramik malzeme büyük parçaların şekillendirilmesinde kullanılır.



ETKİNLİK

Aşağıdaki cümlelerin başındaki boşluklara cümle doğru ise (D), yanlış ise (Y) yazınız.

1. (...) Toz metalürjisi ile üretim yapılan parçalarda önlem alınmadığında sıklıkla görülen hatalar, çatlak ve gerilmelerdir.
2. (...) Üretilen parçadaki çatlağın sebebi kalıp ya da kalıp hareketleri olabilir.
3. (...) Kalıptaki gerilmeler, kalıp boyu ile orantılıdır. Uzun kalıp elemanlarında, kısa kalıp elemanlarına göre daha az gerilme olur.

4.2. BİTİRME İŞLEMLERİ

Toz metalürjisi ile üretimi yapılan parçalardan beklenen özellikleri sağlamak için genellikle ek işlemlerin yapılması gerekir. Toz, preslenip sinterlendikten sonra ürünün son şeklini alması için ek işlemler gerekebilir. Toz metalürjisi ile üretilen parçalara uygulanan başlıca bitirme işlemleri ve amaçları genel olarak şunlardır:

a) Yeniden Sıkıştırma

Yeniden düzenleme işlemidir. Ana şekil değişiklikleri olmadan son boyutları ve yoğunluğu ayarlamak için yapılır. Sinterlenmiş parça, kapalı bir kalıp içine yerleştirilir. Presleme basıncı ilk sıkıştırma basıncından fazladır.

b) Boyutlandırma

Üretim basamaklarını artırmasına rağmen oldukça yüksek doğrulukta son boyutlara ve düzgün yüzeylere ulaşmak için kullanılan etkili bir yoldur. Ürünün son boyutlarını ayarlamak için kullanılır. Boyut özellikleri ile uyumlu burç yaparken veya hassas bir delik çapı elde etmek için yaygın olarak kullanılır.

c) Talaşlı İmalat ve Taşlama

Toz metalürjisi süreçleri esnasında delik delme, vida açma, çapak alma, kaba yüzeyleri düzeltme gibi işlemlerin yapılması zordur. Sinterleme sonrası taşlama veya talaşlı imalat ile boyut sapması azaltılır ve yüzey kalitesi iyileştirilir. Bu yüzey düzeltme işlemleri yüksek hız ile talaş kaldırılarak gerçekleştirilir.

ç) Damgalama

Günümüzde lazerle markalama tercih edilmekte ve daha yaygın kullanılmaktadır. Damgalama sinterlenmiş taslak parçada yüzey baskıları oluşturulmasıdır. Sinterlenmiş malzemelerin damgalanabilmesi için sahip olması gereken üç özellik şunlardır:

- Sinterlenmiş malzeme sünek olmalıdır.
- Takım yağlanmalı ve hassas şekilde ayarlanmalıdır.
- Parça gözenekli olmalıdır.

d) Isıl İşlem

Toz metalürjisi ile üretilen parçalara uygulanan başlıca ısıl işlemler şunlardır:

- Tavlama
- Karbürleme
- Nitrürleme
- Gerilme giderme
- Menevişleme
- Çökelme sertleşmesi

Sinterleme işleminden sonra üretimi yapılan parçadaki mikro yapıyı ve alaşım elementlerinin dağılımını düzenleme amacıyla ısıl işlemler uygulanır.

e) Birleştirme ve Montaj

Toz metalürjisi ile üretim sırasında özel bir montaj seçeneğiyle ham parçaların birleştirilmesidir. Sinterleme yapılırken ham parçaların difüzyon ile birbirine bağlanması sağlanır. Ancak bu durum bazı parçalarda çarpılma riski ortaya çıkarabilir. Sinterleme ile birleştirme işlemine uygun olmayan parçaların birleştirme işlemlerinde genel olarak kullanılan teknikler şunlardır:

- Yapıştırma
- Ark kaynağı
- Difüzyon kaynağı
- Sert lehim
- Sıkı geçme

f) Parlatma

Toz metalürjisi ile üretilen parçaların keskin kenarları ve yüzeydeki düzensizliklerini gidermek için kullanılır. Tamburlama ve titreşim işlemi ile gerçekleştirilir (Görsel 4.3).



Görsel 4.3: Tamburlama ile parlatma işlemi

g) Kaplama ve Yüzey İşlemleri

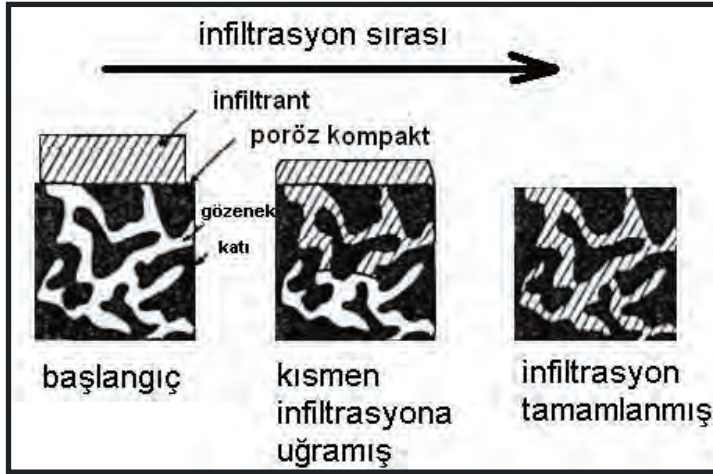
Toz metalürjisi ile üretimi yapılan parçaların yüzey özelliklerini daha da iyileştirmek için uygulanan işlemlerdir. Elektro kaplama (korozyona karşı Cr, Ni kaplama gibi) ve kesici takımlara yapılan buhar birikimli kaplama (PVD, CVD) yöntemleri kaplama yöntemlerinin en çok kullanılanlarıdır. En çok bilinen kaplama, kesici takımlar üzerinde uygulanan altın renkli, kararlı titanyum nitrid fiziksel buhar birikimi işlemidir.

ğ) Emdirme ve İnfiltrasyon

Üretimi yapılan parçada bulunan gözenekleri kapatma teknikleridir. Emdirme işleminde bir polimer kullanılır. Emdirme işlemi, parçayı hafif ısıttıktan sonra boşaltılmış gözeneklere reçinenin doldurulması ile gerçekleştirilen bir işlemdir. Isı, akışkan viskozitesini düşürerek akışkanın daha derin gözeneklere girebilmesini sağlar.

İnfiltrasyon, ergime sıcaklığı ana metalin sinterleme sıcaklığından düşük olan ve sızması istenen malzemenin parçadaki gözeneklerin içine girmesi işlemidir. İnfiltrasyon işlemi genellikle sinterlemeden sonra ayrı bir işlem olarak yapılır. Bazı durumlarda sinterleme ve infiltrasyon birlikte yapılabilir. İnfiltrasyon işlemi, parçaları sızdırmaz yapar.

Üretimi yapılan parçanın mekanik özelliklerine olumlu yönde etki eder (Görsel 4.4).



Görsel 4.4: İnfiltrasyon işlemi

h) Perdahlama

Perdahlama boyutları düzeltmek ve özellikle de deliklerde kullanılır. Bu işlem dişli çarklarda yuvarlanma temaslı yorulma ömrünü iyileştirme için de kullanılır. Bu sayede %40 yük artışına imkân tanır.

ı) Lazer Sırlama

Üretimi yapılan parçanın korozyon dayanımını iyileştirmek için kullanılan bir diğer yüzey işlemidir. Lazer ışını, alaşımı bölgesel ısıtmak için parça yüzeyine uygulanır. Ergiyik yüzeyi altındaki malzeme kütlesi ısıtılmadığından, ergiyik hızlı bir şekilde soğur ve yüzey sırası oluşur. Bazı durumlarda, soğutma işlemi amorf kaplama oluşturacak kadar hızlıdır.



ETKİNLİK

Aşağıda verilen soruların cevaplarını altlarındaki boşluklara yazınız.

1. Toz metalürjisi ile üretilen parçalara uygulanan başlıca bitirme işlemleri nelerdir? İsimlerini yazınız.

.....
.....
.....
.....
.....

2. Sinterlenmiş malzemelerin damgalanabilmesi için sahip olması gereken üç özellik nedir? Yazınız.

.....
.....
.....
.....
.....

3. Toz metalürjisi ile üretilen parçalara uygulanan başlıca ısı işlemler nelerdir? İsimlerini yazınız.

.....
.....
.....
.....
.....

4. Sinterleme ile birleştirme işlemine uygun olmayan parçaların birleştirme işlemlerinde genel olarak kullanılan teknikler nelerdir? İsimlerini yazınız.

.....
.....
.....
.....
.....

5. Emdirme ve infiltrasyon nedir? Kısaca açıklayınız.

.....
.....
.....
.....
.....



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 1. Toz metalürjisi ile üretilen parçalarda görünmeyen ham çatlaklar sinterlemeden sonra hangi cihaz ile tespit edilebilir?**
 - A) Desibelmetre
 - B) Kilometre
 - C) Mikroskop
 - D) Pozometre
 - E) Teleskop
- 2. Aşağıdakilerden hangisi parçada ham çatlak ve gerilme durumlarının sebeplerinden biridir?**
 - A) Kalıplardan parçayı çıkartma
 - B) Kalıpların ısıtılması
 - C) Talaşlı imalat
 - D) Toz bağlayıcıları
 - E) Toz çeşitleri hazırlama
- 3. Yeniden düzenleme işlemidir. Ana şekil değişiklikleri olmadan son boyutları ve yoğunluğu ayarlamak için yapılır. Sinterlenmiş parça, kapalı bir kalıp içine yerleştirilir. Presleme basıncı ilk sıkıştırma basıncından fazladır.**

Buna göre toz metalürjisi ile üretilen parçalara uygulanan bitirme işlemi aşağıdakilerden hangisidir?

 - A) Bitirme ve montaj
 - B) Boyutlandırma
 - C) Isıl işlem
 - D) Talaşlı imalat ve taşlama
 - E) Yeniden şekillendirme

CEVAP ANAHTARI

1.

1. E

2. C

3. A

4. D

5. B

ÖĞRENME BİRİMİ

2.

1. C

2. B

3. B

4. C

5. B

ÖĞRENME BİRİMİ

3.

1. E

2. A

3. E

4. D

5. B

ÖĞRENME BİRİMİ

6. A

7. A

8. B

4.

1. C

2. A

3. E

4. A

5. C

ÖĞRENME BİRİMİ

KAYNAKÇA

KAYNAKÇA

- Anık. S. , Dikiciođlu A. ve Vural M. (2016). *İmal Usulleri*, İstanbul: Birsen Yayınları.
- Aran. A . (1989). *Metal Döküm Teknolojisi*, İstanbul: Birsen Yayınları.
- MEB, Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, Metalürji Teknolojisi Alanı Çerçeve Öğretim Programı, Ankara,2020
- Metalürji Alanı Meslek Teknolojisi Çerçeve Öğretim Programı (Ders Bilgi Formu), 2020. Ankara.
- Yazım Kılavuzu, (2022). Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları.

GÖRSEL KAYNAKÇASI

Ders materyalinde kullanılan görsellerin kaynaklarının sıralandığı kaynakçaya ulaşmak için karekodu okutunuz.

<http://kitap.eba.gov.tr/karekod/Kaynak.php?KOD=2394>



(Kaynakça, APA 6 yazım kurallarına göre oluşturulmuştur.)

