DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATOMİZASYON YÖNTEMİYLE TOZ METAL ÜRETİMİ VE TOZLARIN KARAKTERİZASYONU

İrem Şebnem AKPINAR

Şubat,2011

İZMİR

ATOMİZASYON YÖNTEMİYLE TOZ METAL ÜRETİMİ VE TOZLARIN KARAKTERİZASYONU

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

İrem Şebnem AKPINAR

Şubat,2011

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

İREM ŞEBNEM AKPINAR, tarafından **PROF.DR. KAZIM ÖNEL** yönetiminde hazırlanan **"ATOMİZASYON YÖNTEMİYLE TOZ METAL ÜRETİMİ VE TOZLARIN KARAKTERİZASYONU"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Prof. Dr. Kazım ÖNEL

Danışman

.....

Jüri Üyesi

.....

Jüri Üyesi

.....

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

"Atomizasyon yöntemiyle toz metal üretimi ve tozların karakterizasyonu" konulu tezimin hazırlanmasında her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr. Kazım ÖNEL'e, SENTES-BİR A.Ş. Ortakları Sn.Seyit GÜRBÜZ ve Sn.Mülayim TUNÇELLİ'ye ve en çok, annem Buket AKPINAR ve artık hayatta olmasa da beni bugünlere getiren canım babam Halil AKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez Sanayi Bakanlığı SAN-TEZ 00154.STZ.2007-2 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

İrem Şebnem AKPINAR

ATOMİZASYON YÖNTEMİYLE TOZ METAL ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZ

Bu çalışmada, metal tozu üretim yöntemlerinden atomizasyon yöntemleri araştırılmış, gaz ve su atomize yöntemleri incelenmiştir. Gaz atomizasyon yöntemi metal tozu üretiminde kullanılan tekniklerden biridir. Bu yöntemle metal tozu üretiminde nozul, gaz jetinin akışını kontrol ederek, istenilen özelliklerde tozun üretilmesini sağlar. Nozullar, serbest düşmeli ve yakından eşlemeli olmak üzere iki tip olarak tasarlanmaktadır. Gaz atomizasyon yöntemi ile metal tozu üretiminde nozul tipi toz boyutu ve dağılımını ve tozların şeklini birinci derecede etkilediği için son derece önemlidir. Su atomizasyon yönteminde su basıncı ve su jetlerinin geometrisi toz boyut ve şeklinde oldukça önemlidir. Altı tip su jeti modeli bulunmaktadır. Her iki yöntemde de bu parametrelerin etkisi toz karakterizasyon yöntemleriyle gözlemlenebilir.

Anahtar Kelimeler: Atomizasyon, gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, metal tozu.

PRODUCTION OF METALLIC POWDERS BY ATOMIZATION AND CHARACTERIZATION OF THE POWDERS

ABSTRACT

In this study, Atomization ,which is a technique of produce metal powders,is searched, gas and water atomization are investigated. Gas atomization is one of the techniques used in metal powder production. In this technique, nozzle produces the metal powder with desired features by controlling the gas flow. Nozzles are, generally designed in two types: free fall and closed couple. On the metal powder production by gas atomization, nozzle type is very important because of effecting the particle size, distribution and shape.In water atomization, water pressure and water jet geometry are very important for powder's shape and size.There are six water jet models.In both of these techniques ,effects of these parameters are observed with techniques of metal powder characterization.

Keywords: Atomization, gas atomization, water atomization,metal powders.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii

TEŞEKKÜR iii

ÖZ iv

ABSTRACT v

BÖLÜM BİR-GİRİŞ 1

1.1 Toz Metalurjisi 1

1.2 Toz Üretim Teknikleri 4

1.2.1 Öğütme 4

1.2.2 Elektroliz 5

1.2.3 Kimyasal İndirgeme 5

1.2.4 Atomizasyon 6

1.2.5 Diğer Üretim Yöntemleri 7

1.3 Atomizasyon Yöntemleri 8

1.3.1 Döner Disk Atomizasyonu 9

1.3.2 Döner Elektrot Yöntemi 10

1.3.3 Vakum Atomizasyonu 11

BÖLÜM İKİ- GAZ VE SU ATOMİZASYON YÖNTEMLERİ 12

2.1 Gaz Atomizasyonu 12

2.1.1 Gaz Atomizasyon Üniteleri 13

2.1.2 Atomizasyon Mekanizmaları 15

2.1.3 Atomizasyon Sistemleri 18

2.1.4 Nozul Çeşitleri 20

2.1.5 Negatif Basınç Oluşumu 24

2.1.6 Geçiş Bölgesinin Gaz Atomizasyonuna Etkisi 25

2.1.7 Geri Basınç Oluşumu 26

2.2 Su Atomizasyonu 27

BÖLÜM ÜÇ–DENEYSEL ÇALIŞMALAR …….…….……30

3.1 Su Atomizasyonunda Su Basıncı ve Aşırı Isıtmanın Etkisi 30

3.2 Gaz Atomizasyonunda Gaz Basıncı ve Aşırı Isıtmanın Etkisi 32

3.3 Atomizasyon Yöntemleri ile Üretilen Tozların Karakterizasyon metotları 39

3.3.1 Tozların tane şekillerinin incelenmesi 39

3.3.2 Tane Boyut Dağılımları ve Elek Analizleri 40

3.3.3 Yığın Yoğunluğu ve Akış Hızı Tayini 42

3.3.4 Oksijen ve Azot Tayini 44

3.4 Gaz Atomizasyonu Ünitesi 44

3.4.1 Gaz Sistemi 45

3.4.2 Isıtma ve Ergitme 45

3.4.3 Atomizasyon Kulesi 45

3.4.4 Siklon 46

3.4.5 Nozul 47

3.5 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar 48

3.5.1 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Nikel Tozlarında Yapılan Çalışmalar 48

3.5.2 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Bronz Tozlarında Yapılan Çalışmalar ... 49

3.5.3 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Bakır Tozlarında Yapılan Çalışmalar 49

3.6 Su Atomizasyonu Ünitesi 50

3.6.1 Basınçlı Su Sistemi 51

3.6.2 Isıtma ve Ergitme 51

3.6.3 Atomizasyon Kulesi 52

3.6.4 Nozul 52

3.6.5 Toz Çöktürme Ünitesi 52

3.6.6 Kurutma Ünitesi 53

3.7 Su Atomizasyonu Yöntemi ile Yapılan Çalışmalar 53

3.7.1 Su Atomizasyonu Yöntemi ile Bronz Tozlarında Yapılan Çalışmalar 53

3.7.2 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile 316L Tozlarında Yapılan Çalışmalar 54

BÖLÜM DÖRT- DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME.....……..... …. 56

4.1 Gaz Atomizasyonunda Farklı Gaz Basınçlarında Toz Özelliklerinin İrdelenmesi 56

4.1.1 Nikel Tozlarına Farklı Basınçların Etkisi ..... .56

4.1.2 Bronz Tozlarına Farklı Basınçların Etkisi 58

4.1.3 Bakır Tozlarına Farklı Basınçların Etkisi 59

4.1.4 Nikel Tozlarına Aşırı Isıtmanın Etkisi..... 60

4.2 Su Atomizasyonunda Farklı Su Basınçlarında Toz Özelliklerinin İrdelenmesi .. 62

4.2.1 Bronz Tozlarına Farklı Su Basınçlarının Etkisi..... 62

4.2.2 316L Paslanmaz Çelik Tozlarına Farklı Su Basınçlarının Etkisi 63

4.2.3 316L Paslanmaz Çelik Tozlarına Aşırı Isıtmanın Etkisi.....65

BÖLÜM BEŞ-DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER.....67

5.1 Değerlendirmeler..... 67

5.2 Öneriler 68

KAYNAKLAR ……..…70

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Toz Metalurjisi

Toz Metalurjisi (T/M) modern bir imalat yöntemidir ve ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine çok uygundur. Genelde küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlar. Parçaların özellikleri oldukça dar toleranslarda kontrol edilebilir ve diğer işlemlere yani üretim yöntemlerine göre, örneğin döküm, plastik şekillendirme veya talaşlı imalat gibi, daha az yüzey işlemeye gereksinim duyulan bir imalat biçimidir.

Plastik şekillendirme, ekstrüzyon, enjeksiyon, kaynak, döküm, talaşlı imalat gibi üretim yöntemleri üretim mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan vazgeçilmez yöntemler olmasına rağmen, seri üretimde çok sayıda sınırlı süre içinde belirli boyutlardaki parçaların üretiminde, örneğin otomotiv yan sanayi, çeşitli makine ve aksamları sanayisinde Toz Metalürjisiyle üretilmiş olan parçalar gerek üretim maliyeti ve gerekse fiziksel ve mekaniksel özelliklerin kontrol altında tutulması açısından son 15-20 yıl içinde çok büyük önem kazanmıştır (Lawley,1978).

Bilindiği üzere büyük, hacimli ve belirli geometrilerdeki geleneksel alaşım malzemelerinden oluşan makine aksam ve parçalarının üretiminde döküm yöntemi oldukça ekonomiktir. Ancak seri imalatta parça boyutları küçüldükçe, birim zamandaki üretim sayısı arttıkça ve günümüz teknolojisine hizmet sunmak için geliştirilmiş olan yeni alaşımlarının kullanılması söz konusu olduğunda Toz Metalürjisiyle (T/M) üretim yöntemi döküm ve talaşlı imalat üretim yöntemlerinin önüne geçmektedir (Beddow,1978).

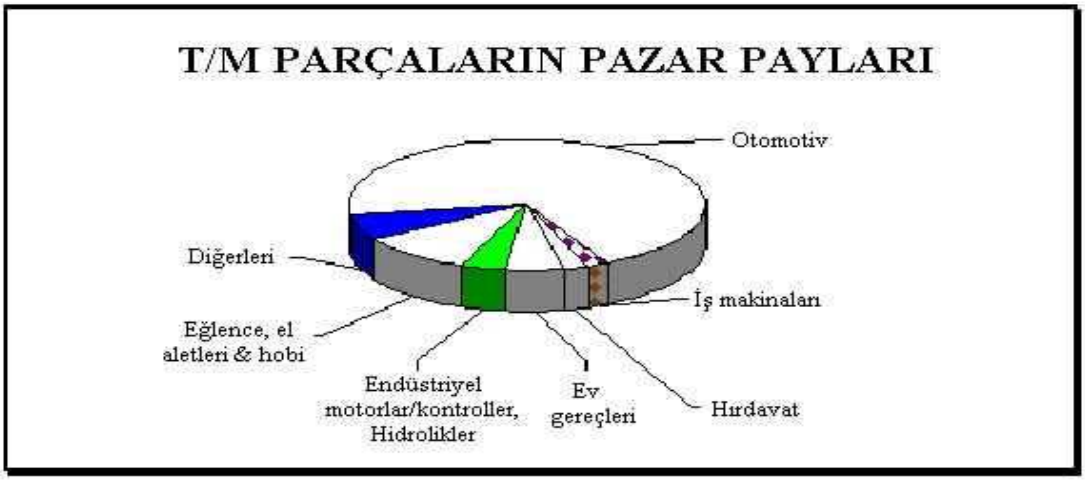
T/M yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı.
2. Yüksek üretim hızları.
3. Düşük maliyet
4. Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi.
5. Karmaşık şekilli parçaların imalatı.
6. Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı.
7. Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi.
8. Metal matriks kompozit ve metal alaşımları üretimi.
9. Üstün mikro yapısal özelliklere sahip parça üretimi.
10. Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik

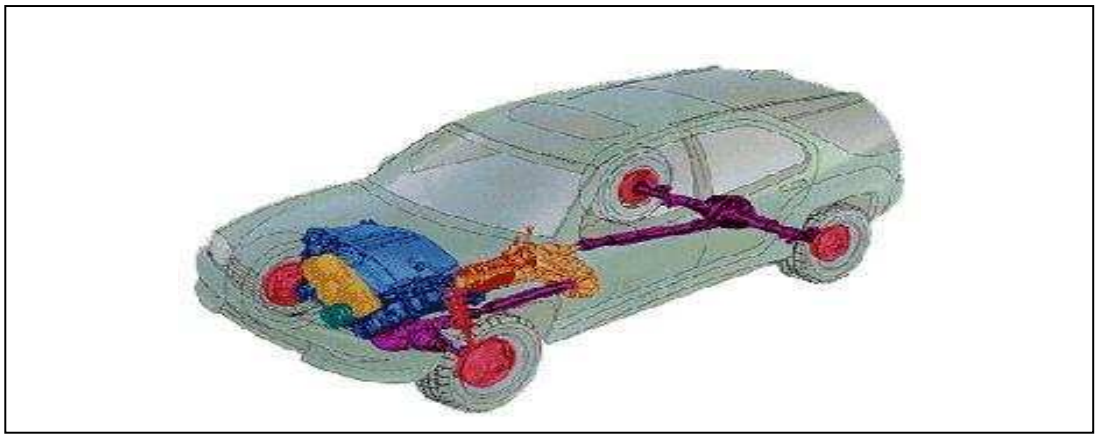
Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır (Kurt,2007).

T/M'nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, yağlamasız yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makinaları parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motor parçaları metal tozlarından üretilen parçalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, zenginleştirilmiş un, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de

kullanılmaktadır. T/M parçaların dünya genelindeki pazar payı aşağıdaki grafikte verilmiştir. Bu pazarın %75'i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar ise 5 kg T/M parçaya sahip olduğu halde, Amerikan arabaları 16 kg'dan daha fazla T/M parça içermektedir (Kurt,2007).



Şekil 1.1 T/M ile üretilen parçaların pazar payları(Sarıtaş,1994)



Şekil 1.2 Bir araba içindeki T/M parçaların dağılımı(Sarıtaş,1994)

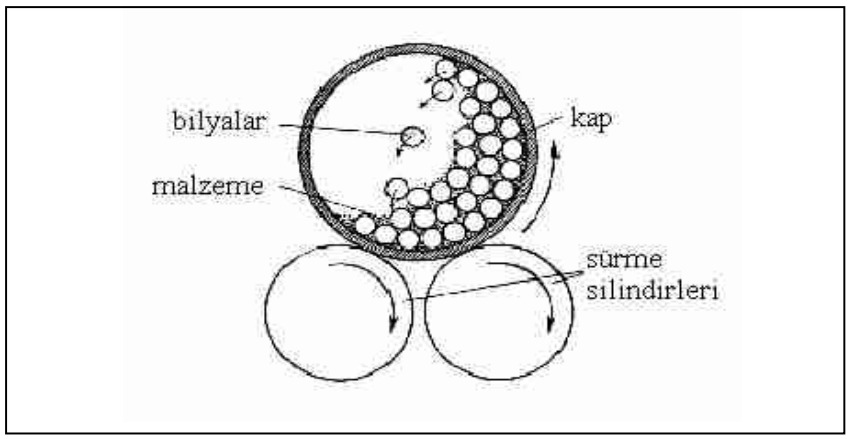
1.2 Toz Üretim Teknikleri

Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler, tozların birçok özelliklerini tayin eder. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, karmaşık şekle kadar çok farklı olabilmektedir. Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir. Birçok toz üretim tekniği arasından, ticari olarak şu teknikler kullanılmaktadır.

a. Mekanik yöntemler(Öğütme)
b. Kimyasal yöntemler
c. Elektroliz yöntemi
d. Atomizasyon yöntemleri(Sarıtaş,1994)

1.2.1 Öğütme

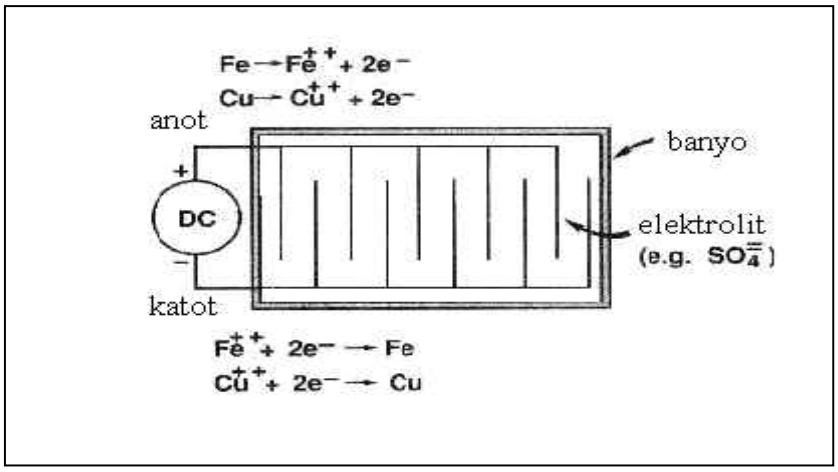
Metaller arası bileşikler, demir alaşımları, demir-krom, demir-silisyum vb. gibi kırılgan malzemeler mekanik olarak bilyalı değirmenlerde öğütülürler. Fakat öğütme işlemi birçok sünek metal için uygun değildir; çünkü bu metaller kolayca kırılmazlar. Sünek tanecikler kırılma yerine birbirleri ile soğuk olarak kaynaklanır ve daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüzde öğütme işlemi alüminyum gibi sünek metallerden pul toz üretiminde de kullanılır. Bu durumda, soğuk kaynaklanmayı ve yapışmayı engellemek için yağlayıcılar kullanılır (Sarıtaş,1994).



Şekil 1.4 Öğütme yöntemi (http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html, 2008)

1.2.2 Elektroliz

Elektrolitin kimyasal bileşimi ve mukavemeti, sıcaklık, akım yoğunluğu gibi şartları uygunca seçerek, birçok metal sünger veya toz durumunda katot üzerinde biriktirilebilir. Daha sonraki işlemler olarak, yıkama, kurutma, indirgeme, tavlama ve öğütme gerekli olabilir. Bu yöntemle üretilen metallerin başında bakır gelir, aynı zamanda krom ve magnezyum da bu yöntemle üretilebilir. Elektrolitik tozlar çok saftırlar (Ensümer,1970).



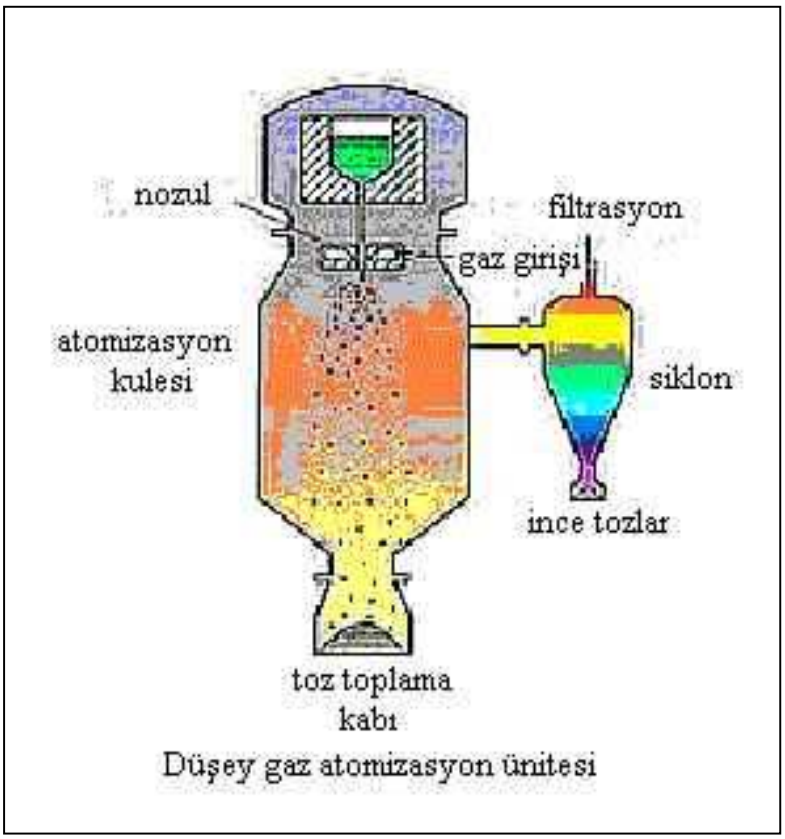
Şekil 1.5 Elektroliz Yöntemi(Baksan,2003)

1.2.3 Kimyasal İndirgeme

Demir tozlarının üretiminde bu metot çok kullanılmaktadır. Bu yöntemde seçilen cevher öğütülür, kokla karıştırılır, karışım indirgemenin oluştuğu sürekli fırından geçirilir ve kek şeklinde sünger demir elde edilir. Sünger demir daha sonra öğütülür, metalik olmayan malzemelerden ayrılır ve elenir. Tozların saflığı ham malzemelere bağlıdır. Düzensiz süngerimsi tanecikler yumuşaktır ve kolayca preslenebilir ve böylece ham mukavemeti iyi olan ürünler oluşur. Benzeri şekilde refrakter metaller de oksitlerinin hidrojenle indirgenmesiyle üretilirler (German,1994).

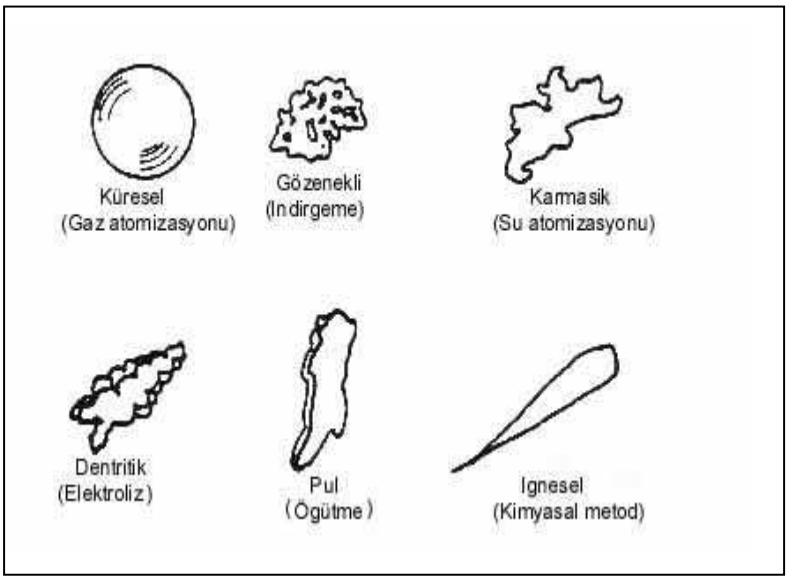
1.2.4 Atomizasyon

Atomizasyon yöntemi ergitilen tüm metallerde toz üretmede kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde; sıvı metalin, pota dibindeki bir delikten akması sırasında, üzerine basınçlı gaz veya sıvı gönderilerek, ergimiş metal çok ince tanelere ayrılarak katılaştırılır. Günümüzde atomizasyon yöntemiyle metal tozu üretimi önemli bir yer tutmaktadır. Atomizasyon yöntemleri su, gaz, santrifüj, döner elektrot ve vakum atomizasyon olmak üzere beş ana gruba ayrılmaktadır. Bunların içerisinde su atomizasyonu en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Özellikle bir akışkan atomizasyonu da denilen gaz ve su atomizasyonu ucuz ve yüksek kapasitede toz üretimi için tercih edilmektedir. Atomizasyon yönteminde yüksek basınçlı su veya gazın etkisi altında ani ve aşırı soğutulması ile 100-150 μm'den daha küçük boyutlarda toz elde edilir. Şekil 1.6'da bir gaz atomizasyon şeması görülmektedir.



Şekil 1.6 Düşey gaz atomizasyon ünitesi(Sarıtaş,1994)

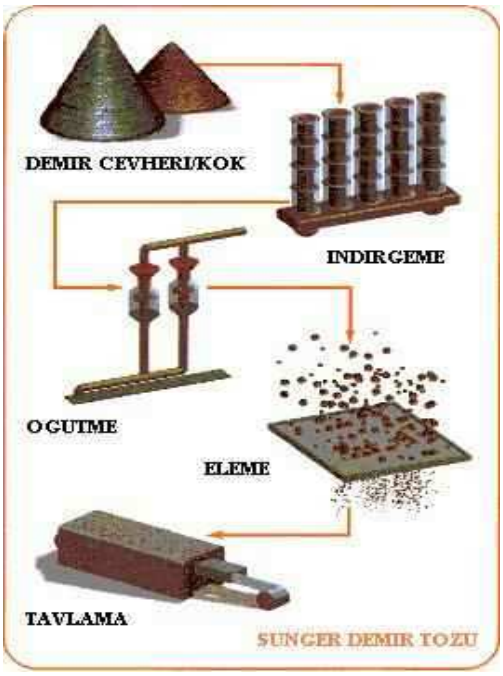
.



Şekil 1.7 Üretim metotlarına göre toz şekilleri(Yaşa,2008)

1.2.5 Diğer Üretim Yöntemleri

Nikel karbonilde olduğu gibi, bazı durumlarda kimyasal bileşiğin ısıl ayrışması kullanılır. Karbonil işlemi ilk olarak nikeli rafine etmek için geliştirilmiştir. Bu yöntemde ham metal basınç altında karbonil oluşturmak için karbon monoksit ile reaksiyona girer. Karbonil reaksiyon sıcaklığında gazdır ve sıcaklığın yükselmesi ve basıncın azalması ile ayrışır. Aynı işlem demir için kullanılır ve karbonil demir tozları yüksek saflık istenen durumlarda kullanılır. Yakın zamanda enjeksiyon kalıplama için ince tozlara olan talep, karbonil işlemine hız vermiştir. Tipik karbonil demir tozunun boyutu 1-5 mm'dir. Isıl ayrışma için diğer bir örnek, platin amonyum klorür tuzunun ısıtılması sonucu üretilen süngerimsi platin tozlardır. Sherritt Gordon işleminde nikel tozlar basınç altındaki nikel tuzlarının çözeltisinin hidrojen ile indirgenmesi ile üretilirler (Yaşa,2008).



Şekil 1.8 İndirgeme ile demir tozu üretimi (Yaşa, 2008)



Şekil 1.9 Atomizasyon ile demir ve çelik tozu üretimi (Sarıtaş,1994)

1.3 Atomizasyon Yöntemleri

Atomizasyon işleminde ergimiş metal, küçük damlacıklara parçalanır ve damlacıklar birbirleri ile veya katı yüzeyle temasa geçmeden hızlıca soğutulur. Atomizasyon, ergimiş metali yüksek enerjili gaz veya sıvı çarpmasına maruz bırakarak sıvı metali daha küçük parçalara ayırma işlemidir. Hava, azot ve argon en çok kullanılan gazlardır. Su ise sıvılar içinde en çok kullanılandır. Nozulun tasarım ve geometrisi, atomize eden akışkanın basıncı ve hacmi, sıvı metalin akış çapı gibi birçok parametreyi değiştirerek toz boyutu dağılımını kontrol etmek mümkündür. Tanecik şekli ise katılaşma hızı ile belirlenir, düşük soğutma kapasiteli gazlar için küresel şekilden yüksek soğutma kapasiteli su için karmaşık şekle dönüşür. Genelde bu toz üretim metodu ergitilebilen tüm malzemeler için uygulanabilir ve ticari olarak demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, bronz, alüminyum, kalay, kurşun, çinko ve kadmiyum tozlarının üretilmesinde kullanılır. Krom içeren alaşımlar gibi kolayca oksitlenen metallerde atomizasyon, argon gibi asal gazlar yardımıyla gerçekleştirilir (Evcin,2007).

Atomizasyon, alaşımı oluşturan tüm metallerin ergimiş durumda tamamen alaşımlandığı için, özellikle alaşımların toz halinde üretilmesinde faydalı bir

yöntemdir. Böylece her toz taneciği aynı kimyasal bileşime sahip olur. Atomizasyon yönteminin avantajlarından biri de alaşım tozlarının ergitilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesidir, bu yöntemle üretilen tozların bileşimleri her bir toz tanesinde aynı kalmaktadır (Evcin,2007).

Atomizasyon çeşitleri;

1. Döner Disk Yöntemi
2. Döner Elektrot (REP) Yöntemi
3. Vakum Atomizasyon Yöntemi
4. Su Atomizasyon Yöntemi
5. Gaz Atomizasyon Yöntemi

1.3.1 Döner Disk Atomizasyonu

Atomizasyon için değişik yöntemler kullanılabilmektedir, bunların içinde önemli bir yer tutan yöntem olarak merkezkaç kuvvetinin etkisiyle toz metal üretimini sağlayan döner disk yöntemidir (Sarıtaş,1994). Bu yöntem içinde de iki ayrı üretim tekniği vardır, bunlardan biri belli bir miktarda sıvı metal toz oluşturacak kadar merkezkaç kuvvete tabi tutulur, diğer yöntemde ise ergimiş metal sürekli olarak dönen bir disk veya koni üzerine akıtılır, buradan saçılan metalin toz haline gelmesi sağlanır (Patterson,1984).

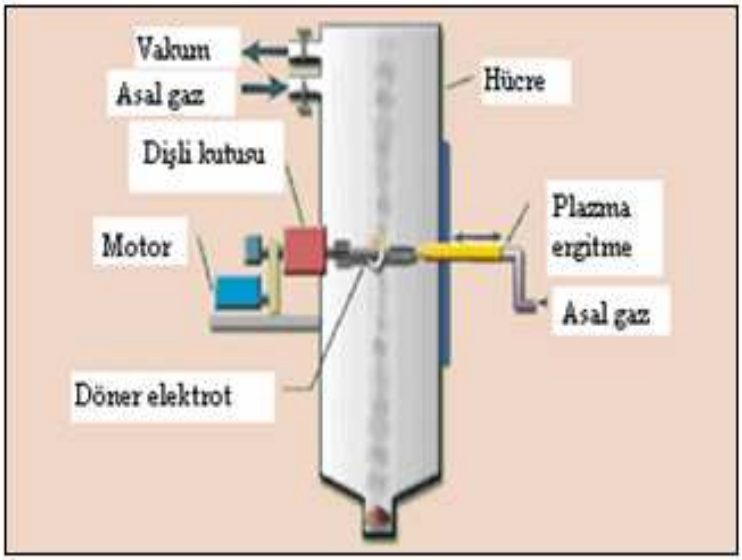


Şekil 1.10 Döner disk atomizasyon yöntemi(Küçükarslan,2006)

Bir potadan tandişe aktarılan sıvı metal, tandiş altındaki akış borusundan dönen bir disk üzerine akıtılır. Disk üzerindeki set ve yarıklara çarpan sıvı metal parçalanarak şekildeki gibi saçılır. Saçılan metal parçacıklar nozuldan çıkışta bazen su ile soğutularak birbirine yapışmadan katılaşmaları sağlanır. Sıvı metali mekanik olarak parçalamakta uygulanan basit bir yol da katılaşma sırasında karıştırmaktır. Örneğin aluminyum katılaşırken karıştırılırsa toz haline gelir. Aluminyum, çinko, kalay gibi metallerin bu yolla çok şekilli tozları elde edilebilir.

1.3.2 Döner Elektrot (REP) Yöntemi

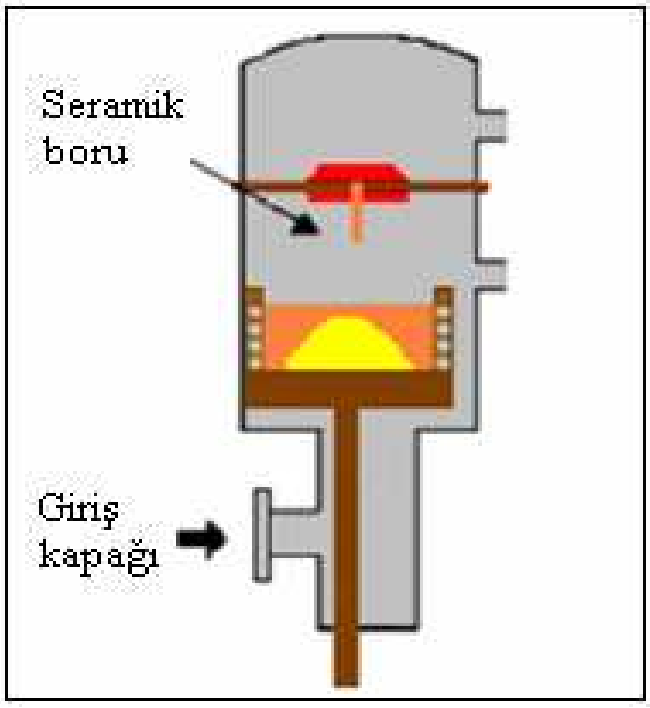
Bu yöntemde tozu elde edilecek metalden yapılmış bir elektrot ile ergimeyen tungsten elektrot arasında ark oluşturulur (Şekil 1.11). Ergiyen elektrodun döndürülmesiyle, elektrik arkı altında bunun ucunda oluşan metal damlaları savrularak parçalanır ve tankta toplanır. Oksidasyonu önlemek için toz toplama tankı genellikle helyum, argon gibi bir asal gazla doldurulur. Bu yöntemle küresel ve oldukça eşit tane iriliğinde metal tozu üretmek mümkün olmaktadır (Champagne,1980).



Şekil 1.11 Döner elektrot (Rotating Electrote Process REP) yöntemi (Küçükarslan,2006)

1.3.3 Vakum Atomizasyonu

Bu yöntemde Şekil1.12 te görüldüğü gibi silindirik bir tankın alt kısmında sıvı metal potası, üst kısmında da vakum atomizasyon odası bulunmaktadır. Her iki bölüm sıvının geçeceği akış borusunu taşıyan bir plaka tarafından bölünmüştür. Akış borusunun alt kısmında ona bağlı bir seramik boru bulunmaktadır. Vakum altındaki sıvı metal önce belirli bir sıcaklığa kadar indüksiyon akımı ile ısıtılır, bundan sonra bu bölüme hidrojen gazı doldurulur. Potadaki sıvı metalde bu hidrojen gazı çözündükten sonra potayı yukarı taşıyan mil potayı yukarı iterek seramik boruyu potaya daldırır. Üst kısımda vakum olduğu için ergimiş sıvı metal borudan geçerek parçalanarak pulverize olur ve soğur. Böylece metal ve alaşımlarından ince küresel tozlar üretilebilmektedir (Baksan,2003).



Şekil 1.12 Vakumlu atomizasyonu yöntemi (Baksan,2003; Küçükarslan,2006)

BÖLÜM İKİ
GAZ VE SU ATOMİZASYONU YÖNTEMLERİ

2.1 Gaz Atomizasyonu

Toz metalurjisinde gaz atomizasyonu işlemi sıvı metal demetinin, yüksek hızlı gaz akısı etkisiyle parçalanması olarak tanımlanır. Sıvı metal damlacıkları parçalanma sonrasında küreselleşir, soğur ve katılaşarak, tipik tane boyutu dağılımları 1 mikrondan 1mm'ye kadar değişen metal tozları meydana gelir. Gaz atomizasyonu ile üretilen küresel alaşım tozları, işlem esnasında gösterdiği hızlı katılaşma karakteristiğinden dolayı üstün özelliklere sahiptir ve bu da gaz atomizasyon yöntemini cazip kılmaktadır.

Gaz atomizasyon yönteminde amaç yüksek hızda genleşen gazın, kinetik enerjisini sıvı metale aktararak metali küçük damlacıklara ayırmaktır. Düzenli bir gaz atomizasyon işlemi için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır (Ünal,2008).

1. Yüksek gaz kinetik enerjisi
2. Metal akış borusu ucunda negatif basınç oluşumu
3. Metal akış borusu ucunda radyal basınç farkı. (Bu fark sıvı metali merkez akış çizgisinden dolaşım bölgesine doğru iter. Dolaşım bölgesinde gazın enerjisi daha yüksektir.)

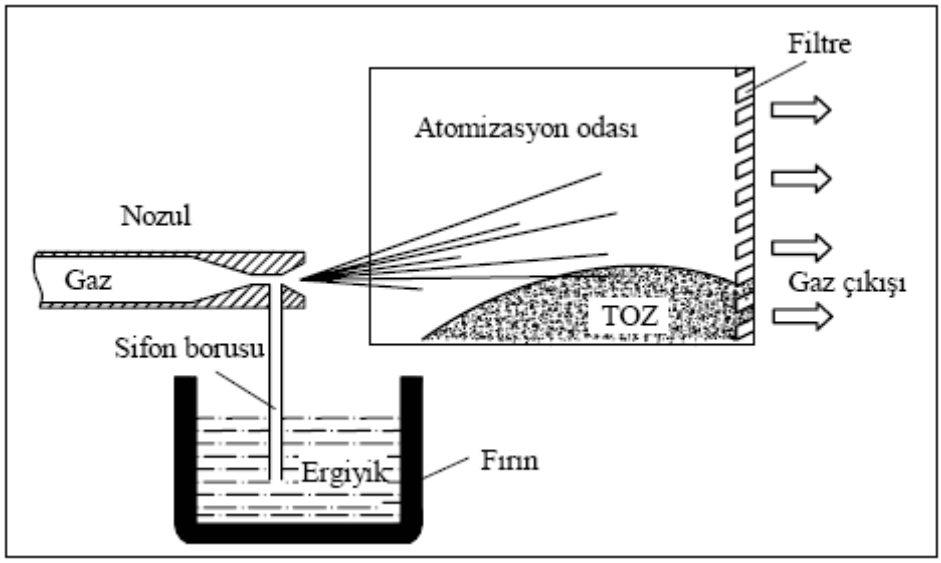
Atomizasyonda gaz jeti üç fonksiyonu yerine getirir. Başlangıçta sıvı metal demetini kesip parçalamak için gerekli kinetik enerjiyi damlacıklara aktarır. Daha sonra damlacıkları gaz akısı içinde ivmelendirir ve son olarak uçuşma esnasında onların soğumasına neden olur (Singh,1992).

Gaz atomize tozların üstün özellikleri şunlardır:

1. Küresel toz sekli
2. Temizlik
3. Özellikle küçük çaplı tozlarda hızlı katılaşmış yapılar
4. Yüksek üretim hızı (Ünal,2008).

2.1.1 Gaz Atomizasyon Üniteleri

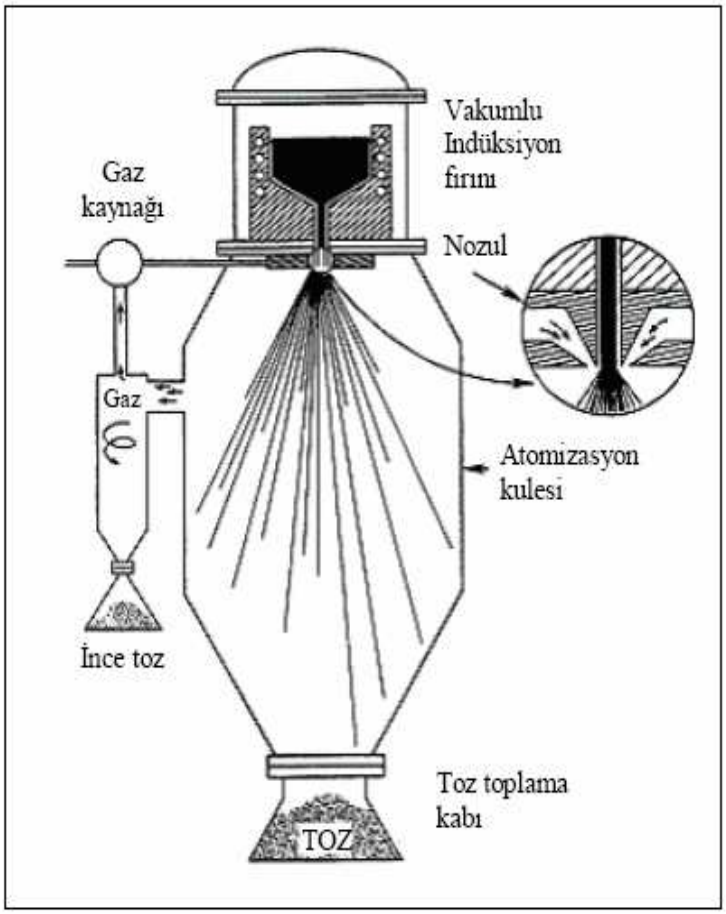
Gaz atomizasyon üniteleri metal besleme mekanizmaları, ergitme ve toz toplama bölümlerinin yapısı bakımından farklılık gösterirler. Fakat hepsinde sıvı metal demetine enerji aktarmak suretiyle toz üretilmektedir. Düşük ergime sıcaklığına sahip metaller için gaz atomizasyon üniteleri yatay olarak tasarlanır. Sekil 2.1'de görülen ünitede, nozuldan geçen yüksek hızdaki gaz sifon etkisi yapar ve ergiyik metal gaz genleşme bölgesine çekilir. Burada metal demetinin püskürtülüp parçalanmasıyla elde edilen damlacıklar, toz toplama odasındaki uçuşma esnasında ısı kaybına uğrar ve katılaşırlar (German,1994).



Şekil 2.1 Yatay gaz atomizasyon ünitesi(German,1994)

Yatay ünitede atomize edilmiş tozlar, düşey olarak atomize edilmiş tozlara göre daha iridir ve daha geniş aralıkta bir toz dağılımına sahiptir (Hohmann,1990).

Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin atomizasyonun da, içi asal gaz ile doldurulan kapalı bir kuleye sahip, düşey gaz atomizasyon üniteleri kullanılır ve böylece oksidasyon önlenir. Bu tip ünitelerde metal, indüksiyon fırını ile ergime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve ergiyik metal nozul içersine akıtılır. Atomizasyon kulesi damlacıkların kule çeperine çarpmadan katılaşmasına imkân verecek şekilde olmalıdır. Kuleler paslanmaz çelikten imal edilirler. Atomizasyon işleminde kullanılan gazın kule iç basıncını yükseltmesine engel olmak için bu gazın kule dışına tahliyesi önemlidir. Bu amaçla siklon kullanılır. Siklon aynı zamanda ince tozların tutulması amacıyla da kullanılır (German,1994).



Şekil 2.2 Düşey Gaz Atomizasyon Ünitesi(German,1994)

Gaz atomizasyonun da sıvı metal demetini parçalamak için kullanılan gaz jeti N_2, Ar, CO_2 ve He gibi gazlar veya hava olabilir. Asal gazlar, süper alaşımlar ve titanyum gibi reaktif metaller atomize edildiğinde veya oksijen miktarının düşük

seviyelerde olması istendiğinde kullanılır ve küresel tozlar elde edilir. Hava atomize tozlar ise karmaşık şekillidir. Küresel toz sekli, ticari T/M uygulamalarında gruplandırma ve karıştırma kolaylığı açısından tercih edilen bir özelliktir (Ünal,2008).

Gaz atomizasyonun da toz karakteristiklerini belirleyen çok sayıda üretim değişkeni mevcuttur. Bunları, sıvı metal ile ilgili olanlar ve gaz sistemi ile ilgili olanlar diye iki ana gruba ayırabiliriz.

Sıvı metal ile ilgili olanlar:

1. Ergimiş metalin sıcaklığı,
2. Viskozitesi,
3. Yüzey gerilimi
4. Akış debisidir (German,1994).

Gaz sistemi ile ilgili olanlar:

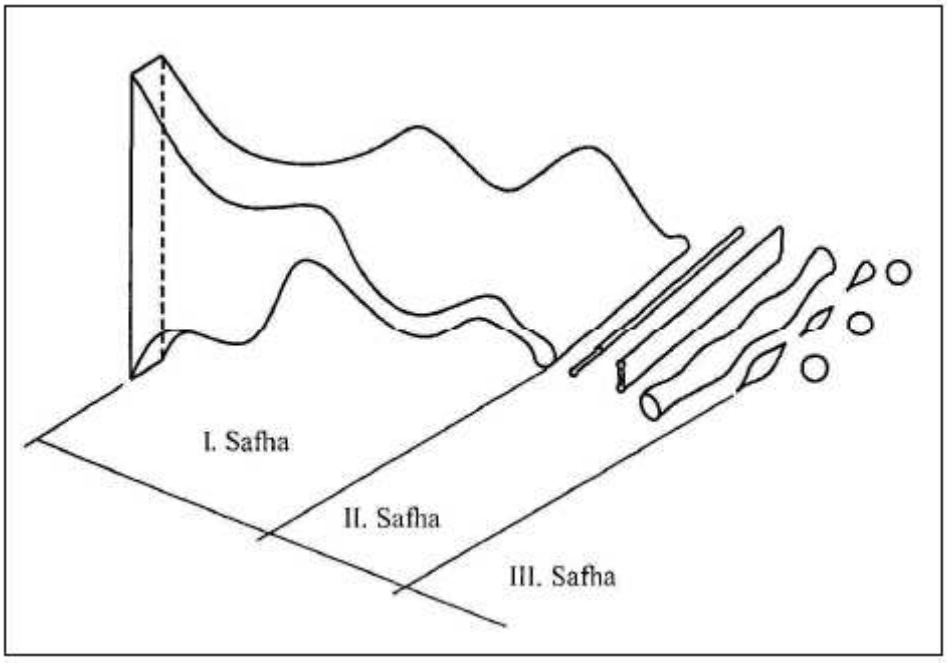
1. Gazın cinsi,
2. Basıncı,
3. Debisi,
4. Hızı
5. Nozul geometrisidir (Klar,1984).

2.1.2 Atomizasyon Mekanizmaları

Bir nozuldan atmosfere aniden çıkan sıvı demeti, sıvının ve onu çevreleyen gazın nozul tasarımına bağlı olarak, silindir sütun, yassı tabaka veya konik bir yüzey şeklini alabilir. Bu damlacık şekillenme mekanizmaları üç aşamadan meydana gelmektedir:

1. Hızla artan genlikteki sinüs dalgasının başlaması,
2. Dalganın büyümesiyle çubuk (ligament) oluşması,
3. Çubuğun bölünmesiyle küresel damlacıkların oluşması.

Gordon, Dombrowski ve Johns sıvıların atomizasyon mekanizmaları ile ilgili modelleme çalışmaları yapmışlardır. Gordon yapmış olduğu çalışmada, hava jetine maruz sıvı damlaların parçalanması, damlacıkların çapı ve bunun oluşum zamanıyla ilgili bir model ortaya koymuştur. Dombrowski ve Johns ise, yassı tabakadan damlacık oluşumu için fiziksel bir model geliştirmişlerdir. Tozların soğuması ve katılaşması atomizasyon kulesi içinde havada uçarken meydana gelir. Sıvı metal damlacıklarının katılaşma hızı önemlidir çünkü bu hız tozların seklini belirler. Dombrowski ve Johns tarafından geliştirilen atomizasyon mekanizmalarının fiziksel modeli şekil 2.3'te gösterilmiştir.



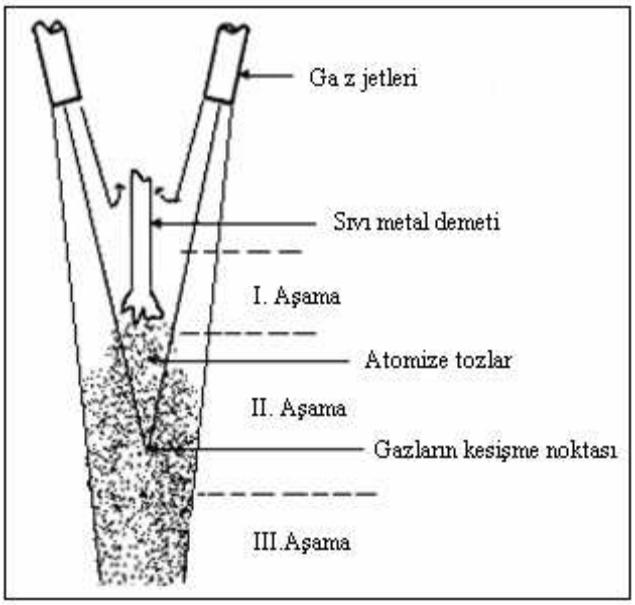
Şekil 2. 3 Yassı tabakadan damlacık oluşumu (Dombrowski,1963)

Bu modelde öncelikle, tabaka üzerinde kritik bir genliğe ulaşana kadar dalgalar büyür. Sonra dalganın tepe ve dip bölgelerinde yırtılmalar oluşur ve yarım dalga boyuna karşılık gelen kısımlar kırılır. Kırılan bu kısımlar yüzey gerilmesinin etkisiyle kararsız çubuk haline gelerek damlacıklar oluşur. Ergiyik metallerin atomizasyonu, toz oluşumu sırasında sıcaklığın düşmesi sonucu, metal damlacıkların katılaşması nedeniyle diğer sıvıların atomizasyonundan ayrılır. Literatürde, ergimiş metallerin atomizasyonu ile ilgili mekanizmaların modellenmesi See ve Johnston, Mehrotra, Bürger ve ark., Putimsev ve Ünal tarafından çalışılmıştır. See ve Johnston,

yaptıkları çalışmalar sonucunda ergiyik metallerin gaz ile atomizasyonunda üç aşama tanımlamışlardır:

1. Birincil bölünme
2. İkincil bölünme
3. Katılaşma

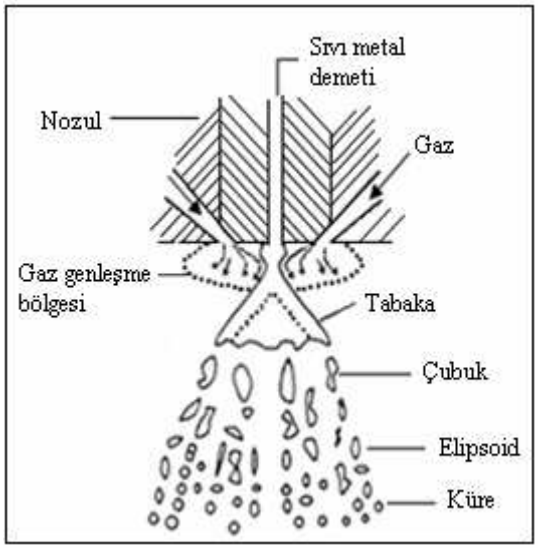
Bu aşamalar Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Gaz atomizasyonunda mevcut üç aşamanın şematik gösterimi, See modeli

Birinci aşamada sıvı metal demeti, yüzeyinde kararsızlığın başlayıp büyümesinde etkili olan türbülans sebebiyle dinamik basıncın değiştiği yüksek hızlı gaz akış bölgesine girer. Artan dinamik basınç, sıvı metal demetinden malzeme kopmasına sebep olur. Eğer dinamik basınç, yüzey kuvvetinden kaynaklanan yeniden yapılanma kuvvetini aşarsa ikincil bölünme meydana gelir. Üçüncül aşamada ise katılaşma ve küreselleşme zamanına bağlı olarak metal parçacık şekillenir. See ve Johnston'ın gaz atomizasyonu ile metal tozu oluşum modelinin aşamaları, German tarafından daha açık bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.5). Gaz genleşme bölgesindeki emme basıncı sebebiyle eriyiğin, önce içi boş ince bir konik tabaka şeklini, daha sonra da çubuk, elipsoit ve küre şeklini aldığı görülmektedir. Ünal ise alüminyum tozlarının oluşum

mekanizmasını, yakından eşlemeli nozullar kullanarak atomizasyon işlemi esnasında çekmiş olduğu fotoğraflarla incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada, birincil bölünmede yaklaşık olarak 500 μm çapındaki damlacıkların oluştuğu, daha ince tozların ise ikincil bölünmenin ürünü olduğunu belirtmiştir.



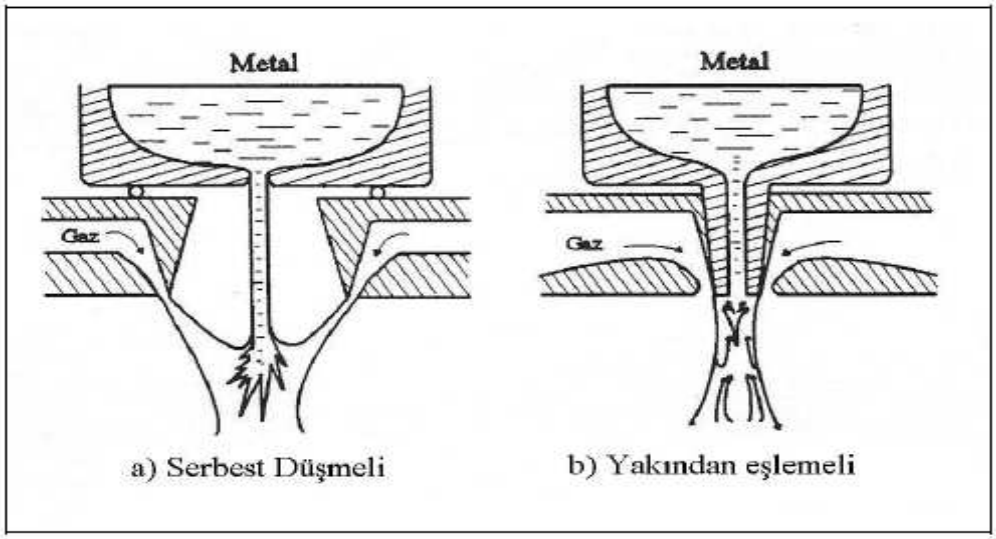
Şekil 2.5 See modelinin German tarafından farklı bir gösterimi

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü gibi bunların hepsinde ortak nokta, gaz atomizasyonu işleminin birkaç safhada meydana geldiği ve birinci safhada sıvı metalin tabaka ve/veya çubuksu yapıya dönüştüğü, daha sonra bunu ikincil bölünmenin takip ettiğidir. En son safha ise damlacıkların katılaşması olarak açıklanır. Tozların soğuma ve katılaşması atomizasyon kulesi içinde havada uçarken meydana gelir. Sıvı metal damlacıklarının katılaşma hızı önemlidir; çünkü katılaşma hızı tozların şeklini belirler (Biancaniello,1990).

2.1.3 Atomizasyon Sistemleri

Atomizasyon sistemleri, serbest düşmeli ve yakından eşlemeli olmak üzere iki çeşittir (Sekil 2.6(a)-(b)). Serbest düşmeli sistemlerde sıvı metal, gaz jeti ile temas edinceye kadar serbest olarak akar. Sıvı metal yerçekiminin etkisinde belli bir süre

aktıktan sonra gaz jeti ile temas eder. Yakından eslemeli sistemlerde, sıvı metal nozul gaz çıkış bölgesine seramik bir akış borusu ile gönderilir. Yakından eslemeli sistemlerde daha iyi enerji aktarımı gerçekleştiği için atomizasyon verimleri yüksektir. Çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere üretilen ince metal tozları (<100μm) imal etmek için metal atomizasyonun da yakından eslemeli sistemler ispatlanmış bir tekniktir. Ancak yaygın kullanımına rağmen, gaz dinamiği, nozul geometrisi, işlem parametreleri ve toz tane boyutu arasındaki ilişkiler tanımsız kalmaktadır. Sonuç olarak çabalar, toz boyut kontrolünü geliştirerek ve enerji verimliliğini artırarak, toz maliyetini azaltmak yönündedir (Yule,1994-Ünal,2008).



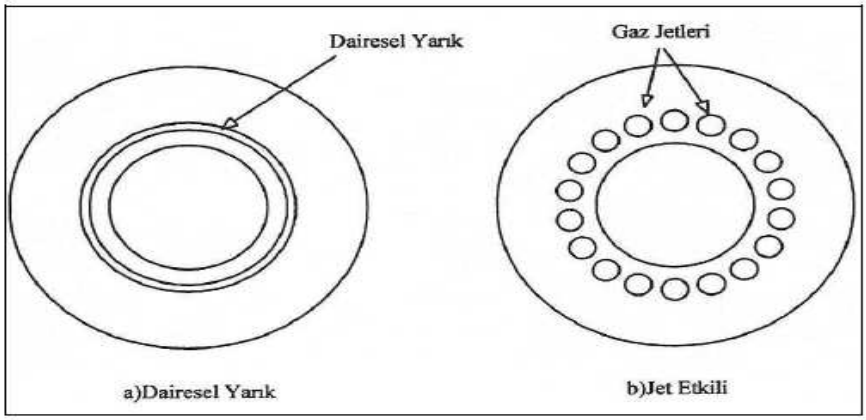
Şekil 2.6 Atomizasyon Sistemleri (Şematik): a) Serbest düşmeli b) Yakından eslemeli (Yule,1994)

Yakından eslemeli sistemler yüksek verimde çalışmalarına rağmen bazı zorluklara sahiptir. Bunlardan en önemlisi metal akış borusu ucunda oluşan basınçtır. Bu basınç negatif ya da pozitif olabilir. Yüksek atomizasyon basınçlarında, sıvı metal akısının kararlılığı, nozul ve metal akış borusunun boru ucunda negatif basınç oluşturacak geometride tasarlanmasıyla kontrol edilebilir. Yakından eslemeli sistemlerde karşılaşılan sorunlardan bir diğeri ise yüksek atomizasyon basınçlarında sıvı metalin, metal akış borusu içinde katılaşması sorunudur. Sıvı metalin katılaşması sonucu atomizasyon işlemi sona erer. Bu yüzden metal ergime sıcaklığının 100-150^{o}C üzerine ısıtılır. Aşırı ısıtılmış metal atomizasyon bölgesine girmeden önce seramik

akış borusunun içinden geçer. Sıvı metalin seramik akış borusu içersinde katılaşmasını önlemek amacıyla seramik boru direnç telleri ile ısıtılır. Bu sistemlerde serbest düşme sistemlerine göre daha kolay bölünme gerçekleşir ve daha ince boyutlarda, sıkıştırılma kapasitesi ve akıcılığı yüksek küresel tozlar üretilir. Yakından eslemeli sistemlerde gaz dolaşım bölgesi ve bu bölgenin atomizasyona olan etkisinin araştırılması, araştırma konusu olmuştur. Metal tozlarının boyutlarının düşmesi ile birlikte mekanik özelliklerinin artıyor olması gerçeği, yapılan araştırmaları yakından eslemeli sistemlerin gaz akış modellerinin incelenmesi yönüne kaydırmıştır. Gaz akış dinamiği konularında yapılan araştırmalar sonucu daha dar toz boyut dağılımına sahip tozlar üretilmiş ve atomizasyon işleminin verimliliği artırılmıştır (Le,1996; Ting,2002; Mates,1995; Ting,2004; Strauss1999; Unal,2008).

2.1.4 Nozul Çesitleri

Atomizasyon ünitesinde nozul, gaz jetlerini sıvı metal ile temas ettirip, sıvı metalin parçacıklara ayrılmasını sağlar. Başka bir deyişle nozul, gaz jetlerinin akısını kontrol ederek istenen özelliklerde tozun üretilmesini sağlayan geometrik yapıdır. Nozul tipi, tozların boyutunu ve seklini önemli derecede etkiler. Nozullar sahip oldukları gaz çıkış geometrilerine göre jet etkili ve dairesel yarıklı (Şekil 2.7(a)-(b)) olmak üzere ikiye ayrılırlar (Unal,2008).

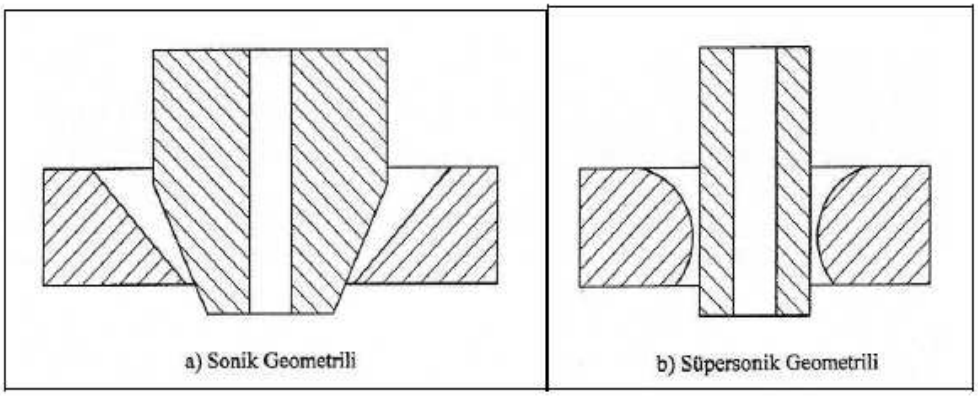


Şekil 2.7 Şematik nozul resimleri: a) Dairesel yarık, b) Jet etkili(Matei,1996)

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. 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 işlem parametrelerinin optimizasyonu ile gerçekleştirilir. Buna rağmen bazı parametrelerdeki değişim oldukça sınırlıdır. Örneğin helyum gazının kullanımı ortalama toz boyutunu düşürür ancak azot gazının kullanımı ekonomiktir (Matei,1996).

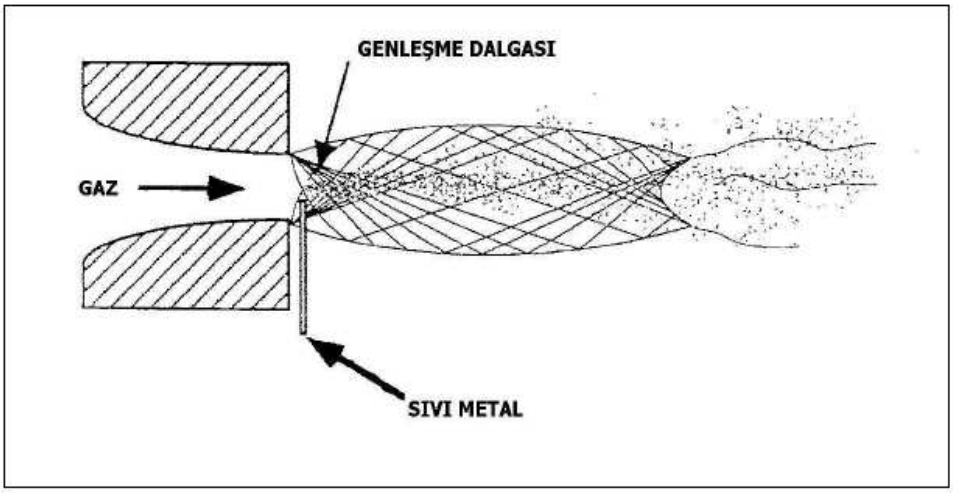
Nozul tipleri ile ilgili bilgilerin bilimsel bir sır olarak saklanmasından dolayı nozul tipleri genel olarak sınıflandırılamamaktadır. Az sayıda yayınlanmış bilgilere göre nozullar geometrilerine göre ikiye ayrılırlar (Matei,1996). (Şekil 2.8)

1. Sonik Nozullar (Daralan geometrili)
2. Süpersonik nozullar (Daralan-genişleyen geometrili)

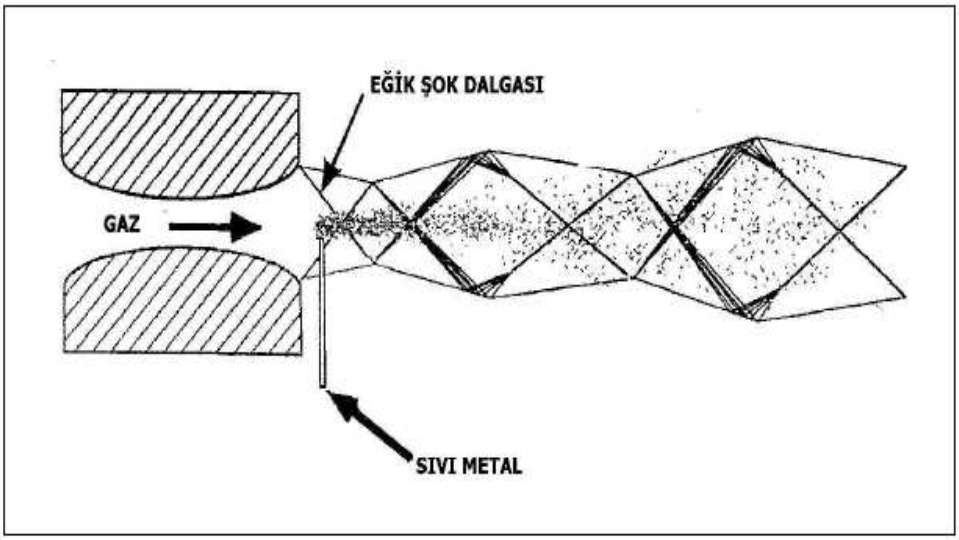


Şekil 2.8 Farklı nozul geometrileri: a) Sonik geometrili, b) Süpersonik geometrili (Matei,1996)

Yüksek verimli atomizasyon işlemi için yapılması gereken en önemli asama uygun şartlarda çalışabilecek bir nozul tasarımının yapılmasıdır. Bunun için nozul performansının araştırılması gerekir. Nozul performansının incelenmesi için nozula sadece gazın gönderilmesi sonucu oluşan gaz akış bölgeleri incelenir (Mates,1995).



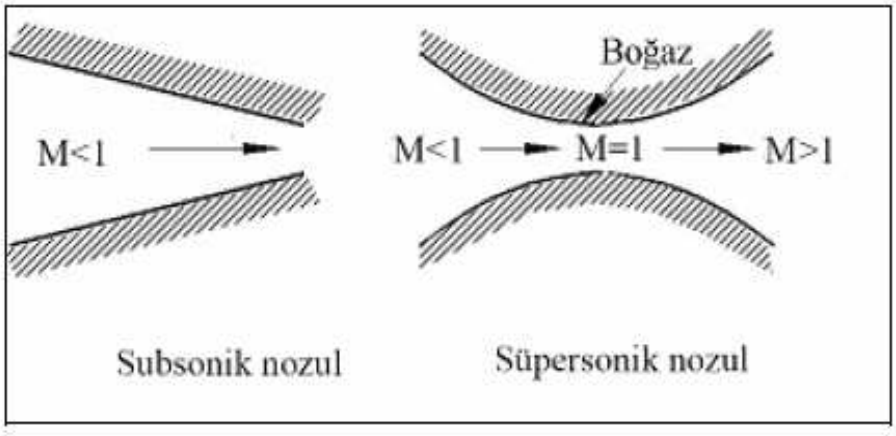
Şekil 2.9 Daralan geometriye sahip nozulda yüksek hızlı gaz jetinin gelişimi(Ünal,2008)



Şekil 2.10 Daralan-genişleyen geometriye sahip nozulda yüksek hızlı gaz jetinin gelişimi(Ünal,2008)

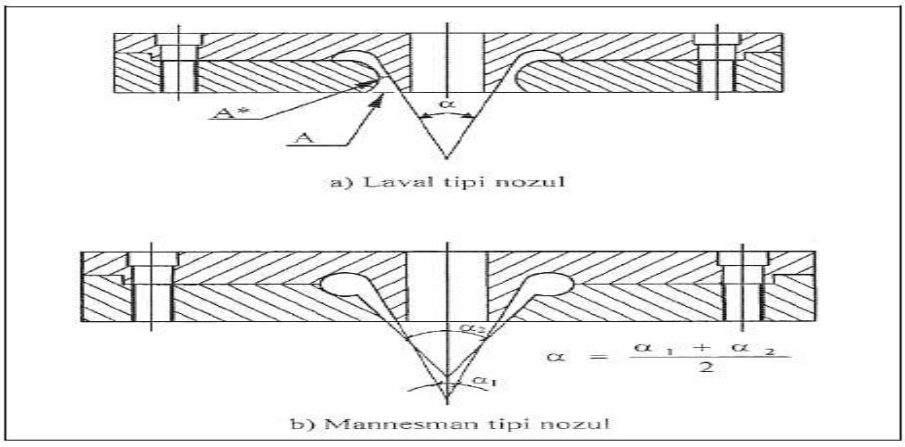
Atomizasyon gazının nozuldan çıkısı, gaz hızını ses hızının altındaki hızlarla (M<1) sınırlayan daralan tasarım(Şekil 2.9) veya ses hızının üstündeki hızlara (M>1) ulaşmasına imkan veren daralan-genişleyen tasarım seklinde olabilir (Şekil 2.10).

Sıvı metaller yüksek yüzey gerilmesine sahip olduğu için atomizasyonlarında genellikle süpersonik geometrili nozullar kullanılır. Sonik geometriye sahip nozullar ile oldukça yüksek basınç değerlerinde ses üstü hızlara ulaşılırken, süpersonik geometriye sahip nozullarda ise daha düşük atomizasyon basınçlarında ses üstü hızlara ulaşmak mümkündür (Mates,1996).(Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Ses hızının altındaki ve üstündeki akışlar için nozul tipleri (Aksel,1994)

Daralan-genişleyen tasarım Laval nozulu olarak bilinir (Şekil 2.12.a). Gaz çıkısı, es merkezli halka biçiminde olan daralan tasarıma sahip nozullar ise Mannessmann nozulu olarak adlandırılır (Şekil 2.12.b)

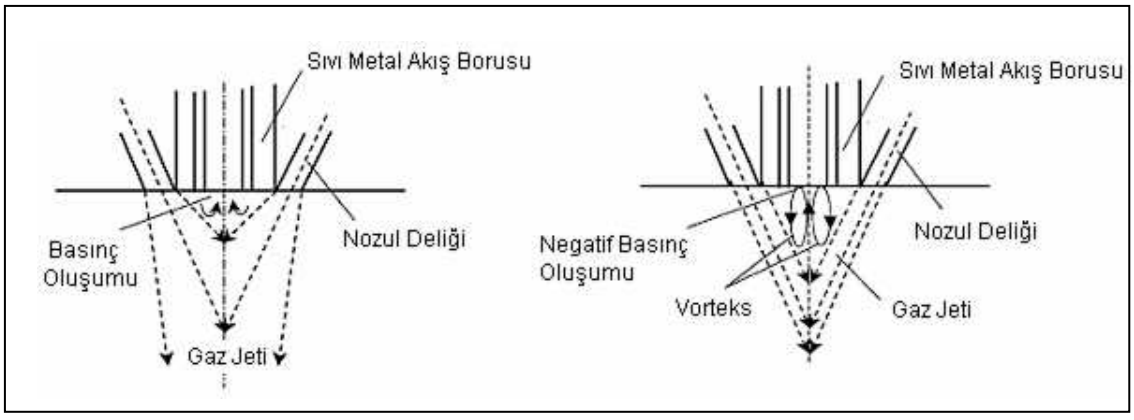


Şekil 2.12 Nozul geometrisi tipleri: a) Laval tipi nozul, b) Mannessmann tipi nozul

2.1.5 Negatif Basınç Oluşumu

Sıvı metal akış borusu ucunda oluşan gaz akışı ve negatif basınç oluşumu gaz dinamiğine bağlıdır. Gaz atomizasyonu işlemi esnasında sıvı metal akış borusunun ucundaki gaz basıncı atomizasyon değişkenlerinin durumuna göre pozitif veya negatif olabilir. Negatif basınç oluşumu sonucunda sıvı metal potadan metal akış borusuna doğru çekilir. Pozitif basınç oluşumu sonucu metal akışı gerçekleşmediği gibi pota içinde püskürme oluşabilir. (Şekil 2.13) Bu yüzden negatif basınç oluşumu istenen bir durumdur (Cui, 2002). Metal akış borusu ucunda oluşan negatif basınç, sıvı metale etki eden dolaşım bölgesindeki gaz akış kuvvetlerinin toplamıdır (Ting, 2004). Atomizasyon işleminde gaz akışı nozul geometrisine bağlıdır. Yapılan araştırmalarda, süpersonik geometrili nozulların, sonik geometrili nozullara göre daha kuvvetli negatif basınç oluşumu gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir (Cui, 2002).

Negatif basınç oluşumuna etki eden en önemli faktörlerden biri metal akış borusunun nozul gaz çıkışına göre konumudur. Genel olarak metal akış borusu çıkıntı mesafesinin artması sonucu daha etkili negatif basınç oluşumu gerçekleşir fakat borunun uzaması sıvı metalin donması problemini beraberinde getirir. Le ve Henein (Le, 1996) yaptığı araştırmalarda, metal akış borusunun nozul çıkışının 10mm altında olduğu konumda maksimum negatif basıncın oluştuğunu tespit etmişlerdir.



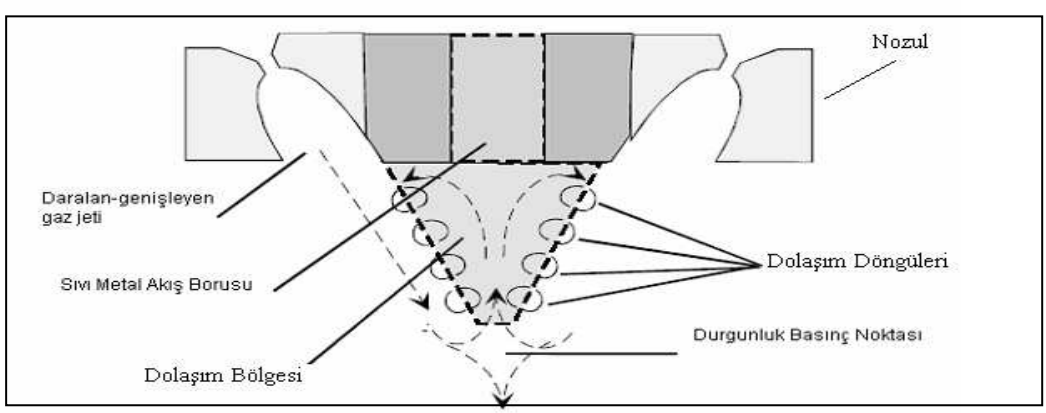
Şekil 2.13 Metal akış borusu çıkışında basınç oluşumu

Negatif basınç ölçümleri atomizasyon işleminin verimliliğinin araştırılması açısından oldukça önemlidir. Yüksek basınçlı gaz atomizasyonunda negatif basınç bölgesi, metal akış borusu ucundaki sıvı metal beslemesini kontrol edebilir. Negatif basınç oluşumu daha dengeli bir sıvı metal beslemesi sağlar ve böylelikle toz boyut dağılımı daha kolay kontrol edilir (Ting, 2004).

2.1.6 Geçiş Bölgesinin Gaz Atomizasyonuna Etkisi

Yüksek basınçlı gaz atomizasyon nozulları belli bir basınç değerinde kapalı geçiş bölgesi denilen ve atomizasyon işlemini etkileyen geniş bir gaz genleşme bölgesi oluşturur (Mates,1995). Geçiş bölgesinin kapandığı basınç değerlerinin bulunması oldukça önemlidir. Bu basınç değerinin üzerinde gerçekleşen atomizasyon işlemlerinde bu değerin altında gerçekleşen atomizasyon işlemlerine göre daha küçük toz boyutu ortalaması ve daha dar bir toz dağılımı elde edilmiştir. Metal akış borusu çıkıntı mesafesinin daha kısa olduğu durumlarda geçiş bölgesinin daha düşük basınçlarda kapandığı gözlemlenmiştir (Ting,2004).

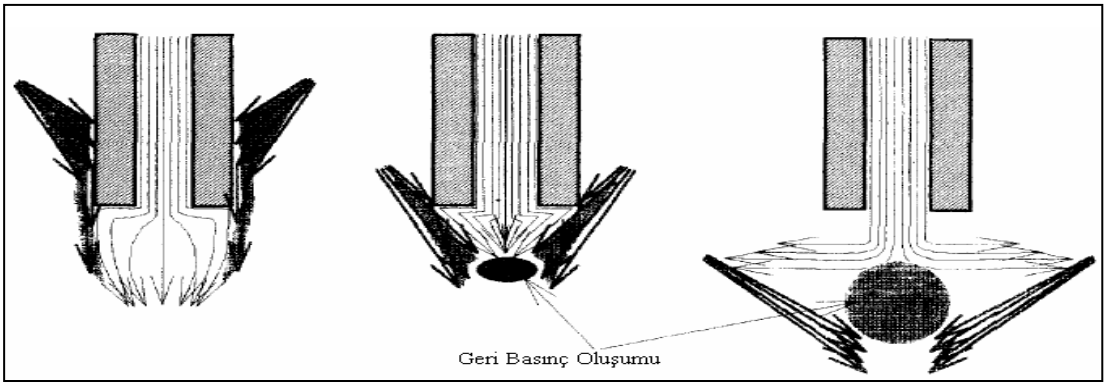
Geçiş bölgesinin kapanması olayı ve sıvı metal atomizasyonunda fark edilir damlacık incelmesinin ifade edilebilmesi için gaz dolaşım bölgesinin ve etrafını çevreleyen gaz akışının modellemesi gerekir. Kontrol hacmi yaklaşımına göre gaz, geçiş bölgesine durgunluk noktasından girer ve metal akış borusunun dairesel çevresinden çıkar. Durgunluk noktasındaki atomizasyon gazının radyal hız bileşeni nozul açısına bağlıdır ve durgunluk basıncını kuvvetli bir şekilde etkiler. Yüksek radyal hız bileşeni daha yüksek durgunluk basıncına sebep olur. Gaz dolaşım bölgesi, atomizasyon gazı tarafından metal akış borusu ucunda oluşur. Dolaşım bölgesinde gaz, durgunluk noktasından metal akış borusuna doğru, merkez akış çizgisine paralel olarak akar ve metal akış borusuna ulaştığında radyal olarak ivmelenerek borunun dış yüzeyine doğru hareket eder (Şekil 2.14) (Ting, 2002; Ünal,2006].



Şekil 2.14 Süpersonik jet etkili nozulda dolaşım bölgesinin şematik gösterimi (Ting, 2002).

2.1.7 Geri Basınç Oluşumu

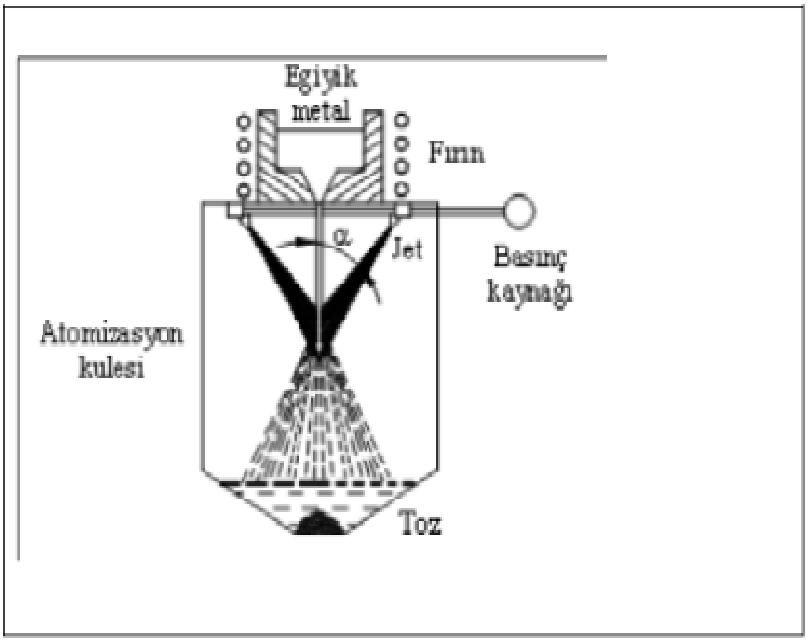
Atomizasyon işlemi esnasında akış borusunun ucunda oluşan basınç değerinin pozitif olması durumunda sıvı metal akışı yavaşlar hatta bazı durumlarda durur yada ters yönde akış özelliği gösterir. Bu basınç değerinin atmosfer basıncından büyük olması durumunda gaz, akış borusu içerisine girer ve bu durum genellikle metalin katılaşmasına sebep olur. Bu duruma ters akış durumu denir. Chen ve diğerleri (Chen, 1998) yaptığı araştırmalarda metal akış borusu çıkıntı mesafesinin değişmesi ile birlikte atomizasyon işleminde 3 farklı aşamanın gerçekleşebileceğini gözlemlemişlerdir (şekil 2.15). Metal akış borusu, nozul gaz çıkışının alt bölgelerinde yerleştirilmesi sonucu gaz boru çeperlerine çarpar ve bu çeperler boyunca hareket ederek sıvı metal ile buluşur. Bu aşamaya normal aşama denir. Metal akış borusu çıkıntı mesafesi azaldıkça atomizasyon hızı azalır ve sıfır olur. Bu aşama geri basınç oluşumu aşamasıdır. Bu aşamada gaz jetleri metal akış borusunun uç çevresinde buluşurlar ve sıvı metalin akmasına izin vermezler. Geri basınç oluşumu atomizasyon gaz basıncına, nozul geometrisine ve metal akış borusu çıkıntı mesafesine bağlıdır. Metal akış borusu çıkıntı mesafesinin daha da azalmasıyla birlikte gaz jetlerinin buluşma noktası bir miktar aşağı yönde kayar. Bu aşamada da geri basınç bölgesi mevcuttur fakat metal akış borusunun hemen ucunda değil belli bir miktar alt bölgededir (Chen, 1998).



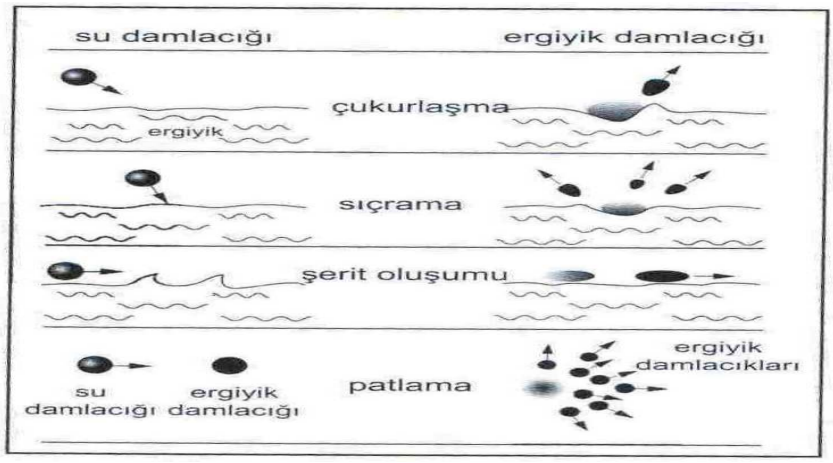
Şekil 2.15 Geri basınç oluşumunun şematik gösterimi (Chen, 1998).

2.2 Su Atomizasyonu

Gaz yerine su kullanılması da metal tozu üretiminde yaygın bir yöntemdir (Şekil 2.16). 1600^{o}C'den düşük sıcaklıklarda ergiyen az reaktif malzemeler için su atomizasyonu kullanılabilmektedir. Yüksek basınçlı su jetleri ergiyik demetine yönlendirilerek onun parçalanarak hızla katılaşmasını sağlar. Su genellikle birkaç jetten yönlendirilir. Bu yöntem gaz atomizasyonuna benzer ancak parçacıklar daha hızlı soğur ve atomizasyon sıvısı çok daha yüksek verimle hızı küçük tozlara aktarır (Randall,2007).



Şekil 2.16 Su atomizasyon ünitesi(Yaşa,2008)

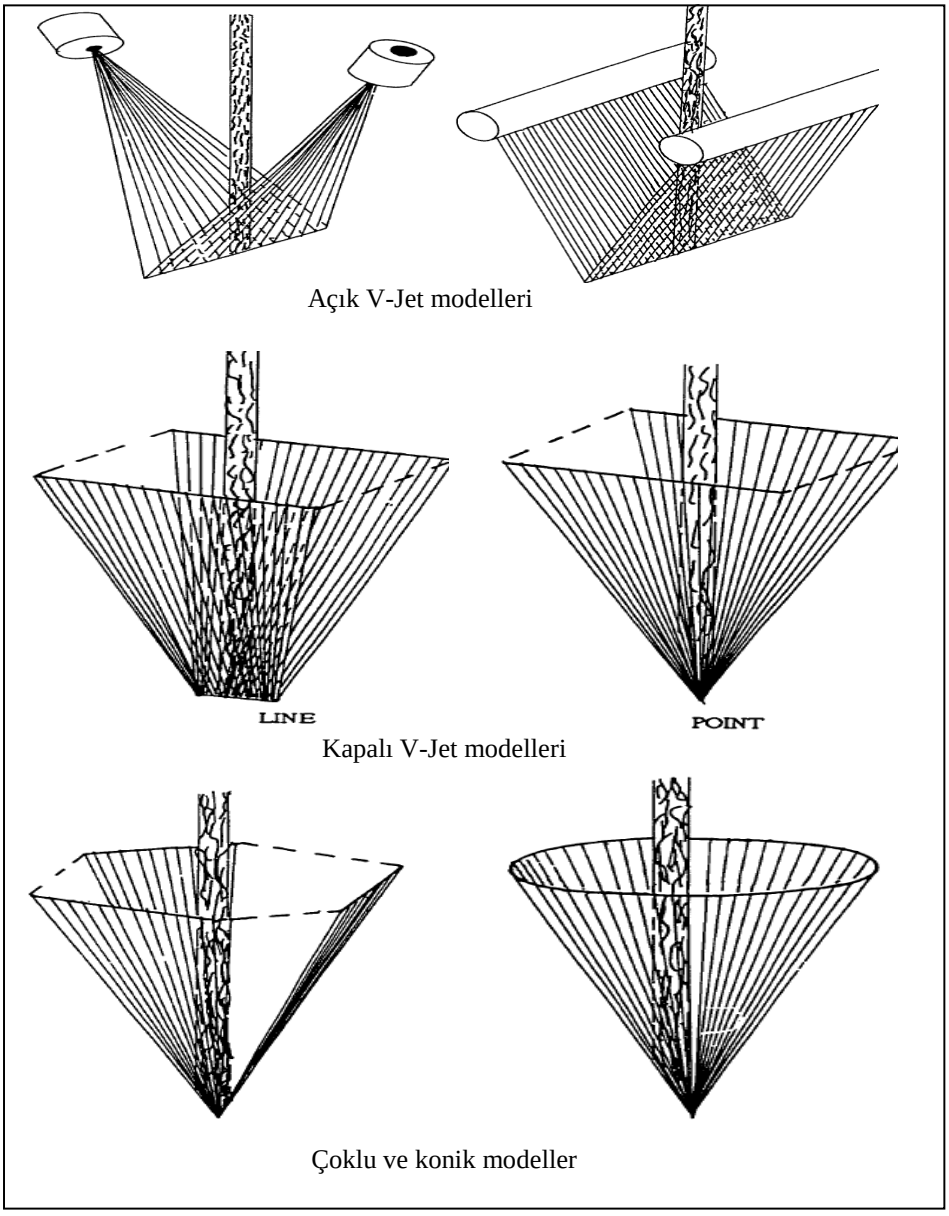


Şekil 2.17 Su atomizasyonu mekanizmaları(Randall,2007)

Şekil 2.17 de şematik olarak gösterildiği üzere parçacıklar çukurlaşma, sıçrama, şerit oluşumu ve patlama mekanizmaları ile meydana gelmektedir. Bunların en sonuncusu en küçük tozları oluşturur. Hızlı soğuma nedeni ile tozların şekli düzensiz ve pürüzlüdür. Pek çok malzeme su ile reaksiyona girdiği için atomizasyon sonrası tozların temizlenmesi gerekir. Ergiyik, sudan oksijeni ayırarak yan ürün olarak tehlikeli hidrojen gazını oluşturur. Sentetik yağlar bu tepkimeleri ortadan kaldırmakta yardımcı olur fakat bu durumda tozlar daha pahalı olmaktadır. Atomizasyon öncesi eriyik sıvılaşma eğrisinin çok üzerine ısıtılırsa daha küresel tozlar elde etmek mümkündür (Randall,2007).

Su atomizasyonu işleminde ana kontrol değişkeni su basıncıdır. Daha yüksek su basıncı, daha yüksek su hızı ve daha küçük tane boyutu meydana getirir. Su gaza göre çok az sıkıştırılabilirliğe ve daha yüksek yoğunluğa sahip olduğundan ergiyik demeti ile su nozulu arasındaki mesafe çok önemli bir etken değildir. Su jeti geometrileri tozun şekil ve boyutunda etkilidir. Bu yöntemle elde edilen toz malzemelerin ortalama tane boyutu ve dağılımına, suyun basıncı ve hızı, sıvı metal akış açısı, viskozitesi, yoğunluğu, yüzey gerilimi, sıvı metal akış hızının soğutma suyu akış hızına oranı gibi parametreler etki etmektedir. Tozların genelde ortalama tane boyutu 30-1000 μm arasında olmaktadır. Proses parametrelerinin değiştirilmesi suretiyle toz sekli farklılık gösterebilir. Tipik toz sekli düzensiz olup bu tozların sıkıştırma sonrası ham dayanımları yüksektir ve yapısal parçaların imalinde kullanılır. Atomize edilen metal ve kullanılan suyun reaksiyonu ise sistemin

dezavantajlarındandır. Su atomizasyonu ile üretilen tozlar gaz atomizasyonuna göre daha yüksek oksijen içerirler (Baksan,2003,Sarıtaş,1994). Su jeti geometrileri Açık V-jet ,kapalı V-Jet ,çoklu ve konik modelleri şeklindedir. (Şekil 2.18)



Şekil 2.18 Su jeti geometrileri(Sarıtaş,1994)

BÖLÜM ÜÇ
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, gaz atomizasyonu yöntemi ve su atomizasyonu yöntemi ile nikel, bronz, bakır ve 316L paslanmaz çelik tozu üretimi gerçekleştirilerek, gaz ve su basıncının ve aşırı ısıtmanın toz özelliklerine etkileri, lazerli toz boyutu ölçme, oksijen tayini cihazı, taramalı elektron mikroskop (SEM) ve yığın yoğunluğu aparatı ile araştırılmıştır. Atomizasyon yöntemi ile metal tozu üretimi ve karakterizasyonları, SENTES-BİR AŞ. Atomizasyon Ünitesi ve Kalite Kontrol Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.1 Su atomizasyonunda Su Basıncı ve Aşırı ısıtmanın Etkisi

Metallerin su ile atomizasyonu çalışmaları ilk olarak Bedow ve Grandzol ,tarafından yapılmıştır. Watkinson'da(1958) nikel bazlı alaşımlar üzerinde atomizasyon tekniğini kullanan ilk kişi olmuştur. Konik bir nozul ile çalışarak, 5.6 MPa su basıncında %50, 14MPa su basıncında % 95 verim ile 150 micron altı tozlar elde etmiştir. Watkinson liderliğinde bu çalışmalar daha sonra diğer metallerede uygulanmıştır. Vorsa(1963), 40,45 ve 50 derecelik 3 ayrı tepe(apex) açısıyla,4 ila18 ayrı su jetleri kullanarak düşük karbonlu çeliği atomize etmiştir. İnce toz veriminin artan basınç ile arttığını bulmuştur. Su jeti basıncının partikül boyutuna etkisi Tamura ve Takeda(1963), tarafından da doğrulanmıştır. Bronz metalini atomize etmişler, 74 l/dak ile 378 l/dak su akış hızlarındaki değişimleri gözlemlemişlerdir. Toz üretiminde 103 m/s su hızıyla 55 m/s'lik su hızlarında ki farklılıkları görmüşlerdir. Small ve Bruce'un yaptığı başka bir çalışmada Haynes Stellite No31 (Kobalt bazlı bir alaşım)'i hem su hem de gaz ile atomize etmişlerdir. Yüksek basınçlarda alaşımdaki oksidasyonun azaldığını ve yüksek basınç ve sıcaklıklarda üretilen tozların daha ince olduğunu tespit etmişlerdir.

Diederichs ve Tielman ise hızlı soğutma hızlarında, toz şeklinin köşeli şekilde olduğunu, çelik tozlarında incelemişlerdir. Partikül boyut ve dağılımının, su basıncı

ve akış hızıyla bağlantılı olduğunu bulmuşlardır. Basıncın etkisi, belirli bir tane boyutunun altı yerine, ortalama tane boyutuna etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrı bir çalışmada Kishidoko,2 jetli bir sistemde 1550 ºC'de demiri atomize ederek, partikül boyutunun, su jeti hızı ve akış hızının bir fonksiyonu olduğunu raporlamıştır.

1972'ye kadar metallerin su atomizasyonuyla ilgili önemli bulgular, Gummeson tarafından kapsamlı bir inceleme ile özetlenmiştir. İnce toz için, en önemli değişken su jeti basıncı ve hızıdır. Toz şeklinde ise 13º ile 42 º'lik tepe açıları önemli bir etkendir. Açı büyüdükçe toz boyutu küçülür. Gummeson; düşük tane boyutlu(ince) toz için;

1.Düşük metal viskozitesi

2.Aşırı ısıtılmış metal

3.Düşük metal akış hızı

4.Yüksek su akış hızı

Küresel tane şekli için ise;

1.Dar erime aralığı

2.Yüksek metal aşırı ısıtması

3.Geniş tepe açısını 'nın gerekli olduğunu özetlemiştir.

Gummesana göre, basitliğine rağmen iki düz V jet tasarımında verim yüksektir. Yüksek metal besleme hızlarında, sıçrayarak atomize olmayan metali önlemek için, açık V jet tasarımları tercih edilmelidir (Ankus,1996).

Metalin su ile atomize edilmesinde Grandzol'da(1973) önemli araştırmalar yapmış, 4620 çeliği,304 paslanmaz çelik, bizmut alaşımları ve dökme demir ile denemeler yapmıştır.30º,45º ve 60º su jeti açılarıyla,2 ve 4 jetli tasarım ve 1,6-14 MPa basınç aralığında çalışmalar yapmıştır. Su jeti hızının, ortalama tane boyutunda en önemli etken olduğunu ve su jeti hızının artmasıyla, ortalama tane boyutunun düştüğünü bulmuştur. Su jeti basıncı, su jeti hızıyla kontrol edilir. Tepe açısının partikül boyutunda etkisi önemlidir. Tepe açısı dikey olarak arttıkça, tane boyutu düşer (Ankus,1996).

3.2 Gaz atomizasyonunda Gaz Basıncı ve Aşırı ısıtmanın Etkisi

Gaz atomizasyonunda toz özelliklerini belirleyen çok sayıda üretim değişkeni mevcuttur. Bu değişkenleri, sıvı metal ile ilgili olanlar ve gaz sistemi ile ilgili olanlar olarak iki gruba ayırabiliriz. Sıvı metal ile ilgili olan üretim değişkenleri; ergiyik metalin sıcaklığı, viskozitesi, yüzey gerilmesi ve akış debisidir. Gaz sistemi ile ilgili üretim değişkenleri ise; gazın cinsi, basıncı, debisi, hızı ve nozul geometrisidir (German,1984). Bu üretim değişkenleri; görünür yoğunluk, akıcılık, mukavemet, sıkıştırılabilirlik, sinterleme, tokluk gibi mühendislik özelliklere etki eden tozun boyutunu, dağılımını, şeklini, yüzey morfolojisini, mikroyapısını ve kimyasal içeriğini belirler (Klar,1984).

Boyut dağılımı, özellikle bitmiş ürün yoğunluğuna etkisi sebebiyle en az ortalama boyut kadar önemlidir (Mehrotra,1981). Gaz atomize tozlar genel olarak logaritmik dağılım göstererek tipik bir çan eğrisi oluşturur. Tipik ürün, geniş bir aralığa sahip çok boyutlu tozlardır. Tek boyutlu toz üretimi çok özel çabalar gerektirmektedir. Literatürde üretim değişkenlerinin toz özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lubanska(1970) hava atomize demir, çelik ve kalay üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu, ortalama toz boyutu (dm) için sistem ve malzeme değişkenlerine bağlı olarak boyutsuz deneysel bir bağıntı geliştirmiştir:

$$\frac{d_m}{D} = K\left[\left(\frac{v_m}{v_g\,(We)}\right)\cdot\left(1+\frac{M}{A}\right)\right]^{1/2}$$

Burada;

D, sıvı metal demeti çapı (μm);

ν_g : gazın kinematik vizkozitesi (m^2/s);

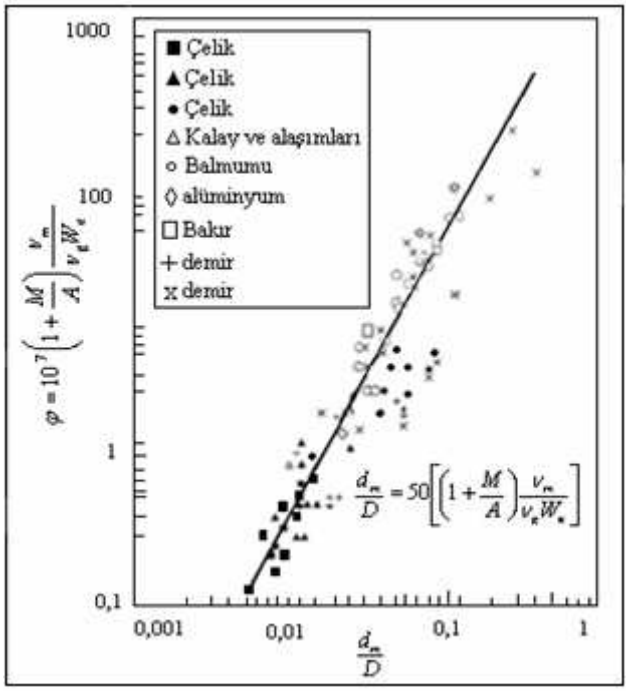
ν_m: sıvı metalin kinematik vizkozitesi (m^2/s);

M/A, metal gaz debisi oranı ;

We, Weber sayısı (m g m We = ρ v 2D/σ);

K, 40 ile 50 arası sabit bir katsayıdır.

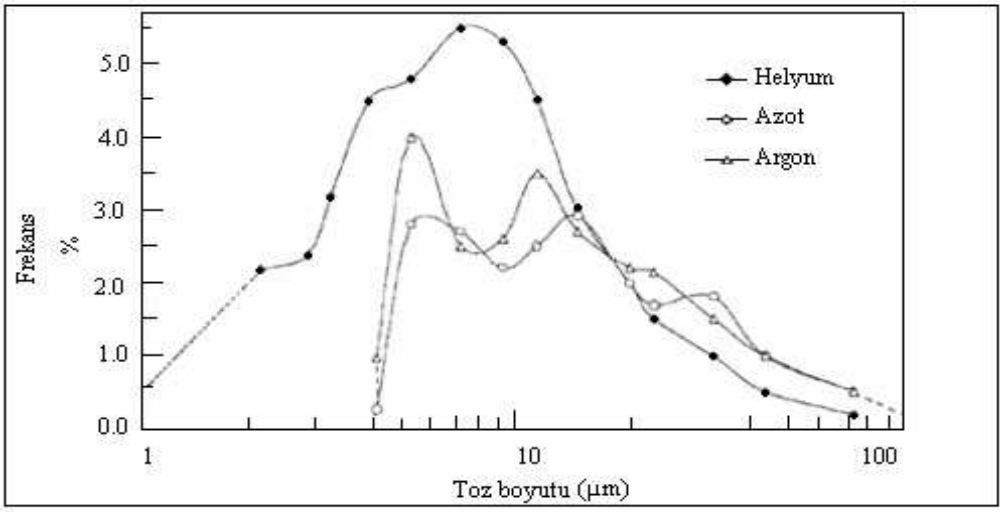
Şekil 3.1’de Lubanska denkleminin, bazı hava atomize tozlarının deneysel verileriyle karşılaştırılması gösterilmiştir. Ancak Mehrotra (1981), bakır, alüminyum ve balmumu üzerinde yapılmış daha sonraki çalışmalarla bu denklem arasında uyuma vurgu yaptıktan sonra, kendilerinin farklı açılara sahip nozullarla ve farklı metal debileriyle ürettikleri kalay, kurşun ve kurşun- kalay tozlarının deneysel verileriyle Lubanska denkleminin uyuşmadığını bildirmiştir.



Şekil 3.1 Hava atomizasyonu için Lubanska bağıntısı (Fluent,2003).

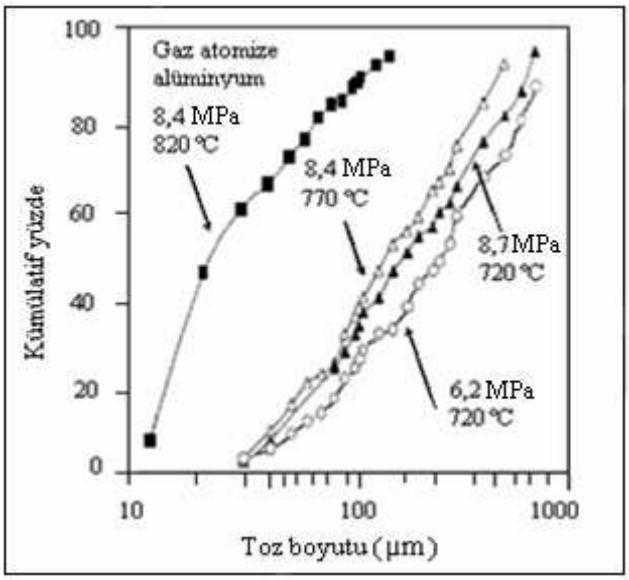
Benzer şekilde Ünal (1989) Lubanska bağıntısından hesapladığı ortalama boyut değerinin, deneysel yolla elde ettiği değerden magnezyum tozu için çok yüksek, çinko için ise çok düşük olduğunu tespit etmiştir. Özbilen ve ark. (1996) ise, bakır ve kalay ile yaptıkları atomizasyon neticesinde, bakır için 39 μm ve kalay için 13,25 μm olan ortalama boyutu Lubanska denkleminden sırasıyla 23,8 μm ve 10,9 μm olarak hesaplamışlardır. Buna sebep olarak, Lubanska denkleminin sıvı metalin fiziksel özelliklerinin toz boyutuna etkisini doğru bir şekilde temsil edemediği gösterilmiştir. Ünal, tarafından üretim değişkenlerinin toz özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla magnezyum, alüminyum ve alaşımları üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 3.2’de gaz cinsinin toz boyutuna etkisi gösterilmiştir. Burada helyumun, benzer

şartlarda azot ve argondan daha ince tozlar ürettiği görülmektedir. Ortalama boyut helyum, azot, argon için sırasıyla 13,36 μm, 24,53 μm ve 25,32 μm olarak hesaplanmıştır (Ünal,1989). Bu durum, helyumun diğer iki gaza göre daha yüksek olan ısı emme kapasitesinden kaynaklanmaktadır (Ünal,1986).



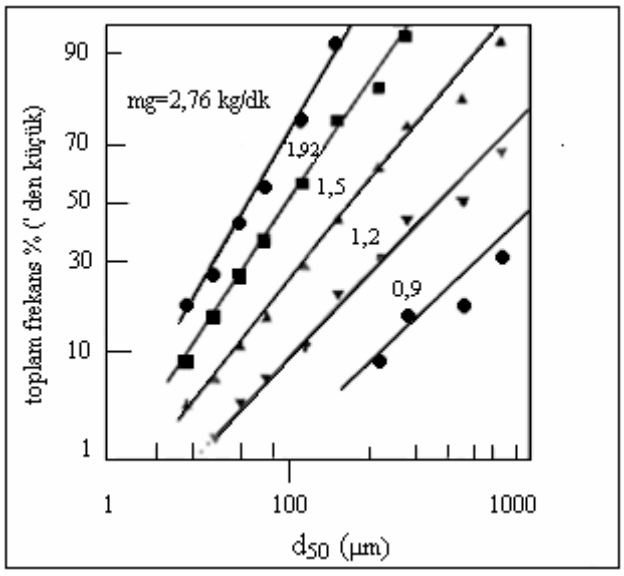
Şekil 3.2 He, Ar ve N2 gazları kullanılarak üretilen alüminyum tozlarının frekans dağılımı(Ünal,1989).

Hızlı katılaşmış tozlar için en iyi soğuma şartlarını helyum sağlamasına karşın, fiyatı diğer gazlara göre daha yüksektir (Ünal,1987). Diğer atomizasyon gazlarının kendilerine özgü bir takım özellikleri bulunmaktadır; azot, helyum ve argona göre daha ekonomik bir gaz, argon ise koruyucu bir gazdır. Atomizasyon gaz basıncı ve ergiyik sıcaklığının alüminyum tozlarının toplam toz boyutu dağılımı üzerine olan etkileri Şekil 3.3'da görülmektedir. Basınç artışının daha yüksek enerjiye ve aşırı ısıtılmış ergiyiğin daha düşük vizkoziteye sahip olması nedeniyle, bu yöndeki değişimler dağılım eğrisini daha küçük toz boyutuna doğru hareket ettirmektedir (German,1984). Bu veriler, gaz basıncının artışının ortalama toz boyutunu küçültmekle birlikte tozların standart sapmasını da küçülttüğünü gösterir (Lawley,1992).



Şekil 3.3 Farklı basınç ve ergiyik sıcaklıklarında
Al toz boyutunun değişimi(German,1984)

Azot atomize kalay için, gaz debisinin ortalama toz boyutuna etkisi Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Burada sıvı metal debisi sabit (3 kg/dk) ve gaz debisi ise 0,9 - 2,76 kg/dk arasındadır. Bu verilere göre, gaz debisi ve gaz/metal oranı arttığında ortalama toz boyutu küçülmektedir (Yule,1994).



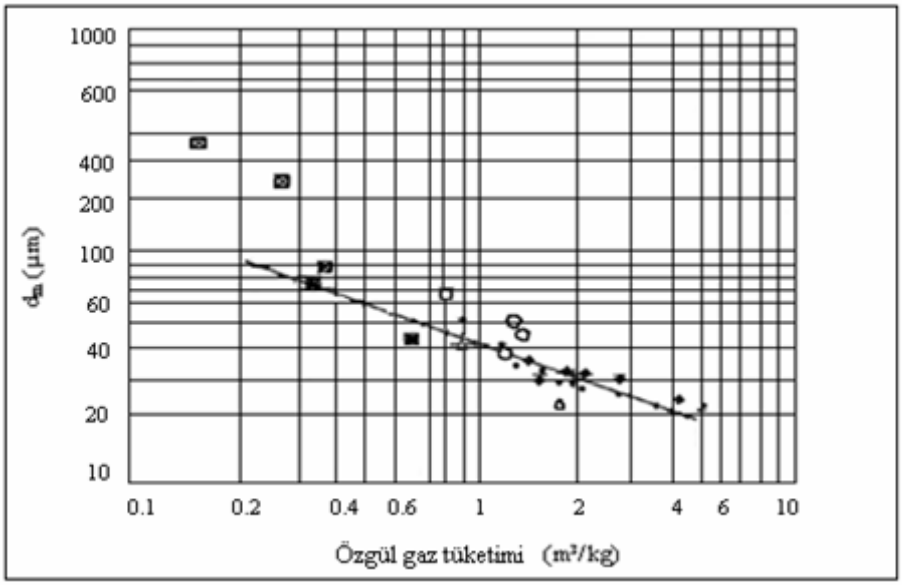
Şekil 3.4 Azot atomize kalay tozlarının ortalama
boyutuna gaz debisinin etkisi (Yule,1994)

Uslan ve Küçükarslan(2010), farklı atomizasyon değişkenleriyle gaz atomize kalay tozuna gaz atomizasyonu parametrelerinin etkilerini incelemiş, 400 ^{o}C aşırı ısıtma yaparak,5-30 bar gaz basıncıyla ürettikleri tozların tane boyutlarını incelediklerinde, üretilen tozlara ait ortalama toz boyutunun 68,50 μm ile 134,57 μm boyut aralığında değiştiğini görmüşlerdir. Gaz basıncı temel bir parametredir. Aynı nozul geometrisinde, gazın debisi ve hızını etkilediğinden dolayı toz boyutu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, basınç artışı, sıvı metale daha yüksek enerjinin aktarılmasını sağlayarak, daha küçük ortalama toz boyutuna sahip metal tozu üretimini sağladığını bildirmişlerdir.

Metz ve ark.(2008), ise azot atomize kalay tozu boyut dağılımı ve morfolojisini incelemişler, artan gaz basıncında veya debisinde daha dar boyut dağılımına sahip tozlar üretildiğini bildirmişlerdir.

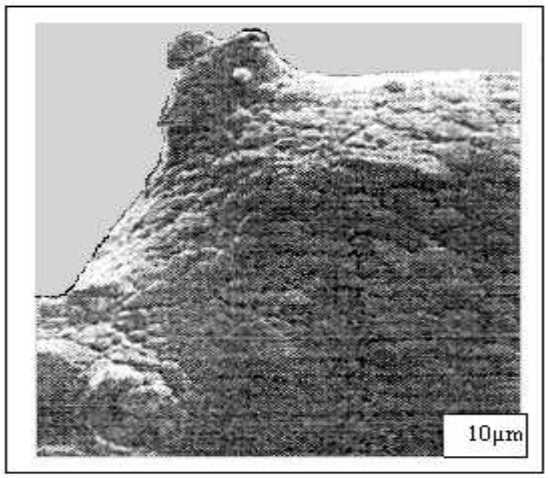
Sıvı metal debisi, doğrudan üretim hızını kontrol ettiği için ekonomik olarak en önemli değişkenlerdendir (Ünal,1996). Bu değişken, metal film kalınlığını ve gaz ile sıvı metal arasındaki ısı transferini etkiler. Daha kalın metal filmi, birincil bölünme esnasında damlaların ortalama boyutunu daha büyük yapar (Ünal,1987).

Diğer önemli üretim değişkeni de özgül gaz tüketimidir (Lawley,1992). Özgül gaz tüketimi, gaz/metal kütle oranı veya gazın hacminin metalin kütlesine oranı olarak ifade edilir (Ünal,1995). Şekil 3.5’de farklı metal ve alaşımlardan alınan verilerin grafiği görülmektedir. Grafikte, gaz/metal kütlesel debi oranındaki artış, ortalama toz boyutunu küçültmektedir.



Şekil 3.5 Farklı metal ve alaşımlar için toz boyutunun özgül gaz tüketimine göre Değişimi(Küçükarslan,2006)

Toz şekli, tozların paketlenmesini, akıcılığını ve sıkıştırılabilirliğini etkiler. Bir tozun şekli üretim yöntemi ve boyut ile değişir (German,1984). Küreselden karmaşık şekillere doğru değişebilen tozun şeklini katılaşma süresi belirler (Alier,1985). Eğer bir sıvı damlacığının küreselleşme süresi ($t_{küre}$), katılaşma süresinden ($t_{katı}$) daha kısa ise parçacık şekli küresel olma eğilimi gösterir. Eğer küreselleşme süresi uzun ise, karmaşık şekle sahip tozlar oluşur. Atomizasyon sırasında karmaşık şekilli bir sıvı damlacığını küreselleşmeye yüzey gerilme kuvvetleri (σ_m) zorlar (Klar,1984). Ergitilen metale uygulanan yüksek miktardaki aşırı ısıtmalar ve küçük çarpma açısı, daha yuvarlak şekilli tozların üretilmesini sağlar. Literatürde Ünal, yapmış olduğu çalışmada, helyum gazı kullanarak atomize ettiği alüminyum tozlarından, yaklaşık 30 µm boyutun altındaki bütün tozların küresel, daha iri tozların ise karmaşık şekle sahip olduğunu bildirmiştir. Alüminyum tozu üretim uygulamalarının çoğunda atomizasyon ortamı olarak, karmaşık şekilli toz üreten basınçlı hava kullanılır. Asal gazlar sadece özel toz şekline ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılır. Gaz atomize tozlar genellikle düzgün yüzeylidir (Connor,2005). Ayrıntıda ise hücresel veya dallantılı bir morfoloji mevcuttur. Şekil 3.6'te asal gaz ile atomize edilmiş çelik tozunun hücresel morfolojisi gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Atomize çelik tozunun hücresel yapılı yüzeyi(German,1984)

Gaz atomize tozların hücresel veya dallantılı morfolojiye sahip olması damlacığın soğuma şeklini yansıtır (Lawley,1992). Atomizasyon sırasında küçük tozların kendisinden daha büyük tozlarla çarpışması sonucu uydulaşmalar meydana gelir. Bu çarpışmalar (Alier,1985); toz boyutu, boyut dağılımı ve toz şekline etkisi sebebiyle önemlidir.

Büyük ve küçük parçacıkların katılaşma süreleri arasındaki fark ve farklı boyutlu damlacıkların atomizasyon gazının etkisiyle değişik oranlarda ivmelenmesi uydulaşmaya sebep olmaktadır (Clyn,1984). Şekil 3.7, iri tozun tamamen katılaşmış olan uydu tozla çarpışmadan önce yarı katı halde olduğunu göstermektedir (Küçükarslan,2006).



Şekil 3.7 Bir toz yüzeyindeki uydu tozları (Küçükarslan,2006)

3.3 Atomizasyon Yöntemiyle Üretilen Tozların Karakterizasyon Metodları

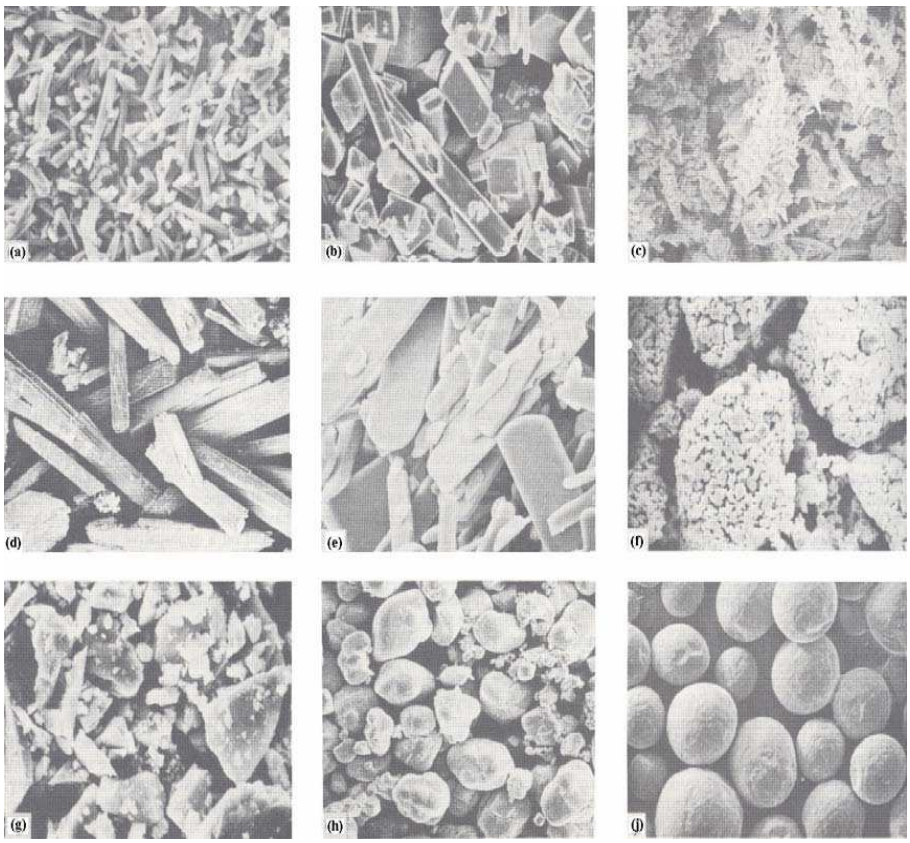
Atomizasyon yöntemi ile üretilen tozlarda incelenen özellikler şunlardır:

1.Tane şekli
2.Tane boyut dağılımı
3.Elek analizleri
4.Yığın yoğunluğu
5.Tozların akış hızı
6.Tozların Oksijen ve Azot içeriği

gibi özellikler incelenmektedir.

3.3.1 Tozların tane şekillerinin incelenmesi:

Tozların tane şekilleri SEM, optik ya da stereo tip mikroskoplarla incelenebilmektedir. Tozun şekli, toz boyutu gibi toz metalurjisi ürünlerin optimum özeliklerini belirleyen ana karakteristiklerdendir. Metal tozların davranışsal karakteristiklerini belirleyen akma oranı, ham yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, sinterlenebilirlik gibi özellikler, tozun boyut ve şekli ile ilgilidirler. Kullanılan atomizasyon yöntemi toz şeklinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Gaz veya hava atomizasyonu parçacıkların yuvarlak şekilli olmasına meylederken su atomizasyonu, düzensiz şekilli parçacıkların oluşmasını sağlar. Şekil 3.8’de ISO 3252’den alınmış bazı tozlara ait şekiller görülmektedir.



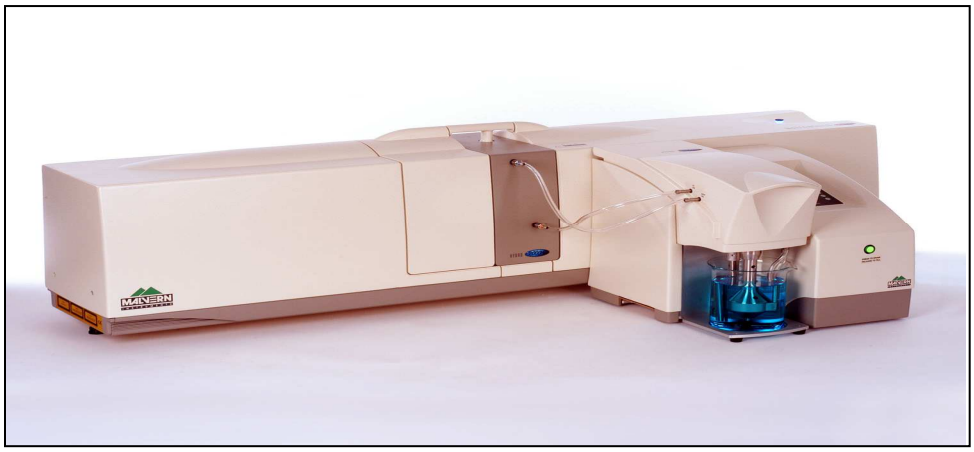
Şekil 3.8 ISO 3252'de resmedilen en yaygın toz parçacık şekilleri (Lenel, 1984)

(a) İğne şekilli toz parçacık (b) Köşeli toz parçacık (c) Dentritik toz parçacık(d) Lifli toz parçacık (e) Pul toz parçacık (f) Taneli toz parçacık(g) Düzensiz toz parçacık (h) Yumru toz parçacık (j) Küresel toz parçacık

3.3.2 Tane boyut dağılımları ve elek analizleri

Tozların boyutları, elek analizi, mikroskobik yöntem, sedimantasyon, ışık huzmesi gibi toz tane boyut ölçüm yöntemleri ile elde edilir. Genellikle toz boyutunu belirlemede izdüşüm alanı, maksimum boyut, minimum kesit alanı, hacim, çap, en, boy gibi parametreler kullanılır. Karmaşık şekilli tozların boyut belirlemesinde bu parametrelerden birkaçı birden kullanılabilir. Toz üretim teknikleri; üretilen tozların şekillerini belirlemektedir. Toz tane şekli; tozun akıcılığı, görünür ve ham yoğunluk değerleri, ham mukavemet, sıkıştırılabilirlik gibi özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Metal tozu ile yapılan proseslerde kullanılan tozun boyut ve şekli malzemenin özelliklerine çok etkilemektedir. Bu yüzden tozların boyutlarının ölçülmesi gerekmektedir. T/M sanayinde en çok kullanılan toz ölçüm yöntemi elek analizidir. Eleklerle, sadece, toz boyut analizi yapılmaz aynı zamanda hangi oranda

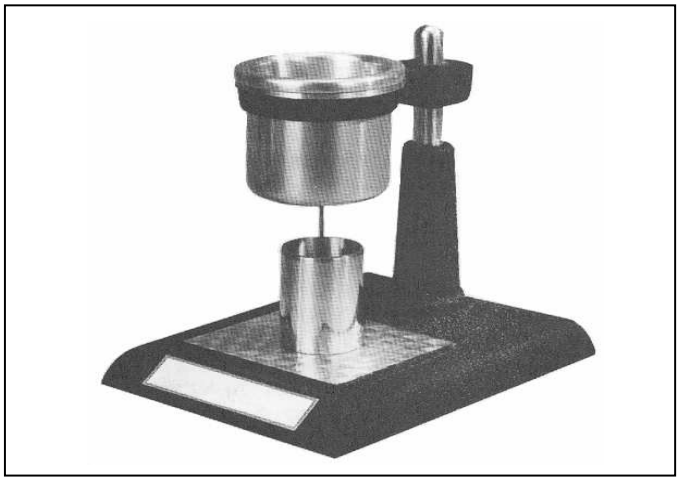
ne boyutta toz elde edildiğini de gösterir. Toz boyut analizi ile tozun şekli birbirine karıştırılmamalıdır. Toz boyutu ile tozun küresel çapı anlaşılmaktadır. Ancak, birçok metal tozu düzensiz şekillidir. Böyle tozların boyut ve dağılımını tespit edebilmek için, tozların; uzunluk, hacim, kütle, toplam yüzey alanı gibi ölçülebilen özeliklerinden faydalanılır (Ullrich, 1984).



Şekil 3.9 Malvern Mastersizer 2000 Tane Boyut Dağılım Cihazı

3.3.3 Yığın Yoğunluğu ve Akış hızı Tayini

Metal tozun ham(yığın) yoğunluğu, tozun temel özelliklerinden biridir. Ham yoğunluk, sıkıştırılmamış tozların birim hacimde kapladığı ağırlık olarak tarif edilebilir. Bu da kalıp dizaynını ve sıkıştırma basıncını belirlemede önemli bir büyüklüktür. Ham yoğunluğun tespitinde en yaygın olarak Şekil 3.10'da gösterilen Hall akışmetresi kullanılmaktadır.



Şekil 3.10 Hall Akışmetresi (Başaran,2007)

Ham yoğunluğa; katı metalin yoğunluğu, toz boyutu, toz boyut dağılımı, tozun şekli, yüzey alanı, tozun pürüzlülüğü etki eder. Ham yoğunluk toz boyutuyla ilişkilidir (Leo, 1984).

Ham yoğunluk;

a) toz boyutu küçüldükçe, düşer,
b) tozun şekli çok düzensiz ve daha az küresel oldukça, azalır,
c) yüzey pürüzlülüğü arttıkça, düşer,
d)genellikle, değişik boyutlarda tozların karıştırılmasıyla, kontrol edilir (Başaran,2007).

Toz Boyutunun Etkisi: Toz boyutu azaldıkça genellikle ham yoğunluk da azalır. Toz boyutu ne kadar küçükse tozların birbirleriyle teması nedeniyle oluşturacağı yüzey alanı o oranda büyür. Bu olay, tozların birbiriyle sürtünmelerini arttırır ve dolayısıyla yoğunluğu düşürür. Gaz atomizasyon yöntemi ile küresel olarak üretilmiş paslanmaz çelik tozları, yuvarlak şekillerinden dolayı birbirleriyle çok az sürtündüğünden, yukarıda bahsedilen özellikleri göstermezler. Toz boyutunun küçülmesinin yoğunluk üzerindeki etkisi, özellikle 20 μm'dan küçük toz boyutlarında çok önemlidir (Leo,1984).

Toz Şeklinin Etkisi: Tozun şekli küresel şekilden ne kadar farklılaşırsa metal tozların sürtünen yüzey alanları artacak ve dolayısıyla ham yoğunluk o oranda düşecektir.

Atomizasyon yöntemi ile üretilmiş tozların çoğu küresel olup bu şekildeki tozlar en fazla ham yoğunluğa sahiptirler. Küresel tozların ham yoğunluğu imal edildiği malzemenin yaklaşık yarısıdır. Toz şekillerin diğer bir kısmını temsil eden ve imal edildiği malzemenin yoğunluğunun % 10'u mertebesinde ham yoğunluğa sahip pul tozlardır. Düşük ham yoğunluk özelliklerine sahip oldukları için özellikle boya sanayinde pigment olarak kullanılmaktadırlar (Leo,1984).

Tozun Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi: Birim hacim başına yüzey alanının azalması, yüzey pürüzlülüğünün azalmasına dolayısıyla da sürtünme kuvvetlerinin azalmasına neden olur. Bu durum tozların birbirleri arasındaki boşlukları doldurmasını ve ham yoğunluğun artmasını sağlar (Leo,1984).

Tozun Boyut Dağılımının Etkisi: Metal tozlarının ham yoğunluğunu arttırmanın etkili yöntemlerinden biri de metal tozları arasındaki boşlukları daha küçük tozlar ile doldurmaktır (Leo, 1984).

Akış oranı; 50 gr'lık standart toz ağırlığının atmosferik şartlar altında özel olarak dizayn edilmiş bir huniden akması için geçen zamanı ifade etmektedir. Akış oranı üretim kapasitesini etkileyen bir faktördür. Düşük akış oranı, tozun kalıp içine istenen şekilde dolmasına mani olacağı gibi basınç kuvvetlerinin de eşit şekilde dağılmasına engel olur. Tozun akış oranının ölçüldüğü değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri de daha önce Şekil 3.10'da gösterilmiş olan ve ham yoğunluğun ölçülmesinde kullanılan Hall akışmetresidir (Patel, 1984).

Akış oranına aşağıdaki parametreler etki eder.

a) Parçacıklar arası sürtünme

b) Toz boyut ve şekli

c) Toz malzemesi

d) Çevre şartları

e) Tozun ana malzemesinin yoğunluğu

f) Yaslanma açısı (Patel, 1984).

3.3.4 Oksijen ve Azot Tayini

Tozların oksijen ve azot tayinleri oksijen tayini cihazıyla yapılmaktadır. Su atomize tozların oksijen içeriği gaz atomize tozlardan daha fazladır. Yapılan denemelerde tozların oksijen miktarını belirlemek için LECO TC 400 Oksijen-Azot tayini cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.11 LECO TC400 Oksijen-Azot tayini cihazı

3.4 Gaz Atomizasyon Ünitesi

Gaz Atomizasyon Ünitesi beş ana bölümden meydana gelmektedir:

1. Gaz sistemi

2. Isıtma ve ergitme

3. Atomizasyon kulesi

4. Toz tutma bölümü

5. Nozul

3.4.1 Gaz sistemi

Gaz sisteminin amacı; atomizasyon için gerekli olan basınçlı gazı üniteye verebilmektir. Yapılan deneylerde atomizasyon gazı olarak azot kullanılmıştır. Gaz basıncı 5 bar, 8 bar, 10 bar, 11 bar ve 12 barda üretim denemeleri yapılmıştır.

3.4.2 Isıtma ve ergitme

Ergitme işlemi, atomizasyon sistemine bağlı indüksiyon ocağında seramik potada gerçekleştirilmiştir. Ergitilmiş metalin, pota içerisine daldırılan termocuple vasıtasıyla sıvı metalin sıcaklığı ölçülmüştür. Yapılan denemelerde, 100^{o}C, 150 ^{o}C, 200 ^{o}C ve 250^{o}C aşırı ısıtma yapılmıştır.

3.4.3 Atomizasyon kulesi

Atomizasyon kulesi, sıvı metalin basınçlı gaz ile kesişip atomize edildiği ve sonra da katılaşarak toz haline geldiği kapalı ortama denilmektedir. Atomizasyon kulesinin boyutlarını katılaşma süresi belirler. Dolayısıyla atomizasyon ünitelerinin tasarımında, sıvı damlacığının katılaşmadan önce kule içinde hangi mesafeye ulaşacağını bilmek gerekir. Eğer kule boyutları gereğinden küçük ise, damlacıklar kule çeperlerine yapışacak, boyutların gereğinden büyük olması durumunda ise, maliyeti aşırı bir şekilde artacaktır. Atomizasyon kulesinin paslanmaz çelikten olması, sistemin temizliği açısından önemlidir. Aksi durumda, sistemden uzaklaştırılamayan gazla oluşabilecek kirlilikler sıvı metal damlacıkları ile tepkimeye girebilir (Uslan,1999;Küçükarslan,2006). Sentes-Bir Aş.Gaz Atomizasyon Ünitesi'ne ait atomizasyon kulesi; paslanmaz çelikten imal edilmiş ve iç yüzeyleri sistem temizliği açısından parlatılmıştır. Kule çapı ve yüksekliği damlacıkların katılaşmalarına imkan sağlayacak ölçülerdedir. Kulenin tabanı altı kapalı koni şeklindedir ve iri tozlar bu kısımda toplanmaktadır. Atomizasyonda kullanılan gazın kule dışına tahliye edilmesi ve ince tozların tutulması için siklon kullanılmıştır. Ayrıca gaz atomizasyon çalışmalarını izlemek için kulenin çevresine gözetleme pencereleri yerleştirilmiştir.



Şekil 3.12 Sentes-Bir Aş. Atomizasyon Üniteleri

3.3.4 Siklon

Gaz atomizasyonunda üretilen tozların temizliği ve bu tozların tutulması önemlidir. Atomizasyon işleminden sonra taşıyıcı gazdan metal tozlarını ayırmak için siklon kullanılır (Şekil 3.13). Standart siklon tasarımlarında toz tutma veriminin veya gaz geçiş debisinin yüksek olması istenir. Siklon tasarımı, atomizasyon gazı içinden 5μm'dan daha küçük çapa sahip tozları yüksek bir verimle ayırmak üzere optimize edilebilir (Hopkins,1987;Küçükarslan,2006).



Şekil 3.13 Siklon

3.4.5 Nozul

Gaz atomizasyonu ile yapılan çalışmalarımızda yakından eşlemeli “Mannesmann” tipi nozul kullanılmıştır. Kullanılan nozul ile birlikte ergimiş metal akışını sağlamak amacıyla potanın altına seramik akış borusu yerleştirilerek, sıvı metalin nozul ile olan bağlantıları sağlanmıştır. Kullanılan seramik akış borularının çapları 3 mm ve 4 mm.’dir. Farklı gaz basınçlarında ve farklı metal akış borusu çaplarında ve aşırı ısıtma yapılarak ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Sıvı metal potanın dibindeki seramik akış borusundan nozula ulaşır, nozuldan sıvı metal üzerine gelen basınçlı gaz ile sıvı metal atomize olur. Sıvı metalin seramik borudan ya da nozulun içinden geçerken katılaşmasını engellemek için seramik akış borusu ve nozul da şalomalar yardımıyla ısıtılmıştır.

3.5 Gaz Atomizasyonu Yöntemiyle Yapılan Çalışmalar

Bu yöntemle nikel, bronz ve bakır tozlarının farklı gaz basınçlarında üretimleri yapılmış, nikel tozlarında ayrıca aşırı ısıtmanın etkisi gözlenmiştir. Gaz Atomizasyonlarında azot gazı kullanılmıştır.

3.5.1 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Nikel Tozlarının Üretiminde Yapılan Çalışmalar

Üretim için gerekli nikel külçeleri alınarak indüksiyon ocağında 1160 °C sıcaklıkta ergitilmiştir. Ergiyen metal atomizasyon potasına alınmıştır. Potaya takılan seramik akış borusunun çapı 4mm.dir.

Nozul ölçüleri sabit tutularak gaz basıncının etkisini gözlemlemek için 4 farklı gaz basıncında döküm yapılmıştır. 1.dökümde gaz basıncı 8 bar, 2.dökümde 10 bar, 3.dökümde 11 bar, 4.dökümde 12 bar olarak ayarlanmıştır. Dökümler bittikten sonra tozlar toplama tanklarından alınıp, 75 µm'lik elekten geçirilmiştir. Tablo 3.1'de Nikel tozlarının üretim parametreleri verilmiştir.

Aşırı ısıtmanın etkisini görmek için 12 bar sabit gaz basıncında, akış borusu çapı 4mm alınarak 200, 210 ve 230ºC 'lerde aşırı ısıtma yapılarak 3 deneme yapılmıştır.

Tablo 3.1 Nikel tozlarının atomizasyon parametreleri

Deneme No	Sıcaklık (°C)	Gaz Basıncı (bar)	Seramik Boru Çapı (mm)
1	1160	8 bar	4
2	1160	10 bar	4
3	1160	11 bar	4
4	1160	12 bar	4
5	1160+230°C	12 bar	4
6	1160+210°C	12 bar	4
7	1160+200°C	12 bar	4

3.5.2 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Bronz Tozlarının Üretiminde Yapılan Çalışmalar

Üretim için önce pul bakır indüksiyon ocağında 1080-1100 °C arasında ergitilmiştir. Bakır eridikten sonra %6 oranında kalay ilave edilmiştir. Atomizasyon sıcaklığına çıkması için bir süre ergitme potasında bekletildikten sonra atomizasyon potasına alınmıştır. Ergimiş metal sıcaklığı 1190-1220 ºC 'ye geldiğinde atomizasyon başlatılmıştır. Potaya takılan seramik akış borusunun çapı 4mm.'dir. Atomizasyon için kullanılan gaz azot gazıdır. Nozul ölçüleri sabit tutularak 4 adet döküm yapılmıştır.

1.dökümde gaz basıncı 5 bar, 2.dökümde 8 bar, 3.dökümde 10 bar, 4.dökümde 12 bar olarak ayarlanmıştır. Dökümler bittikten sonra tozlar toplama tanklarından alınıp, 75 µm'lik elekten geçirilmiştir. Tablo 3.2'de Bronz tozlarının üretim parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Bronz tozlarının atomizasyon parametreleri

Deneme No	Sıcaklık (C)	Gaz Basıncı (bar)	Nozul Çapı (mm)
1	1190	5	4
2	1190	8	4
3	1190	10	4
4	1190	12	4

3.5.3 Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Bakır Tozlarının Üretiminde Yapılan Çalışmalar

İndüksiyon ocağında pul bakır 1080-1100 °C arasında ergitilmiştir. Sıvı metalin sıcaklığı 1250 °C 'ye geldiğinde 8 bar,10 bar, 12 bar ve 14 bar gaz basıncında 4 adet döküm yapılmıştır. Potaya takılan seramik akış borusunun çapı 3mm.dir. Nozul ölçüleri sabittir.

Dökümler bittikten sonra tozlar toplama tanklarından alınıp, 75 µm'lik elekten geçirilmiştir. Tablo 3.3'de Bakır tozlarının üretim parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Gaz atomize yöntemiyle bakır tozu üretiminde atomizasyon parametreleri

Deneme No	Gaz basıncı	Sıcaklık (°C)	Kullanılan Nozulun Çapı
1	8 Bar	1250	Ø 3 mm
2	10 Bar	1250	Ø 3mm
3	12 Bar	1250	Ø 3mm
4	14 Bar	1250	Ø 3mm

3.6 Su Atomizasyon Ünitesi

Su Atomizasyon Ünitesi altı ana bölümden meydana gelmektedir:

1. Basınçlı Su sistemi
2. Isıtma ve ergitme
3. Atomizasyon kulesi
4. Nozul
5. Toz çöktürme bölümü
6. Kurutma ünitesi

Su atomizasyon Ünitesi, Gaz atomizasyon sistemiyle benzerdir. Farklı olarak sıvı metalin atomize işlemi için gaz yerine basınçlı su kullanılır. Tozlar çamur halinde elde edildiği için, çöktürme işlemiyle sudan ayrıştırılır ve kurutma ünitesinde kurutucuda kurutulur.

3.6.1 Basınçlı Su sistemi

Basınçlı su sisteminin amacı; atomizasyon için gerekli olan basınçlı suyu üniteye verebilmektir. Yapılan deneylerde atomizasyon için basınçlı su, Kamat Su Jeti Pompaları yardımıyla sağlanmıştır. Deneylerde toz üretimi için uygulana su basınçları 200, 220 ve 240 bardır.

3.6.2 Isıtma ve ergitme

Ergitme işlemi, gaz atomizasyon sistemiyle aynıdır. Atomizasyon sistemine bağlı indüksiyon ocağında seramik potada gerçekleştirilmiştir. Pota içerisine daldırılan termokupl vasıtasıyla sıvı metalin sıcaklığı ölçülmüştür. Yapılan denemelerde, 100^{o}C, 150 ^{o}C, 200 ^{o}C ve 250^{o}C aşırı ısıtma yapılmıştır.



Şekil 3.14 Ergimiş metalin nozuldan geçerek atomize olması

3.6.3 Atomizasyon Kulesi

Gaz atomizasyon sistemiyle aynıdır. Ancak kulenin alt kısmında toz toplama tankı yerine toz çöktürme ünitesi vardır.

3.6.4 Nozul

Su atomizasyonu ile yapılan çalışmalarımızda yakından eşlemeli “Mannesmann” tipi nozul kullanılmıştır. Kullanılan seramik akış borularının çapları 3 mm ve 4 mm.’dir. Farklı su basınçlarında ve farklı metal akış borusu çaplarında ve aşırı ısıtma yapılarak ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Sıvı metal potanın dibindeki seramik akış borusundan nozula ulaşır, nozuldan sıvı metal üzerine gelen basınçlı su ile sıvı metal atomize olur.

3.6.5 Toz Çöktürme Ünitesi

Atomizasyon tünelinin altında, atomize olan tozun ve atomizasyonu sağlayan suyun toplandığı kısımdır. Burada toz çökerek, su bir sifon sistemiyle uzaklaştırılır, daha sonra çöken toz, kurutucuya gönderilir.



Şekil 3.15 Toz çöktürme ünitesi

3.6.6 Kurutma Ünitesi

Çamur halindeki toz kurutma ünitesine gelerek yaklaşık 120 ^{o}C'de kurutulur. Eğer ısı yüksek olursa, tozların kuruma esnasında oksitlenmesine neden olur.



Şekil 3.16 Toz kurutma fırını

3.7 Su Atomizasyonu Yöntemiyle Yapılan Çalışmalar

Bu yöntemle 316L paslanmaz çelik ve bronz tozlarının farklı su basınçlarında üretimleri yapılmış, 316L paslanmaz çelik tozlarında ayrıca aşırı ısıtmanın etkisi gözlenmiştir.

3.7.1 Su Atomizasyonu Yöntemi ile Bronz Tozlarının Üretiminde Yapılan Çalışmalar

Bronz tozlarıyla su basıncının etkisini görmek için denemeler yapılmıştır. 200 Bar, 220 Bar ve 240 Bar'da, çapı 4mm ve 3,5 mm lik seramik akış borularıyla 1120-1190°C atomizasyon sıcaklıklarında toz üretimleri yapılmıştır. Tablo3.4'de atomizasyon parametreleri görülmektedir.

Tablo 3.4 Bronz tozlarının su atomizasyon parametreleri

Deneme No	Su basıncı	Sıcaklık(°C)	Seramik Akış Borusu Çapı
1	200 Bar	1120-1190	Ø 3,5mm
2	200 Bar	1120-1190	Ø 4mm
3	240 Bar	1120-1190	Ø 3,5mm
4	240 Bar	1120-1190	Ø 4mm
5	220 Bar	1120-1190	Ø 3,5mm
6	220 Bar	1120-1190	Ø 4mm

3.7.2 Su Atomizasyonu Yöntemi ile 316L Paslanmaz Çelik Tozlarının Üretiminde Yapılan Çalışmalar

316 L alaşımı hazırlandıktan sonra 1570-1610°C sıcaklıklarda 4 farklı su basıncında atomizasyon yapılmıştır.

Tablo 3.5 316L tozlarının üretim parametreleri

Deneme No	Atomizasyon Sıcaklığı	Atomizasyon Su Basıncı	Seramik Akış borusu çapı
1	1550 ^{o}C	100 Bar	Ø 5 mm
2	1550 ^{o}C	150 Bar	Ø 5 mm
3	1550 ^{o}C	200 Bar	Ø 5 mm
4	1550 ^{o}C	250 Bar	Ø 5 mm

150 Bar su basıncında 130 ^{o}C ve 180°C aşırı ısıtma yapılarak toz üretimi yapılmıştır. Seramik akış borusu çapı 6 mm'dir.

Tablo 3.6 316L tozlarının aşırı ısıtma ile üretim parametreleri

Deneme No	1	2
Atomizasyon Sıcaklığı	1550°C	1600°C
Aşırı Isıtma	130 °C	180°C
Atomizasyon Su Basıncı	150 Bar	150 Bar
Seramik Akış borusu çapı	Ø 6 mm	Ø 6 mm

BÖLÜM DÖRT

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu bölümde, atomizasyon değişkenlerinden gaz basıncı, su basıncı ve aşırı ısıtmanın nikel, bakır, bronz ve 316L tozlarının tane boyut dağılımına, oksijen miktarına, yığın yoğunluğu ve tane şekline olan etkileri ele alınmıştır.

4.1 Gaz Atomizasyonunda Farklı Gaz Basınçlarında Toz Özelliklerinin İrdelenmesi

Gaz atomizasyonu yöntemi kullanılarak farklı azot gazı basınçları ile nikel, bakır ve bronz tozları üretilmiş, üretilen tozların tane boyut dağılımları, oksijen miktarları, yığın yoğunlukları ölçülmüştür. Ayrıca nikel tozlarının üretiminde aşırı ısıtma yapılmıştır. Farklı gaz basınçlarının ve aşırı ısıtmanın toz özelliklerine etkisi incelenmiştir.

4.1.1 Nikel Tozlarına Farklı Gaz Basınçlarının Etkisi

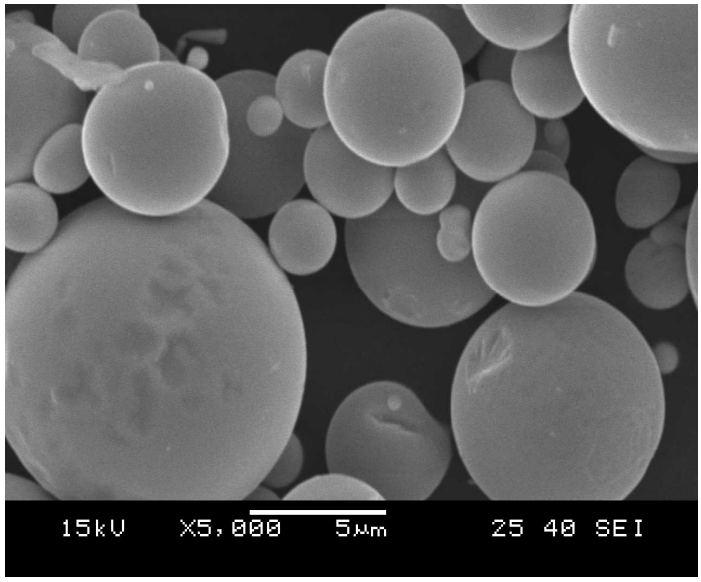
Tablo 4.1 Nikel Tozlarının Atomizasyon parametreleri ve toz özellikleri

Deneme No	Gaz Basıncı (Bar)	Tane Boyutu Dağılımları(µm)			Oksijen Miktarı (ppm)	Elek Verimi (0-75 µm) (%)
		D(0,1)	D(0,5)	D(0,9)		
1	8	8,82	31,78	67,21	291	49,42
2	10	8,07	25,54	62,84	397	54,06
3	11	7,58	22,26	67,63	425	57,11
4	12	7,74	20,38	63,04	434	58,12

Yapılan nikel tozu denemelerinde, gaz basıncının etkisi açıkça görülmüştür. Gaz basıncı arttığı zaman üretilen tozların ortalama tane boyutu küçülmüş, bu tozların kullanım aralığı 75 µm altı olduğundan verim artmıştır. Yapılan çalışmalarda 11 bar gaz basıncında tozların %50'sinin 20,38 µm altında olduğu, 8 barda ise tozların %50'sinin 31,78 µm'nin altında olduğu görülmüştür. Ancak tane boyutu küçüldüğünde tozların yüzeyinde oksitlenmenin arttığı, oksijen tayin analizlerinde

açıkça görülmüştür.11 barda üretimi yapılan tozun oksijen içeriği 434 ppm iken 8 barda üretilen tozun oksijen içeriği 291 ppm olarak ölçülmüştür.

Bu konuda yapılan daha önceki deneysel çalışmalarda da gaz basıncı arttığında tane boyutunun küçüldüğü gözlenmiştir. (Allimant ve diğer, 2009). Allimant ve arkadaşları çalışmalarında 4 bar, 9 bar ve 14 barda alüminyum tozlarının üretimini yapmış ve deneme sonuçlarında 4 barda üretilen tozun %50si 59 µm, 14 barda üretilen tozun tane boyutunun %50'si ise 44 µm olarak ölçmüşlerdir. Basınç artışı, sıvı metale daha yüksek enerjinin aktarılmasını sağlayarak, daha küçük ortalama toz boyutuna sahip metal tozu üretimini sağlamıştır.



Şekil 4.1 Nikel tozunun SEM mikroskobundaki görüntüsü (8 barda üretilen nikel tozu)

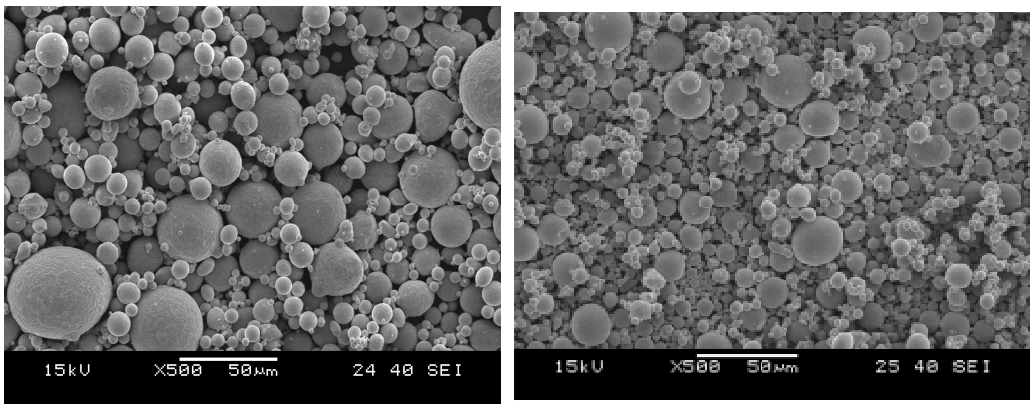
4.1.2 Bronz Tozlarına Farklı Gaz Basınçlarının Etkisi

Tablo 4.2 Bronz Tozlarının Atomizasyon parametreleri ve toz özellikleri

Deneme No	Gaz Basıncı (Bar)	Tane Boyutu Dağılımları(µm)			Oksijen Miktarı (ppm)	Yığın yoğunlukları (g/cm^3)	Elek Verimi (0-75 µm) (%)
		D(0,1)	D(0,5)	D(0,9)			
1	5	9,56	27,10	67,26	924	4,97	46,03
2	8	8,83	25,28	65,29	985	4,72	50,69
3	10	9,31	22,18	68,11	997	4,66	51,32
4	12	9,97	19,21	62,82	1008	4,40	58,21

12 barda üretilen bronz tozunun %50si 19,21 µm,5 barda üretilen tozun %50si 27,10µm boyutundadır. Toz boyutu inceldikçe oksijen miktarı da artmıştır. 12 barda üretilen toz daha ince ama oksijeni en yüksek olan tozdur. Bu tozun oksijeni 1008 ppm, 5 barda üretilen tozun ise 924 ppm'dir. Ayrıca toz boyutu inceldikçe tozların yığın(görünür) yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.

Leo(1984), toz boyutu küçüldükçe, tozların birbiriyle teması nedeniyle oluşturacağı yüzey alanının arttığını ve yığın yoğunluğunun düşeceğini söyler, küresel tozlarda ise bu özelliğin geçerli olmadığını bildirmiştir. Ancak tozlarda oksijen miktarı fazlaysa yüzey pürüzlülüğü artar, dolayısıyla daha az küreselliğe sahip olur ve bu sebeple, oksijen miktarı daha fazla olan tozun yığın yoğunluğu daha düşüktür.



(a) (b)

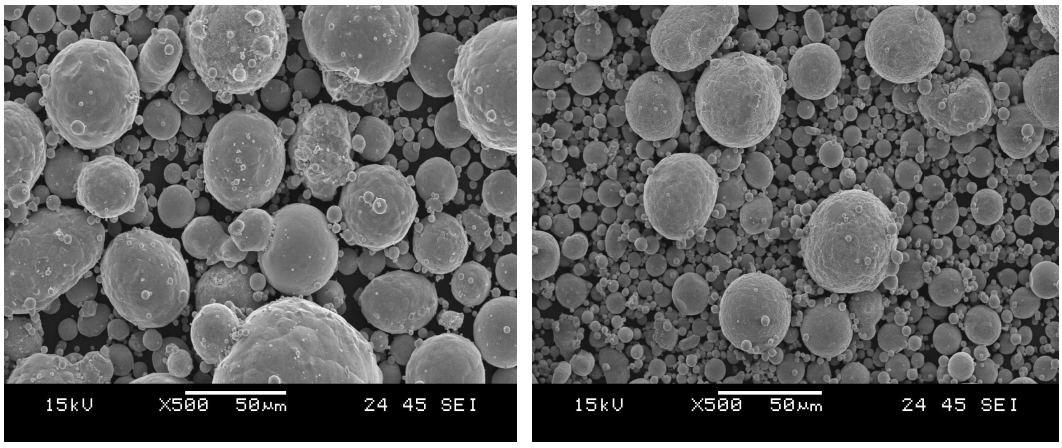
Şekil 4.2 Bronz tozunun SEM mikroskobunda görüntüsü (a) 5 barda üretilen bronz tozu (b)12 barda üretilen bronz tozu

4.1.3 Bakır Tozlarına Farklı Gaz Basınçlarının Etkisi

Tablo 4.3 Bakır Tozlarının Atomizasyon parametreleri ve toz özellikleri

Deneme No	Gaz basıncı	Tane boyutu Dağılımları (µm)			Oksijen Miktarı (ppm)	Yığın yoğunlukları (g/cm^3)	Elek verimi (0-75 µm) (%)
		D(0,1)	D(0,5)	D(0,9)			
1	8 Bar	13.95	32,64	73,85	627	4,97	56,24
2	10Bar	12,66	31,46	72,83	643	4,93	57,14
3	12Bar	11,22	29,53	73,24	764	4,76	65,73
4	14Bar	11,05	27,35	71,64	795	4,56	72,26

14 barda üretilen tozun %50si 27,35 µm,10 barda üretilen tozun %50si 31,46µm boyutundadır. Bronz tozu denemelerinde olduğu gibi toz boyutu inceldikçe oksijen miktarı da artmıştır. Ayrıca toz boyutu inceldikçe tozların yığın(görünür) yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.



(a) (b)

Şekil 4.3 Gaz atomize bakır tozlarının SEM mikroskobu görüntüleri (a) 8 barda üretilen bakır tozu b)14barda üretilen bakır tozu

4.1.4 Nikel Tozlarına Aşırı Isıtmanın Etkisi

Deneme üretimlerinde gaz basıncı 14 bar, akış borusu çapı 4mm alınarak 3 deneme yapılmıştır. Denemelerde 200, 210 ve 230 ºC 'lerde aşırı ısıtma yapılmış ve etkileri incelenmiştir.

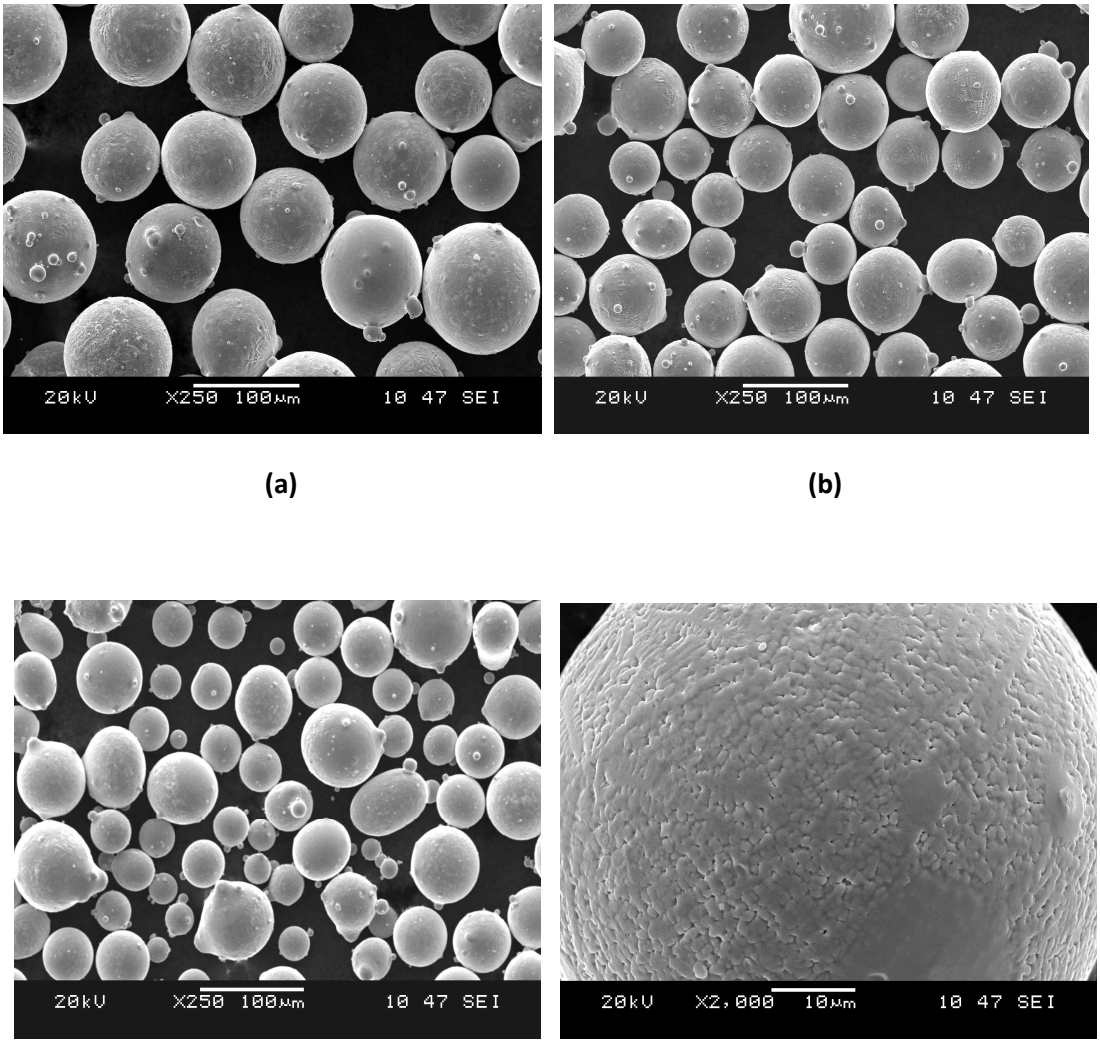
Tablo 4.4 Nikel Tozlarının Atomizasyon parametreleri ve toz özellikleri

Deneme No	Aşırı Isıtma 1160 ºC	Tane Boyutu Dağılımları (µm)			Yığın Yoğunluğu (g/cm^3)	Oksijen Miktarı (ppm)	Elek Verimi (44-100 µm) (%)
		$D_(0,1)$	D(0,5)	D(0,9)			
1	+200 ºC	46,12	63,56	88,26	4,53	144	26,90
2	+210 ºC	43,34	62,67	90,69	4,54	112	30,26
3	+230 ºC	42,77	61,17	87,57	4,68	108	24,79

Tozların verimlerine bakıldığında bu tozların kullanım aralığı 44-100 µm olmasından dolayı, belli bir sıcaklığa çıkana kadar verimin arttığı, daha fazla ısıtma yapıldığında tozların daha da incelmesi nedeniyle verimin düşmeye başladığı görülmektedir.

Literatürlerde aşırı ısıtmanın, tozun tane boyutu ve tanelerin şekli üzerinde etkisi olduğu belirtilmektedir. Gummeson'a(1972) göre aşırı ısıtmanın daha ince tane boyutu elde edilmesinde ve daha küresel tane şekli elde edilmesinde etkisi vardır (Küçükarslan, 2006).

Tozlar SEM (Scanning electron microscop)'de incelenmiştir. Toz görüntülerinden aşırı ısıtmanın tozların boyutları üzerindeki etkisine bakıldığında, daha yüksek aşırı ısıtmanın daha ince tane boyutu elde edilmesine neden olduğu açıkça görülmektir.



Şekil 4.4 Nikel tozlarının yüzey morfolojisi (a) 200 ^{o}C aşırı ısıtılmış, (b) 210 ^{o}C aşırı ısıtılmış, (c,d) 230 ^{o}C aşırı ısıtılmış.

Tozların yüzeyleri incelendiğinde aşırı ısıtmanın miktarı arttıkça yüzeydeki uydulaşmaların azaldığı görülmüştür. Tozlar daha düzgün bir yüzeye sahiptirler. Aşırı ısıtma miktarı arttıkça tane şekillerinin daha düzgün bir küresel yüzeye sahip olduğu görülmüştür.

4.2 Su Atomizasyonunda Farklı Su Basınçlarında Toz Özelliklerinin İrdelenmesi

Su atomizasyonu yöntemi kullanılarak farklı gaz basınçları ile ve aşırı ısıtma yapılarak demir alaşımları, bakır ve bronz tozları üretilmiş, üretilen tozların tane boyut dağılımları, oksijen miktarları, yığın yoğunlukları ölçülmüştür. Farklı su basınçlarının ve aşırı ısıtmanın toz özelliklerine etkisi incelenmiştir.

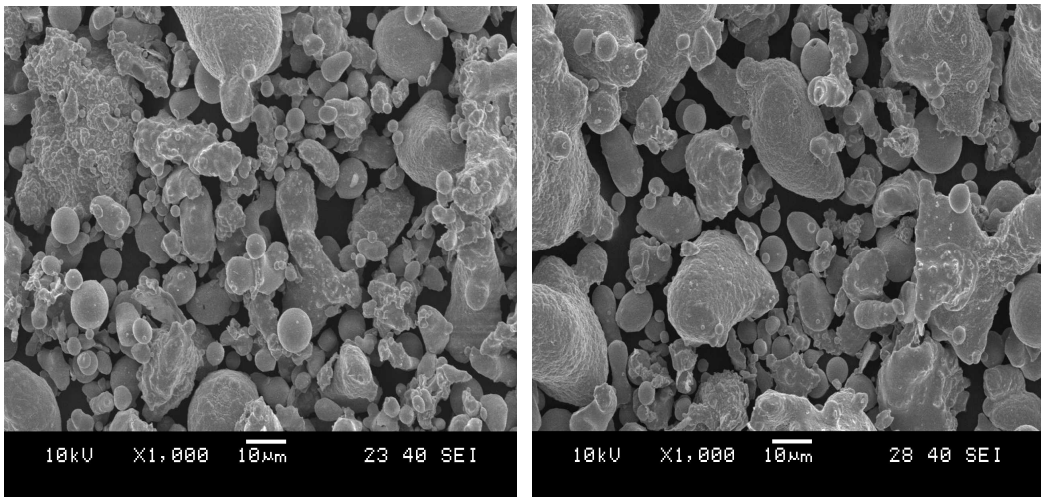
4.2.1 Bronz Tozlarına Farklı Su Basınçlarının Etkisi

Tablo 4.5 Su Atomize Bronz Tozlarının Atomizasyon parametreleri ve toz özellikleri

Deneme No	Su Basıncı - Seramik Nozul Çapı	Tane boyutu Dağılımları (µm)			Oksijen Miktarı (ppm)	Yığın yoğunlukları (g/cm^3)	Elek verimi (0-75 µm) (%)
		D(0,1)	D(0,5)	D(0,9)			
1	200Bar/4mm	12,49	29,73	72,77	2645	4,06	75,54
2	200Bar/3,5mm	11,61	27,97	71,24	2875	3,88	73,98
3	240Bar/4mm	11,22	25,53	73,20	3495	3,76	78,54
4	240Bar/3,5mm	9,05	24,35	71,88	3357	3,80	77,71
5	220Bar/4mm	8,53	28,46	72,05	2743	4,01	74,38
6	220Bar/3,5mm	12,05	26,15	74,88	2475	4,09	68,63

Bronz Tozlarında 240 Bar su basıncında, 3,5 mm Seramik Akış Borusu çapında yapılan üretimlerde daha ince tozlar elde edildiği görülmüştür. Seramik akış borusu çapı küçüldükçe sıvı metalin akış hızı yavaşlar ve basınçlı su, daha fazla sıvı metale temas ederek daha çok parçalanmasına neden olur, bu sebeple suyun basıncıda yüksek olduğundan daha hızlı çarpar ve ortalama tane boyutunun küçülmesine neden olur. Bu tozların %50si 24,35µm'nin altındadır. İnce tozların oksijen içeriğinin daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ince tozların yığın yoğunlukları daha düşüktür.

Ankus ve arkadaşları gümüşün su atomizasyonu çalışmalarında farklı su basınçlarında çalışmalar yapmıştır. Yüksek su jeti basınçlarında ince tanelerin miktarının arttığını görmüştür (Ankus,1990).



(a) (b)

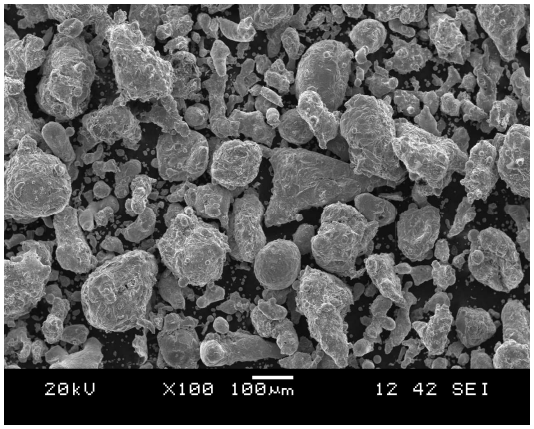
Şekil 4.5 Su Atomize bronz tozlarının SEM görüntüleri a) 240 bar su basıncında 3,5mm akış borusu ile üretilen bronz tozu b)200 bar su basıncında 4 mm akış borusu ile üretilen bronz tozu

4.2.2 316L Paslanmaz Çelik Tozlarına Farklı Su Basınçlarının Etkisi

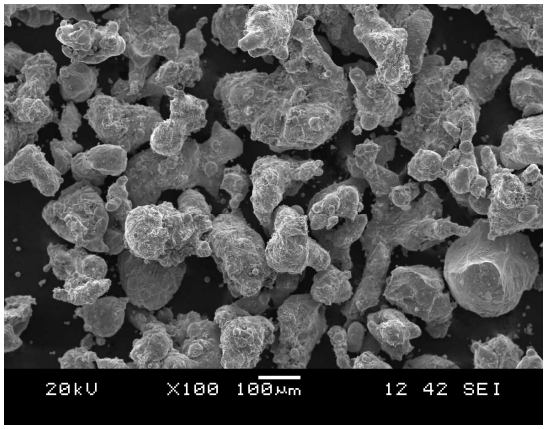
Yapılan denemelerde 316L alaşımının su atomizasyonunda farklı su basınçları uygulanarak tozların özelliklerine etkileri incelenmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında su basıncı arttığında toz boyutunun küçüldüğü ve iri tozların azaldığı görülmüştür. 250 Bar su basıncında ortalama tane boyutu 45,35 µm, 100 bar basıncında 57,31 µm olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6 Su Atomize 316L Paslanmaz Çelik Tozlarının Atomizasyon parametreleri ve toz özellikleri

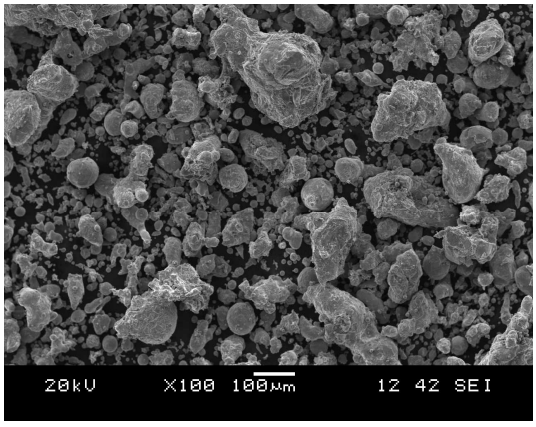
Deneme No	Su Basıncı (Bar)	Tane Boyutu Dağılımları (µm)			Yığın Yoğunluğu g/cm^3	Oksijen Miktarı ppm
		D(0,1)	D(0,5)	D(0,9)		
1	100	14,58	57,31	185,07	3,84	6197
2	150	17,08	56,49	182,08	3,78	6272
3	200	17,37	51,29	184,98	3,76	6108
4	250	13,34	45,35	180,90	3,72	6597



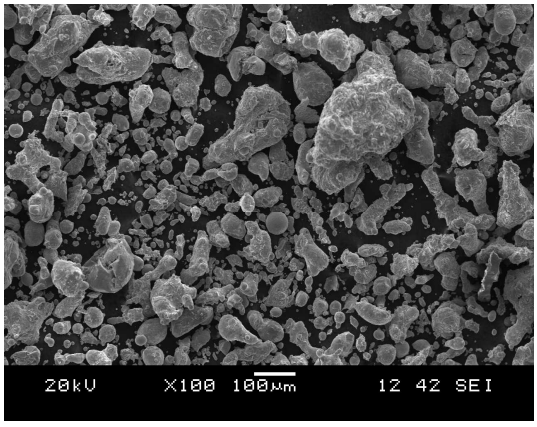
(a)100Bar



(b)150Bar



(c) 200Bar



(d)250 Bar

Şekil 4.6 316L tozuna su basıncının etkisi

4.2.2 316L Paslanmaz Çelik Tozlarına Aşırı Isıtmanın Etkisi

Su atomize paslanmaz çelik tozu üretiminde aşırı ısıtmanın etkileri gözlenmiştir. Yapılan denemelerde 150 bar basınçta 130 ^{o}C ve 180 ^{o}C aşırı ısıtma yapılmış,180 ^{o}C aşırı ısıtma yapıldığında ortalama tane boyutunun düştüğü tane dağılım ve SEM görüntülerinden görülmüştür.

Anson çalışmalarında gümüşün su atomizasyonunda 75^{o}C, 200^{o}C, 350^{o}C ve 430^{o}C aşırı ısıtma yapmış, 430^{o}C aşırı ısıtmada daha küçük ortalama tane boyutu elde etmiştir (Anson,1992).

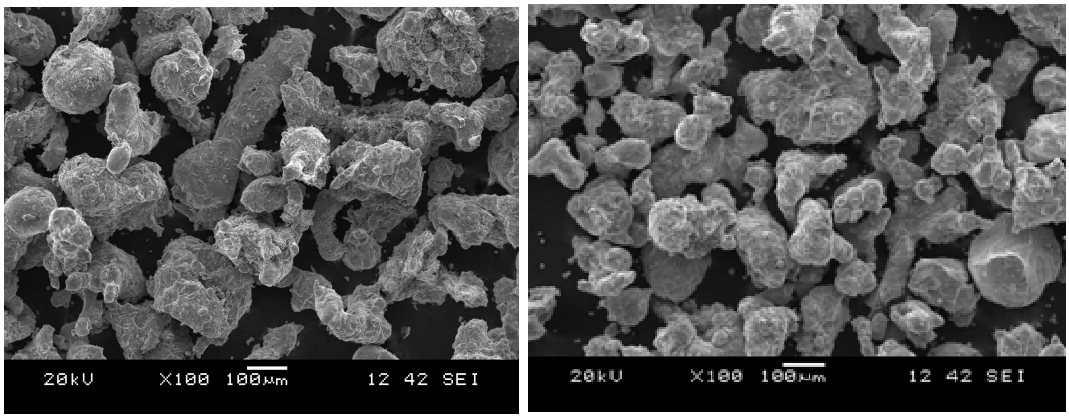
Ünal araştırmalarında, ergitilen metale uygulanan yüksek miktardaki aşırı ısıtmalar ve küçük çarpma açısı, daha yuvarlak şekilli tozların üretilmesini sağladığını bildirmiştir (Ünal, 2007)

Sıvı metalin aşırı ısıtılması viskozite ve yüzey gerilimini etkiler. Ortalama tane boyutunu düşürür. Dunkley(1978) çalışmalarında, çinkonun atomizasyonunda 100 ve 300 ^{o}C aşırı ısıtma yapmış, ortalama tane boyutu 150 µm'dan 100 µm'a düştüğünü görmüştür. Small ve Bruce (1968) kobaltın atomizasyonunda 150 ^{o}C aşırı ısıtma yaparak ortalama tane boyutunu %13,5 düşürmüştür.

Aşırı ısıtmanın tane boyutu üzerindeki etkisinin dışında, tandişten nozula akarken metalin seramik akış borusunda donmasını da engeller. Ayrıca tanelerin şekli üzerinde de etkisi vardır, daha küresel taneler elde edilmesini sağlar (Dunkley,1978).

Tablo 4.7 Aşırı Isıtmanın 316L Tozuna etkisi

Deneme	Aşırı Isıtma 1550 ^{o}C	Tane Boyutu Dağılımları (µm)			Yığın Yoğunluğu g/cm^3	Oksijen Miktarı ppm
		D(0,1)	D(0,5)	D(0,9)		
1	+130 ^{o}C	17,08	56,49	182,08	3,78	6272
2	+180 ^{o}C	16,85	55,60	182,10	3,81	6081



130°C aşırı ısıtılmış 180°C Aşırı ısıtılmış

Şekil 4.7 316L tozuna aşırı ısıtmanın etkisi

BÖLÜM BEŞ

DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

5.1 Değerlendirmeler

Atomizasyon yöntemi toz metalurjisinin son zamanlarda oldukça gelişen üretim yöntemlerinden biridir ve tozların özelliklerinin üretim esnasında istenilen şekilde değiştirilebilmesine olanak sağlar. Atomizasyon yöntemlerinde toz özelliklerine etki eden parametreler; Sıvı metal ile ilgili olanlar: Ergimiş metalin sıcaklığı, Viskozitesi, Yüzey gerilmesi Akış debisidir. Diğer etkileyen parametreler: Gazın veya sıvının cinsi, Basıncı, Debisi, Hızı ve Nozul geometrisidir.

Bu çalışmada, yakından eşlemeli Mannesmann tipi nozul kullanılarak, metal tozlarının üretiminde yaygın olarak kullanılan gaz ve su atomizasyonu yöntemiyle nikel, bakır, bronz ve paslanmaz çelik tozlarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen tozlarının boyutuna ve dağılımına, şekline ve yüzey morfolojisine bazı üretim parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Yapılan denemelerde ergimiş metalin sıcaklığı, gaz ve su basınç değişimlerinin etkileri incelenmiştir.

Ergimiş metalin atomizasyon sıcaklığına aşırı ısıtma denemeleri yapılmıştır. Aşırı ısıtma sıcaklığı arttıkça gaz atomizasyonunda tozların yüzey görünümünde düzgünleşme ve ortalama tane boyutunda düşüş görülmüştür. Ergitilen metale uygulanan yüksek miktardaki aşırı ısıtmalar ve küçük çarpma açısı, daha yuvarlak şekilli tozların üretilmesini sağlamaktadır.

Gaz ve su basıncı değişimlerinde ise gaz ve su basıncı arttırıldığında toz boyutunun inceldiği, ince toz miktarı arttıkça yığın yoğunluğunun düştüğü görülmüştür. Daha önce de bahsedildiği gibi; gaz basıncı temel bir parametredir ve aynı nozul geometrisinde, gazın debisi ve hızını etkilediğinden dolayı tozların inceliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basınç artışı, sıvı metale daha yüksek

enerjinin aktarılmasını sağlayarak, daha küçük ortalama toz boyutuna sahip metal tozu üretimini sağlamıştır (Uslan,2010). Yapılan su atomize 316L paslanmaz çelik üretiminde 250 Bar su basıncında ortalama tane boyutu 45,35 µm, 100 bar basıncında 57,31 µm olarak ölçülmüştür.

Su atomize bakır ve bronz tozlarında yığın yoğunluğu 3,5-4,5 gr/cm^3 arasında iken, gaz atomize bakır ve bronz tozlarında 4,5 gr/cm^3 üzerindedir. Tozlar küreselleştikçe yığın yoğunluğu artmaktadır. Toz boyutu küçüldükçe genellikle ham yoğunluk da azalır. Toz boyutu ne kadar küçükse tozların birbirleriyle teması nedeniyle oluşturacağı yüzey alanı o oranda büyür ve bu nedenle tozların yığın yoğunluğu düşer (Leo,1984).

Sıvı metal akış borusu çapındaki değişim sıvı metal film kalınlığını, dolayısıyla da gaz ile sıvı metal arasındaki ısı transferini etkiler. Daha büyük çaptaki sıvı metal demeti, birincil bölünme esnasında oluşan damlaların boyutunu daha büyük yapar ve böylece daha iri tozlar elde edilir (Küçükarslan,2007). Yapılan denemelerde bronz tozunun su atomizasyonunda 240 Bar su basıncında, 3,5 mm seramik akış borusu çapında yapılan üretimlerde 4mmlik çaptaki akış borusuna göre daha ince tozlar elde edildiği görülmüştür. Seramik akış borusu çapı küçüldükçe sıvı metalin akış hızı yavaşlar ve basınçlı su, daha fazla sıvı metale temas ederek daha çok parçalanmasına neden olur, bu sebeple suyun basıncı da yüksek olduğundan daha hızlı çarpar ve ortalama tane boyutunun küçülmesine neden olur.

5.2 Öneriler

Gaz veya su basıncını arttırmak ya da aşırı ısıtma yapmak her zaman ekonomik olmayabilir. Üretilen tozların kullanım alanlarına göre bu parametreleri belirlemek gerekmektedir.

Eğer sinterlemede kullanılacak bir toz üretilecekse, tozun oksijen miktarından çok yığın yoğunluğu önemli olur. Ayrıca sinterlemede daha iyi sıkıştırılabilirliğe sahip

olduğundan, küresel yerine şekilsiz toz tercih edilir. Bu sebeple daha düşük yığın yoğunluğu olan şekilsiz toz üretmek için yüksek basınçlı su atomizasyonu ile toz üretmek gerekir. Sinterlemede genellikle 75µm altı toz kullanılmasına rağmen kimi zaman 44µm altı tozlarda kullanılmaktadır.

Cam sanayisinde ise yüzey kaplama yapıldığı için oksijen seviyesi düşük tozlar tercih edilir. Çünkü toz yüzeyindeki oksitler kaplama esnasında bazı bölgelerde sıçramalara sebep olur ve yüzey pürüzlülüğüne neden olabilir. Oksijen seviyesi düşük olan tozlar gaz atomize küresel tozlardır. Genellikle bu tozlar 20-100µm ya da 44-100µm tane aralıklarında kullanılırlar. İnce tozlarda oksijen miktarı daha fazla olmaktadır. Bu nedenle yüksek basınçlı gaz kullanmak gereksizdir. Kullanılabilir toz miktarında yüksek verim sağlamaya çalışırken, ince toz miktarı artacağından ekonomik olarak faydasız olacaktır. Özetle üretim şekli ve parametreleri belirlenirken öncelikle üretilecek tozun hangi amaçla kullanılacağını bilmek ve üretim parametrelerini ona göre belirlemek gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aksel, M. H. ve Eralp, O. C. (1994) , *Gas Dynamics,* Prentice Hall International Ltd İngiltere

Alier, A.J., Losada, A. (1985), *Characteristics of atomized powders*, Powder Metallurgy Int., 21(5): 15-19.

Allimant, A., Planche M.P., Dembinskiş L., Coddet, C. (2007), *Modeling and Experimental Study of the High Pressure Gas Atomization of Liquid Metals,* Lermps-Utbm, Belfort, France

Ankus, A.T, Venter R.D. (1992), Water atomization of silver: Effect of pressure and superheat, *Powder Technology Volume 73, Issue 2*, 169-179

Asm International Handbook Committee, (1998), *ASM Metals HandBook Volume* 7: *Powder Metal Technologies and Applications,* 417-421

Aydın, M.. (2005), *Gaz atomizasyon yönteminde yeni bir nozul tasarımı ve toz üretimi*, Dumlupınar Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi,36-42

Baksan, B., Gürler, R. (2003), *Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması*, Osmangazi Üniversitesi Doktora Tezi, Metalurji Enstitüsü, Eskişehir

Başaran, A. (2007), *Toz Metal Parçalara Isıl Ve Mekanik Yüzey İşlemlerin Birlikte Uygulanabilirliğinin Araştırılması*, Süleyman Demirel Üniversitesi Doktora Tezi, Isparta

Beddow, J.K. (1978), The production of metal powders by atomization, *Heyden and Sonc Inc*.,Philadelphia

Champange, B., Angers, R., Fiset, M., (1984), *Characteristics of powders produced by rotating electrode process*, MPR.

CIyne, T.W., Ricks, R.A., Goodhew, P.J. (1984), The production of rapidly solidified aluminium powder by ultrasonic gas atomization. Part I: Heat and fluid flow, *Int. J. Rapid solidification*, 1: 59 - 80.

Connor, J., Ridder, S., Ting, J. *(2005), High-speed cinematography of gas-metal atomization,* Materials Science and Engineering A, 390(1-2): 452-460.

Diederichs, R., Thielman, R. (1972), Production of tool steel powders for powder metallurgical applications, *Dell Technische Berichte ,Vol.12, No.1*,35-40

Dombrowski, N. Johns, W.R.. (1963) The aerodynamic instability and disintegration of viscous liqiud sheets, *Chemical Engineering Science*,18, 203 – 214.

Dunkley, J.J. (1978), The Production of Metal Powders by Water Atomization, *Powder Metall. Int., Vol 10 (No. 1),* 38-41

Ersümer, A. (1970), *Toz metalurjisi: Sert Metal Sinterleme,* İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.

Evcin, A. (2007), *Toz Üretim Teknikleri Ders Notları*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

German, R.. M.. (1994), *Powder Metallurgy Science,* Second Edition, Metal Powder Industries Federation, Princeton. NJ. USA.

Grandzol, R.. (1973), *Water atomization of 4620 steel and other metals*, Ph.d Thesis, Drexel University,Pennsylvania

Grandzol, R.,Tallmadge, J. (1975), Effect of jet angle on water atomization, *International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology, Vol.11,No.2*,103-114

Gummeson, P. (1972), *Powder metallurgy for high performance application*, Syracuse University Press,27-55

Hohmann, M. Jonsson, S. (1990), *New concepts for inter gas atomization Plants*, Metal Powder Report, 47 – 50

Hopkins, W.G. (1987), *High Performance RPS Gas Atomization - Critical Areas of Equipment Design*, Metal Powder Report, 42(10): 706-710

Kishida,H. (1972), *Theory and production of atomized iron powder*, Japan Society of Powder and Powder Metallurgy,19-24

Kurt, A.0. (2002), *Toz Üretim Yöntemleri Ve Sinterleme Ders Notları*, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Küçükarslan, S. (2006), G*az Atomize Kalay Tozu Üretim Parametrelerinin Araştırılması*, Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

Lawley, A. (1992), *Atomization*: *The Production of Metal Powders*, MPIF, New Jersey, 13-34

Leo, A.A. (1984), Apparent Density of Metal Powders. *Metals Handbook. Ninth Edition Vol.7. Powder Metallurgy*, Ohio,273-275

Lubanska, H. (1970), *Correlation of spray ring data for gas atomization of liquid metals*, J. Metals, 38: 45-49.

Matei, G., Matei, D., Moraru, V. (1996), *Studies on the metal and alloys atomization methods*, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 67-89.

Mates, S.P., Settles, G.S. (2005) *A study of Liquid Atomization using Close-Coupled Nozzles, Atomization and Sprays,* Vol 15 (No. 1), 19-60

Mehrotra, S.P. (1981), *Review 15: Mathematical Modelling of Gas Atomization Process for Metal Powder Production*" Part 2, Powder Metallurgy Int., 13(3): 132-135.

Metz, R. Machado, C., Houbes, M., Elkhatib, M.,Hassanzadeh, M., (2008), *Nitrogen Spray Atomization of Molten Tin Metal: Powder Morphology Characteristics,* Journal of Materials Processing Technology, 195(1-2): 248-254

Neikov, O. D. , Stanislav, S., Murashova, V. , Gopienko, G., Frishberg, L., Dina V. (2009), *Handbook of Non-ferrous Metal Powders*, 385-387

Özbilen, S., Ünal A., Sheppard, T. (1996), *Influence of liquid metal properties on particle size of inert gas atomized powders*, Powder Metallurgy, 39(1): 44-52

Patel, K.B. (1984), Flow Rate of Metal Powders, *Metals Handbook Ninth Edition Vol.7. Powder Metallurgy*, 278-281

Patterson, R.J. (1984), Rotating Disk Atomization, *Metals Handbook ,9th ed.Volume 7*,Ohia,ABD

Pye, D. (2003), *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*, ASM International 253s. USA

Randall, M.G. (2007), *Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing*, MPIF,74-88

Salgado, L., Ambrózio, F., Neves, M., Pola, E. and Souza, O.C. (1991), Characterization of Ni-Cu alloy powders produced by the atomization Process, *Materials Science and Engineering :AVolume 133*, 692-697

Sarıtaş, S., and Doğan, C. (1994), *Metal powder production by centrifugal atomization*, Int. J. Powder Metallurgy, 30, 419 – 427.

Singh, S.N. and Ojha, S.N. (1992), *Microstructural investigation on rapidly solidified cast iron powders*, Int.J. Rapit Solidification, 7, 201 – 217

Small, S. and Bruce, T.J,(1968), The Comparison of Characteristics of Water and Inert Gas Atomized Powders, *Int.J. Powder Metall., Vol 4 (No. 3)*, p 7

Stobik, M.(2002), Nanoval atomizing – capabilities, applications and related processes, *Bauckhage, Uhlenwinkel, Eds., Vol 6*, 65-80, Bremen, Germany

Strauss, J.T. (1994), Hotter gas atomization increases atomization efficiency. *Metal Powder Report, Volume 54*, Issue 11, 24-28

Tamura, K., Takeda T. (1963), Production of copper by atomization, *Trans.Natl.Res.Inst. Metals Vol.5, No.5*, 252-256

Ullrich, W.J. (1984), Particle Size and Size Distribution, *Metals Handbook Ninth Edition Vol.7. Powder Metallurgy*, 214-231.

Uslan, İ. (1999), *Gaz atomize alüminyum tozlarının özelliklerine üretim değişkenlerinin etkisinin araştırılması*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4, 58-65, 69-71, 82-100

Uslan, İ., Küçükarslan, S. (2010), *Kalay tozu üretimine gaz atomizasyonu parametrelerinin etkisinin incelenmesi*, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 1, 1-8.

Ünal, A. (1987), *Effect of processing variables on partide size in gas atomization of rapidly solidified aluminium powders*, Materials Science and Technology, 3:1029-1039

Ünal,A. (1989), *Production of rapidly solidified magnesium powders by gas atomization*, Materials Science and Technology, 5(1010): 1027-1033.

Ünal, R., Aydın, M. (2007) ,High Efficient Metal Powder Production by Gas Atomisation Process, *Materials Science Forum Volume 534-536*, 57-60, Switzerland

Ünal R., Aydın, M. (2008), *Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi ile gaz atomizasyon nozulu modellenmesi*, TÜBİTAK Destekli Proje, Dumlupınar Üniv. Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bl, Kütahya, Türkiye

Ünal, R. (2009), *Toz Üretimi* ,16 Haziran 2010, http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html

Vorsa, O. (1963), Iron powder production by atomization with water under pressure, *Pokroky Praskove Metalurgia,Vol.1,No.1*,47-99

Watkinson,J.F. (1958), Atomization of metal and alloy powders, *Powder Metallurgy,Vol.1,No.2*,13-23

Yaşa,A. (2008), *Düz Dişlilerin Modellenmesi Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması*, Celal Bayar Ünv. Yüksek Lisans Tezi,14-30

Yıldız, E.S. (2007), *Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretiminde, nozul geometrisinin toz boyutuna etkisinin araştırılması*, Dumlupınar Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi,8-2

Yule, A.J. ve Dunkley, J.J. (1994), *Atomization of Melts*, Oxford Univ Press NewYork, A.B.D

Zhong. Y.L., Yuan. Y.L. (2007), A New General Equation of Mean Particle Size for Different Atomization Processes , *Materials Science Forum Volumes 534-536*