



**METAL TOZU ÜRETİMİNDE YENİ BİR YÖNTEM
(ELEKTRİK ARK YÖNTEMİ)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf FEDAİ

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halit GÜN
Eylül 2000**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANİSYON MERKEZİ**

**METAL TOZU ÜRETİMİNDE YENİ BİR YÖNTEM
(ELEKTRİK ARK YÖNTEMİ)**

**Yusuf FEDAİ
Mak. Müh.**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halit GÜN

98113

**Afyon
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Eylül 2000**

YÜKSEK LİSANS TEZ ÖZETİ

METAL TOZU ÜRETİMİNDE YENİ BİR YÖNTEM (ELEKTRİK ARK YÖNTEMİ)

Yük. Mak. Müh.
Yusuf FEDAİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Eylül 2000

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halit GÜN

Türkiye de metal tozu ile malzeme üretimi gün geçtikçe hızla artmaktadır. Metal tozu ile üretilen malzemelerin büyük çoğunluğu otomotiv ve elmaslı kesici takım sanayiinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, metal tozu elde etmek için temeli atomizasyon yöntemine dayanan yeni bir metot geliştirilmiştir. Tel elektrot, basınçlı hava ve döner diskten oluşan deney düzeneği, metal tozu tane büyüklüğünü etkileyen parametreleri değiştirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu deney düzeneğinde tel sürme mekanizması ile sürülen çelik teller, çubuk telin ucu ile döner diskin arasında meydana gelen ark sayesinde eritilmektedir. Deneylerde çeşitli çaplarda çelik teller deney düzeneğiyle toz haline getirilmiştir.

Elde edilen metal tozlarının elek analizleri yapılarak sonuçlar tablo ve grafikler halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan değişken parametrelerin metal tozunun tane boyutu üzerine olan etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT**A NEW METHOD FOR METAL POWDER PRODUCTION
(ELECTRIC ARC METOD)****Yusuf FEDAI****Mechanical Engineering Department
Afyon Kocatepe University, Institute of Science****September 2000****Advisor: Assistant Professor Halit GÜN**

In Turkey, the production of metal powder has been rapidly growing. The products produced by metal powder are mainly used in automotive industry.

In this study, a new metal powder production method, based on atomisation technique, has been developed. In order to study the effecting parameters such as; wire electrode, pressurised air and rotating disk, an experimental test facility has been constructed. In the experiments, steel wires with various diameters were melted by means of electric arc developed between the tip of wire and the rotating disk.

Sieving analysis of metal powder is carried out and the results are discussed. The effect of parameters on metal powder size is investigated.

TEZ JÜRİSİ VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAY SAYFASI

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Halit GÜN

Jüri Üyeleri :

Başkan Prof. Dr. Galip SAİD

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Özden

İmza

Halit Gün.....

.....

.....

Yusuf FEDAI'nin Metal Tozu Üretiminde Yeni Bir Yöntem (Elektrik Ark Yöntemi) başlıklı tezi 20/9/2000 tarihinde, yukarıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında, yüksek Lisans Tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Fen Bilimleri Enstitü Yönetim Kurulunun 22/11/2000 tarih ve 14/7.1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Hidayet YAVUZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinde, kaynak tarama, deney düzeneğinin tasarımı, imali ve çalıştırılması esnasında yardımlarını esirgemeyen Hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Halit GÜN ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEN'e, Değerli çalışma arkadaşım Sayın Öğr. Gör. Makina Yük. Müh. Necip Fazıl YILMAZ'a

Çalışmalarım boyunca ilgi, destek ve anlayışlarını esirgemeyen sevgili eşim ve çocuklarıma;

Teşekkürü bir borç bilirim...

Yusuf Fedai

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf FEDAİ
Mak. Müh. Anabilim Dalı
Yüksek Lisans

Eğitim

Lisans : 1990 Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İmalat ve Konstrüksiyon Anabilim Dalı

Lise : 1984 İzmir Bornova Suphi Koyuncuoğlu Lisesi, Fen Bölümü

İstihdam

1999- Öğretim Görevlisi, Çukurova Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu Makina Programı

1995-99 Öğretim Görevlisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Çay Meslek Yüksekokulu Motor-Otomotiv Programı

1991-95 Teknik Öğretmenliği, M.E.B. Çay Endüstri Meslek Lisesi, Motor bölümü , Afyon/Çay

1990-91 Kalite Kontrol Mühendisi, Ellialtıoğlu Tel Çivi Civata Fabrikası-İstanbul

Kişisel Bilgiler

Doğum Yeri ve Yılı : 10/04/1963, Gaziantep

Cinsiyeti : Erkek

Yabancı Dili : İngilizce

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	.ii
ABSTRACT.....	.iii
TEZ JÜRİSİ VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAYI.....	.iv
ÖNSÖZ.....	.v
ÖZGEÇMİŞ.....	.vi
TABLolar.....	.xi
ŞEKİLLER.....	.xii
BİRİNCİ BÖLÜM: GİRİŞ	
I. TOZ METALÜRJİSİ.....	.1
II. TOZ METALÜRJİSİ PROSESİNİN ADIMLARI.....	.6
İKİNCİ BÖLÜM : METAL TOZU ÜRETİMİ	
I. GİRİŞ.....	.9
II. METAL TOZU ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	.9
A) MEKANİK METOTLAR.....	.10
1. Makinalarla.....	.10
2. Öğütme.....	.11
3. Diğer Çarpma ve Kırma Teknikleri.....	.12
4. Mekanik Alaşım.....	.13
B) KİMYASAL METOTLAR.....	.15
1. Oksit Redüksiyonu.....	.16
2. Bir Sıvı Veya Gazdan Çökeltme.....	.16
3. Isıl Ayrışım Metodu.....	.17

C) ELEKTROLİTİK METOD.....	19
D) ATOMİZASYON.....	20
1. Gaz Atomizasyonu.....	24
2. Su Atomizasyonu.....	27
3. Merkezkaç (Santrifüj) Atomizasyon.....	29
a) Dönen Disk Atomizasyonu.....	30
b) Dönen Disk Prosesi.....	30
4. Vakum Atomizasyonu.....	32
5. Ultrasonik Atomizasyon.....	33
6. Atomizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	34
7. Atomizasyon Yöntemlerinin Bazı Malzemelere Uygulanması.....	34

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: METAL TOZLARININ ÖZELLİKLERİ VE TESTLERİ

I. GİRİŞ.....	35
II. METAL TOZLARININ ÖZELLİKLERİ.....	36
A) KİMYASAL ÖZELLİKLER.....	36
1. Yabancı Tanecikler.....	36
2. Metal Taneciklerin İçindeki Yabancı Parçacıklar.....	36
3. Yüzey Filmleri Şeklindeki Yabancı Maddeler.....	37
4. Parçacık İçinde Metalle Bileşik Halindeki Yabancı Maddeler.....	37
B) FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	37
1. Tanelerin Büyüklüğü ve Granülometrik Analizi.....	38
2. Tane Şekli.....	40
3. Tanecik İç Yapısı.....	42
4. Birim Yüzey Alanı.....	42
5. Yığılmadan Evvel Ve Sonrası Hacim Yoğunluğu.....	42
6. Akma Faktörü.....	43
7. Sıkıştırılabilirlik.....	43
III. METAL TOZU TESTLERİ.....	44
A) NUMUNE ALMA.....	44
B) TESTLER.....	44

1. Elek Analizi.....	44
2. Akışkanlık Deneyi.....	45

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: DENEY DÜZENEĞİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

I. GİRİŞ.....	46
II. DÖNER DİSK İLE ELEKTRİK ARKI YÖNTEMİYLE METAL TOZU ÜRETİMİNİN TEMEL PRENSİPLERİ.....	46
III. GÜÇ KAYNAKLARI.....	49
A) GÜÇ KAYNAĞI PARAMETRELERİ.....	51
1. Volt.....	51
2. Akım.....	52
3. Ark Boyu.....	52
B) ELEKTRİK ARKINDAKİ OLAYLAR.....	53
1. Tutuşma Olayı.....	53
2. Arkın Kararlılığı.....	54
3. Kaynak İşleminde Malzeme Göçümü.....	55
IV. DENEY DÜZENEĞİ.....	57
A) ATOMİZASYON ÜNİTESİ.....	57
1. Tel Sürme ve Kontrol Mekanizması.....	58
2. Döner Disk.....	59
3. Basınçlı Hava.....	60
4. Güç Kaynağı.....	60
V. DENEY DÜZENEĞİNİN ÇALIŞMASI.....	61

BEŞİNCİ BÖLÜM : DENEYLERİN ANALİZİ

I. GİRİŞ.....	65
II. DENEYLER VE METAL TOZLARININ ANALİZİ.....	65
A) ÇELİK TEL MALZEMENİN ATOMİZASYONU.....	65
1. (2) mm lik Çelik Telin 52 ⁰ de Atomizasyonu.....	65
2. (2) mm lik Çelik Telin 60 ⁰ de Atomizasyonu.....	67

3. (2.5) mm lik Çelik Telin 45 ⁰ de Atomizasyonu.....	68
4. (2.5) mm lik Çelik Telin 52 ⁰ de Atomizasyonu.....	70
5. (2.5) mm lik Çelik Telin 60 ⁰ de Atomizasyonu.....	72
6. (3) mm lik Çelik Telin 60 ⁰ de Atomizasyonu.....	73
7. (3) mm lik Çelik Telin 52 ⁰ de Atomizasyonu.....	75
B) DENEY DEĞERLERİ.....	77

ALTINCI BÖLÜM : İRDELEME VE SONUÇ

I. DENEYİN İRDELENMESİ.....	79
A) ATOMİZASYON PARAMETRELERİ.....	79
II. SONUÇ.....	81
KAYNAKLAR.....	82

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Su ve Gaz Atomizasyonun Karşılaştırılması.....	29
Tablo 2.2 Atomizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	34
Tablo 2.3 Bazı Metallerin Toz Üretim Yöntemleri.....	34
Tablo 3.1 Parçacık Boyut Ölçüm Metodları.....	38
Tablo 5.1 Çapı 2 mm Olan Çelik Telin 52 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	65
Tablo 5.2 Çapı 2 mm Olan Çelik Telin 60 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	67
Tablo 5.3 Çapı 2.5 mm Olan Çelik Telin 45 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	69
Tablo 5.4 Çapı 2.5 mm Olan Çelik Telin 52 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	70
Tablo 5.5 Çapı 2 mm Olan Çelik Telin 60 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	72
Tablo 5.6 Çapı 3 mm Olan Çelik Telin 60 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	73
Tablo 5.7 Çapı 3 mm Olan Çelik Telin 52 ⁰ 'deki Deney Sonuçları.....	75
Tablo 5.8 Deney Parametreleri ve Sonuçları.....	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 T/M'nin Ticari Uygulamaları.....	3
Şekil 1.2 Dünya Toz Tüketimi (Ton/Yıl).....	4
Şekil 1.3 Toz Metalürjisi Prosesinin Akım Şeması.....	7
Şekil 1.4 Metal Tozu ile Üretilmiş Parçalar.....	8
Şekil 2.1 Şematik Bir Bilyalı Öğütücü.....	11
Şekil 2.2 Pervaneli (Hemetag) Öğütücünün Görünüşü.....	13
Şekil 2.3 Atritör Öğütücü.....	14
Şekil 2.4 Elektrolitik Yöntemle Fe, Cu İmalinin Şematik Resmi.....	20
Şekil 2.5 Mannesman Prosesi.....	21
Şekil 2.6 DPG Prosesi.....	22
Şekil 2.7 Bir Atomizasyon Tesisinin Genel Akış Diyagramı.....	23
Şekil 2.8 Dikey Gaz Atomizasyonu Resmi.....	24
Şekil 2.9 Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozunun Oluşumu.....	25
Şekil 2.10 Yatay Gaz Atomizasyonu Resmi.....	26
Şekil 2.11 Su Atomizasyonu Prosesi.....	28
Şekil 2.12 Dönen Disk Prosesi.....	30
Şekil 2.13 Dönen Elektrot Prosesi.....	31
Şekil 2.14 Dönen Elektrot Prosesinde Toz Oluşum Detayı.....	31
Şekil 2.15 Vakum Atomizasyonu.....	32
Şekil 2.16 Ultrasonik Atomizasyon.....	33
Şekil 3.1 Metal Tozunun Mikro Yapısı.....	41
Şekil 3.2 Akışkanlık Deney Düzeneği.....	45
Şekil 4.1 Metal püskürtme Sistemi.....	47
Şekil 4.2 Deney Düzeneğinin şematik Görünüşü.....	48
Şekil 4.3 Statik Ark Karakteristiği.....	50
Şekil 4.4 Ark Boyu.....	52
Şekil 4.5 Elektrot Kutuplama Çeşidinin Ergimeye Etkisi.....	55

Şekil 4.6	Kısa Devre Esasına Göre Malzeme Göçümü.....	56
Şekil 4.7	Deney Düzeneginin Genel Görünüşü.....	57
Şekil 4.8	Deney Düzenegi Tel Sürme Mekanizması.....	58
Şekil 4.9	Döner Disk.....	59
Şekil 4.10	Sistemdeki Hava Tabancasının Görünüşü.....	60
Şekil 4.11	Güç Kaynağı.....	61
Şekil 4.12	Deneyin Yapılışı.....	62
Şekil 4.13	Deney Esnasında Ark Oluşumu.....	62
Şekil 4.14	Deney Düzeneginin Üstten Görünüşü.....	63
Şekil 5.1	2 mm 52 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	66
Şekil 5.2	2 mm 52 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	66
Şekil 5.3	2 mm 60 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	67
Şekil 5.4	2 mm 52 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	68
Şekil 5.5	2.5 mm 45 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	69
Şekil 5.6	2.5 mm 45 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	70
Şekil 5.7	2.5 mm 52 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	71
Şekil 5.8	2.5 mm 52 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	71
Şekil 5.9	2.5 mm 60 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	72
Şekil 5.10	2.5 mm 60 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	73
Şekil 5.11	3 mm 60 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	74
Şekil 5.12	3 mm 60 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	74
Şekil 5.13	3 mm 52 ⁰ Kümülatif Tane Boyu Dağılımı.....	76
Şekil 5.14	3 mm 52 ⁰ % Ağırlık Dağılımı.....	76

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

I. TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi, metalürjinin metalik toz veya bu tozların şekillendirilip sinterleştirilmesiyle yapılan ürünlerin imalatı ile ilgili bölümdür¹.

Toz metalurjisi; çeşitli yöntemlerle elde edilen metal tozlarından ticari parça üretiminin teknolojisini inceleyen bilim dalıdır.

Toz metalürjisi çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. Daha geniş ifadeyle toz metalürjisi, metal tozlarının preslenmesi ile parça imalatını kapsamaktadır. İnce partikül şeklindeki saf metalle, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu karışım ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir.

Toz metalürjisi imalat yöntemleri içerisindeki yerini yeni yeni almaktadır. Modern bir imalat yöntemi olduğu için ileri teknolojik malzeme üretiminde en uygun yöntemdir.

Bu yüzden insanlığın metal tozu ile ilgisi eski çağlara kadar dayanır. Eski ve orta çağlarda yapılan silahların imali yüksek sıcaklıkta ısıtılan metal parçalarını sıcakta dövüp birleştirmekle yapılırdı².

Ancak zamanla metallerin ergitilme teknolojisinin gelişimiyle metal tozu üretim ve imalatının gelişimi durgunluğa girmiştir.

Toz metalürjisinde karışık şekilli parçaların üretilmesi 19. yüzyılda başlamıştır. Bu yüzyılın sonuna doğru sanayinin gelişimiyle endüstride yüksek sıcaklıklarda ergiyen

¹TSE yayınları, "Toz Metalürjisi -Terimler" (TS-3087 Ankara Nisan 1978), s.1

²A.ERSÜMER, "Toz Metalürjisi Sert Metal Sinterleme" (İTÜ Matbaası, İstanbul 1970), s.1

metallerin kullanılması denenmiş ve bu yıllarda Rusya da tedavüle çıkan ilk platin para, toz metalürjisinin ilk tatbikatı olmuştur³.

1830'larda *Osan* bakır karbonattan redüksiyonla bakır tozu üreterek bunları karışık şekilli parça üretiminde kullanmıştır. 1880'lerde platin üretimi ve 1920'lerde *Krup* firması tarafından sert metalin üretilmesi bunları takip etmiştir⁴.

Toz metalürjisinde ilk ticari uygulamalar lamba Flamanlarının üretilmesiyle başlamış, ikinci dünya savaşı yıllarında ise orduların ihtiyacı olan pek çok metal esaslı silah bu yollarla üretilmiştir. Bu yıllarda toz metalürjisinde demir ve bakır esaslı malzemeler büyük oranda otomotiv alanında kullanılmıştır. Demir ve çelik tozlarından kam milleri dişliler ve diğer mekanik parçaların kullanımı 1950'li yıllarda yaygınlaşmıştır⁵.

İkinci dünya savaşından sonra nükleer enerji, elektronik ve havacılık teknolojisinin gelişmesi toz kullanımına hız kazandırmıştır.

1960'lı yıllarda toz metalürjisi uygulamaları, 1970'lerde yüksek performansa sahip malzemelerin ticari alanda uygulamalarıyla devam etmiş ve 1980'lerden sonra metal tozu özellikleri ve toz metalürjisi, özellikle otomotiv alanında olmak üzere endüstrinin her dalında kullanılabilir duruma gelmiştir.

Günümüzde toz metalürjisi yöntemiyle 45 kg ağırlığında 500 mm boyunda bazı parçaların üretilmesine rağmen toz metalürjisi ürünlerinin büyük çoğunluğunun boyları hala 50 mm nin altındadır⁶.

Bununla birlikte uçak endüstrisi, ileri teknoloji kompozitleri, elektronik parçalar, manyetik malzemeler ve talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların üretiminde T/M kullanımını hızlı bir büyüme göstermektedir⁷.

³ERSÜMER, a.g.e. s.1

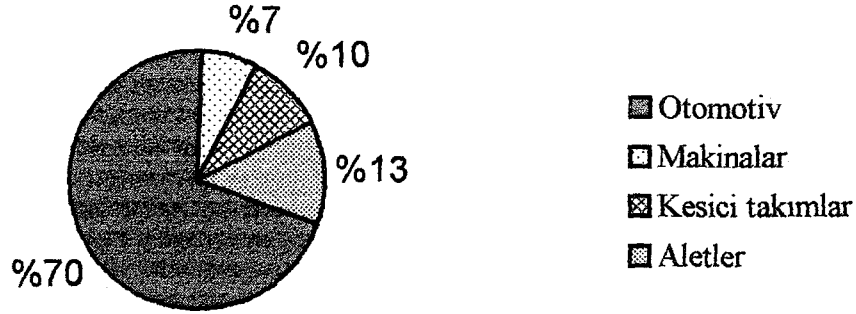
⁴H. Ö. GÜLSOY ve A. SALMAN, "I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı" Bildiri Kitabı. (Ankara 1996), s. 560

⁵GÜLSOY VE SALMAN a.g.e. s.560

⁶S. SARITAŞ, "Türk Toz Metalürjisi Derneği Haber Bülteni" (sayı 12, Ankara Ekim 1999), s.3

⁷SARITAŞ. A.g.e. s.3

Ticari alandaki toz metalürjisi (T/M) uygulama alanları aşağıdaki şekilde görülmektedir⁸.



Şekil 1.1 T/M nin Ticari Uygulamaları

1998 yılı için Türkiye'nin toz metalürjisi sektörü cirosu 150 milyon ABD doları civarındadır. Bu rakamın içinde 40 milyon dolar ile ilk sırayı otomotiv parçaları alırken, 30 milyon dolar ile ikinci sırayı elmaslı kesici takımlar almaktadır. Dünya genelinde özellikle Avrupa için otomotiv parçalarının oranı %70-80 dolayındadır⁹

Metal tozlarının boyutları mikron seviyesindedir. Presleme işlemi oda sıcaklığında ve bazen de yüksek sıcaklıklarda yapılır. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı imalat gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır¹⁰.

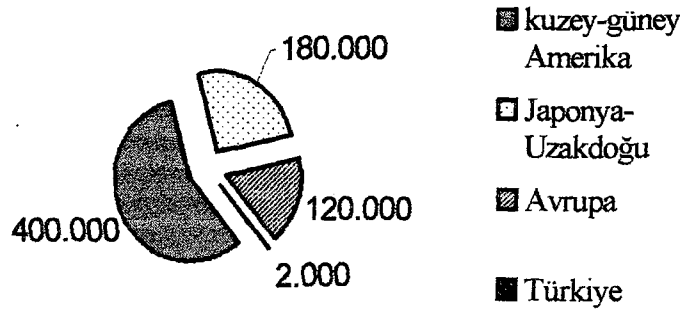
Toz metalürjisinin önemi; döküm, talaşlı imalat veya plastik deformasyonla şekillendirilmesi oldukça zor veya imkansız olan sinter alaşımlarının, kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde ürün haline getirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 1.2. de yıllık dünya toz tüketimi görülmektedir¹¹

⁸N. F. YILMAZ, "Production of Metal Powders by Gaz Atomization", (Y. Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bil. Ens. Gaziantep 1996) s.2

⁹S. SARITAŞ, "II.Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı Bildiri Kitabı", Açılış konuşması, Eylül 1999 ODTÜ, Ankara s.viii

¹⁰M.ÇİĞDEM, "İmal Usulleri" Çağlayan Kitabevi 1996 İstanbul, s.329

¹¹SARITAŞ, a.g.e. s.viii



Şekil 1.2. Dünya Toz Tüketimi (Ton/yıl)

Toz metalürjisinin avantajları değişik ürünlerin uygulama alanları doğrultusunda ortaya çıkar.

Aşağıda toz metalürjisinin mühendislik alanında kullanıma alanları maddeler halinde açıklanmıştır.

i) **Refraktör metaller:** Genellikle bu metallerin erime noktaları çok yüksektir. Oldukça kırılman olduklarından eritip bir kalıba koymak zordur. Tungsten, molibden, tantal ve benzeri metaller bu kategoride sayabilir.

ii) **Kompozit malzemeler:** İki veya daha fazla metal içeren malzemelerdir. Sıvı halde bile çözünmeyen bu metaller, oksitler ve refraktör malzemeler gibi metalik olmayan maddeleri de içerebilirler. Bunlar;

a) Elektrik kontak maddeleri; Bakır/tungsten, gümüş/kadmiyum oksit vb.

b) Sert metaller; diş dolgu amalgamları, kesici aletler, dirençli bölümlerin kaplanmasında kullanılan kablolar ve sıcak döküm aletleri vb.

c) Debriyaj ve frenlerdeki sürtünmeyle oluşan aşınmaları önlemek için kullanılan balatalar.

iii) **Gözenekli maddeler:** Metallerin çoğunun yapısı gözenekli olmasına rağmen sinter metallerde bu gözeneklilik daha fazladır.

iv) **Yüksek kaliteli özel alaşımlar:** Daha düzenli bir yapıya sahip yüksek hız çelikleri ve nikel ile yapılmış süper alaşımlar ile çok uzun ömürlü kesici aletler üretilmektedir.

v) **Üretimdeki ekonomik avantajları:** Toz metalürjisi ile üretilen ürünler dövme ve döküm ile üretilen ürünlere oranla daha çok tercih edilir. Bunun ana sebebi

ekonomik olarak daha ucuza mal olmasındandır. Ekonomik sebepleri şöyle sıralanabilir¹²

- Son işlemleri azaltır veya tamamen ortadan kaldırır.
- Metal sarfiyatını azaltır (%50 daha verimlidir).
- Üretim zamanı daha kısadır.
- Geleneksel metotlarla üretilen ürünlerden ucuz ve kullanılabilir olması en önemli özelliğidir.
- Enerji sarfiyatı daha azdır.

Daha önce döküm, talaşlı imalat, dövme gibi tekniklerle üretildikleri halde ekonomik sebeplerle toz metalürjisi tekniğiyle üretilen sayısız parça örneği vermek mümkündür. Örneğin enerji tüketimi göz önüne alındığında toz metalürjisi ile döküm şu şekilde karşılaştırılabilir.

Dökme demirin yoğunluğu= 7.15 Mg/m³

Aynı mekanik özellikleri verebilecek sinterlenmiş demirin yoğunluğu=6.3Mg/m³

1 ton demirin yerini alabilecek T/M parça ağırlığı $6.3/7.15=0.881$ ton

Dolayısıyla 1 ton dökme demir parça üretim bazında bütün toz metal üretim enerjileri 0.881 faktörü ile çarpılabilir¹³

Toz metalürjisi proseslerinin seçiminde toleranslar ve ürün oranları dikkate alınır. Belirtilen metallerin avantajlarının çoğu yukarıda tanımlanmıştır. Bunların ilk dördü özel ürünlerin uygulanmasındaki önemi, beşincisi de ekonomik avantajlarıdır¹⁴.

Metalsel malzeme üretiminde çok saf ve gaz ihtiva etmeyen metalik parçaların kullanılması istenir, hatta bu şarttır. Ergitme ve döküm usulü ile çok saf malzeme elde edilemez. Buna sebep sıvının dezoksidasyonu için yapılan ilaveler ve potadan gelen yabancı maddelerdir. Saf metalsel tozların uygun bir gaz atmosferi altında sinterlenmesi saf metalsel malzemeler elde edilmesini mümkün kılar. Misal olarak sinter demiri,

¹² YILMAZ, a.g.e. s.4

¹³ M.E.UYGUR, "I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı" Bildiri Kitabı, (Ankara 1996), s.478

¹⁴ YILMAZ, a.g.e. s. 5

sinter nikeli ve demir-nikel-molibden ile demir-nikel-kobalt sinterlenmiş alaşımlarını gösterebiliriz.

Eğer döküm zorlukla ve önemli kayıplarla yapılıyorsa ve dökümle elde edilen malzemenin sıcakta dövülmesi imkansızsa, metalsel tozlardan itibaren direkt olarak yani sinterlemeden sonra işlenmelerine lüzum kalmayan parçaların ekonomik olarak imali mümkündür. Ayrıca sinterlenmiş malzemenin yapısı dökümle elde edilmiş parçanın yapısına nazaran daha ince, mekanik özellikleri de daha iyidir¹⁵.

Bunun yanında toz metalurjisinin dezavantajlarında vardır. Bunlar:

- İlk yatırım maliyeti (takımlar, presler, sinter teçhizatı vb.) oldukça pahalıdır. Seri üretim yapılmazsa amortisman giderleri yüksektir.
- Metal tozlarının maliyeti ingot halinde üretilen malzemelerden daha yüksektir.
- Toleranslar talaşlı imalata göre daha kabadır.
- Mekanik ve fiziksel özellikler, bazı işlemler yapılmadıkça sınırlıdır¹⁶

II. TOZ METALÜRJİSİ PROSESİNİN ADIMLARI

Toz metalürjisi ile parça imalatı dört safhada gerçekleştirilir. Bunlar:

1. toz üretimi
2. karıştırma veya harmanlama
3. presleme
4. sinterleme

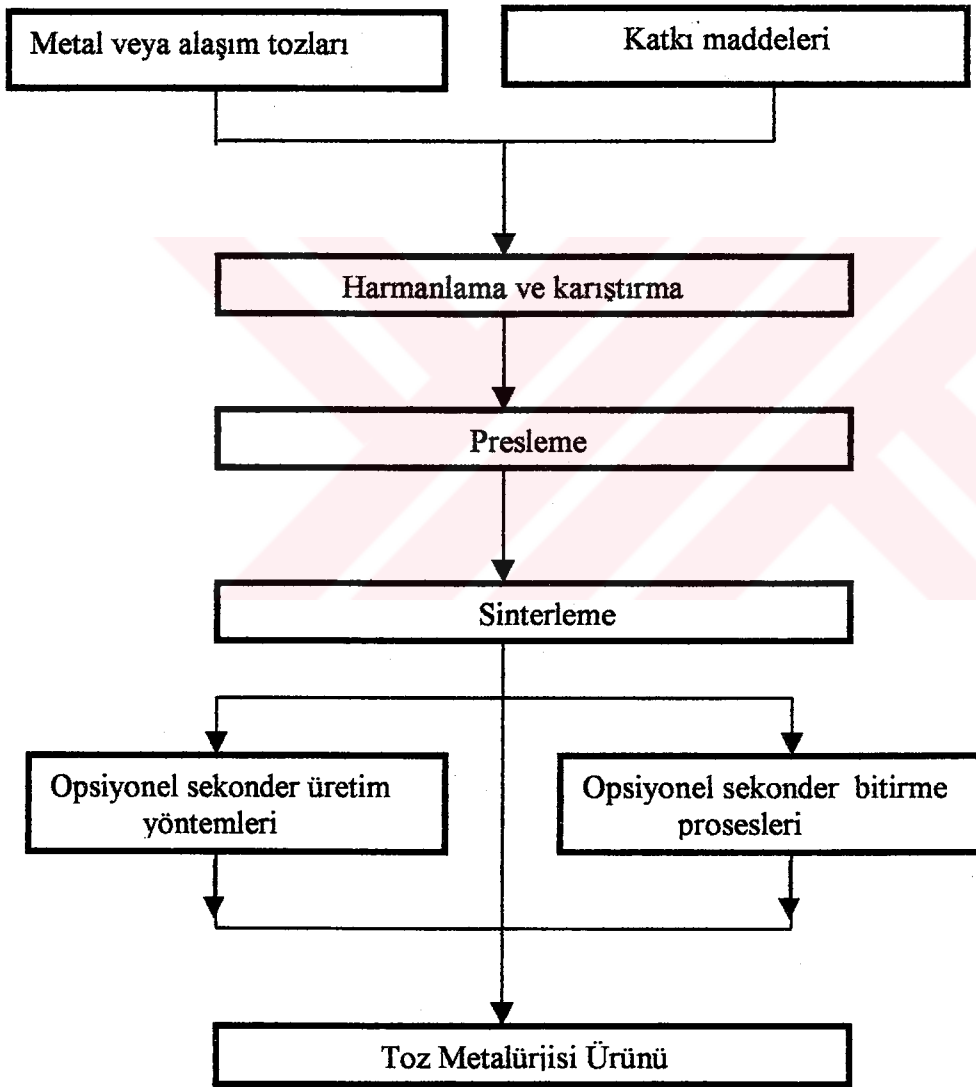
yukarıda belirtilen dört adımı takiben parçalara bazı özel karakteristikleri kazandırmak ve yüksek boyut hassasiyetine ulaşmak amacıyla seçenekli ikinci prosesler uygulanabilir. Şekil 1.3.de toz metalürjisi proseslerinin basit bir akım şeması görülmektedir¹⁷

¹⁵ERSÜMER, a.g.e. s. 3

¹⁶UYGUR a.g.e. s. 478

¹⁷ÇİĞDEM, a.g.e s. 330

Toz metalürjisi uygulamaları son on yılda inanılmaz derecede artmıştır. Eskiden sadece toz metalürjisi ile sinterleme ürünleri üretilirdi. Günümüzde ise üretilen bir ürünü istenilen yoğunlukta veya şekilde elde etmek mümkündür. Sıcak ve soğuk presleme, toz enjeksiyon ve püskürtme proseslerine ek olarak sinterleme prosesi toz metalürjisini çok yönlü geliştirdi. Günümüzde toz metalürjisi tekniği alternatifleri olan döküm ve dövme teknikleriyle yarışır hale gelmiştir.

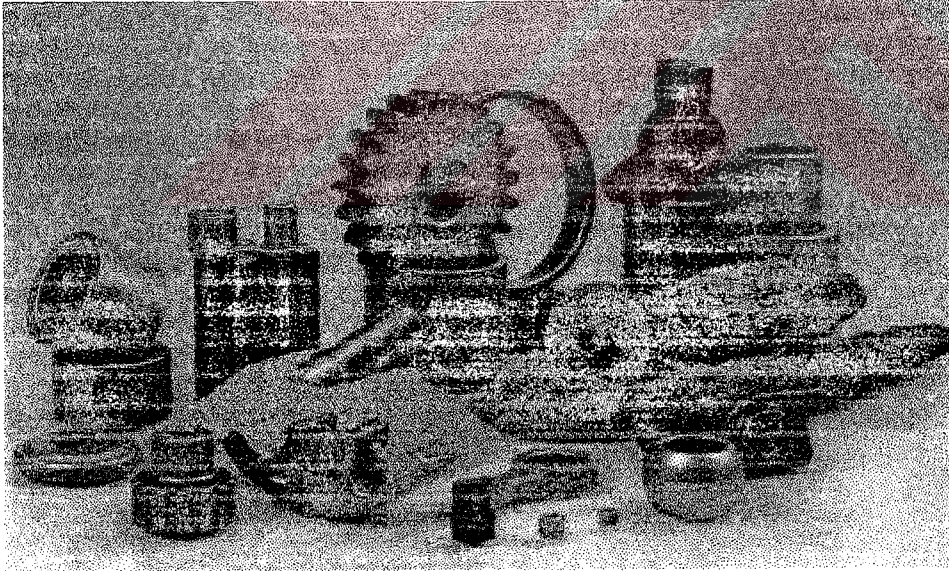


Şekil 1.3. Toz Metalürjisi Prosesinin Akım Şeması

Toz metalürjisinin uygulama alanları;

1. Kendinden yağlamalı yataklar
2. Metal filtreler
3. Takım çeliği
4. Makine ile ilgili olmayan bölümler
5. Elektriki malzemeler,
6. Sürtünme malzemeleri,
7. Manyetik malzemeler,
8. Yüksek yoğunluklu bileşikler.

Şekil 1.4 de Toz Metalürjisi yöntemleriyle üretilmiş örnek parça resimleri görülmektedir.



Şekil 1.4 Metal Tozu ile Üretilmiş Parçalar

İKİNCİ BÖLÜM

METAL TOZU ÜRETİMİ

I.GİRİŞ

Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler tozların bir çok özelliklerini tayin eder. Bu yüzden tozlardan bahsedilirken karakter ve özelliklerine ait deneysel değerler vermek yerine imal metotlarına değinilir. Mevcut toz imal yöntemlerinin her biri belli bir uygulama alanı için elverişli malzeme yapımında kullanılır. Bazı kereler ise elektrolitik ve indirgenmiş bakır tozlarının bronz yataklarda kullanılması gibi tamamen farklı imal yöntemleri ile hazırlanmış olan metal tozları aynı tipteki bir parçanın imalinde eşdeğer uygunluktadırlar. Fakat bu gibi haller oldukça enderdir. Genellikle her uygulamada belli bir metotla elde edilen belli özellikteki tozlara ihtiyaç vardır.¹⁸

Bu sebepten metal tozunun hazırlanması onu işleyerek bitmiş bir mamul haline sokan endüstrinin ayrılmaz bir parçasını teşkil eder. Toz imalatçısı, tozları işleyecek parça imalatçısının isteklerini mutlaka göz önüne almalıdır. Bu pek çok kereler bazı uygulamalar için özel tozlar geliştirilmesine yol açmıştır.¹⁹

II. METAL TOZU ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal tozu imalat yöntemlerini şu şekilde gruplandırılabilir²⁰.

- A) Mekanik metotlar.
- B) Kimyasal metotlar.
- C) Elektrolitik metotlar.
- D) Atomizasyon

¹⁸M. SORAHİ, "Toz Metalürjisi" (Yük.Lisans Tezi,İ.T.Ü. Fen Bil. Ens. İstanbul 1992) s.1

¹⁹M.ETİ. UYGUR, "Metal Tozlarının İmali" (O.D.T.Ü. cilt.2 Ankara 1979, sayı 5) s.3

²⁰H. TURAN, S. SARITAŞ (6. Uluslar arası Makine Tasarım ve imalat Kongresi, Ankara- 1994) s.62

Burada inceleyeceğimiz toz imalat yöntemleri ise önemli oranda hala endüstriyel uygulamaları olan yöntemler ile birlikte son zamanlarda çeşitli ülkelerde bu konuda yapılan çalışmaları da kapsamaktadır.

A) MEKANİK METODLAR

Metal tozunun mekanik metotlarla ekonomik olarak elde edilmeleri şu hallerde mümkündür.

-Sb, Bi gibi bazı saf metallerde olduğu gibi kırılması oldukça kolay olan malzemeler,

-Oldukça sert ve gevrek metal alaşımları ve seramikler,

-Oksijensiz ortamda hazırlanmaları gereken metal hidrürler gibi reaktif malzemeler,

-Demir ve alüminyum gibi pul partiküller halinde istenilen metaller.

Bu yöntem için malzeme ne çok sert nede çok sünek olmalıdır. Kimyasal bağların zayıflığı ve az sayıda kayma sistemi olan karmaşık kristal yapılar mekanik parçalanma ve kırılmayı kolaylaştıran faktörlerdir. İri tane boyları ve dağınık parçacıkların yokluğu kırılma prosesine yardım eder. Malzemenin sıcaklığını düşürmekte plastik deformasyonu azaltarak kırılmaya yardım eder. Sünek malzemeler fazla miktarda plastik deformasyona uğrayacağından pul şeklindeki tozları meydana getirecektir.²¹

Bu yöntemde malzemeyi toz haline getirmek için dört aşama uygulanır. Bunlar; çarpma, sürtünme, kesme ve basınçtır. Malzeme hızlı çarpma ve karıştırma sonucu sürüklenerek dağılır ve istenilen boyutlara gelir.

1. Makinalarla

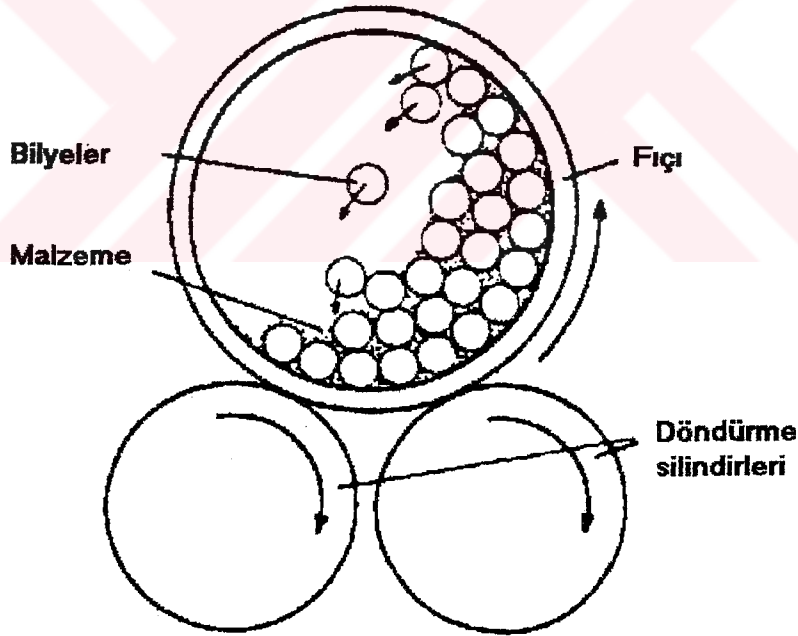
Makinalarla toz üretimi, toz üretim tekniğindeki en basit yöntemdir. Metalse tozlar elde etmek gayesiyle kullanılan bu basit usul, metali tornalama, planyalama, frezeleme ve eğeleme gibi işlemlerle mekanik olarak küçük tozlar haline

²¹ UYGUR. a.g.e. s. 8

getirilmesinden ibarettir. En büyük dezavantajları, tozun oksidasyonu, kimyasal kirlenme, yağ ve diğer metal parçaların katılması gibi etkenlerden dolayı toz karakterizasyonunu kontrol altında tutamamaktır. Bu yüzden bu şekilde elde edilen tozların toz metalürjisinde önemli bir tatbikatı yoktur.

2. Öğütme

Bu yöntemde parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır. En çok kullanılan bilyeli öğütücülerdir. Bilyalı öğütücüde, iri taneli malzeme döner bir fiçinin içinde iri sert ve aşınmaya dayanıklı cisimlerle birlikte döndürülerek ufalanır. Bilya olarak yüzeyi sertleştirilmiş çelik veya seramik malzeme kullanılır.



Şekil 2.1 Şematik Bir bilyalı Öğütücü

Fiçının dönme hızı kritiktir. Hızın yüksek olması malzemenin ve bilyaların fiçi duvarlarına yapışmasına ve dolayısıyla malzeme ve bilyalar arasında rölatif hareketin azalmasına sebep olur. Diğer taraftan hızın düşük olması durumunda fiçının alt kısmında yeterli olmayan bir hareket meydana getirir. İdeal dönme hızı bilyaların ve malzemenin fiçının en üst kısmına kadar yükselerek geriye kalan malzemenin üzerine düşmesini sağlar. Bu tekniğin bir dezavantajı bilyalardan ve öğütücünün çeperlerinden gelen kirlenme veya bulaşmadır. Ayrıca sünek metallerin bilyalı öğütücülerle öğütülmeleri imkanı bulunamamıştır. Zira öğütme esnasında iri taneler sadece yuvarlaklaşmakta, küçük taneler ise öğütücü cidarlarına ve bilyalara yapışmaktadır. Bu yüzden titreşimli öğütücüler düşünülmüştür. Titreşimli öğütücüler döner tiplere nazaran çok daha kısa zamanda eşdeğerli bir öğütme sağladıklarından daha verimlidirler.²²

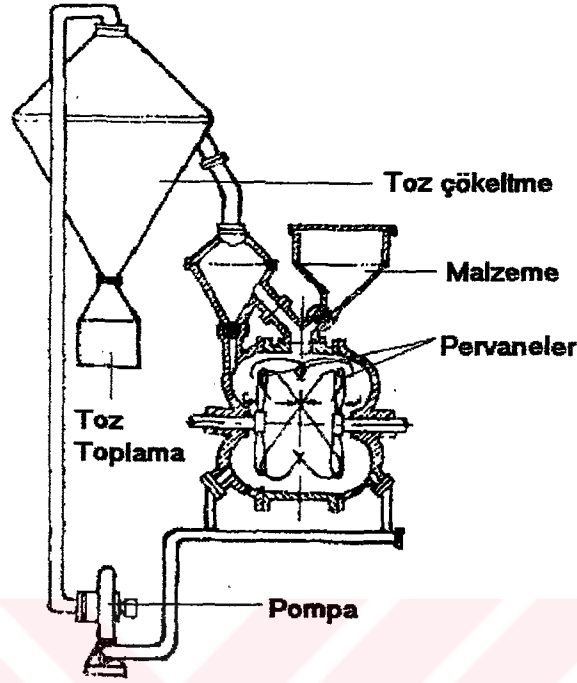
3. Diğer Çarpma ve Kırma Teknikleri

Tok bileşenli metallerin pervaneli öğütücülerle arzu edilen granülometrik terkipte bir toz haline getirilebilmeleri önemli bir ilerlemedir. Bu usule *hametag* usulü denir. Bu yöntem tok metallerin ,demir, bakır, alüminyum gibi, tozların hazırlanmasında kaba toz haline getirilmiş kırılğan alaşım ve metallerin ince olarak öğütülmelerinde kullanılır. (Şekil 2.2)

Pervaneli öğütücü içinde karşılıklı iki mil üzerinde sert manganezli çelikten veya sinterlenmiş sert alaşımdan birer pervane bulunan bir kaptan ibarettir. Bu pervaneler ters yönde çok yüksek ve eşit hızlarda dönerler. Toz haline getirilecek malzeme böylece öğütülürken meydana gelen iki ters ve çok hızlı gaz cereyanı da toz haline gelmiş partikülleri sürükler. Öğütücüler otomatik olarak yüklenebilirler. Öğütülen madde devamlı olarak elekten geçirilebilir. Toz partiküllerin oksitlenmesine mani olmak için genellikle azot gibi redükleyici veya inert bir atmosfer altında çalışılır. Pervanelerin şekillerine, boyutlarına ve dönüş hızlarına bağlı olarak muhtelif şekilli taneler ve farklı granülometri de tozlar elde edilir. Bu tozların geniş bir kullanım sahası vardır. Makine parçaları ve gözenekli yatak imalinde kullanılan bakır tozları örnek olarak gösterilebilir.²³

²²R.M. GERMAN, "Powder Metallurgy Science" (New Jersey 1989) s.62

²³ERSÜMER. a.g.e. s. 8-9



Şekil 2.2 Pervaneli (Hematag) Öğütücünün Görünüşü

Bu türde yer alan diğer öğütücüler malzemenin gaz jetleri vasıtasıyla yüksek süratte sert bir cisimle çarpışmasını sağlayan tipler, çekiçli, diskli, merdaneli öğütücülerdir.²⁴

4. Mekanik Alaşım

Toz metalürji endüstrisinde hammaddelerin öğütülmesi ve çeşitli katkı maddeleriyle homojen olarak karıştırılması imalat sürecinin büyük ve en önemli kısmını oluşturmaktadır. Geleneksel toz metalürjisinde tozların hazırlanması v karıştırılması iki farklı kademedeyi yapmaktadır. Bunun sonucunda ek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Hem bu iki sürecin birleştirilmesi hem de homojen bir karışım oluşturmak amacıyla yapılan çalışmalara mekanik alaşım denilen yeni bir teknik geliştirilmiştir. Mekanik alaşım yüksek enerjili bir öğütme tekniğidir. Bu metot da titreşimli

²⁴ SORAHİ. a.g.e s.13

öğütücü, yatay öğütücü ve atritör kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanı ise atritörlerdir. Atritör öğütücüsü Şekil 2.3 te şematik olarak gösterilmektedir.²⁵

Atritör öğütücüsüyle mekanik alaşımlama uygun bir toz şarj (elemental veya ön alaşımlanmış), öğütücü bilyalarla birlikte yüksek enerjili değirmene şarj edilir. Toz ve bilya şarjı bilya-bilya, bilya-toz-bilya gibi çeşitli çarpışmalara maruz kalır. Atritör değirmeninde öğütmede bilyalar rast gele hareketleri nedeniyle değişik yörüngelere sçarlar. Bu yüzden birbirine yakın tozlara kesme kuvveti uygulanır ve bilyaların birbirine çarpmasıyla da darbe etkisi oluşur. Bu şekilde hem darbe etkisinin hem de kesme kuvvetinin bir arada bulunmasıyla etkili bir ince öğütme ve mikro seviyede homojen bir karışım elde edilir.



Şekil 2.3. Atritör Öğütücü

²⁵ GERMAN, a.g.e. s. 64

Koruyucu gaz olarak hava, argon veya etil alkol kullanılır. Argon, öğütme esnasında tozların oksitlenmesini büyük ölçüde engellemektedir.²⁶

B) KİMYASAL METOTLAR

Hemen hemen bütün metaller kimyasal yöntemle toz haline getirilebilmektedir. Kimyasal yöntemde reaksiyon değişkenleri kontrol altında tutularak, toz boyutu, biçim ve formu geniş boyutlarda ayarlanabilmektedir.²⁷

Metal tozlarının kimyasal yollarla imali deyince genellikle metal oksitlerinin (demir, bakır, tungsten, molibden gibi.) katı karbon ve gazlarla indirgenmesi akla gelir. Metal oksitlerinin indirgenmesinde ki ana faydaları şu şekilde sıralanabilir.

- Karbonun ucuz olması
- Ucuz metal oksitlerinin bulunuşu
- Oksit ve metal parçacık boyutunun kontrolündeki kolaylık
- Gözenekli toz yapım imkanı
- Proses kapasitesinin elastikiyeti

Metal oksitlerin indirgenmesindeki dezavantajları da şu şekilde sayabiliriz.²⁸

- Saf indirgeyici gazların yüksek maliyeti
- Büyük miktarlarda kullanılan indirgeyici gazların yüksek maliyeti
- Metal tozlarının safiyetinin oksitlerin safiyetine bağlı olması
- alaşım tozlarının yapım imkansızlığı

Bu kimyasal yöntemlerden en çok kullanılan yöntemlerden bazıları oksit redüksiyonu, solüsyondan çöktirme ve ısı ayrışımıdır.

²⁶Z. ASLANOĞLU, H. KARA, M.L. ÖVEÇOĞLU "I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı" Bildiri Kitabı, (Ankara 1996), s. 398

²⁷D. YARNTON, M. ARGYLE. "Powder Metalurgy" (Cassel & Co. Ltd. N.York- 1962) s. 32

²⁸UYGUR. a.g.e. s. 4

1. Oksit Redüksiyonu

Oksit redüksiyonu termokimyasal reaksiyonlarla yapılmaktadır. Örneğin hidrojen veya karbonmonoksit gazının indirgenmesi.

Redüksiyon işlemi partikül boyutunu kontrol etmek için düşük ısılarda yapılır. Isının düşüklüğü daha iyi nitelikte toz üretirken, yüksek ısı redüksiyon hızını artırır. Bu yüzden çalışma ısısı üretilecek tozun niteliğine göre belli bir optimum noktada olmalıdır. Düşük ısı; tozlarda iri büyük ve süngerimsi bir yapı oluştururken, yüksek ısı çok köşeli(poligonal) tane yapısının oluşmasına sebep olur. Gaz redüksiyonuna bağlı olarak metal oksitlerin karalılığı termodinamik bir etki oluşturur. Tipik olarak düşük ısı iyi gözenekler, geniş yüzey alanları ve iyi bir sertlik oluşturur. Yüksek ısı partiküller arasında iri gözenekler ve iyi sıkışkanlık sağlayan küçük yüzey alanları oluşturur. Uygun toz boyutunu elde etmek ve partiküller arasında difüzyon bandını kırmak için indirgenen toz nötürleştirilmelidir.²⁹

2. Bir Sıvı Veya Gazdan Çökeltme

Metal tuz eriyiklerinin kullanılması metal tozlarının imalinde ilginç bir tekniktir. Çünkü zenginleştirilmiş cevherler doğrudan doğruya işlenerek ekstraksiyon (çekme) prosesinin bir kademesinde metal tozu elde edilir. Metal tozları metal iyonlarını ihtiva eden eriyiklerden daha az asal olan bir elemanla kimyasal yer değiştirme suretiyle elde edilir. Örneğin bakır tozlarının demirle yer değiştirmesi gibi. Hurda demir, çelik veya demir tozu sülfat eriyiği ile birlikte kullanılır. Eriyiğin asitlik derecesi metal birikiminin hız ve kalitesini tayinde önem taşır. Metallerin sulu eriyiklerden hidrojenle çökertilmesinin belirgin bir özelliği diğer alışılmış metal kazanma yollarına nazaran daha saf ince taneli tozların elde edilmesidir.

Bu metot için en uygun metal bakırdır. Çünkü bakırın eriyikten hidrojen gazı ile çökertilmesi bütün pH değerlerinde mümkündür. Oysa nikel ve kobalt gibi bazı metaller sadece bazı pH değerlerinin üzerinde indirgenebilir.

Nikel tozları büyük miktarlarda doğrudan doğruya çökeltme metoduyla elde edilirler. Cevherin hazırlanarak saflaştırılması bir sülfat eriyiği verir. Bu eriyik

²⁹YILMAZ. a.g.e. s.11

karıştırılmakta olan bir indirgenme sistemine konur. Bir önceki partiden kalan nikel tozu süspansiyona ilave edilerek ısıtılan eriyiğe 14 atm. Basınçta H₂ gazı enjekte edilir. Süspansiyon halindeki toz eriyikteki metalin çökmesi için çekirdek teşkil eder. Kısa bir süre sonra karıştırmaya son verilerek Ni tozunun dibe çökmesi sağlanır. Boşalmış eriyik yenisiyle değiştirilerek proses tekrar edilir. Yaklaşık 40 değişimden sonra toz 150 µm boyutuna gelir. Bu teknikle imal edilen tozlar yüksek safiyettedir.(yaklaşık %99.8)

Metal tozları ergimiş tuzlardan da elde edilebilir. Bu metot oldukça reaktif metaller için faydalıdır. Zr tozu imali için ZrCl₄ tuzu eşit miktarda KCl ve biraz Mg ile karıştırılır. ZrCl₄, KCl içinde erir. 750 °C'de Mg ile Zr yer değiştirirler. Zr parçacıkları dibe çökerler. Aynı iş ZrCl₄ buharının NaCl ve MgCl₂ tuz banyosundan geçirilmesiyle de başarılabilir. Toryum, berilyum tozları ve bornitrür benzer usullerle elde edilmişlerdir. Zr, Ti, Hf ve V gibi reaktif metaller ise bir gazdan çökeltme usulüyle imal edilebilirler. Ti, Zr ve Hf için kullanılan hammaddeler oksijen gibi bazı kirletici elemanlardan saf olmalıdırlar. Bu metallerin tozları elde edildikten hemen sonra reaktifirler. Kullanılan prensip bu metallere ait gaz halindeki susuz klorürlerin Na ve Mg gibi elemanlar vasıtasıyla indirgenmesidir. Metaller sünger halinde elde edilerek öğütülürler. Bu metotla çok ince tozlar elde edilebilir.

Benzer şekilde yine metal ihtiva eden bir buhar farklı bir malzemenin tozu üzerinden geçirilebilir. Esas malzeme buhar fazındaki metalin yerine geçer. Metal tozun üzerine çöker. Bu teknikle demirli malzemeler Cr, Al, B, Ti, Mn ve diğerleriyle, Mo ise ti, Zr, Cb ve Ta ile kaplanabilir. Yüksek sıcaklıkta meydana gelen difüzyon olayıyla kaplayıcı metal konsantrasyonu, parçalarda dıştan içe doğru azalır.³⁰

3. Isıl Ayrışım Metodu

Ayrışımın en basit şekli bir metalin buharında yoğunlaşmasıdır. Yüksek bir sıcaklıkta metal atomları, kararlı bir kritik basınç teşkil oluncaya kadar, yüzeyden devamlı olarak buharlaşır. Bu kritik basınç sadece sistemin sıcaklığına bağlıdır. Buhar basıncı yoğunlaşmayla düşürülürse proses devam eder.

Buharlaşma hızı; artan metal buhar basıncıyla, atomlar arasında çarpışmaya sebep olan diğer gaz ve buhar miktarlarının azalmasıyla, metal yüzeyi ve yoğunlaşma

³⁰UYGUR. a.g.e. s.13

yüzeyi (daha düşük bir sıcaklıkta) arasındaki konsantrasyon farkının artmasıyla, buharlaşma ve yoğunlaşma yüzeyleri arasındaki uzaklığın artmasıyla artar. Yüksek vakum altında yoğunlaşma hızı;

$$W = 0.05833 P \sqrt{\frac{M}{T}} \text{ ile belirlenir.}$$

Burada;

W= malzeme birikiminin $g/cm^2/sn$ olarak ağırlığı

P = Metalin buhar basıncı

M= Metalin molekül ağırlığı

T = Mutlak sıcaklık

Yoğunlaşan elemanın toz halinde elde edilmesi için çekirdekleşmeyi kolaylaştıran sisteme bazı maddeler ilave edilerek çekirdeklerin birbirlerine birleşmesi mekanik yollarla önlenebilir. Zn ve Cd tozları bu teknikte imal edilirler. Saf metaller ve saf metal bileşikleri (iki ayrı metal kaynağı kullanarak) 500 angstrom dan küçük tane boylarında imal edilebilirler.

Nikel ve demir tozları karbonillerin ayrıştırılmasıyla hazırlanabilirler. Karboniller (demir penta karbonil $Fe(CO)_5$, Nikel tetra karbonil $Ni(CO)_4$) ısıtılmış metal üzerinden CO gazı geçirilmesi ve buharın sıvılaştırılarak basınç altında depo edilmesiyle elde edilir. 1 atmosfer basınçta $Fe(CO)_5$ $103 C^0$ de, $Ni(CO)_4$ ise $43 C^0$ de kaynar. Toz karbonilleri ısıtılmış kaplarda kaynatarak buharın metal ve karbonmonoksit ayrışmasıyla elde edilir. CO yeniden devridaim ettirilerek prosesin devamı sağlanır. Toz toplanarak elenir, öğütülür ve hidrojenle tavllanır. Tozun safiyeti oldukça yüksektir ve % 99.5 oranındadır. Esas katık unsurları C, N, O dir. Demir karbonil toz tanelerinin genellikle küresel olmalarına rağmen nikel karbonil toz taneleri oldukça düzensiz ve gözeneklidir. $Pt (CO)_2 Cl_2$ gibi karbonil hidrojen bileşikleri ve bazı metal hidrürleri ısı ayrıştırılabilirler.³¹

³¹UYGUR. a.g.e. s.14

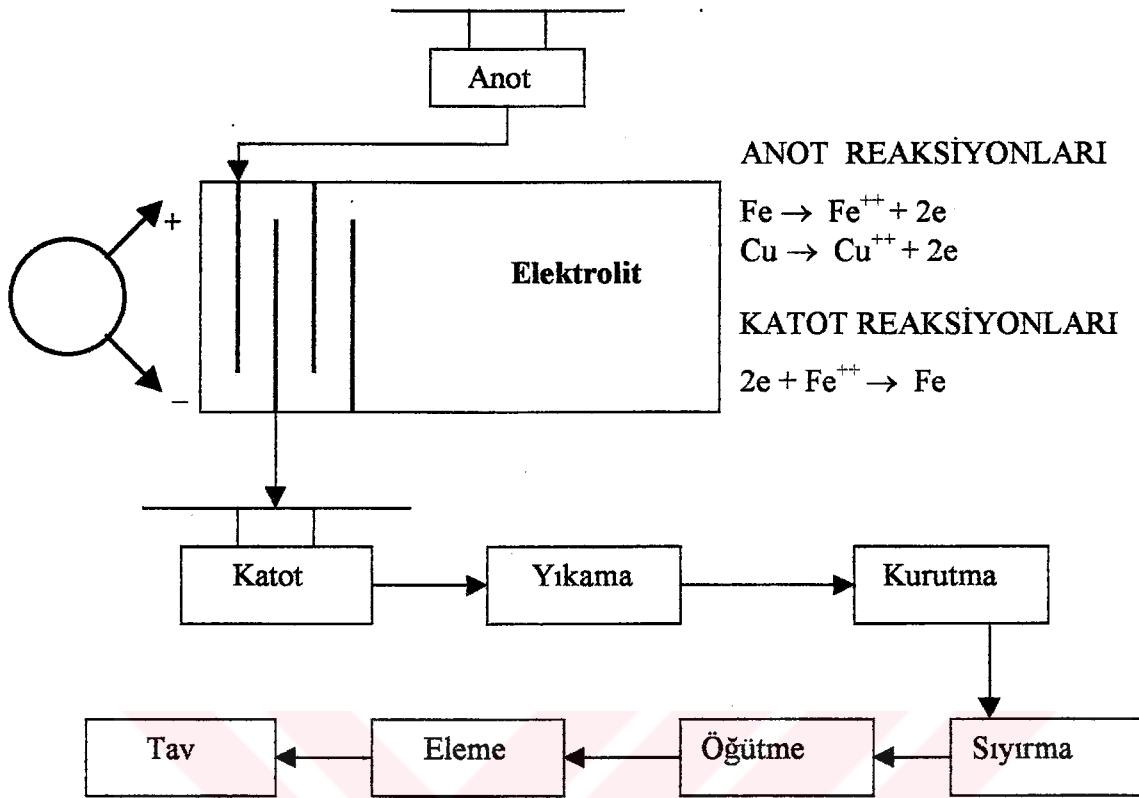
C) ELEKTROLİTİK METOT

Cu, Be, Fe gibi metal tozları elektroliz yoluyla eriyiklerinden veya ergimiş tuzlarından da elde edilirler. Elektrolitik demir tozunun diğer metotlarla elde edilenlerinden daha pahalı olmasına rağmen, bakır tozu hemen hemen aynı fiyattadır. Gözenekli bir kaplamanın meydana gelmesine sebep olan faktörlerden bazıları yüksek viskozite ve asitlik derecesi düşük sıcaklıklardır. Biriken malzeme toz haline getirilerek yıkanır, kurutulur ve asal bir atmosferde tavllanır. Elektroliz esnasında oluşan parçacıklar dentritik bir yapı gösterirlerse de daha sonraki işlemlerle bu yapı kaybolur. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek safiyetleri ve içlerinde metal dışı kalıntıları bulundurmamışları, dolayısıyla sıkıştırılabilme özelliklerine sahip olmalarıdır. Elektrolitik bakır tozları büyük miktarlarda kurşun kaplı teknelerde elde edilir. Bakır sülfat ve sülfürik asitten oluşan elektrolitlerde, bakır anotlar ve antimuanlı kurşun katotlar kullanılır. Biriken bakır periyodik olarak kazıma ve fırçalama yoluyla alınır. Elektrolitik bakır tozu elde etmek için tipik olarak şu rakamlar verilebilir.

Elektrolit miktarı	ağırlıkça % 0.5-3.5
Elektrolitteki serbest asit miktarı	ağırlıkça % 0.5-10
Banyo sıcaklığı	24-38 °C
Elektrot aralığı	7.5 cm
Voltaj	2-7 Volt
Katot akım yoğunluğu	70 mili amp/cm ²

Demir tozları genellikle elektrolitin bulunduğu teknelerin içindeki çelik anot levhalarının karşısına konulan paslanmaz çelik katotlar üzerine kaplanarak elde edilir. Kaplanan kalınlık genellikle 48 saat içinde 2.5 mm yi bulur. Saf demir birikimi parlak gümüşü renktedir. Önce yıkanır ve sonrada katotlardan sıyrılır. Bu toz öğütülerek ayrılmış amonyak veya tabii gazlar gibi indirgeyici atmosfer altında tavllanır. Tavlama toz parçalarını yumuşatarak plastik veya sıkıştırılabilir bir hale dönüşmelerini sağlar. Son olarak tozlar elenerek arzu edilen parça boyu dağılımı elde edilir.³²

³²UYGUR. a.g.e. s.6



Şekil 2.4. Elektrolitik Yöntemle Fe,Cu İmalinin Şematik Resmi

D) ATOMİZASYON

Atomizasyon, ergimiş metalin karşılıklı püskürtülmekte olan sıvı veya hava jeti çaprazından geçmesiyle gerçekleşir. Akışkan olarak sıvı atomizasyonunda su, gaz atomizasyonunda ise hava, helyum veya argon kullanılır. Sıvı veya gaz jet enerjisinin sadece çok küçük bir bölümü ergimiş metalin dağıtılmasında kullanılır. Genellikle sıvı metal potadan yerçekimi etkisiyle akar. Pota deliğinin alt kısmında sıvı metal akımı akışkan jetleri tarafından parçalanır. Atomizasyonun olduğu birinci aşama atomize eden akışkan jetlerinin kesiştiği yerlerdedir. Burada ergimiş metal atomize eden akışkan vasıtasıyla hem ivme kazanır hem de soğur. Bu şekilde metal akımı toz metal veya sert parçacıkları oluşturacak damlalara ayrılır.³³

³³SORAHİ. a.g.e. s.16

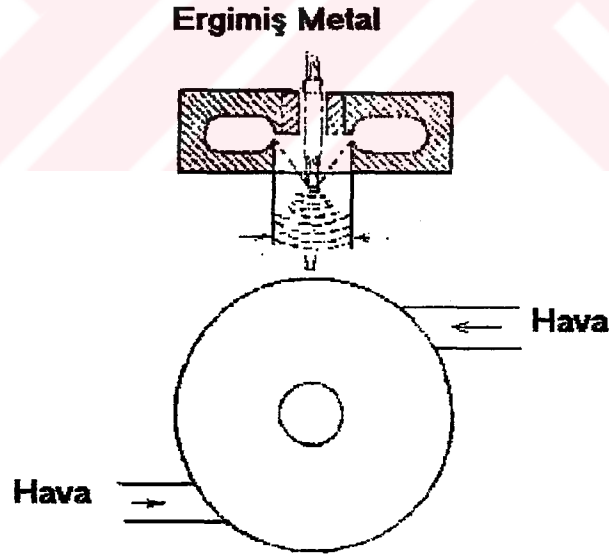
Gaz atomizasyonu yuvarlak veya küresel tanecikler, sıvı atomizasyonu ise düzgün olmayan toz tanecikleri meydana getirir. Karmaşık şekilli tozlar daha iyi sıkıştığı için su atomizasyonu daha tercih edilen bir yöntemdir. Buna karşın gaz ile atomize edilmiş tozlar daha az oksitlenir. Bu iki özellik dengeli bir şekilde kullanılmalıdır.

Bu yüzyılın ilk çeyreğinde demir-dışı metal tozlarının üretiminde hava atomizasyonu kullanılmıştır. O yıllarda yüksek ergime derecesine sahip olan demir içerikli metaller üretilmiyordu. Sonunda 1938-1939 yıllarında *General Motors* yağ pompası dişlilerini demir tozu kullanarak toz metalürjisi yöntemiyle üretti. Atomizasyon yöntemiyle demir tozu üretiminin gelişimi aşağıda belirtilen iki yöntemle başlamıştır:

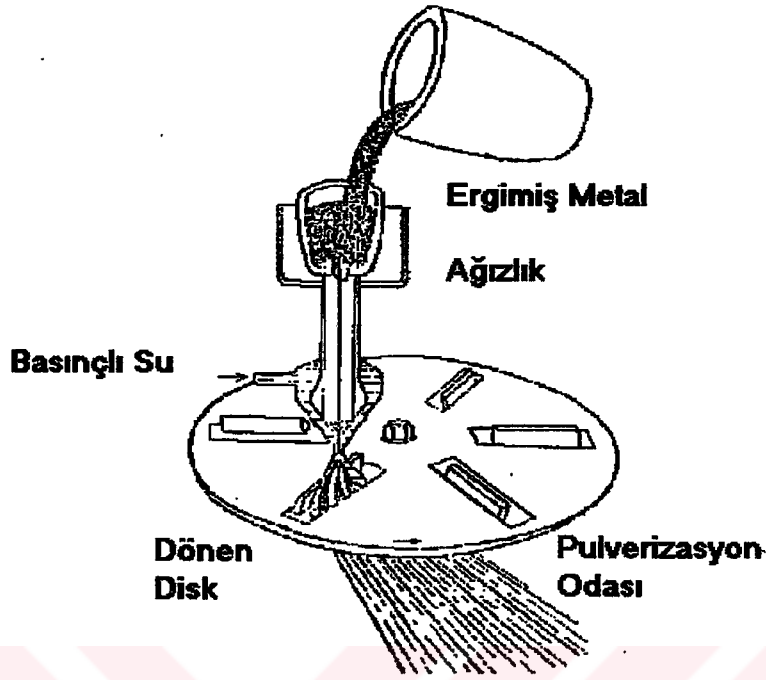
DPG Prosesi Şekil (2.5)

Mannesman Prosesi. (Şekil 2.6)

Mannesman prosesi bugün hala konik hava jetlerinin erimiş sıvı metal akımını parçalaması sonucu demir tozu üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Mannesman Prosesi



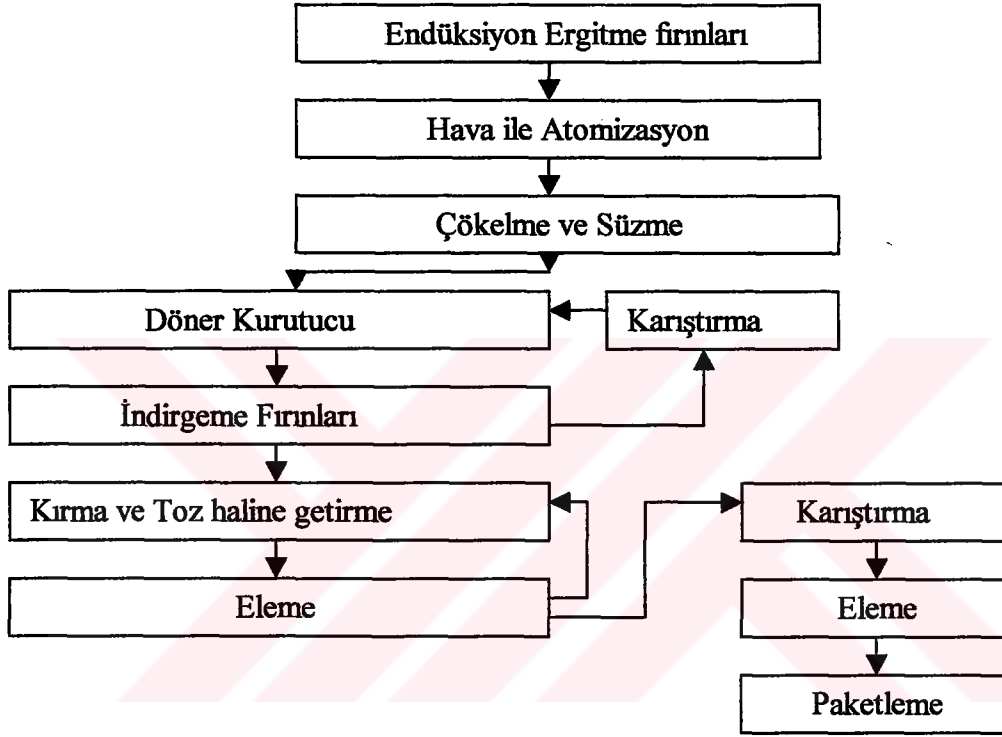
Şekil 2.6. DPG Prosesi

Genel olarak Mannesman ve DPG prosesleri atomizasyon proseslerinin atası sayılır. Günümüzde kullanılan tüm atomizasyon teknikleri bu iki prosesin gelişiminden ortaya çıkmıştır. Yuvarlak partiküller isteniyorsa gaz atomizasyonu uygun yöntemdir. eğer Mannesman prosesi seçilirse veya yüksek alaşımli fazlar gerekiyorsa gaz atomizasyonu uygun olabilir.³⁴

Atomizasyon kendi başına, toz metalürjisine uygun metal tozu üretimine yeterli değildir. Ham tozun üretilmesi için değişik işlemler yapılması gerekir. Örnek olarak Mannesman prosesini ele alalım: Atomize olan sıvı metal su dolu tanka akıtılır. Atomizer (sıvı metalin hava akımı ile parçalandığı bölüm) ile su seviyesi arasındaki uzaklık nihai tozdaki demir partiküllerinin oksidasyon derecesini belirler. Tanktaki toz, hava hızı gibi proses parametreleri ve ergimiş metalin başlangıçtaki karbon içeriğine bağlı olarak yüksek miktarda karbon ve oksijen içerir. Tanktaki toz otomatik olarak veya el ile çıkarılır. Toz bir kurutucudan geçirildikten sonra bir siloya aktarılır. Büyük tozlar bilyalı bir kırıcıdan geçirildikten sonra aynı siloya geri gönderilir. Bu aşamada

³⁴UYGUR. a.g.e. s. 11

silonun ağzının açısı önem kazanır ve silodan tozun akışında bazı zorluklar çıkabilir. Bu kademedeki tozun karbon ve oksijen içeriği belirlenir. Uygun karışım yapıldıktan sonra tav fırınlarına yollanır. Tavlama işleminde toz çelik kaplara konularak 950 – 1100 °C’de ısıtılır. Karbon ve oksijenin birbirini yok etmesiyle bir sinter keki oluşur. Ve artık bu malzeme uygun kırıcılarda kolayca kırılabilir. Daha sonra toz elenir, karıştırılır, silikajel ile kaplı kutulara konularak istenilen yerlere yollanır. Bir atomizasyon tesisinin genel bir akış diyagramı aşağıdaki şekil 2.7. deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.7. Bir Atomizasyon Tesisinin Genel Akış Diyagramı

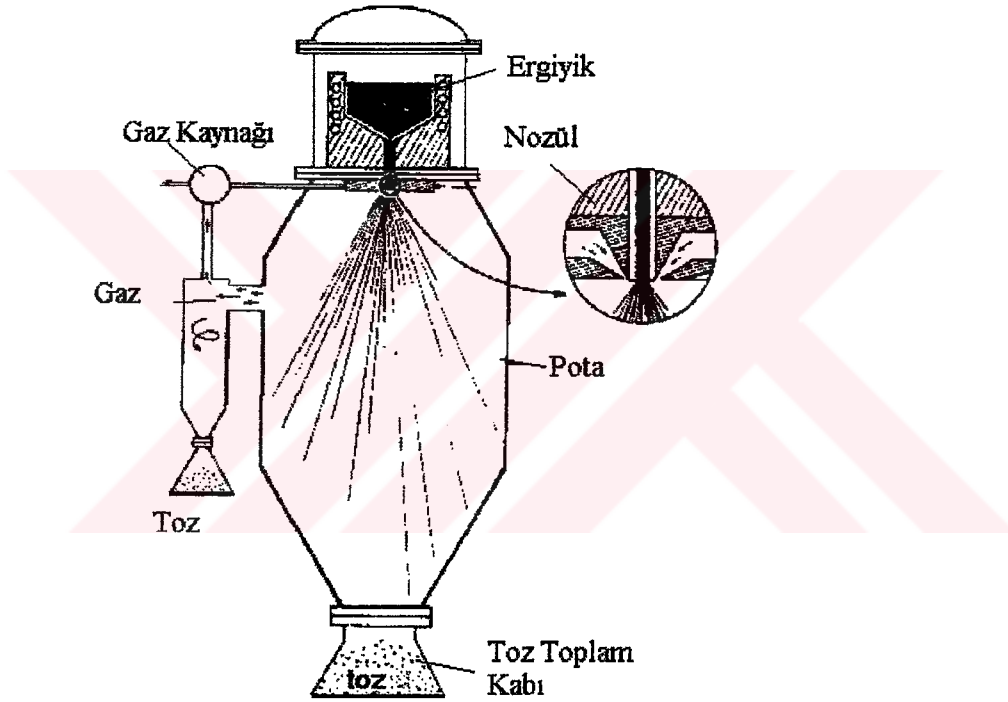
Hava kullanılan gaz atomizasyonu alaşım bileşimini oksitlendirmeye meyillidir. Bu oksitlenme meyli inert gaz atomizasyonu (eğer ekonomik ise) veya uygun ise su atomizasyonu da kullanılarak önlenir. 1958 e kadar alaşımli çeliklerde atomizasyonun oksidasyona neden olabileceği bilinmiyordu. Sonuçta oksidasyonun sinterleme yöntemine engel olmayacak bir seviyeye düşmesi için nitrojen ve argon gazı kullanılmaya başladı. Bu seviye bir çok modern toz metalürjisi atomizasyon tesislerinde araştırılmaktadır.³⁵

³⁵YILMAZ. a.g.e. s.14

Atomizasyona etki eden parametrelerden bazıları; Fıskiyelerin tasarım ve şekli, atomize olan akışkanın basınç ve hacmi, metal akımının koyuluğu vs. dir. Teknik olarak bu yöntem akıcı olan tüm metallere uygulanabilir. Ticari sahada genellikle Demir, bakır, takım çelikleri, alaşım çelikleri, pirinç, bronz , düşük ergime noktalı metaller, alüminyum ve alaşımları, kalay, çinko, kurşun kadmiyum gibi malzemelerin toz üretimi yapılmaktadır.

1. Gaz Atomizasyonu

Şekil 2.8 de gaz atomizasyon prosesinin şematik bir resmi görülmektedir.

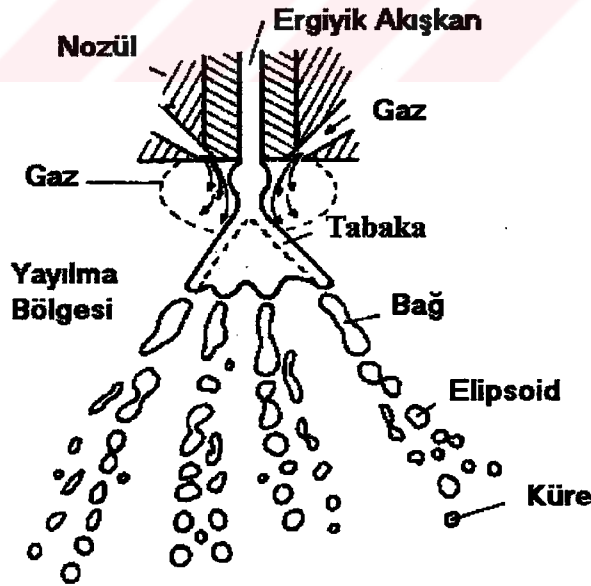


Şekil 2.8. Dikey Gaz Atomizasyonu Resmi

Ergiyen metaller standart homojen kesitlerde akarlar. Sıvı haldeki metali hava, azot, helyum veya kullanarak parçalamak çok yönlü toz üretim kolaylığı sağlamaktadır. Ergitme vakum indüksiyon fırınları veya petrol (fuel-oil) ile gerçekleştirilir. Genellikle ergimiş metal ya doğrudan yada bir hızlandırıcı vasıtasıyla bir potaya dökülür ki o, esas itibariyle üniform bir şekilde bir rezervuarı besler ve nozüle sıvı metalin akışını kontrol eder. Akış hızı ve kesiti kontrol edilen sıvı metal, potanın altına yerleştirilen bir

atomizasyon nozülü içerisinde geçer ki o burada yüksek hızlardaki atomizasyon ortamı vasıtasıyla ince damlalara ayrışır. Bu bölgede meydana gelen olaylar şekil 2.9 da detaylı olarak görülmektedir. Sıvı metal nozülden gelen basınçlı havanın etkisiyle tabaka halinde kademe kademe önce bağ, elipsoit ve küresel şekle girer. Sıvı metal damlaları atomizasyon tankının dibine çökerken soğur ve katılaştır. Bu tank tozların oksitlenmesini önlemek ve oksitlenmeyi minimuma indirmek için inert gaz ile doldurulmalıdır. Gaz atomizasyonunda tozlar tankın dibinde su ile soğutulmuş veya kuru olarak toplanmalıdır. Böyle kuru toplayıcılarda atomizasyon tankı, toplama tankının dibinde tozlar toplanmadan önce katılaşmalarını temin etmek için genellikle 6 metreden çok daha yüksek yapılırlar. Uzun yatay tank kullanan yatay gaz atomizasyonu da aynı yöntemle tasarlanır.(Şekil 2.10)

Gaz atomizasyonunda genellikle hava ve azot gazı kullanılır. Reaktif (Tepkimeye giren) ergiyikler için argon gazı tercih edilir. Ayrıca helyum asal bir ortam temin eder ve atomize olan damlacıkların soğuma hızını artırır. Geleneksel gaz atomizasyonunda gaz basınçları 0,5-9 MPa arasında değişir. Bu basınçlara karşılık gelen hacimsel gaz debileri yaklaşık olarak 0,02-0,24 m³/sn arasındadır. Gaz hızları nozül çıkış kesiti tasarımına bağlı olarak 20 m/sn'den ses üstü hızlara kadar değişir.³⁶



Şekil 2.9 Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozunun Oluşumu

³⁶TURAN ve SARITAŞ. a.g.e. s. 63

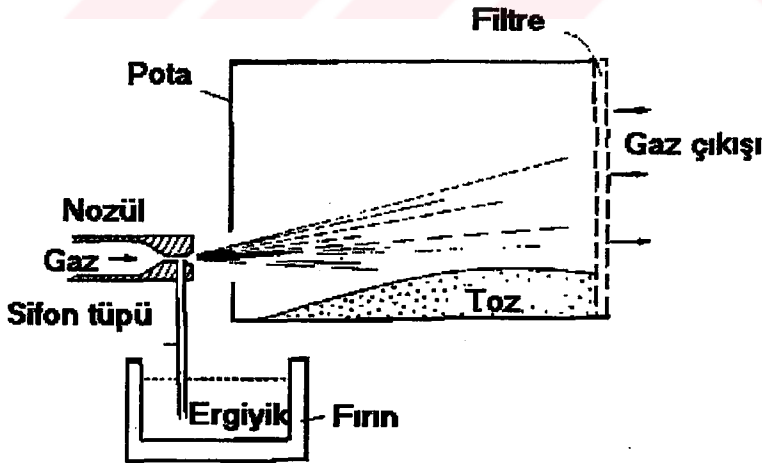
Elde edilen parçacık şekilleri mükemmel boyutlara sahip küreler şeklindedir. Atomizasyon esnasında oluşan kaba toz boyutunu bir çok parametre birlikte belirler. Bunlar; sıvı metal sıcaklığı ve nozüle girme esnasındaki viskozitesi, sıvı metalin akış hızı, gazın cinsi, gazın basıncı, gazın akış hızı ve nozülün geometrisidir. Bu parametreler işlemin kontrolünü sağlamak ve toz karakterlerini tayin etmek için ayarlanabilir. Toz boyutunu belirleyen deneysel formül yüksek gaz basıncı, yüksek gaz akış oranı ile doğrudan ilgilidir.³⁷

Buna göre:

$$D = \frac{C}{V} \left[\frac{\gamma}{\rho_M} \right]^{0.22} \left[\frac{U_M}{\rho_M} \right]^{0.57}$$

Burada;

- D : Ortalama toz çapı
- C : Nozül geometri sabiti
- U_M : Akışkanın viskozitesi
- ρ_M : Akışkanın yoğunluğu
- γ : Yüzey enerjisidir.



Şekil 2.10 Yatay Gaz Atomizasyonu Resmi

³⁷GERMAN. a.g.e. s.78

Yatay gaz atomizasyonunun çalışma prensibi püskürtme boya tabancaları veya haşere ve tarım ilaçlama pompalarının çalışma prensibine benzer. Yüksek basınçtaki gaz, nozülün daralan kesitinden geçerken basıncı düşer ve burada atmosfer basıncından düşük bir basınç oluşur. Meydana gelen bu basınç düşümü fırın içerisindeki ve ağzı atmosfere açık ergimiş metali nozülün ağzına emerek büyük bir basınçla toz haline getirerek potaya gönderir. Oluşan tozlar pota dibine çökerken gaz filtreden süzülerek sisteme tekrar gönderilir.³⁸

2. Su Atomizasyonu

Su atomizasyonu üretim teknikleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan doğal üretim yöntemlerinden birisidir. Yaklaşık olarak 1600 °C nin altındaki tüm metal alaşımları için uygulanır. Su atomizasyonu toz üretim teknikleri içinde belkide en ekonomik olanıdır. Su atomizasyon yöntemiyle üretilen tozlar gayet düzensiz şekillerdedir ve yüksek yüzey oksidasyonuna sahiptirler. Bu yüzden demir, paslanmaz çelik ve diğer tozlarda yaygın olarak kullanılırlar. Basınçlı su, ergiyik üzerine tekli, ikili, çoklu veya düzensiz jetlerle gönderilir. Prosesin çalışması gaz atomizasyonuna benzer. Ergimiş metali hızlı söndürmesi gaz atomizasyonundan ayırıcı özelliğidir. Gaz atomizasyonunda tozlar gayet düzenli ve küresel şekillidirler. Ve inert gaz ile atomizasyon yapılmışsa düşük yüzey oksidasyonu ifade ederler. Düşük maliyetler için genellikle su atomizasyonu gaz atomizasyonuna tercih edilir. Üretilen toz karakteristikleri uygulama için yeterlidir.

Su atomizasyonu prosesi beş aşamada meydana gelir.

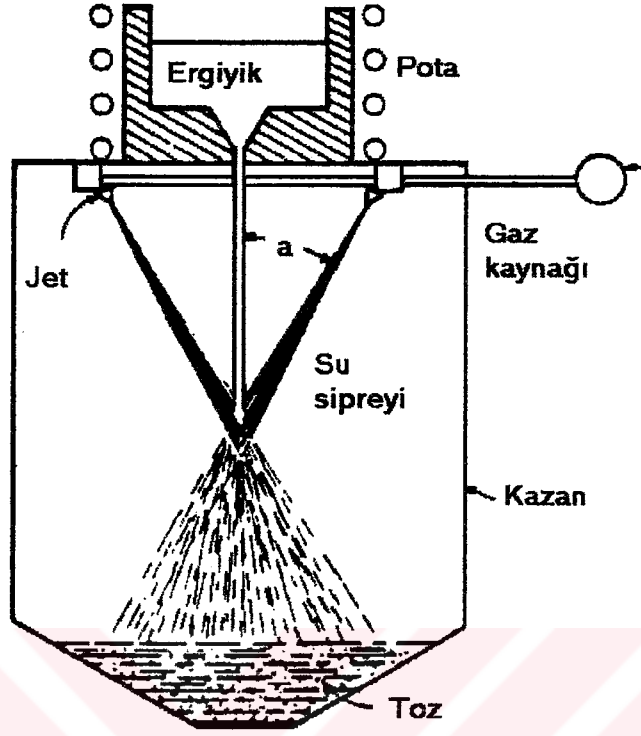
- a) Ergitme
- b) atomize etme
- c) kurutma
- d) eleme
- e) tavlama

Elde edilecek ürünün özelliği her bir aşamayla yakından ilgilidir.³⁹

³⁸YILMAZ, a.g.e. s 17.

³⁹UYGUR, a.g.e. s. 10

Tipik bir su atomizasyonun şematik resmi Şekil 2.11 de görülmektedir.



Şekil 2.11 Su atomizasyonu Prosesi

Jetlerden gelen basınçlı su, direk akışkanın üzerine etki etmekte ve bu su basıncının etkisiyle ergiyik, hızla parçalanıp katılaşmaktadır. Bu nedenle toz biçimi oldukça düzensizdir. Birde oksidasyondan dolayı yüzey sert ve pürüzlü olmaktadır. Toz boyut ve formunda jetlerin dolayısıyla su spreyinin akışkanla temas açısı (α), su basıncı ve su hızı önemli rol oynar.

Çelik için tane büyüklüğünü veren denklem aşağıdadır.⁴⁰

$$d_m = \frac{8700}{P^{0.62}} \quad \text{veya} \quad d_m = \frac{5500}{V_w}$$

⁴⁰HOVARD ve LAWLEY, a.g.e. s.54

Burada ;

d_m : Tane büyüklüğü (μm)

P : Su basıncı (Mpa)

V_w : Jetteki su hızı (m/s)

Tablo 2.1'de su ve gaz atomizasyonu karşılaştırılmıştır. Burada göze çarpan farklılık toz biçimi ve yüzey bozukluğudur.

Tablo 2.1 Su ve Gaz Atomizasyonunun Karşılaştırılması⁴¹

Özellik	Su Atomizasyonu	Gaz Atomizasyonu
Tane Büyüklüğü μm	150	100
Tane biçimi	Düzensiz	Düzenli
Yoğunluk %	35	55
Soğuma oranı K/s	10^5	10^4
Segregasyon	Çok önemsiz	az
Oksidasyon, ppm	3000	120
Akışkan basıncı, MPa	14	3
Akışkan hızı, m/s	100	100
Verimlilik	Orta	düşük

3. Merkezkaç (Santrifüj) Atomizasyon

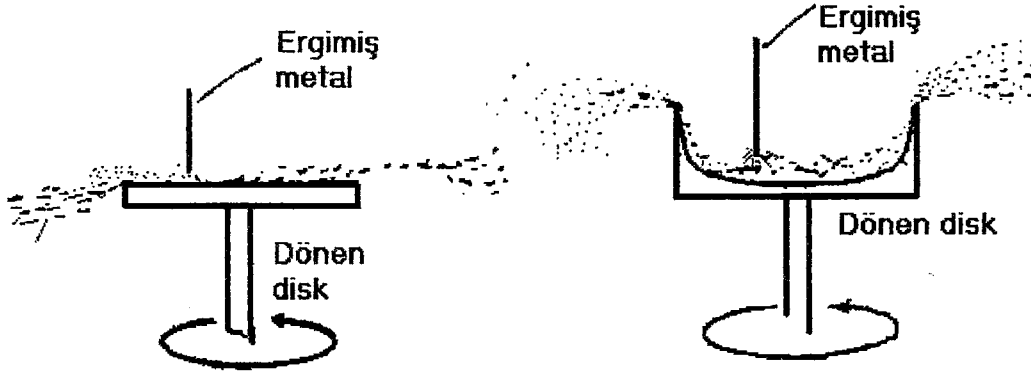
Merkezkaç atomizasyon da ergimiş metalin dönen bir disk, üzerine düşürülmesi veya ergitilmiş metalin savrulmasıyla gerçekleşir. Disk veya kap üzerine düşen ergiyik merkezkaç kuvvetin etkisiyle büyük bir hızla diskin dışına doğru fırlatılarak parçalanır, katılaşır ve toz haline getirilir. Merkezkaç atomizasyonu iki bölümde incelenir;

- Dönen disk prosesi
- Dönen elektrot prosesi

⁴¹GERMAN, a.g.e. s.80

a) Dönen Disk Atomizasyonu

Bu yöntemde ergimiş metal direk olarak yüksek hızda dönen bir disk üzerine gönderilir. Meydana gelen tozun formu biçimi ve sistemin verimi doğrudan doğruya diskin dönme hızı ile ilgilidir. (Şekil 2.12)



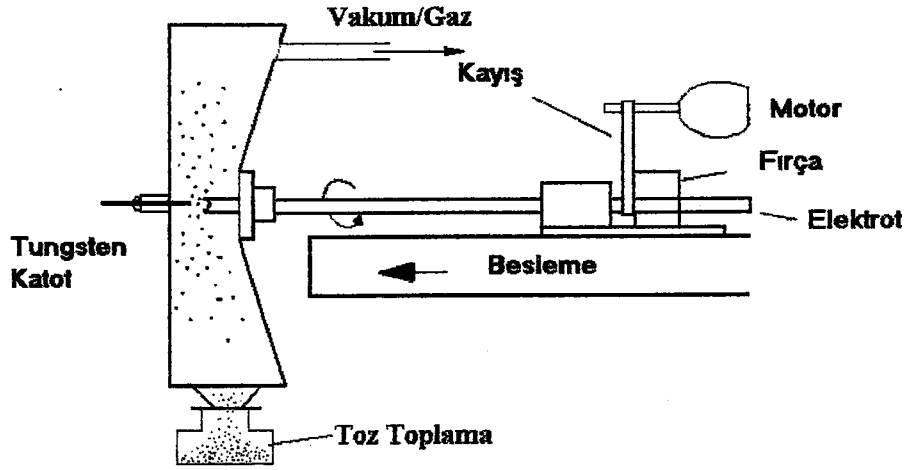
Şekil 2.12 Dönen Disk Prosesi

b) Dönen Elektrot Prosesi

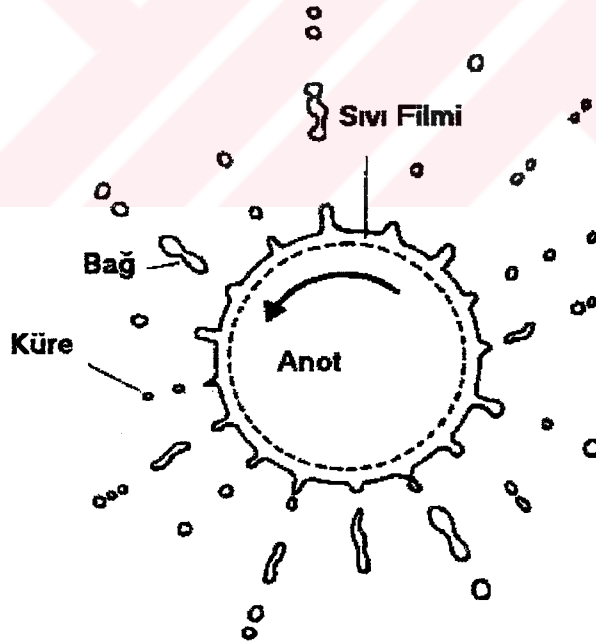
Bu yöntemde metal çubuk kendi eksenini etrafında dönerken erir, ve ergimiş metal merkezkaç kuvvetinin etkisiyle hızla dönerken iyi bir püskürtmeyle katılarak toz haline gelir. Bu yöntem çeşitli yüksek alaşımlar, zirkonyum, titanyum gibi reaktif metaller ve süper alaşımların atomizasyonuna uygundur. Sistemin şematik resmi şekil 2.13 ve Şekil 2.14’de görülmektedir.

Çubuğun ön kısmı bir ark veya plazmayla ısıtılırken çubuk bir motor mekanizması tarafından kendi eksenini etrafında döndürülür. Ergimiş damlacıklar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle dağılarak asal bir gazla doldurulan odacıkta toplanırlar. Tane büyüklüğü 30-500 mikron arasında değişir. Taneler oldukça küreseldir. Yüzeyleri düzgündür ve gözenekleri yoktur.⁴²

⁴² D. MATEI, “Studies on the Metal and Alloys Atomization Methods” (1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı- Bildiri Kitabı Ankara 1996) s.68



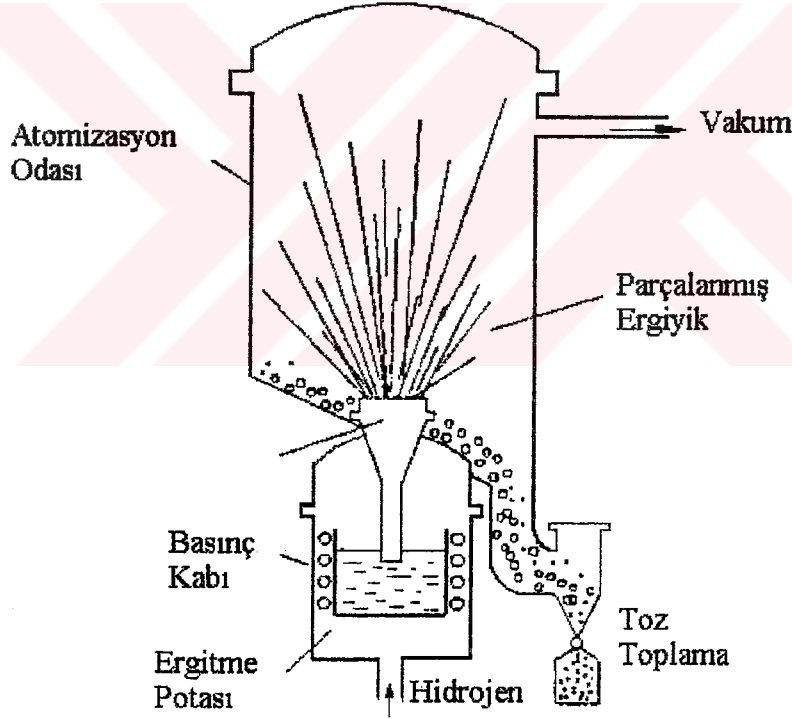
Şekil 2.13. Dönen Elektrot Prosesi



Şekil 2.14 Dönen Elektrot Prosesinde Toz Oluşum Detayı

4. Vakum Atomizasyonu

Vakum atomizasyonu ile metal tozu üretiminde enerji, erimiş metale birkaç değişik mekanizma tarafından da verilebilir. Şekil 2.15 de şematik resmi gösterilen bu yöntemde ergiyik hidrojene doydurulur ve H_2 'ye doymuş bu ergiyik, bir sifon tüpü vasıtasıyla vakumlu ortama alınır. Ergiyik içerisine karışan hidrojen, ergiyik vakumlu ortama geldiğinde oluşan yüksek hız ve hidrojen doyumsuzluğu nedeniyle metalin parçalanarak toz haline gelmesine sebep olur. Ergiyik içerisine gönderilen hidrojenin basıncı 1-3 MPa basıncı arasındadır. Bu yöntem nikel, bakır, kobalt, demir ve alüminyum tozları üretiminde kullanılır. Tozlar diğer yöntemlere nazaran küresel, temiz ve daha yüksek safiyettedir. Vakum atomizasyonunun bir zorluğu vakum çemberi yüzeyindeki basıncın az olmasından dolayı tozların soğuma hızının düşük olmasıdır. Soğuma ısı yayılımını yerine daha çok ışınlama olur.⁴³



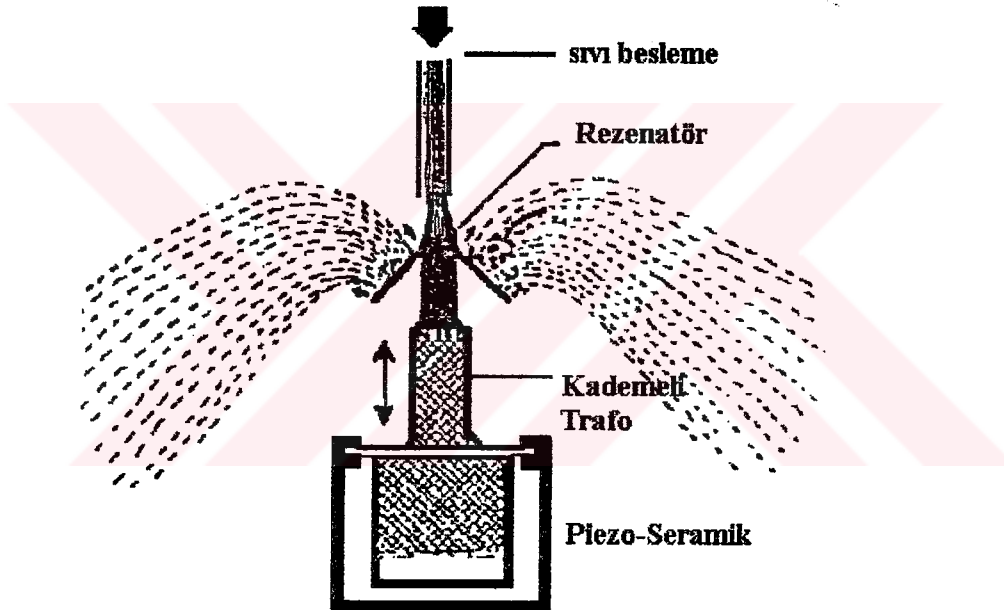
Şekil 2.15 Vakum Atomizasyonu

⁴³ GERMAN, a.g.e. s. 85

5. Ultrasonik Atomizasyon

Son yıllarda toz üretim endüstrisine girmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Ulaşılan safiyet, tane dağılımı, tane inceliği alaşım kalitesi yönünden bilinen atomizasyon metotlarının en iyilerindedir.

Bu metot da ince sıvı metal jeti, akış istikameti doğrultusunda belli bir eğimli çarpma yüzeyine sahip ultrasonik titreşimli yüzeye çarptırılır. Ultrasonik frekansta titreşen konik yüzeyin akış istikametine dik gelgit hareketi ile ince zerrelı metal tozlar yüzeyi terk ederek saçılırlar. Saçılma bölgesinin soğutulması ile oluşan sıvı zerrelere kürecikler halinde katılaşırlar. Metodun şematik resmi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Ultrasonik Atomizasyon

Parçalanma koruyucu gaz altında yapılabilmektedir. Bu metot bir çok üstünlüklere sahip olmasına rağmen, titreşim yapan elektrodun yüksek çalışma sıcaklıklarında düşük mukavemetlere sahip olması, uygulamada sınırlar meydana getirmektedir. Metot halen 1000 °C' nin altındaki sıcaklıklarda ekonomik olarak kullanılabilir.⁴⁴

⁴⁴ YILMAZ, a.g.e. s.24

6. Atomizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması

Tablo 2.2 halen ticari alanda kullanılan bir çok atomizasyon tekniklerinin bir karşılaştırılmasını vermektedir. Tabloda; kaba tane boyutu, tane biçimi, boyut dağılımı ve maliyet ilişkisi karşılaştırılmaktadır. Gerçekte bu tablo toz boyut, biçim ve şekli gibi parametrelerin toz üretim yöntemlerine bağlı olarak seçileceğini ortaya koymaktadır.⁴⁵

Tablo 2.2 Atomizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması

Atomizasyon Yöntemi	Kaba Toz Boyutu μm	Tane biçimi	Boyut Dağılımı	Maliyet oranı
Gaz atomizasyonu	100-300	Yuvarlak	orta	orta
Su atomizasyonu	200-800	Düzensiz	Geniş	Düşük
Dönen disk atomizasyonu	100-300	Küresel	Yakın	orta
Dönen Elektrot atomizasyonu	200-600	Küresel	orta	Yüksek
Ultrasonik atomizasyon	70-200	Yuvarlak	orta	orta
Vakum atomizasyonu	200-500	Küresel	orta	orta

7. Atomizasyon Yöntemlerinin Bazı Malzemelere Uygulanması

Mühendislikte hemen hemen bütün metaller için tane formuna uygun birçok yöntem uygulanabilmektedir. Tablo 2.3'te endüstride yaygın olarak kullanılan bazı metallerin toz üretim yöntemleri görülmektedir.

Tablo 2.3 Bazı Metallerin Toz Üretim Yöntemleri

Metal	Üretim Yöntemi
Alüminyum	Gaz Atomizasyonu, hava Atomizasyonu, Öğütme
Bakır	Elektrolitik, Su atomizasyonu, oksit Redüksiyonu
Demir	Su, Gaz ve Santrifüj Atomizasyon
Çelik	Su Atomizasyonu, hava Atomizasyonu
Pirinç	Su Atomizasyonu, hava Atomizasyonu
Nikel	Elektrolitik, Su ve Gaz atomizasyonu, oksit Redüksiyonu

⁴⁵ YILMAZ, a.g.e. s.25

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

METAL TOZLARIN ÖZELLİKLERİ VE TESTLERİ

I. GİRİŞ

Bir toz kütlesinden alınacak numune o kütlenin özelliklerini gerçek olarak yansıtmalıdır. Üretim sırasında tozlar genellikle hareket halindedir. Bu nedenle numune, akan bir kütlenin bütün kesitinden alınmalıdır. Çünkü daima segregasyon ihtimali mevcuttur. Mevcut bir kaptan numune almak için tüp şeklinde pencereci bir aparat kullanılır. Tüp kabın dibine ulaştığı zaman pencereler açılır, toz içeriye dolunca kapanır ve tüp dışarı çekilir. Alınan numuneler harmanlanarak küçük parçalara ayrılır. Numunenin bölme işlemi kürek ve koni, dörde bölme, kanallı bölücü, döner bölücü vs. gibi metotlarla yapılır.

Toz metalürjisinde presleme ve sinterleme işlemlerine etkileri bakımından aşağıda belirtilen toz özellikleri büyük önem taşımaktadır.

- i) Kimyasal kompozisyon ve yapı (mesela oksitlerin varlığı, dislokasyon dağılımı, gazların varlığı gibi)
- ii) Toz büyüklüğü ve toz şekli
- iii) Akış hızı
- iv) Toz yoğunluğu
- v) Preslenebilme

Bunların yanında tozların insan sağlığına zarar verebilmesi de önemli bir faktördür. Çünkü tozların hava ile karışarak asılı kalma eğilimi mevcuttur. Yanıcılık meal tozlarının yüksek (yüzey/hacim oranından dolayı) oksitlenme özelliğidir.

Tozların kimyasal aktifliği, yüzey pürüzlülüğü ve gözenek miktarı ile doğru orantılıdır. Bir çok toz çeşidi oda sıcaklığında, bazıları da daha yüksek sıcaklıklarda oksitlenir. Tozların zehirleyici özelliği ise insan vücuduna solunum ve sindirim yolu ile girerek kalmaları ve birikmeleri sonucunda olmaktadır.

II. METAL TOZLARININ ÖZELLİKLERİ

a) Kimyasal özellikler

b) Fiziksel özellikler

Temel fiziksel özellikler tane boyu, tanecik şekli ve tane yapısıdır. Özgül yüzey, görünür yoğunluk ve akış hızı gibi fiziksel özellikler, sıkışma ve sinterleme özellikleri yukarıda bahsedilen temel fiziksel özelliklerle yakından ilgilidir.

Kimyasal özellikler ise; maddenin temel kimyasal yapı ve bileşimi ile ilgilidir.

A) KİMYASAL ÖZELLİKLER

Kimyasal özellik deyince bileşim ve saflık anlaşılır. Tozlarda bulunan yabancı katı maddeler;

1. Yabancı tanecikler
2. Metal taneciklerin içindeki yabancı parçacıklar
3. Yüzey filmleri şeklindeki yabancı maddeler
4. Parçacık içinde metalle bileşik halindeki yabancı maddeler

1. Yabancı tanecikler

Mekanik olarak hazırlanmış metalsel tozlar öğütücü organlarından ileri gelen yabancı maddeler. ihtiva ederler. Mesela oksijen, oksit levhaları veya absorbe edilmiş gazlar halinde (H_2O , CO , CO_2) bulunabilir. Bu tanecikler tozun özelliklerini olduğu kadar üretilen parçanın özelliklerini de kötü yönde etkilerler.

2. Metal taneciklerin içindeki yabancı parçacıklar

Bu tip yabancı maddeler genellikle kimyasal indirgenmeyle hazırlanmış tozlarda bulunur. Metalografik muayene ile görülürler. Yeteri kadar indirgenmemiş toz taneciklerinde oksit kalıntılarına rastlanabileceği gibi tane sınırlarında da segregasyonlar görülebilir. Tane içinde hapis kalmış oksitler genellikle çok dengelidir. Sinterleme sırasında da indirgenmeleri mümkün olmaz bu kalıntılar parça içinde bir dağılım oluşturarak malzemenin mukavemet ve süneklik özelliğini olumsuz etkilerler.

3. Yüzey filmleri şeklindeki yabancı maddeler

Yüzey filmlerine örnek olarak oksitler gösterilebilir. Atmosferle temas sonucu belli bir süre sonra tozlar oksit tabakası ile kaplanabilir. Bu şekilde oluşan oksitler genellikle üretim safhasından sonra oluştuğu için üreticinin belirttiği kimyasal analiz raporunda da gözükmez.

Bu yüzden metal tozu 10, 25 ve 50 kg'lık torbalar veya metal kaplarda piyasaya arz edilir. Toz torbaları bir kat polietilen torba üzerine iki kat daha polietilen kaplanmış malzemenin yapılmış olmalıdır. Metal kaplar ise oksitlenmeyecek şekilde temiz ve hava sızdırmaz olmalıdır.⁴⁶

Tozların preslenmesi sırasında Cr, Zr, Al, Mg, Pb ve Sn gibi metallerin dengeli oksitlerinin kalıp ve zımba yüzeylerinde olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Dokunma bu oksitler kırılarak parçacıkların birbirlerine yapışmasını sağlasa da daha sonraki ısı işlemlerle temizlenmeleri mümkün olmaz. Bunlar kirlenmiş tane sınırları oluşturarak sağlam bir kristal yapının ortaya çıkmasını engellerler.

4. Parçacık içinde metalle bileşik halindeki yabancı maddeler.

Demirdeki Mn, kurşundaki Cu veya nikeldeki Co gibi metal asıllı veya demirdeki C, S, P gibi metal dışı olabilirler. İlk belirtilenler fazla zararlı olmasa da ikinci belirtilenler belli bir miktarın üzerine çıktığı takdirde malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilerler.⁴⁷

B) FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Tozun fiziksel özelliklerini; tanelerin büyüklüğü ve granülometrik analizi, tane şekli, tanecik iç yapısı, birim yüzey alanı, yığmadan evvel sonrası hacim yoğunluğu, akma faktörü ve sıkıştırılabilirlik olmak üzere yedi bölümde inceleyebiliriz.

⁴⁶ TSE. "metalik demir tozu" (TS 8840 şubat-1991) s. 9

⁴⁷ SORAHİ. a.g.e s. 30

1. Tanelerin büyüklüğü ve granülometrik analizi

Metalsel bir tozun tanelerinin boyut ve şekilleri birbirinden farklıdır. Toz metalürjisinde kullanılan tozların boyutları mikro metre seviyesindedir. Granülometrik dağılımı tespit etmek için; elek analizi, mikroskopik muayene vs. gibi farklı usuller kullanılır.⁴⁸

Tablo 3.1 de parçacık boyutu belirlenmesiyle ilgili yöntemler görülmektedir.

Tablo 3.1 Parçacık Boyu Ölçüm Metotları

Sınıf	Metot	Tanecik boyu (μm)
Elek analizi	Normal	37-850
	Mikro	1-50
Mikroskop	Mikromeş Kafes	5-50
	Optik	0,2-100
	Elektron	0,001-5
Sedimentasyon	Yerçekimiyle	1-250
	Santrifüjle	0,05-60
Türbidimetre	Işık Şiddeti Ölçümü	0,05-500
Elütriasyon	Sedimentasyonun Tersisi	1-100
Elektrolitik Direnç	Boulter Sayacı	0,5-800
Geçirgenlik	Fisher	0,2-100
Yüzey Alanı	Gaz Adsorbsiyonu	0,002-20
	Sıvı Adsorbsiyonu	0,01-50
X ışını Kırınımı	Maksima Genişlemesi	0,00001-0,01

Bu metotların büyük çoğunluğunda parçacıkların küresel olduğu varsayılmaktadır. Parçacıklar küresellikten uzaklaştıkça metotların verdiği sonuçlar farklılaşmaktadır.

⁴⁸ A. ERSÜMER a.g.e. s. 16

Burada elek analizi ve mikroskobik analiz konusuna kısaca değinilecektir.

a) Elek analizi

Bu usulle tanelerin 50 mikrometreden büyük olmaları halinde, granülometri hakkında bir fikir edinilebilir. Analizin laboratuvarlarda yapılması için muhtelif boyda elekleri bulunan bir çok ticari aletleri vardır. Elekler metalsel veya ipek tellerden yapılmıştır. Birim alandaki mevcut delik sayısı eleği karakterize eder.

Elek analizinde standart bir ölçü tavsiye edilir. Muhtelif eleklerde toplanan toplana tozlar tartılarak granülometrik dağılım elde edilir. Sarsma müddetini değiştirerek yapılan muhtelif analizlerin neticeleri arasındaki farklar. Sarsma müddeti uzadıkça azalır. Sarsma müddetini 20 dakika alırsak hata ihmal edilebilir. 3 ile 5 dakikalık bir sarsma neticesinde yapılacak hatada kabul edilebilir düzeydedir.

b) Mikroskobik analiz

50 mikrometreden küçük tanelerin büyüklük ve dağılımını veren yegâne direk metot olan mikroskobik analiz sayesinde tanelerin hakiki boyları belirli bir miktar toz içindeki tane sayısı tespit edilir. Bu metot aynı zamanda tanelerin şekli hakkında kati bilgilerde verir.

Tanelerin boyutlarını ölçmek için toz ince bir tabaka halinde bir levha üzerine yayılır veya özel bir malzeme içine gömülür. Mesela volfram tozu bakır veya bronz tozu ile karıştırılıp sinterlenir. Bakırın veya bronzun ergime sıcaklığına kadar ısıtılır. Gömme işleminin saydam bir madde içine yapılması daha iyi gözlem sonucu vermektedir. Plastik malzemenin tozu ile, incelenen metalsel toz karıştırılarak elde edilen karışım takribi 150 °C sıcaklıkta preslenir. Bu şekilde hazırlanan malzeme adi bir metalografik preparat gibi muamele edilir. Partiküllerin boyutları direk olarak ölçüldüğü gibi, görüş alanı içindeki bir bölgede mevcut partiküllerin sayısı da tespit edilebilir. Bu son halde, yardımcı maddenin belirli bir hacmi içindeki toz miktarından hareketle tanelerin büyüklüğü tespit edilebilir.

Adi mikroskopla yapılan tane büyüklüğü tayini 1 mikrometrenin altında hassas sonuçlar vermez.⁴⁹

⁴⁹ A. ERSÜMER, a.g.e. s. 2

2. Tane şekli

Toz parçalarının şeklini bilmeden boyları konusunda konuşmak fazla bir anlam taşımaz. Parçacıklar tek boyutlu (iğne, düzgün olmayan çubuk), iki boyutlu (dentritik, pul), üç boyutlu (küresel, yumru, poligonal, gözenekli) olarak sınıflandırılırlar. Gerçek tozlar incelendiğinde tane şekillerinin homojen olmadığı görülür. Atomize Al, Sn gibi demir dışı tozlar ve paslanmaz çelik gibi demirli alaşımlar tane boyu azaldıkça daha yuvarlak parça boyu meydana getirme eğilimindedir. Gaz veya hava atomizasyonu daha yuvarlak, su atomizasyonu düzgün olmayan şekiller meydana getirir. Parçacık şekli kontrolü optik ve elektron mikroskopları ile yapılır.

Parçacık şekli tozların şu özelliklerini etkiler;

a) Akış

Küresel tozlar kolay akarken, pul şeklindeki tozlar kötü akış özelliği gösterirler. Düzgün olmayan bazı şekilli tozlar ise hiç akmaz.

b) Görünür yoğunluk

Küresel tozlar en yüksek, köşeli tozlar yüksek ve gözenekli tozlar ise düşük görünür yoğunluktadır.

c) Sıkıştırılabilirlik

Düzgün olmayan şekilli tozlar zor sıkıştırılır ve yağlayıcı maddeleri de absorbe ederek etkisini azaltırlar. Düzgün şekilli tozlar ise daha kolay sıkıştırılabilir.

d) Ham mukavemet

Düzgün şekilli tozlar düşük, düzgün olmayanlar içinde kolayca birbirine kenetlendiği için yüksek ham mukavemet gösterirler.

e) Sinterlenebilirlik

Düzgün olmayan toz tanecikleri arasında daha fazla bağlantı meydana geldiğinden, difüzyon hızlı olur.

f) Geçirgenlik

Aynı miktarda gözenek içeren düzgün olmayan parçacıkların sağladığı geçirgenlik düzgün parçacıklara nazaran daha azdır. Bu, yağ tutma ve filtre etme işlemlerini kolaylaştırır.

Şekil 3.1 de parçacıkların yapısı görülmektedir.⁵⁰



Şekil 3.1 Metal Tozunun Mikro Yapısı

⁵⁰ R. M. GERMAN, a.g.e. s. 39

3. Tanecik iç yapısı

Tanecik iç yapısı deyince tane boyu, fazların dağılımı ve gözenekler anlaşılır. Mekanik ve sinterleme özellikleri bakımından ince tane boyu tercih edilir. Tanecik boyu azaldığı zaman tane boyuda azalacaktır. Alaşımli tozların üretim süresi boyunca tek faz içermesi kullanıma alınmadan öncede faz dağılımı göstermesi tercih edilir. Gözenekler sinterleme ve presleme işlemini etkiler. Genelde gözenek miktarı , azalan parçacık boyu ile artar. İç yapının kontrolü için metalografi, gözenek miktarlarının tayini içinde porozimetre kullanılır.

4. Birim yüzey alanı

Birim toz kütesine isabet eden toz yüzey alanıdır. En yüksek yüzey alanı olan tozlar kimyasal yollarla elde edilenlerdir. Yüzey pürüzlülüğü birim yüzey alanını doğrudan etkiler. Taneciklerin yüzey durumu tozların akış, sıkıştırılabilme, sinterlenebilme ve kimyasal aktifliğini etkiler.

5. Yığmadan evvel sonrası hacim yoğunluğu

Yığmadan evvel ve sonraki hacim, imalatta çok kullanılan kaba bir kriterdir. Yığmadan evvelki yoğunluğu bulmak için, toz, hacmi bilinene bir kaba doldurulur. Kap hacmi genellikle 100 cm³ alınır. Kap tartılır. Tozun ağırlığı bulunduktan sonra, yığmadan evvelki yoğunluğu bulmak için 1 cm³ tozun ağırlığı hesab edilir. Yığmadan evvelki yoğunluğun tersi, yığmadan evvelki özgül hacmi verir.

Yığmadan sonraki hacmi tayin etmek için belirli ağırlıkta toz, bir silindire doldurulur. Elle veya mekanik bir tertibatla sıkıştırılır. Böylece mümkün olduğu kadar yoğunlaştırılmaya çalışılır. Tozun işgal ettiği hacim silindirin üzerinden okunur. 1 gr. tozun işgal edeceği hesaplanarak yığmadan sonraki özgül hacim bulunur. Bu değer tersi yığmadan sonraki özgül kütle veya yoğunluğu verir.

Üretim sırasında tozlar genellikle titreşim ve vurguya maruz kaldığı için yığılmadan sonraki yoğunluk önem taşır. Yüksek yoğunluklu tozlarda üretim esnasında kalıp ve zimbaldaki aşınma en alt düzeydedir.

6. Akma faktörü

Bu faktör, gözenekli yatak imalatçıları tarafından tayin edilen ve sıvıların viskozitesine benzeyen bir büyüklüktür. Bu büyüklük tepe açısı belirli, konik bir kabın alt kısmında açılan bir delikten birim zamanda geçen toz miktarıyla ölçülür. Akma faktörü, yatak malzemelerin imalinde sık sık kullanılan mekanik preslerin çalışma intizamının tayininde önemli rol oynar. Bu faktör, tozun ölçüldüğü yerin sıcaklığına ve nem durumuna göre değişir.

7. Sıkıştırılabilirlik

Tozun preslenme esnasındaki hareketi, şekil verilebilme özelliğine ve sıkıştırma indisine (basınç tatbikiyle elde edilen numunenin yoğunluğuna) bağlıdır. Şekil verebilme özelliği herhangi şekilli parçalar üzerinde tayin edilebilir.

Sıkıştırma indisinin tayini için mümkün olduğu kadar basit olan numuneler preslenir. Bu numunelerin çap ve genişliklerinin yüksekliklerinden büyük olması istenir. Sıkıştırma tek veya çift taraflı olabilir. Muhtelif tozları mukayese için basıncı sabit tutarsak elde edilen yoğunluk sıkıştırma indisinin bir ölçüsünü bir ölçüsünü teşkil eder. Preslenmiş malzemenin yoğunluğu, sıkıştırma esnasında muhtemel toz kayıplarını göz önüne almak şartıyla, hacim ve ağırlığının ölçülmesiyle hesaplanır. Muhtelif metal tozlarının sıkıştırma indislerini mukayese edebilmek için belirli bir basınç tatbik ettikten sonra elde edilen yoğunluk, metalin yoğunluğu ile bölünür. Bu değere “izafi sıkıştırma” indisi denir. Sıkıştırma indisi hakkında basınca bağlı olmayan bir değer vermek imkansızdır. Bütün değerler basınçla ilgilidir.⁵¹

Düşük sıkıştırma indisi, sıg kalıp boşlukları gerektireceğinden takımların kırılma ve aşınmasını azaltacak, kısa strok ve daha hızlı dolgu sağlayacaktır.⁵²

⁵¹ A. ERSÜMER, a.g.e. s. 22

⁵² M. SORAHİ, a.g.e. s. 36

III. METAL TOZU TESTLERİ

Bu bölümde; yaptığımız deneyler demir malzeme üzerine yoğunlaştığı için TS-8840 numaralı Türk standartlarında belirtilen testler kısaca anlatılmıştır.⁵³

A) NUMUNE ALMA

Yeterli büyüklükte ve alt tarafında bir musluğu bulunan silindirik bir kap içerisine konulan demir tozu, mekanik olarak iyice karıştırılır. Karıştırma işlemi devam ederken musluk açılarak üç ayrı kap içerisine en az iki kilogram olacak şekilde demir tozu alınır. Bu esnada silindirik kap içerisindeki tozun hiç bir zaman yarıdan aşağıya düşmemiş olması gerekir. Üç ayrı kaba alınmış olan demir tozlarından en az ikişer kilogram olmak üzere ızgaralı numune ayırıcıya alınan demir tozu burada homojen bir şekilde karıştırılır. Homojen olarak karışmış olan demir tozlarından uygun miktarda numune alınır.

B) TESTLER

Demir tozları için; Kimyevi analiz, hidroklorik asit içinde çözünmeyen madde miktarı, hidrojenle kütle kaybı tayini, elek analizi, akışkanlık testi ve yığın yoğunluğu testleri uygulanır. Burada sadece elek analizi ile akışkanlık testleri açıklanmıştır.

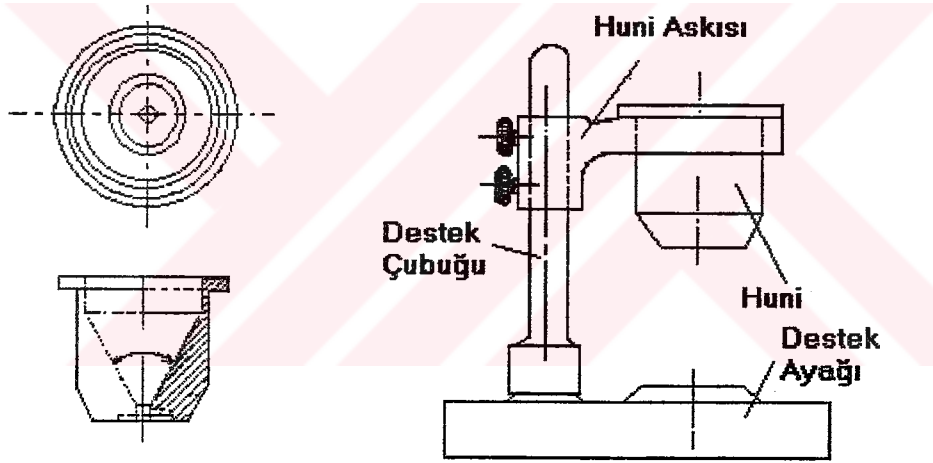
1. Elek analizi

Tartım hassasiyeti 0,1 gram olan teraziyle 100 gramlık bir numune tartılarak alınır. TS'nin ilgili 1225, 1226, 1227 de belirtilen standart eleklerden delik açıklıkları 250 µm den 45 µm'ye kadar olanlar kullanılır ve en büyük en üstte, en küçük en alta gelecek şekilde sıralanırlar. Numune en üstteki eleğe konduktan sonra üzeri kapakla örtülür. Daha sonra yatay ekseninde devri 285 ± 6 / dakika ve vuruşu 150 ± 10 / dakikadan bir sarsak elekte elenir ve demir tozu 250 µm, 180 µm veya 150 µm'lik eleklerden geçirilir. Eleklerinden üzerinde kalan toplam demir tozları 0,1 g. hassasiyetle tartılır ve yüzde oranları virgülden sonra iki basamaklı olarak hesaplanır.

⁵³ TSE KATALOĞU, TS-8840 s. 7,3.9

2. Akışkanlık deneyi

Akışkanlık deneyi için en az 200 g numune alınır. Numune, 105 ± 5 °C sıcaklıkta 1 saat kurutulduktan sonra, bir desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Numune, desikatörden çıkarıldıktan hemen sonra deneye tabi tutulmalıdır. Numune üç kısma bölünür. Sırasıyla her parçadan ölçüm için $50 \pm 0,1$ g'lık numune alınır ve tartılır. Numune, deney düzeneğinde görülen (Şekil 3.2) huninin altındaki çıkış (orifis) kapatıldıktan sonra huniye doldurulur. Ölçüm sırasında çıkış açıldığında kronometre çalıştırılır ve son toz çıkıştan ayrılınca kronometre durdurulur. Ölçüm sırasında geçen zaman, 0,2 s hassasiyetle ölçülmelidir. Bir parti numune için en az üç ölçüm yapılır.



Şekil 3.2 Akışkanlık Deney Düzeneği

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DENEY DÜZENEGİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

I. GİRİŞ

Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretiminde genellikle ergimiş metal üzerine hava yada su püskürtülerek ergiyik toz haline getirilmektedir. Bu işlemlerde; potadan akan ergimiş metal nozuldun geçerek serbest düşmeye bırakılır. Bu sırada yüksek basınçlı hava veya su jetleri belirli açı ve yönlerde ergiyik üzerine enjekte edilir. Basınçlı akışkan ile karşılaşan sıvı metal ince tanelere ayrılarak atomizasyon ünitesinin cidarlarına çarpmadan katılaşır.

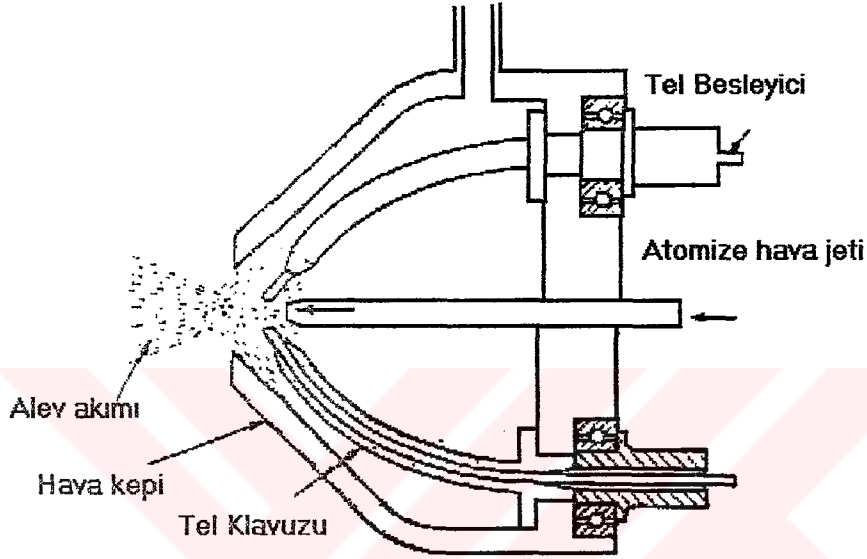
Metal tozlarının mikro yapıları, sıvı metalin viskozitesine, partiküllerin ısı haldeki özelliklerine ve katılma sırasındaki soğuma hızına bağlıdır.

Bu çalışmada, belirli bir hızda doğrusal olarak ilerleyen çelik tel çubuk, dairesel olarak dönen bir disk ile temas ettirilerek elektrik arkının meydana gelmesi sağlanmıştır. Ark esansında ortaya çıkan yüksek sıcaklık etkisiyle çubuk tel eritilmekte ve bu ergiyik üzerine yüksek basınçlı hava püskürtülerek sıvı metal atomize edilmektedir. Atomize edilen tozlar, su tankının içerisinde toplanarak soğutulmuş ve böylelikle tanelerin karmaşık şekilli olmasına çalışılmıştır.

II. DÖNER DİSK İLE ELEKTRİK ARKI YÖNTEMİYLE METAL TOZU ÜRETİMİNİN TEMEL PRENSİPLERİ

Döner disk ve elektrik arkı ile metal tozu üretimi (DONDELARK) yönteminin esasları "elektrik ark püskürtme ile kaplama" tekniğine dayanmaktadır. Bu yöntemde tel haline getirilmiş metaller bir elektrik motoru ile tabancaya sürülür. Pozitif ve negatif

yükle yüklenmiş teller nozullardan geçerek teller birbiri ile temas edince bir ark meydana gelir. Bu ark vasıtasıyla eriyen metal basınçlı hava ile daha önce hazırlanmış yüzeye atomize edilerek püskürtülür. Arkın sıcaklığı 4000 °C civarındadır. Bu yöntemde özellikle; paslanmaz çelikler, karbon çelikleri, molibden, bakır çinko, alüminyum ve bronz alaşımları başarıyla uygulanabilmektedir⁵⁴



Şekil 4.1 Metal Püskürtme sistemi⁵⁵

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.2 de görülmektedir.

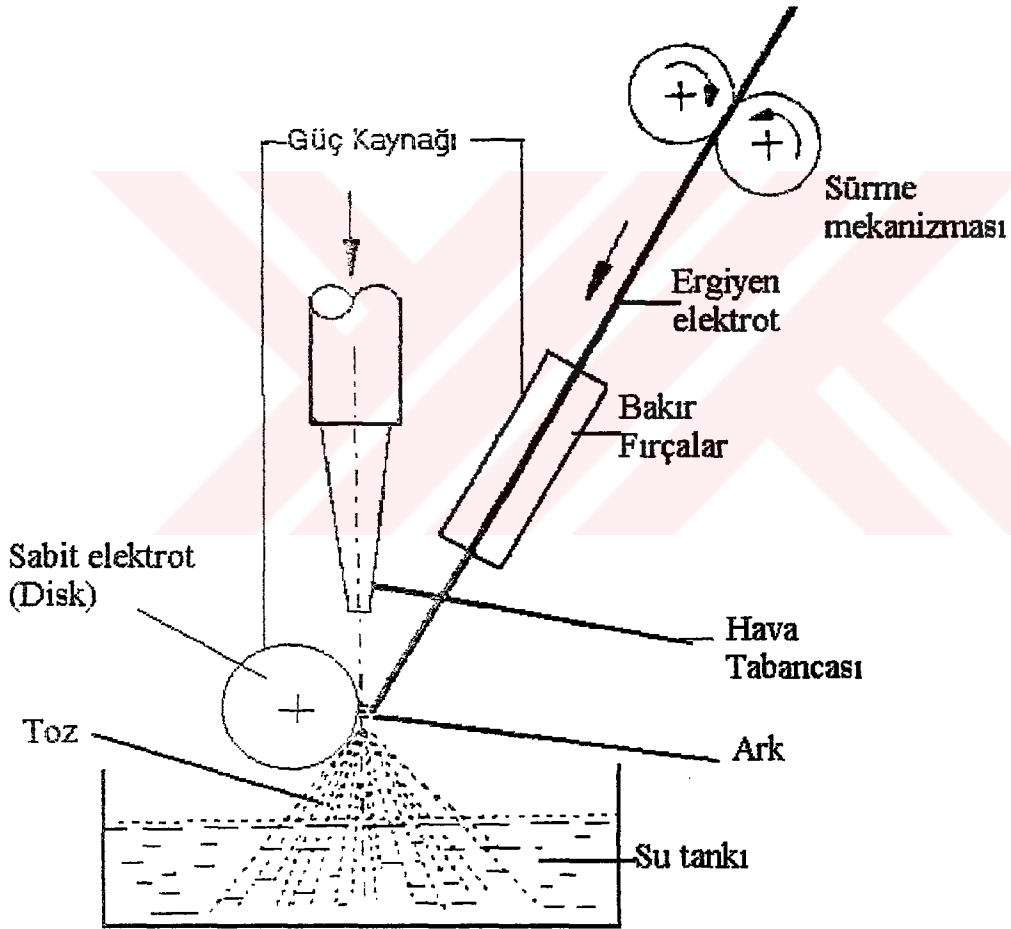
Merdaneler yardımıyla doğrusal olarak sürülen çubuk tel elektrot bakır fırçaların arasından geçerek döner disk ile çakıştırılmaktadır. Çubuk tel elektrot ve döner disk güç kaynağının pozitif ve negatif kutuplarına ayrı ayrı bağlandığından çakışma sırasında ark meydana gelmekte ve dolayısıyla tel çubuk erimektedir.

⁵⁴ S. ANIK, "Kaynak Teknolojisi El Kitabı (Ergor Matbaası, İstanbul 1983) s.269

⁵⁵ İ.ALKIN, "Elektrik Ark Kaynağı ve Toz Püskürtme Yöntemleri ile Zırhlanan Parçaların, Abrezif Davranışlarının İncelenmesi" (Yüksek lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens. İst. 1995) s.74

Atomizasyon ünitesi dört ana bölümden meydana gelmektedir. Bunlar;

- i) Doğru akım güç kaynağı
- ii) Tel sürme mekanizması
- iii) Döner disk
- vi) Yüksek basınçlı hava kompresörü ve nozül



Şekil 4.2 Deney Düzenineğinin Şematik Görünüşü

III.GÜÇ KAYNAKLARI

Kaynak makinalarının veya akım üreteçlerinin amacı kaynak arkını sürekli oluşturacak gerilim ve şiddette kaynak akımı sağlamaktır. Aydınlatma veya endüstriyel şebekeden alınan elektrik akımı ile doğrudan kaynak yapmak mümkün değildir.

Elektrik ark kaynağını hem doğru hem de alternatif akımda yapmak olasılığı bulunduğundan, kaynak makinalarında iki ana gruba ayrılırlar.⁵⁸

- i) Doğru akım kaynak makinaları: Kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri
- ii) Alternatif akım kaynak makinaları: Kaynak transformatörleri.

Güç kaynağının tipi ne olursa olsun onun başlıca işlevi, kaynak için gerekli olan akım türünü sağlamaktır. Bunun yanı sıra her akım üreticinin uygulanan kaynak yöntemine göre aşağıdaki koşulları da yerine getirmesi gerekir.

- Şebeke gerilimini, sınırlandırılmış boşa çalışma gerilimine çevirmek.
- Kaynak akım şiddeti ayar donanımına sahip olmak ve çalışma anında ayarlanmış kaynak akım şiddetini sabit tutmak.
- Boşa çalışma gerilimi ayarına sahip olmak
- Çalışma anında kararlı bir ark oluşturunca boşa çalışma gerilimini en kısa zamanda ark gerilimine düşürmek.

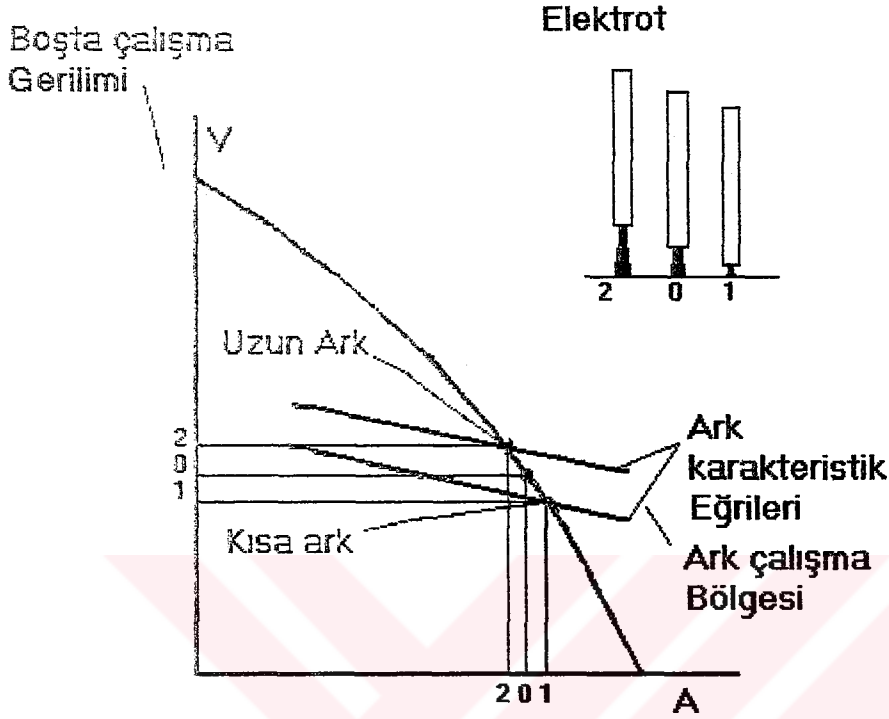
Bu özellikler kaynak makinasının statik ve dinamik karakteristikleri sayesinde gerçekleşir.

Bir kaynak makinasının statik ve dinamik karakteristikleri tamamen elektriksel karakteristiklerdir ve makinanın seçilmiş bir kaynak yöntemi için uygun olup olmadığını belirtirler. Statik karakteristik makinanın akım şiddeti ile gerilimi arasındaki bağıntıyı gösterir. Elektrik ark kaynağında düşen tip karakteristikli makinalar kullanılır.

Dinamik karakteristik çalışma esansında ani yük değişmelerine karşı makinanın davranışını belirler. İyi bir makina ani yük değişmelerine çok kısa sürede (saniyenin yüzde bir kaçı kadar bir zamanda) uyum sağlayabilmektedir. Şekil 4.3 de elektrik kaynağında kaynak akım üreticinin düşen tip statik karakteristiği görülmektedir.⁵⁹

⁵⁸ K. TÜLBENTÇİ, S. ANIK, "Örtülü elektrot ile ark kaynağı" (Gedik holding, İst-1991) s. 49

⁵⁹ K. TÜLBENTÇİ, S. ANIK, a.g.e s.50



Şekil 4.3 Statik Ark Karakteristiği

Ark sütunun uzunluğunu, ark akımı ile beraber elektrot malzemesi, ark gazlarının efektif iyonizasyon gerilimi ve ark gerilimi etki altında tutmaktadır.⁶⁰

Elektrik ark kaynağı makinaları genel olarak yüksek gerilim ve düşük akım şeklinde bulunan şebeke akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetindeki kaynak akımına çeviren cihazlardır. Elle yapılan normal ark kaynağında, ark gerilimi 25-55 Volt ve akım şiddeti 10-600 Amperdir. Elektrik ark kaynağı gerek doğru akım, gereksede alternatif akım ile yapılabilir. Doğru akım kullanılması halinde elektrot doğru kutuplama (negatif kutba), gerekse ters kutuplama (elektrot pozitif kutba) bağlanabilir.

Her iki akım türünün de kendine has bazı avantajları vardır. Bununla birlikte genelde akım türü seçiminde kaynak özellikleri göz önüne alınır.⁶¹

⁶⁰ N. GÜLTEKİN, "Kaynak Tekniği" (YTÜ Yayınları, sayı 184, İst-1985) s.73

⁶¹ K. TULBENTÇİ, S. ANIK, a.g.e. s.51

Doğru akımın alternatif akıma göre üstünlükleri şunlardır;

- Düşük akım şiddetleri ve ince çaplı elektrotlarda doğru akım daha iyi sonuç vermektedir.

- Doğru akımda bütün elektrot türleri ile kaynak yapmak mümkündür.

- Doğru akımda arkın tutuşması daha kolaydır.

- Doğru akımda sürekli olarak kısa ark boyu ile çalışmak mümkündür.

- Genellikle doğru akımda alternatif akıma göre daha az sıçrama olur.

A) GÜÇ KAYNAĞI PARAMETRELERİ

Deneyle sırasında ark oluşturabilmek için belirli özelliğe sahip güç kaynağının bulunması gerekmektedir. Piyasada pek çok çeşit güç kaynağı olmakla birlikte, bunların içerisinde ark voltajını düzenli kontrol edip ark bölgesindeki akım miktarını tespit edip ayarlayabilen doğru akım güç kaynağı en iyi sonucu vermektedir. Bu amaçla KME 400 doğru akım kaynak makinası kullanılmıştır.

Ark sırasında meydana gelen volt, akım ve ark boyu gibi parametreler metal tozu tane boyutu üzerine doğrudan etkisi bulunmaktadır.

1. Volt

Ark voltajı, çubuk tel ile döner disk arasında meydana gelen potansiyel elektrik yüküdür.⁵⁶ Güç kaynağı üzerinde belirtilen voltaj değeri genel olarak ark bölgesindeki voltajı ifade etmektedir. Ancak okunan değer ark bölgesindeki gerçek voltaj ile aynı olabilmesi için; kablo ebadı ve uzunluğu, maşalardaki temas boşluğu ve elektrotun uzunluğu gibi parametrelerin minimum düzeyde olması gerekir⁵⁷

Bu çalışmada kullanılan KME 400 tipi güç kaynağı ile voltaj değeri dijital olarak ayarlanabilmektedir.

⁵⁶ W.H. KEARNS, "Welding Handbook". (American Welding Society, Miami,Florida,USA 1970) s.251

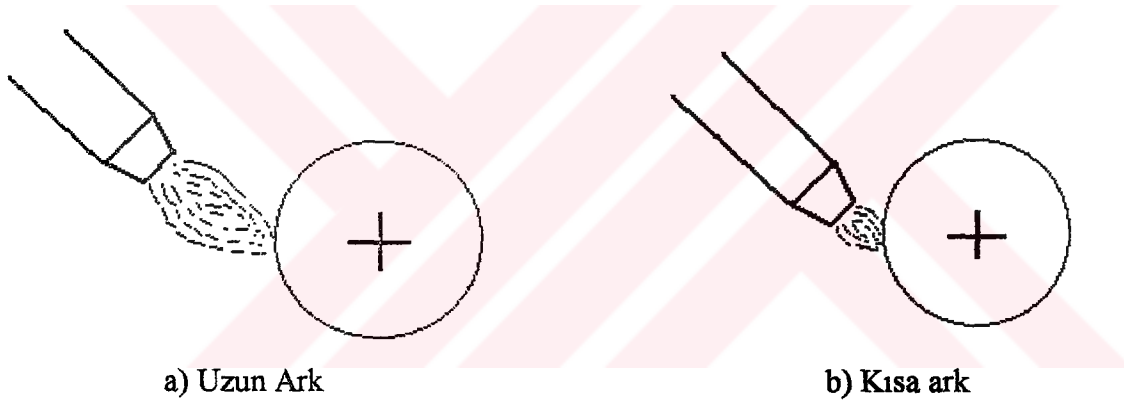
⁵⁷ A.L. PHILIPS, "Welding Handbook". (American Welding Society, Miami,Florida,USA 1970) s.378

2. Akım

Ayarlanan volt değerine göre ark bölgesinde meydana gelen akım, güç kaynağı tarafında otomatik olarak belirlenmektedir. Yapılan çalışmalarda tel sürme hızının ve tel çapının artması akım şiddetinin artmasına neden olurken, tel sürme hızının ve tel çapının azalması durumunda akım şiddetinde azaldığı görülmüştür.

3. Ark boyu

Anot ve katot kutuplarına bağlanmış olan iki metalin ark sırasında birbirine olan mesafesi ark boyu olarak tanımlanır. Şekil 4.4'de uzun ark ve kısa ark şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Ark boyu

Ark boyunun uzun olması durumunda arkın iç bölgelere işlemesi azalır. Daha büyük partiküller oluşur, ve arkta sıçrama artar. Ayrıca kaynak sırasında Elektrottan ergiyik havuzuna malzeme transferi büyük parçalar halinde gerçekleşir. Uzun ark boyunun karakteristik özellikleri şunlardır;

- i) Devamlı ark yanması
- ii) Yüksek akım ve voltaj
- iii) Büyük ergiyik havuzu
- iv) Yüksek oranda metal ayrışması

Elektrik arkında ark boyu uzun olursa voltaj değeri yaklaşık 35 volt civarında gerçekleşir. Bu durumda tel çapı 1.2 mm den 3 mm ye kadar olan teller kullanılabilir.

Bu durumda yüksek oranda metal ayrışması meydana geldiğinden ince çaptaki teller iyi sonuç vermemektedir.

Kısa ark boyunda elektrottan ergiyik havuzuna olan malzeme transferi arkta meydana gelen kısa devre nedeniyle oluşmaktadır. Pratikte bu durum şöyle gerçekleşmektedir; Tel elektrot ergiyik havuzuna değdiği anda yüksek bir akımla yüklenmektedir. Akım tel üzerini yakar ve küçük tel parçası ergiyik içerisine düşer. Tekrar tel elektrot, ergiyik havuzuna varıncaya kadar ark çakması ve yanması meydana gelir. Düzgün ayarlanmış tel hızı ve voltaj değerlerinde saniyede 50-200 kısa devre meydana gelmektedir. Kısa ark boyunun karakteristik özellikleri şunlardır;

- i) Periyodik kısa devre ark oluşumu
- ii) Düşük akım ve voltaj değeri
- iii) Küçük ergiyik havuzu
- iv) Düşük oranda metal ayrışması

B) ELEKTRİK ARKINDAKİ OLAYLAR

Kaynak arkı; elektriksel, dinamik, termik ve kimyasal bir çok olayın komplike bileşimini içermektedir. Olaylar öncelikle mikro ve makro parametrelere göre ele alınabilir. Makro parametreler olarak; kaynak akımı, ark gerilimi, ark boyu, sıcaklık ve ark ortamındaki gazların iyonizasyon gerilimi, mikro parametreler olarak ise; ark ortamındaki atom, elektron ve iyonlar arasındaki değişken etkilerden gelişen tutuşma ve iyonizasyon olayları belirtilebilir.

1. Tutuşma olayı

Elle yapılan elektrik ark kaynağında, arkın tutuşturulması için, kısa bir zaman elektrot ile iş parçasının temas haline getirilmesi gerekmektedir. Bu kısa devre, akım

kaynağına boşa çalışma geriliminden, kısa devre akımına ulaşılması şeklinde yansır. Temas noktasında yüksek akım yoğunluğu nedeni ile açığa çıkan ısı, metalin kaynama noktasına kadar kızmasına ve katot dan elektron yayılmasına neden olur. Buharlaşan metal havaya oranla daha az iyonlaşabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca düşük bir elektron emisyonu koşulu da yeterli olduğundan arkla bir göçüm ortaya çıkmaktadır. Yarı otomatik ve otomatik kaynak makinalarında da tutuşma aşaması benzer şekilde gerçekleşmektedir. Kaynak akımının elektrottan ana malzemenin temas noktasına doğru geçmesi ve en yüksek akım yoğunluğu etkileri ile ana malzemedede de ergime ortaya çıkmaktadır.

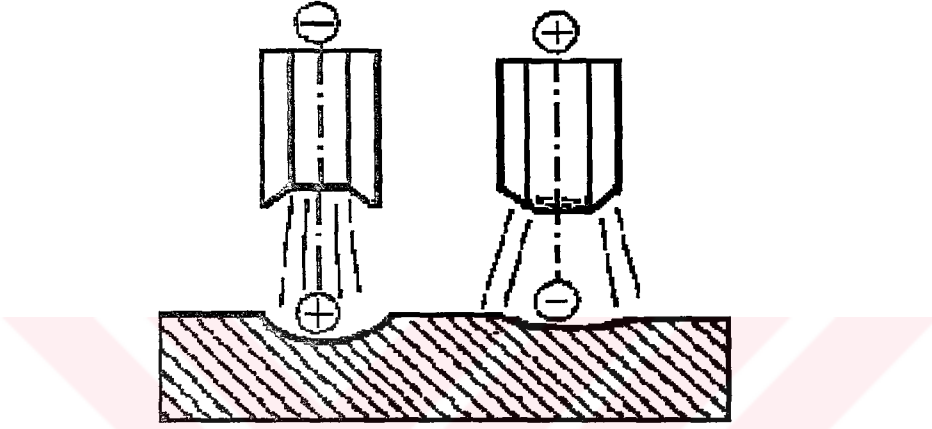
2. Arkın kararlılığı

elektrik arkının oluşumunda, elektron yayılım alanının olduğu kadar, termik yayılımında rolü bulunmaktadır. Her ikisinden elektron yayılım alanı, elektrik arkının başlangıç durumunda, daha büyük anlam taşımaktadır. Esas arkın kararlılığında termik iyonizasyon, yüksek hızlarda hareketli olan elektronların nötr gaz atomlarına çarpması ile ortaya çıkmaktadır. Bu çarpma iyonizasyonu sonucu olarak, atomlardan bir pozitif iyon ve elektron ortaya çıkmaktadır. Ark sütunundaki elektronlar katot dan anoda doğru, ayrıca çarpmalardan da doğan yüksek kinetik enerjileri ile hareket etmekte ve anodun fazla ısınmasına neden olmaktadır. Pozitif yük taşıyıcılar katoda doğru harekette bulunmaktadırlar. Katot dan elektronun ayrılışı ve anodu bombardıman edişi nedenleri; katot da enerji azalması, anot da artması şeklinde bir enerji taşıma olayı ortaya çıkarmakta bu oluşum işleme, katot sıcaklığının anot sıcaklığının altında kalması şeklinde yansımaktadır. Buda parça ve malzemedede farklı ergime durumu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 4.5 ters kutuplamanın etkisi görülmektedir.

Doğru akımdan yararlanılarak yapılan işlemlerde bu özelliklerden değişik yönlendirmelerde yararlanılmaktadır.

Dalgalı akım kullanılarak işlemlerde ise anot ve katot saniyede 100 defa (50 Hz) yer değiştirmektedir. Bu elektron ve iyon akımlarının yönlerinin de değişmesi anlamına gelmektedir. Bu durum nedeni ile arkın her değişimde sönmesi, fakat yeniden tutuşması

anlamına gelmektedir. Temas noktasız tutuşma ise ancak ark sütununda gerekli iletkenliğin var olması ile meydana gelebilmektedir. Bu koşul, o andaki katodun yeterli seviyede elektron emisyonuna sahip olması ve ark aralığında bulunan ortam atomlarının kolay iyonize olabilme özelliği içermesine bağlı kalmaktadır. Bu nedenle dalgalı akımla çıplak elektrot ergitilerek kaynak yapılamamakta, örtü elemanları ile gerekli olan bu koşullar yapay (örtü içine Na konularak) olarak sağlanmaktadır.⁶²



Şekil 4.5 Elektrot Kutuplama Çeşidinin Ergimeye Etkisi

3. Kaynak işleminde malzeme göçümü

Ergiyen elektrotla kaynak işleminde malzeme göçümü, elektrottan iş parçasına doğru damlasal bir geçiş şeklindedir. Damlaların sayı büyüklüklerini esas olarak elektrostatik-elektrodinamik kuvvetler ve ergiyik akışkan damlada ortaya çıkan kimyasal tepkimeler belirler.

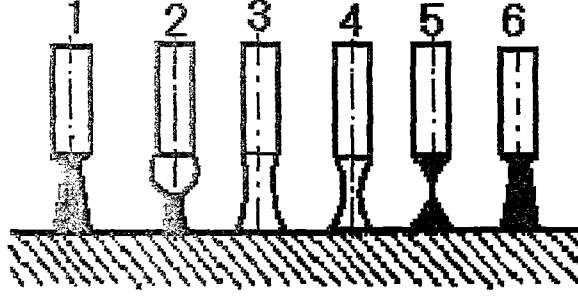
Malzeme göçümü bir çok koşulların etkisi ile iri, ince veya çok ince bir akış rejiminde gerçekleşebilmektedir. Örnek olarak bu koşullardan akım şiddetinin yükselmesi veya ilave malzemedeki karbon ve oksijen miktarlarının artması ile ince taneli bir malzeme göçümü ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.6 da kısa devreli bir malzeme göçümünün tasarımı şematik olarak verilmektedir. Elektrot malzemesi kaynak akımı ve ark ısısının etkisi ile sürekli olarak

⁶² N, GÜLTEKİN. a.g.e. s.71

ergir. Elektrot ucunda oluşan damla devamlı büyür. Elektrota bağlı belirli bir büyüklüğe ulaşıncaya metelsel kaynak banyosu ile bir kısa devre köprü bağlantısı rolü oynar.

Başlangıç aşamasında, yaklaşık silindirik formda kabul edilen kısa devre köprüsü daha sonra büzülme yerinde elektromanyetik kuvvet etkisi ile de koparak metelsel banyoya geçer (pinch olayı).



Şekil 4.6 Kısa Devre Esasına Göre Malzeme Göçümü

Malzeme göçümünde açık etkisi görülen pinch olayını şu şekilde açıklama mümkündür; belirli bir akımın katı veya sıvı iletkeninden geçmesi durumunda, akım yönünde ve manyetik alana dik bir kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvet iletkeni büzmeye zorlamakta, malzeme göçüm olayına olduğu gibi, bu oluşum sıvı fazda ise büzme etkisi ile damla elektrottan hızla uzaklaşmaktadır.

Akışkan damladan gaz üreyişi bu işlemi kolaylaştırıcı yöndedir. Arkın tutuşumu, damla oluşumu, kısa devre köprüsü, kopma ve ergiyik banyoya geçme aşamaları, kaynak değerleri ve ilave malzemeye bağlı olarak saniyede 40-120 defa tekrarlanmaktadır.

Elektrottan kaynak banyosuna malzemenin bir başka geçiş şekli ise, kısa devresiz ve ince demet şeklinde malzeme göçümüdür. Püskürtme bombardıman olarak da tanımlanan bu tür göçümde elektrot ucunda sadece küçük damlacıklar oluşur. Bunlar kimyasal reaksiyon ve elektriksel kuvvetlerin etkisi altında kısa devre oluşmadan elektrottan kopan damlacıklar ana parçadaki kaynak banyosuna savrulurlar. Bu tür malzeme göçümü özellikle yüksek akım yoğunlukları ile gerçekleştirilen işlemlerde meydana gelir.⁶³

⁶³ N. GÜLTEKİN, a.g.e. s.73-74

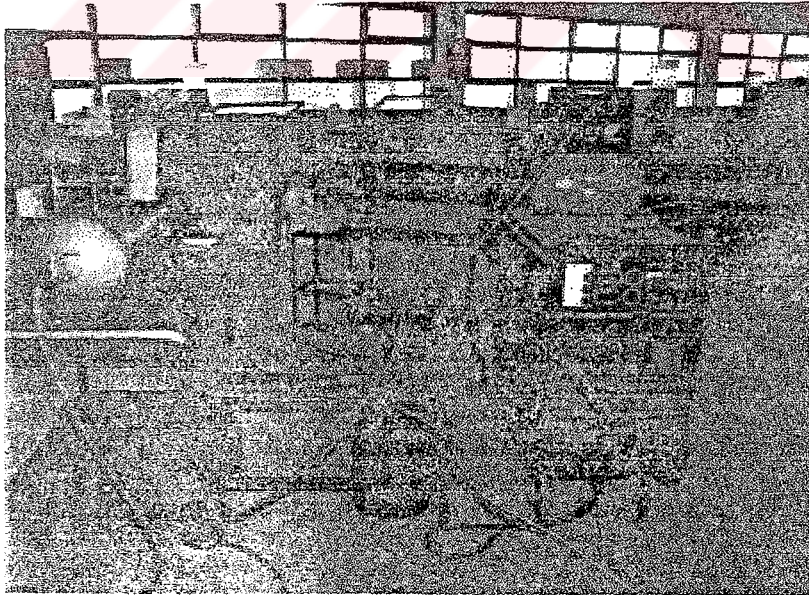
IV. DENEY DÜZENEĞİ

DONDELARK Yöntemiyle metal tozu üretiminde metal tozu tane büyüklüğüne ve toz karakteristiğine etki eden faktörleri incelemek için deney düzeneği şu parametreleri kontrol edecek şekilde düzenlenmiştir.

- i) Tel sürme hızı
- ii) Tel çapı
- iii) Voltaj değeri
- iv) Elektrot açısı
- v) Döner disk dönme hızı
- vi) Hava basıncı

A) ATOMİZASYON ÜNİTESİ

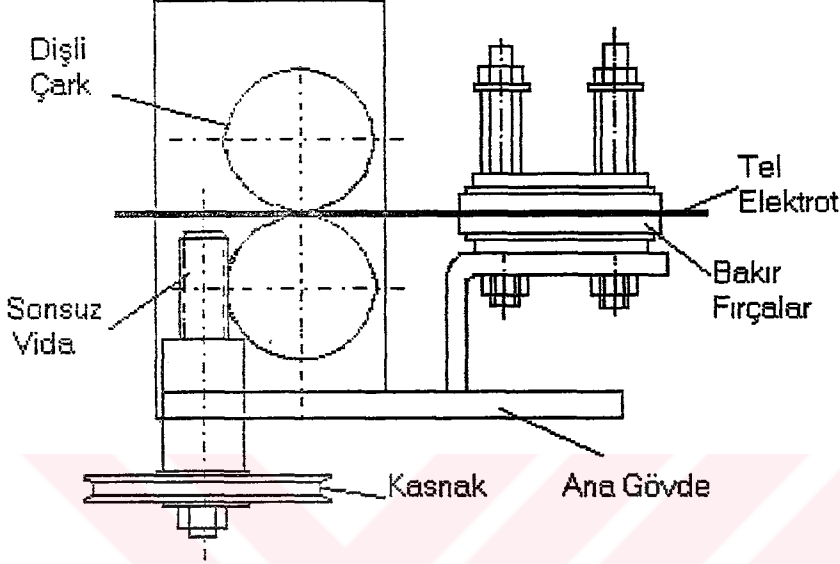
Atomizasyon ünitesinde, tel sürme ve kontrol mekanizması, döner disk, basınçlı hava, güç kaynağı ve anot-katot bağlantısı gibi önemli birimler bulunmaktadır. Şekil 4.7 de atomizasyon ünitesinin genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.7 Deney düzeneğinin Genel görünüşü

1. Tel sürme ve kontrol mekanizması

Deneyde kullanılan tel sürme mekanizması şekil 4.8 de görülmektedir.



Şekil 4.8 Deney Düzeneği Tel Sürme Mekanizması

Her bir deney 1000 mm uzunluğunda ve 2, 2.5, 3 mm çapında çelik teller kullanılarak yapılmıştır.

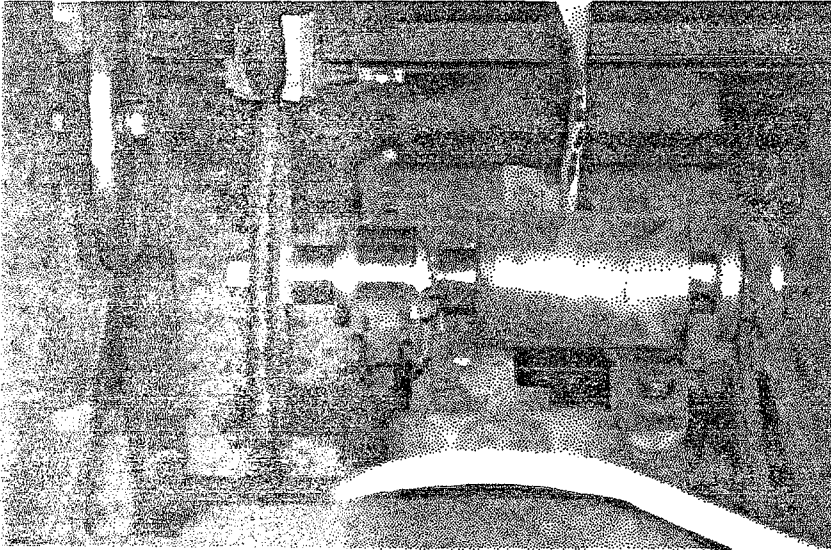
Teli sürmek amacıyla 500 Wattlık bir elektrik motoru kullanılmıştır. Motordan alınan hareket, bir kayış-kasnak vasıtasıyla sisteme aktarılmakta ve değişik çapta kasnaklar kullanılarak istenilen devir hızı ayarlanabilmektedir. Ayrıca kullanılan varyak vasıtasıyla da elektrik motoruna gelen voltaj azaltılarak motordaki devir sayısının istenildiği kadar azaltılması sağlanmıştır. Kayış-kasnak yardımıyla iletilen devir, kasnağın üzerine bağlı bulunduğu milin uç kısmına açılan sonsuz vida ve sürme mekanizmasına bağlı çark sayesinde, tel sürme hızı en son istenilen düzeye getirilmektedir. Sonsuz vida çarkının üzerinde bulunan V şeklindeki kanallar değişik çaptaki tellerin sürülmesine imkan sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Elektrik iletim parçası olarak bakır fırçalar kullanılmıştır. Elektrik akımı, çubuk tel elektrotlara doğru akım güç kaynağına bağlanmış bu bakır fırçalar yardımıyla iletilmektedir. Bakır fırçaların iç kısmında bulunan V şeklindeki kanallar, değişik çaptaki tellerin buradan

geçerken fırça ile tam temas etmesini sağlamaktadır. Ayrıca elektrik iletiminin bakır fırçadan çubuk tele tam olarak iletilebilmesi için iki adet yapılmış ve bu parçalar sıkıştırma yayı kullanarak hareket halindeki tele tam bir sıkıştırma sağlayarak akım geçiş yüzeyi artırılmaya çalışılmıştır. Bakır fırçadan çıkan tel yaklaşık 10 mm sonra döner disk ile temas ederek ark oluşturmaktadır.

Tel elektrotun açısı metal tozu tane boyutu üzerine etkili olduğundan tel sürme mekanizması değişik açılarda tel sürececek şekilde yapılmıştır.

2. Döner disk

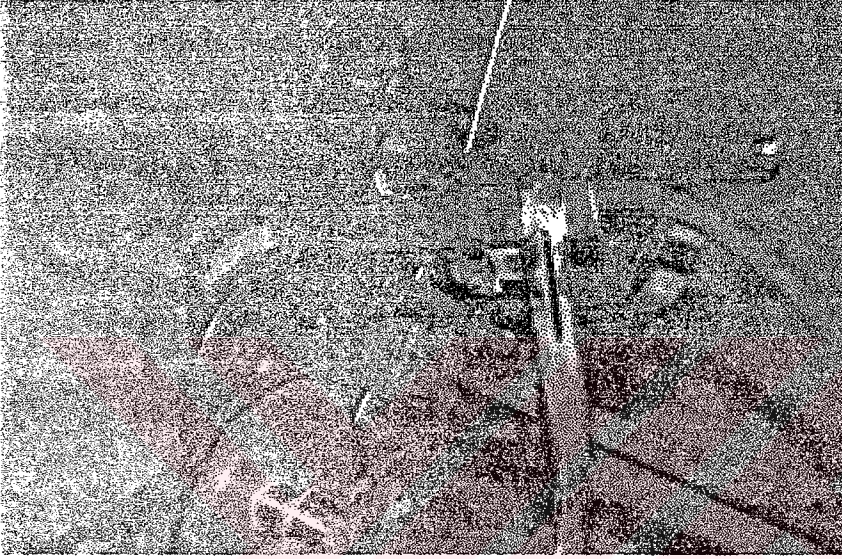
Çubuk tel elektrot ile ark oluşturmak ve oluşan arkı dikey yönde aşağı doğru savurmak amacıyla döner disk kullanılmaktadır. Şekil 4.9 da döner diskin sisteminin üstten görüşü verilmektedir. Deneylede 150 mm çapında, 10 mm et kalınlığına sahip ve alın yüzeyi V şeklinde açılmış çelik dairesel diskler kullanılmıştır. 4200 d/dk ile döndürülen disk ile 33 m/sn lik çizgisel hız elde edilmektedir. Döner diskin üzerinde bulunduğu mil, yine dairesel fırçalar sayesinde çepeçevre sarılarak elektrik akımının diske tam olarak geçmesi sağlanmıştır. Pirinç malzeme ile ana gövdeye yataklanan milin dönmesi yine ayrı bir kayış kasnak sistemi sayesinde gerçekleşmektedir. 1000 Watt gücündeki elektrik motoru, değişik çaplarda kasnak kullanarak farklı devirlerdeki hareketi mile iletilebilmektedir.



Şekil 4.9 Döner Disk

3. Basınçlı hava

Çubuk tel elektrot ve döner diskin çakıştığı noktanın tam üzerine yerleştirilen hava tabancası ile yüksek basınçlı hava püskürtülerek ergiyen tel elektrodun küçük parçacıklara ayrılması sağlanmıştır (Şekil4.10).



Şekil 4.10 Sistemdeki Hava Tabancasının Görünüşü

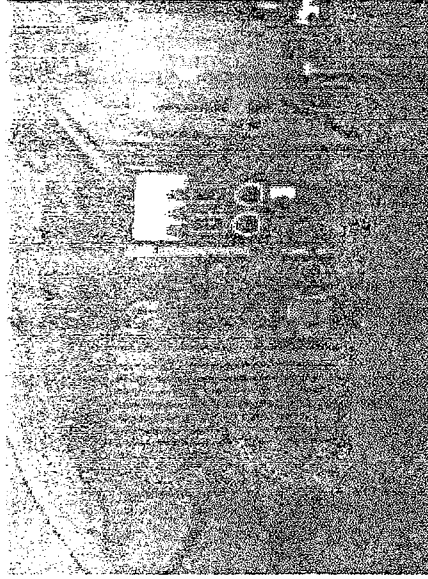
Deneylerde *Sarmak* marka havalı kompresör kullanılmıştır. Bu kompresör ile maksimum 12 atm. hava basıncı üretilebilmektedir. Yapılan deneylerde hava basıncının artması durumunda metal tozu tane büyüklüğünün küçüldüğü görülmüştür.

4. Güç kaynağı

Deneylerde şekil 4.11 de görülen KME 400 tipi, MIG kaynağında kullanılan doğru akım kaynak makinası kullanılmıştır.

Elektrik arkı uygulamalarında sabit voltajlı güç kaynakları kullanılması önerilmektedir.⁶⁴

⁶⁴ YILMAZ, a.g.e s. 79



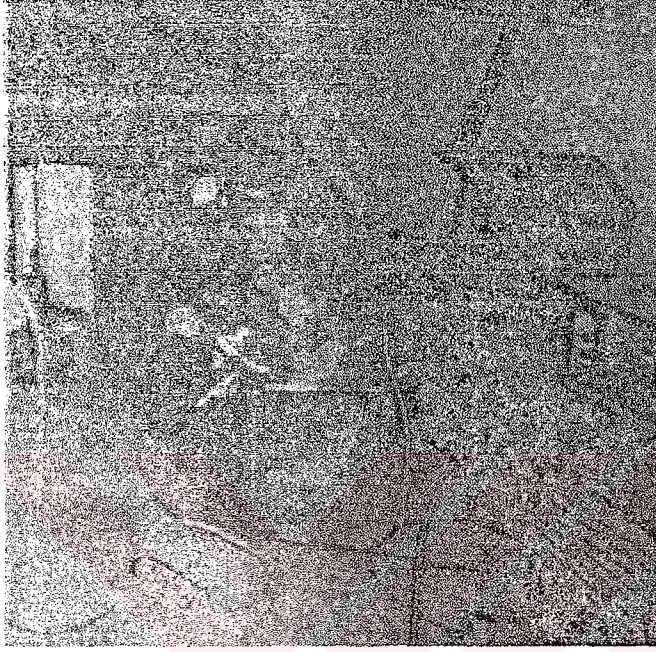
Şekil 4.11 Güç Kaynağı

Deneyleerde kullanılan KME 400 güç kaynağı hem doğru akımda çalışabilmekte, hem de sabit voltaj sağlayabildiğinden deney şartlarına tam uygunluk göstermiştir. Ayrıca volt değeri manuel olarak ayarlanabilirken ark bölgesindeki akım miktarının otomatik olarak ölçülerek dijital göstergede gösterilmesi kullanılan güç kaynağının avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır.

V. DENEY DÜZENİĞİNİN ÇALIŞMASI

Elektrik arkının oluşabilmesi için çubuk tel elektrot ve döner disk, güç kaynağının anot ve katot kutuplarına kablolar ile bağlanmıştır. Çubuk tel elektrot; içerisinde V kanalı bulunan bakır levhanın içerisinde geçerek elektrik ile yüklenirken, döner disk; üzerinde bulunduğu milin etrafını saran fırçalar sayesinde elektrik ile yüklenmektedir. Akımın kayıpsız olarak geçebilmesi için, hem diske akım veren fırçaların, hemde elektrot tele akım veren fırçaların temas yüzeyleri geniş tutulmuş, ve üzerlerine bir yay kuvveti tatbik edilmiştir.

Yapılan deneylerde arkin basınçlı hava ile atomize edilmesi ile oluşan küçük metal tozlarının su tankının içerisinde toplanarak çabuk katılaşması sağlanmıştır. Deney sırasında çekilen bir görüntülerde deneyin yapılışı (Şekil 4.12) ve deney sırasında ark oluşumu (Şekil 4.13) görülmektedir.



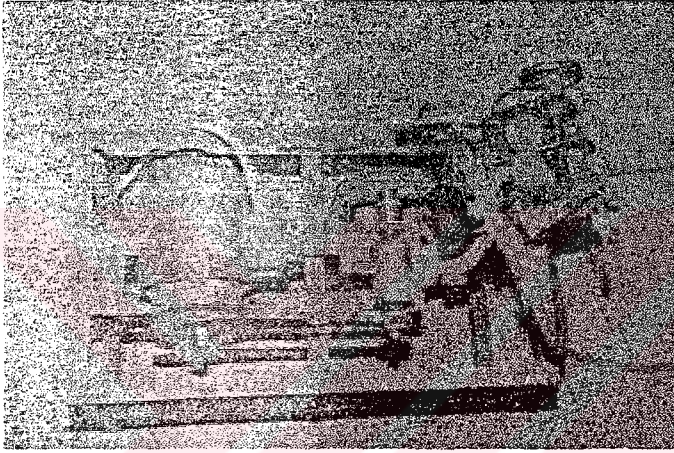
Şekil 4.12 Deneyin Yapılışı



Şekil 4.13 Deney Esnasında Ark Oluşumu

Su kabının içerisindeki metal tozlarının toplanabilmesi için kaptaki su ısıtılarak buharlaştırılmış ve tabanda kalan tozlar alınarak elek analizinden geçirilmiştir.

Elek analizinde 50'şer gramlık numuneler, en büyük elek aralığına sahip elekten en küçük elek aralığına sahip eleğe kadar yukarıdan aşağıya doğru üst üste konulan eleklerden en üsttekine konularak yaklaşık 5 dakikalık titreşime tabi tutulmaktadır. Her bir elekte toplanan metal tozları 0,01 gr. hassasiyetindeki dijital terazide tartılarak ağırlıkları ve yüzdeleri bulunmaktadır. Şekil 4.14 de deney düzeneğinin üst görünüşü görülmektedir.



Şekil 4.14 Deney Düzeneğinin Üst Görünüşü

BEŞİNCİ BÖLÜM

DENEYLERİN ANALİZİ

I. GİRİŞ

Bu çalışmada yaklaşık 70 deney yapılmıştır. Bazı deneylerde, deney parametreleri kontrol altına alınmadığı için değerlendirmeye tabi tutulmamıştır. Deneylerde özellikle çelik çubuklar üzerinde çalışılmış, sonuçlarının gözlemlenebilmesi için de birkaç tane alüminyum ve pirinç malzeme üzerine uygulanmıştır.

Yapılan deneylerde pek çok parametre değiştirilerek en iyi kalite metal tozu elde edilmeye çalışılmıştır. Her bir deneyin parametreleri ve ortalama toz boyutları grafik ve tablolar halinde verilmiştir.

II. DENEYLER VE METAL TOZLARININ ANALİZİ

Yapılan deneylerde özellikle çelik çubuklar üzerinde çalışılmış,ve deneyler sırasında voltaj, elektrotun diskle temas açısı, tel hızı, tel çapı ve tel çubuk- disk akım ucu gibi parametreler değiştirilerek bu parametrelerin toz üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tel çubuk olarak 2, 2.5, 3 mm lik malzeme kullanılmıştır. Deneyde kullanılan hava basıncı max. 12 bar basınçlı bir hava kompresörü tarafından sağlanmıştır. Kompresörün kapasitesi düşük olduğundan yaklaşık 10 bar basınçla başlamakta fakat deney sonunda 8 bar'a kadar düşmektedir. Bu durumda üretilen toz kalitesini olumsuz yönde etkimektedir.

Üretilen metal tozunun kümülatif yüzde dağılımını bulmak için elek analizi yapılmıştır. Kullanılan elekler standart ölçülerde olup 200 mm çapında 80 mm genişliğindedir. Elekler 63, 75, 90, 125, 212, 250, 300, 425 ve 600 µm boyutlu eleme kapasindedirler. Her bir deney için yaklaşık 50 gramlık numuneler kullanılmıştır.

Elenen metal tozları hassasiyeti 0,01 gr. olan dijital bir teraziyle tartılmıştır. Her bir elekte kalan metal tozunun toplam ağırlığa bölümüyle elekte kalan metal tozunun yüzde oranı bulunmuştur.

Deneyler, kullanılan çelik çapına ve disk-çubuk açısına göre gruplandırılmış, sonuçların daha iyi gözlemlenebilmesi içinde % ağırlık dağılımı, % kümülatif tane boyu dağılımı grafikleriyle açıklanmıştır. % ağırlık dağılımı grafiklerinde her bir elekte kalan metal tozunun yüzde oranları görülmektedir. % kümülatif tane boyu dağılımı grafiğinde Y ekseninde %50'ye karşılık gelen X eksenindeki tane boyutu değeri o deneyde bulunan ortalama tane boyutunu vermektedir. Grafiğin X eksenini logaritmik ölçekle çizilmiştir.

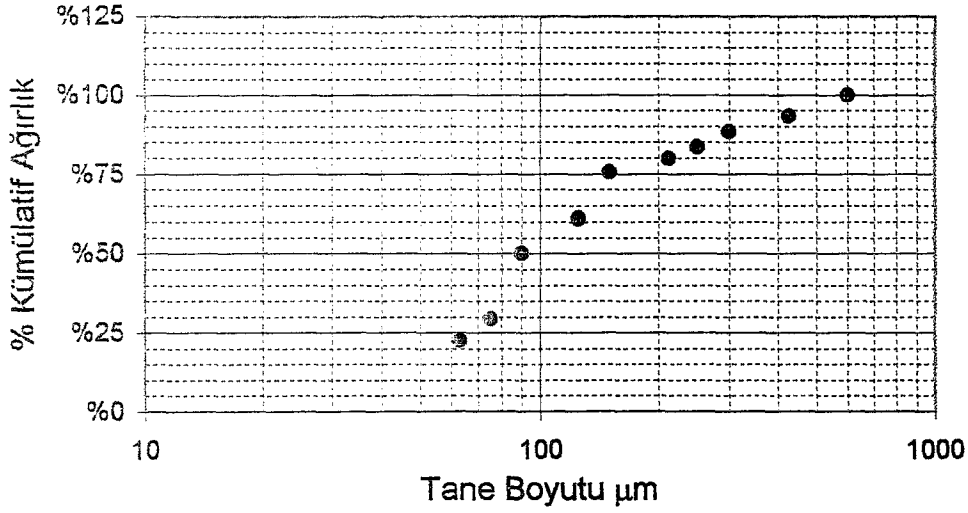
A) ÇELİK TEL MALZEMENİN ATOMİZASYONU

Atomizasyon işleminde 2, 2.5, 3 mm lik çelik çubuklar 45, 52 ve 60 derecelik disk-tel açılarında atomize edilmiştir. Ark voltajı, tel ilerleme hızı ve disk-tel akım ucu gibi parametrelerin atomizasyona etkileri incelenmiştir.

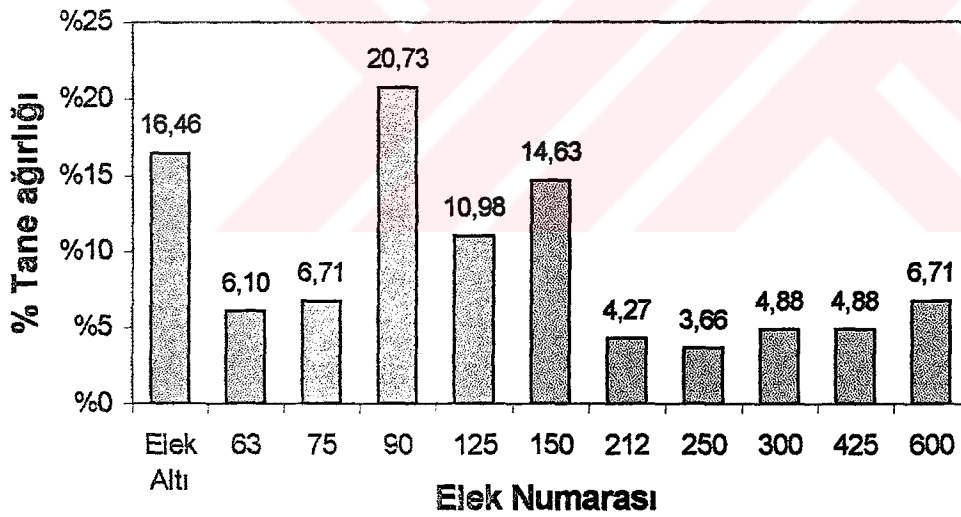
1. (2) mm lik çelik telin 52° de atomizasyonu

Tablo 5.1 Çapı 2 mm Olan Çelik Telin 52° deki Deney Sonuçları

Voltaj (V)	Akım (A)	Disk kutbu	İlerleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı											
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600	
28	122-140	+	270	16,46	6,10	6,71	20,73	10,98	14,63	4,27	3,66	4,88	4,88	6,70	
28	130-150	+	330	8,14	2,91	3,49	11,05	8,14	18,60	9,30	8,14	9,88	6,40	13,95	
28	220-260	+	350	10,80	3,98	4,54	11,93	7,39	16,48	8,52	8,52	15,34	10,23	2,27	
28	170-200	+	260	10,06	3,35	3,35	10,61	7,26	16,20	8,38	8,38	14,53	11,17	6,70	
35	220-260	+	330	11,44	2,64	2,64	5,87	3,81	8,80	4,99	5,57	12,90	16,42	24,93	
35	90-130	-	330	7,39	2,84	2,84	9,09	7,39	18,75	8,52	6,82	9,09	9,09	18,18	
28	200-210	-	330	8,53	3,79	3,79	12,80	8,53	16,11	6,16	4,74	6,16	5,59	23,70	
28	170-200	-	330	10,47	3,49	3,49	10,47	6,98	15,70	8,14	8,14	15,12	8,72	9,30	



Şekil 5.1 2 mm 52° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



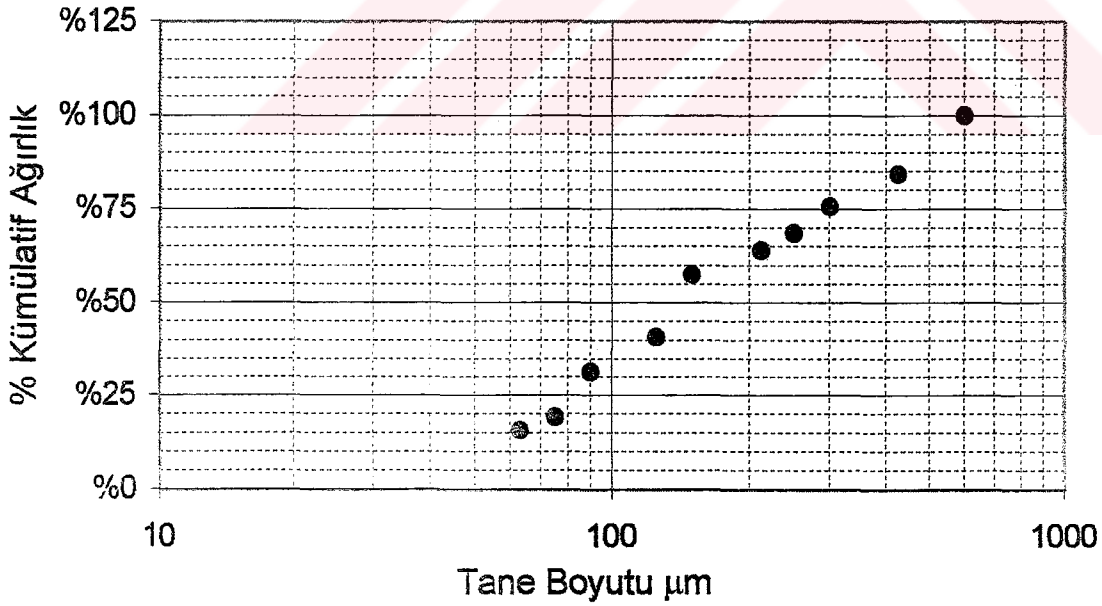
Şekil 5.2 2 mm 52° % Ağırlık Dağılımı

2 mm, 52° de Atomize edilen çelik çubuğun atomizasyonu sonucu ortalama tane boyu 90 μm bulunmuştur. Bu sonuç 28 V, 122-140 A, disk akım ucu (+) ve 270 cm/dk. lık tel ilerleme hızı deney değerlerinde bulunmuştur. Deney esnasında çok iyi bir ergime meydana geldiği gözlemlenmiştir.

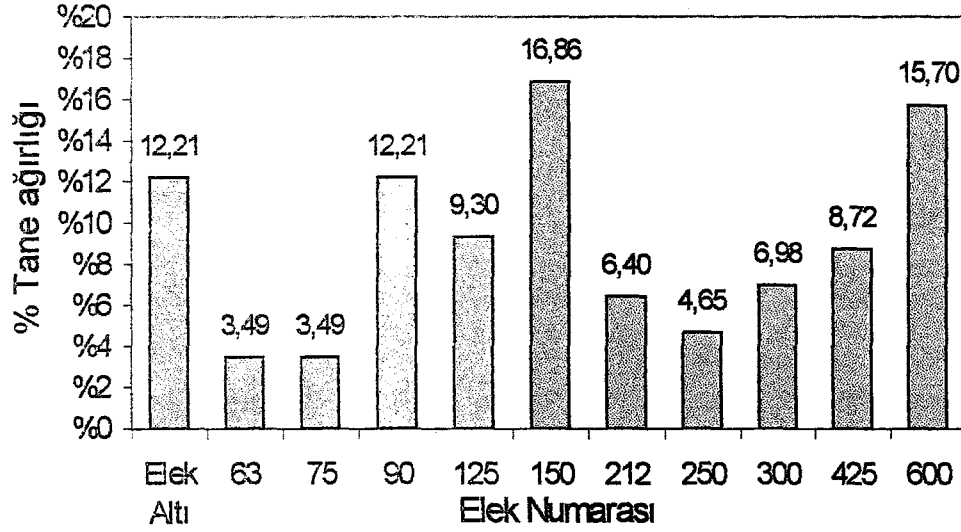
2. (2) mm lik çelik telin 60° de atomizasyonu

Tablo 5.2 Çapı 2 mm Olan Çelik Telin 60° deki Deney Sonuçları

Voltaj (V)	Akım (A)	Disk luthu	İlerleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı										
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600
28	190-280	+	280	9,19	2,70	2,70	7,57	5,41	14,05	8,65	9,19	15,68	10,81	14,05
24	40-100	+	360	12,21	3,49	3,49	12,21	9,30	16,86	6,40	4,65	6,98	8,72	15,70
28	140-220	+	260	16,33	4,08	3,40	9,52	6,12	12,24	6,12	6,12	10,20	8,84	17,01
34	160-220	+	260	13,70	2,74	3,42	8,90	6,85	15,75	8,22	8,22	14,38	11,64	6,16
28	95-115	-	240	7,19	1,96	1,96	1,96	5,88	15,69	8,50	9,80	15,69	10,46	15,69



Şekil 5.3 2 mm 60° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



Şekil 5.4 2 mm 60° % Ağırlık Dağılımı

2 mm lik çelik telin 60° de yapılan atomizasyonunda ortalama tane boyu 135 µm bulunmuştur. Bu sonuç 24 V, 40-100A, (+) disk kutbu ve 360 cm/dk.lık tel ilerleme hızı değerlerinde bulunmuştur.

Genel olarak 2 mm lik çelik tel atomizasyonu tüm deneyler içinde en iyi sonucu veren deneyler olmuştur.

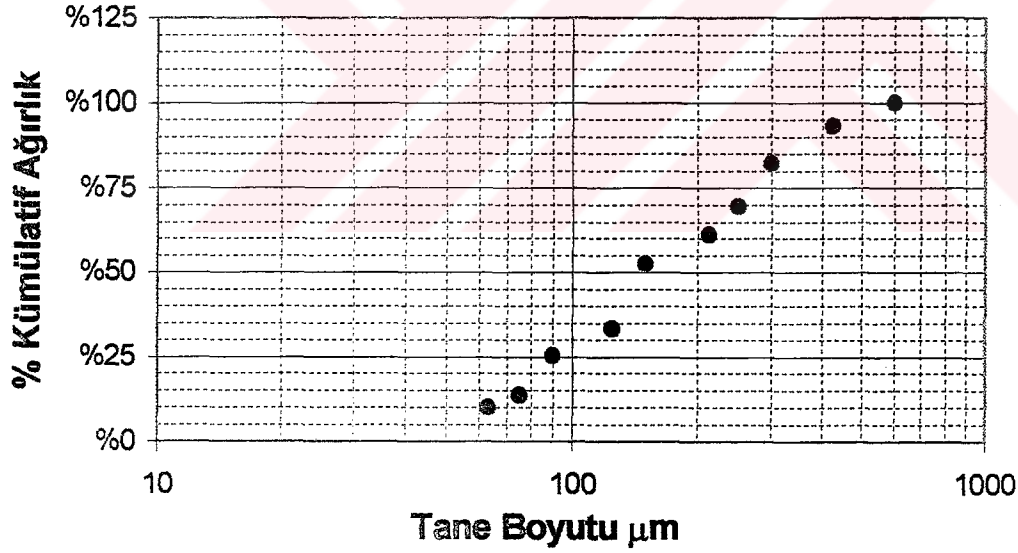
Deney parametreleri olarak; ergime açısı 52° ve 60°, tel ilerleme hızı 240-330 cm/ dakika, döner disk kutuplama yönü (- +) ve akım değeri otomatik güç kaynağından 40-280 A, voltaj;24-35 V değişkenleri kullanılmıştır.

3. (2.5) mm lik çelik telin 45° de atomizasyonu

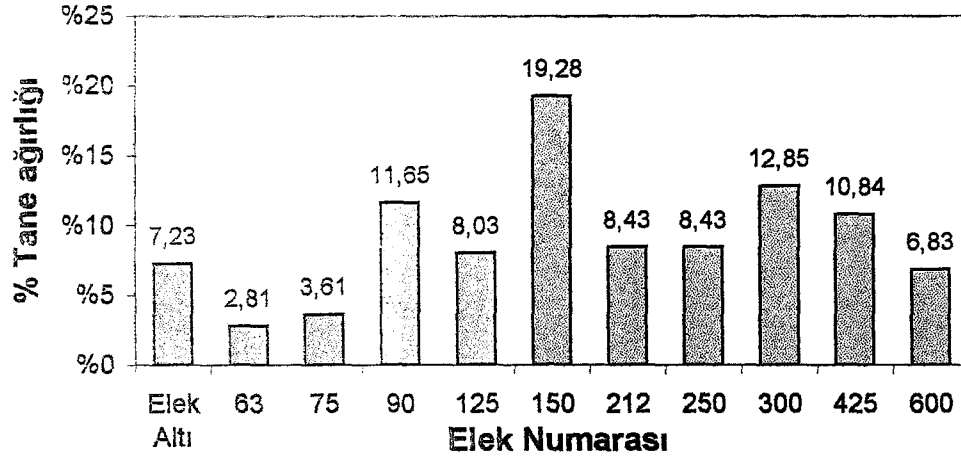
2.5 mm lik çelik telin 45° deki atomizasyonunda döner disk kutuplama yönü ile akım parametreleri değiştirilmiştir.

Tablo 5.3 Çapı 2.5 mm Olan Çelik Telin 45° deki Deney Sonuçları

Voltaj (V)	Akım (A)	Disk kutbu	İlerleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı										
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600
35	290-300	+	240	6,67	2,46	2,46	7,72	5,26	12,63	7,02	7,02	15,44	19,65	13,68
45	250-265	+	240	0,75	0,75	1,12	2,99	2,61	10,82	5,60	8,58	14,18	22,01	30,60
28	270-280	+	260	7,23	2,81	3,61	11,65	8,03	19,28	8,43	8,43	12,85	10,84	6,83
22	290-310	+	240	8,44	3,56	4,00	11,56	7,56	16,89	8,44	7,56	12,89	12,44	6,67
45	290-300	-	240	4,88	1,83	1,83	6,10	4,27	10,98	6,71	7,32	18,29	32,32	5,49



Şekil 5.5 2.5 mm 45° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



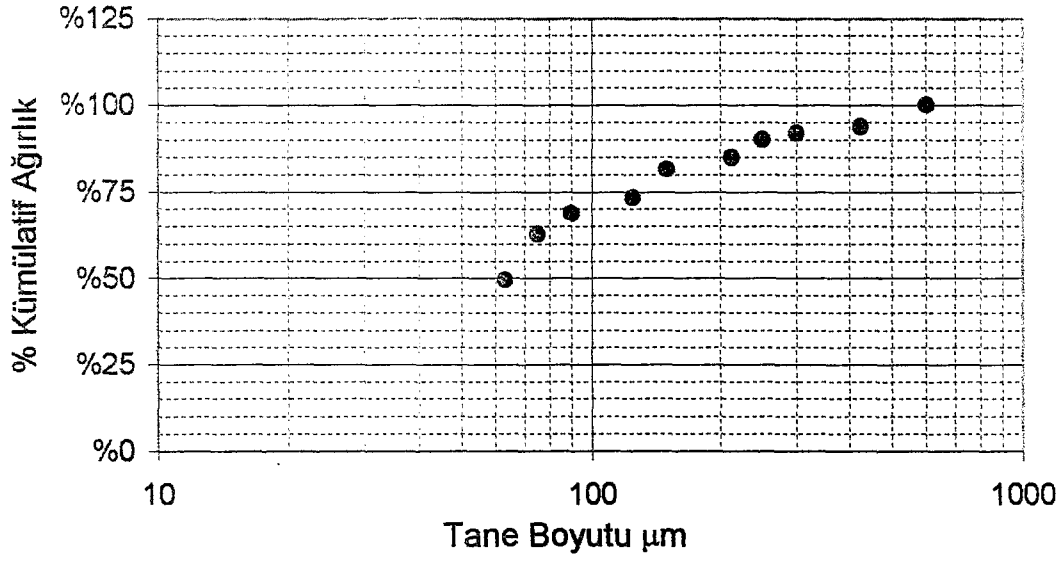
Şekil 5.6 2.5 mm 45° % Ağırlık Dağılımı

2.5 mm lik çelik çelik telin 45° de yapılan atomizasyonunda ortalama tane boyu 140 µm bulunmuştur. Bu sonuç 28 V, 270-280A, (+) disk kutbu ve 260 cm/dk.lık tel ilerleme hızı değerlerinde bulunmuştur.

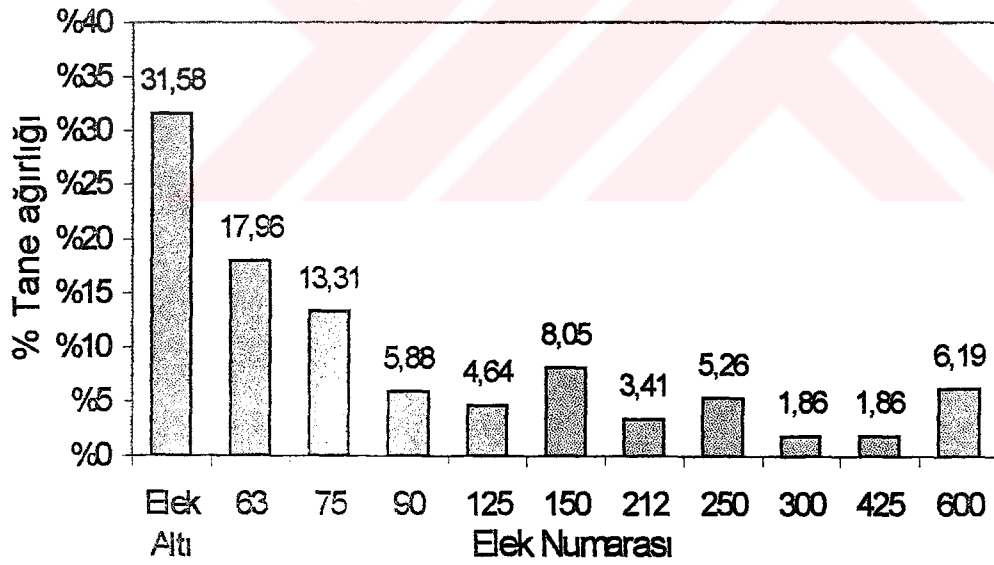
4. (2.5) mm lik çelik telin 52° de atomizasyonu

Tablo 5.4 Çapı 2.5 mm Olan Çelik Telin 52° deki Deneysel Sonuçları

Voltaj (V)	Akım (A)	Disk kutbu	İlerleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı										
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600
28	75-130	+	250	7,97	1,99	1,99	7,57	5,98	16,73	9,16	8,76	12,35	6,77	20,72
28	320-350	+	340	31,58	17,96	13,31	5,88	4,64	8,05	3,41	5,26	1,86	1,86	6,19
28	280-340	-	320	8,14	2,26	2,71	9,05	6,79	17,19	8,60	9,05	14,93	11,76	9,50
28	80-115	-	215	5,91	1,82	1,82	5,45	4,55	12,73	7,73	8,18	13,64	8,64	29,55



Şekil 5.7 2.5 mm 52° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



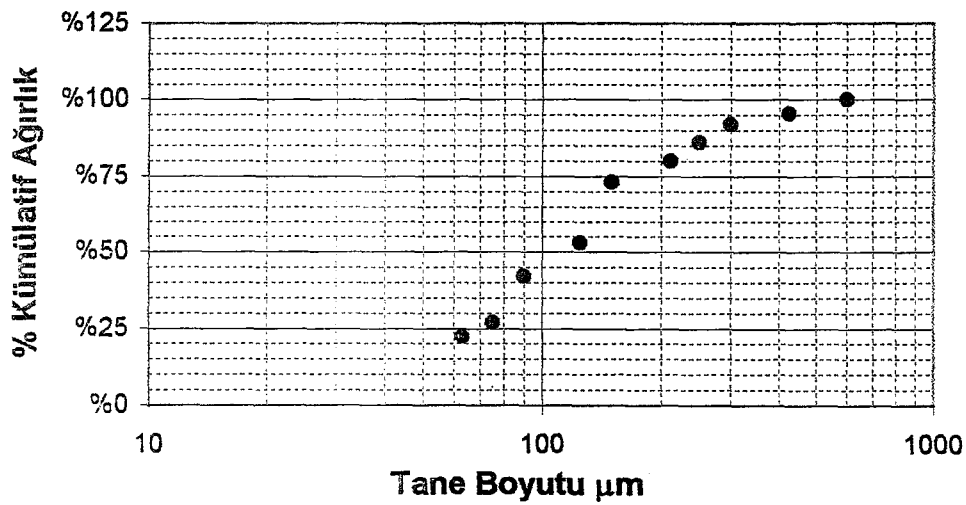
Şekil 5.8 2.5 mm 52° % Ağırlık Dağılımı

2.5 mm lik çelik çelik telin 52° de yapılan atomizasyonunda ortalama tane boyu 65 µm bulunmuştur. Bu sonuç 28 V, 320-350A, (+) disk kutbu ve 340 cm/dk.lık tel ilerleme hızı değerlerinde bulunmuştur.

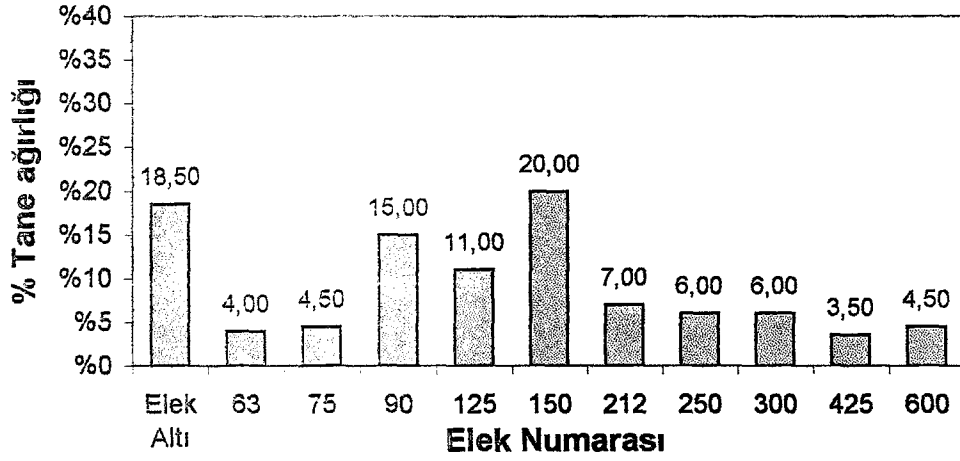
5. (2.5) mm lik çelik telin 60° de atomizasyonu

Tablo 5.5 Çapı 2.5 mm Olan Çelik Telin 60° deki Deney Sonuçları

Voltaj (V)	Akım (A)	Disk İntibu	İterleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı										
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600
29	110-200	+	290	12,27	3,25	3,25	7,94	5,42	13,00	7,22	7,22	13,36	10,83	16,25
28	200-270	+	280	20,20	3,94	3,94	13,30	7,88	16,26	7,39	6,40	9,85	5,42	5,42
28	200-270	+	280	10,78	2,97	2,97	7,81	5,20	11,52	6,32	$\frac{7}{43}$	16,36	15,99	12,64
35	170-215	+	260	18,50	4,00	4,50	15,00	11,00	20,00	7,00	6,00	6,00	3,50	4,50
28	70-200	-	290	7,42	2,12	2,12	5,30	4,24	12,01	7,42	8,83	15,90	10,60	24,03
24	60-110	-	300	7,54	1,97	1,97	4,92	4,59	12,13	6,89	6,89	9,51	6,56	37,05



Şekil 5.9 2.5 mm 60° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



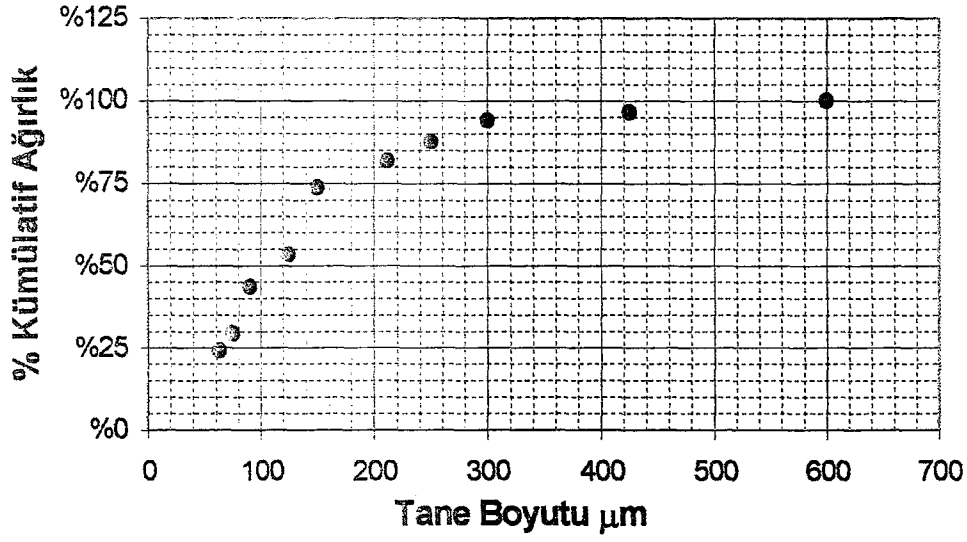
Şekil 5.10 2.5 mm 60° % Ağırlık Dağılımı

2.5 mm lik çelik çelik telin 60° de yapılan atomizasyonunda ortalama tane boyu 100 µm bulunmuştur. Bu sonuç 35 V, 170-215A, (+) disk kutbu ve 260 cm/dk.lık tel ilerleme hızı değerlerinde bulunmuştur.

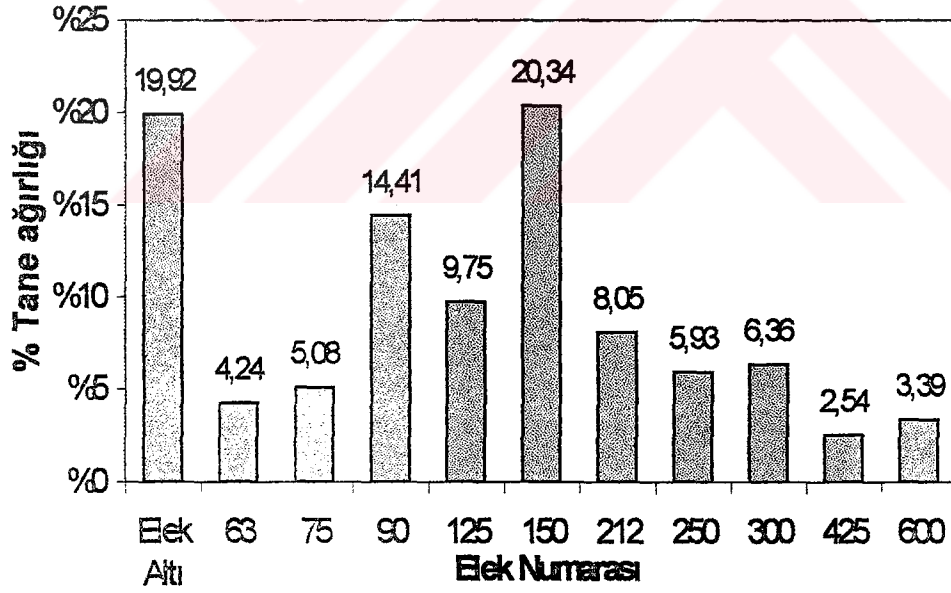
6. (3) mm lik çelik telin 60° de atomizasyonu

Tablo 5.6 Çapı 3 mm Olan Çelik Telin 60° deki Deney Sonuçları

Voltaj (V)	Akım (A)	Disk kutbu	İlerleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı										
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600
29	220-300	+	250	10,48	2,83	3,12	9,07	5,95	15,58	9,35	9,63	16,43	10,20	7,37
25	190-270	+	280	10,07	2,48	2,97	8,42	5,78	13,70	7,10	7,26	13,53	12,21	16,50
34	170-290	+	260	10,99	2,84	3,19	9,93	7,09	18,09	9,93	8,87	13,12	8,87	7,09
33	220-280	+	260	19,92	4,24	5,08	14,41	9,75	20,34	8,05	5,93	6,36	2,54	3,39
29	180-280	-	220	10,06	2,37	2,96	7,10	5,33	13,31	7,99	9,17	17,16	12,72	11,83
24	210-270	-	250	6,23	1,36	1,36	4,07	3,25	10,84	8,67	11,38	21,41	12,47	18,97
20	260-290	+	240	11,50	3,83	4,47	12,46	8,95	20,77	8,63	8,31	11,50	7,35	2,24



Şekil 5.11 3 mm 60° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



Şekil 5.10 3 mm 60° % Ağırlık Dağılımı

3 mm lik çelik telin 60° de yapılan atomizasyonunda ortalama tane boyu 135 µm bulunmuştur. Bu sonuç 20 V, 260-290A, (+) disk kutbu ve 240 cm/dk.lık tel ilerleme hızı değerlerinde bulunmuştur.

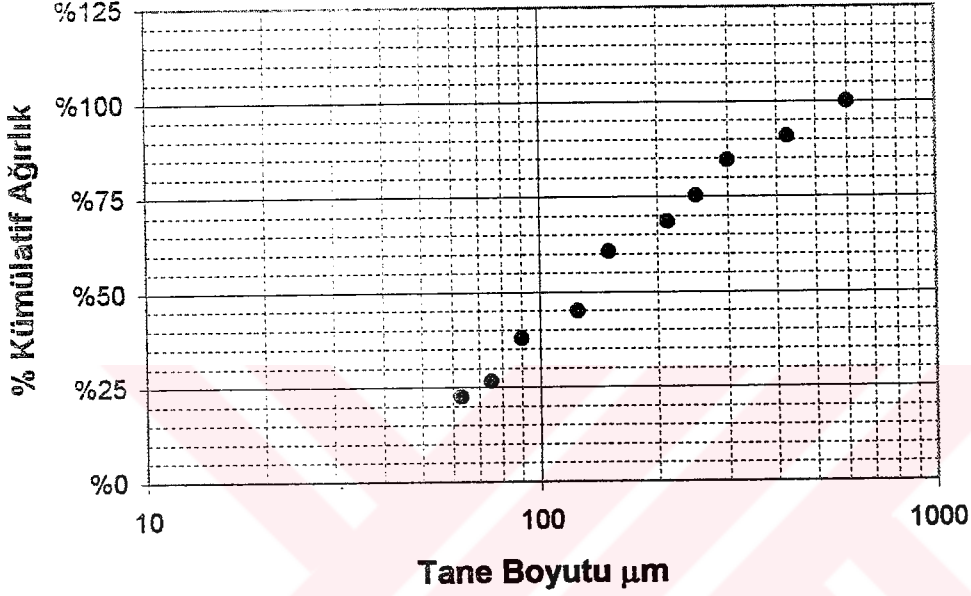
7. (3) mm lik çelik telin 52° de atomizasyonu

Tablo 5.7 Çapı 3 mm Olan Çelik Telin 52°deki Deney Sonuçları

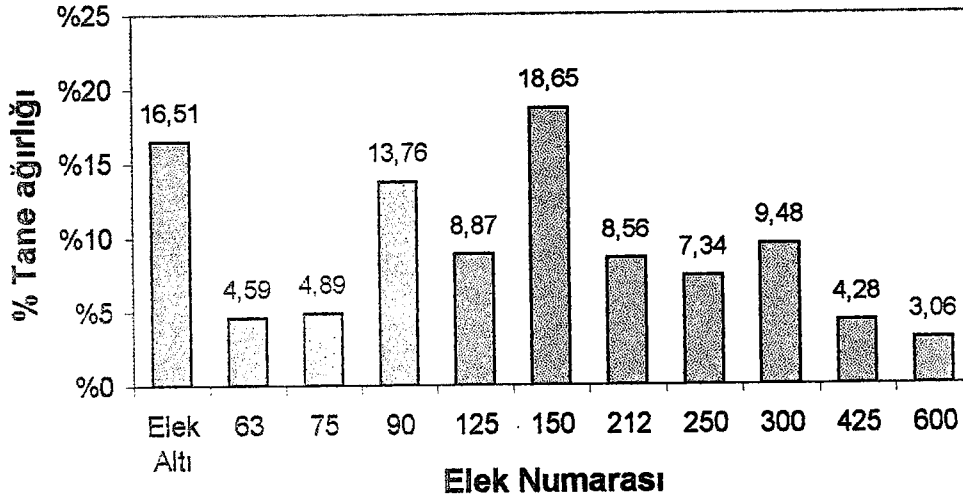
Voltaj (V)	Akım (A)	Disk kutbu	İlerleme hızı	Elek Aralığı, % Ağırlık Dağılımı										
				Tava	63	75	90	125	150	212	250	300	425	600
30	370-400	+	230	11.14	3,22	3,22	9,90	6,19	14,11	7,67	8,42	15,10	11,63	9,41
35	230-240	+	270	6.36	2.02	2,31	8,67	6,94	14,16	8,96	9,25	16,47	13,01	11,85
27	405-415	+	340	10.73	3,79	3,79	11,67	7,57	17,67	8,83	8,52	13,25	8,83	5,36
29	295-305	+	240	15.02	4,15	4,47	12,78	8,63	19,17	8,95	7,99	11,18	5,75	1,92
20	275-300	+	240	10.87	3,62	3,62	10,14	6,52	15,94	8,70	8,70	13,04	7,97	10,87
20	110-125	+	300	10,33	3,26	3,80	10,33	6,52	14,13	7,07	7,61	13,04	12,50	11,41
30	380-410	-	270	7,78	2,59	2,88	9,22	6,34	14,99	8,07	8,36	15,56	13,26	10,95
29	380-400	-	320	16.51	4,59	4,89	13,76	8,87	18,65	8,56	7,34	9,48	4,28	3,06
29	295-310	-	260	18,27	4,33	4,02	11,15	7,12	15,79	7,74	6,81	9,29	6,19	9,29
20	290-325	-	310	10,45	2,73	2,73	9,09	8,18	20,45	10,45	9,55	12,73	7,27	6,36
20	100-150	-	200	7,08	1,85	1,85	6,46	5,23	12,31	6,15	5,85	10,46	14,15	28,62

3 mm lik çelik telin 52° de yapılan atomizasyonunda ortalama tane boyu 125 µm bulunmuştur. Bu sonuç 29 V, 380-400A, (-) disk kutbu ve 320 cm/dk.lık tel ilerleme hızı değerlerinde bulunmuştur.

Bütün deneylerde disk kutuplaması (+) olan deneyler en iyi sonucu verirken bu deneyde disk kutuplaması (-) olan en iyi sonucu vermiştir. Buna mukabil aynı değere yakın bir sonuçta da (130 μ m) disk kutuplaması (+) dir.



Şekil 5.13 3 mm 52° Kümülatif Tane Boyu Dağılımı



Şekil 5.14 3 mm 52° % Ağırlık Dağılımı

B) DENEY DEĞERLERİ

Yapılan deneylerle ilgili tüm değerler Tablo 5.8 de görülmektedir.

Tablo 5.8 Deney Parametreleri ve Sonuçları

	Çap(mm)	Açı	Disk Akım Ucu	Voltaj	Akım (A)	Elektrot.hızı (cm/dk)	Ort. Tane Boyutu
Çelik	2	52	+	28	122-140	270	90
Çelik	2	52	+	28	130-150	330	140
Çelik	2	52	+	28	220-260	350	140
Çelik	2	52	+	28	170-200	260	150
Çelik	2	52	+	35	220-260	330	260
Çelik	2	52	-	35	60-80	330	105
Çelik	2	52	-	28	200-210	330	140
Çelik	2	52	-	28	170-200	270	150
Çelik	2	60	+	28	190-280	280	180
Çelik	2	60	+	24	40-100	360	130
Çelik	2	60	+	28	140-220	260	145
Çelik	2	60	+	34	160-220	260	140
Çelik	2	60	-	28	95-115	240	190
Çelik	2,5	52	+	28	75-130	250	180
Çelik	2,5	52	+	28	320-350	340	65
Çelik	2,5	52	-	28	280-340	320	170
Çelik	2,5	52	-	28	80-115	215	220
Çelik	2,5	60	+	29	110-200	290	170
Çelik	2,5	60	+	28	200-270	280	125
Çelik	2,5	60	+	28	200-270	280	230
Çelik	2,5	60	+	35	170-215	260	100
Çelik	2,5	60	-	28	70-200	290	250
Çelik	2,5	60	-	24	60-110	300	230
Çelik	2,5	45	+	35	290-300	240	240
Çelik	2,5	45	+	45	250-265	240	310
Çelik	2,5	45	+	28	270-280	260	140
Çelik	2,5	45	+	22	300	240	145
Çelik	2,5	45	-	45	290-300	240	260
Çelik	3	52	+	30	370-400	230	160
Çelik	3	52	+	35	230-240	270	225
Çelik	3	52	+	27	405-415	340	140
Çelik	3	52	+	29	295-305	240	130
Çelik	3	52	+	20	275-300	240	150
Çelik	3	52	+	20	110-125	300	160

Çelik	3	52	-	30	380-410	270	180
Çelik	3	52	-	29	380-400	320	125
Çelik	3	52	-	29	295-310	260	130
Çelik	3	52	-	20	290-325	310	140
Çelik	3	52	-	20	100-150	200	260

Çelik	3	60	+	29	220-300	250	160
Çelik	3	60	+	25	190-270	280	180
Çelik	3	60	+	34	170-290	260	140
Çelik	3	60	+	33	220-280	260	100
Çelik	3	60	-	29	180-280	220	180
Çelik	3	60	-	24	210-270	250	260
Çelik	3	60	+	20	260-290	240	135



ALTINCI BÖLÜM

İRDELEME VE SONUÇ

I. DENEYİN İRDELENMESİ

Günümüzde metal tozu üretiminin % 80'i atomizasyon yöntemiyle imal edilmektedir. Gaz atomizasyonunda metaller bir ergitme fırınında ergitilir. Ergimiş metal bir nozül vasıtasıyla potaya dökülür. Nozül içerisine veya ayrı bir yere monte edilen gaz kanalları vasıtasıyla ergimiş metal üzerine yüksek basınçta atomizasyon gazı gönderilir. Atomizasyon gazı olarak genellikle argon, helyum veya azot kullanılır. Gazın bu basıncıyla ergimiş metal toz haline gelir.

Metal tozunun karakteristiğini belirleyen en önemli parametreler; nozül açısı, gaz basıncı, nozül geometrisi, ergiyiğin viskozitesi, ergimiş metalin yüzey gerilimi ve yüksek ergime ısısıdır.

A) ATOMİZASYON PARAMETRELERİ

Deneylede özellikle ark gerilimi, tel çubuk ilerleme hızı, ark voltajı, ark gerilimi, kullanılan çelik tel çubuk çapı, atomizasyon açısı ve ark kutuplama yönü parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler değiştirilerek, bunların metal tozu üzerine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Deney esnasında özellikle atomizasyon gaz basıncı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Çünkü gaz basıncının deney esnasında değişiklik göstermesi imal edilen tozun kalitesine olumsuz yönde etki etmektedir. Deneylede kullanılan gaz basıncı yaklaşık 10 bar ile başlamakta, bu basınç deney sonuna doğru 8 bara düşmektedir.

Deneylede göze çarpan en önemli özellik ark akımının sabit değil değişken olmasıdır. Zaman zaman ark kesilmeleri meydana gelmekte ve tel çubuk arkın oluştuğu diskten ayrılmaktadır. Sonuçlardan görüldüğü gibi pek az deneyde ark akım sabitliği sağlanabilmiştir. Ark akımının değişken olmasının pek çok sebebi vardır. Bunları; kullanılan elektrotların üzerindeki oksit tabakası, ark akımının gerekenden düşük

olması, çeşitli dirençlerden dolayı ark bölgesine doğru akım makinasının verdiği akımın verilememesi, disk üzerine yapışan cüruf tabakası, çelik tel elektrotun ilerleme hızı gibi etkenleri sayabiliriz.

Deneyleerde 2, 2.5, 3 mm çapında ve 1000 mm boyunda çelik tel çubuklar kullanılmıştır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi en iyi sonuç; 2.5 mm telin 52⁰ deki atomizasyonunda 65µm olarak bulunmuştur. Fakat tüm deneyler gözönüne alındığında tel çapının artmasıyla toz boyutunun arttığı görülmektedir.

Disk kutuplama yönü gözönüne alındığında tüm deneylerde disk akımının (+) değerlerinde en iyi toz boyutunun oluştuğu gözlenmiştir. Sadece 3 mm lik çelik telin 52⁰ deki atomizasyonunda en iyi toz boyutu 125 µm çıkmıştır. Fakat yine aynı parametrelerdeki bir başka deneyde de disk kutuplama akımı (+) iken toz boyutu 130µm dir. Bu yüzden disk akımının (+) kutuplanmasının toz boyutunu olumlu etkidiği söylenebilir.

Deneyleerde ark voltajı olarak 20-45 V luk gerilim uygulanmıştır. Deneyleerde kullanılan güç kaynağının Voltaj değeri el ile manuel olarak ayarlanabilmektedir. Güç kaynağının voltaj kadranı 0-50 arasında değiştirilebilmektedir. Fakat en uygun gerilimin deney sonuçlarından 24-35 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerde en uygun voltajın deney sonuçlarına göre 28 Volt olduğu tespit edilmiştir.

Ark esnasında gereken akım miktarı ise yine güç kaynağı tarafından otomatik olarak ayarlanmakta ve ark esnasında meydana gelen akımın değeri dijital bir göstergeden okunabilmektedir. Yapılan deneylerde ark akımı 20-410 A arasında değişmiştir. Her deneyde akım sabit kalmamış iki uç nokta arasında değişiklik göstermiştir. Deney sonuçlarında belirtilen akım değerleri bir deney esnasında meydana gelen akım değişikliklerinin alt ve üst limit değerlerine aittir.

Tel elektrot ilerleme hızı çeşitli deneylerde değiştirilerek sonuçları gözlemlenmiştir. İlerleme hızı özellikle elektrot çapı ve uygulanan akımla değişiklik göstermektedir. İlerleme hızının en önemli özelliği ark boyunun değişmesidir. İlerleme hızı azaldığında ark boyu artmakta ve uygulanan akımın değeri yükselmektedir.

Son olarak deneylerden tüm parametrelerin birbirine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

II.SONUÇ

Bu çalışma sonucu ortaya çıkan sonuçları aşağıdaki gibi sayabiliriz.

i) Bu çalışma için bir deney düzeneği tasarlanmış ve deney esnasında toz boyutuna etki eden parametreler deneysel olarak incelenmiştir.

ii) Ortalama toz boyutu 2.5 mm çelik telde 65 µm olarak bulunmuştur.

iii) İşlem parametreleri kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Bu parametreler; ark açısının değiştirilebilmesi, ark boyunun değiştirilebilmesi, tel çapının değiştirilebilmesi, akım şiddeti ve voltajının değiştirilebilmesi, kutuplama yönünün değiştirilebilmesi, gaz basıncının değiştirilebilmesi ve elektrot ilerleme hızının belirli oranlarda değiştirilebilmesidir

iv) Ergitilecek malzemenin belirli çapta ve dairesel olması gerekmektedir. Bu deneyde 2, 2.5 ve 3 mm çapında çelik teller kullanılmıştır. Fakat deney düzeneğinde yapılacak küçük bir işlemle daha büyük çaplardaki tellerin atomizasyonu yapılabilir.

v) Metal malzemenin ergitilmesi için ayrıca bir ergitme fırınına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ergitme için, ergitilecek malzemenin çapına göre gerekli akımı karşılayabilecek herhangi bir doğru akım kaynak makinası yeterlidir.

vi) Basit dizayn

Bu gün ülkemizde toz metalürjisi sanayiinde faaliyet gösteren 10 dan fazla işletme bulunmakta ve bu sayı gün geçtikçe artmaktadır. Bu hızlı gelişmeye rağmen bu işletmeler halen kullandıkları tozun tamamına yakını yurt dışından ithal etmektedir. Bunun en önemli sebebidir metal tozu imalatının ekonomik olmamasıdır. Düzeneğin imali ve çalışması oldukça pratik ve ekonomiktir. Bu yüzden deney düzeneğinin ilgililere faydalı olacağı düşünülmektedir.

vii) Ekonomiklik; sistemin tüm maliyeti yaklaşık 1500 \$ civarındadır. Bu yüzden diğer atomizasyon ünitelerine göre oldukça ekonomiktir.

KAYNAKLAR

Kitaplar

ERSÜMER, Aram., *Toz Metalürjisi Sert Metal Sinterleme*, İTÜ Matbaası, İstanbul 1970,

ÇİĞDEM, Mustafa., *İmal Usulleri*, Çağlayan Kitabevi ,1996, İstanbul

GÜLTEKİN, Nurullah., *Kaynak Tekniği*,YTÜ Yayınları, sayı 184, İst-1985

UYGUR, Mustafa Eti., *Metal Tozlarının İmali*, O.D.T.Ü. c.2 s.5, Ankara 1979,

ANIK, Selahattin, *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Ergor Matbaası, İstanbul 1983

KEARNS, W., H., *Welding Handbook*, (Kaynak El Kitabı), American Welding Society, Miami, Florida,USA, 1970

PHILIPS, A., L., *Welding Handbook*, (Kaynak El Kitabı), American Welding Society, Miami, Florida,USA, 1970

Çok Yazarlı Kitaplar

GERMAN, R. M., *Powder Metallurgy Science (Toz Metalürjisi Bilimi)*, Metal Powder Industries Federation. New Jersey 1989

YARNTON, D., ve ARGYLE, M., *Powder Metallurgy (Toz Metalürjisi)*, Cassel & Co. Ltd. N.York- 1962

TÜLBENTÇİ, Kutsal, ve ANIK, Selahattin, *Örtülü elektrot ile ark kaynağı*,
Gedik holding, İst-1991

Kurum Yazarlı Kitaplar

TSE., *Metalik Demir Tozu*, TS 8840, şubat-1991

Ayrı Bölüm Yazarlı (Makale, Seminer, Bildiri, Tebliğ)

GÜLSOY, H., Ö., ve SALMAN, A., “Fe-Cu Kompaktlarına Katılan Farklı Miktarlardaki Grafit İlavelerin Sabit Sinter Sıcaklığı ve Sabit Sürelerde Mekanik Özelliklere Etkisi” I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı” Bildiri Kitabı, Ankara 1996

SARITAŞ, Süleyman, “Türk Toz Metalürjisi Derneği Haber Bülteni” sayı 12, Ankara, Ekim 1999

——— “II.Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı Bildiri Kitabı”, Açılış konuşması, ODTÜ, Ankara, 1999

MATEI, D., “Studies on the Metal and Alloys Atomization Methods” 1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı- Bildiri Kitabı Ankara 1996

UYGUR, Mustafa, Eti, “Toz Metalürjisi: Ekonomik bir Üretim Tekniği” I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı Bildiri Kitabı, Ankara 1996

TURAN, H., ve Süleyman. SARITAŞ, “6. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi”, Ankara- 1994

ASLANOĞLU, Z., H. KARA, ve M. L. ÖVEÇOĞLU, “Öğütme ortamlarının Fe-C ikili sistemini Mekanik Alaşımlama Süreçlerine Etkisinin İncelenmesi”I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı” Bildiri Kitabı, Ankara 1996

Tezler

YILMAZ, Necip, Fazıl, “Production of Metal Powders by Gaz Atomization”, Y. Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bil. Ens. Gaziantep 1996

SORAHİ, Mahmoud, “Toz Metalürjisi” Yük. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Ens. İstanbul 1992

ALKIN, İzzet, “Elektrik Ark Kaynağı ve Toz Püskürtme Yöntemleri ile Zırhlanan Parçaların, Abrezif Davranışlarının İncelenmesi” Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens. İst. 1995