

PÜSKÜRTME ŞEKİLLENDİRME
DEĞİŞKENLERİNİN Al-Si ALAŞIM
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman TEMEL

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım – 2008

PÜSKÜRTME ŞEKİLLENDİRME DEĞİŞKENLERİNİN Al-Si ALAŞIM ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman TEMEL

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Rahmi ÜNAL

Kasım – 2008

KABUL ve ONAY SAYFASI

Osman TEMEL'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak PÜSKÜRTME ŞEKİLLENDİRME DEĞİŞKENLERİNİN Al-Si ALAŞIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.././2008

Üye : Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM

Üye : Doç. Dr. Rahmi ÜNAL (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Remzi GÖREN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .././../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

PÜSKÜRTME ŞEKİLLENDİRME DEĞİŞKENLERİNİN Al-Si ALAŞIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman TEMEL

Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Rahmi ÜNAL

ÖZET

Püskürtme şekillendirme yöntemi gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen yarı katı metal tozlarının bir altlık üzerinde biriktirilmesiyle kütle oluşturulması işlemidir. Bu çalışmada Dumlupınar Üniversitesi Gaz Atomizasyonu ünitesi kullanılarak püskürtme şekillendirme deneyleri yapılmıştır. 450 mm mesafede bulunan altlık üzerinde biriktirilen toz kütleleri incelenerek püskürtme şekillendirme işleminin Al-Si alaşımı özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, gaz atomizasyonu ve püskürtme şekillendirme değişkenlerinin mikroyapıya etkileri ve kırılma yüzeyleri, optik mikroskop, elektron mikroskobu ve EDS analizi, XRD, DTA/TG analizleri, mikrosertlikleri, görünür yoğunlukları, çalışmaları yapılarak incelenmiştir. Oluşturulan kütlelerde Si tanelerinin Al matris içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: EDS Analizi, Gaz atomizasyonu, Mikroyapı, Püskürtme şekillendirme, Toz metalurjisi.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SPRAY FORMING PARAMETERS ON THE Al-Si ALLOY PROPERTIES

Osman TEMEL

Mechanical Engineering, Master of Science Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Associate Prof. Rahmi ÜNAL

SUMMARY

In spray forming, an alloy is gas atomized and semi-solid sprayed droplets are deposited onto a substrate. In this study, spray forming experiments were carried out by using Dumlupınar Gas Atomisation unit. Deposited Al-Si alloys were investigated to determine the effect of spray parameters on the Al-Si alloys. Furthermore, the effect of deposition and gas atomization parameters on the microstructure of Al-Si alloys and over sprayed powders were investigated by SEM, EDS, XRD, DTA.

It is observed that Si particulates homogeneously distributed in the Aluminium matrix.

Key Words: EDS Analyzing, Gas Atomization, Microstructure, Powder Metallurgy, Spray forming.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında değerli katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Rahmi ÜNAL'a, tez dönemi sırasında maddi desteğinden dolayı TÜBİTAK'a, deneysel çalışmalar sırasındaki değerli katkılarından dolayı laboratuarlarda görevli teknisyenlerimize ve asistanlarımıza, çalışmalarım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen tüm aile fertlerime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. TOZ METALURJİSİ	2
2.1. Metal Tozu Üretim Teknikleri	3
2.1.1. Öğütme	4
2.1.2. Elektroliz	5
2.1.3. Kimyasal yöntemler	6
2.1.4. Atomizasyon.....	7
2.1.4.1. Su atomizasyonu.....	8
2.1.4.2. Gaz atomizasyonu.....	9
2.2. Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	10
2.3. Toz metalurjisi uygulama alanları.....	10
3. GAZ ATOMİZASYONU	11
3.1. Gaz Atomizasyonu Üretim Değişkenleri	11
3.2. Atomizasyon Mekanizması.....	13
4. PÜSKÜRTME ŞEKİLLENDİRME.....	14
4.1. Püskürtme Şekillendirme Yöntemi	14
4.2. Püskürtme Şekillendirme Değişkenleri.....	17
4.3. Endüstriyel Uygulamaları	17
4.4. Püskürtme Şekillendirme Araştırmaları.....	19
5. DENEYSEL YÖNTEM	22
5.1. Gaz Atomizasyonu Ünitesi	22
5.1.1. Gaz sistemi	22
5.1.2. Metal ergitme	23
5.1.3. Atomizasyon kulesi	23
5.1.4. Toz tutma ve sistem temizliği	24
5.2. Atomizasyon Gaz Debisinin Ölçümü.....	24
5.3. Metal Akış Debisinin Ölçümü	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.4. Püskürtme Şekillendirme Altık Sistemi	25
5.5. Toz Boyut Analizi	26
5.6. Tozların Şekil ve Morfolojilerinin İncelenmesi	27
5.7. Tozların Mikro Sertlik Ölçümü ve Mikroyapısı	28
5.8. Tozların Görünür Yoğunluğu	28
5.9. Tozların XRD, DTA ve TG Analizi	29
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ	30
6.1. Toz Üretim Şartlarının Değerlendirilmesi	30
6.2. Toz Boyutu ve Morfolojisi	33
6.3. Tozların Mikro Sertlikleri	39
6.4. Tozların Mikroyapısı	39
6.5. Tozların XRD Grafiği	43
6.6. Tozların DTA ve TG Analiz Değerleri	44
6.7. Kütle Mikroyapıları	47
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
7.1. Sonuçlar	53
7.2. Öneriler	53
KAYNAKLAR	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Toz metal parçaların üretim aşamaları.....	2
2.2. Şematik olarak toz şekilleri.....	4
2.3. Mekanik öğütme ile toz üretiminin şematik gösterimi.....	5
2.4. Elektroliz yöntemi ile toz üretimi.....	6
2.5. Kimyasal yöntem ile demir tozu üretimi.....	7
2.6. Su atomizasyon yöntemi.....	8
2.7. Gaz atomizasyon yöntemi.....	9
3.1. Düşey gaz atomizasyonu ünitesinin şematik olarak gösterilişi.....	11
3.2. Sıvı metal tabakasının bölünme mekanizması.....	13
4.1. Püskürtme Şekillendirme yönteminin şematik gösterimi.....	15
4.2. a) PŞ yöntemi ile kütle üretimi b) PŞ ile çok nozullu üretim.....	16
4.3. PŞ ile boru üretimi.....	18
4.4. PŞ ile üretilen parçalar.....	18
4.5. Püskürtme şekillendirme alaşımların mikro yapısı a) Al-6.5Si b) Al-18Si.....	20
5.1. Dumlupınar Üniversitesi gaz atomizasyonu ünitesi.....	22
5.2. Ergitme odası ve ergitme fırının görünüşü.....	23
5.3. Toz tutma kaplarının görünüşü.....	24
5.4. Kütleli debi ölçüm cihazı.....	25
5.5. Püskürtme şekillendirme altlığı.....	26
5.6. Lazer ışını prensibinin şematik olarak gösterimi.....	27
5.7. TÜBİTAK MAM SEM laboratuvarı.....	27
5.8. VICKERS mikrosertlik ölçüm cihazı.....	28
5.9. Arnold metre görünür yoğunluk ölçüm düzeneği.....	29
5.10. TG/DTA cihazı.....	29
6.1. 3. deneyde PŞ ile oluşturulan kütleli görünümü.....	31
6.2. 4. deneyde PŞ ile oluşturulan kütleli görünümü.....	31
6.3. 5. deneyde PŞ ile oluşturulan kütleli görünümü.....	32
6.4. 7. deneyde PŞ ile oluşturulan kütleli görünümü.....	32
6.5. 8. deneyde PŞ ile oluşturulan kütleli görünümü.....	33
6.6. 3 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü:.....	34
6.7. 4 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü:.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.8 5 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü.....	36
6.9 7 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü:	37
6.10 8 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü.....	38
6.11 3. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.....	40
6.12 3. deneyde elde edilmiş tozun mikroyapısında dağılmış olan Al ve Si elementlerinin mapping yoluyla tespiti.....	40
6.13 4.deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.....	41
6.14 5. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.....	41
6.15 7. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.....	42
6.16 8. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.....	42
6.17 Tozların XRD grafiği.....	43
6.18 3. deneyin DTA/TG analizi.....	44
6.19 4. deneyin DTA/TG analizi.....	44
6.20 5. deneyin DTA/TG analizi.....	45
6.21 7. deneyin DTA/TG analizi.....	45
6.22 8. deneyin DTA/TG analizi.....	46
6.23 Al-Si faz diyagramı.....	47
6.24 3.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:.....	48
6.25 4.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:.....	49
6.26 3.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:.....	50
6.27 7.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:.....	51
6.28 8.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Püskürtme şekillendirme ile oluşturulan kütlelerin kimyasal bileşimi.	30
6.2. Deneylein yapıma şartları ve sonuçları.....	30
6.3. Ortalama Toz boyut değeri.	33
6.4. Toz ve kütlelerin ortalama mikrosertlik değeri.....	39
6.5. Tozların görünür yoğunlukları.	39

1. GİRİŞ

Metalik toz veya bu tozların şekillendirilip sinterlenmesi ile metalik parça üretimi olarak tanımlanan Toz Metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Toz metalurjisi, tozların imalatı, karakterize edilmesi ve kullanışlı parçalara dönüştürülmesi işlemlerini kapsar. Toz metalurjisi, farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını, sağlam hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. İstenen mikroyapıda, fiziksel ve mekanik özelliklerde alaşım ve kompozit malzeme üretmek mümkündür.

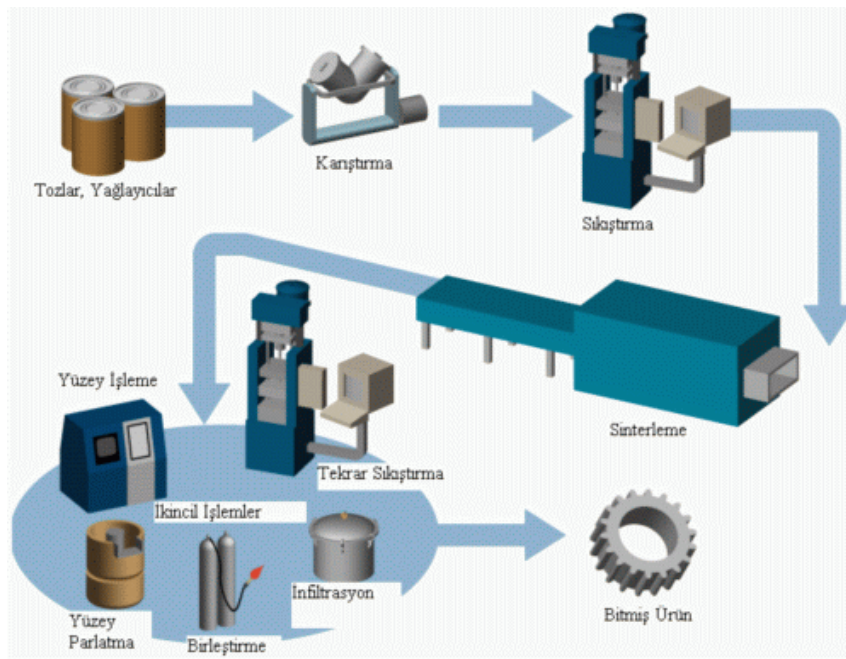
Toz metalurjisi yönteminin hammaddesi olan tozun üretimi oldukça önemli bir aşamadır. Birçok toz üretim tekniği arasından ticari olarak; mekanik yöntemler, kimyasal yöntemler, elektroliz yöntemi ve atomizasyon yöntemi kullanılır. Atomizasyon ile üretilmiş tozlar, diğer üretim yöntemleri ile elde edilemeyecek özelliklere ve avantajlara sahiptir. Atomizasyon sıvı metal demetinin basınçlı akışkanlar ile veya mekanik olarak çok küçük damlacıklara ayrılması olarak tanımlanır Metal tozu üretiminde en yaygın kullanılan yöntem su ve gaz atomizasyonu yöntemleridir.

Gaz atomizasyonun bir ileri uygulaması olan püskürtme şekillendirmede, ergimiş alaşımın gaz atomizasyonu ile püskürtülmesi ve damlacıkların bir altlık üzerinde biriktirilmesi aşamalarından meydana gelir. Ürün püskürtüldüğü haliyle veya geleneksel işleme operasyonlarından sonra kullanılabilir. Bu yöntemle, geleneksel olarak yapılamayan alaşımların ve parçaların üretimi mümkündür. Üretilen malzemeler çok küçük tane boyutlu, tam yoğunluğa yakın, üstün mekanik özellikli ve hemen hemen sıfır segregasyonludur [1-1].

Bu çalışmada hazırlanan beş farklı Al-Si alaşımı püskürtme şekillendirme ile altlık üzerinde biriktirilmiştir. Biriktirme işlemi ile elde edilen kütleler ve kütleyle yapışmayan tozların analizleri yapılmıştır.

2. TOZ METALURJİSİ

Toz Metalurjisi üretim yöntemi metal tozlarının üretimi ve üretilen bu tozların imalatı istenilen parçaların seklüne dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur (Şekil 2.1) [?-2].



Şekil 2.1 Toz metal parçaların üretim aşamaları [?-2].

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Genelde küçük parçaların çok sayıda, yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. Toz metalurjisi farklı boyut, şekil ve paketleme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. Toz metalurjisi nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimli kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile toz metalurjisi verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, toz metalurjisi konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır [!-1].

Toz Metalurjisi modern bir imalat yöntemidir ve ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine çok uygundur. Parçaların özellikleri oldukça dar toleranslarda kontrol edilebilir. Metal veya alaşım tozları, çeşitli toz metalurjisi teknikleri ile biçimlendirilirler ve böylece toz metalurjisi ile bir parça üretilmiş olur [1-3]. Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller, toz metalurjisi ile kolaylıkla şekillendirilebilirler. Döküm gibi alışlagelmiş üretim tekniklerinde yaşanan oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu ve yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım oluşturmama gibi birçok problem toz metalurjisi yöntemi ile kolaylıkla ortadan kaldırılabılır [1-1].

2.1 Metal Tozu Üretim Teknikleri

Toz üretim yöntemi üretilen tozun boyutu, şekli, saflığı, mikro yapısı, maliyeti ve diğer özelliklerini belirler. Hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen yöntemler malzeme özelliklerine bağlıdır. Toz üretiminde kullanılan ana yöntemler, mekanik öğütme, kimyasal tepkime, elektrolitik biriktirme, sıvı atomizasyonu ve buharı yoğunlaştırma [2-4].

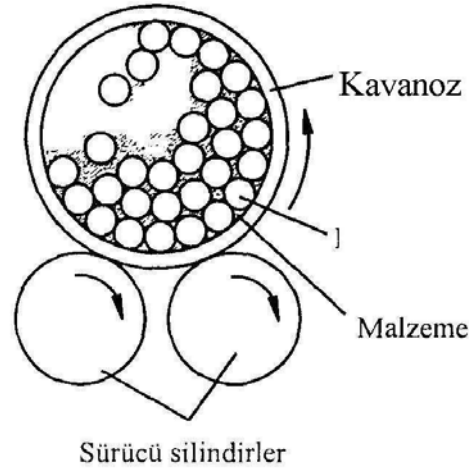
Bu üretim yöntemlerine ilave olarak, bazı seçilmiş malzemeler için özel toz üretim teknikleri de kullanılır. Endüstride kullanılan tozların %60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir [1-3]. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, dendritik formlara kadar çok farklı olabilmektedir (Şekil 2.2). Aynı şekilde tozun yüzey durumu da yani düzgün veya gözenekli olması da yine üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir [1-3].



Şekil 2.2 Şematik olarak toz şekilleri [2-4].

2.1.1 Öğütme

Öğütme, sert bilyeler, çubuklar veya çekiçler kullanılarak yapılan mekanik darbe işlemini kapsar ve gevrek malzemelerden toz üretmede kullanılan klasik bir yöntemdir. En basit cihaz Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, içerisine bilyeler ve öğütülecek malzeme doldurulan kavanoz öğütücü değildir. İri parçacıkları kırmak için daha az darbe verilmesi gerekir. Öğütme sırasında boyut küçüldükçe gerekli olan gerilme değeri artar.



Şekil 2.3 Mekanik öğütme ile toz üretiminin şematik gösterimi [2-4].

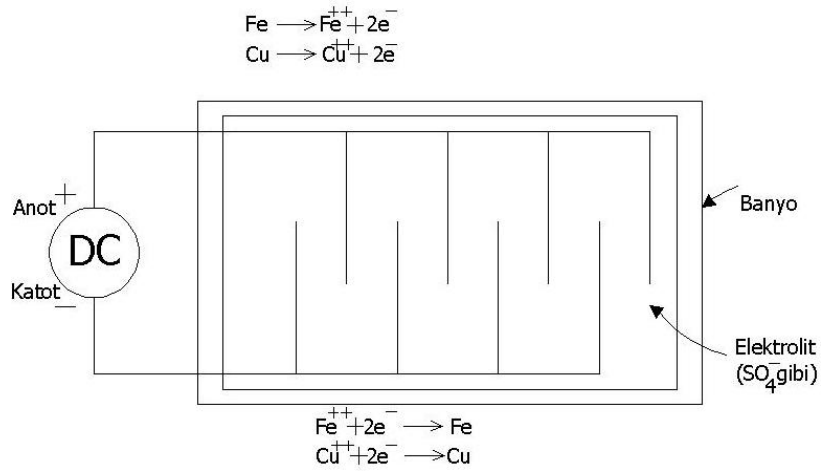
Bilyeli öğütme veya kavanoz içince öğütmede kavanozun dönme hızı en fazla darbe hızını sağlayacak şekilde ayarlanır. Bu hız bilyeleri kavanozun en üst noktasına taşıyarak öğütülen malzemelerin üzerine düşecek şekilde olmalıdır. Çok yavaş dönme hızında bilyeler kavanozun çeperinden geri yuvalanır, çok hızlı dönme hızında ise, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle bilyeler aşağıya düşmeden kavanoz ile birlikte döner. En uygun dönme hızı değirmen çapının karekökünün tersine göre değişir. En uygun öğütülme için;

- Bilye çapı toz çapının yaklaşık 30 katı olmalıdır.
- Bilyeler kavanoz hacminin yaklaşık yarısını doldurmalıdır.
- Öğütülecek malzeme kavanoz hacminin yaklaşık %25'ini doldurmalıdır.

Öğütme ile elde edilen tozlar sert, düzensiz şekilli ve zayıf akma ve paketlenme özelliğine sahip olduklarından öğütme sonrası tavlama işlemi gerekebilir. Öğütme, tavlama sonrası toz topraklarının dağıtılması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [2-4].

2.1.2 Elektroliz

Elektroliz yönteminde sıcaklık, bileşim, çözeltinin tazeliği, akım yoğunluğu gibi şartların uygunluğu sağlandığında metaller süngerimsi veya toz yapısında katotta biriktirilebilir. Daha sonra elde edilen metal yıkanır, kurutulur, redüklenir, tavllanır ve belki de öğütmek gerekebilir. Bakır bu yöntemle en çok üretilen metaldir, krom ve mangan tozları da elektroliz ile üretilen diğer tozlardır.



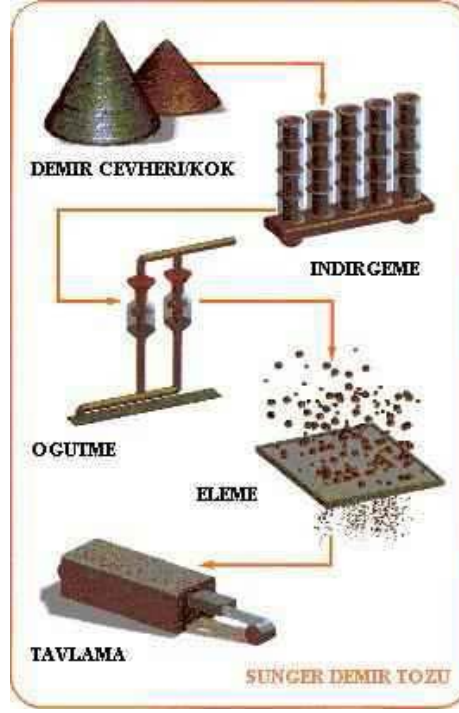
Şekil 2.4 Elektroliz yöntemi ile toz üretimi [2-4].

Elektroliz yönteminin ana üstünlüğü yüksek ürün saflığıdır. Elektroliz tekniği ile üretilen tozlar genellikle dendritik veya süngerimsi şekillidir ve düşük paketlenme özelliği gösterirler. Ancak, parçacık boyutu ve şekli önemli ölçüde kontrol edilebilir. Yüksek akım yoğunluğu, düşük iyon derişimi, asidik hücre kimyasalları ve koloidal katkılar, katotta gözenekli ve tozumsu birikinti oluşumunu kolaylaştırır. Normalde elektrolizle üretim sadece saf metal tozlarının üretilmesinde kullanılmakta ve alaşım veya bileşiklere uygulanmamaktadır [2-4].

2.1.3 Kimyasal yöntemler

Kimyasal yöntemlerle malzemelerin çoğu toz şeklinde üretilmektedir. Parçacık boyutu ve şekli tepkime değişkenlerinin kontrolü ile ayarlanmaktadır. Kimyasal sentezlenmenin birçok farklı yöntemi vardır. Tozlar; katı, sıvı veya buhar fazı reaksiyonlarıyla oluşturulmaktadır [2-4].

Toz üretiminde ana kimyasal işlemleri metal oksit, karbonatlar, nitratlar veya halojenli (VII Grup element, F, Cl, Br, I) bileşiklerin bir gaz (genellikle H₂) veya katı karbon veya yüksek oranda reaktif metal yardımıyla indirgemesi oluşturur. Çoğu kez indirgenecek bileşik katı haldedir [18-5]. Demir tozlarının üretiminde bu metot çok kullanılmaktadır. Bu yöntemde seçilen cevher öğütülür, kokla karıştırılır, karışım indirgemenin olduğu sürekli fırından geçirilir ve kek şeklinde sünger demir elde edilir (Şekil 2.5). Sünger demir daha sonra öğütülür, metalik olmayan malzemelerden ayrılır ve elenir. Tozların saflığı ham malzemelere bağlıdır. Düzensiz süngerimsi tanecikler yumuşaktır ve kolayca preslenebilir ve böylece ham mukavemeti iyi olan ürünler oluşur [3-6].



Şekil 2.5 Kimyasal yöntem ile demir tozu üretimi

2.1.4 Atomizasyon

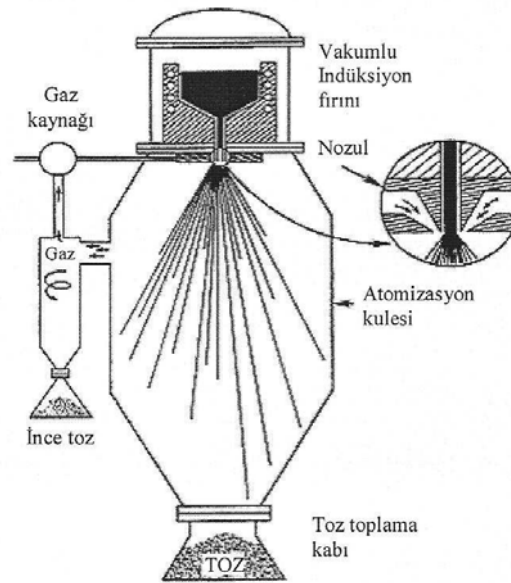
Ergimiş metal demetinin hızlı gaz (genellikle hava, argon, azot) ve sıvı (genellikle su) jetleri veya merkezkaç kuvveti tarafından damlacıklara parçalanmasıdır. Damlacıklar soğuyarak parçacıklar halinde katılaştır [2-4]. Diğer toz üretim teknikleri arasında atomizasyon yöntemleri, metal ve alaşım tozlarının üretiminde en çok tercih edilen yöntemdir. Atomize tozlar diğer üretim yöntemleri ile elde edilemeyecek özelliklere ve avantajlara sahiptir [18-5]. Bu işlemden ergiyik formdaki metal birbirleri ile veya katı yüzeylerle temas etmeden çok küçük damlacıklara parçalanır ve soğutulurlar. Temel prensip, ergiyik haldeki metal çok ince şerit halinde akıtılır ve bu esnada bir su veya gaz jeti ile çok küçük parçacıklara ayrılarak soğutulur. Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardandır ve su (veya gazyağı-parafin) ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Atomizasyon, metal tozu üretiminde kullanılan en yaygın toz üretim yöntemidir. Bu üretim tekniği üç ana bölüme ayrılır: 1) Ergitme, 2) Atomizasyon, 3) Katılaşma ve soğuma.

Yöntem çoğunlukla metaller, alaşımlar ve intermetalik için kullanılmakla birlikte son zamanlarda polimer ve seramiklere de uygulanmaktadır. Yöntem, iyi işlem kontrolü ile farklı malzemelere uygulanabilirliğinden dolayı caziptir. Atomizasyon tekniğinde kullanılan

2.1.4.2 Gaz atomizasyonu

Basınçlı gaz ile atomizasyon da prensip olarak su atomizasyonu yöntemine benzer, ancak burada akışkan olarak su yerine gaz kullanılır. Gaz yerine, su buharı veya hava da kullanılabilir. Gaz atomizasyonu Şekil 2.7'deki gibi şematik olarak gösterilebilir. Sistemin birbirine püskürtme nozulu ile irtibatlı düşey olarak üst üste bulunan iki odası vardır. Üstteki odada sıvı metal potası bulunmakta, alttaki odada ise atomizasyon işlemi yapılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta ergiyen metaller için tozların oksitlemesi önlemek amacıyla, asal gaz doldurulmuş kapalı bir oda kullanılır.

Ergiyik endüksiyon ocağı ile sıvılaştırma eğrisinin çok üzerinde bir sıcaklığa (aşırı ısıtma) ısıtılarak soğuk nozula gönderilir. Basınçlı gaz tüpünden boru ile nozula ulaşan gaz potadaki sıvı metali beraberinde sürükleyerek atomizasyon odasına pülverize ederek dağıtır. Soğuyan metal tozu bu odanın tabanındaki bir toz toplama kabı içinde toplanır. Pülverize edilen metal tozlarının birbirine yapışmaması şekillerinin bozulmaması için atomizasyon odasının boyutları dikkatli seçilmelidir [2-4]. Atomizasyon sırasında geri basınç olmaması için gazın tahliyesi önemlidir. Bu yüzden siklon ayırıcı kullanmak gereklidir. Siklon gazın geçişine ve geri dönüşümüne müsaade ederken ince tozları tutar.



Şekil 2.7 Gaz atomizasyonu yöntemi [18-5].

2.2 Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları

T/M yönteminin ekonomik olması önemli avantajlarından. T/M yönteminin diğer bir önemli avantajı, birbiriyle uyuşmayan veya karışmayan malzemeleri toz halinde birleştirebilmektir. Toz metalurjisi yönteminin önemli avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [9-7]; Talaşlı işlemler azaltılmış veya tamamen ortadan kaldırılmıştır, yüksek üretim hızlarına sahiptirler, karmaşık şekilli parçaların üretimi mümkündür, geniş bir çeşitlilikte alaşım sistemleri gerçekleştirilebilmektedir, malzeme kullanım oranları %98'i geçmektedir.

Toz metalurjisi yönteminin dezavantajları da mevcuttur [18-5]; T/M parçaları düşük mekanik özelliklere sahiptir, metal tozlarının ve kullanılan takımların maliyeti oldukça yüksektir, parça tasarımları sınırlıdır ve parça kesiti boyunca özellikler değişim göstermektedir.

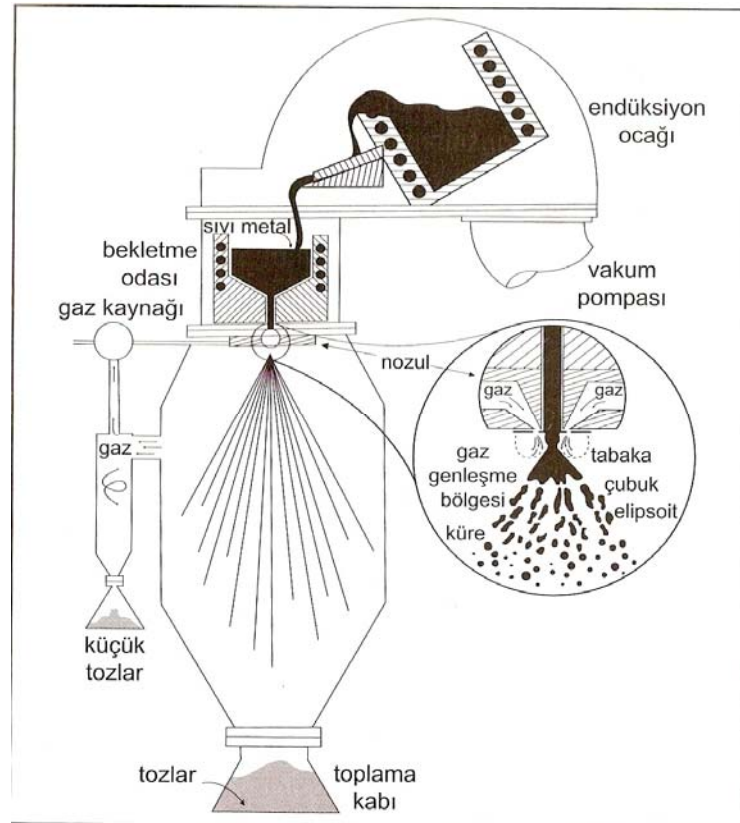
2.3 Toz metalurjisi uygulama alanları

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzemeler, büyük çoğunluğu otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknik, büyük ölçekli olarak pek çok alaşıma uygulanmaktadır. Bunlar arasında; çelikler, paslanmaz çelikler, takım çelikleri, kobalt alaşımları, alüminyum alaşımları, nikel alaşımları, değerli metaller (altın, gümüş), sert lehim gibi düşük ergime sıcaklıklarına sahip pek çok alaşım sayılabilir [17-8].

3. GAZ ATOMİZASYONU

3.1 Gaz Atomizasyonu Üretim Değişkenleri

Gaz atomize tozlar küresel şekle sahiptir ve atomizasyon esnasında koruyucu atmosfer gazı kullanıldığı için yüzeylerindeki oksit miktarı daha düşüktür. Gaz atomizasyonunda sıvı metal demetini parçalamak için hava, azot, argon, karbondioksit ve helyum gibi gazlar kullanılabilir. Gaz atomizasyonu ergitilmiş metal veya alaşımın bir gaz jeti ile damlacık haline parçalanması ve daha sonra katılaşması ile metal tozu üretmek demektir. Yüksek sıcaklıklarda ergiyen metaller için, tozların oksitlenmesini önlemek amacıyla, asal gaz doldurulmuş kapalı bir oda kullanılır. Şekil 3.1’de düşey gaz atomizasyon ünitesi gösterilmektedir [2-4].



Şekil 3.1 Düşey gaz atomizasyonu ünitesinin şematik olarak gösterilişi [2-4].

Atomizasyon kulesinin boyutu en büyük damlacıkların kule duvarlarına çarpmadan önce katılaşmasına fırsat vermelidir. Gaz atomizasyonu tamamen asal gaz ortamında gerçekleştirilebilir ve böylece yüksek saflıkta alaşım tozu üretilebilir. Parçacık şekli küreseldir ve genellikle geniş boyut dağılımlıdır. Fakat çoğunlukla 10 μm üzeri boyutlarla sınırlıdır. Gaz atomizasyonunda toz karakteristiklerini belirleyen çok sayıda üretim parametresi mevcuttur.

Bunlar; gazın cinsi, basıncı, debisi ve hızı, nozul geometrisi, ergiyik metalin sıcaklığı ve debisidir. Bu üretim değişkenleri görünür yoğunluk, akıcılık, ham mukavemet, sıkıştırılabilirlik, sinterleme, tokluk gibi mühendislik özelliklerine etki eden tozun boyutunu, dağılımını, yüzey morfolojisini, mikroyapısını ve kimyasal kompozisyonunu belirler. Bu değişkenler ayarlanarak istenilen kullanıma göre gerekli özelliklerde tozlar üretilebilir. Gaz atomizasyon yönteminin ana üstünlüğü ürün homojenliği ve üretilen tozun küresel şekilli olmasının sağladığı iyi paketlenme özellikleridir.

Ergiyiğin ağırlığı, aşırı ısıtma sıcaklığı ve ivme kuvvetleri boyutun küçültülmesini sınırlamaktadır. Ergiyiğin sıvılaşma sıcaklığının üzerine aşırı ısıtılması viskoziteyi azaltır ve atomizasyon sonrası katılaşma süresini uzatır. Daha uzun katılaşma süresi parçacıkların küreselleşmesine yardımcı olur. Ek olarak, nozulun yakınındaki gazın türbülans hareketinden dolayı küçük parçacıklar tekrar gaz genişleme bölgesine girer. Katılaşmış olan bu parçacıklar henüz katılaşmamış olan iri tanelerin uçuş yolu içerisine girerek uydulaşmanın meydana gelmesine neden olurlar. Uydulaşmanın önlenmesi paketlenme ve akış özelliğinin iyileşmesi açısından önemlidir. Ergiyik/gaz kütleli debi oranı önemli bir değişkendir ve toz üretimini denetlemede çok kullanışlıdır. İstenilen boyutta toz üretebilmek amacıyla damlacık boyutları lazer parçacık boyut analizi ile takip edilerek kütleli debi kontrol edilebilir. Gaz atomize tozlar iyi paketlenme ve akış özelliğine sahiptir, görünür ve vurgu yoğunlukları %60-65 teorik yoğunluk civarındadır [2-4].

Düzenli bir gaz atomizasyon işlemi için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır [4-9].

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

Atomizasyon değişkenleri sıvı metal sıcaklığı, sıvı metal debisi, metal akış borusunun geometrisi, atomizasyon hızı, nozul tasarımı ve metal akış borusu çıkıntı mesafesi gibi değişkenlerdir. Bu değişkenler genel olarak 3 kısımda toplanabilir [5-10]:

1. Sıvı Metal Değişkenleri (metalın aşırı ısıtılması, kimyasal kompozisyon, özgül ağırlık, yüzey gerilmesi, viskozite, koruyucu atmosfer).
2. Nozul Değişkenleri (jet geometrisi, nozul açısı, jet tipi ve adedi, metal akış borusu çıkıntı mesafesi).

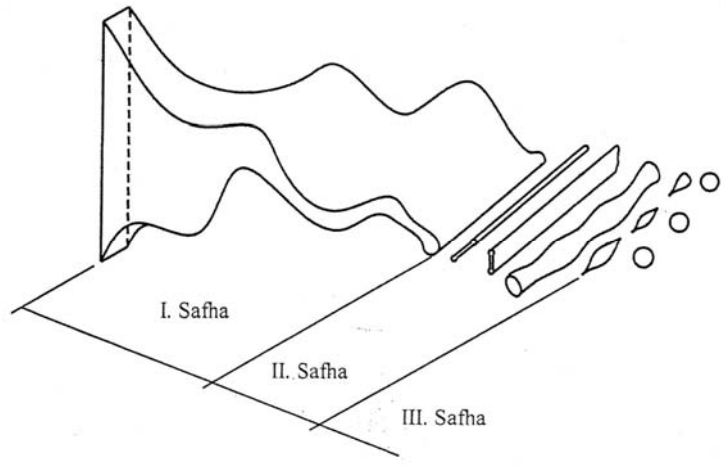
3. Atomizasyon Gazının Değişkenleri (basınç, yoğunluk, hız, debi, akış hızı, Gaz/Sıvı Metal Kütleli Debi Oranı).

Başarılı bir atomizasyon işlemi aşağıdaki değişkenler tarafından karakterize edilebilir [15-11]: Toz tane şekli, ortalama toz boyutu, toz boyut dağılımı, görünür yoğunluk, toz akış hızı, kimyasal bileşim, sıkıştırılabilirlik kapasitesi, ekonomiklik.

3.2 Atomizasyon Mekanizması

Bir nozuldan atmosfere aniden çıkan sıvı metal demeti, sıvı metalin, onu çevreleyen gazın fiziksel özelliklerine, atomizasyon ortamının hız ve basıncına ve nozul tasarımına bağlı olarak, silindirik kolon, yassı tabaka veya konik bir yüzey şeklini alabilir. Bu damlacık şekillenme mekanizmaları şu üç aşamayı içerir [2-2]:

Hızla artan genlikteki sinüs dalgasının başlaması, dalganın büyümesiyle çubuk oluşması, çubuğun bölünmesiyle küresel damlacıkların oluşmasıdır. Şekil 3.2'de sıvı metal tabakadan damlacık oluşumu görülmektedir.



Şekil 3.2 Sıvı metal tabakasının bölünme mekanizması [2-2].

Atomizasyon mekanizmaları literatürde geniş bir şekilde açıklanmaktadır. Bunların hepsinde ortak nokta, atomizasyon işleminin birkaç safhada meydana geldiği ve birinci safhada sıvı metalin tabaka ve/veya çubuksu yapıya, daha sonra bunu ikinci bölünmenin (2. safha) takip ettiğidir. En son safha (3. safha) damlacıkların katılaşması olarak açıklanır. Tozların soğuma ve katılaşması atomizasyon kulesi içinde havada uçarken meydana gelir. Sıvı metal damlacıklarının katılaşma hızı önemlidir; çünkü, bu hız tozların şeklini belirler [10-12].

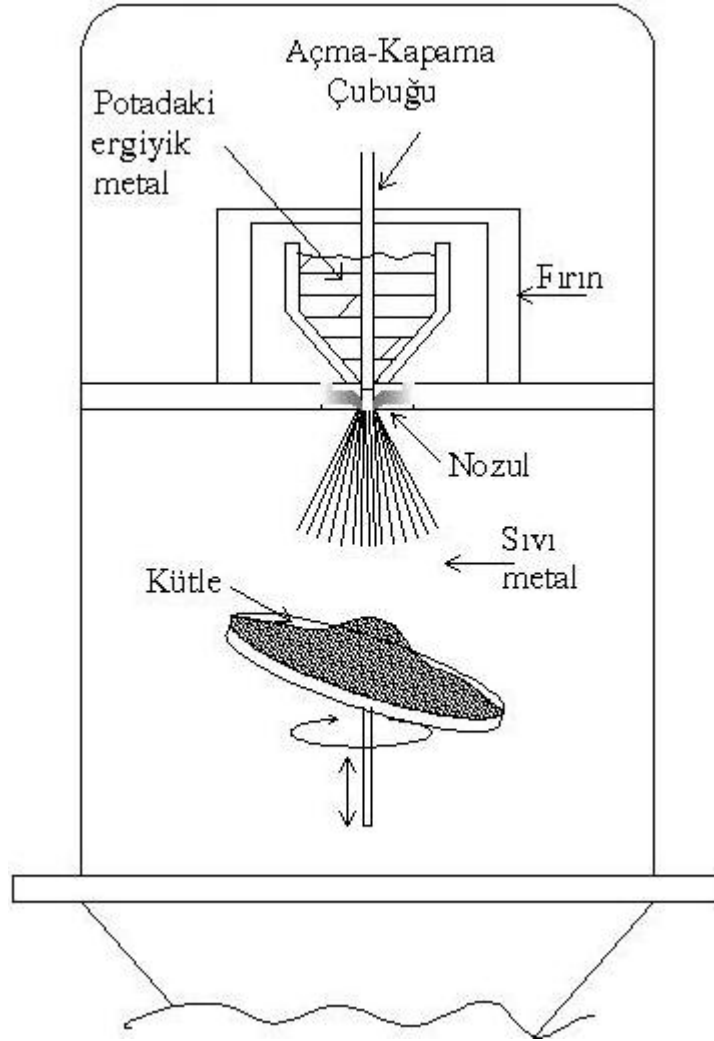
4. PÜSKÜRTME ŞEKİLLENDİRME

Püskürtme şekillendirme (PŞ) yöntemi ilk olarak Osprey Ltd. şirketi tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilmiştir. Günümüzde püskürtme şekillendirme yöntemi Dünya ve Avrupa sanayilerinin kullandığı, ileri teknoloji ile malzeme üretme yöntemidir. Bu yöntemle geleneksel olarak yapılamayan alaşımların ve ürünlerin üretimi mümkündür. PŞ ile üretilen birçok ürünün özellikleri T/M işlemi ile üretilen ürünlerle benzerlik gösterir [8-13]. Püskürtme şekillendirme sıcak dövme veya haddeleme işlemi için malzeme ingotları veya basit şekilli bileşenlerin üretimi için kullanılan üretim teknolojisidir [10-12].

4.1 Püskürtme Şekillendirme Yöntemi

Püskürtme şekillendirme yöntemi gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen metal tozlarının bir altlık üzerinde biriktirilmesi ile kütle oluşturulması işlemidir. Gaz jeti tarafından damlacık halinde parçalanmış olan sıvı metal henüz katılaşmadan önüne yerleştirilmiş olan altlıkta birikmeye başlar (Şekil 4.1). Damlacık altlığa çarpar iken yarı katı yarı sıvı durumdadır. Çarpışma ile yayılarak geniş bir alanı kaplar. Takip eden çarpışmalarla altlık üzerinde metal birikmesi meydana gelir. Altlığın döndürülmesi veya hareket ettirilmesi ile değişik geometrilere birikme elde edilebilir. Birikmiş metal kütlesi bu hali ile kullanılabilirdiği gibi çeşitli plastik deformasyon teknikleri ile ilave olarak işlenerek de kullanılabilir [13-14].

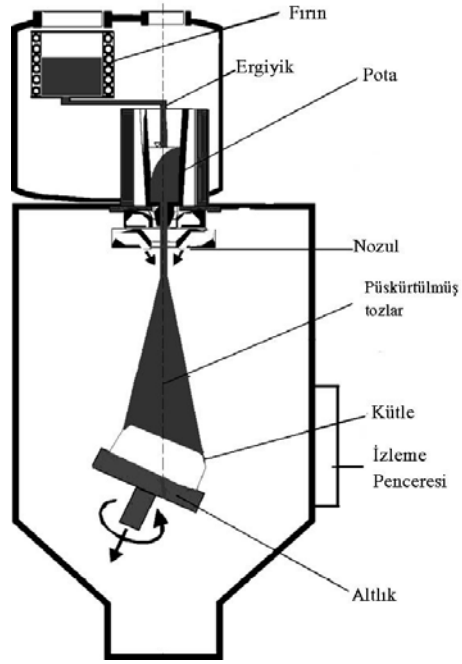
Püskürtme şekillendirme ünitesi, aslında bir gaz atomizasyonu yöntemi ile metal tozu üretimi ünitesinden oluşmaktadır. Bütün püskürtme şekillendirme uygulamalarının prensibi, sıvı metal veya alaşımlarının bir gaz yardımıyla atomize edilmesine dayanır. Atomize olmuş sıvı metal damlacıkları soğutucu bir yüzey üzerine yönelirler ve bu yüzeye çarparlar [18-5-20-21]. Çarpmanın etkisiyle yassılaşırlar ve küçük diskler şeklinde üst üste gelerek katılaşır. Damlacık boyutları ve hızı değişmekle beraber, tipik olarak ortalama damlacık boyutu 150 µm ve ortalama damlacık hızı 15 m/s'dir. Damlacıkların hızlı bir şekilde katılaşması için biriktirme işleminin yapıldığı diskin yüzey sıcaklığı, biriktirilen metal veya alaşımın katılaşma sıcaklığından düşük olmalıdır.



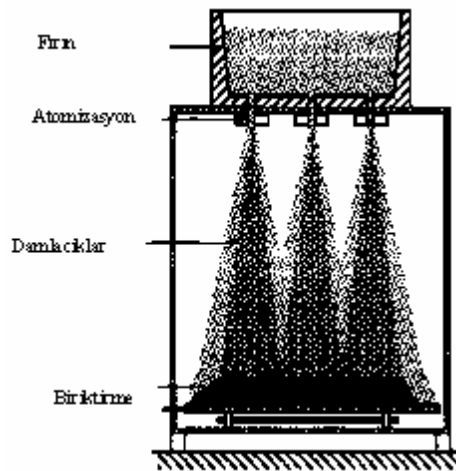
Şekil 4.1 Püskürtme Şekillendirme yönteminin şematik gösterimi.

Biriktirme yapılan diskin yüzeyi ince bir oksit veya seramik filmiyle kaplanabilir. Bu sırada yüze çarpan damlacıkların yüzeye tutunması için diskin yeterli pürüzlülükte olması gerekir. Diğer taraftan yüzey pürüzlülüğü, biriktirilen metalin ve diskin kalıcı birleşme ile mekanik bir kilitleme oluşturacak kadar fazla olmamalıdır. İri ve homojen bir kütle elde edilmiş ise, disk üzerinden alınıp sıcak veya soğuk dövme yapılarak püskürtme şekillendirme ürünü olarak imal edilebilir. Eğer damlacık demeti, yollarına yerleştirilmiş dönmekte olan bir milin yüzeyine çarparsa onu kaplamaya başlar. Mil aynı zamanda döndüğünden, katılaştan damlacıklarla elde edilen kaplama çevresel olarak eşit kalınlıkta oluşur. Böylece çeşitli kalınlıklarda borular üretmek mümkündür.

Mil yatay olarak yerleştirilebileceği gibi, dikey veya açılı olarak yerleştirilip yavaş yavaş aşağı doğru çekilebilir. Şekil 4.2.a'da püskürtme şekillendirme yöntemi gösterilmektedir. Bazı püskürtme şekillendirme uygulamalarında birden fazla nozul kullanılabilir (Şekil 4.2.b).



(a)



(b)

Şekil 4.2 a) PŞ yöntemi ile kütle üretimi b) PŞ ile çok nozullu üretim [19-15].

4.2 Püskürtme Şekillendirme Değişkenleri

Şekil ve boyutlarda çok hassas tolerans sağlanması, mikroyapıda uyum ve yüksek miktarda üretim yapılabilmesi Osprey metodunun ticari alanda getirdiği faydalardır. Bunlar da bazı bağımsız işletme değişkenlerinin anlaşılmasını ve etkilerinin kontrol edilmesini gerektirir. Bu değişkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sıvı metalin sıcaklığı,
- Sıvı metalin akış hızı,
- Gaz basıncı,
- Püskürtme hareketi,
- Püskürtme yüksekliği (nozul ve altlık arasındaki mesafe),
- Altlık hareketi (dönüş hızı, geri çekilme hızı, eğim açısı).

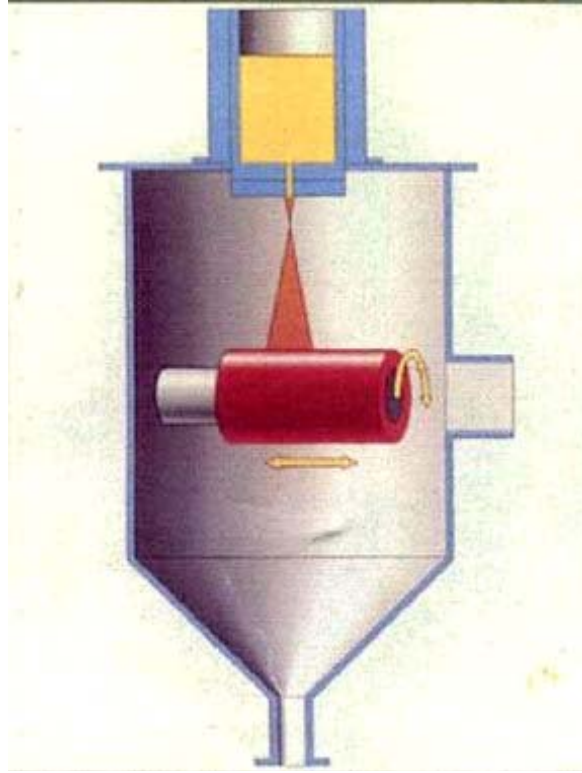
Ekonomik avantajının yanında püskürtme şekillendirme ile hassas parçalar üretilebilir. Örneğin; büyük çaplı Ni süperalaşımının işlem sırasının toz metalurjisi veya talaş kaldırma ve döküm ile karşılaştırıldığında %30'a varan işlem kolaylığı ortaya çıktığı görülmüştür [17-8].

4.3 Endüstriyel Uygulamaları

Püskürtme şekillendirme ürünleri; silindir kütükler, borular, kaplanmış ürünler, alüminyum, bakır, nikel, demir ve silikon bazlı alaşımlar, otomotiv, elektronik ve uzay teknolojileri gibi şekil, alaşım ve pazar açısından geniş bir alana sahiptir. Püskürtme şekillendirme uygulamalarına aşağıdaki gibi örnekler gösterebiliriz;

Yuvarlak çubuklar: Japon Sumitomo şirketi 1991'den beri püskürtme şekillendirme ile yüksek kromlu dökme demir ve yüksek karbonlu yüksek hız çeliğinden silindirler yapmaktadır. Bu silindirlerden daha sonra yuvarlak çubuk, düz çubuk, tel çubuk elde etmek için yuvarlak miller imal edilir. Ürünler dökümle elde edilen ürünlere göre daha saf, hızlı katılmış bir mikroyapıdan dolayı termal yorulma direnci yüksek ve daha uzun ömürlüdür. Elde edilen silindirler 800 mm çapında ve 0,5 m boyundadır [12-16,14-17].

Borular: Dönen bir mil üzerine püskürtme yapılarak çeşitli ebatlarda borular üretilebilir (Şekil 4.3). İsveç'te Sandvik isimli şirket 400 mm çap × 8 m uzunlukta ve et kalınlığı 50 mm olan boruları PŞ ile üretmektedir. PŞ ile dışı korozyona karşı dayanıklı bir katmanla kaplanmış bimetalik borular önemli bir piyasayı oluşturmaktadır. Diğer uygulamaları, kazanlar ve atıkların yakılması için kullanılan fırınlardır. Sandvik şirketi bu fırınları PŞ yoluyla imal etmek için korozyona karşı dayanıklı bir alaşım olan sanicro 65'i geliştirmiştir [12-16,14-17].



Şekil 4.3 PŞ ile boru üretimi.

Halkalar: Amerikan Howmet şirketi, gaz türbin motorları için PŞ ile 800 çap× 0,5 m boyunda halkalar üretmektedir (Şekil 4.4) [12-16,14-17].



Şekil 4.4 PŞ ile üretilen parçalar.

Kütükler: Yatay veya dikey püskürtme şekillendirme ünitelerinde genellikle Cu ve Al yuvarlak kütükler üretilmektedir. 1.2 tonluk ergitme kapasitesi ile, çapı 400 mm ve boyu 1,2 m olan takım çeliği ve paslanmaz çelik püskürtme şekillendirme ile üretilebilir. Elde edilen kütükler daha sonra üretilecek parçaya göre ekstrüzyon yapılı veya haddelenirler. Bu şekilde üretilen Al-Si parçalar otomotiv endüstrisinde kullanılır (piston, birleştirme çubuğu vb.) [12-16,14-17].

Püskürtme şekillendirme işlemi çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bu işlem ile Al alaşımlarında, Cu alaşımlarında, özel çeliklerde ve süper alaşımlarda malzeme üretimi mümkündür. Bu üretim şekliyle üretilen malzemeler dünyanın her tarafında başarıyla kullanılmaktadır.

Son yıllarda endüstriyel kullanımı da hızla artan bu yeni üretim tekniğiyle, 0.8m çapında, 0.5 m boyunda silindirlerin, 0.4 m çapında, 8 m boyunda, 50 mm et kalınlığında boruların ve 500 kg'a varan ağırlıklardaki külçelerin bu imalat yönteminin önemini vurgulamak için örnek olarak sayılabileceği bir çok metal, alaşım, süper alaşım ve kompozit malzemenin imalatı yapılmaktadır [11-18].

4.4 Püskürtme Şekillendirme Araştırmaları

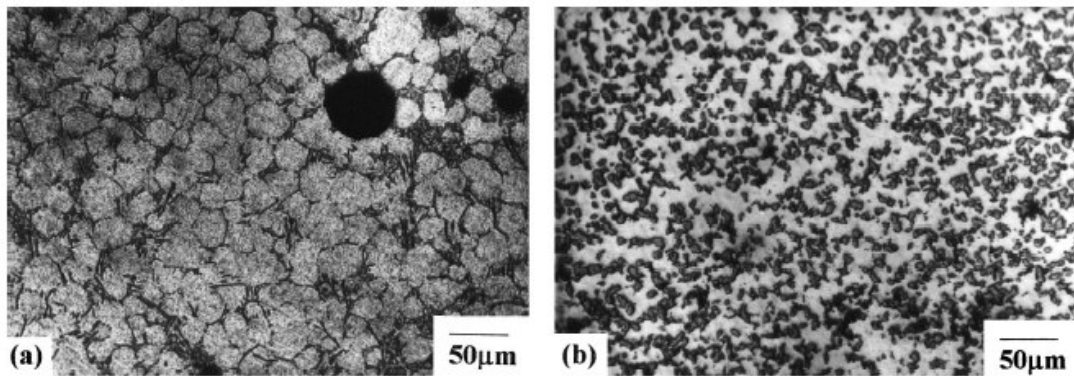
Literatürde püskürtme şekillendirme ile ilgili birçok çalışma vardır [12-16,13-14]. Lavernia ve arkadaşları [12-16] düşük karbonlu çeliklerde PŞ süresince ısı transferini ve katılaşma davranışını sonlu elemanlar metodu kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada püskürtme şekillendirme işleminde yığılan parçanın üst yüzeyinin sıcaklığının hesaplamalarda oldukça önemli bir parametre olduğu, bu sıcaklığın difüzyon yoluyla birleşmeyi sağlayacak, ancak mikroyapıda tane büyümesine neden olmayacak büyüklükte olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca yığılan parça yüksekliğinin kesit alanının sürekli olarak değişmesi sebebiyle işlemin kararsızlığına vurgu yapılmıştır. Literatürde püskürtme şekillendirme ile yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir;

Takahara ve diğerleri [15-11], püskürtme şekillendirme ile üretilmiş ötektik üstü Al-Si alaşımlarının özelliklerini araştırdığı çalışmasında; gaz/metal debisi oranının 5'ten büyük olduğu durumlarda katılaşma hızının arttığını ve eğme mukavemeti değerinin arttığını belirtmiştir. Al yüksek Si ikili alaşımı düşük ekstrüzyon edilebilme özelliğine sahip olmasına rağmen, bu çalışmada püskürtme şekillendirme Al-Si alaşımının iki kademede ekstrüzyonu 6 m/dak gibi yüksek hızlarda gerçekleştirilmiştir. Yapılan diğer mekanik testlerle de,

püskürtme şekillendirme malzemenin dayanımının geleneksel T/M malzemelere göre daha fazla olduğunu gösterilmiştir.

PŞ bakır alaşımlarındaki gözenekliliğe Zr, Ti ve Al gibi reaktif elementlerin etkisi Müller ve arkadaşları [14-17] tarafından araştırıldığı çalışmada; yapı içinde hapsolan atomizasyon gazı sebebiyle püskürtme şekillendirme işleminde gözenekliliğin önlenemediği belirtilmiştir. Azot kullanarak yapılan püskürtme şekillendirme işleminde, boşlukların bakır içinde çözünmeyen azot ile dolduğu, azotla reaksiyona giren Zr, Ti ve Al gibi elementlerin alaşımın özellikleri üzerinde ilave bir etki yaptığı gösterilmiş, bu etki azot ve TiN bileşenlerinin miktarı analitik yöntemler kullanılarak da doğrulanmıştır.

Püskürtme şekillendirme ile üretilmiş Al-Si alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri ile ilgili başka bir çalışma da Srivastava ve arkadaşları [16-19] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan mikroyapı çalışmaları; püskürtme şekillendirme Al-6.5Si alaşımının, tane sınırlarında yuvarlağımsı şekilli ötektik Si fazına sahip küresel α fazından oluştuğunu göstermiştir (Şekil 4.5.a). Püskürtme şekillendirme Al-18Si alaşımının mikroyapısında ise; α fazından oluşan ana yapı içinde düzgün olarak dağılmış ince parçacıklar halinde Si fazı gözlenmiştir (Şekil 4.5.b). Üretilen Al-6.5Si ve Al-18Si PŞ alaşımlarına, 480 °C sıcaklıkta 6:1 oranında sıcak ekstrüzyon uygulanmıştır. Oda sıcaklığında çekme testi uygulanan püskürtme şekillendirme alaşımların mukavemetleri ile süneklikleri, döküm alaşımlara göre önemli ölçüde iyileşme göstermiştir.



Şekil 4.5 Püskürtme şekillendirme alaşımların mikro yapısı a) Al-6.5Si b) Al-18Si [16-19].

Ha ve diğerleri [13-14] ise Al-25Si ötektik üstü alaşımın püskürtme şekillendirme ile üretimi ve deformasyon davranışı üzerine yapmış olduğu çalışmalarda da, püskürtme şekillendirme işleminin mekanik özellikleri iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Püskürtme şekillendirme işleminde püskürtülmüş tozlar, malzemenin çekirdeğine doğru tamamen yoğunlaşmış şekilde toplanır. Sıcak işleme veya Sıcak İzostatik Presleme (HIP), tüm geride kalan gözenekliliği ortadan kaldırarak püskürtülmüş malzemenin mekanik özelliklerini olumlu etkiler [7-20].

Püskürtülmüş malzemeler, sıcak izostatik preslenmiş toz metalurjisi malzemeleriyle kabaca eşit özelliktedir. Tipik püskürtme şekillendirilmiş malzemeler, takım çeliği ve yüksek hız çeliği, paslanmaz çelik ve süper alaşımlar. Metal matrisli kompozitler %40'a kadar seramik içerip seramik parçaları enjeksiyon ile malzemeye püskürtülür. Bu teknik, ergimiş alaşımın gaz atomizasyonu ile püskürtülmesi ve damlacıkların yüksek yoğunluklu bir ürün oluşturmak için içerisinde toplandıkları bir altlığa yönlendirilmesi aşamalarından meydana gelir. Ürün püskürtüldüğü haliyle veya geleneksel işleme operasyonlarından sonra kullanılabilir. Bu yöntemle, geleneksel olarak yapılamayan alaşımların ve parçaların üretimi mümkündür. Üretilen malzemeler çok küçük tane boyutlu, tam yoğunluğa yakın, üstün mekanik özellikli ve hemen hemen sıfır segregasyonludur. Mekanik özellikler, külçeden üretilmiş benzerlerininine ulaşır veya geçer. Genellikle 0.2-2.0 kg/s aralığında olan yüksek metal birikme hızı bu işlemin önemli bir özelliğidir. Bu yöntemin ticari olarak uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Silindirler, paslanmaz çelik ve kaplanmış borular, süper alaşım halka ve kütükler, yüksek alaşımlı çelik kütükler, alüminyum ekstrüzyon kütükleri ve bakır alaşım kütüklerinin de içinde yer aldığı geniş bir ürün yelpazesi vardır.

Püskürtme şekillendirmenin ticari olarak uygulanabilirliği yakın şekil ve boyut toleransı, mikroyapıda kararlılık ve yüksek ürün eldesini gerekli kılar. Bunun için üretim parametreleri olan ergiyik sıcaklığı, metal debisi, gaz basıncı, altlık hareketi, püskürtme hareketi ve yüksekliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

5. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada, gaz atomizasyonu sisteminde püskürtme şekillendirme yöntemi kullanılarak oranları farklı Al-Si alaşımından 5 farklı deney yapılmıştır . Deneylerin yapıldığı gaz atomizasyonu ünitesi ve deneysel yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

5.1 Gaz Atomizasyonu Ünitesi

Bu tez çalışmasında alüminyum alaşımlarının püskürtme şekillendirme yöntemi ile üretilmesinde Dumlupınar Gaz Atomizasyonu Ünitesi (Şekil 5.1) kullanılmıştır. Atomizasyon ünitesinin bölümleri olan gaz sistemi, ısıtma ve ergitme, nozul, atomizasyon kulesi, püskürtme biriktirme disk, toz tutma bölümleri kısaca açıklanmıştır.



Şekil 5.1 Dumlupınar Üniversitesi gaz atomizasyonu ünitesi.

5.1.1 Gaz sistemi

Yapılan deneylerde atomizasyon gaz kaynağı olarak 200 bar işletme basıncına sahip paralel olarak bağlı 12 adet basınçlı tüp kullanılmıştır. Atomizasyon basıncının ayarlanması, tüplerin çıkışına yerleştirilen bir regülatör yardımı ile yapılmıştır. Regülatör çıkışına bir küresel vana, vanadan sonra atomizasyon basıncını ölçmek amacıyla bir basınç algılayıcısı

yerleştirilmiştir. En son noktada okunan dijital basınç değeri atomizasyon gaz basıncı olarak kabul edilmiştir. Atomizasyon gazı olarak azot (N_2) kullanılmıştır.

5.1.2 Metal ergitme

Ergitme işlemi atomizasyon ünitesi üzerinde bulunan ergitme odası içerisine yerleştirilen rezistanslı bir fırın ile gerçekleştirilmiştir. Ergitme odası kapatılarak içeriye basınç uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Fırın içerisine grafit bir pota yerleştirilmiştir. Fırının üst kapağı sıvı metalin sıcaklığını ölçmek için kullanılacak ısıl çiftin geçebileceği şekilde delinmiştir. Böylelikle sıvı metal içerisine daldırılan ısıl çift yardımıyla sıvı metal sıcaklığı hassas bir şekilde ölçülmüştür (Şekil 5.2).



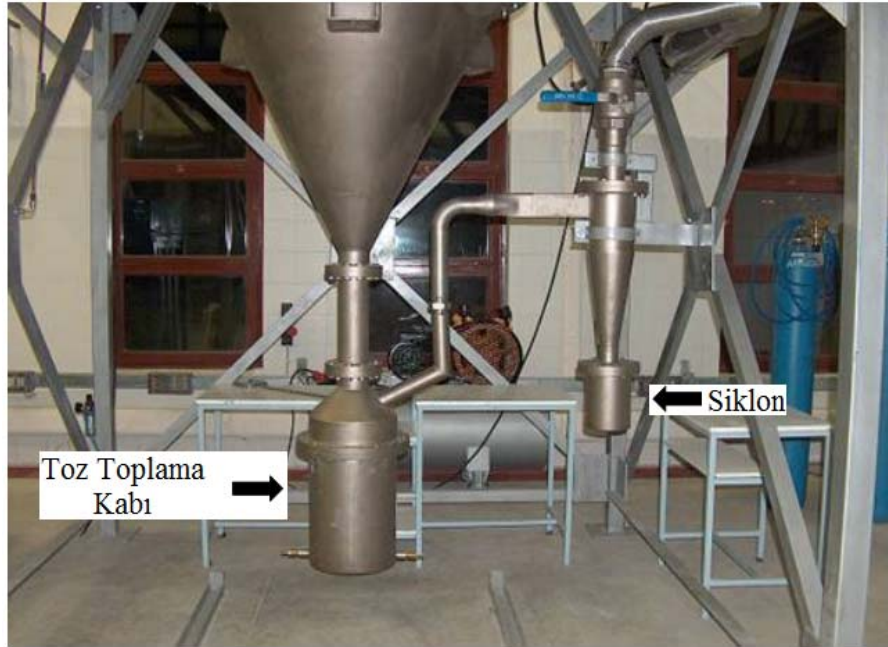
Şekil 5.2 Ergitme odası ve ergitme fırınının görünüşü.

5.1.3 Atomizasyon kulesi

Atomizasyon kulesi, sıvı metalin gaz ile buluşup atomize edildiği ve sonra da katılarak toz haline geldiği atmosfere kapalı hacimdir. Dumlupınar Üniversitesi Gaz Atomizasyonu Ünitesi'ne ait atomizasyon kulesi çevresinde üç adet gözetleme penceresi mevcuttur. Kule iç yüzeyleri sistem temizliği açısından parlatılmıştır. Kule yüksekliği, sıvı metal damlacıklarının kule tabanına inmeden katılaşabilmelerine imkan verecek yükseklikte ve kule çapı, damlacıkların kule çeperine çarpmayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Atomizasyonda kullanılan gazın kule dışına tahliyesi ve ince tozların tutulması amacıyla siklon kullanılmıştır.

5.1.4 Toz tutma ve sistem temizliği

Ünitede iki ayrı toz toplama kabı mevcuttur. Bunlar kule altında bulunan toz toplama kabı ve siklondur (Şekil 5.3). Toz toplama kabı ünitenin en alt kısmında yer almaktadır ve atomize edilmiş tozların çoğunluğunun toplandığı yerdir. Paslanmaz çelikten imal edilmiştir ve tabanı tozların soğumasını hızlandırmak amacıyla ısı transfer katsayısı yüksek olan saf bakır sacı kaplanmıştır. Gaz atomizasyon ünitelerinde siklonlar sık kullanıma sahiptirler. Toz tutma bölümünün en önemli kısmı siklondur. Siklonda gaz içerisindeki çok küçük boyuttaki toz tanecikleri ayrılır.



Şekil 5.3 Toz tutma kaplarının görünüşü.

Yapılan her deney sonrasında atomizasyon ünitesi bağlantı noktalarından sökülerek ünite iç yüzeyleri vakum süpürgesi ile temizlenip bez ile silinmiştir. Üretilen tozlar plastik kaplarda muhafaza edilmiştir.

5.2 Atomizasyon Gaz Debisinin Ölçümü

Gaz atomizasyonunda; metal tozu üretimi için kullanılan gaz miktarı, enerji kullanımı açısından önemli bir parametredir. Bunun için, bir fiziksel parametre olan gaz debisinin metal akış debisine oranı (G/M), işlem ekonomikliğinin anahtar göstergesidir. Yapılan deneylerde

farklı gaz debisi değerleri, ünite üzerinde yer alan SIEMENS SITRANS F C MASSFLO MASS 2100 tipi kütleli debi ölçüm cihazı (Şekil 5.4) kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 5.4 Kütleli debi ölçüm cihazı.

5.3 Metal Akış Debisinin Ölçümü

Yapılan atomizasyon deneylerinde işlem bir video - kamera yardımıyla görüntülenerek kaydedilmiştir. Metal akış debisi sıvı metalin akış süresi ile ilgili olduğu için sıvı metalin ilk akışı ile bitişi arasındaki zaman ve ergitilen malzeme miktarı göz önüne alınarak metalin kütleli akış debisi hesaplanmıştır.

5.4 Püskürtme Şekillendirme Altlık Sistemi

Dumlupınar Gaz Atomizasyonu Ünitesi'nde yapılan deneylerde azot gazı kullanılarak alüminyum-silisyum alaşımlarından, belirtilen oranlarda Al-Si alaşımları ergitilerek atomize edilmiştir. Atomizasyon ünitesi içinde Şekil 5.5'de görülen altlık sistemi mevcuttur. Sistem altlık üstündeki diskin yatay ve düşey yönde hareket etmesini sağlayan birbirinden bağımsız iki adet DC motor bulunmaktadır. GAMAK marka 0.09 KW motor düşey yöndeki hareketi sağlar ve bu motorun çalışmasıyla birlikte altlık düşey yönde hareketini sağlar. 24 V OPKON marka encoder sayesinde kontrol panosunda altlığın aldığı yol ve hareket yönü tespit edilir. VEMAT marka 0.09 KW motor ise, diskin yatay hareketini sağlar yine 24 V'luk OPKON marka encoder ise diskin dönme hızını ve dönme yönünü kontrol panosundan istenilen şekilde ayarlanmasını sağlar. Diskin çok fazla aşağı ve yukarı hareketini engelleyici olarak ise TELEMCHANIQUE marka switchler kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Püskürtme şekillendirme altlığı.

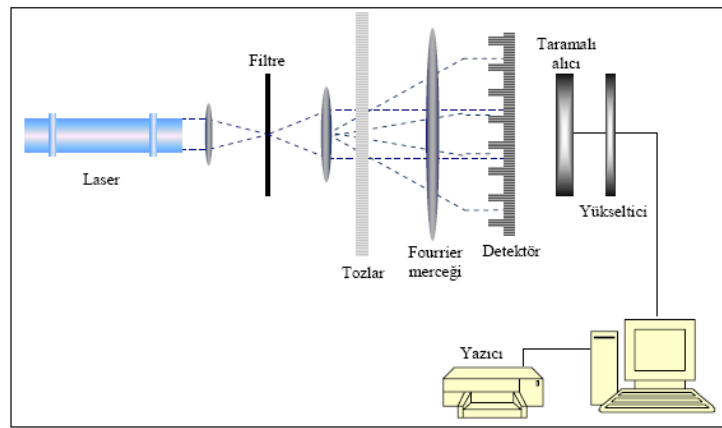
5.5 Toz Boyut Analizi

Toz boyutu, ortalama boyut ve toz boyutu dağılımı ile karakterize edilir. Bir tozun boyutunu ifade etmek için çeşitli ortalama çap ölçüleri kullanılır. Bunlardan en yaygın olanı, boyut dağılımı grafiğindeki birikimli yüzde eğrisinin % 50 değerine karşılık gelen kütle ortanca çapıdır (d_m veya d_{50}). Kullanışlı olan diğer ortalama çap ölçüleri ise, Sauter ortalama çapı (d_{vs}) ve hacim ortalama çapıdır (d_{vm}). Sauter ortalama çapı, ince tozların bulunduğu aralıklardaki değişmelere, hacim ortalama çapı ise kaba tozların bulunduğu aralıktaki değişmelere karşı duyarlıdır. Kütle ortalama çapı olan d_{50} , bundan sonra “ortalama boyut” olarak anılacaktır. Ortalama boyut, bir tozu tanımlamak için her zaman yeterli olmayabilir ve logaritmik normal dağılımın standart sapmasına ihtiyaç duyulur.

Gaz atomize alüminyum tozları için σ_g değeri, toz boyutuna ve atomizasyon şartlarına bağlı olarak 1.8 ile 2.5 arasında değişir. Boyut dağılımı, özellikle bitmiş ürün yoğunluğuna etkisi sebebiyle en az ortalama boyut kadar önemlidir. Gaz atomize tozlar genel olarak logaritmik normal dağılım göstererek tipik bir çan eğrisi oluştururlar. Tipik ürün, geniş bir aralığa sahip çok boyutlu tozlardır.

Toz boyut ölçümleri, GAZİ ÜNİVERSİTESİ Laboratuvarında bulunan ve lazer ışığının kırınımı prensibine göre çalışan Malvern Mastersizer E toz boyutu ölçme cihazında yapılmıştır.

Ölçümler esnasında taşıyıcı ortam olarak su kullanılmıştır. İnce tozların topaklanmasını önlemek ve homojen bir dağılım elde etmek amacıyla tozlar beş dakika süreyle mekanik ve ultrasonik olarak karıştırılmıştır. Lazer ışını prensibinde tozlar bir sıvı haznesi içinde süspansiyon haline getirilir. Sıvı banyosuna lazer ışın demeti gönderilir. Tozlara çarpan lazer ışını tozun çapı ile ters orantılı olarak kırılır. Hazneden ve fourrier merceği üzerinden geçip detektör üzerine düşen kırılmış ışının açısı ve şiddeti ölçülerek toz boyut dağılımı belirlenir (Şekil 5.5).



Şekil 5.6 Lazer ışını prensibinin şematik olarak gösterimi.

5.6 Tozların Şekil ve Morfolojilerinin İncelenmesi

Tozların şekil ve morfolojileri TÜBİTAK MAM'da SEM JEOL 6335F TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) yardımı ile incelenmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.7 TÜBİTAK MAM SEM laboratuvarı.

5.7 Tozların Mikro Sertlik Ölçümü ve Mikroyapısı

Tozlar analiz yapılabilmesi için önce bakalite alınmışlardır. Bakalite alma işleminde tozlar 180 °C sıcaklık ve yüksek basınç altında bakalite alınmıştır. Bakalite alınan tozlar en son 1000 mesh'lik zımparalarla zımparalanıp elmas sprej ve çuha yardımıyla parlatılmış ve Keller dağılayıcısı ile dağıtılmıştır. Daha sonra Dumlupınar Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde bulunan VICKERS Sertlik ölçüm cihazı (Şekil 5.8) ile mikrosertlikleri ölçülmüş, ışık mikroskobu ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümü yapılan numune üzerinde 7 farklı noktadan 0.49 N'luk kuvvet altında 20 sn süresince yükleme yapılmış ve bu 7 değerin ortalaması alınarak mikrosertlik değeri tespit edilmiştir.



Şekil 5.8 VICKERS mikrosertlik ölçüm cihazı.

5.8 Tozların Görünür Yoğunluğu

Görünür yoğunluk serbest halde bulunan tozların birim hacimdeki kütlesidir. Tozların görünür yoğunluğu önemli bir parametredir. Görünür yoğunluk tozlardaki boşluk derecesi ve toz şeklinin bir fonksiyonudur. Toz şeklinin karmaşılaşması ve gözenekliliğin artması görünür yoğunluğu düşürür. Görünür yoğunluğun düşmesi ise sıkıştırma aşamasında hacim azalmasını artırır ve böylece soğuk kaynak miktarını artırır. Neticede daha yüksek ham mukavemetli parça elde edilmiş olur. Parçanın sinterlenme verimi de soğuk kaynak miktarının artmasından dolayı artacaktır.

Üretilen tozların görünür yoğunluğu “Arnold metre” (Şekil.5.9) görünür yoğunluk ölçüm düzeneği kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm yapılırken MPIF 48 standardı dikkate alınmıştır. Tozlar, sistemdeki hareketli olan kaba konularak sabit ve 20 cm^3 hacmindeki kaba, yüzeyi sıfırlanacak şekilde doldurulmuş ve dolan tozların ağırlığı ölçülmüştür. Bulunan ağırlık hacme bölünerek görünür yoğunluk hesaplanmıştır.



Şekil 5.9 Arnold metre görünür yoğunluk ölçüm düzeneği.

5.9 Tozların XRD, DTA ve TG Analizi

Tozların XRD Ölçümleri Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümünde bulunan MiniFlex marka XRD Cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler 20° ile 90° arasında çekilmiştir. Tozların DTA ve TG analizi Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümünde bulunan PerkinElmer marka TG/DTA cihazı ile yapılmıştır. Analiz azot gazı ortamında $700 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar ve $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{dak.}$ hızda yapılmıştır.



Şekil 5.10 TG/DTA cihazı.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Toz Üretim Şartlarının Değerlendirilmesi

Deneylerde atomizasyon işlemine başlamadan önce pota içersine yerleştirilen açma kapama çubuğu, pota altındaki delikten sıvı metalin akmamasını sağlayacak bir kuvvetle deliğe yerleştirilmiştir. Daha sonra yapılacak alaşımın bileşenleri oranında Etial A171 ve silisyumu artırılmış master alaşım Etial A140 pota içine konularak ergitme odası kapatılmış ve ergitme işlemi başlatılmıştır. Deneylerde kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri çizelge 6.1’de, deneylerin yapılma şartları da çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Püskürtme şekillendirme ile oluşturulan kütlelerin kimyasal bileşimi.

Elementler (% ağırlık)	Deney No				
	3	4	5	7	8
Al	72.22	71.92	72.79	72.93	64.89
Si	7.51	12.14	15.64	23.65	32.45
O	18.51	14.72	11.37	3.42	2.66

Çizelge 6.2 Deneylerin yapılma şartları ve sonuçları.

Özellikler	Deney No				
	3	4	5	7	8
Malzeme miktarı (g)	1071	1190	1173	1731	1734
Atomizasyon Sıcaklığı (°C)	820	820	815	811	810
Atomizasyon Basıncı (bar)	18.4	18.4	18.4	16.2	16.7
Gaz debisi (kg/dak)	2.54	2.34	2.38	2.07	1.86
Metal Akış Süresi (s)	31	22	25	35	29
Metal Debisi (kg/dak)	2.074	3.245	2.815	2.967	3.587
Gaz/Metal debi oranı	1.225	0.721	0.845	0.698	0.520
Üst Basıncı (mbar)	200	300	270	200	200
Kütle miktarı (g)	225	720	607	1210	1226
Toz (<200 µm)	625	209	215	235	247

Ergitme işlemi ile birlikte sıvı metalin donma sorununu ortadan kaldırmak amacıyla metal akış borusu da ısıtılmaya başlanmıştır. Fırın alaşımların ergitme sıcaklığının 150-200 °C üzerine ayarlanarak aşırı ısıtma yapılmıştır. Gaz akış hattındaki regülatör yardımıyla atomizasyon gaz basıncı ayarlanmıştır. Deneylerde sisteme öncelikle gaz vanası açılarak azot gazı gönderilmiş, hemen ardından açma-kapama çubuğu pnömatik sistem yardımıyla açılarak

atomizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kütlelere yapışmayan tozlar toz toplama kabı ve siklondan alınarak 200 µm elekten elendikten sonra plastik kutularda saklanmıştır. Deney sonuçlarının birbirini etkilememesi amacıyla her deney sonrasında ünite bağlantı noktalarından sökülerek gözetleme pencereleri ve kule iç yüzeyi vakum süpürge ile süpürüldükten sonra bezlerle temizlenmiş ve tekrar kapatılmıştır. Üretilen kütlelerin resimleri Şekil 6.1-6.5’de verilmiştir. Oluşan kütleler incelendiğinde dönen diske yapışan tozların oluşturduğu kütlelerin merkezinden dışına doğru yoğunluk azalması merkezinde oluşan yüksekliğin tozların üst üste birikmesinden meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.1 3. deneyde PŞ ile oluşturulan kütle görünümü.



Şekil 6.2 4. deneyde PŞ ile oluşturulan kütle görünümü.



Şekil 6.3 5. deneyde PŞ ile oluşturulan kütlenin görünümü.



Şekil 6.4 7. deneyde PŞ ile oluşturulan kütlenin görünümü.



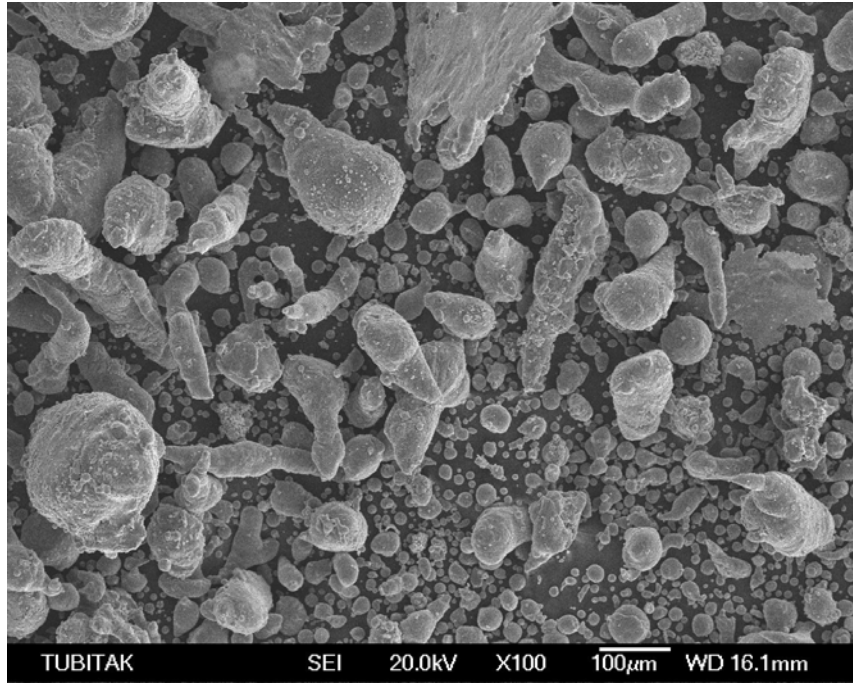
Şekil 6.5 8. deneyde PŞ ile oluşturulan kütlenin görünümü.

6.2 Toz Boyutu ve Morfolojisi

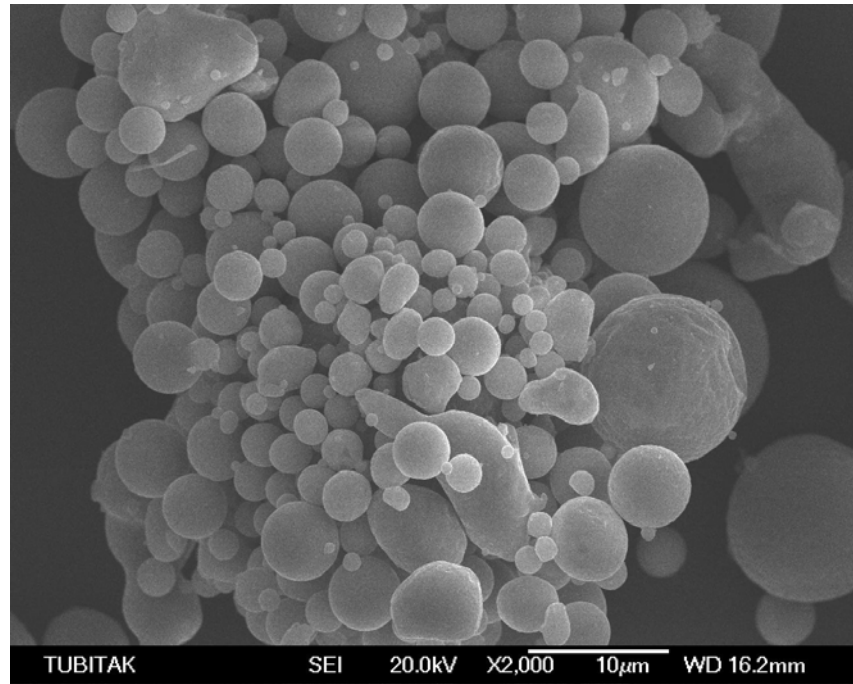
Malvern Mastersizer E laser boyut analiz cihazdan elde edilen analiz raporunda, üretilen tozlara ait ortalama toz çapı (d_{50}), Sauter ortalama çapı (d_{vs}), hacim ortalama çapı (d_{vm}), d_{10} ve d_{90} birikimli yüzde değerleri, belli aralıklardaki toz yüzdesi ve belli bir boyutun altındaki birikimli yüzde değerleri istatistiksel olarak yer almaktadır. Ayrıca raporda, toz boyutu dağılımı (frekans) ve birikimli yüzde eğrileri de yer almaktadır. Çizelge 6.3'de alaşım tozlarının boyut değerleri verilmiştir. Toz morfolojileri Şekil 6.6-6.10'da verilmiştir. Tozların küresel ve küresele yakın şekilli oldukları görülmektedir.

Çizelge 6.3 Ortalama Toz boyutu (d_{50}) değerleri.

	Deney No				
	3	4	5	7	8
Ortalama Toz Boyutu (d_{50}), μm	144	30.69	24.55	51.60	74



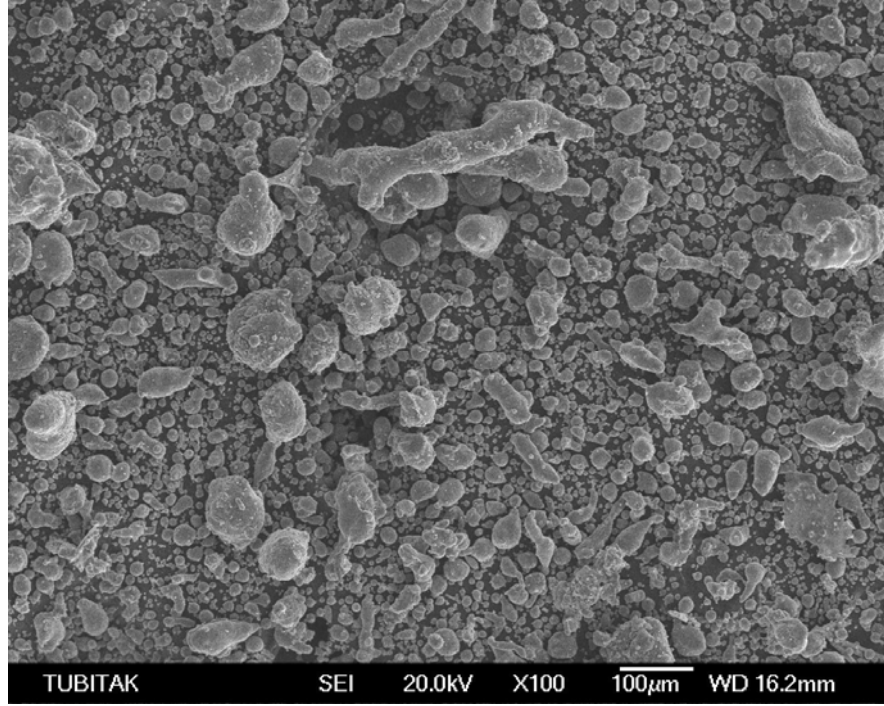
(a)



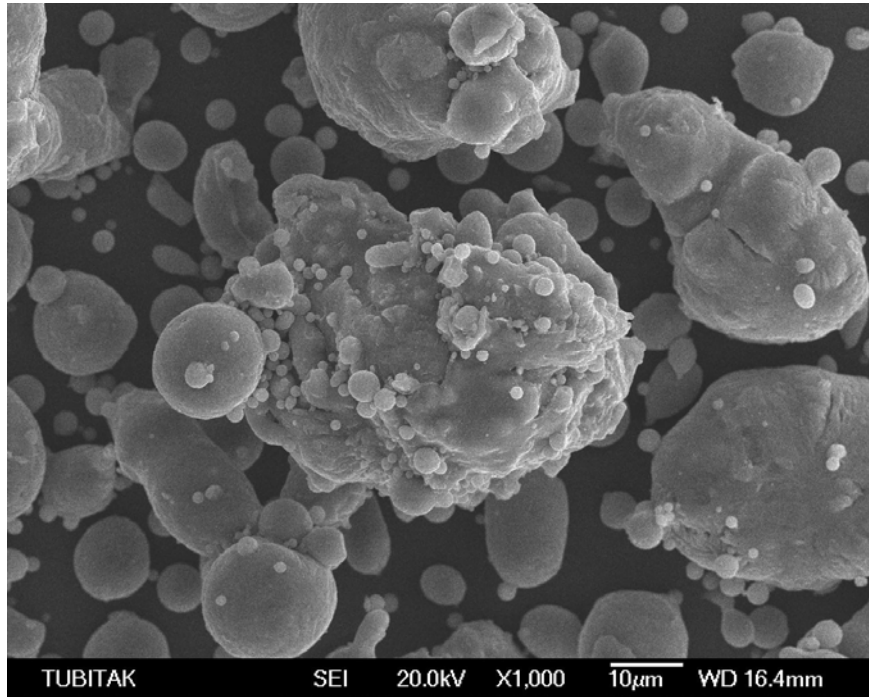
(b)

Şekil 6.6 3 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü:

a) x100 **b)** x2000 büyütme



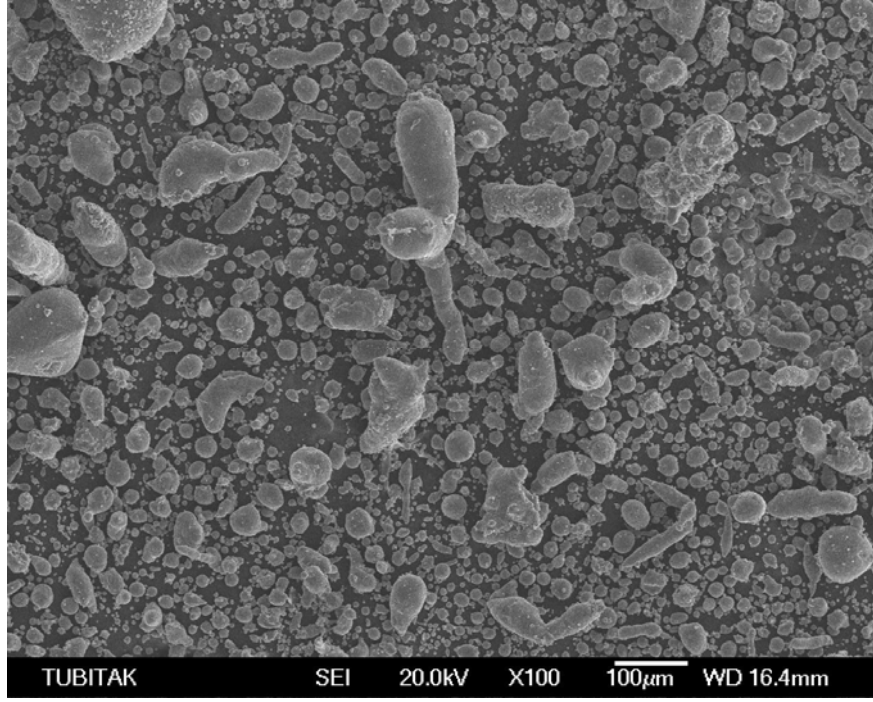
(a)



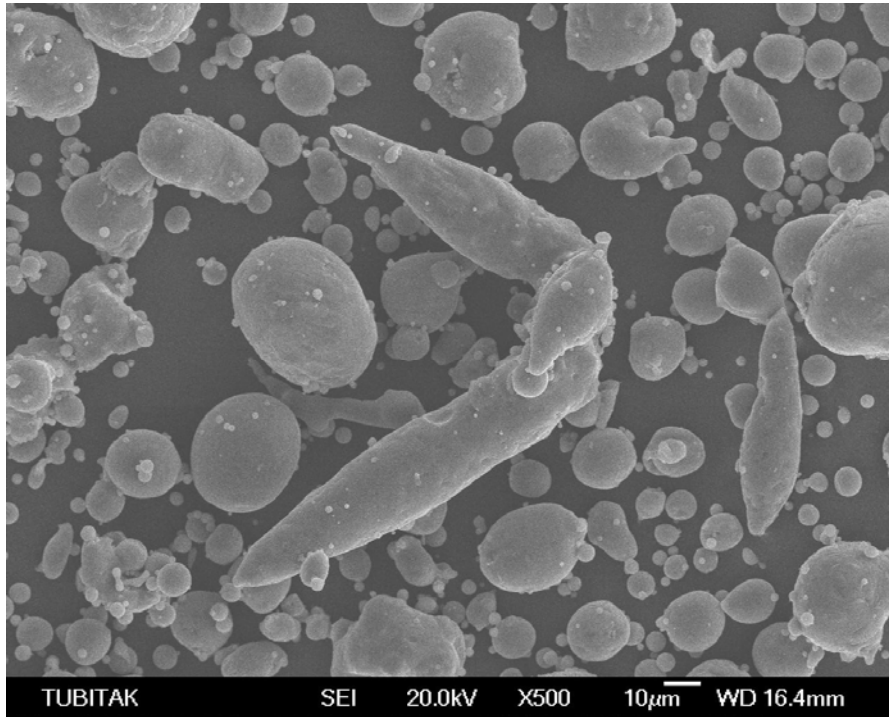
(b)

Şekil 6.7 4 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü:

a) x100 b) x1000 büyütme



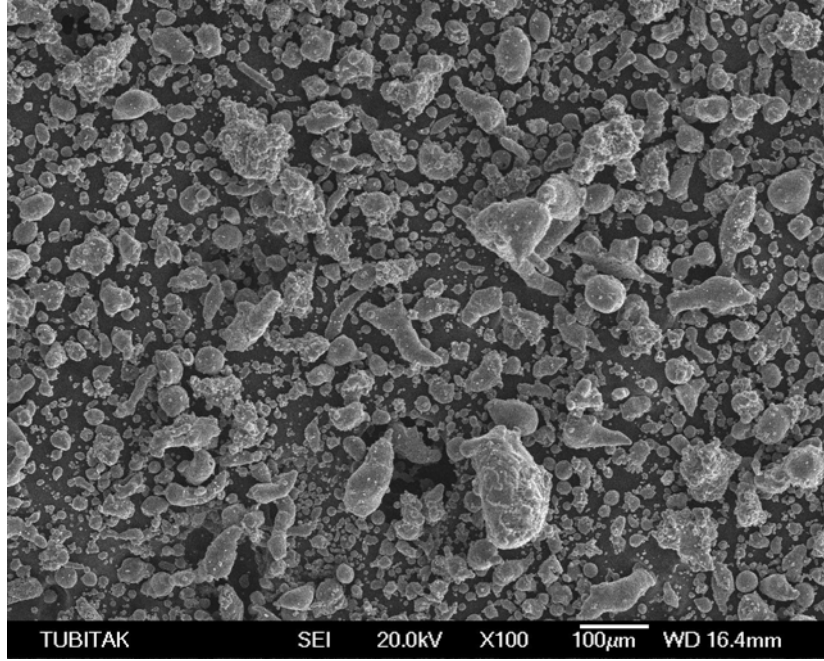
(a)



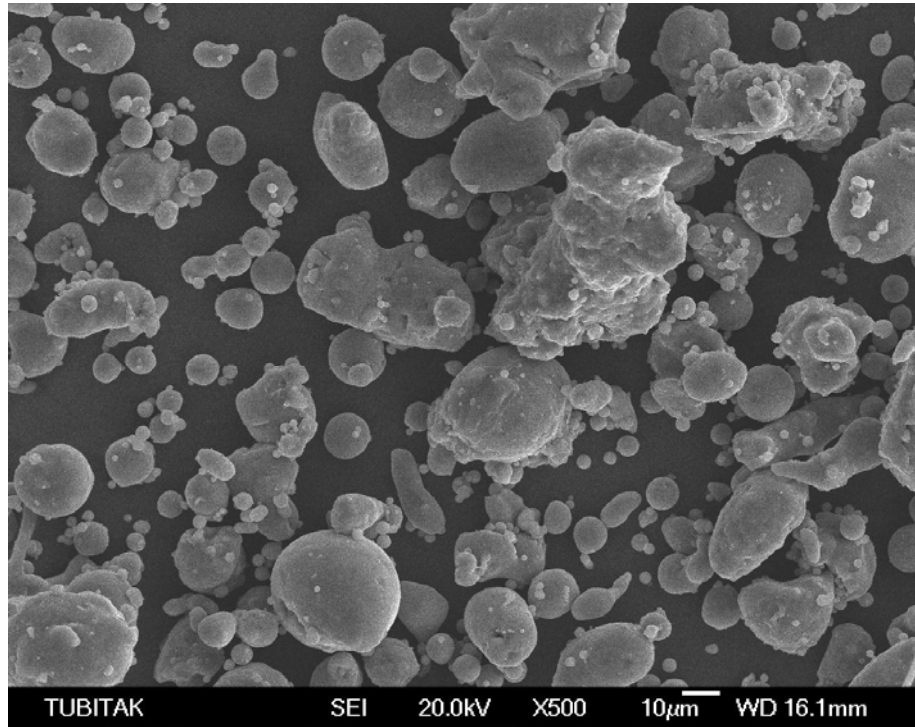
(b)

Şekil 6.8 5 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü

a) x100 b) x500 büyütme



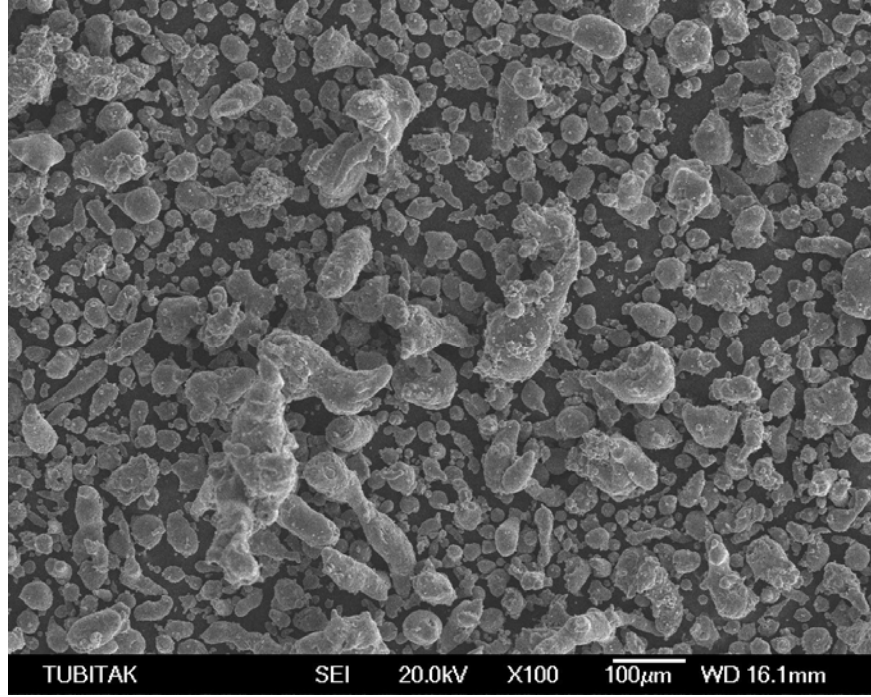
(a)



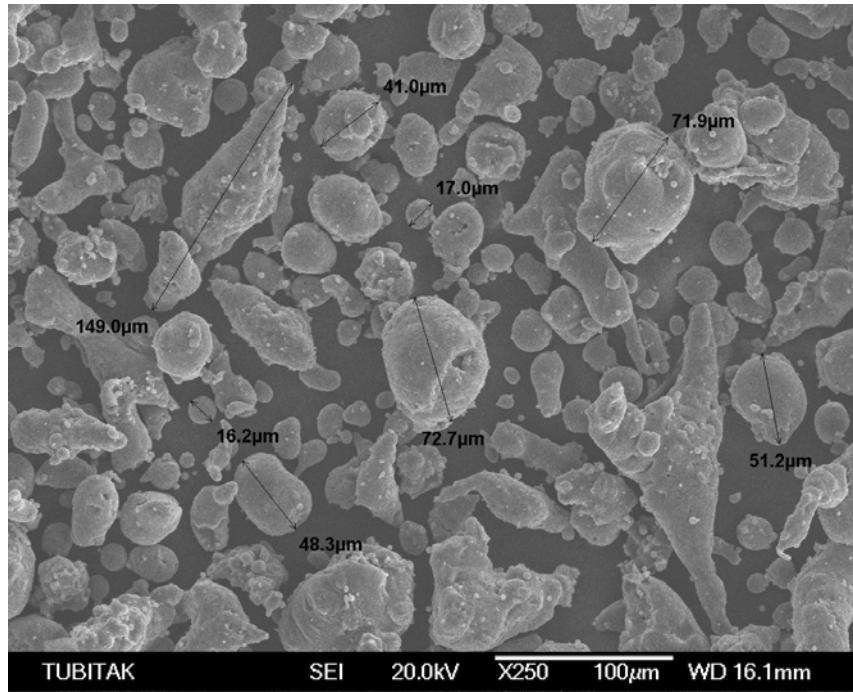
(b)

Şekil 6.9 7 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü:

a) x100 b) x500 büyütme



(a)



(b)

Şekil 6.10 8 nolu püskürtme şekillendirme deneyinde yapışmayan tozların görüntüsü

a) x100 b) x250 büyütme

6.3 Tozların Mikro Sertlikleri

Tozların ve kütlelerin ortalama mikrosertlik değerleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4 Toz ve kütlelerin ortalama mikrosertlik değerleri.

Deney No	Toz (HV)	Kütle (HV)
3	370	475
4	420	285
5	511	400
7	626	416
8	530	404

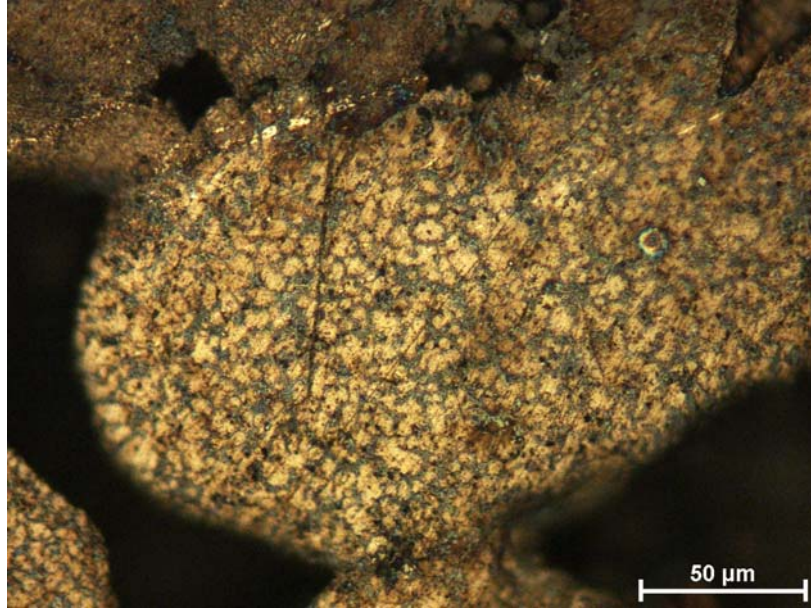
Tozların görünür yoğunluk değerleri Arnold metre ile ölçüldükten sonra tozların görünür yoğunluk değerleri çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5 Tozların görünür yoğunlukları.

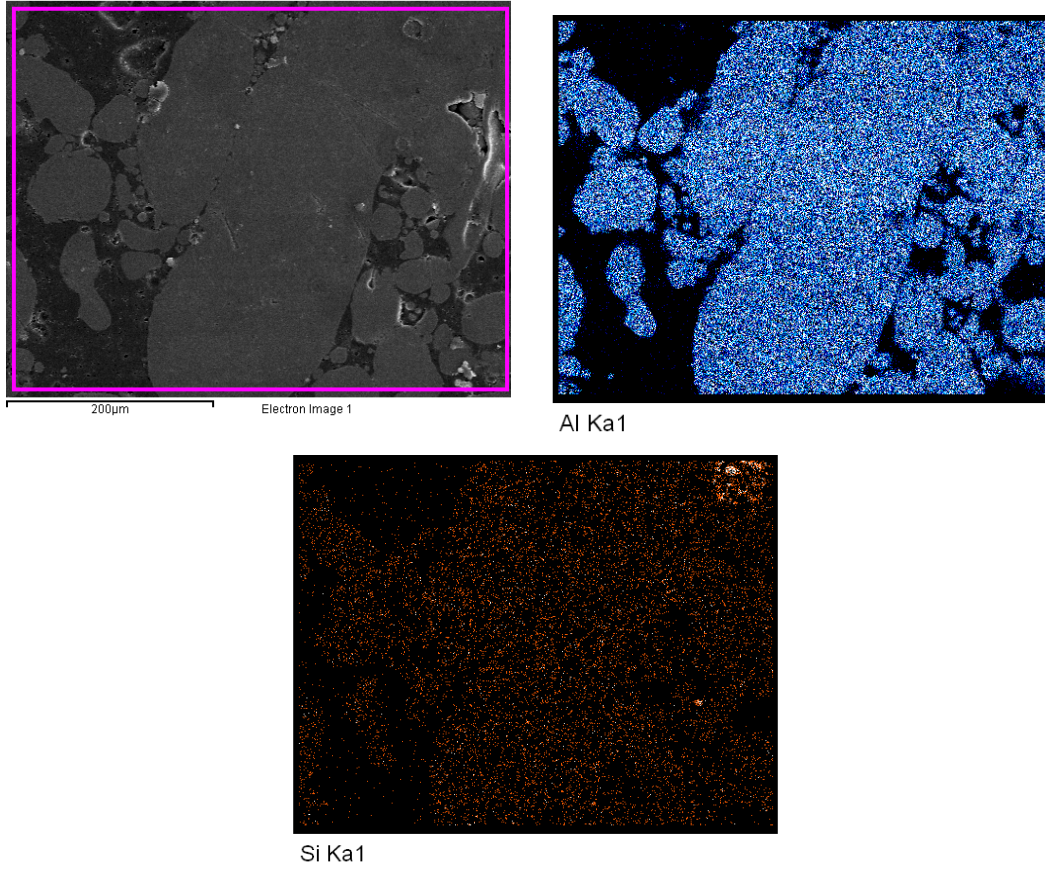
Görünür yoğunluk (g/cm ³)	Deney No				
	3	4	5	7	8
	1.45	1.59	1.53	1.21	1.14

6.4 Tozların Mikroyapısı

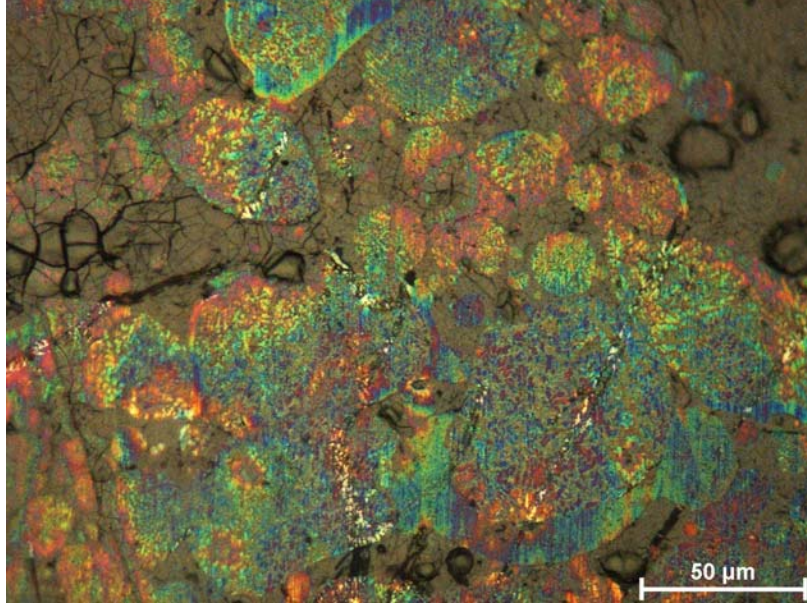
Tozların ışık ve SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 6.11-16’da verilmiştir. Tozların çok küçük taneli ve oldukça homojen bir yapıda oldukları görülmektedir. SEM haritalama görüntüleri incelendiğinde Al ve Si fazlarının homojen dağıldıkları görülmektedir. 8 nolu deneyde elde edilen tozlarda ise Si fazı görülmektedir.



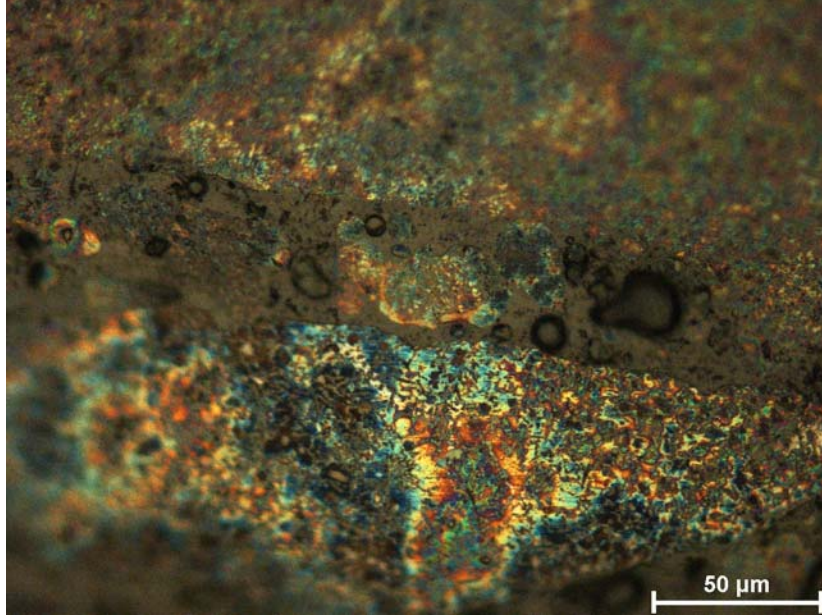
Şekil 6.11 3. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.



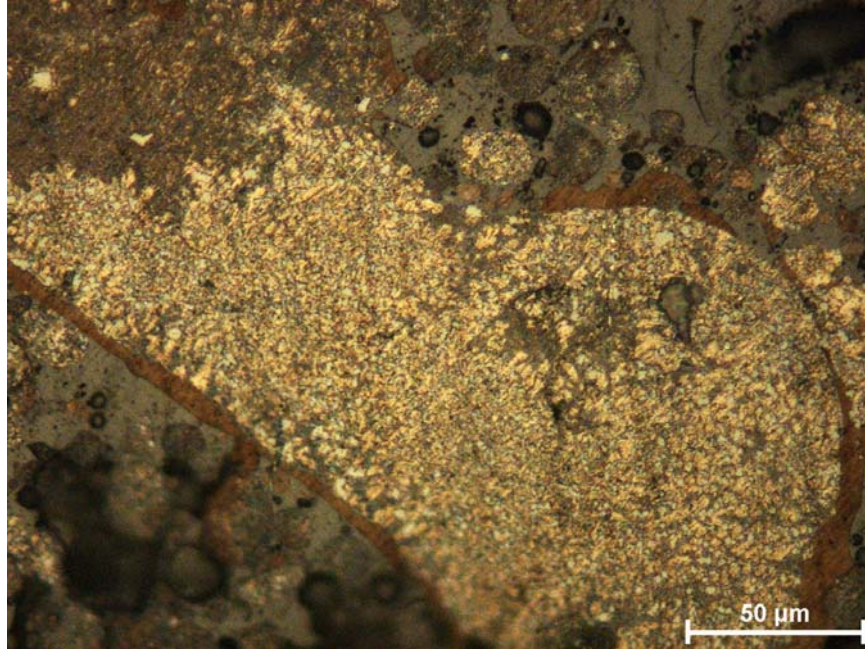
Şekil 6.12 3. deneyde elde edilmiş tozun mikroyapısında dağılmış olan Al ve Si elementlerinin mapping yoluyla tespiti



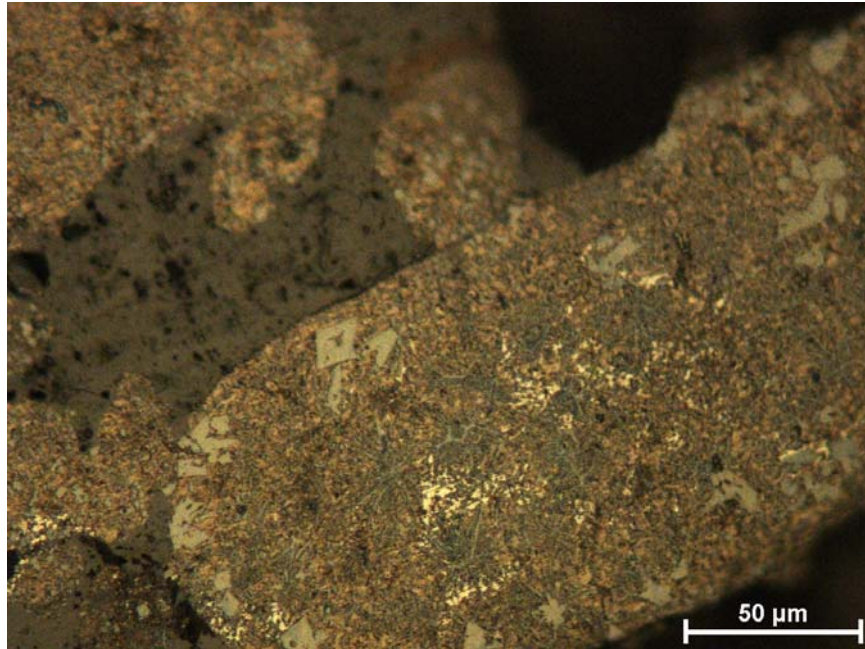
Şekil 6.13 4.deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.



Şekil 6.14 5. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.



Şekil 6.15 7. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.

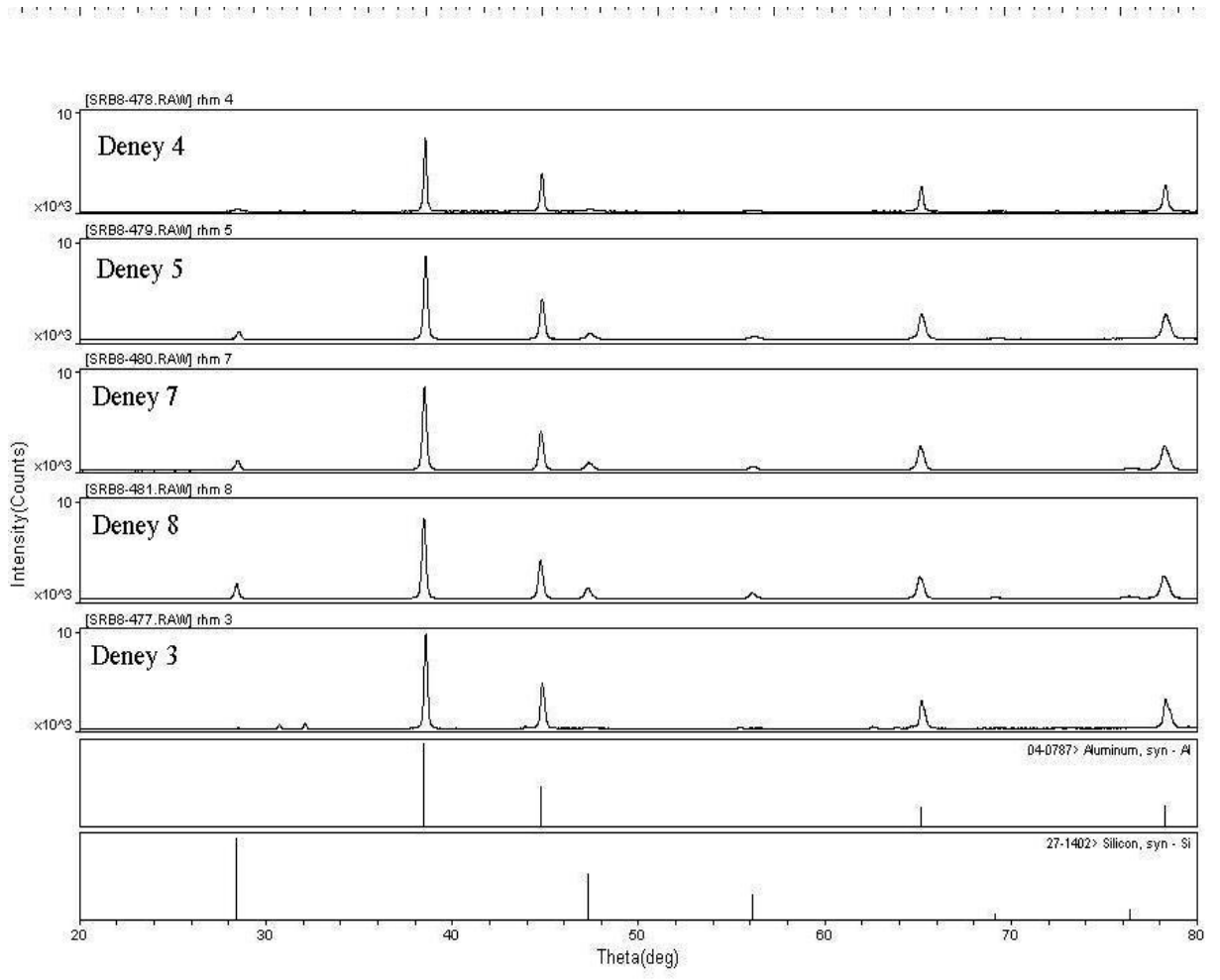


Şekil 6.16 8. deneyde elde edilen tozların mikroyapısı.

Şekil 6.15'de görüldüğü gibi toz tanelerinin kenarlarında Si taneleri birikmiştir.

6.5 Tozların XRD Grafiği

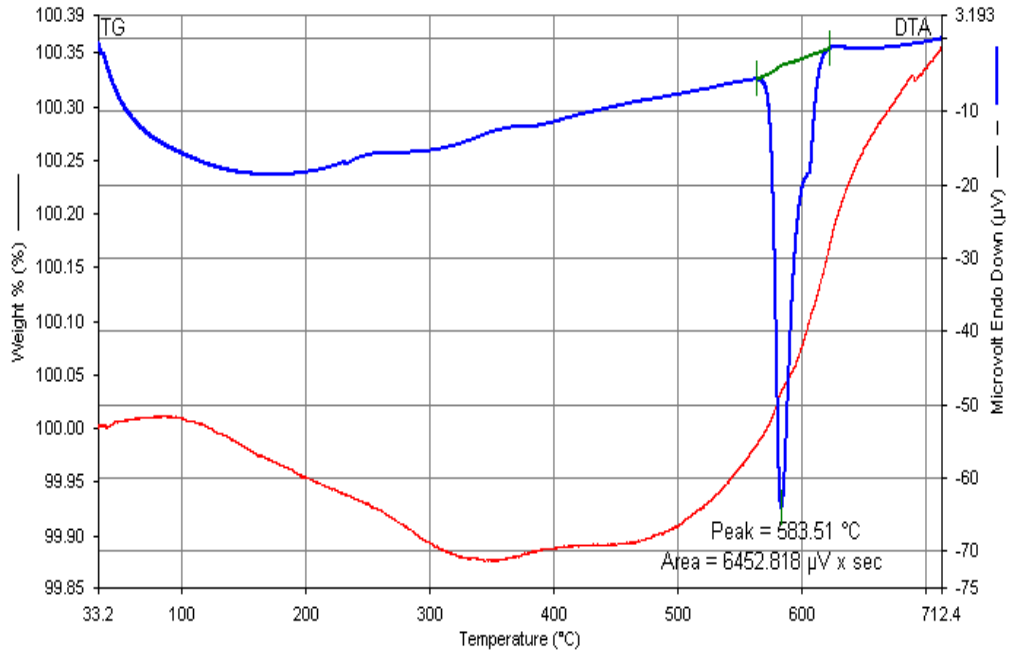
Tozlardan alınan XRD sonucu Şekil 6.17’de verilmiştir. Tozların Al ve Si fazlarına sahip olduğu ve farklı bir faz meydana gelmediği görülmüştür.



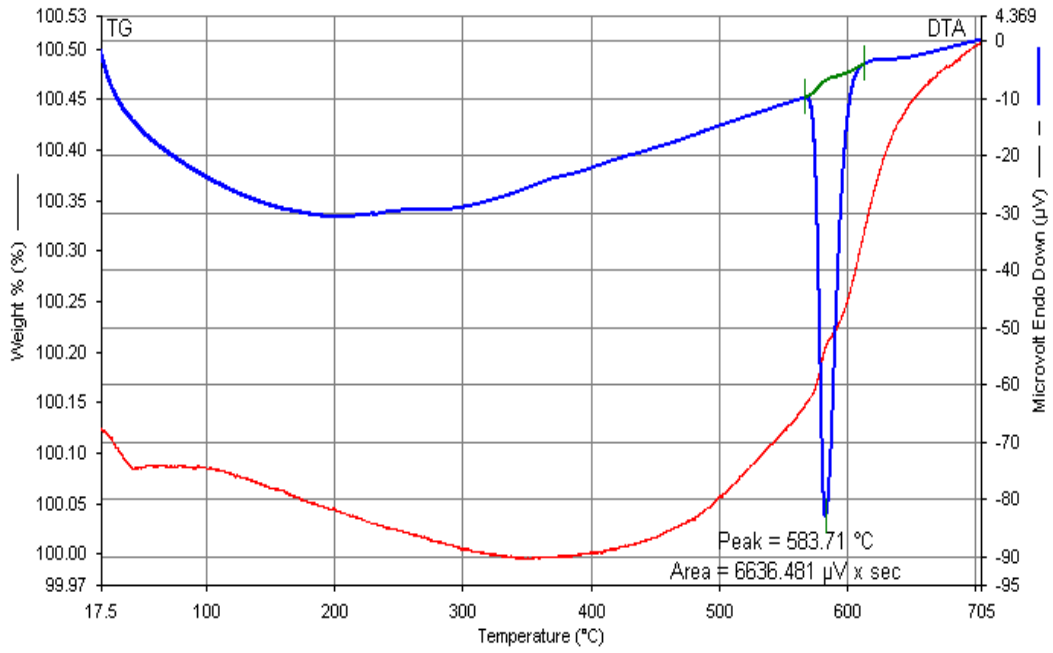
Şekil 6.17 Tozların XRD grafiği.

6.6 Tozların DTA ve TG Analiz Değerleri

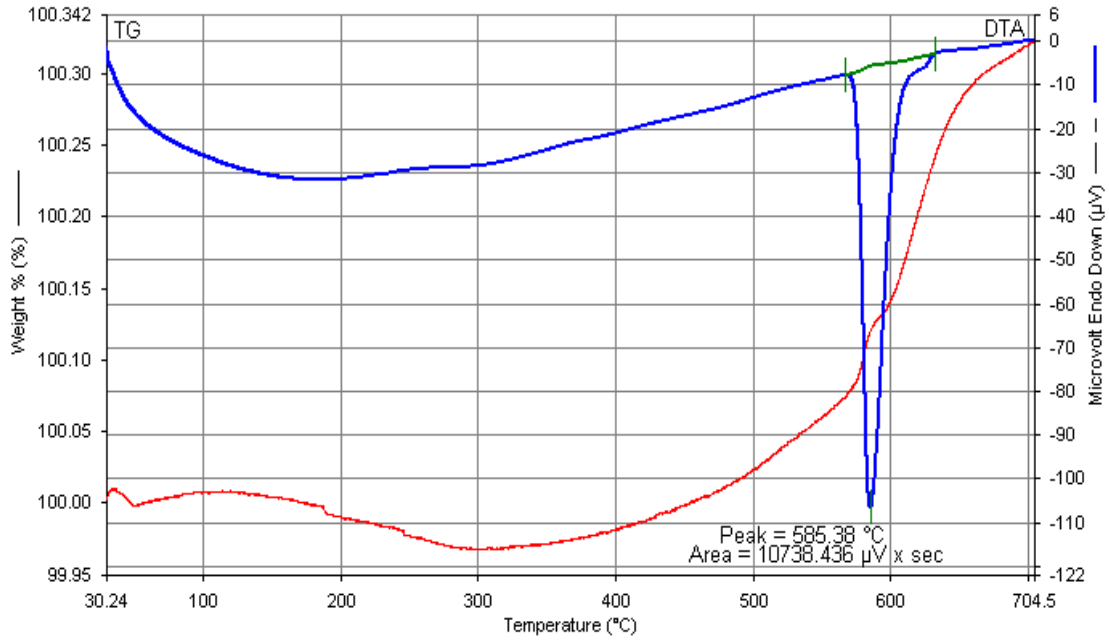
Üretilen tozların her biri için yapılan DTA analizi grafikleri Şekil 6.18-6.22'de verilmiştir.



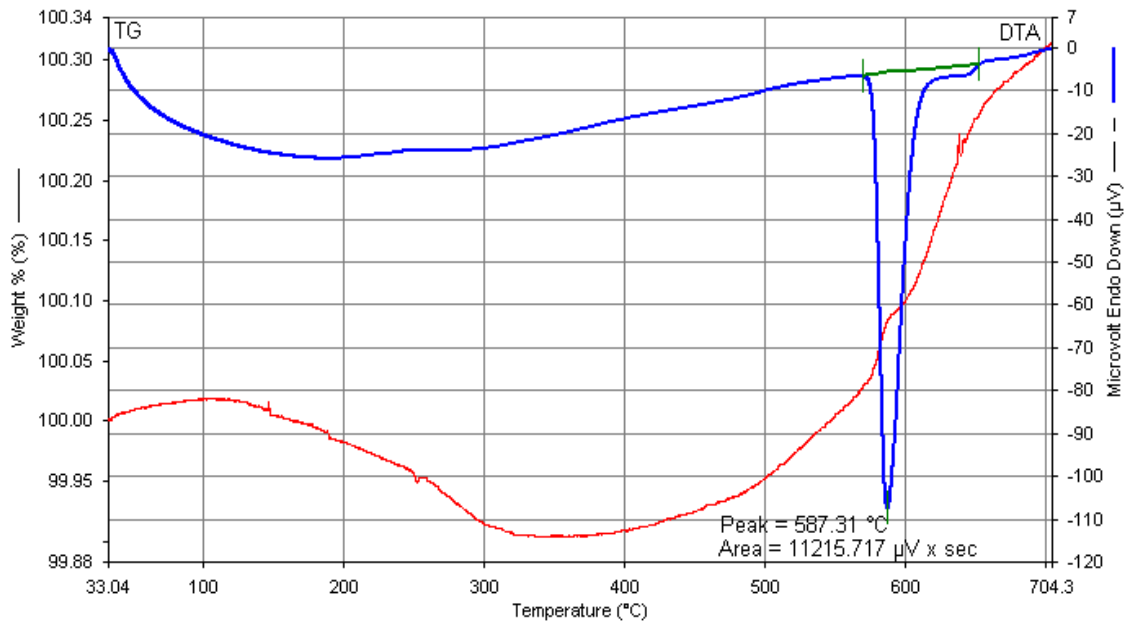
Şekil 6.18 3. deneyin DTA/TG analizi.



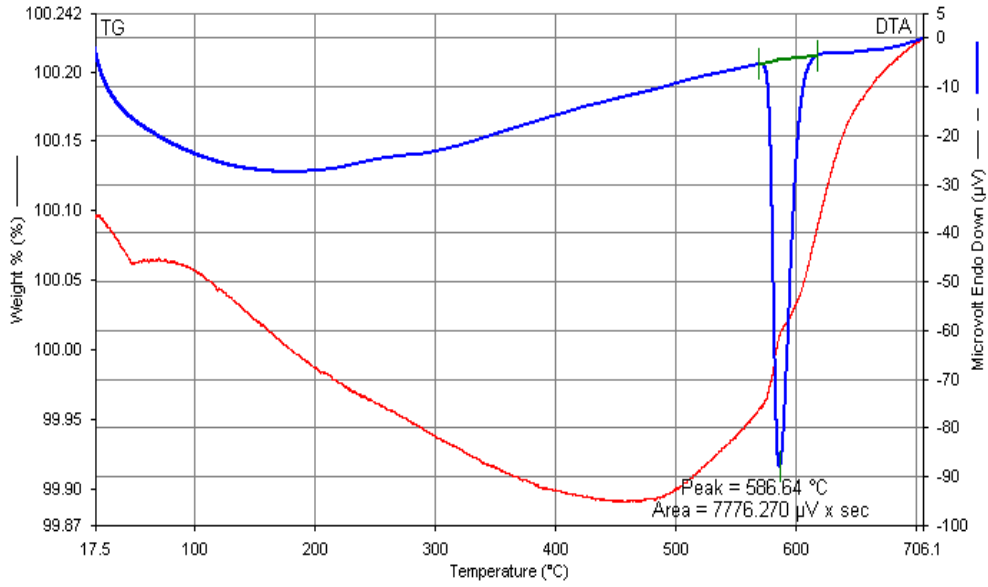
Şekil 6.19 4. deneyin DTA/TG analizi.



Şekil 6.20 5. deneyin DTA/TG analizi.

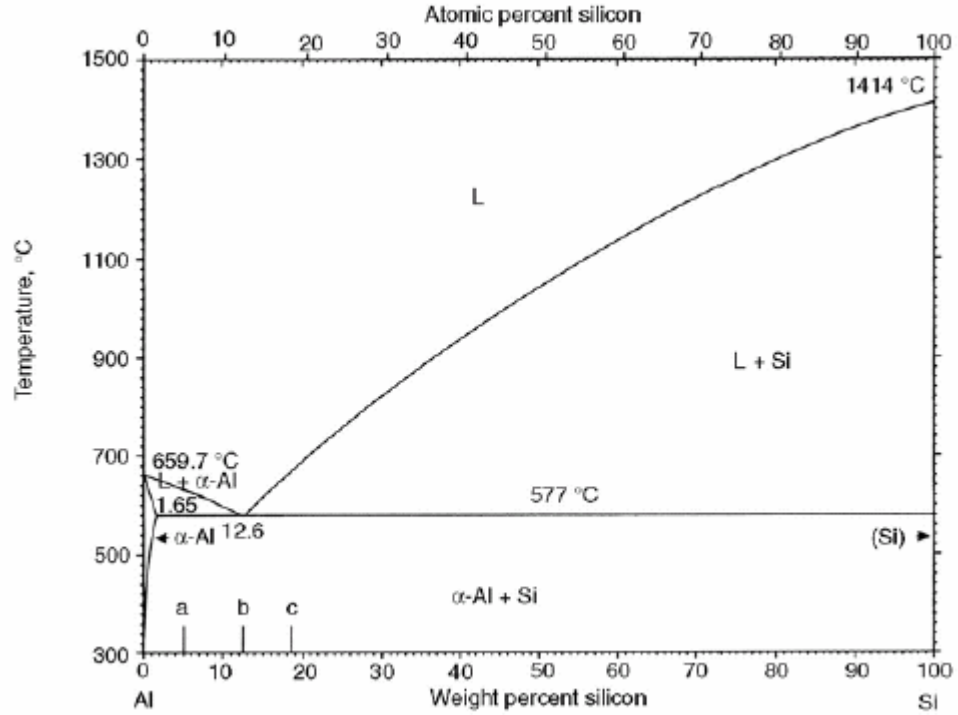


Şekil 6.21 7. deneyin DTA/TG analizi.



Şekil 6.22 8. deneyin DTA/TG analizi.

Yukarda gösterilen DTA/TG grafik analizlerinde Etial A171 ve master alaşım Etial A140 malzemesi kullanılmış ve tüm alaşımlarda ergime noktasına kadar hiçbir faz oluşmadığı görülmüştür. Al-Si faz diyagramında ötektik noktası silisyum oranına göre değişmekte ve ergime sıcaklıkları biraz daha artmaktadır. Ancak analize başladıktan sonra analiz sonucunda kütle kazanımı olmuştur. Kütle kazanımının nitrürlenme oluşumundan meydana geldiği tahmin edilmektedir.

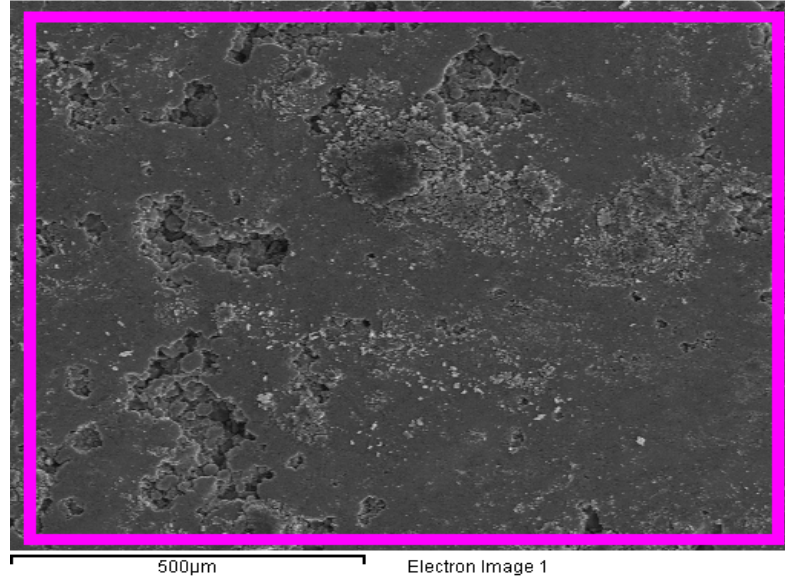


Şekil 6.23 Al-Si faz diyagramı.

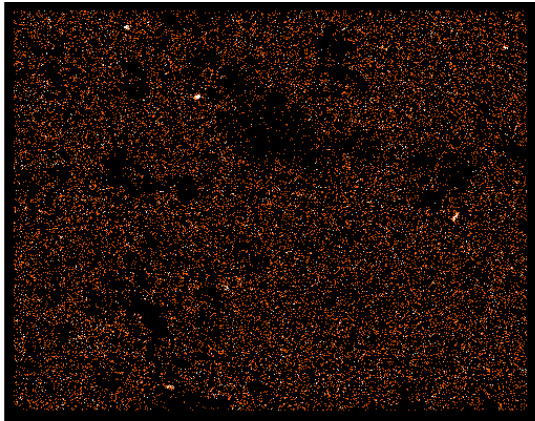
Şekil 6.23’de gösterilen Al-Si faz diyagramına göre 577 °C ötektik noktası, alüminyumun ergime sıcaklığı 660 °C, silisyumun ergime sıcaklığı ise, 1414 °C. Katılma çizgisinde alüminyum hiçbir sıcaklıkta silisyumu çözmez bunun anlamı β fazı bulunmamaktadır. Yapılan incelemelerde Al ve Si fazlarının yapıda çok küçük ve homojen bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir.

6.7 Kütle Mikroyapıları

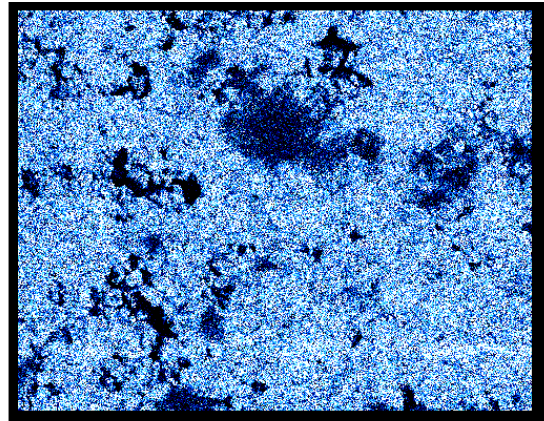
SEM ile yapılan incelemelerde elde edilen resimler şekil 6.24-6.28’de verilmiştir. 3, 4 ve 5 nolu deneylerde püskürtme şekillendirme ile oluşturulan kütlelerin içindeki silisyumun alüminyum matris içinde oldukça homojen dağıldığı görülmüştür. 7. deneyde oluşan kütle içindeki silisyumun alüminyum matris tam çözünemediği ve homojen olarak dağılamadığı belirli kısımlarda daha yoğun olduğu görülmüştür. 8. deneyde oluşturulan kütlelerin içindeki silisyumun alüminyum matris içinde homojen olarak değil, aksine belirli kısımlarda gruplar halinde toplanmıştır.



(a)



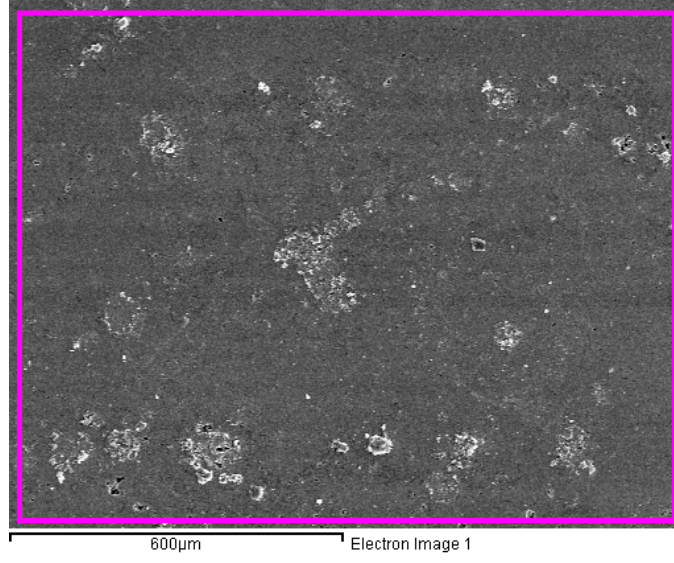
(b)



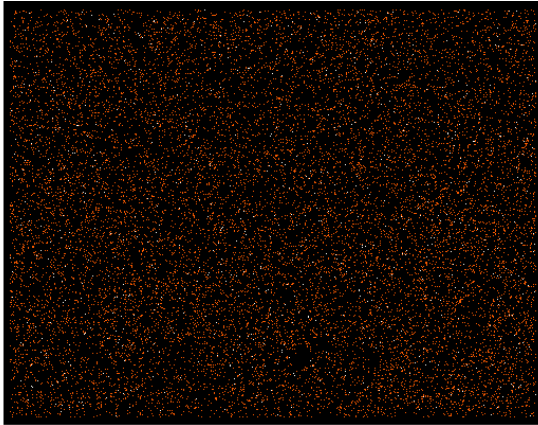
(c)

Şekil 6.24 3.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:

a) Analiz yapılan bölge **b)** Si dağılımı **c)** Al dağılımı

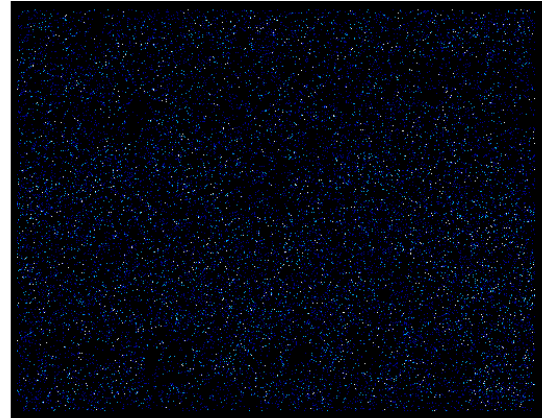


(a)



Si Ka1

(b)

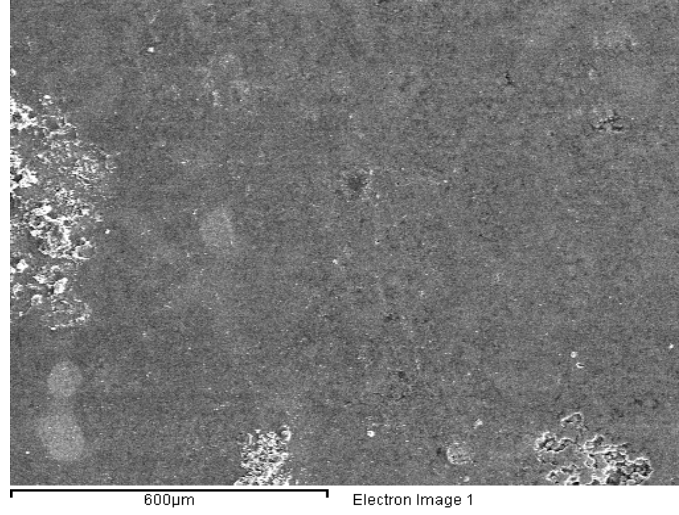


Al Ka1

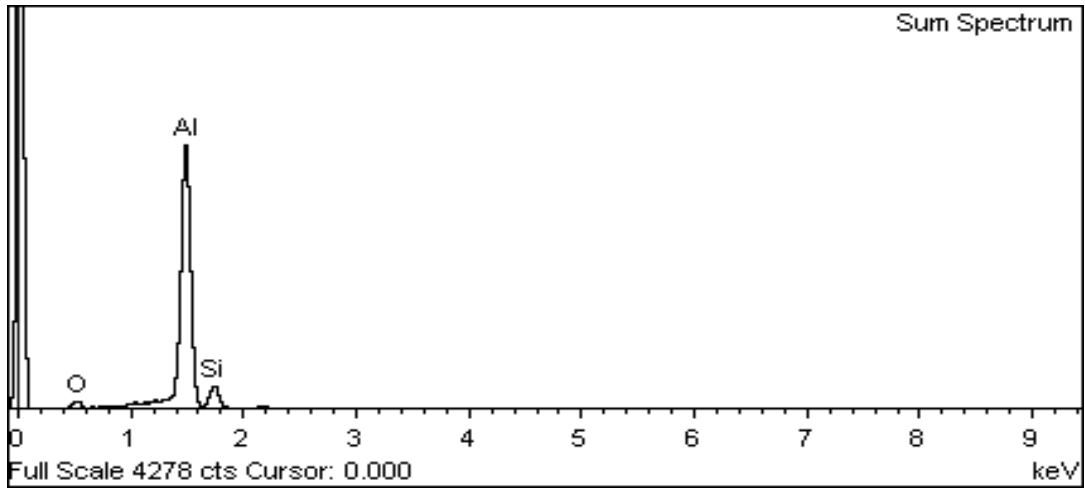
(c)

Şekil 6.25 4.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:

a) Analiz yapılan bölge **b)** Si dağılımı **c)** Al dağılımı



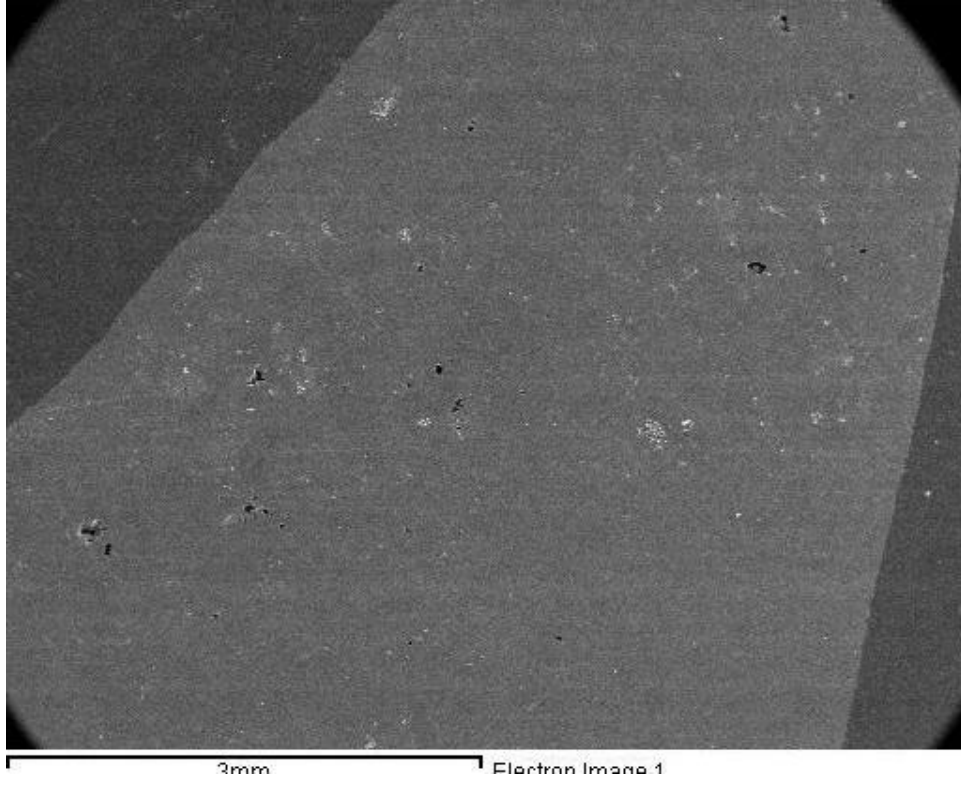
(a)



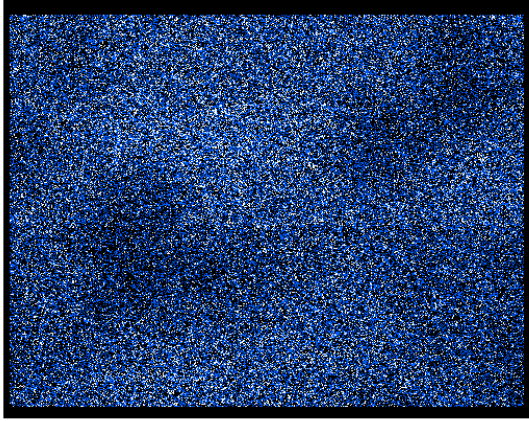
(b)

Şekil 6.26 3.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:

a) Analiz yapılan bölge **b)** Elementlerin alaşım içindeki dağılımı

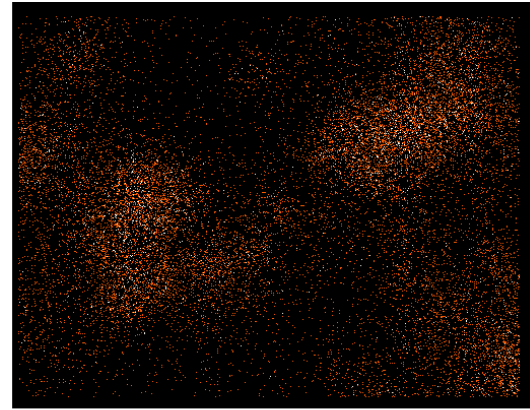


(a)



Al Ka1

(b)

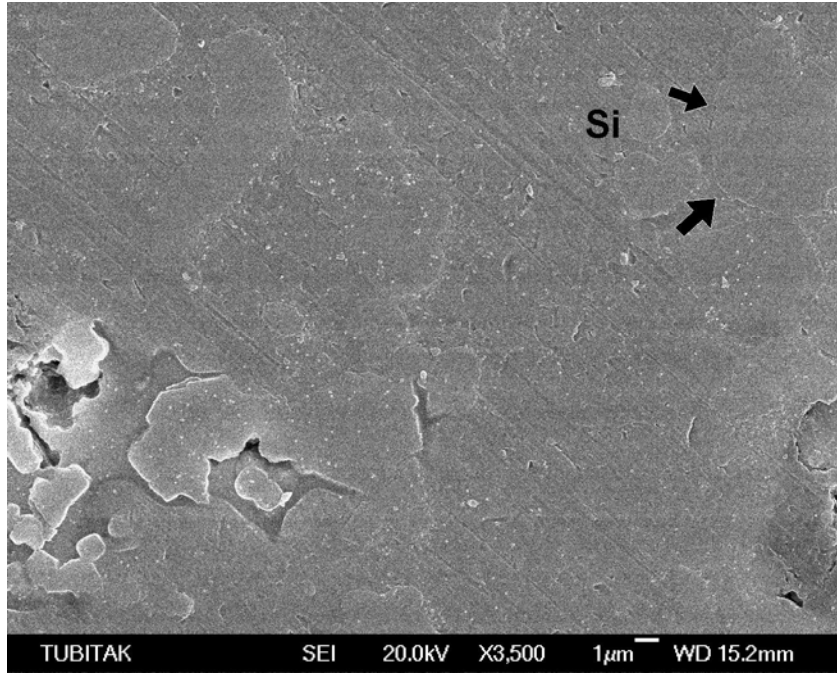


Si Ka1

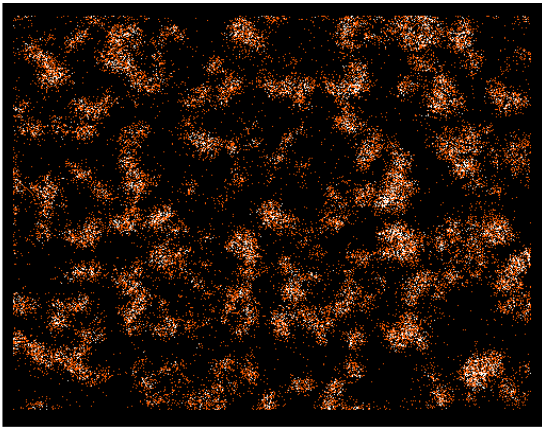
(c)

Şekil 6.27 7.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:

a) Analiz yapılan bölge b) Al dağılımı c) Si dağılımı

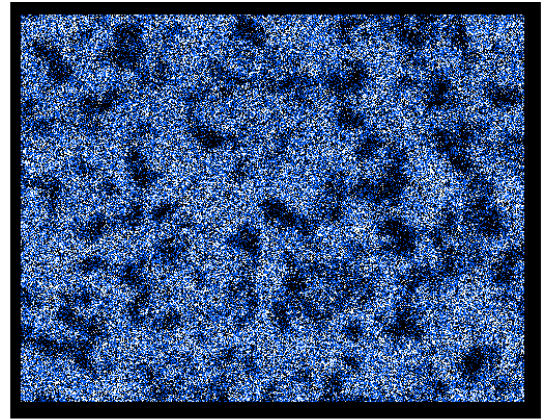


(a)



Si Ka1

(b)



Al Ka1

(c)

Şekil 6.28 8.deneyde püskürtme şekillendirme ile üretilmiş kütlenin görüntüsü:

a) Analiz yapılan bölge b) Si dağılımı c) Al dağılımı

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

1. Tozların morfolojik incelemesinde üretilen azot atomize alaşım tozlarının küçük olanlarının küresel şekle sahip, iri tozların ise karışık şekilde olduğu gözlemlenmiştir.
2. Küçük boyutlu tozlarda düzgün ve pürüzsüz toz yüzeyleri, daha iri tozlarda ise hücrel ve dendritik katılma yüzey yapısı gözlemlenmiştir.
3. Atomizasyon ünitesi içindeki biriktirme yapılan diskte tozlardan oluşturulan kütlede yoğunluğun, kütlenin merkezine doğru daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
4. Biriktirme yapılan disk düşey ekseninde hareket ettiğinde daha geniş çaplı malzeme biriktiği ve oluşan kütlenin yüksekliğinin daha kısa olduğu görülmüştür.
5. PŞ ile üretilen kütlenin ve tozun içindeki Si partiküllerinin yapı içerisinde çok küçük ve homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir.
6. Yapılan 5 deneyin DTA/TG analizi göz önüne alındığında kütlede çok az da olsa bir artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ise atomizasyonda kullandığımız azot gazının alüminyumla reaksiyona girerek nitrülenmeye sebebiyet vermesidir.

7.2 Öneriler

1. DTA/TG analizine bakıldığında kütle artışı görülmüştür. Bu kütle artışını, atomizasyon gazı azot yerine helyum ya da argon gazı kullanılabilir. Ancak maliyette göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Gurganus, T. B., 1995, Aluminum powder applications, *Advanced Materials and Processes*, Cilt.148, No:2, 57-58 p.
- [2] German, R.M., 2007, Toz metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Türk Toz Metalurji Derneği yayını, Ankara.
- [3] Çetinkaya, S., Oktay, E., 2005, Ön alaşımlı demir tozlarına karbon katkısının sinterleme sonrası mekanik özelliklere etkisi, 4. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 1130-1140 s.
- [4] Möller, J., 2005, High pressure gas atomization.
- [5] Ünal, R. and Kainer, K. U., Production of high strenght Al-Mg-Sc alloys by PM, *Powder Metallurgy*, Vol 41, No.2, 119-122 p.
- [6] Lawley, A., 1992, Atomisation: The production of metal powders, *Metal Powder Industries Federation*, Princeton, New Jersey, USA.
- [7] Biancaniello, F. S., etial, 1990, Particle size measurement of inert gas atomized powder, *Mater. Sci. and Eng.*, 124, 9-14 p.
- [8] Lawley, A., 1996, The science, technology and applictions of spray forming, 1. Ulusal toz metalurjisi konferansı kitabı, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-19 s.
- [9] Singer, A. R. E., 1970, The principles of spray rolling of metals, *Metall Mater*, 4, 246-250 p.
- [10] Brooks, R. G, Moore C., Leatham A. G., Coombs J. S., 1977, Osprey process, *Powder Metallurgy*, 2: 100-102 p.
- [11] Leatham, A., 1999, Introduction to spray forming: alloys, products, and markets, 4th ICSF, Baltimore, A.B.D., 1-13 p.
- [12] Lavernia, E., Gutierrez-Miravete, E., And Trapaga, G., 1988, Heat transfer and solidification behaviour during spray atomisation and deposition of low carbon steels, *Modern Developments in Powder Metallurgy*, 19: 457-473 p.
- [13] Ha, T. K., Park, W. J., Ahn, S. and Chang, Y. W., 2002, Fabrication of spray-formed hypereutectic Al-25Si alloy and its deformation behavior, *Journal of Materials Processing Technology*, 130-131, 691-692 p.
- [14] Müller, H. R., Ohla, K., Zauter, R., And, Ebner, M., 2004, Effect of reactive elements on porosity in spray-formed copper-alloy Billets, *Materials Science and Engineering A*, 383 (1): 78-80 p.
- [15] Takahara, T., 1995, Properties of al-high si alloys produced by spray forming process and its application, *EURO PM'95 Spray Forming*, Birmingham, 143-149 p.
- [16] Srivastava, V. C., Mandal, R. K., Ojha, S. N, 2001, Microstructure and mechanical properties of Al-Si alloys produced by spray forming process, *Materials Science and Engineering A*, 304-306, 555-558 p.
- [17] Patrick, G., Ian, P., Ian S., 1999, *Materials world*, vol., 7 no. 6 , June, 331-33 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [18] German, R. M., 1994, Powder metallurgy science, 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, USA.
- [19] Chen X., Yang C., Guan L., Yan B., 2008, TiB₂/Al₂O₃ ceramic particle reinforced aluminum fabricated by spray deposition; 52-58 p.
- [20] Dombrowski, N., and Johns, W.R., 1963, The aerodynamic instability and disintegration of viscous liquid sheets, Chemical Engineering Science, 18, 203-214 p.