

KALAY TOZU ÜRETİMİNE GAZ ATOMİZASYONU PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İbrahim USLAN ve Serdar KÜÇÜKARSLAN

Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe-Ankara
iuslan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 31.03.2008 ; Kabul/Accepted: 25.01.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, gaz atomizasyonu yöntemi ile kalay tozu üretimi gerçekleştirilerek üretim parametrelerinin toz özelliklerine etkileri, deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel olarak eşlemeli Mannesmann tipi nozul kullanılarak Yeni Gazi Gaz Atomizasyon Ünitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Atomizasyon gazı olarak hava kullanılmış ve 400 °C'ye aşırı ısıtılan kalay, 5-30 bar basınçlarda ve 2-8 mm çıkıntı mesafelerinde atomize edilmiştir. En ince tozlar ortalama toz boyutu 68,50 µm olarak, 3 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu ile 8 mm'lik çıkıntı mesafesinde ve 10 bar basınçta üretilmiştir. Elde edilen tozların genellikle karmaşık şekilli olduğu gözlenmiştir. 10 µm'den daha küçük boyutlu tozlar oldukça düzgün şekilli olup, yüzeyleri pürüzsüzdür. 100 µm'den daha büyük boyutlardaki tozlar ise çubuksu yapıda ve hücresel yüzey yapısına sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Gaz atomizasyonu, nozul, yakından eşleme, kalay tozu.

AN INVESTIGATION ON THE EFFECT OF GAS ATOMISATION PARAMETERS ON TIN POWDER PRODUCTION

ABSTRACT

In this study, the effects of production parameters on gas atomised tin powder properties have been investigated experimentally. The experiments have been done in The New Gazi Gas Atomisation Unit by using close-coupled Mannesmann type of nozzle. Air has been used as the atomisation gas and tin heated up to 400 °C has been atomised between 2 and 8 mm of protrusion lengths and 5 and 30 bar of pressures. The smallest powders have been produced under the pressure of 10 bars by using the melt delivery tube with 3 mm inner diameter and 8 mm protrusion length and mean powder size has been measured as 68,50 µm. The produced powders have generally irregular shapes. The powders smaller than 10 µm in size have more spherical shape and smooth surface. However the powders coarser than 100 µm have ligamental shape and cellular surface structure.

Keywords: Gas atomisation, nozzle, close-coupled, tin powder.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metal tozu üretim teknikleri içerisinde, ince ve küresel tozlar elde etmede en yaygın olarak kullanılan yöntem gaz atomizasyonu yöntemidir [1]. Bu yöntemde gaz cinsi, gaz basıncı, gaz ve sıvı metal akış debileri ile nozul geometrisi gibi üretim parametreleri tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Gaz atomizasyonunda, sıvı metal demetini parçalamak için basınçlı akışkan olarak hava, azot, argon ve helyum gibi gazlar kullanılabilir. Nozul, akışkanın hızını arttıran basınçlı düşüren geometrik yapıdır. Nozul geometrisi, gaz akışını kontrol ettiği için atomizasyon

işleminde son derece önemlidir. Nozul tasarımı ve geometrisini değiştirerek toz boyutu ve dağılımını kontrol etmek mümkündür [2]. Yüksek basınçlar gazın enerjisini artırarak, aşırı ısıtma ise ergiyiğin viskozitesini düşürerek, daha küçük boyutlu toz üretilmesini sağlarlar [3]. Ancak bu her zaman ekonomik olmayabilir. Bu nedenle verimli bir atomizasyon ve ince tozların üretimi için yakından eşlemeli nozullar kullanılmaktadır [4]. Serbest düşmeli atomizasyon sistemlerinde sıvı metal, yerçekimi etkisi altında potanın yaklaşık ~50-200 mm aşağısına düştükten sonra, yakından eşlemeli nozullarda ise akış borusunun hemen uç kısmında basınçlı gaz ile buluşur [5, 6]. Ancak,

yakından eşlemeli nozullarda sıvı metal akış borusu ucundaki metalin donmasına engel olmak için sıvı metal akış borusunun ısıtılması gerekir [7]. Ünal [8] tarafından nozul geometrisinin yakından eşlemeli nozullara etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada metal akış borusu ucunun nozula olan mesafesi olan çıkıntı yüksekliğinin 3 ve 8 mm olan değerleri 5 mm'ye göre daha kaba tozlar üretmiştir. Aksoy ve Ünal [9] daralan/genişleyen tasarıma sahip yakından eşlemeli nozul ile üretilen azot atomize kalay tozu özelliklerine gaz basıncı ve çıkıntı yüksekliğinin etkisini incelemişler ve küçük çıkıntı yüksekliğinde gaz basıncı ve debisi sabit olduğu halde gaz/sıvı metal debi oranında gerçekleşen artış nedeniyle daha küçük boyutlu tozlar üretildiğini belirtmişlerdir. Metz vd. [10] ise azot atomize kalay tozu boyut dağılımı ve morfolojisini incelemişler, artan gaz basıncında veya debisinde daha dar boyut dağılımına sahip tozlar üretildiğini bildirmişlerdir. Ünal [11], yakından eşlemeli ses üstü nozul sistemi kullanarak azot atomize kalay tozu üretimi gerçekleştirmiş ve 5-15 mm çıkıntı yüksekliklerinde 1-3,5 MPa gaz basınçları için sıvı metal akış borusu ucunda negatif veya pozitif basınç oluşturan üretim parametrelerini belirlemiştir. Aydın [12] tasarım ve imalatını yaptığı, nozul alanı ve açısı gibi temel parametreleri birbirinden farklı, daralan/ genişleyen geometriye sahip iki nozula ait parametrelerin azot atomize kalay tozu özelliklerine etkisini araştırmış ve en küçük tozların 2,01 gaz/metal debisi oranında üretildiğini bildirmiştir. Achelis ve Unlenwinkel [13], sıvı metalin şiddetle karıştırılarak atomizasyon bölgesine gönderildiği bir nozul sistemi tasarlayarak azot atomize kalay tozu üretmişler ve bu sistemin alışılmış nozul sistemlerine göre daha düşük gaz debilerinde daha küçük boyutlu tozlar üretmişlerdir.

Bu çalışmada, yakından eşlemeli Mannesmann tipi daralan nozul sistemi kullanılarak, gaz atomize kalay tozu üretilmiş ve üretilen kalay tozunun özelliklerine üretim parametrelerinin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Yeni Gazi Gaz Atomizasyon Ünitesi (The New Gazi Gas Atomisation Unit)

Atomize kalay tozu üretimi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Toz Metalurjisi Laboratuvarı'nda geliştirilen Yeni Gazi Gaz Atomizasyon Ünitesi'nde (Şekil 1) gerçekleştirilmiştir [2]. İri tozlar atomizasyon kulesinin altındaki toplama kabında; ince tozlar ise siklonda tutulmaktadır. Kule, toplama kabı ve siklon paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Atomizasyon çalışmaları önce ünitenin gaz, nozul ve ergitme bölümlerine ait eksiklikler giderilmiştir. Bu amaçla ergitme potası ile ara bağlantı elemanlarının tasarımı ve imalatı yeniden yapılmış ve bütün gaz bağlantıları tamamlanarak atomizasyon sistemi çalışır hale getirilmiştir. Gaz sisteminde 150 bar işletme basıncına sahip altı adet paralel bağlı tüp kullanılmıştır.



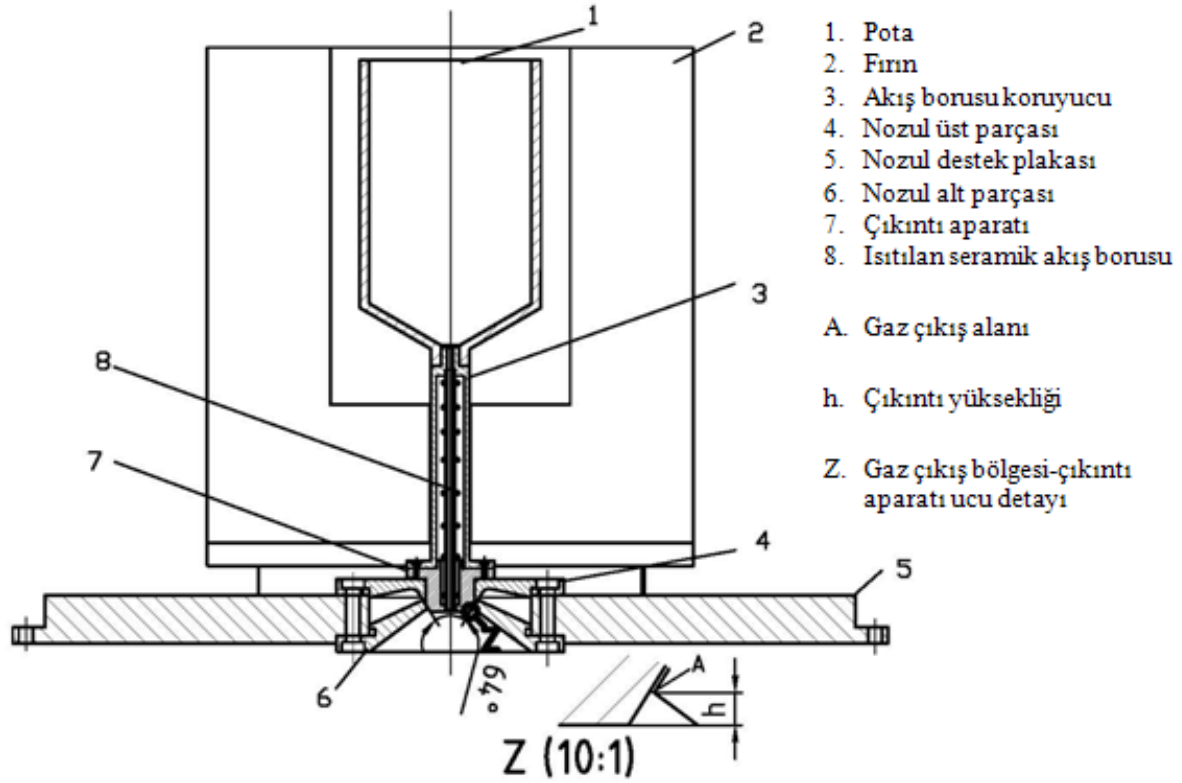
Şekil 1. Yeni Gazi Gaz Atomizasyon Ünitesi (The New Gazi Gas Atomisation Unit)

Atomizasyon gazı olarak hava kullanıldığından, 225 bar sıkıştırma basıncına sahip Bauer marka kompresör ile tüplere kuru hava doldurulmuştur. Ergitme işlemi, atomizasyon kulesi üzerindeki fırın içerisine yerleştirilmiş pota içerisinde yapılmıştır. Metal akışını kontrol edebilmek için potanın içerisine el ile kontrol edilen açma-kapama çubuğu yerleştirilmiştir.

Bu çalışmada yakından eşlemeli 29 mm² çıkış alanına ve 64° çarpışma açısına sahip Mannesmann tipi daralan nozul sistemi kullanılmıştır. Ergimiş metal akışını sağlamak amacıyla pota-sıvı metal akış borusu-çıkıntı aparatlarının tasarım ve imalatı gerçekleştirilerek, nozul ile olan bağlantıları sağlanmıştır (Şekil 2).

2.2. Atomizasyon Çalışmaları (Atomisation)

Her bir atomizasyon çalışması için ergitilen yaklaşık 400 gram saf kalay metali, 400 °C'ye aşırı ısıtılmıştır. Atomizasyon gazı olarak hava kullanılmıştır. Yakından eşlemeli nozullarda sorun oluşturan sıvı metal akış borusu ucunda metal donmasını önlemek amacıyla, seramik boru dirençle ısıtılmıştır. Gaz basıncı, basınç ayar vanası ile istenilen basınç değerlerine ayarlandıktan sonra açma-kapama çubuğu kaldırılarak ergimiş kalayın akışı başlatılmış ve atomizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Atomizasyon kulesi bağlantı noktalarından sökülerek, toz toplama kabından ve siklondan alınan tozlar 250 µm'lik elekten elenmiştir. Her deneyden sonra toz toplama kabı, siklon ve kule iç yüzeyine yapışan tozlar bezle silinerek temizlenmiş ve bir sonraki deney için ünite hazırlanmıştır. Her bir deney için atomizasyon değişkenleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Nozul-çıkıntı aparatı-akış borusu montajı şematik gösterimi (View of the assembly of nozzle-protrusion apparatus-melt flow tube schematically)

Tablo 1. Atomizasyon değişkenleri (Atomisation parameters)

Deney no	Gaz basıncı P (bar)	Sıvı metal akış borusu çapı d (mm)	Çıkıntı yüksekliği h (mm)
1	5	3	8
2	10	3	8
3	5	3	6
4	5	4	6
5	10	4	6
6	20	4	6
7	30	4	6
8	5	4	4
9	10	4	4
10	20	4	4
11	5	4	2
12	10	4	2
13	20	4	2

2.3. Toz Boyutu Analizi (Particle Sizing)

Tozlarının boyut analizi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Toz Metalurjisi Laboratuvarında bulunan Malvern Mastersizer E lazerle parçacık boyutu ölçme cihazında yapılmıştır.

2.4. Taramalı Elektron Mikroskop Çalışmaları (Scanning Electron Microscopy)

Üretilen hava atomize kalay tozlarının şekil ve yüzey morfolojisi çalışmaları ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde JEOL JSM-6400 taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılarak yapılmıştır.

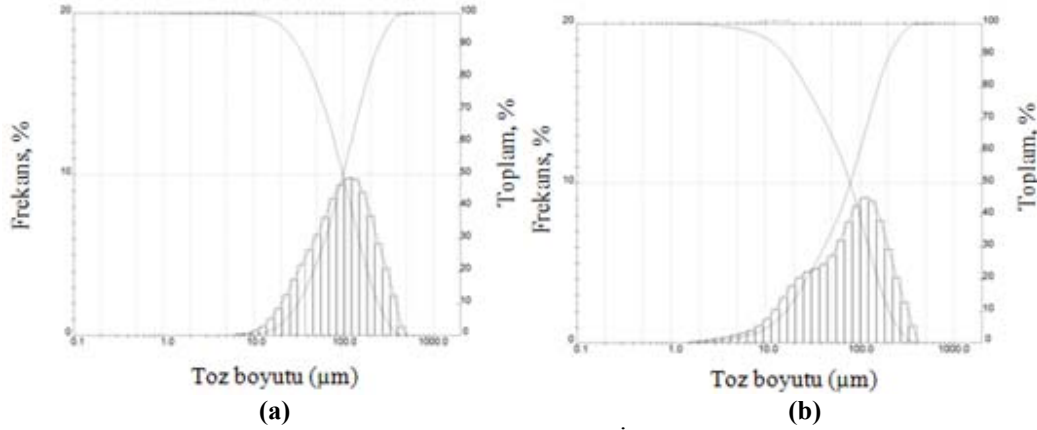
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Toz Boyutu ve Dağılımı (Particle Size and Distribution)

Farklı atomizasyon değişkenleriyle üretilen tozlara ait boyutlar incelendiğinde (Tablo 2), ortalama toz boyutunun 68,50 μm ile 134,57 μm boyut aralığında değiştiği görülmüştür. Gaz basıncı temel bir parametre olmamakla beraber aynı nozul geometrisinde, gazın debisi ve hızını etkilediğinden dolayı toz boyutu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basınç artışı, sıvı metale daha yüksek enerjinin aktarılmasını sağlayarak, daha küçük ortalama toz boyutuna sahip metal tozu üretimini sağlamıştır. 3 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak 8 mm'lik çıkıntı ile 5 ve 10 bar gaz basınçlarında yapılan deneylerde,

Tablo 2. Toz boyutları (Particle sizes)

Deney no	d_{50} (μm)	d_{10} (μm)	d_{90} (μm)
1	132,03	42,94	466,11
2	68,50	22,06	458,75
3	113,79	30,77	537,87
4	99,03	30,98	246
5	96,71	22,19	544,60
6	79,20	16,39	205,89
7	----	----	----
8	105,65	35,25	264,15
9	95,75	23,41	505,75
10	----	----	----
11	134,57	35,86	463,80
12	108,70	23,63	466,75
13	----	----	----



Şekil 3. Toz boyut dağılımı a) Log-normal dağılım, Deneysel 4 b) İki modlu, Deneysel 6 (Particle size distribution a) Log-normal distribution, Run no. 4 b) Bimodal, Run no. 6)

ortalama toz boyutları sırasıyla 132,03 µm ve 68,50 µm olarak ölçülmüştür. 4 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak yapılan deneylerde ise, 6 mm'lik çıkıntı için 5, 10 ve 20 bar gaz basınçlarında elde edilen ortalama toz boyutları sırasıyla 99,03 µm, 96,71 µm ve 79,20 µm; 4 mm'lik çıkıntı için 5 ve 10 bar gaz basınçlarında elde edilen ortalama toz boyutları 105,65 µm ve 95,75 µm; 2 mm'lik çıkıntı için ise 5 ve 10 bar gaz basınçlarında elde edilen ortalama toz boyutları 134,57 µm ve 108,70 µm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalara paralel olarak, gaz basınçlarındaki artışın ortalama toz boyutunu küçülttüğünü göstermiştir. Ancak 2 mm'lik ve 4 mm'lik çıkıntılar için 20 bar gaz basıncında, 6 mm'lik çıkıntı için ise 30 bar gaz basıncında meydana gelen geri basınç oluşumu nedeniyle sıvı metal akış borusu ve nozul çıkıntı ucunda katılaşma olmuş ve toz boyutlarıyla ilgili herhangi bir ölçüm yapılamamıştır.

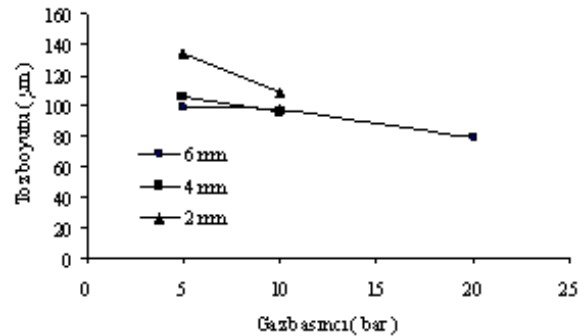
Sıvı metal akış borusu çapındaki değişim sıvı metal film kalınlığını, dolayısıyla da gaz ile sıvı metal arasındaki ısı transferini etkiler. Daha büyük çaptaki sıvı metal demeti, birincil bölünme esnasında oluşan damlacıkların boyutunu daha büyük yapar ve böylece daha iri tozlar elde edilir. Ancak çalışmalarımızda 3 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak 6 mm'lik çıkıntı ile 5 bar gaz basıncında yapılan deneyde, ortalama toz boyutu 113,79 µm iken; 4 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak 6 mm'lik çıkıntı ile 5 bar gaz basıncında yapılan deneyde, ortalama toz boyutu 99,03 µm olarak ölçülmüş ve elde edilen değerlerin yukarıda bahsedilen durumla uyuşmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun, 3 mm iç çapa sahip akış borusu ile 5 bar gaz basıncında yapılan deneyde çıkıntı ucunda meydana gelen metal yığılması nedeniyle elde edilen toz miktarının az olması ve dolayısıyla tam olarak temsil edici bir boyut ölçümü yapılamamasından kaynaklandığı ifade edilebilir.

Toz boyutu analiz raporlarından elde edilen dağılım eğrilerinden, yakından eşlemeli Mannesmann tipi nozul sistemi ile üretilmiş hava atomize kalay

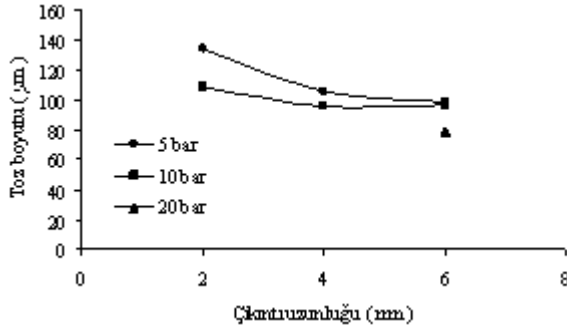
tozlarının bazı deneyler için logaritmik normal dağılım göstererek bir çan eğrisi oluşturdukları (Şekil 3.a), bazı deneyler için ise iki modlu (Şekil 3.b) dağılıma sahip oldukları gözlenmiştir. Gaz atomize metal tozlarının iki veya daha fazla modlu değişim göstermelerine sebep olarak ileri sürülen çeşitli görüşler mevcuttur. Ünal [14], ikincil bölünme sonucu elde edilen ince tozlarla, bu aşamayı tamamlayamamış iri tozların iki ayrı grup oluşturularak boyut dağılımını iki modlu yaptığını belirtmiştir. Stone ve Tsakirpoulos [15] ise, atomizasyon bölgesinde meydana gelen emişin, sıvı metal debisini etkilediğini ve damlacık dağılımını büyük boyutlara doğru kaydırabildiğini, böylece atomizasyonda çok yaygın olan benzer olayların iki veya daha fazla modlu boyut dağılımlarına sebep olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Gaz basıncı ve çıkıntı yüksekliğinin ortalama kalay tozu boyutuna etkileri Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Gaz basıncındaki artış, toz boyutunu küçültmektedir (Şekil 4). Basınç artışı, sıvı metale daha yüksek enerjinin aktarılmasını sağlayarak, daha küçük ortalama toz boyutuna sahip metal tozu üretimine imkân vermektedir.

Çıkıntı mesafesi arttıkça toz boyutu küçülmektedir. (Şekil 5). 4 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak 2, 4 ve 6 mm'lik çıkıntılar ile yapılan deneylerde en küçük ortalama toz boyutu, 6 mm'lik



Şekil 4. Ortalama kalay tozu boyutunun gaz basıncı ile değişimi. d = 4 mm (Effect of gas pressure on the mean particle size of tin powders)



Şekil 5. Ortalama kalay tozu boyutunun çıkıntı mesafesi ile değişimi, $d = 4$ mm (Effect of protrusion height on the mean particle size of tin powders)

çıkıntı ile 20 bar gaz basıncında $79,20 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. 5 bar gaz basıncıyla yapılmış deneylerde, 6 mm çıkıntı uzunluğu için $99,03 \mu\text{m}$ ortalama boyutlu tozlar üretilmişken, bu boyut 4 ve 2 mm çıkıntı uzunlukları için sırasıyla $105,65 \mu\text{m}$ ve $134,57 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 3 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak, 6 ve 8 mm'lik çıkıntılar ile 5 bar gaz basıncında yapılan deneylerde ise ortalama toz boyutları sırasıyla $113,79 \mu\text{m}$ ve $132,03 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüş ve elde edilen bu değerlerin de yukarıda bahsedilen durumla uyuşmadığı tespit edilmiştir. Yine bu duruma sebep olarak, 3 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak 6 mm'lik çıkıntı ile 5 bar gaz basıncında yapılan deneyde, çıkıntı aparatı ucunda meydana gelen metal yığılması nedeniyle elde edilen toz miktarının az olması ve tam olarak temsil edici bir boyut ölçümü yapılamaması gösterilebilir.

Dunkley'in [16] yakından eşlemeli nozullarla ilgili önemli bir sorun olarak bildirdiği nozulda metal yığılması, özellikle 20 bar ve üzeri basınçlarda karşılaşılan bir durum olmuştur (Şekil 6). Özellikle yüksek basınç değerlerinde ($h=2$ ve 4 mm için 20 bar, $h=6$ mm için 30 bar) sıvı metal debisinde düşmeye sebep olan geri basınç oluşumu nedeniyle, nozul çıkıntısı ucunda metal yığılmaları meydana gelmiştir. Metal yığılması bazen sıvı metal çapının küçülmesine ve akışın iyice yavaşlamasına, bazen de sadece birkaç saniye akıştan sonra atomizasyonun tamamen durmasına sebep olmuştur. Bu durum; 30 atmosferin altındaki basınçlarda metal akış borusunun hiçbir konumunda geri basınç oluşumunun meydana gelmediğinin, bu değerlerin üstündeki basınçlarda ise, metal akış borusunun gaz çıkışına göre inme mesafesinin 6 mm'den daha az olması durumunda geri basıncın kaçınılmaz olduğunun belirtildiği Baram'ın [17] çalışması ile paralellik göstermektedir.

3.2. Toz Şekli ve Yüzey Yapısı (Particle Shape and Morphology)

Üretilen hava atomize kalay tozlarının SEM çalışmaları sonucu elde edilen genel görüntüleri incelendiğinde, tozların genellikle karmaşık şekilli olduğu görülmektedir (Şekil 7). $10 \mu\text{m}$ ve daha küçük boyutlu tozlarda



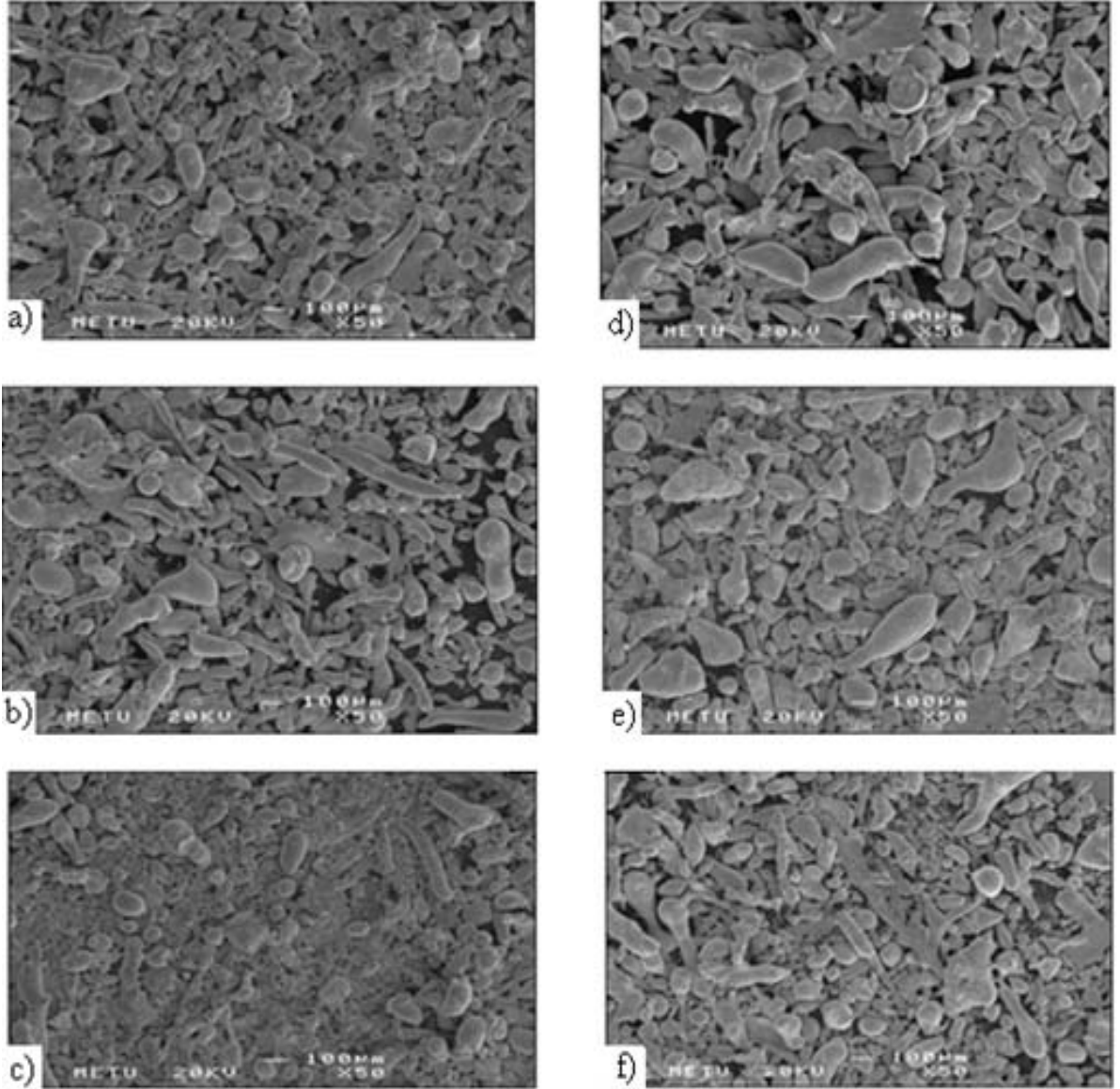
Şekil 6. Çıkıntı aparatı ucunda meydana gelen metal yığılması (Metal built up at the end of protrusion apparatus)

düzensiz şekiller ve pürüzsüz toz yüzeyi görülürken (Şekil 8.a); $100 \mu\text{m}$ ve daha büyük boyutlardaki tozlarda çubuksu bir yapı görülmüş ve hücreli yüzey yapısı belirginleşmiştir (Şekil 8.b). Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile uyum göstermektedir. Küçük tozlarda görülen yüzey düzgünlüğüne, soğuma hızındaki artışın tane boyutunu küçültmesi ve böylece hücreli-dendritik yapının belirginleşmemesi sebep olmaktadır. Yapılan atomizasyon çalışmalarında genellikle küçük boyutlu kalay tozlarının daha büyük tozlar üzerinde uydulaştıkları gözlenmiştir (Şekil 9.a). Uydulaşmalar, atomizasyon sırasında küçük tozların tamamen katılaşmamış büyük tozlarla çarpışması sonucu meydana gelir. Bu nedenle, büyük ve küçük parçacıkların katılaşma süreleri arasındaki fark ve farklı boyutlardaki damlacıkların atomizasyon gazının etkisiyle değişik oranlarda ivmelenmeleri uydulaşmada önemli bir etendir. Ayrıca damlacık-toz çarpışmasıyla oluşan sıvanmalar da görülmüştür (Şekil 9.b). Bu tip uydulaşmalar, katı bir tozun damlacık tarafından kısmen sıvanmasıyla veya birden fazla çok küçük tozun damlacık tarafından tamamen kaplanmasıyla oluşmaktadır.

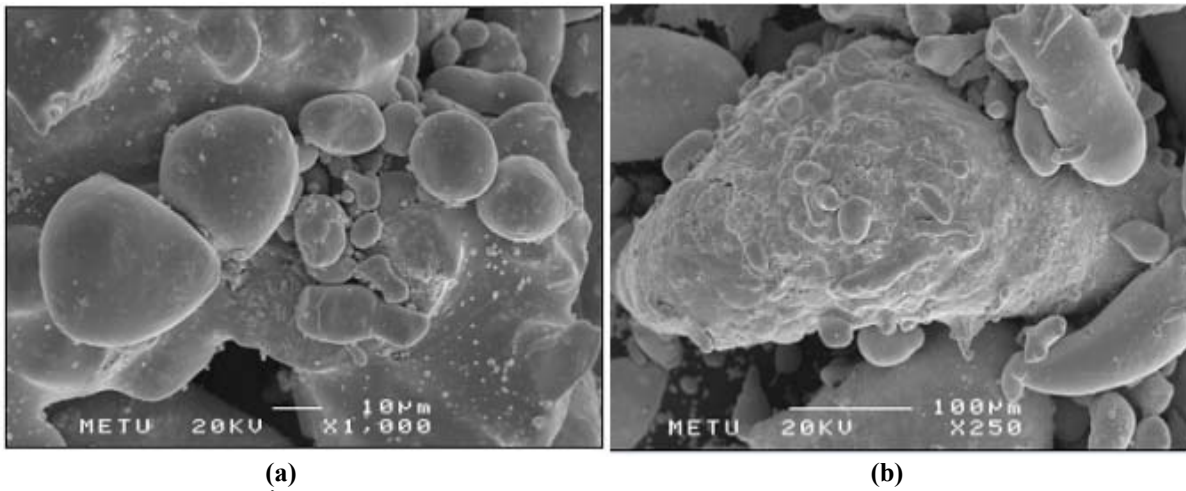
Şekil 10'da görüldüğü gibi sıvı metallerin gaz atomizasyon aşamalarını temsil eden bazı örneklere de rastlanmıştır. Şekil 10.a'da verilen yaklaşık $60 \mu\text{m}$ boyutundaki halter şekilli toz, ikincil bölünme aşamasını tamamlamış ancak üçüncü bölünme aşaması için yeterli süre bulamadan katılaşmıştır. Şekil 10.b'de ise birincil bölünme aşamasını tamamladıktan sonra katılaşmış için çubuk (ligament) halinde kalmış yaklaşık $500 \mu\text{m}$ boyutundaki hava atomize kalay tozu görülmektedir. Bu durum, birincil bölünmede yaklaşık olarak $500 \mu\text{m}$ çapındaki damlacıkların oluşmasının, daha ince tozların ise ikincil bölünmenin ürünü olduğunun belirtildiği Ünal'ın [18] çalışmasıyla uyumludur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

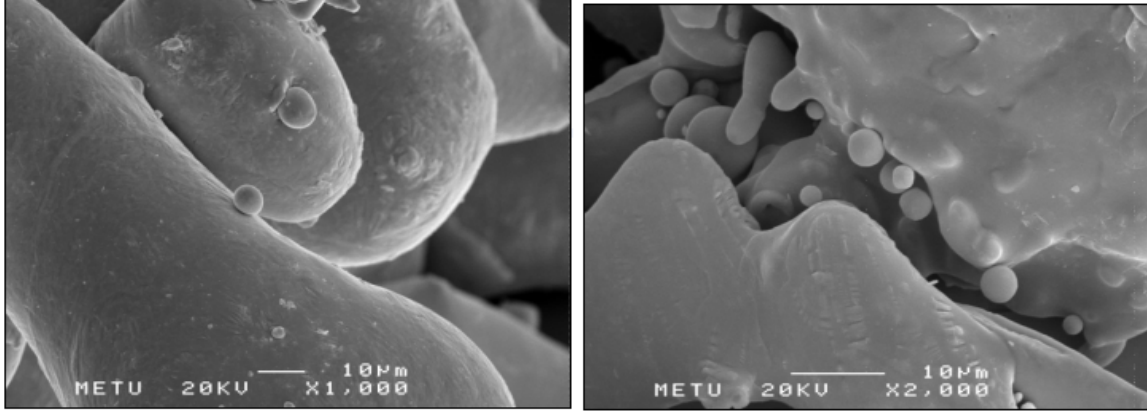
Yeni Gazi Gaz Atomizasyon Ünitesi tamamlanarak ilk toz üretimi gerçekleştirilmiş; tasarım ve imalatı yapılan yakından eşlemeli daralan (Mannesmann) nozulla elde edilen kalay tozu özelliklerine üretim parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:



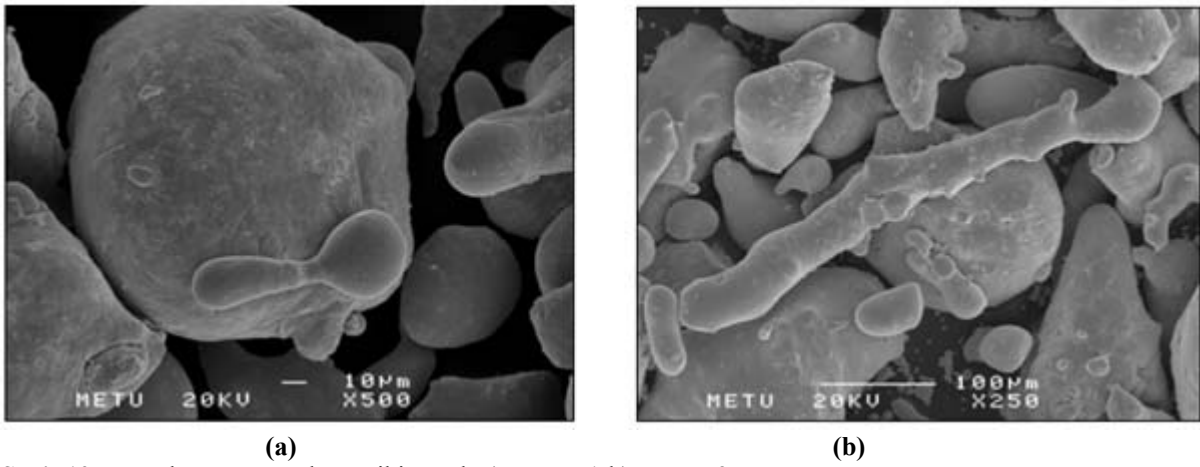
Şekil 7. Hava atomize kalay tozlarının genel görüntüleri. a) Deneş 1 b) Deneş 3 c) Deneş 6 d) Deneş 8 e) Deneş 9 f) Deneş 12. (Photos of air atomised tin powders. a) Run 1 b) Run 3 c) Run 6 d) Run 8 e) Run 9 f) Run 12)



Şekil 8. Yüzey yapısı a) İnce tozlar, Deneş 6 b) Kaba tozlar, Deneş 9 (Surface structure a) Fine powders, Run 6 b) Coarse powders, Run 9)



Şekil 9. a) Uydulaşma, Deneş 1 b) Sıvanma, Deneş 3. (a) Satellites, Run 1 b) Splash, Run 3



Şekil 10. Toz oluşum aşamalarına iki örnek a) Deneş 1 b) Deneş 9 (Two examples of powder formation steps a) Run 1 b) Run 9)

- 1) Atomizasyon gazı basıncı ve çıkıntı yüksekliği arttıkça ortalama toz boyutu küçülmektedir. Aynı atomizasyon şartlarında en küçük boyutlu kalay tozları, 3 mm iç çapa sahip sıvı metal akış borusu kullanılarak 8 mm'lik çıkıntı ile 10 bar gaz 68,50 µm olarak üretilmiştir.
- 2) 2 mm'lik ve 4 mm'lik çıkıntılar için 20 bar gaz basıncında, 6 mm'lik çıkıntı için ise 30 bar gaz basıncında meydana gelen geri basınç oluşumu nedeniyle atomizasyon işlemi gerçekleşmemiştir.
- 3) Yüksek basınçlarda daha çok iki modlu ve geniş toz boyutu dağılımı elde edilmiştir.
- 4) 10 µm'den küçük boyutlu tozlar dışında, üretilen hava atomize kalay tozları genellikle düzensiz bir şekle sahiptir.
- 5) Küçük boyutlu tozlar iri kalay tozları üzerinde uydulaşabilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gu, S., Zeoli, N., "Numerical Modelling of Droplet Break-Up for Gas Atomisation", **Computational Materials Science**, 38(2): 282-292, 2006.
2. Küçükarslan, S., **Gaz Atomize Kalay Tozu Üretim Parametrelerinin Araştırılması**,

- Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
3. German, R.M., **Powder Metallurgy Science 2nd Edition**, Metal Powder Industries Federation, USA, 1984.
4. Unal, R., Aydın M., "High Efficient Metal Powder Production by Gas Atomisation Process", **Progress in Powder Metallurgy**, 534-536: 57-60, 2007.
5. Unal, A., "Production of Rapidly Solidified Aluminium Alloy Powders by Gas Atomisation and Their Applications", **Powder Metallurgy**, 33(1): 53-64 1990.
6. Dube, R.K., Koria, S.C., Singh, D., "Study of Free Fall Gas Atomisation of Liquid Metals to Produce Powder", **Powder Metallurgy**, 44(2): 177-184, 2001.
7. Ünal, R., **Gaz Atomizasyonu İle Metal Tozu Üretim Parametrelerinin Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1995.
8. Unal, A., "Influence of Nozzle Geometry in Gas Atomization of Rapidly Solidified Aluminium Alloys", **Materials Science And Technology**, 4: 909-915, 1988.

9. Aksoy, A., Unal, R., "Effects of Gas Pressure and Protrusion Length of Melt Delivery Tube on Powder Size and Powder Morphology of Nitrogen Gas Atomised Tin Powders", **Powder Metallurgy**, 49: 349-354, 2006.
10. Metz, R. Machado, C., Houbes, M., Elkhatib, M., Hassanzadeh, M., "Nitrogen Spray Atomization of Molten Tin Metal: Powder Morphology Characteristics", **Journal of Materials Processing Technology**, 195(1-2): 248-254, 2008.
11. Unal, R., "The Influence of The Pressure Formation at The Tip of The Melt Delivery Tube on Tin Powder Size and Gas/Melt Ratio in Gas Atomization Method", **Journal Of Materials Processing Technology**, 180(1-3): 291-295 2006.
12. Aydın, M., **Gaz Atomizasyon Yönteminde Yeni Bir Nozul Tasarımı Ve Toz Üretimi**, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2005.
13. Achelis, L., Unlenwinkel, V., "Characterisation of Metal Powders Generated by A Pressure-Gas-Atomiser", **Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure And Processing**, 477(1-2): 15-20, 2008.
14. Unal, A., "Production of Rapidly Solidified Magnesium Powders by Gas Atomization", **Materials Science And Technology**, 5(1010): 1027-1033, 1989.
15. Stone, I.C., Tsakiroopoulos, P., "Cooling Rates in Gas Atomised Al-4wt% Cu Alloy Powders", **Int. J. Rapid Solidification**, 7: 177-190, 1992.
16. Dunkley, J., "Water Bench Testing Boosts Gas Atomizing", **Metal Powder Report**, 54(3): 26-29, 1999.
17. Baram, J., "Pressure Characteristics at The Pour-Tube Orifice in Ultrasonic Gas Atomization", **Materials Science And Engineering**, 98: 65-69 1988.
18. Unal, A., "Liquid Break-Up in Gas Atomization of Fine Aluminium Powders", **Metallurgical Transactions B**, 20(11): 61-69, 1989.