



**T.C. İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MÜCEVHERAT SEKTÖRÜNDE TOZ METALURJİSİNİN GELİŞİMİ VE
SEKTÖRE KATKILARI**

**DEVELOPMENT OF POWDER METALLURGY IN THE JEWELRY
INDUSTRY AND SECTOR CONTRIBUTIONS**

Elanur GÜNER

Danışman

Doç. Dr. H. Haluk SELİM

Eş Danışman

Doç. Dr. C. Bora DERİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MÜCEVHERAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSTANBUL - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elanur GÜNER tarafından hazırlanan "Mücevherat Sektöründe Toz Metalurjisinin Gelişimi Ve Sektöre Katkıları" adlı tez çalışması 10/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Mücevherat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç.Dr.H.Haluk SELİM
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Eş Danışman Doç.Dr.C. Bora DERİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyesi Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç Dr. Mustafa KUMRAL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyesi Yrd. Doç. Dr. Aykut GÜÇTEKİN
Kocaeli Üniversitesi

Onay Tarihi : 18.12.2017

Doç. Dr. Necip ŞİMŞEK

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Tarih: 10.10.2017

İmza

Elanur GÜNER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. KUYUMCULUK VE KUYUMCULUKTA ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	5
3.1. Kuyumculuk	5
3.2. Kuyumculuğun Bölümleri.....	6
3.2.1. Sadekarlık	6
3.2.2. Kalemkârlık	7
3.2.3. Kakmacılık	7
3.2.4. Kabartmacılık	8
3.2.5. Mıhlamacılık.....	8
3.2.6. Dökümcülük.....	9
3.2.7. Ocakçılık	10
3.2.8. Ramatçılık	10
3.2.9. Kaplamacılık.....	12
3.2.10. Cilacılık.....	12
3.2.11. Mum modelcilik	13
3.2.12. Tasarım ve kalıpcılık.....	14
3.3. Kuyumculukta Üretim Yöntemleri.....	14
4. TOZ METALURJİSİNE GİRİŞ	16
4.1. Toz Metalurjisinin Tanımı	16
4.2. Toz Metalurjisinin Amacı ve Önemi.....	17
4.3. Toz Metalurjisinin Tarihsel Gelişimi	19
5. TOZ MALZEME TEKNOLOJİSİ VE TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	24
5.1. Toz Karakterizasyonu	24
5.1.1. Numune Alma.....	26

5.1.2. Parçacık boyutunun ölçümü.....	27
5.1.2.1. Eleme	28
5.1.2.2. Mikroskop ile inceleme	29
5.1.2.3. Elektriksel alan algılama	30
5.1.2.4. X ışını teknikleri	31
5.1.2.5. Işık engelleme	32
5.1.2.6. Işık saçılımı ve kırılımı.....	33
5.1.2.7. Sedimentasyon.....	33
6. TOZ ÜRETİMİ.....	35
6.1. Toz Üretme Yöntemleri.....	35
6.1.1. Mekanik yöntemler	37
6.1.2. Kimyasal yöntemler	40
6.1.2.1. Isıl bozunma.....	41
6.1.2.2. Sıvıda çökeltme.....	41
6.1.2.3. Gazda çökeltme.....	42
6.1.3. Elektroliz yöntemi	42
6.1.4. Atomizasyon yöntemleri.....	44
7. MATERYAL ve YÖNTEM.....	50
7.1. Toz Metalurjisi Tekniği İle İmalat.....	50
7.2. Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	51
7.2.1. Toz metalurjisinin avantajları.....	51
7.2.2. Toz metalurjisinin dezavantajları.....	53
7.3. Sinterleme.....	54
7.4. Kuyumculuk Sektöründe Toz Metalurjisi Ve Gelişimi	58
8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	66
8.1. Kuyumculuk Sektöründeki Gelişimlere Lazer Sinterlemenin Katkıları.....	66
8.2. Kuyumculuk Sektörü İçin Toz Metalurjisi İle Lazer Sinterleme Yapılan Ürünlerin Analizleri ve Analiz Sonuçları	72
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ.....	114

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MÜCEVHERAT SEKTÖRÜNDE TOZ METALURJİSİNİN GELİŞİMİ VE SEKTÖRE KATKILARI

Elanur GÜNER

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mücevherat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. H. Haluk SELİM

Eş Danışman: Doç. Dr. C. Bora DERİN
2017, 117 sayfa

Kuyumculuk sektöründe ilkçağlardan itibaren birçok teknoloji ve teknik kullanılarak üretim yapılmıştır. Burada esas amaç bir takımın üretiminde seri üretim, hız, estetik, hafif ve pazarlanabilme kriterlerine uygun olmasıdır. Cad-Cam teknolojileri sektörde tasarım ve üretim açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Birçok sektörde olduğu gibi 3D printerlar kuyumculuk sektöründe de gündün güne gelişme göstererek mum modellemeden, sinterleme yöntemi ile oluşturulan toz metalürjisine kadar büyük bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmeler üretim açısından oldukça önemli bir yere sahiptir.

Kuyumculukta üretim yapılırken genelde talaş kaldırma suretiyle üretim yapılmaktadır. Özellikle testere kullanılarak yapılan üretimlerde değerli metal tozlarının kaybı fazla olabilmektedir. Bu tozları tekrar kullanabilmek için metal tozları belirli periyotlarla dikkatlice toparlanır ve tekrar üretim için saflaştırma işlemi yapılarak, belirli işlemlerin ardından kullanılacak şekle getirilir. Bu kayıp tozları önlemek, üretimi hızlandırmak ve daha kaliteli üretim için cad-cam teknolojileri geliştirilerek, cad ortamında çizilen ürünler cam teknolojisi sayesinde mum ya da reçine haline getirilip tekrar döküm işlemi yapılarak üretilmektedir. Bu işlem talaşlı üretimden doğan sorunları azaltmıştır.

Birçok üretim sektörü başta olmak üzere son yıllarda da kuyumculuk sektöründe kullanılan sinterleme yöntemi sayesinde az talaş kaldırarak ya da hiç talaş kaldırmadan direk istenilen metalle üretim başarılmıştır. Bu teknikle cad ortamında çizilen ürünler direk toz halinde kullanılan metalin sinterleme yöntemi ile üç boyutlu takı halinde hazırlanmasına imkân vermiştir. Bu çalışmada; lazer sinterleme yöntemiyle üretim yapılan takıların diğer üretim yöntemlerine göre avantajları, dezavantajları tartışılacaktır. Ayrıca kullanılan metal tozlarının da birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları tartışılıp örneklerle sunulacaktır

Anahtar Kelimeler: Cad-Cam, Kuyumculuk, Mücevher, Sinterleme, Tasarım, Toz

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPMENT OF POWDER METALLURGY IN THE JEWELRY INDUSTRY AND SECTOR CONTRIBUTIONS

Elanur GÜNER

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Jewellery Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Haluk SELİM

**Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. C. Bora DERİN
2017, 117 pages**

Since the early ages the jewelry industry has been manufactured using many technologies and techniques. The main purpose here is that a piece is manufactured in accordance with the criteria of mass production, speed, aesthetics, lightness and marketability. Cad- Cam technologies have a very important place in terms of design and production in the sector. As in many other industries, 3D printers have made great progress in the jewelry sector, from daylight to wax modeling, to powder metallurgy created by sintering. These developments have a very important place in terms of production.

When manufacturing is done in jewelry production is usually done by removing the sawdust. Loss of precious metal powders can be excessive especially in the production using saws. To re-use these powders, the metal powders are carefully recovered at regular intervals and purified for reprocessing and brought to use after certain operations. To prevent these lost powders, to accelerate production and to improve the quality of cad-glass technologies, cad products drawn by cad technology are produced by making glass into wax or resin and casting again. This has reduced the problems arising from machining.

In recent years, especially in many production sectors, thanks to the sintering method used in the jewelry industry, production with the desired metal has been accomplished by removing less sawdust or removing any sawdust. With this technique, the products drawn in the CAD environment have been made possible to be prepared in the form of three dimensional jewel by direct sintering of the metal used in powder form. In this study; The advantages and disadvantages of the sutures produced by the laser sintering method compared to other production methods will be discussed. The advantages and disadvantages of the used metal powders will be discussed and presented with examples.

Key Words: Cad-Cam, Jewellery, Jewelry, Sintering, Design, Powder

TEŞEKKÜR

Bu tezin yazım aşamasında her türlü desteği sağlayan, bana yön veren, bilgi ve tecrübesiyle beni aydınlatan danışman hocam Doç. Dr. H. Haluk SELİM'e ve eş danışman hocam Doç. Dr. C. Bora DERİN'e, yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen ve her türlü bilgi ve deneyimini Prof. Dr. Emel GEÇKİNLİ'ye ve Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU'na, numunelerimin hazırlanmasında ve üretiminde bana yardımcı olan SİSMA firmasının Türkiye temsilciliğine, numunelerin analiz aşamasında analizlerimin yapılması ve yorumlanmasında desteklerini esirgemeyen Koç Üniversitesi KUYTAM ekibinden sevgili Dr. Gülsu ŞİMŞEK'e ve Dr. Barış YAĞCI'ya, yüksek lisans eğitimimiz boyunca bizlerden maddi manevi desteği esirgemeyen İTO Kuyumculuk Komitesine ve Başkanı Sn. Erhan HOŞHANLI'ya, yüksek lisans eğitimimiz boyunca her türlü bilgi ve destek veren Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Sn. Doç. Dr. Necip ŞİMŞEK ve enstitü memuru Sn. Göksel KIBIŞ'a, ders ve tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma, sektör mensuplarına saygılarımı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tezi, desteklerini benden asla esirgemeyen ve gücüme güç katan aileme ve yaşam enerjimiz canımız sevgili yeğenim Çağan Ata YILMAZ'a ithaf ediyorum.

Elanur GÜNER
İSTANBUL, 2017

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 1.1. Toz metalurjisi ile üretilen malzemeler	2
Şekil 3.1. Kuyumculuk Sanatı.....	5
Şekil 3.2. Sadekarlık	6
Şekil 3.3. Kalemkarlık.....	7
Şekil 3.4. Kakmacılık.....	7
Şekil 3.5. Kabartmacılık.....	8
Şekil 3.6. Mıhlamacılık.....	9
Şekil 3.7. Dökümcülük.....	9
Şekil 3.8. Ocakçılık	10
Şekil 3.9. Ramatçılık	11
Şekil 3.10. Kaplamacılık	12
Şekil 3.11. Cilacılık.....	13
Şekil 3.12. Mum Modelcilik	13
Şekil 3.13. Tasarım ve Kalıpçılık.....	14
Şekil 4.1. Toz metalurjisi üretim prosesi	16
Şekil 4.2. Toz metalurjisi prosesi.....	19
Şekil 4.3. M.S. 300'lü yıllarda Hindistan'da yapılmış Delhi Sütunu	20
Şekil 4.4. 1978 yılında toz metalurjisi ile yapılmış madeni para	21
Şekil 4.5. Lamba Flamanı	21
Şekil 4.6. Titanyum ve bakır tozları.....	22
Şekil 4.7. İmplantlarda kullanımı.....	22
Şekil 4.8. Toz metalurjisi ile üretilmiş çeşitli malzemeler.....	23
Şekil 4.9. Günümüzde toz metalurjisi daha da gelişerek yeni ihtiyaçlar ve teknolojilerle bağlantılı olarak birçok sektörde kullanılmaya devam etmekte ve sektörlerin gelişmesine katkıda bulunmaktadır.	23
Şekil 5.1. Çeşitli üretim teknikleri ile üretilmiş parçacık şekilleri.....	25
Şekil 5.2. Döner numune bölücü, tozu çok sayıda küçük ve rastgele numuneleri ayırmak için kullanılır. Yeterince küçük son numuneye kadar her numune bölünebilir	26
Şekil 5.3. Parçacık boyutlarının ölçümü yapılırken parçacık şekillerinin karmaşıklığından kaynaklanan zorlukların gösterilişi	27
Şekil 5.4. Kademeli olarak eleklerin kullanımı.....	28
Şekil 5.5. Si ₃ N ₄ tozuna ait SEM görüntüsü.....	29
Şekil 5.6. Elektrik iletkenliği kullanılarak parçacık boyut analizi yöntemi	30
Şekil 5.7. X Işını tepe noktası genişlemesi, maksimum şiddetin yarısındaki B genişliğine dayalı olarak ölçülür.	31
Şekil 5.8. Işık engellemesine dayalı toz parçacığı boyut analizi.....	32
Şekil 5.9. Döner disk ve sabit hava akışı kullanılarak bir tozun hava ile sınıflandırılmasında parçacık boyutunun ayrılması. Küçük parçacıklar merkezkaç kuvveti ve hava hızına verdikleri farklı tepki ile daha büyük parçalardan ayrılırlar.	34
Şekil 6.1. Çeşitli metal tozları	35
Şekil 6.2. Mekanik yöntemlerle üretilmiş tozların sem görüntüsü a) Öğütülmüş demir borür b) Talaşlı imalat ile elde edilmiş alüminyum tozları.....	38
Şekil 6.3. Silindirik değirmende hareketin gösterilmesi. Silindirik döner ve aşağı düşen bilyeler malzemeyi öğüterek toza dönüştürür	39

Şekil 6.4.	Mekanik alaşımlamanın şematik gösterimi	40
Şekil 6.5.	Karbonil bozunması ile oluşturulmuş nikel tozunun SEM görüntüsü.....	41
Şekil 6.6.	Toz biriktirmek için bir elektroliz hücresi	43
Şekil 6.7.	Düşey gaz atomizasyonu ünitesi	45
Şekil 6.8.	Yatay gaz atomizasyonu	46
Şekil 6.9.	Sıvı atomizasyon işlemi	47
Şekil 6.10.	Döner elektrot ile savurma atomizasyonu.....	48
Şekil 6.11.	Küresel toz üretimi için ergiyik patlatma tekniği	49
Şekil 7.1.	Toz metalurjisindeki ideal parçacık şekillerinin türleri	50
Şekil 7.2.	30 dk 1030 °C’de sinterlenmiş nikelin, sinterlemeyle boyun oluşumu.....	55
Şekil 7.3.	Sem görüntüsünde gevşek küre bronz parçalarının sinterleme ile boyun oluşumu.....	56
Şekil 7.4.	Sinterlemede nokta ile başlayan ve parçacıklar arası bağ gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli. Boyun büyümesi parçacıklar arası temas noktasında tane sınırı oluşturur. Eğer süre yeterli ise iki parçacık birleşerek sonunda iri bir parçacık oluşturur	57
Şekil 7.5.	Kuyumculuk sektöründe kullanılan sinterleme makinesine örnek	58
Şekil 7.6.	Sinterleme yolu ile üretilmiş bir örgü metal takı	59
Şekil 7.7.	Lazer sinterleme yoluyla birbirine bağlı oynak ürün üretimi	60
Şekil 7.8.	Lazer sinterleme yöntemiyle füzyon üretimi	61
Şekil 7.9.	Kinematik metal kumaş	62
Şekil 7.10.	Lazer sinterleme ile üretilen bir çift küpe	62
Şekil 7.11.	Lazer sinterleme ile yapılan ürünün bitmiş hali ve tozlardan arındırılması	63
Şekil 7.12.	Lazerle sinterleme yapılmış supportları ile birlikte bronz model örneği	64
Şekil 8.1.	Tellerle üretilmiş bir kelepçe bilezik örneği	66
Şekil 8.2.	Füzyon tekniği ile yapılmış bir yüzük	67
Şekil 8.3.	Doğrudan döküme girecek füzyon model yapılmış reçine örneği	68
Şekil 8.4.	Birbirine bağlantılı ve oynak şekilde tek bir parça olarak üretilmiş bir bilezik	69
Şekil 8.5.	Cristina Franceshini’nin 3d yöntem ile üretilmiş olan ayakkabı topuğu	71
Şekil 8.6.	Sisma firması tarafından Mysint 100 makinesi ile üretilmiş olan bir yüzük	72
Şekil 8.7.	SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu).....	75
Şekil 8.8.	SEM’de analizi yapılacak numunelerin hazırlık aşaması	76
Şekil 8.9.	Analizi yapılan numunenin lazer sinterleme makinesinden çıkmış hali.....	76
Şekil 8.10.	Analizi yapılan işlem görmemiş ürün	77
Şekil 8.11.	İşlem görmemiş numunenin 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	77
Şekil 8.12.	İşlem görmemiş numunenin 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	78
Şekil 8.13.	İşlem görmemiş numunenin 500 büyütülmüş SEM görüntüsü	78
Şekil 8.14.	İşlem görmemiş numunenin 250 büyütülmüş SEM görüntüsü	79
Şekil 8.15.	İşlem görmemiş numunenin 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	79
Şekil 8.16.	Analizi yapılan tavllanmış ürün	80
Şekil 8.17.	Tavllanmış numunenin 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	80
Şekil 8.18.	Tavllanmış numunenin 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	81

Şekil 8.19. Tavlanmış numunenin 500 büyütülmüş SEM görüntüsü	81
Şekil 8.20. Tavlanmış numunenin 2.92K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	82
Şekil 8.21. Tavlanmış numunenin 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	82
Şekil 8.22. Tavlanmış numunenin 250 büyütülmüş SEM görüntüsü	83
Şekil 8.23. Analizi yapılan ilave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürün	83
Şekil 8.24. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	84
Şekil 8.25. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 500 büyütülmüş SEM görüntüsü	84
Şekil 8.26. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	85
Şekil 8.27. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 500 büyütülmüş SEM görüntüsü	86
Şekil 8.28. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 250 büyütülmüş SEM görüntüsü	86
Şekil 8.29. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 250 büyütülmüş SEM görüntüsü	87
Şekil 8.30. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	88
Şekil 8.31. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	88
Şekil 8.32. Analizi yapılan ergitilerek güverse haline getirilmiş ürün.....	89
Şekil 8.33. Ergitilmiş ürünün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	89
Şekil 8.34. Ergitilmiş ürünün 250 büyütülmüş SEM görüntüsü	90
Şekil 8.35. Ergitilmiş ürünün 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	90
Şekil 8.36. Ergitilmiş ürünün 500 büyütülmüş SEM görüntüsü	91
Şekil 8.37. Ergitilmiş ürünün 77 büyütülmüş SEM görüntüsü	91
Şekil 8.38. İlk şekil işlem görmemiş ikinci şekil tavlanmış numuneye aittir	92
Şekil 8.39. İlk şekil kaynak yapılmış ikinci şekil ergitilmiş numuneye aittir	92
Şekil 8.40. İşlem görmemiş mat yüzük	93
Şekil 8.41. Mat yüzüğün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü	93
Şekil 8.42. Parlak yüzük.....	94
Şekil 8.43. Parlak yüzüğün 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	94
Şekil 8.44. Döküm yüzüğün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü.....	95
Şekil 8.45. Döküm yüzüğün 54 büyütülmüş SEM görüntüsü.....	95
Şekil 9.1. Cristina FRANCESCHINI'nin 3d üretim yoluyla yapılmış olan modern bilezik modeli	96
Şekil 9.2. Lazer sinterleme yoluyla üretilmiş olan ürünler	98
Şekil 9.3. Sinterlemenin lazer yoluyla yapıldığı an	99
Şekil 9.4. DMSL(Direct Metal Laser Sintering) ile yapılmış olan bir kol düğmesi	100
Şekil 9.5. Lazer sinterleme sonunda makineden çıkarılmış yüzük örneği.....	101
Şekil 9.6. Lazer sinterleme yapılan makinenin haznesine uygun toz alışıının koyulma işlemi	102
Şekil 9.7. Lazer sinterlemesi yapılan bronz takının supportlarının dizilimi	103
Şekil 9.8. Numunenin üzerine pürmüzle verilen ısı kaynak ısısına ulaştığında tozların üzerinde artan bozulmalar ve kabuk kalkmaları	105
Şekil 9.9. Bronz yüzüğün oksitlenmiş ve altın kaplamalı görünümü	106

Şekil 9.10. Lazer sinterleme yoluyla üretilmiş olan aynı şekildeki yüzüğün sinterlemeden sonra işlem görmemiş ve oksitlenmiş hali ile zımpara ve cilası yapıldıktan sonra altın kaplama ile kaplanmış hali.....	107
Şekil 9.11. Lazer sinterleme yolu ile üretilmiş üzerinde başka işlem görmemiş tek büyük bir bilezik örneği	108
Şekil 9.12. Lazer sinterleme yolu ile üretilmiş zımpara ve cilası yapılmış bilezik örneği, Bilezik kolunun uç kısmında bırakılan boşluk sayesinde lazer sinterleme yapılırken oluşacak olan bilezik masif değil de için boş olarak gözükmetedir. Böylelikle hafif bir bilezik elde edilmiştir.....	108
Şekil 9.13. Lazer sinterleme ile yapılmış içi boş ajurlu modelin tabladaki dizilimi	110
Şekil 9.14. Lazer sinterleme ile yapılmış içi boş ajurlu modelin bitmiş cilalı hali	111



ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 4.1. Toz metalurjisinde temel işlem basamakları.....	17
Çizelge 6.1. Çeşitli tozların üretim teknikleri	36
Çizelge 7.1. Toz metalurjisi imalat süreci.....	51
Çizelge 7.2. Çeşitli üretim yöntemleri ile değerler	53
Çizelge 8.1. Şekil 8.6.'daki ürünün XRF cihazında çıkan analiz grafiği.....	73
Çizelge 8.2. Şekil 8.6.'daki ürünün XRF cihazında çıkan içerisindeki cevherlere göre analiz sonuçları.....	73
Çizelge 8.3. Şekil 8.6.'daki üründe bulunan kararmış bölgenin Raman Spektrometrisi ile yapılan analiz grafiği	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

T/M	Toz Metalurjisi
Ag	Gümüş
Au	Altın
3d	Üç boyutlu
2d	İki boyutlu
DMLS	Doğrudan Metal Lazer Sinterleme
μm	Mikron / Mikrometre
Stl	3 boyutlu bir nesnenin düzenini açıklayan veriler içeren bir dosya formatıdır.

1. GİRİŞ

Kuyumculuk sektörü birçok üretim metodu ile altın, gümüş, bronz v.b. ürünlerle takılar üretmiştir. Bu takıların yapım aşamaları geleneksel yöntemlerde el ve makine ile yapılmaktaydı. Daha sonraları 2d cnc tezgâhlarında ürünler yapılmaya başlandı fakat burada ürünler 2 boyutlu olduğu için sektörün tam olarak isteklerini karşılamadı. Modern yöntemlere geçilmeye başlandığında ise elle yapılması uzun zaman alan, makine ile yapılması karmaşık olan ya da yapılması imkansız gibi görülen ürünler yerini 3d printer yazıcılara bırakmaya başladı. Bu yazıcılarla bilgisayarda çizilen ve *stl formatına çevrilen çizimlerin; reçine, mum v.b. maddelerle çıkarılarak ürünlerin seri üretime uygun hale gelmeleri sağlandı. Böylelikle elde yapılması zor, zaman alan ya da imkansız olan ürünler daha rahat üretilmeye başlandı.

Kuyumculuk sektöründe 3d printerden çıkarılan ürünler reçine, mum v.b. malzeme ile üretildiği için ardından bir döküm süreci gerekmektedir. Bu süreçle birlikte döküm teknolojisi de dolayısıyla gelişmiştir. Bazı ürünler döküme uygun olurken bazıları döküme uyumsuz halde olmuşlardır.

Dökümden çıkarıldıktan sonra modelin yapım aşamaları dikkate alındığında da yine bir takım ürünlerde sıkıntılar meydana gelmiştir. Örneğin; içi boş ve kenarları ajur desenli ürünler bu güne kadar uygulanan makine ve malzemeleriyle üretime uygun halde olmamıştır. Bunları uygun hale getirmek için yine mum, reçine v.b. malzemeler geliştirilirken yanında makineler de geliştirilmeye başlanmıştır. Böylelikle doğrudan döküme girebilen ve sıkıntılarının çoğu çözümlenerek çıkartılan ürünler yapılmıştır.

Bu gelişmelerin yetmediği bir yer oluşmaya başladığında ise devreye son teknoloji toz metalurjisi ve sinterleme metodu girmiştir. Toz metalurjisi tekniğinde kalıplar arasına toz sıkıştırma yöntemi ile birleştirilip belirli bir ısıya geldiğinde bu tozların birbirine atomik boyutta kaynaması sağlanmaktadır. Fakat bu yöntemde bile ince işçilikli ürünler yapılamamaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Toz metalurjisi ile üretilen malzemeler

Sinterleme teknolojisiyle birlikte hem kuyumculuk sektöründe hem de tasarım sektöründe ilerlemeler kaydedilecektir. Diş yapımında oldukça sık kullanılan bu teknoloji şimdilerde kuyumculuk sektörü için de kullanılmaya başlamıştır. Sinterleme metodu sayesinde metal tozları lazer yöntemi ile atomik boyutta birbirine bağlanarak yükselmektedir. Böylelikle döküme gerek duymadan istenilen ürün direk tozu kullanılan metalle üretilmektedir. Bu teknoloji sayesinde özellikle iç içe geçen ajur desenli top modeller, çingirkalar ya da birbirine bağlantılı rolex ürünler yapılabilmektedir.

Kuyumculuk sektörünün hem sektörel hem de tasarım yönünden gelişimine katkıda bulunacak bu teknolojinin metaller arasında yaşanan avantajlar ve dezavantajlar incelenecektir. Çeşitli metal tozları ile yapılabilecek tasarımlar, bu tasarımların sektörde kullanılmasının avantajları, bu tasarım ürünlerinin dayanıklılığı, bu makineden çıkacak ürünlerin sektördeki tasarımcılara katkıları araştırılırken aynı zamanda elle, dökümlü ve sinterleme metodu ile yapılan ürünlerin kesitlerinin Sem'de görüntüleri alınarak kesitlerdeki farklılıklar raporlanacaktır. Yapılacak raporlamalar sonucunda sektöre olan avantajları ya da dezavantajları daha iyi ortaya konarak sektöre yön verilmeye çalışılacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Dünyanın birçok yerinde metalik tozların çok önceleri kullanımı söz konusudur. Örneğin; altın tozları İnkalar tarafından mücevher yapımında kullanılırdı.

Mısırlılar demir tozlarını M.Ö. 3000 yıllarında kullanırdı. Hindistan'daki 6,5 tonluk Delhi sütunudur. M.S. 375 ile 414 yılları arasında indirgenmiş demir tozlarından yapılmıştır (Üstel vd., 2014).

1800'lü yıllarda tozlar, platinden laboratuvar gereçleri yapımında kullanılmıştır. Laboratuvarlarda platin esaslı aygıtların kullanımını sonucu ortaya çıkan ihtiyaç, kimyasal olarak çöktürülmüş tozların gelişmesine imkan tanımıştır (Kolektif, 2104). Bu tür gereksinimler özellikle Rusya ve İngiltere'de ön plana çıkmış olup çöktürülmüş tozların sıcak işlem edilmesi ile yüksek sıcaklıklarda döküme gerek kalmaksızın platin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir.

Yaklaşık aynı tarihlerde madeni paralar presleme ve sinterleme ile bakır, gümüş ve kurşun tozlarından üretilmiştir

Tozların kullanımında en önemli dönüm noktalarından biri, Edison için, tungsten tozları kullanarak dayanıklı lamba flamanı geliştiren Coolidge'ye atfedilmektedir. Hemen ardından 1930'lu yıllarda sert metaller 'WC-Co', gözenekli yataklar ve elektrik temas elemanları geliştirilmiştir (Yılmaz, 2014).

Daha sonrasında çeşitli sert metallerin (yoğun karbür içeren seramik-metal kompoziti), gözenekli bronz yatakların ve bakır grafit esaslı elektriksel kontak malzemelerinin gelişimi 1930 yıllarda gerçekleşmiştir

Bugün, bu genişletme gayreti sayesinde silisyum karbür, renyum, titanyum diborür, zirkonyum, tantalyum, berilyum oksit ve titanyum gibi çok sayıda malzeme sadece tozdan oluşturulabilmektedir

İlave olarak, çok yaygın olarak kullanılan alüminyum, silika, alümina, bakır, demir, paslanmaz çelik, bronz ve porselen gibi malzemeleri toz olarak temin etmek mümkündür.

1940'lı yıllara kadar toz teknikleri yeni sert metaller, izolatörler, çelik üretim refrakterleri, demir içeren yapısal alaşımlar ve refrakter metallerin üretimini içermişlerdir. İlave olarak, çok yaygın kullanılan alüminyum, silika, alümina, bakır, demir, paslanmaz çelik, bronz ve porselen gibi malzemeleri toz olarak temin etmek mümkündür (Yılmaz, 2014).

Bu çalışmaların çoğu savaşa hazırlık çabaları dolayısıyla hız kazanmıştır. Önceleri, toz esaslı parçalar sadece ucuzluk sebebi ile tercih edilirken, günümüzde tercih sebebi kalite, homojenlik, özellikler ve üretilebilirlik gibi hususları da içermektedir.

Yeni bileşimler, jet motorundan biyomedikal protezlere kadar farklı alanlarda istenilen özellikleri sağlamak amacı ile genellikle kompozit haldedir. Bilgisayar elamanlarındaki minyatürleşme silisyumda ciddi ısı atımı sorunu ortaya çıkarmıştır. Çözüm olarak ısı iletkenliği yüksek ve ısıl genişmesi düşük ısı emici kompozitler geliştirilmiştir. Bu kompozitler sadece tozdan üretilebilmektedir

Toz metalürjisinin başarısına birçok özellik katkıda bulunmaktadır. Üç anahtar etken; maliyet, özellikler ve reaktivitedir. Bunlardan ilki karmaşık geometrili parçaların ekonomik üretimine dayalı pek çok uygulamadır. yataklar, supap yuvaları, emisyon algılayıcıları, katalitik konvertörler, darbe emiciler, bujiler, piston kolları, zincir dişlisi ve pek çok motor zamanlama parçaları. Diyagramında gösterilen son daire zorunluluk uygulamalarına karşılık gelmektedir. Bu malzemelerin diğer tekniklerle üretilmeleri oldukça zordur. Toz metalürjisi ürünlerinin kullanılması için pek çok üstün özellik ve mikroyapısal uygunluk vardır. gözenekli filtreler, oksit dağılımlı güçlendirilmiş türbin alaşımları, sermetler (seramik-metal kompozitleri), fonksiyonel tabakalı yapay kemikler (metal-seramik,) temas alaşımları (bakır-krom) ve tungsten karbürden sert kesici takımlar verilebilir (Cerit, 2014).

3. KUYUMCULUK VE KUYUMCULUKTA ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1. Kuyumculuk

Kuyumculuk değerli ya da değersiz, metal ya da metal olmayan tüm takı ya da obje tasarımlarının el ya da makine ile işlenerek gerekirse süslenip bezenerek ürünün ortaya çıkarılma sanatıdır. (Vitiello, 1995)

Kuyum, değerli metaller ve bunların oluşturdukları alaşımlar tek başına veya değerli ve renkli taşlarla birlikte kullanılarak yapılan ürünler bütünüdür. Kuyumcu ise, bu malzemeleri insanın süslenme arzusunu tamamlamak için bir araya getirip, uygun bezeme tekniklerini kullanarak biçimleyen kimsedir. Kuyumculuk yıllardır ustadan çırağa geçen bir sanat türüdür. Bu sanatın inceliklerini ustası çırağına aktararak kuyumculuk sanatının sürmesini sağlar.

Her çağda gelişen teknolojiyle birlikte üretim teknolojisinde değişim ve dönüşüm mümkündür. Teknikleri besleyen ve geliştiren bu değişimler, çağın yönelimlerinden etkilenmiştir. Örneğin, 19.yy'da Sanayi Devrimi'nin sağladığı gelişmeler bütün dünyayı etkilemiştir ve hızlı üretimin temelleri atılmıştır. Makineleşen dünyada, her ne kadar seri üretim önemli gibi görünse de, yüzyıllardır olduğu gibi öneme sahip olan tezgâh işçiliği, temel kuyumculuk tekniklerinin bilinmesi ve uygulanabilmesine bağlıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kuyumculuk Sanatı

3.2. Kuyumculuğun Bölümleri

El sanatları arasında önemli bir yere sahip olan kuyumculuk, birçok alt dala ayrılmaktadır. Kuyumculuğu bu kadar karmaşık kılan durum biraz da budur. Her bölüm ayrı bir ustalık gerektirdiği için, uzmanlık kazanmak için kararlı ve disiplinli çalışmak önem taşımaktadır. Bu başlık altında kuyumculuğu oluşturan dallar tek tek incelenecektir.

3.2.1. Sadekarlık

Değerli metaller ve alaşımları kullanarak, temel kuyumculuk aletleri yardımıyla mücevherlerin sade kısmının yapıldığı alandır (Şekil 3.2). Bu işi yapan kimseye de sadekar denilir. Kısacası sadekar, bir mücevherin ortaya çıkmasındaki tüm detayları yapabilen ve mücevheri ortaya koyan kişidir. Sadekarlık kuyumculuk mesleğinin en önemli bölümüdür.



Şekil 3.2. Sadekarlık

3.2.2. Kalemkârlık

Kalemkârlık, metal yüzeyine çelik kalemler yardımıyla oluşturulan desen vererek kazıma işlemidir (Şekil 3.3). Yüzey süsleme teknikleri arasında önemli bir yere sahip olan kalem atmada, çelik kalemin ortaya çıkardığı derin oyuklar aşındırıcılarla yok edilemez ve parlak yüzeylerdir. Yüzeyde kalemin verdiği desen ve parlaklığın görünmesi için kalem atma işleminin tüm yüzey işlemleri bittikten sonra yapılması gerekmektedir. Bu işi yapan ustaya kalemkâr denilmektedir.



Şekil 3.3. Kalemkarlık

3.2.3. Kakmacılık

Çelik uçlu kalemler yardımıyla kakma yapılacak zemindeki uygun boşluklara çeşitli ürünlerin kakılma işlemidir (Şekil 3.4). Genellikle bu ürünler ağaç üzerine sedef kakma şeklindedir. İstenilen şekillerde kesilen sedef parçaları ağaç zemin üzerine kakılarak oturtulur ve sonra üst kısmı zımparalanarak düz bir satıh haline getirilir. Bu işi yapan ustaya kakmacı denir.



Şekil 3.4. Kakmacılık

3.2.4. Kabartmacılık

Üzerinde çeşitli şekiller bulunan çelik uçlu kalemleri dışarıdan bir çekiç yardımıyla metal yüzey üzerine kakılarak istenilen şeklin verilmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.5). Bu işlem birçok seferde yapılmaktadır. Usta yumuşak ziftli bir yüzey üzerine işlenecek metali koyup yüzeyi şekilli çelik kalemlerle kakarak kabartır. Bu yüzey bittikten sonra diğer yüzeye geçerek bu sefer o yüzeyi kabartır. Bu işlemler istenilen kabarıklık ve şekil elde edilinceye kadar devam edilir. Bu işi yapan ustaya kabartmacı denilmektedir.



Şekil 3.5. Kabartmacılık

3.2.5. Mıhlamacılık

Metal yüzeyler üzerine çelik kalemler yardımıyla taşların çeşitli yöntemlerle yerleştirme işlemidir (Şekil 3.6.). Mıhlamacılıkta birçok yöntem vardır. Bunların başlıcaları sıvama ve tırnak mıhlama'dır. Buradaki esas amaç taşı yuvasına oturtmaktır. Mücevherin güvenliği mıhlamacılara aittir. Çünkü değerli taşları değerli metallerin üzerine sabitlemek zorundadır. Bu işi yapan ustaya mıhlamacı denir.



Şekil 3.6. Mıhlamacılık

3.2.6. Dökümcülük

Ana modelden birden fazla model çoğaltmak için uygulanan tekniktir (Şekil 3.7). Bu teknik sayesinde bilgisayardan alınan 3D model ya da sadekarın hazırladığı ana kalıp kauçuk içerisinde modelin kopyası alınarak mum yardımıyla çoğaltılarak metale döküm yapılarak aktarılma işlemi gerçekleştirilir. Bu işi yapan ustaya dökümcü denir.



Şekil 3.7. Dökümcülük

3.2.7. Ocakçılık

Mücevher üretilecek metalin alaşım yapılarak hazırlandığı yerdir (Şekil 3.8). Burada ocakçı metali istenilen ayara getirmek için alaşımı hazırlar bunları potalarda ocakta eritir ve tel ya da levha kalıplara döker. Bu işlemin ardından tel ya da levha haline getirilen metaller istenilen mikron ölçülerine göre silindirlerde haddelenerek getirilir. Bu işi yapan ustaya ocakçı denir.



Şekil 3.8. Ocakçılık

3.2.8. Ramatçılık

Mücevher sektöründe kullanılan metaller geri dönüşümle tekrar kullanılabilirler (Şekil 3.9). Mücevher sektöründe ürünler değerli metallerle çalışıldığı için bu metallerin tozlarının kaybı ciddi maliyete yol açmaktadır. Kesme, tesviye, zımpara, cila v.b. işlemler yapıldığında metal tozlarından fireler oluşabilmektedir bu fireleri en aza indirebilmek için yerdeki, ciladaki, el yıkama sularındaki v.b. tozlar toplanarak ramatları yapılmakta ve

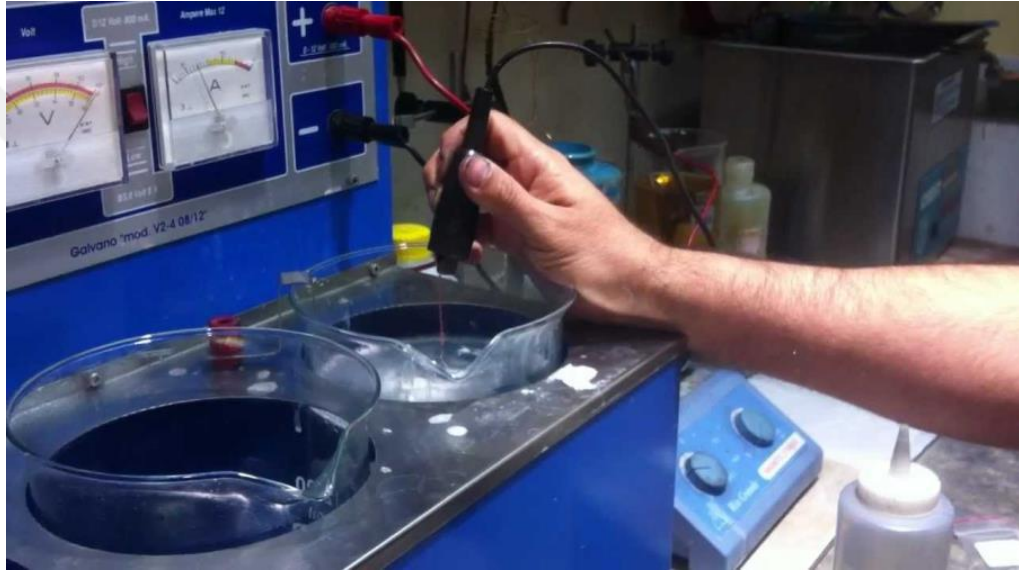
metaller saflaştırılarak geri kazanılmaktadır. Bu işleme ramat bu işlemi yapan ustaya da ramatçı denir.



şekil 3.9. Ramatçılık

3.2.9. Kaplamacılık

Alaşımların içerisindeki bazı metallere dolaylı mücevherler bir süre sonra oksitlenmeye ve renk değiştirmeye başlarlar. Bunu önlemek için mücevherlerin üzerlerine kimyasal yöntemlerle kaplamalar yapılmaktadır (şekil 3.10). Kaplama sayesinde ürün hem korozyona karşı koruma altına alınmış olup hem de tasarıma göre istenilen renk verilerek tek renkten çıkmış olunmaktadır. Bu işe kaplama bu işi yapan ustaya da kaplamacı denir.



şekil 3.10. Kaplamacılık

3.2.10. Cilacılık

Mücevherin tezghtan sonraki son işlemlerinin olduğu bölüm cila bölümüdür. Bu bölümde üretilip tesviyesi yapılan mücevherlerin zımpara ve ardından parlatma işlemleri yapılmaktadır (şekil 3.11). Cila sayesinde ürünler mat metalik görüntünün dışına çıkararak parlak ve takılmaya hazır hale getirilmektedir. Bu yapılan işe cila, bu işi yapan ustaya da cilacı denir.



Şekil 3.11. Cilacılık

3.2.11. Mum modelcilik

Mücevherlerin ana kalıpları her zaman metalden hazırlanmamaktadır. Bazen metalden hazırlanması güç modeller ya da bir heykeltıraş edasıyla yapılacak olan figürler kuyumculuk mumlarını yontarak elde edilmektedir. Metalde verilmesi güç olan desenler mum üzerinde istenildiği gibi şekil verilir ve sonrasında ana kalıp oluşturması için döküme gönderilir (Şekil 3.12). Böylelikle ana kalıp mumdan yapıp metal hale getirilmiştir. Bu işe mum modelcilik bu işi yapan ustaya da mum modelci denir.



Şekil 3.12. Mum Modelcilik

3.2.12. Tasarım ve kalıpcılık

Yapılacak ürünlerin tasarımları ve bilgisayarda üç boyutlu çizimleri yapılarak reçine ya da mum şeklinde 3d printer makinelerinden çıkarılıp ürünler hazır hale getirilir (Şekil 3.13). Böylelikle ürünün hem tasarımı hem de kalıbı hazırlanıp direk çoğaltma işlemi yapılmaktadır. Bu işi yapan ustaya kalıpcı denilmektedir.



Şekil 3.13. Tasarım ve Kalıpcılık

3.3. Kuyumculukta Üretim Yöntemleri

Kuyumculuk sanatında yukarıda anlatılan bölümlerin yardımıyla ya da bağımsız olarak çeşitli üretim yöntemleri de kullanılmaktadır. Bunların esas amacı üretimin en doğru şekilde yapılmasının sağlanmasıdır. Üretilen parçanın özelliğine, üretilecek olan alaşımın yapısına göre üretim yöntemleri doğru olarak seçilir ve üretim yapılır.

Üretim gerek el işleme teknikleri ile metal üzerinde, gerek el işleme teknikleri ile mum üzerinde, gerekse bilgisayarda cad-cam yöntemleri ile yapılmaktadır. Bunlara alternatif olarak farklı malzemelerle de kalıp hazırlamak için alternatifler geliştirilmektedir.

Uzun yıllardır farklı sektörlerde kullanılmakta olan toz metalurjisi kuyumculuk alanında da çok sık olmasa da kullanılabilir bir yöntemdir. Fakat doğrudan

tozun sıkıştırılması suretiyle yapılan toz metalurjisi yönteminde ince detaylar çok fazla çıkmamakta ve üretimde istenilen sonuçlar alınamamaktadır.

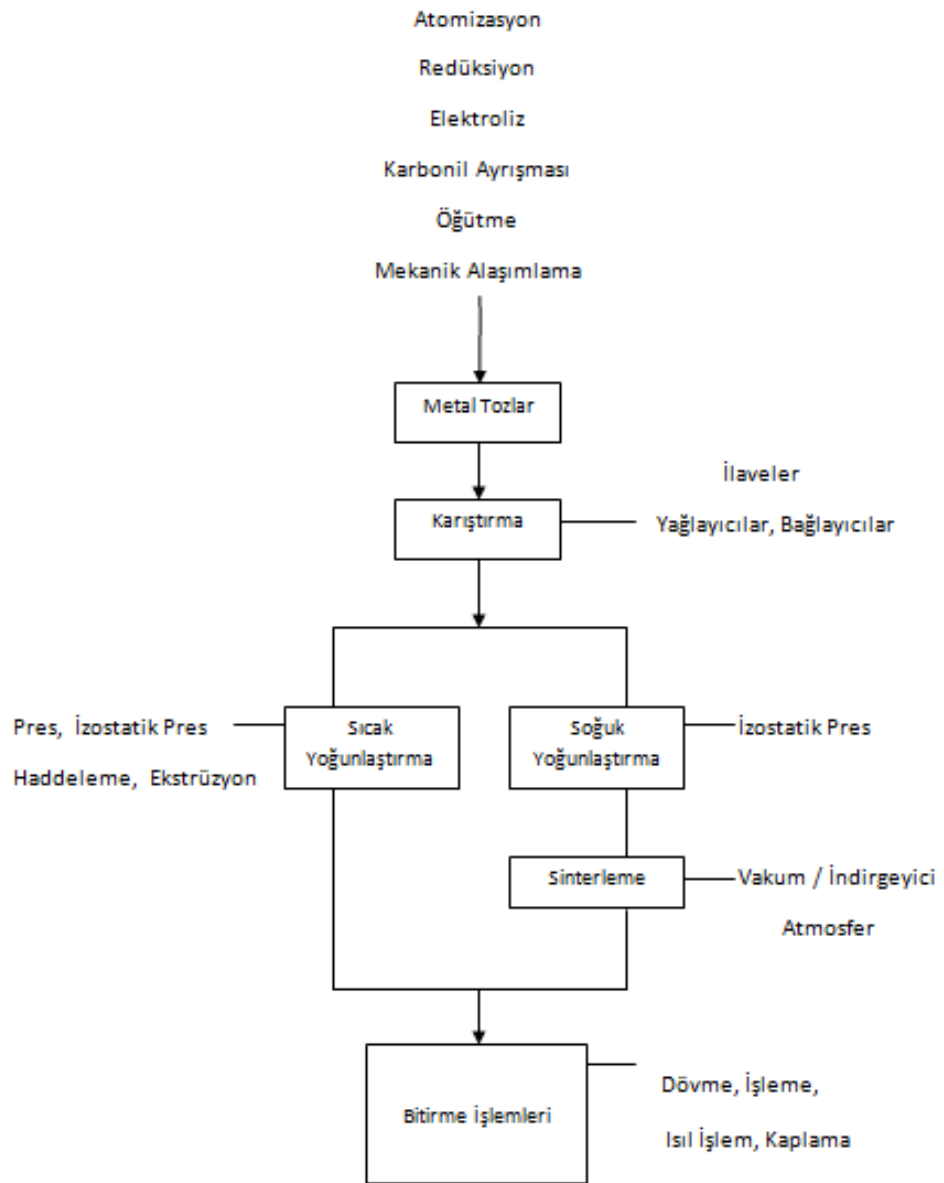
Buna alternatif olarak gelişen teknolojiyle birlikte de sinterleme yoluyla metal tozundan üretim başlamış ve hem tasarıma hem de üretime ciddi katkı sağlamıştır.

Teknolojiye bağlı olarak bilgisayar destekli tasarım programlarıyla çizilen ürünler, mum ve reçine olarak basılıp ardından döküm yöntemiyle çoğaltılmaya geçilmekteydi. Fakat bu yöntemde dahi yapılamayan tasarımlar bulunmaktadır. İşte bunlara alternatif olarak hem üretime hem de tasarıma katkı sağlayacak olan sinterleme yöntemiyle üretim başlamıştır.

4. TOZ METALURJİSİNE GİRİŞ

4.1. Toz Metalurjisinin Tanımı

Metal veya metal olmayan seramik tozlarının üretimi, şekillendirilmesi ve yoğunlaştırılması için basınç ve sıcaklık kullanılarak dayanıklı, katı parçalar haline getirilmesini sağlayan bir imalat tekniğidir (Yazıcıoğlu vd., 2014). Bu yöntem sayesinde istenilen şekildeki parçalar, üretilmesi istenen toz malzeme ile üretilmektedir.



Şekil 4.1. Toz metalurjisi üretim prosesi (Yılmaz, 2014)

Toz metalurjisi yöntemiyle döküm yönteminde de olduğu gibi istenilen mamül üretimi sağlanabilmektedir. Bu yöntem hemen hemen her malzemeye uygulanabilmektedir.

Bu yöntemle üretilen ürünlerin pek çoğu döküm yöntemiyle üretilemezler. Bunlara, yüksek sıcaklık seramikleri, refrakter metaller, polimerler, seramik ve metal karışımı sermentler, bakırlı çelikler, karışık fazlı bileşimler örnek olarak gösterilebilir.

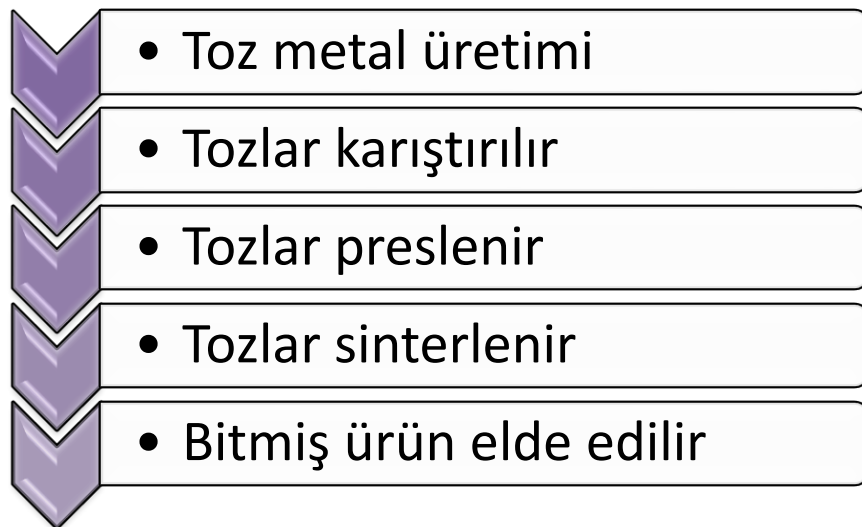
Toz metalurjisinin geleneksel yönteminin imalat sırasında metal tozları kalıplar içerisine yerleştirilerek preslenir ve daha sonra sinterleme işlemi yapılır. Sinterleme işleminde kullanılan sıcaklık metalin ergime sıcaklığının altında bir derecede yapılmaktadır (Şekil 4.1). (Dikicioğlu, 2016)

4.2. Toz Metalurjisinin Amacı ve Önemi

Toz metalurjisinde amaç metal tozlarının üretiminin yapılması ve bu üretilen tozların istenilen şekillerdeki ürünlere dönüştürülmesinin sağlanmasıdır.

Burada yapılan işlemlerde toz üretilir, birbirine karıştırılır, tozlar preslenir, sinterlenir ve bitmiş ürün elde edilir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Toz metalurjisinde temel işlem basamakları



Toz metalurjisi ile parça üretiminde kaliteli ve ekonomik ürün elde etmek mümkündür. Toz metalurjisi sayesinde çok küçük partiküller halinde bulunan metal ya da metal olmayan tozların birbirine bağlanması sağlanmaktadır. Bu bağlanma preslenmiş malzemenin yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile oluşmaktadır. (German, 2007)

Toz metalurjisi sayesinde sonradan oluşabilecek olan talaşlı işlemler ortadan kalkarak ürünün son şekline en yakın üretim sağlanmaktadır. Ayrıca kaynak, talaşlı işlem, şekil verme, döküm v.b. yöntemlerle üretilmesi oldukça zor olan alaşımlar bile kolaylıkla ürün haline getirilmektedir. Aynı zamanda toz metalurjisinin kullanılmasıyla talaşlı imalatta meydana gelecek kayıplar önlenmiş olacaktır. Bunların başlıcaları döküm yollukları, testereden ve tesviyeden oluşacak olan talaşlardır.

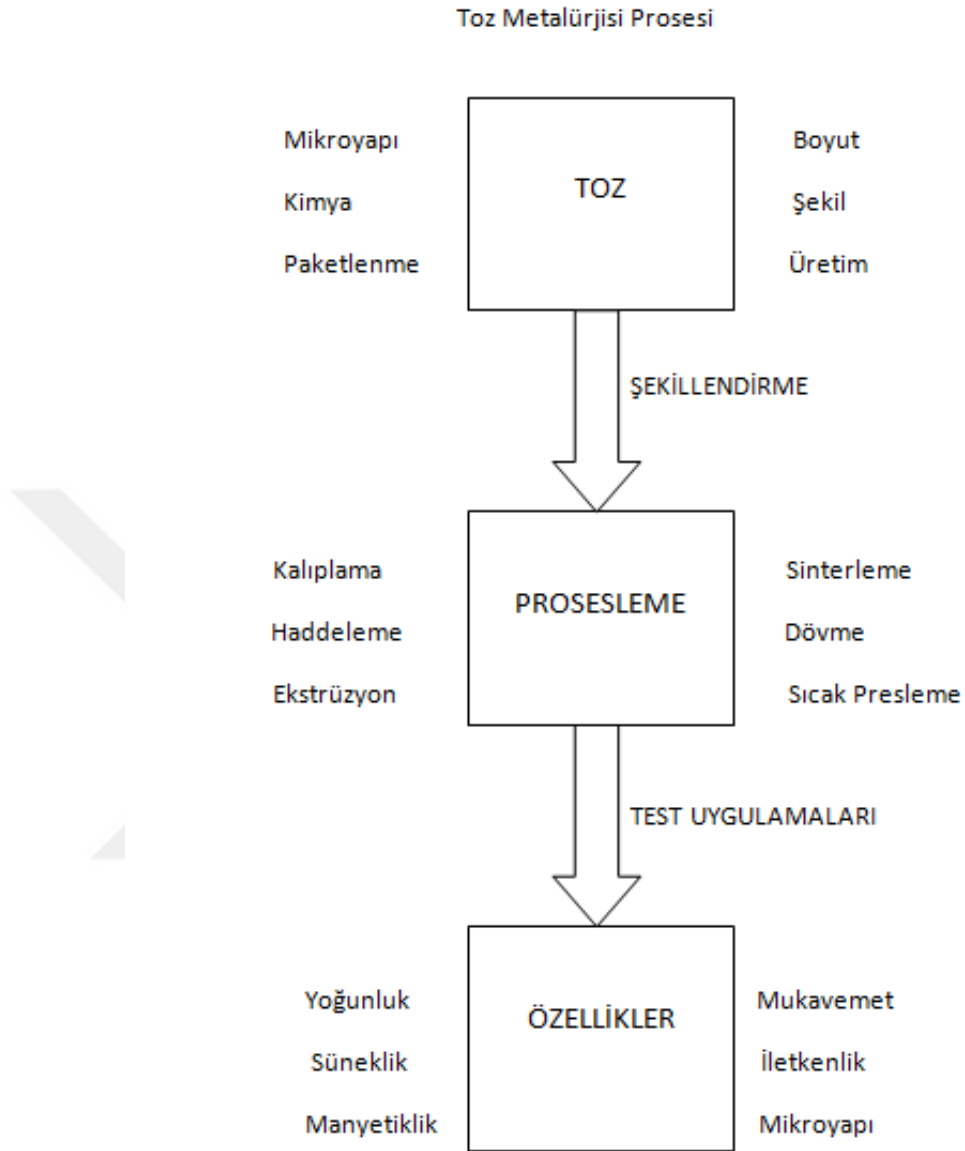
Bununla birlikte döküm yoluyla üretilmeyecek olan ergime sıcaklığı yüksek parçalar, kompozitler, sermentler, refrakter metaller, bakır çelikler, yüksek sıcaklıktaki seramikler de toz metalurjisi yoluyla üretilmektedir. Molibden, tungsten, platin gibi ergime sıcaklığı çok yüksek olan metallerin parça üretiminde de toz metalurjisi tercih edilmektedir. (Ersümer, 1970)

Uzun yıllardır malzeme üretiminde bir uygulama yöntemi olan toz metalurjisi metal kayıplarının önlenmesi ve işçiliğin az olması bakımından ekonomik bir üretim sağlamaktadır. Bu sebeple gelişmeye açık bir yöntem olan toz metalurjisi teknoloji ve ihtiyaçlar neticesinde kendini her geçen gün geliştirmektedir.

Toz metalurjisi sayesinde çok az malzeme ziyan edilirken, başlangıçta kullanılan tozun yaklaşık tamamına yakını mamule dönüştürülür.

Toz metalurjisi'nin önemini daha iyi anlamak için bazı örneklerle göz atmak gerekebilir. Örneğin; diğer yöntemlerle yapılması zor bazı metallerden olan ampullerdeki tungsten filamentleri toz metalurjisi yardımıyla yapılmaktadır.

Bununla birlikte bazı alaşımlar ve sermentler başka yöntemlerle imal edilemezler (Gavas vd., 2015).



Şekil 4.2. Toz metalürjisi prosesi (Yılmaz, 2014)

4.3. Toz Metalürjisinin Tarihsel Gelişimi

Metal tozları dünyada çok eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Örneğin; Mısırlılar M. Ö. 3000'li, Hindistan'da ise M.S. 300'lü yıllarda demir tozlarını kullanmışlardır. Hindistan'da M.S. 300'lü yıllarda 6.5 tonluk Delhi sütunu indirgenmiş demir tozundan yapılmıştır (Şekil 4.3). (Zeren, 2014)



Şekil 4.3. M.S. 300'lü yıllarda Hindistan'da yapılmış Delhi Sütunu (Zeren, 2014)

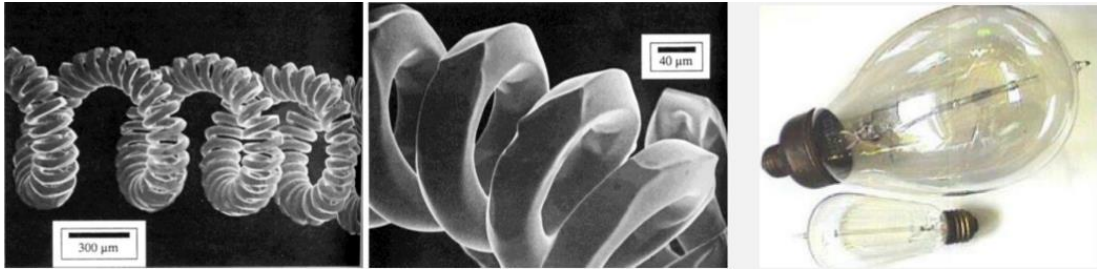
Bununla birlikte altın tozunu ilk defa İnkalar mücevher yapımında kullanmışlardı. Tarihsel süreçte 1800'lerde Rusya ve İngiltere'de laboratuvar araç ve gereçlerinin yapımı için platin tozları kullanılırken bu kullanımdan doğan ihtiyaçla kimyasal yöntemle çöktürülmüş tozların geliştirilmesi sağlanmıştır (Yılmaz, 2014).

Yine 1800'lerde İngiltere ve Rusya'da kimyasal yöntemlerle çöktürülen platin tozlarla, sıcak işlem ile döküme gerek kalmadan yüksek sıcaklıklarda platin elde edilmesi sağlanmıştır. Aynı tarihlerde presleme ve sinterleme metodlarıyla gümüş, kurşun ve bakır tozlarından da madeni paralar üretilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. 1978 yılında toz metalurjisi ile yapılmış madeni para

1900'lü yıllarda Coolidge tungsten tozlarını kullanarak dayanıklı lamba flamanı geliştirmiştir (Şekil 4.5). 1930'lu yıllarda ise çeşitli sert metallere WC - Co sermentler (yoğun karbür içeren seramik - metal kompoziti) gözenekli bronz yatakların ve bakır grafit esaslı elektriksel kontakt malzemeler geliştirmiştir (Yılmaz, 2014).



Şekil 4.5. Lamba Flamanı

Demir esaslı yapısal alaşımlar, refrakter alaşımlar metallerin üretimi ve çelik üretim refrakterleri 1940'lı yıllarda sert metallere yapılmasıyla birlikte toz metalurjisi önemli bir hale gelmiştir. Ayrıca refrakter karakterdeki Zirkonyum, Wolfram, Niyobyum, Renyum, Titan gibi çoğu metal alaşımları da üretilebilir hale gelmiştir. Bunların yanı sıra bronz, porselen, bakır, demir, slika, alümina, alüminyum, paslanmaz çelik gibi malzemeleri de toz halinde bulmak mümkün.



Şekil 4.6. Titanyum ve bakır tozları

Toz metalurjisi savaşa hazırlık zamanlarında yapılacak ve kullanılacak aletlerden dolayı hız kazanmıştır. Önceleri ucuz olduğu için tercih edilirken daha sonraları üretilebilirlik, homojen olma ve kalite gibi nedenlerden dolayı daha çok tercih edilir olmuştur. Jet motorlarından yüksek sertliğe sahip alaşımların havacılık endüstrisinde kullanılmasına, biyomedikal protezlerden (Şekil 4.7), bilgisayar elamanlarının yapımına, kol saatlerinden silah mühimmatlarına, diş dolgularından cerrahi takımlara, lamba ampullerinden bujilere kadar birçok alanda kullanılmaktadır (Şekil 4.8).



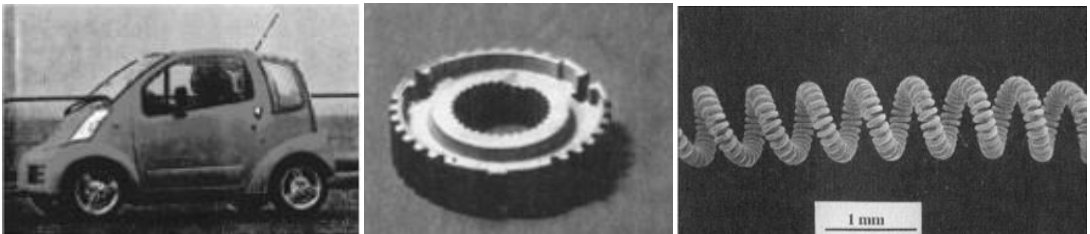
Şekil 4.7. İmplantlarda kullanımı



Şekil 4.8. Toz metalurjisi ile üretilmiş çeşitli malzemeler

1960'lı yılların sonlarına doğru ise ülkemizde kurulan tesislerde kullanılmaya başlayan toz metalurjisi, 70'li yıllarda fabrikalaşma yolunda büyük adımlar atılarak ilerleme kaydetmiştir. 2000'ler ve sonrasında Avrupa ve dünyaya ihracata başlanmış ve toz üretim miktarımız artmıştır.

Japonya'da ise otomotiv sektöründe bu yöntemle üretilen parçaların kullanım alanları 2003 yılında oldukça önem arzetmeye başlamıştır.



Şekil 4.9. Günümüzde toz metalurjisi daha da gelişerek yeni ihtiyaçlar ve teknolojilerle bağlantılı olarak birçok sektörde kullanılmaya devam etmekte ve sektörlerin gelişmesine katkıda bulunmaktadır.

5. TOZ MALZEME TEKNOLOJİSİ VE TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

5.1. Toz Karakterizasyonu

Toz metalurjisi toz parçalarının bir araya gelmesiyle olur. Tüm işlemler toz ile yapıldığı için öncelikle tozun iyi bilinmesi gerekmektedir. Toz malzeme teknolojilerinde tozların boyutu oldukça küçüktür. Bunlar dumandan büyük, kumdan küçük şeklinde tabir edilmektedir. Kullanılan tozların yapısına genellikle taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile bakılmaktadır.

Tozun şekil ve boyut özellikleri, presleme esnasında homojenlik sağlanması açısından önemli bir yer tutmaktadır bu sebeple tozların karakterizasyonları üretim kademeleri açısından önemli bir yer tutar. Karakterizasyon ile tozların yoğunluğu, elektriksel, ısı, manyetik, mekanik özellikleri aşınma ve korozyon dirençleri hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Ayrıca ilk sinterleme işleminin yapıldığı aşamalarda optimizasyonun sağlanması ile istenilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliğe sahip para üretimi de sağlanmış olacaktır.

Toz üretimi birçok şekilde yapılmaktadır. Burada önemli olan üretilecek olan tozun belirli boyutta ve şekilde olmasıdır. Ayrıca üretim aşamasında da herhangi bir kirlenme olamamasına dikkat edilmelidir. Bir tozun üretildiği yöntemin bilinmesi kullanıcıya şekildeki fiziksel özellikleri, kimyasal safiyeti ve safsızlık nitelikleri hakkında genel bilgiler verebilmektedir.

Tozun bölünemeyen en küçük birimine parçacık denilmektedir. Parçacıklar da bir araya gelerek tozu oluşturmaktadır. Tozlar farklı özelliklerle karşımıza çıkmaktadırlar (Şekil 5.1).

Bu özellikler şu şekildedir; (Cerit, 2014)

- Parçacık boyutu ve dağılımı
- Toz şekli
- Spesifik yüzey alanı

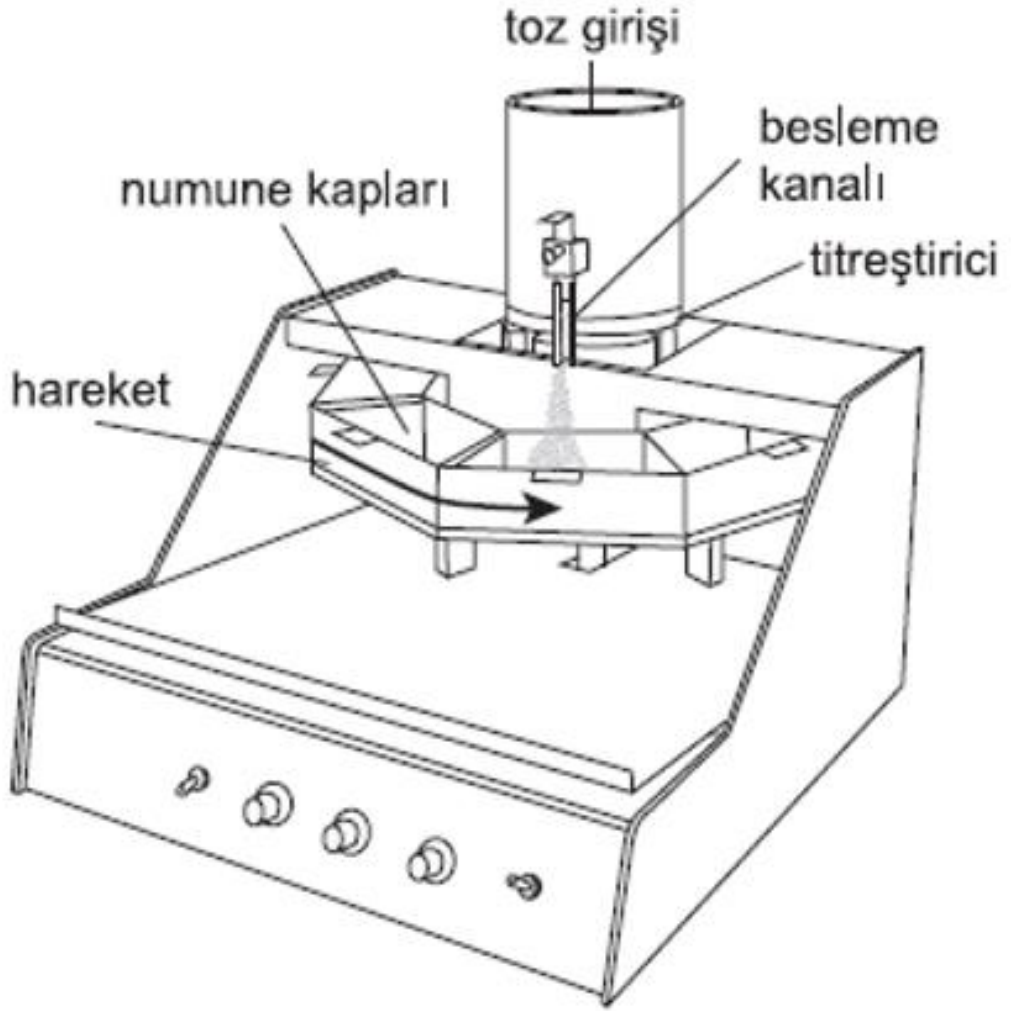
- Parçacıkların topaklanması
- Bileşim, homojenlik ve kirlilik (Safsızlık: Oksijen, karbon, Na, Ca, Fe miktarı)
- İy yapı
- Parçacıklar arası sürtünme
- Akış ve paketleme



Şekil 5.1. Çeşitli üretim teknikleri ile üretilmiş parçacık şekilleri (Cerit, 2014)

5.1.1. Numune Alma

Toz karakterizasyonunun kapsamlı bir şekilde değerlendirme işleminin yapılabilmesi için çeşitli testler yapılır. Bu sebeple ilk yapılacak iş numune almaktır. Numune analiz için alınmaktadır ve sanıldığından daha meşakatli bir iştir. Alınan numune tozun hepsini temsil etmektedir bu sebeple numuneler birkaç yerden alınmalı ve birbirine karıştırılmalıdır. Numuneler alınırken tozlar mümkün olduğunca hareketli parçacık demetinden alınmalıdır. Titreşim parçacıkları boyutlarına göre büyükler üstte, küçükler altta olacak şekilde ayırır.



Şekil 5.2. Döner numune bölücü, tozu çok sayıda küçük ve rastgele numuneleri ayırmak için kullanılır. Yeterince küçük son numuneye kadar her numune bölünebilir (Cerit, 2014)

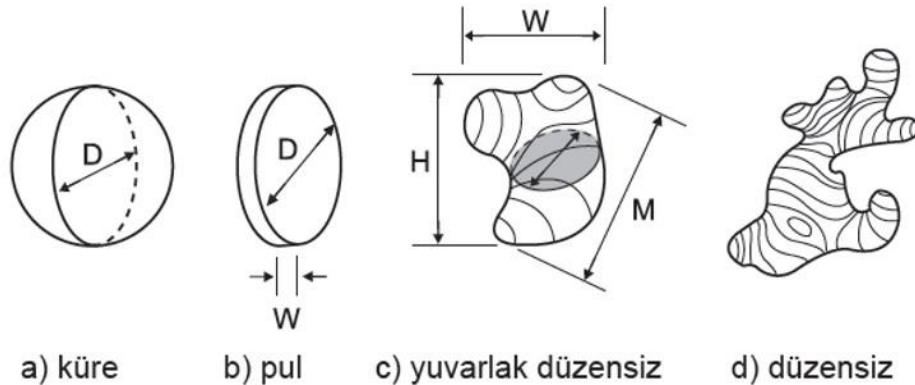
5.1.2. Parçacık boyutunun ölçümü

Toz metalurjisinde bir tozun özelliklerinin ve tozun boyutunun doğru olarak belirlenmesi için tozun dağıtma işleminin uygun bir biçimde olması gerekmektedir. Toz metalurjisinin en önemli parametrelerinden biri parçacığın boyutudur. Parçacık boyut ölçümünün yapılması, bir parçacığın boyutlarının belirlenmesi açısından önemlidir. Bu belirleme ölçülen özgül parametreye, parçacık şekline ve yapılan ölçüm tekniğine bağlıdır.

Parçacık boyut analizi yapılırken farklı tekniklere başvurulabilir. Bu tekniklerdeki parametre farklılıkları nedeniyle parçacıkların boyut analizleri birbirinin aynısı olmayan sonuçlar verebilmektedir.

Tozların boyutlarına bakarken bazen nemden etkilenen tozlarla karşılaşılır. Nem yüzünden tozlar birbirine topaklanmış halde bulunmaktadır. Tozların boyutları ölçülmeden önce nemden arındırmak için tozun kurutulması faydalı olacaktır. Toz kurutulduktan sonra mekanik halde karıştırma ya da ultrasonik çalkalama yöntemiyle topakların dağıtılması sağlanır.

Bunların dışında tozların içinde agregalar da bulunabilmektedir. Bu agregalar dağıtılması zor ve oldukça serttir. Topak haldeki tozlar dağıtılabılır fakat agregaların dağıtılması zordur. Bu sebeple tozların boyutunun ölçümü yapılırken agregalar farklı boyutlar vermektedirler.



Şekil 5.3. Parçacık boyutlarının ölçümü yapılırken parçacık şekillerinin karmaşıklığından kaynaklanan zorlukların gösterilişi (Cerit, 2014)

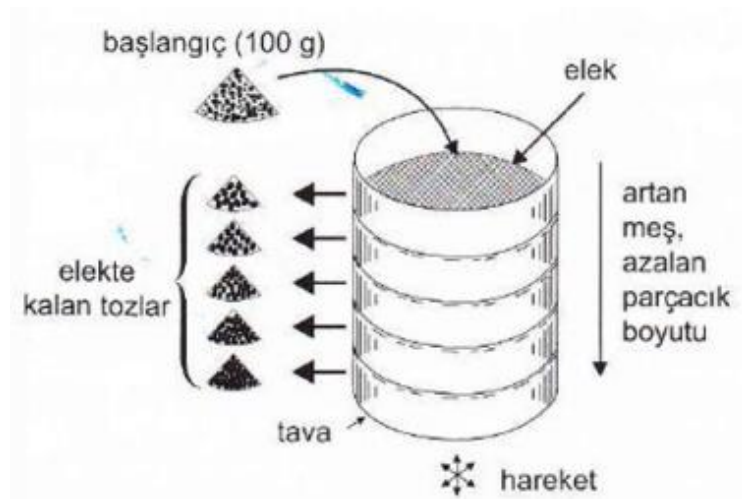
Parçacık boyutları ölçülürken genellikle parçacık boyutları küre olarak kabul edilmektedir. Düzensiz olan parçacıkları da ölçerken parçaları küre olarak kabul edip eş değer çap formülünden yararlanılıp buna göre ölçüm yapılmaktadır (Şekil 5.3). (Cerit, 2014)

Parçacık boyutu ölçümünde bazı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler;

- Eleme
- Mikroskop ile inceleme
- Elektriksel alan algılama
- X Işını teknikleri
- Işık engelleme
- Işık saçılımı ve kırılımı
- Sedimentasyon

5.1.2.1. Eleme

Büyük parçaların küçük parçalardan ayrılması için uygulanan eski bir yöntemdir. Eleme işlemine elek analizi de denilmektedir. Eleme işlemi elekler yardımı ile yapılmaktadır. Elekler çeşitli aralıkları olan tellerden oluşmaktadır. Bu tellerin arasında her biri farklı boyutta olmak üzere boşluklar vardır.



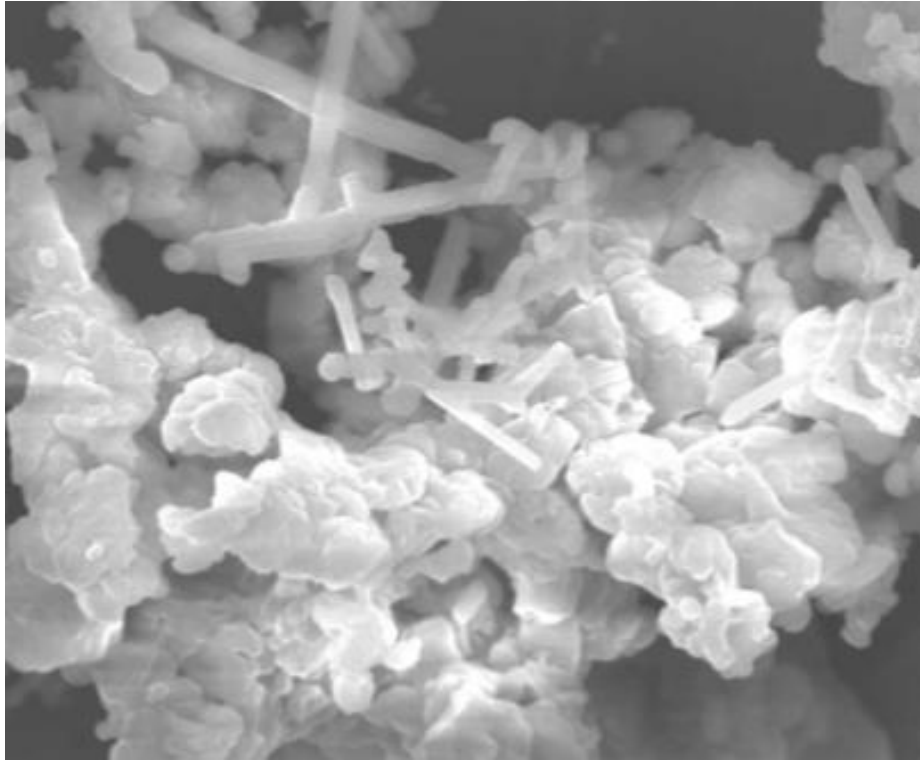
Şekil 5.4. Kademeli olarak eleklerin kullanımı (Cerit, 2014)

Eleğin içerisine tozlar yerleştirilir ve elek sallanır. İşte bu eleğin üzerinde kalan kısımlar o eleğin ölçüsü kadardır. Altta kalan kısımlar için tekrar tekrar diğer elek boyları kullanılarak ölçümler yapılmaktadır. Bu boşluklardan tozlar düşerek böylelikle tozun ölçüsü bilinmektedir (Şekil 5.4).

5.1.2.2. Mikroskop ile inceleme

Toz parçacıklarının boyutunun öğrenilmesinde en çok tercih edilen yol mikroskop ile inceleme yöntemidir. Bu görüntü yönteminde analizler için SEM, optik mikroskop ya da TEM kullanılmaktadır.

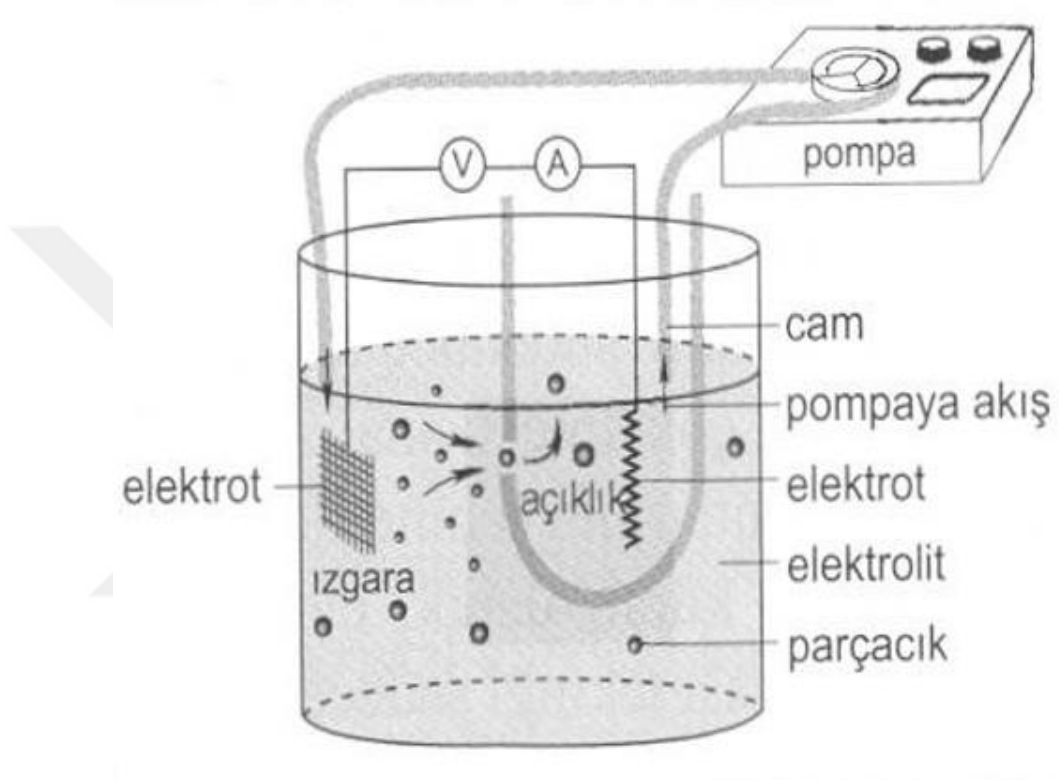
Mikroskop ile inceleme sayesinde ölçülen parçalar dijital ortama aktarılırken aynı zamanda sayısal veri olarak da alınabilmektedir. (Yılmaz, 2014)



Şekil 5.5. Si₃N₄ tozuna ait SEM görüntüsü (Yılmaz, 2014)

5.1.2.3. Elektriksel alan algılama

Toz boyutunu ölçmek için kullanılan yöntemlerden biri de elektriksel alan algılamadır. Bu yöntem toz parçacıklarının tuzlu suya konularak burada dağılması ile başlar. Ölçme işleminde tuzlu suyun elektrik iletkenliği, yalıtkan bir cam içindeki bir açıklıktan pompalama esnasında ölçülür.



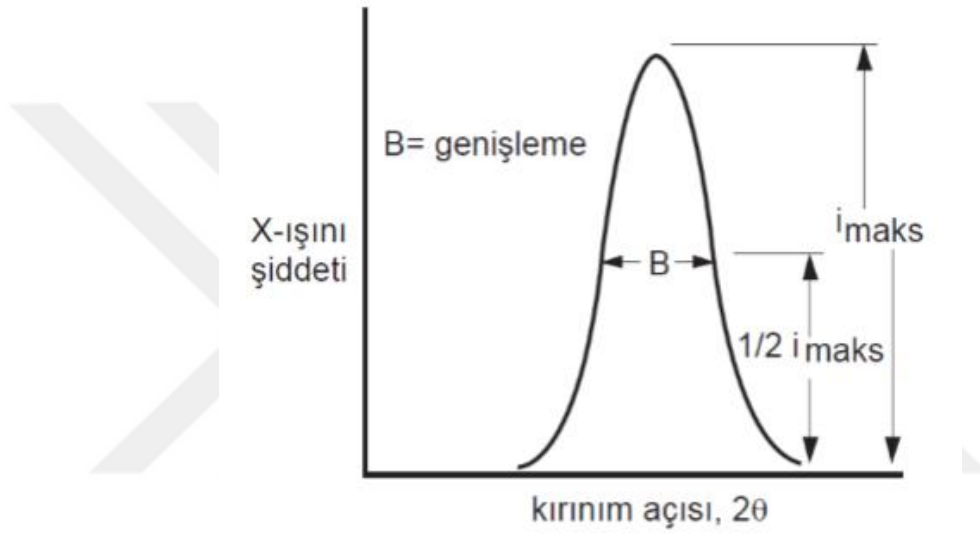
Şekil 5.6. Elektrik iletkenliği kullanılarak parçacık boyut analizi yöntemi (Cerit, 2014)

Toz parçacıkları cam içindeki açıklığın içinden geçerken elektrik iletiminde değişiklikler meydana gelir. Bu koşulda meydana gelen düzensizlikler akışkanın içinde asılı duran parçacıkların boyutlarını belirlemek ve bu parçacıkları saymak için kullanılmaktadır (Şekil 5.6).

Bu yöntemde en iyi sonuçlar genellikle yoğunluğu düşük olan seramik ve polimer gibi malzemelerle elde edilir.

5.1.2.4. X ışını teknikleri

Toz parçacıklarının boyutunun ölçülmesinde başka bir yöntem ise X ışını teknikleriyle boyut ölçmektir. Bu yöntemle çok küçük parçacıkların ortalama ölçümleri yapılmaktadır. Ölçme yapmak için difraksiyon çizgi genişlemesi yaklaşımı kullanılmaktadır. Kullanılan teknikte tepe genişliği, çizginin yarı yüksekliğinde ölçülür.



Şekil 5.7. X Işını tepe noktası genişlemesi, maksimum şiddetin yarısındaki B genişliğine dayalı olarak ölçülür. (German, 2007)

Scherrer formülü şu şekildedir. (German, 2007)

$$D = \frac{0,9 \cdot \lambda}{B \cdot \cos(\theta)}$$

D (nm) = Parçacık boyutu

B (radyan) = Genişleme

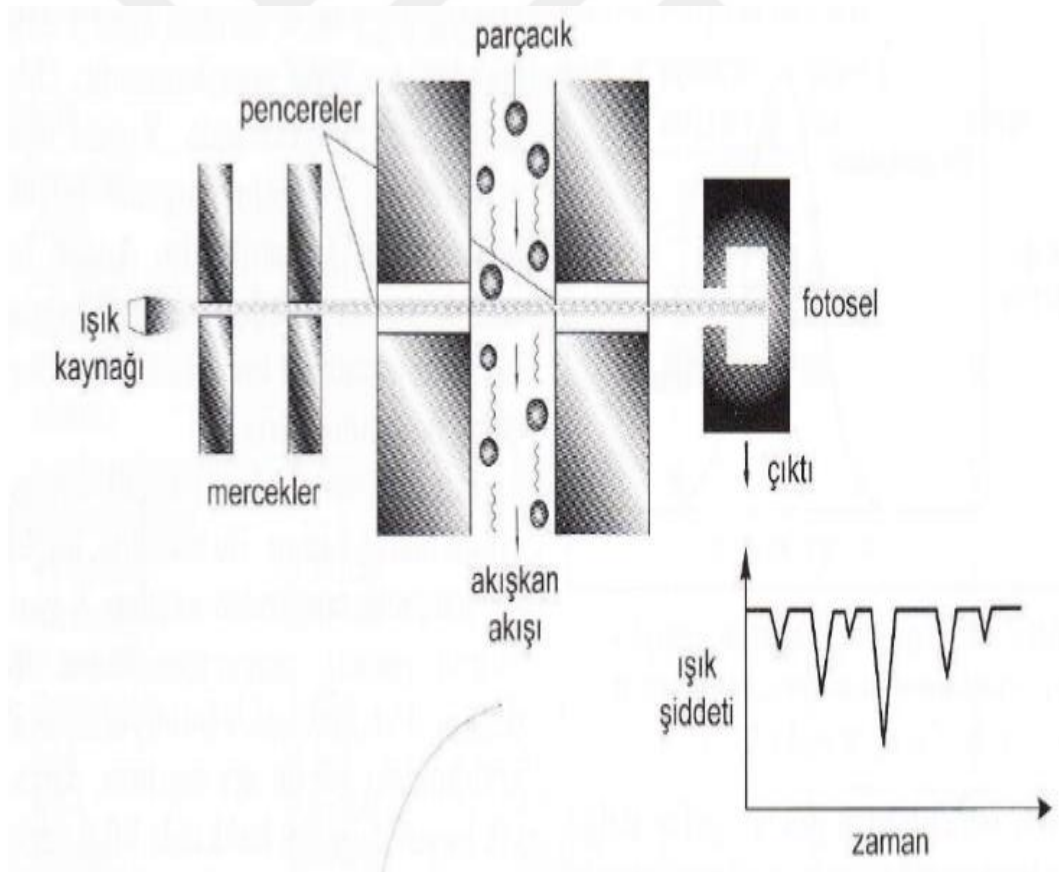
θ (derece) = Difraksiyon kırınım açısı

X ışını(nm) = Dalga boyu

5.1.2.5. Işık engelleme

Parçacık boyutu hesaplamada kullanılan ışık engelleme tekniği elektriksel bölge algılama tekniğinde olduğu gibi taşınmalı analiz tekniğidir. Bu teknikte bir ışık demeti, sıvı içinde dağıtılmış parçacık akışıyla kesilmektedir. Burada pencerelerin önünden geçen bir toz parçacığı, gelen ışığın fotosel dedektörüne ulaşmasını engellemektedir. Toz parçacığının formu küresel olarak kabul edilir ve engellenen ışığın miktarı eşdeğer olarak dairesel kesit alana eşitlenir.

Işık engelleme tekniğindeki dinamik oran, en büyük toz parçacığının boyutu, en küçük toz parçacığının boyutuna oranı 45'tir (Şekil 5.8). (Cerit, 2014)



Şekil 5.8. Işık engellemesine dayalı toz parçacığı boyut analizi. (Cerit, 2014)

Burada optik çözünürlükle en düşük toz parçacık boyutunun 1 µm olduğu elde edilir. Açıklık tıkanır ya da çakışmalar yaşanır sorun çıkar. Bu sebeple toz parçacıklarının akışkan içerisindeki seyreltme, toz parçacığı dağıtımını çakışmaların önlenmesi adına önemlidir.

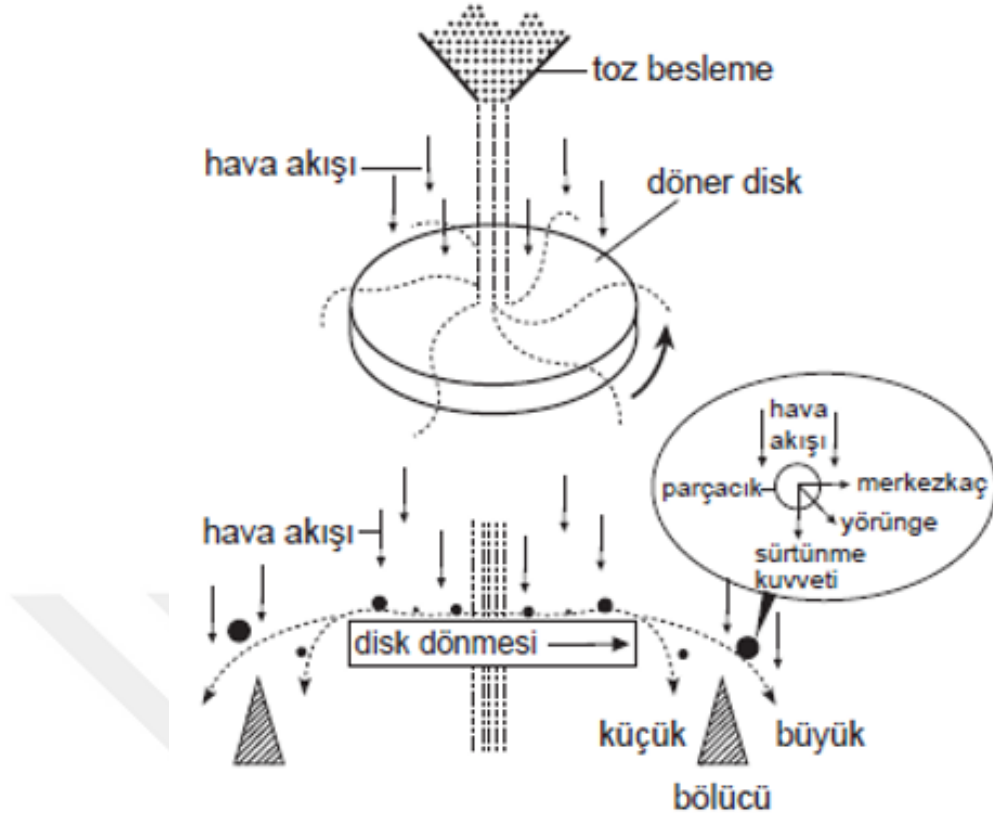
5.1.2.6. Işık saçılımı ve kırılması

Bu teknikte otomatik parça boyut cihazları, toz parçacıklarını hareketli bir akışkan içerisinde dağıtır. Sonrasında bu dağılmış olan toz parçacıkları bir dedektörün önünden geçirilir. Böylelikle dedektör, toz parçacık boyutuyla orantılı olan ışık saçılmasındaki değişimleri ölçer. Buna örnek olarak lazer gösterilebilir.

5.1.2.7. Sedimentasyon

Sedimentasyon ile toz parçacık boyu analizi, küçük parçacıklara uygulanabilmektedir. Buradaki parçacık boyut aralığı 0.02-100 µm dir. Sedimentasyonda bir sıvı ya da gaz içinde çöken tozlar akışkan viskozitesine ve parçacık boyutuna bağlı olarak bir hıza ulaşmaktadırlar. Bu hususa göre parçacık boyutu çökme hızına bakarak hesaplanabilir.

Bu teknik ile toz parçacıklarının boyut analizi, tozun bir çökme tüpünde dağıtılması ile başlar. Test yapılırken küçük parçacıklar hava kullanılırken, diğer parçalar çoğunlukla su gibi bir akışkan içinde yapılır. Burada parçacığın boyutlarının hesaplanması çökme zamanına karşı, tüpün dibine çöken tozun hacim veya ağırlık ölçümlerine bağlıdır. Sedimentasyon ile ölçüm sırasında akışkanda türbülans olmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca kullanılan toz ile akışkan kimyasal tepkimeye girmemelidir.



Şekil 5.9. Döner disk ve sabit hava akışı kullanılarak bir tozun hava ile sınıflandırılmasında parçacık boyutunun ayrılması. Küçük parçacıklar merkezkaç kuvveti ve hava hızına verdikleri farklı tepki ile daha büyük parçalardan ayrılırlar. (Taplan vd., 2013)

6. TOZ ÜRETİMİ

6.1. Toz Üretim Yöntemleri

Bir tozun üretilme yönteminin bilinmesi tozun kullanılacağı alanda pek çok fayda sağlar. Örneğin tozun boyut, şekli, saflığı, maliyeti v.b. özelliklerinin başlangıçta tahmin edilip üretim sürecine katkıda bulunur. Hemen her malzeme toz haline getirilebilir (Şekil 6.1). Ancak bu seçilen yöntemle ilgilidir. Malzemenin toz haline gelmesinde tercih edilecek teknik maliyet, tepkimeler ve istenilen özellikler gibi faktörlerin oluşumuna bağlıdır.

Toz haline getirilen malzemelerin çoğunda özelliklerine uygun teknik kullanılmaktadır. Toz üretiminde kullanılan birçok üretim yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan ana yöntemler şu şekildedir:

- Mekanik yöntemler
- Kimyasal yöntemler
- Elektroliz yöntemi
- Atomizasyon yöntemleri



Şekil 6.1. Çeşitli metal tozları

Yapılacak olan mamülün özelliklerine tozun yapısı büyük oranda etki eder. Toz yapısı için tozun partikül yüzey durumu, kompozisyonu, partikül boyutu-şekli-boyut dağılımı v.b. özelliklerinden bahsedebiliriz. Bu yapı özellikleri toz üretiminde elde edilir (Eroğlu, 2007).

Çizelge 6.1. Çeşitli tozların üretim teknikleri (Eroğlu, 2007)

MALZEME	YAYGIN YÖNTEMLER
Alaşım Çelikleri (Örnek, takım çeliği)	Su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon,
Alümina	Öğütme
Alüminyum	Hava atomizasyonu, gaz atomizasyonu, öğütme
Berilyum	Öğütme, gaz atomizasyonu
Sert Metal (WC – Co)	Öğütme, aşındırarak öğütme
Kobalt	Oksit indirgeme, kimyasal çökeltme
Kompozitler (Örnek Al-SiC)	Mekanik alaşımlama, plazma atomizasyonu
Bakır	Elektrolitik, su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, kimyasal çökeltme, oksit indirgeme, tuz bozunması
Bakır alaşımları (Örnek Pirinç)	Su atomizasyonu, hava atomizasyonu
Altın	Elektroliz, hava atomizasyonu, kimyasal çökeltme
İntermetalikler (Örnek NiAl)	Gaz atomizasyonu, tepkimeli sentez, savurmalı atomizasyon
Demir	Oksit indirgeme, su atomizasyonu, karbonil bozunma, gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon
Nikel Alaşımları	Asal gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, savurmalı atomizasyon
Nikel	Karbonil bozunma, elektolizle biriktirme, su atomizasyonu
Değerli Metaller (Örnek, Ag)	Hava atomizasyonu, elektrolitik biriktirme, kimyasal çökeltme
Reaktif Metaller (Örnek, Ti)	Klorür indirgeme, savurmalı atomizasyon, kimyasal çökeltme, hidrojenleme – hidrojen giderme
Isıya Dayanıklı Metaller (Örnek, W)	Oksit indirgeme, kimyasal çökeltme, savurmalı atomizasyon, plazma atomizasyonu
Özel Alaşımlar (Örnek, Co – Cr)	Gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, savurmalı atomizasyon, plazma atomizasyonu
Süper Alaşımlar	Gaz atomizasyonu, savurmalı atomizasyon, mekanik alaşımlama
Uranyum	Oksit indirgeme, hidrojenleme – hidrojen giderme

Metal tozu üretiminde hedef, metal tozundan üretilecek ürünün kalite gereksinimlerini karşılayacak en ucuz yöntemle üretilmesidir. Toz metalurjisi tekniklerinin gelişmesi ile kalite ve maliyet arasındaki ilişkiden kaynaklı çeşitli gereksinimler doğurmuştur.

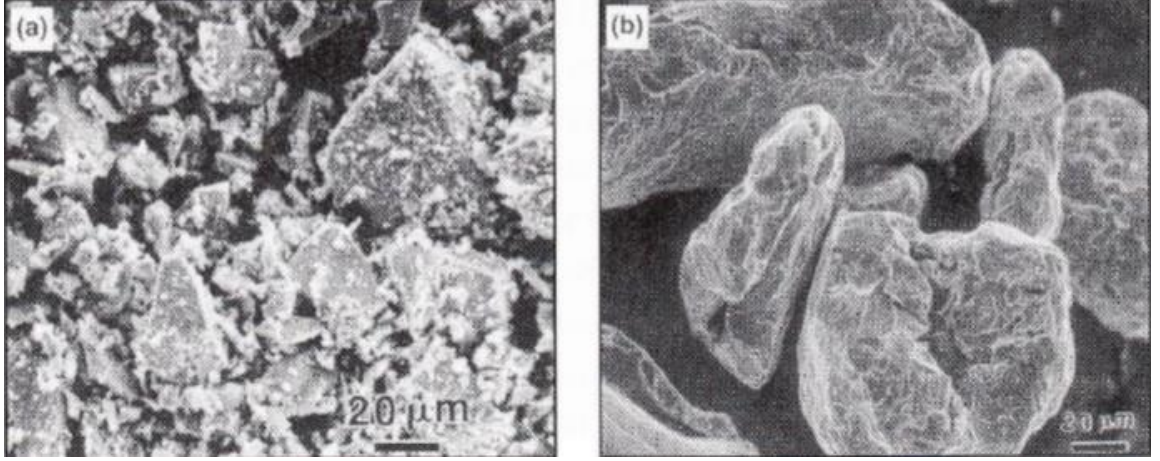
6.1.1. Mekanik yöntemler

Toz üretimi serbest yüzeylerin fiziksel ya da kimyasal yollarla enerji kullanarak küçük boyutlardaki malzemelerin yani parçacıkların oluşturma işlemidir.

Hemen her türlü malzeme toz halinde üretilebilir. Üretilecek olan malzemeler niteliklerine ve maliyetleri göz önüne alınarak en uygun üretim yöntemi belirlenerek üretilmelidir.

Dört ana mekanik yöntem vardır. Bunlar; (Yılmaz, 2014)

- Vurmak: Darbe suretiyle malzemeyi toz haline getirmek (*Impaction*), örneğin çekiçlemek gibi, büyük kütleli parçacıkların küçük tanelere ayrıştırılmasında hızlı ve etkili bir yöntemdir.
- Öğütmek: Aşındırıcıların birbirine sürtünmesiyle ya da küçük bilyelerin bulunduğu dönen bir sistem sayesinde toz üretimi (*Attritioning*),
- Kırpmak: Talaşlı imalat gibi kesip kopartmak suretiyle malzemenin toz haline gelmesi (*Shearing*),
- Basmak: Malzemenin kırılma noktasına kadar ezmek, ufalamak suretiyle toz üretimi (*Compression*).



Şekil 6.2. Mekanik yöntemlerle üretilmiş tozların sem görüntüsü

a) Öğütülmüş demir borür

b) Talaşlı imalat ile elde edilmiş alüminyum tozları (Cerit, 2014)

Ayrıca mekanik yöntemler 3 grupta incelenebilir. Bunlar; talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlamadır.

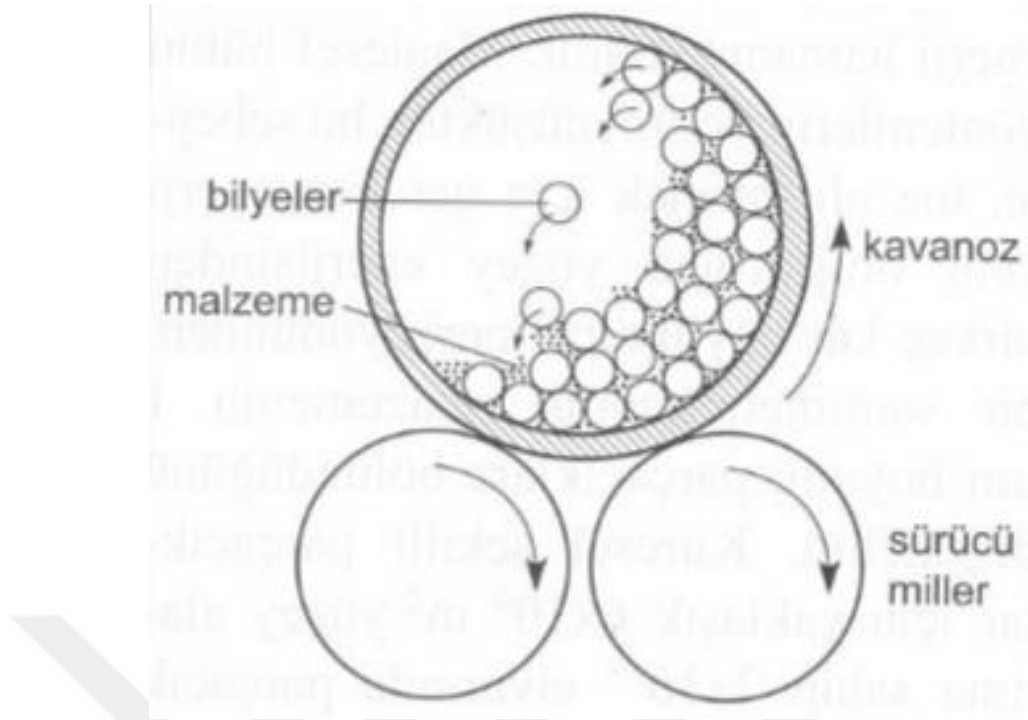
- Talaşlı Üretim

Çok iri ve karmaşık tozlar üretmek için tornalama, talaşlama ve frezeleme gibi talaş kaldırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilen tozlar öğütülerek ince tozlar haline getirilebilir.

- Öğütme

Öğütme işlemi sünek metaller için uygun değilken, kırılkan malzemelerden metaller arası bileşikler, demir alaşımları v.b. gibi mekanik olarak bilyalı değirmenlerde öğütülürler. Bazı sünek malzemeler öğütme işlemine elverişli hale gelmesi için sıvı azotla soğutularak gevrekleştirilir.

Bazı sistemlerde öğütme işlemleri karıştırma işlemi ile birleştirilebilir. Örneğin; kobalt ve karbür sinterlenmiş karbürlerin üretiminde birlikte öğütülürken, aynı zamanda karışmaları sağlanır (Cerit, 2014).



Şekil 6.3. Silindirik değirmende hareketin gösterilmesi. Silindirik döner ve aşağı düşen bilyeler malzemeyi öğütürük toza dönüştürür (Cerit, 2014)

- Mekanik alaşımlama

Parçacık takviyeli kompozitler, oksit dağılımı ile güçlendirilmiş malzemeler gibi yüksek sıcaklıkta sürtünmeye dayanımı sayesinde uzun süredir kullanılmaktadır. Kompozitlerin üretilmesinde sert parçaların homojen olarak dağılımını elde etmek zordur. Bu sebeple öğütme teknikleri kompozitlerin üretimi için geliştirilmiştir. Başarılı bir teknik olan hareketli bilyeler arasındaki aşındırma ile alaşımlı kompozit parçacıklar üreten mekanik alaşımlama buna bir örnektir.

Ayrıca, kuru ve katı haldeki tozların birbirlerine ardarda kaynaklanıp ve sonrasında bu kaynakların kırılmasını sağlayıp daha ince ve homojen bir mikroyapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesinde mekanik alaşımlama yöntemi kullanılır (Şekil 6.4). (Cerit, 2014)



Şekil 6.4. Mekanik alaşımlamanın şematik gösterimi (Cerit, 2014)

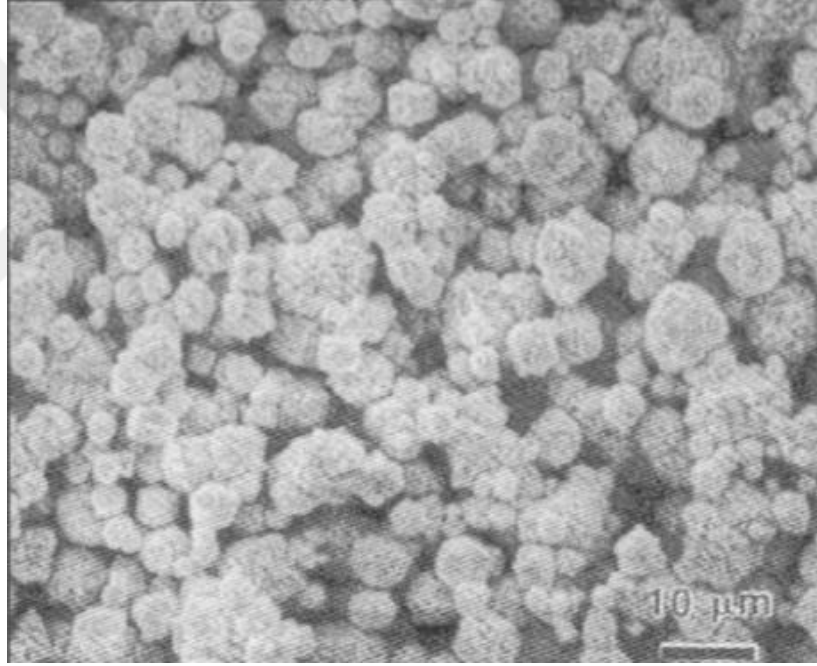
6.1.2. Kimyasal yöntemler

Demir, bakır, nikel v.b. metal oksitlerin karbonmonoksit ya da hidrojen gibi indirgeyici gazlarla oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesi metal tozlarının kimyasal yöntemlerle üretimidir (Ball, 2015). Bu yöntemle üretilen uygulamaya örnek verecek olursak; kimyasal yöntemle üretilen sünger demir tozudur.

Kimyasal yöntemlerle üretim teknikleri şunlardır; Isıl bozunma, sıvıda çökeltme, gazda çözeltme.

6.1.2.1. Isıl bozunma

Toz parçacıkları buhar parçalanması ve yoğunlaştırmanın birlikte kullanılması ile üretilebilir. Burada durum bir metalle karbonmonoksitin tepkimesiyle başlamaktadır. Demir karbonil ve nikel karbonil bileşikleri buna örnektir. Nikel karbonil üretmek için nikel karbonmonoksit ile eş zamanlı basınç ve ısıtma uygulamasıyla tepkimeye sokulur. Karbonil molekülü 430C'ye geldiğinde soğutularak sıvı hale getirilir. Daha sonra saflaştırmak için kısmi damıtma kullanılır. Ardından sıvı katalizör yardımıyla tekrar ısıtıldığında buhar bozulmasıyla toz elde edilir. Burada elde edilen nikel tozları düzensiz, yuvarlak, küçük parçacıklı ve %99,5 saflıktadır (Şekil 6.5). (Cerit, 2014)



Şekil 6.5. Karbonil bozunması ile oluşturulmuş nikel tozunun SEM görüntüsü (Cerit, 2014)

6.1.2.2. Sıvıda çökeltme

Kimyasal işlem uygulanarak çökeltmiş toz parçacıkları üretilebilir. Bunlar nitrat, klorür veya sülfat gibi çözünmüş bileşiklerdir. Gümüş nitrat çözeltisini inceleyecek olursak; metal iyonları hidrojen ile tepkimeye girip metal çökeltileri

oluşturmaktadırlar. Bunlarda en çok görülen örnekler; %99,8 saflıkta nikel, bakır ve kobalt tozlarıdır. Kimyasal olarak çökeltmiş tozlar 1 µm civarındadır .

Bu çökeltmede ürünlerin çoğunda küçük parçacık boyutları nedeniyle topaklanma gözükür. Bunların yanı sıra kapasitörler ve yüksek sıcaklık uygulamaları için önemli olan tantalyum ve benzeri ısıya dayanıklı metaller de sıvıdan çökeltme yöntemi ile üretilirler.

6.1.2.3. Gazda çökeltme

Molibden tozunda olduğu gibi, küçük tozların az kirlilik ile üretilmelerinde gazda dayalı çökeltmeler kullanılır. Molibden tozunun üretilmesi, molibden oksitin saf hidrojen ile tepkimeye girmesiyle oluşmaktadır. Ayrıca gümüş, kobalt, nikel, titanyum, vanadyum, zirkonyum, volfram, hafniyum, veya niyobyum gibi metallerin florürleri, oksitleri veya klorürleri gazda çökeltme işlemi için uygundur.

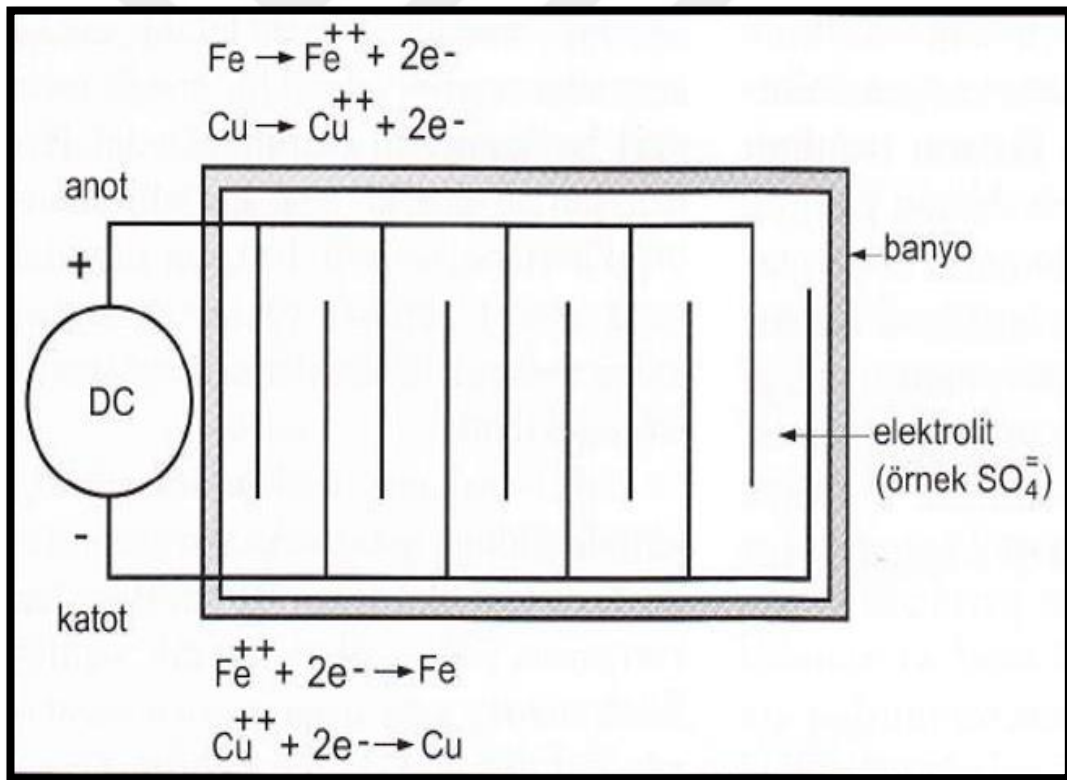
Gazda çökeltmede toz parçacıkları 10-10000 nm boyut aralığındadır ve kolayca topaklanmaktadır. Ayrıca bu yöntem pahalı bir toz üretim yoludur. Fakat saflığı, şekli, parçacık boyutu ve topaklanması buhar tepkimesi koşullarıyla ayarlanabilir.

6.1.3. Elektroliz yöntemi

Elektroliz yöntemi ile toz üretimi, bir elektrolitik sıvının içerisinde tozların katotta biriktirilmesi yöntemiyle olmaktadır. Bu yöntemle elde edilen tozlar öğütülerek ince bir toz haline gelmektedir. Ayrıca bu yöntemin en önemli avantajı tozların iyi sıkıştırabilme özelliklerine sahip olmaları ve yüksek ürün saflığında olmasıdır.

Bu yöntemle üretilen tozlar genellikle süngerimsi ya da dendritik şekildedirler. Elektroliz yönteminde hücreye uygulanan voltaj altında anodun çözünmesi başlar. Bu sırada katot üzerinde saflaştırılmış birikintiler oluşmaktadır. Daha sonra oluşan bu birikintiler sıyrılarak yıkanır ardından kurutulur ve öğütülerek toz haline getirilir. Tozların üzerinden uçucu maddeleri gidermek ve gerilmeleri azaltmak için tozlara tavlama işlemi yapılmaktadır.

Elektroliz yöntemi çevre kirliliğine duyarlı bir yöntem olmakla beraber bir çok metal bu yöntemle toz haline getirilebilir. Elektroliz yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha az oksijen içeren ve yüksek mukavemetle toz üretimi için gerekli bir yöntemdir.



Şekil 6.6. Toz biriktirmek için bir elektroliz hücresi (Yılmaz, 2014)

6.1.4. Atomizasyon yöntemleri

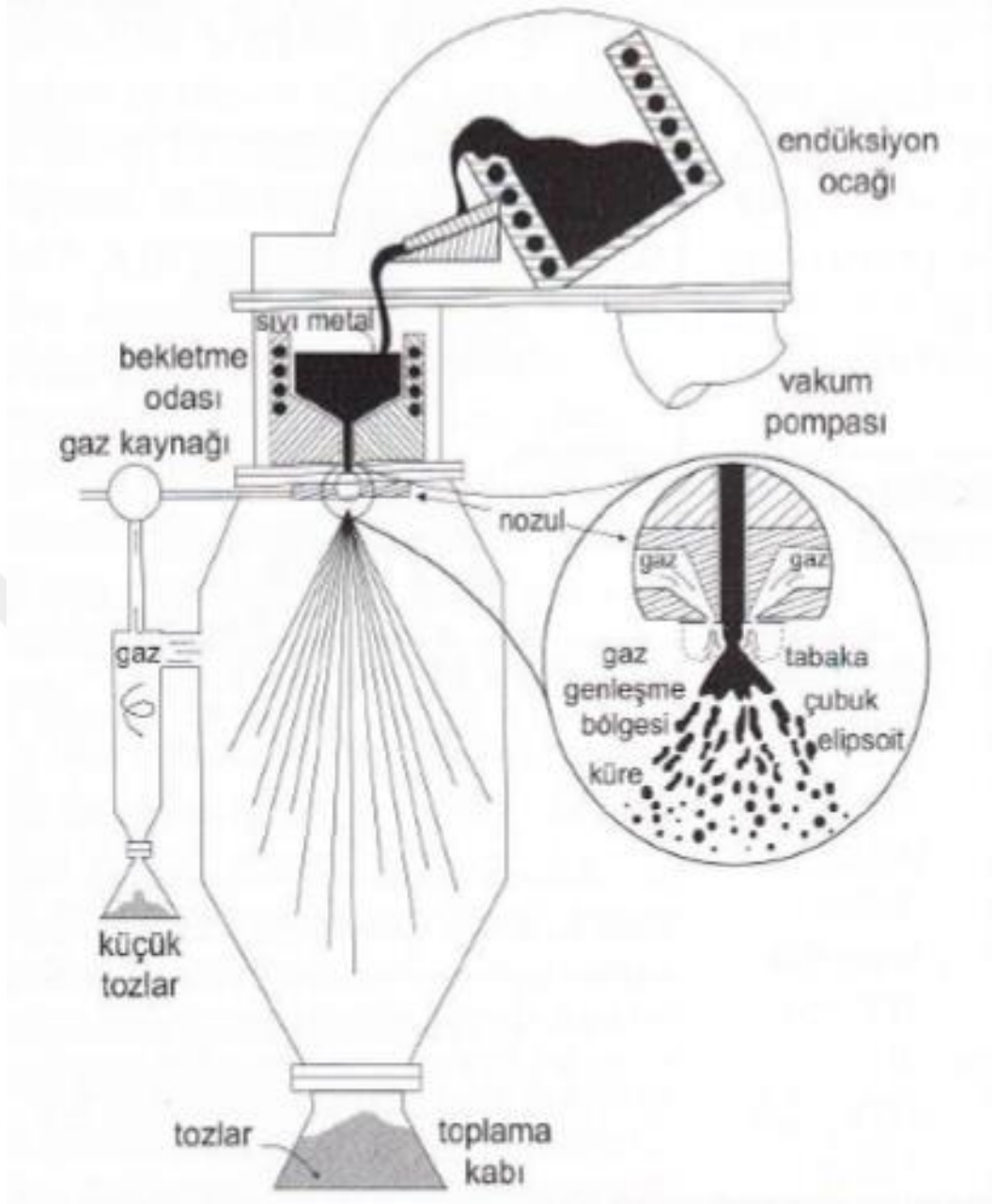
Çeşitli takım ve parçaların üretilmesi ya da metalik parçaların lehimlenmesi gibi farklı mamüller için metal tozları üretilmektedir. Ayrıca küçük boyutlu tozlar, metal enjeksiyon kalıplama gibi özel uygulamalar için kullanılmaktadır.

Atomizasyon ergimiş sıvının damlacıklara parçalanmasına ve bu ergimiş sıvıya dayanır. Damlacıklar donup katılarak parçacık haline gelirler. Bu yöntem, farklı malzemelere uygulanabilirliği ve iyi işlem kontrolünden dolayı caziptir. Son zamanlarda seramik ve polimerlere uygulanmasına rağmen, çoğunlukla alaşımlar, metaller ve intermetalikler için de kullanılmaktadır (Toplan, 2013).

Atomizasyon ile toz üretim yöntemleri şu şekildedir;

- Gaz atomizasyonu
- Sıvı ve su atomizasyonu
- Savurma atomizasyon
- Plazma ve diğer atomizasyon yöntemleri şeklindedir.

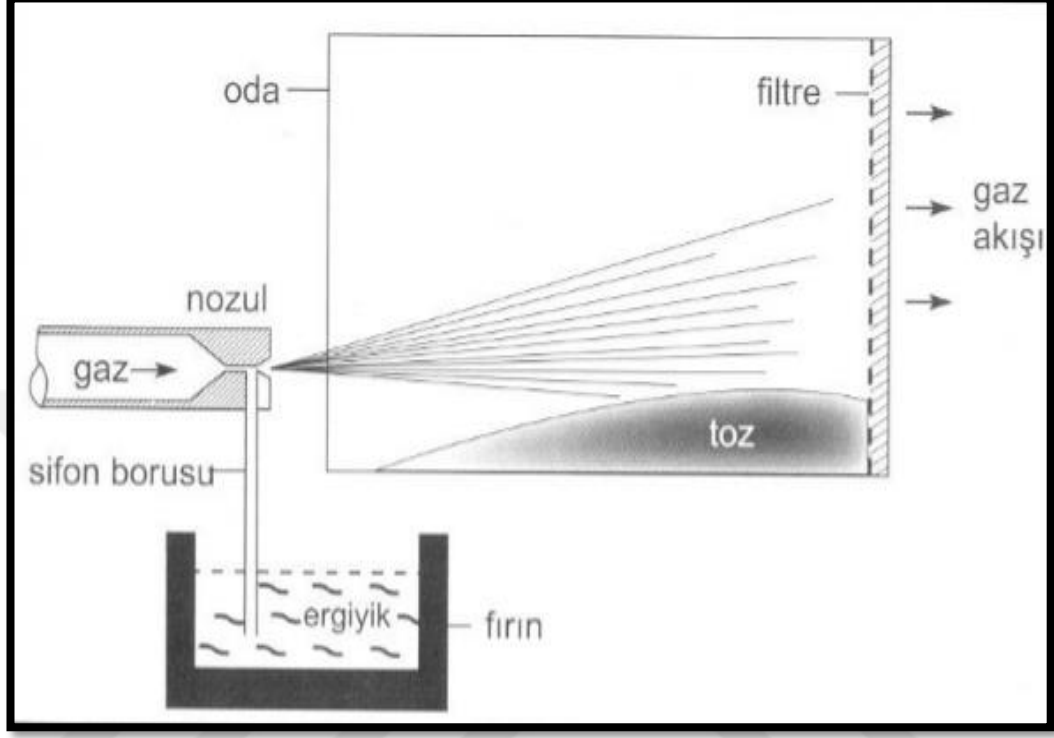
Gaz atomizasyonu ergimiş metalin yüksek hızlardaki gaz akışının etkisiyle küçük damlalara ayrılması işlemidir. Burada sıvı metal parçacık aniden küreselleşir, soğur ve katılır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Düşey gaz atomizasyonu ünitesi (Yılmaz, 2014)

Toz parçacıklarının üretiminde kullanılan gaz atomizasyonu yönteminde azot, argon, hava ve helyumun sıvı metal demetini parçalayan gaz olarak kullanılmaktadır. Gaz atomizasyonu ile üretilmiş tozların özellikleri şunlardır: Saflık, küresel toz şekli, yüksek üretim hızı ve özellikle küçük çaplı tozlarda hızlı katılaşmış yapılarıdır (Yılmaz, 2014).

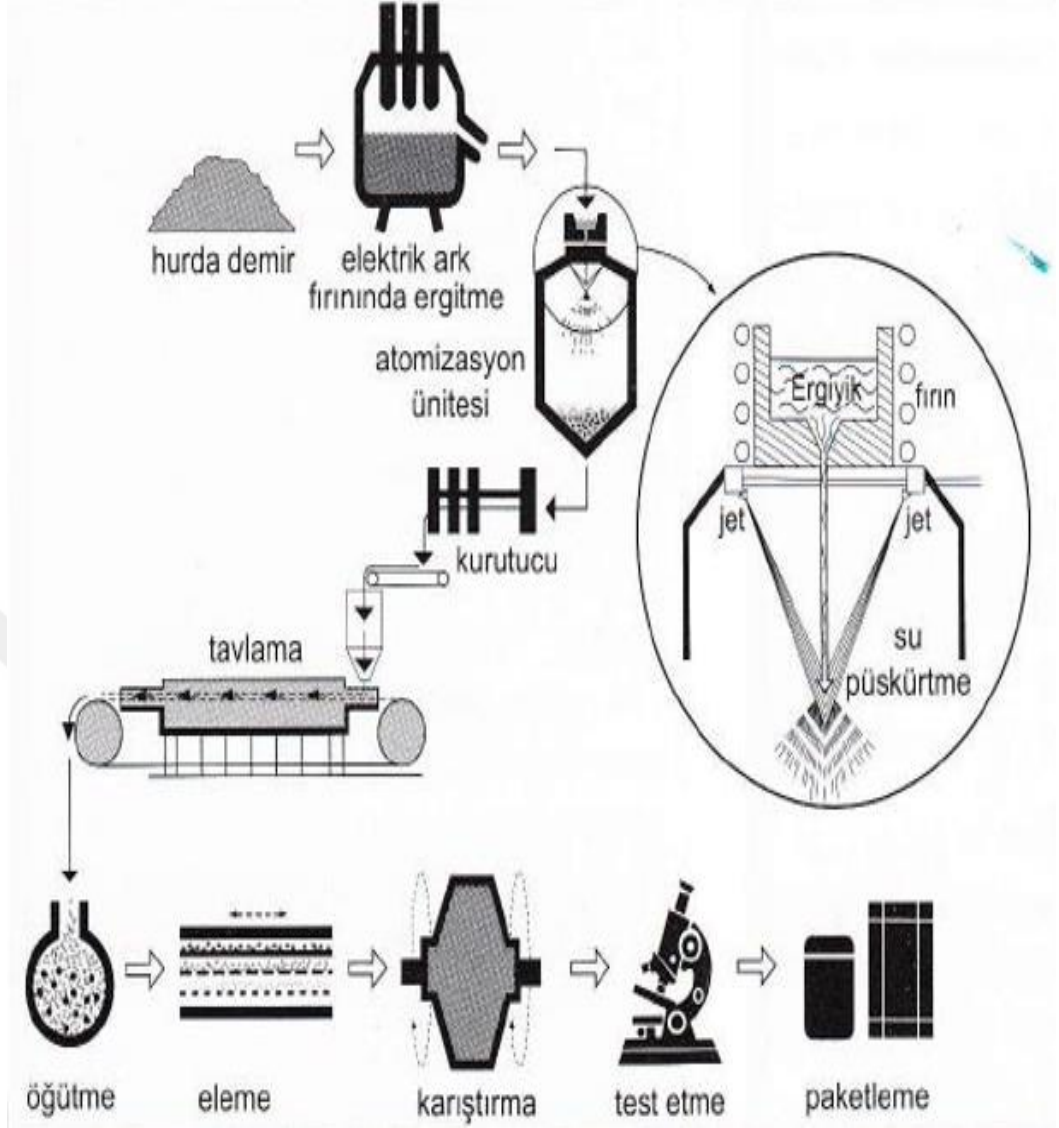
Gaz atomizasyonu tamamıyla asal gaz ortamında gerçekleştirildiğinde yüksek saflıkta alaşım tozu üretilebilmektedir.



Şekil 6.8. Yatay gaz atomizasyonu (Yılmaz, 2014)

Sıvı ve su atomizasyonunda gaz yerine su kullanılmaktadır. Eriyik demetini parçalayabilmek için sistemde su ya da sıvı şekilde yağ kullanılmaktadır. Bu sistem az reaktif ve 1600°C'den düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler için uygundur (Cerit, 2014).

Sıvı ve su atomizasyon yöntemine bakıldığında gaz atomizasyonu ile benzedikleri görülmektedir. Fakat gaz atomizasyonuna göre parçacıklar daha hızlı bir şekilde soğuma gösterir. Ayrıca atomizasyon sıvısı hızını küçük tozlara yüksek verimlilikle aktarabilmektedir.

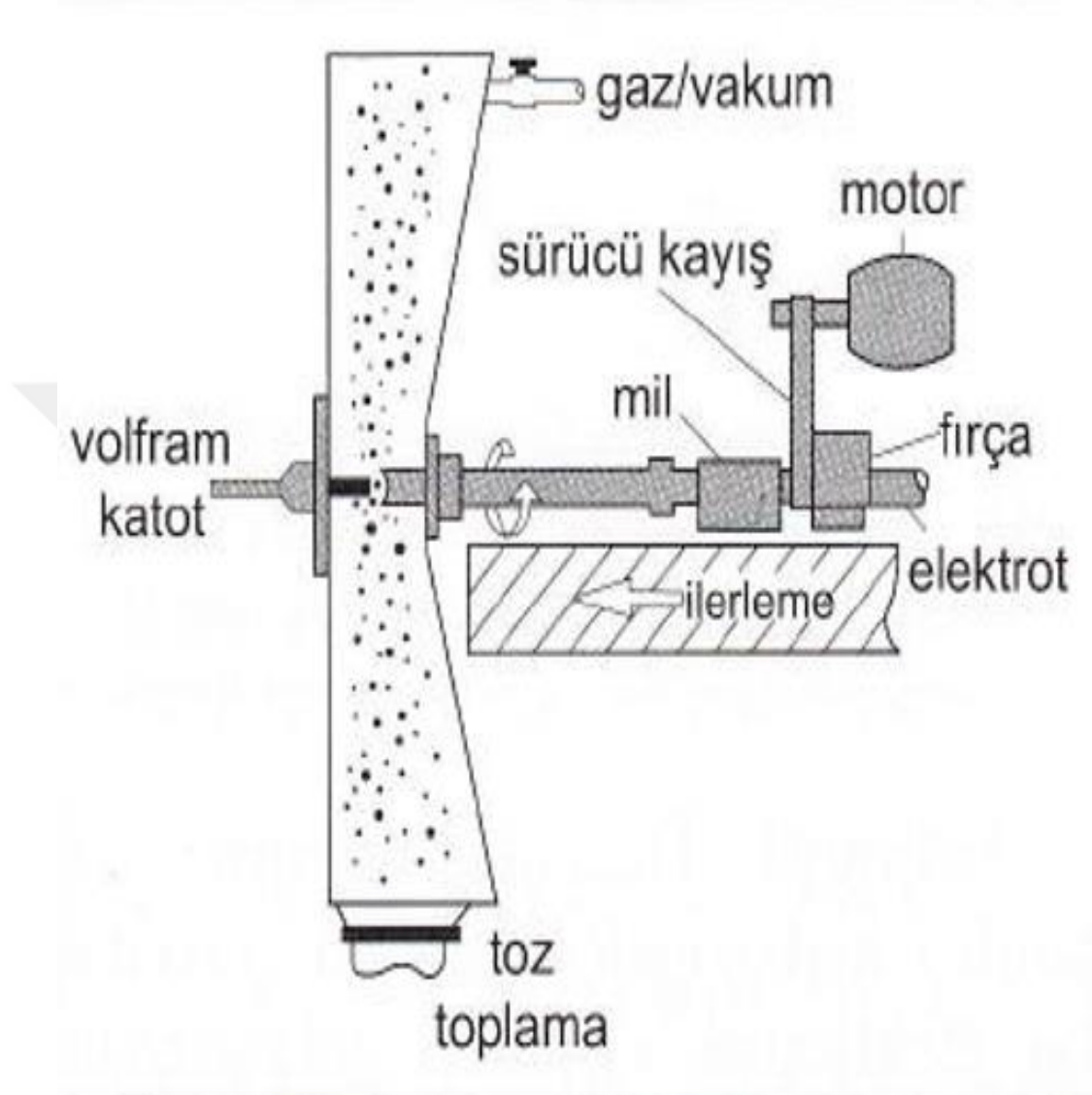


Şekil 6.9. Sıvı atomizasyon işlemi (Yılmaz, 2014)

Savurma atomizasyon yönteminde ise; merkez kaç kuvveti yardımıyla, hazırlanan eriğiyn döndürülmesinin sonucunda fırlatılan damlacıklar katılaşırlar. Bu yöntem reaktif malzemeler ve yüksek sıcaklık malzemeleri için oldukça kullanışlıdır.

Savurma atomizasyon yönteminde yapılan işlemler, aynen gaz atomizasyonunda olduğu gibi tozları korumak için koruyucu bir ortam altında

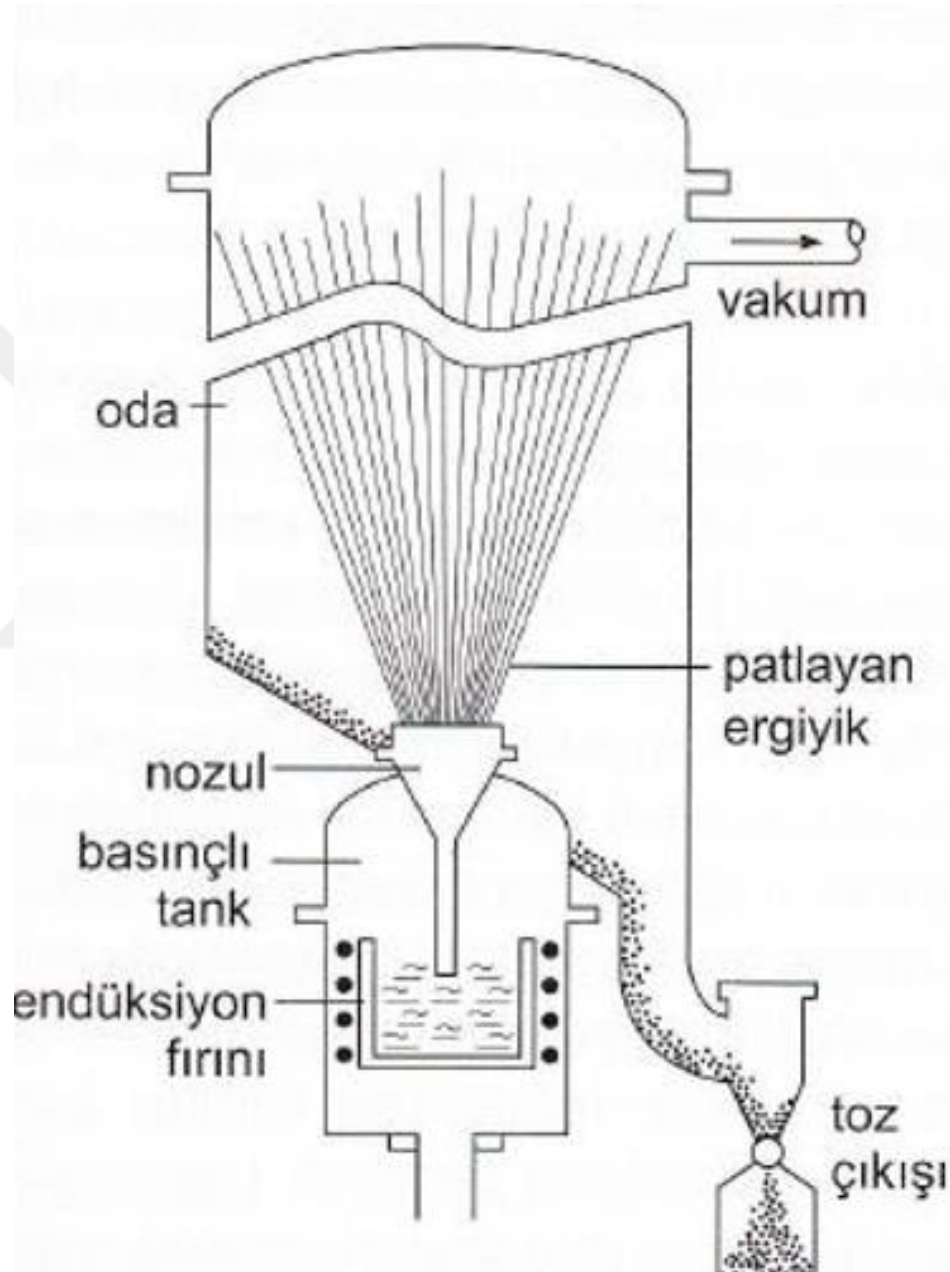
gerçekleştirilmektedirler. En eski savurma atomizasyon yöntemlerine bakıldığında bunun döner elektrot yöntemi olduğu görülmektedir.



Şekil 6.10. Döner elektrot ile savurma atomizasyonu (Cerit, 2014)

Plazma ve diğer atomizasyon yöntemlerinde ise plazma, farklı bir atomizasyon yöntemi sağlar. Bu yöntemde tel ya da iri tozlar kullanılmaktadır. Bunlar plazma üflecine beslenir ve ergime ile ani ivmelendirmeye tabi tutulurlar. Bu işlemlerin ardından ergimiş olan damlacıklar üflecine dışına doğru püskürtülerek parçacık halinde katılaşmaktadırlar.

Vakum altında hidrojene doymuş ergimiş metalden, hızlıca hidrojenden ayrılarak püskürtme damlacıkları oluşturmak için bu yöntem kullanılır. Ayrıca bu teknik alaşım tozlarının üretilmesinde de kullanılır. Alaşım üretmek için, kullanılan tozlar önce karıştırılır ardından tozlar topaklandırılarak kümecikler oluşturulur ve bunlar plazma içerisinde ergitilerek alaşım üretilir.



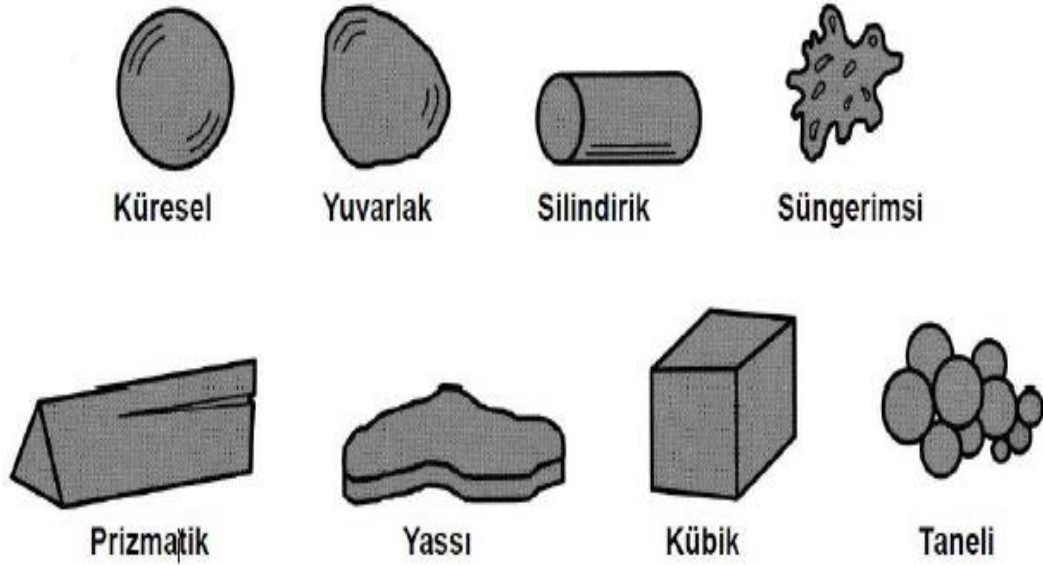
Şekil 6.11. Küresel toz üretimi için ergiyik patlatma tekniği (Cerit, 2014)

7. MATERYAL ve YÖNTEM

7.1. Toz Metalurjisi Tekniği İle İmalat

Toz metalurjisi yapılacak olan parçaların tasarımında dikkate alınması gereken ana kurallar bulunmaktadır. Örneğin; uygulanacak parçanın formu preslemeden sonra kalıptan çıkarmaya uygun olmalıdır. Ayrıca parçaların farklı kesit kalınlıkları arasındaki fark az olmalıdır. Kalıp tasarımı sırasında atölyedeki teçhizatların teknik özellikleri de dikkate alınmalıdır.

Bunların yanı sıra, parçanın şekli tozun küçük boşlukların doldurulmasını gerektirmemelidir. Parçanın formu dayanıklı kalıp imalatına uygun olmalıdır. Ayrıca parçanın formu presleme tekniğiyle elde edilebilecek kesit kalınlığı boyutlarına uygun olmalıdır. Ürünlerin oluşacak boyutsal toleransları dikkate alınmalıdır (Toplan, 2013).



Şekil 7.1. Toz metalurjisindeki ideal parçacık şekillerinin türleri (Toplan, 2013)

Toz metalurjisi yönteminin dışında üretilmesi mümkün olmayan parçaların sadece bu yöntemle üretmesinden dolayı buna uyabilecek tasarımla üretmek gerekmektedir. Kalıp tasarımında sinterleme esnasındaki büzölmeler, presden sonra boyutta meydana gelecek formla dikkate alınmaktadır.

Çizelge 7.1. Toz metalurjisi imalat süreci



7.2. Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Çok eski çağlardan beri kullanılmakta olan toz metalurjisinin avantajlarının olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar üretim safhaları için yüksek önem arz etmektedirler.

7.2.1. Toz metalurjisinin avantajları

- Karmaşık şekillerin üretiminin sağlanması;

Talaşlı işlem gerektiren ve döküm yöntemiyle şekil verilmesi zor ya da imkânsız olan parçaların üretiminde toz metalurjisi yöntemi oldukça avantajlıdır. Örneğin; kam mili ve dişli çark gibi iç içe geçmiş karmaşık parçalar ekonomik olarak üretilebilmektedirler.

- Yüksek üretim hızları sayesinde üretimin sağlanması;

Toz metalurjisi ile üretim yapılırken ürünün homojenliği ve tekrar aynı kalitede üretilebilirliği yüksekken iş gücüne olan gereksinimi diğer metotlara göre daha da düşüktür.

- Talaşlı işleme duyulan gereksiniminin azaltılması ya da yok edilmesi;

Toz metalurjisi yöntemiyle üretim yapılırken üretilen ürünler boyutları, yüzeylerinin bitmiş halleri ve uygulama alanlarındaki yeterlilik açısından tamamlanmış olduğundan dolayı talaşlı işleme gereksinim duyulmamaktadır.

- Ürün özelliklerinin geniş bir aralıkta değişimine fırsat vermesi;

Toz metalurjisiyle yüksek mukavemetli parçalar üretilebilmektedir. Burada üretilen parçaların yoğunlukları geniş bir aralıkta değişiklik göstermektedir. Burada aşınma ve diğer özellikler kontrollü olarak gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanabilir. Ürünlere istenilen özellikler kazandırılmaktadır.

- Çok geniş bir kompozisyon aralığına sahip üretimler yapılması;

Yüksek saflığa sahip parçalar bu yöntemle üretilebilmektedirler. Aynı zamanda birbirini içinde çözünmeyen ve malzeme karakterleri farklı olan metal ve seramik gibi malzemeler bir arada üretilebilmektedirler.

- Hurda miktarının azaltılmasının sağlanması;

Üretim yapılırken ortaya çıkan hurda miktarı üretimde maliyet arttıran bir unsurdur. Toz metalurjisi ile imalat yöntemlerinde döküm, pres ve talaşlı üretimin aksine başlangıçtaki miktar aynı kalmaktadır. Diğer yöntemlerde malzeme miktarının yarısına kadar bile hurda çıkabilmektedir. Bazı pahalı malzemelerin üretim yöntemlerinde toz metalurjisiyle talaş arttırmadan üretim yöntemi diğer yöntemlere göre daha ekonomik olabilmektedir.

Çizelge 7.2. Çeşitli üretim yöntemleri ile değerler (Üstel vd., 2014)

İmal Yöntemi	Malzeme fire oranı (%)	Ürün için enerji gereksinimi (MJkg ⁻¹)
T/M	5	30
Döküm	10	30-40
Soğuk ve Sıcak Ekstrüzyon	15	40
Talaşlı Üretim	50-60	65-85

7.2.2. Toz metalurjisinin dezavantajları

- Yüksek malzeme maliyetinin olması;

Toz malzemeler üretim metotlarından dolayı döküm ya da diğer malzemelere göre daha pahalıdır. Fakat hurda halinde malzeme kaybı olmadığından dolayı yüksek maliyet kaybı dengelenebilmektedir. Toz metalurjisi bu sebeplerden dolayı küçük parçaların imalatında daha çok kullanılmaktadır.

- Yüksek kalıp maliyetinin olması;

Toz metalurjisinde kalıplar pahalı malzemelerden ve büyük kütlelerden oluşmaktadır. Bunun sebebi toz prosesinin yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve şiddetli aşınmadır.

- Düşük mekanik özelliklerinin olması;

Döküm ve dövme ile üretilen parçaların mekanik özellikleri toz metalurjisi ile üretilen parçalara göre daha yüksektir. Eğer bir parçada yüksek gerilme

uygulanacaksa bu uygulama alanlarında bu parçalar kullanılmaz. Fakat yine istenirse alternatif yöntemlerle bu mukavemet arttırılabilir.

- Parça kesiti boyunca değişim gösteren özelliklerin olması;

Toz metalurjisi ile üniform olmayan şekillerin üretilmesi parça kesiti boyunca değişiklik gösterilmesine neden olabilmektedir. Yoğunluk parça içerisinde bir yerden başka bir yere göre değişim gösterebilmektedir.

- Dizayn sınırlamaları olması;

Bazı parçaların toz metalurjisi ile üretilmesi uygun olmamaktadır. Örneğin; ince parçaların üretiminde sıkıntılar yaşanmaktadır. Toz metalurjisi ile üretimi yapılacak olan parçaların kalıptan kolay çıkabilecek parçalar olması gerekmektedir. Parçaların kalınlık ve çap oranları sınırlıdır. Bu nedenle toz metalurjisinin uygulandığı proseslerde bazı şekilli parçaların üretimi için uygun değildir.

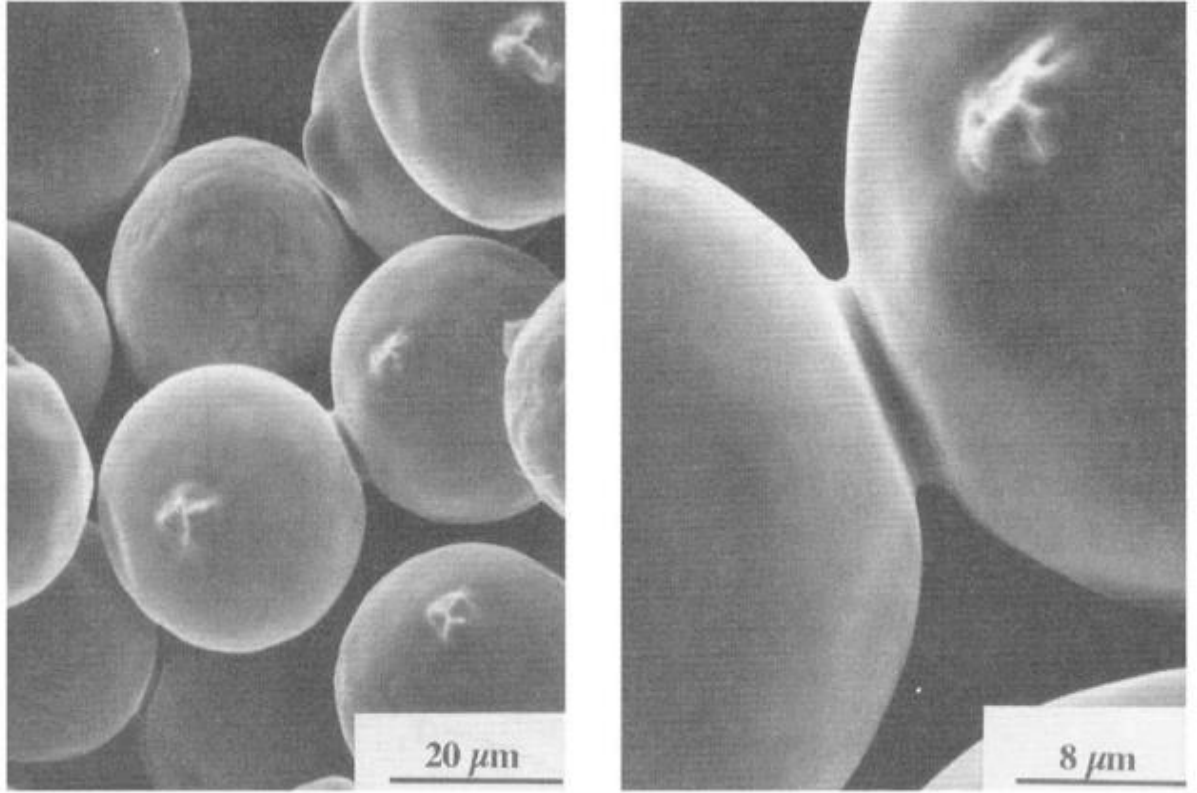
7.3. Sinterleme

Sinterlemede işlem görmemiş parça kalıptan çıkarılır ve yüksek sıcaklık ve koruyucu atmosfer altında ısıtılır. Bu sayede parçacıklar arasında bağlar oluşur ve parçalar birbirine bağlanarak yoğunluk artar ve aralarındaki boşluk azalır. Böylelikle oluşan parçanın mukavemeti artar (Şekil 7.2).(Sintek, 2017)

Sinterlemenin gelişmesi toz metalurjisi yönteminin gelişmesiyle orantılıdır. Toz metalurjisinde, nihai parça talaş kaldırmadan uygun kalıplama tekniğiyle üretilmektedir. Zamanla gelişen teknolojiyle birlikte toz metalurjisiyle parça üretime gereksinimi de artmıştır.

Sinterleme toz metalurjisiyle elde edilen parçalarda önemli bir aşamadır. Toz önce sıkıştırılır sonra sinterlenir. Sinterleme yapılırken sıcaklığın tozun ergime derecesinin altında olmasına ve koruyucu bir atmosferde yapılması

sağlanmalıdır. Önce parçanın korozyona uğramaması için atmosferle ilişkisi kesilir ve ön ısıtmaya tabi tutulur. Daha sonra oksit indirgenmesi yapılmış olan parçaya fırının sıcak bölgesinde sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Sinterleme yapılan parça soğumaya bırakılır (Zeren, 2014).

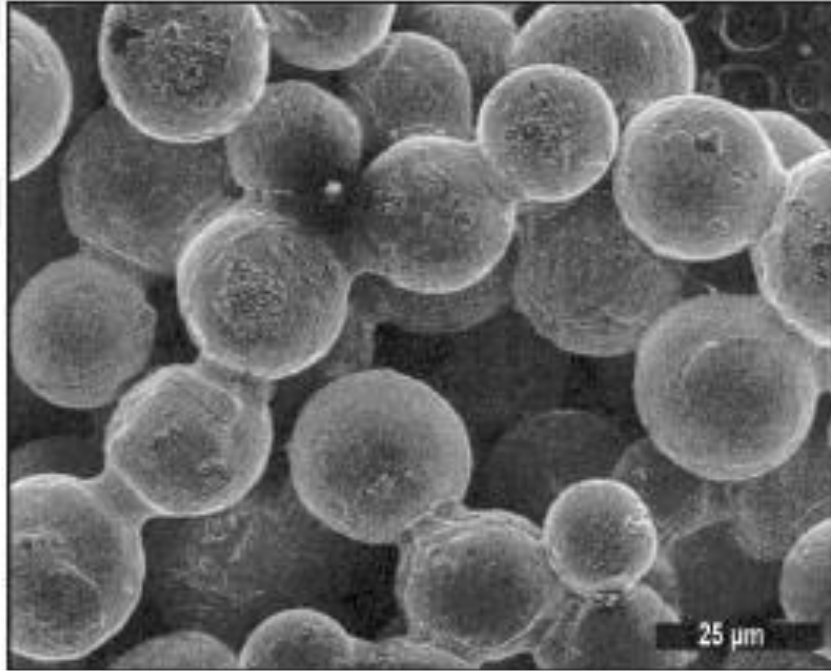


Şekil 7.2. 30 dk 1030 °C'de sinterlenmiş nikelin, sinterlemeyle boyun oluşumu (Zeren, 2014)

Sinterleme toz metalle ilgili en önemli tekniklerden biridir. Çünkü sinterleme sayesinde istenilen taslak istediğimiz parçaya dönüştürülebilmektedir. Aynı zamanda toz metalurjisinin en karmaşık konusudur. Çünkü sinterleme esnasında toz parçacıkları arası bağlama, irileşen mikroyapılar, değişen boyutlar gibi birçok durum oluşmaktadır. Toz parçacıkları birbirine temas ettikleri noktalardan yüksek sıcaklık yardımıyla bağlanmaktadır. Bu temas eden yerlerde ise boyunlar oluşmaktadır.

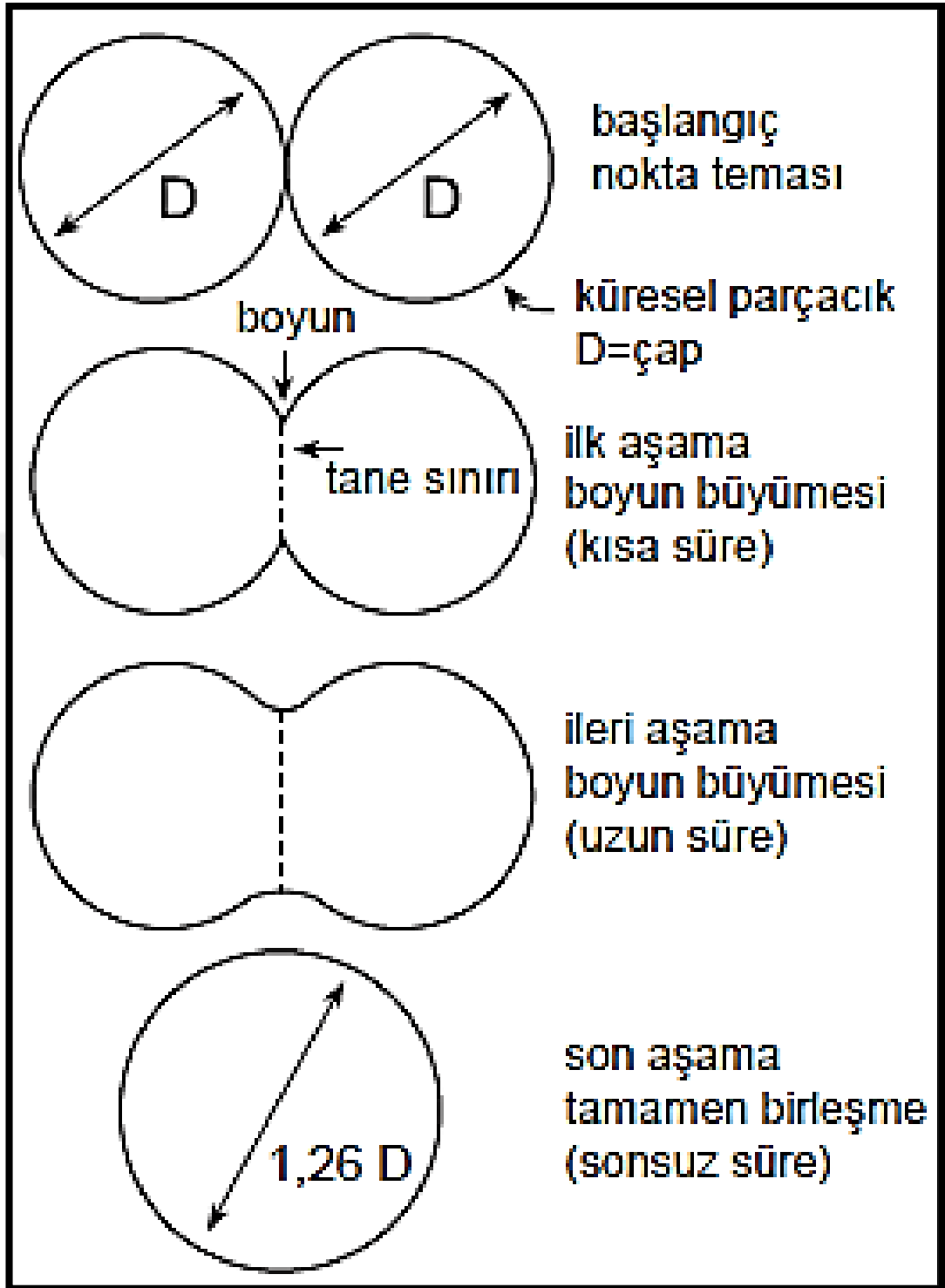
Eskiden uygulanan yöntemler, ürünlerin sinterleme ile hızlı ısıtılarak üretilme teknikleri gelişince önemlerini yitirmeye başlamıştır. Yeni teknolojiler, araştırmalar sayesinde çeşitli ısı transferleri yardımıyla sinterleme gerçekleşmektedir.

Günümüz teknolojisine baktığımızda ise seramik ve metal tozlarını lazer ortamında sinterleme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu yöntemin en büyük avantajı içi boş ya da desenli ürünlerin inşa edilmesidir. Bu yöntem sayesinde bilgisayar ortamında çizimi yapılmış olan tasarım tozların birbirine lazer yardımıyla sinterlenmesiyle oluşturulur.



Şekil 7.3. Sem görüntüsünde gevşek küre bronz parçalarının sinterleme ile boyun oluşumu (Karakuş, 2014)

Gevşek halde bulunan toz paraları şekilde de görüldüğü gibi sinterleme ile birbirine temas ettikleri yerde bir bağ oluşturmaktadır. Sinterleme arttıkça bu bağ kuvvetlenir ve tane sınırları büyüme gösterir. Sinterleme uzun sürerse toz parçaları tamamen birleşir ve tozların çapları artar.



Şekil 7.4. Sinterlemede nokta ile başlayan ve parçacıklar arası bağ gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli. Boyun büyümesi parçacıklar arası temas noktasında tane sınırı oluşturur. Eğer süre yeterli ise iki parçacık birleşerek sonunda iri bir parçacık oluşturur (Karakuş, 2014)

7.4. Kuyumculuk Sektöründe Toz Metalurjisi Ve Gelişimi

Kuyumculuk sektöründe birçok farklı üretim tekniği olduğu gibi son yıllarda gelişen 3d çizim programları ve bunların mum ya da reçine üretimleriyle kalitenin artmasının yanı sıra; zamandan, enerjiden ve iş gücünden tasarruf edilmiştir.

Bununla birlikte gelişen teknolojiler kuyumculuk sektörüne de uyarlanmış ve seri üretim safhalarında gelişmeler gösterilmiştir.

En son teknolojilerden biri de lazer sinterleme yoluyla toz metalürjisi ile üretimdir. Mysint 100 lazer sinterleme makinesi buna örnek bir teknolojidir. Bu makine sayesinde üretimler artık direk metal halde alınabilmektedir.



Şekil 7.5. Kuyumculuk sektöründe kullanılan sinterleme makinesine örnek (Sisma, 2017)

Kuyumculuk sektörünün gelişimi, yapılan tasarımların farklı olması ve gelişimi ile doğru orantılıdır. Tasarımlar geliştikçe üretim metotları da gelişme göstermektedir. Bazı tasarımlar oldukça çarpıcı ve göz alıcı olsa da üretim metotları zorlayıcı olduğu için ya üretim süresi zorlayıcı ve uzun sürebilmekte ya da hiç üretilmemektedir.



Şekil 7.6. Sinterleme yolu ile üretilmiş bir örgü metal takı (Sisma, 2017)

Lazer sinterlemeden önce kullanılan preslenmiş yöntemle yapılan sinterlemenin en büyük sıkıntısı çok ince ve birbiri içine geçmiş parçalar üretebilmektir. Hatta örgü halinde birbirine kaynamış şekilde birleşen halkalar, zincirler ve ara parçalar üretmek bu yöntemle mümkün hale gelmiştir. Bunların yanı sıra iç içe geçmiş çingirak modellerini bile bir seferde üretmek bu sistemin en önemli özelliklerinden biri.

Toz metalurjisi ile üretim yapmanın en önemli sorunu tozun temini ve ücretidir. Toz normal metale göre yaklaşık 3 katı kadar pahalıdır. Bu da üretim açısından pahalı bir yöntemdir. Bu sebeple bu yöntem ancak tasarım açısından özel ve üretim metotları sıkıntılı işler için oldukça verimli bir tekniktir.

Bazı tasarımların üretim süreçlerinde tek bir adet el ile üretim ya da cad-cam yöntemiyle üretilebilir. Fakat bu ürünün metale dönüşme aşaması ya da birden fazla üretilme aşamasında modelden modele farklılıklar gözlenmektedir. Örneğin bazı modeller imkansız denecek şekilde üretim sıkıntısı çıkarabilmektedir. İşte bu tarz modeller ya da imkansız denilecek olanlar için lazerle sinterleme tekniği bunların üretilmesine fırsat vermektedir.



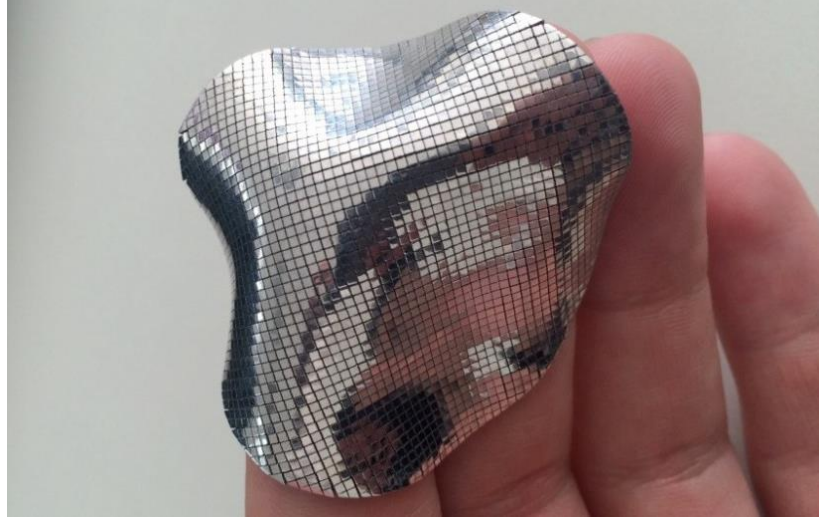
Şekil 7.7. Lazer sinterleme yoluyla birbirine bağlı oynak ürün üretimi (Sisma, 2017)

Son yıllarda en çok tercih edilen modellerden füzyon kauçuk kalıba almaya elverişli bir yöntem değildir. Çünkü kauçuğa alındığında ince boşluklar ve aralıklar sıkıntı çıkarmaktadır. Kauçuk o boşluklara dolduğunda çıkarılması zor hatta imkansız hale gelmektedir. İşte bu tarz modeller için lazer sinterleme oldukça avantajlı ve hatasız bir üretim sistemidir.



Şekil 7.8. Lazer sinterleme yöntemiyle füzyon üretimi (Sisma, 2017)

Tasarımcıların yaratıcılıkları artıkça mücevherat sektöründe üretim yöntemleri de gelişmektedir. Her geçen gün yeni sistemler ve yeni metotlar karşımıza çıkmaktadır. Son zamanların en yeni teknolojisine sahip olan lazer sinterleme metodu bunların en önemlilerindedir. Örneğin birbirine geçmiş kinematik metal kumaş üretmek başka bir metotla imkansızdır. Ya da birbirine bağlı oynak saat ya da bileklikler ancak bu yöntemle üretilebilmektedir.



Şekil 7.9. Kinematik metal kumaş (Sisma, 2017)

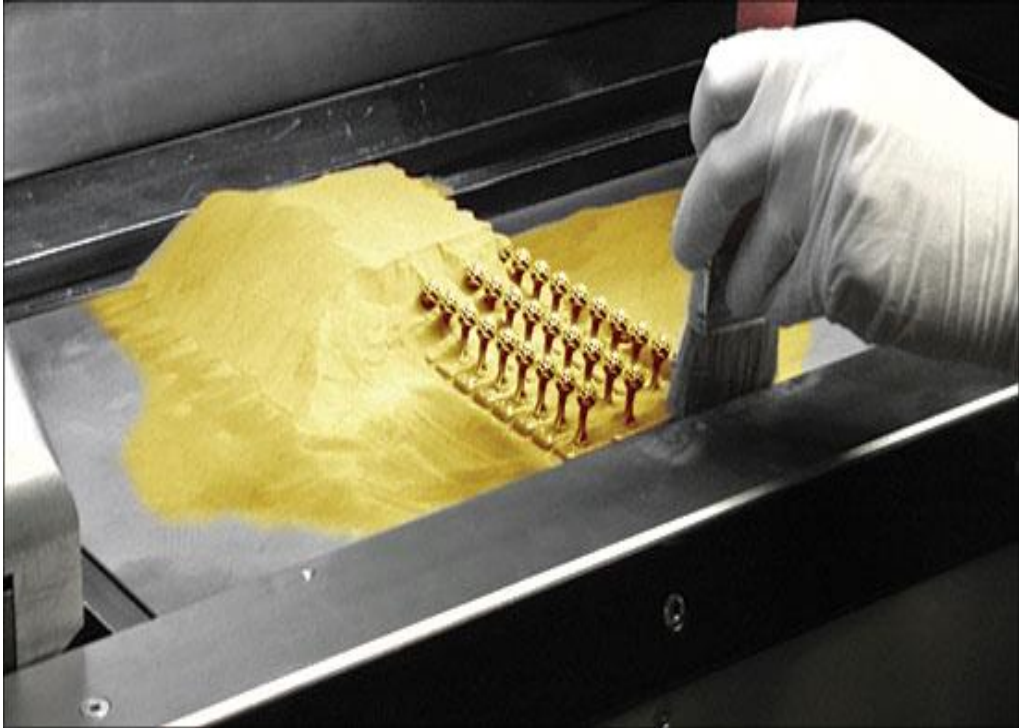
Toz metalurjisinin özellikle lazer sinterlemenin en önemli özelliklerinden biri de platin, titanium, beyaz altın v.s. gibi yoğunluğu ve ergime derecesi yüksek metallerin doğrudan ve sıkıntısız üretimlerinin yapılmasıdır. Doğrudan cilaya gönderilen metaller değer bakımından da yüksek değerdedirler.



Şekil 7.10. Lazer sinterleme ile üretilen bir çift küpe (Sisma, 2017)

Lazer sinterleme makinesinin çalışma prensibini ele alacak olursak;

- Makinenin önce kalibre ayarı yapılmalıdır.
- Makinenin içerisinde 3 hazne bölümü vardır.
- 1. bölümde metal tozunu koyduğumuz hazne bulunmaktadır.
- 2. bölümde tozun serildiği alan yani 1. bölümden tozun alınarak sonrasında lazerin işlem yaptığı sinterleme alanı bulunmaktadır.
- 3. bölümde ise sinterleme işleminden sonra işlemde geriye kalan tozun süpürülerek toplandığı geri dönüşüm haznesi bulunmaktadır.



Şekil 7.11. Lazer sinterleme ile yapılan ürünün bitmiş hali ve tozlardan arındırılması (Sisma, 2017)

- Sinterleme işlemleri bittikten sonra 2. bölümde tasarlanan takımın bitmiş halini alınabilecektir. Üretim yapılırken takı sağlam dursun ve yığılmasın diye fazlaca support atılmaktadır. İşte bu supportlarla birlikte modelimizi bu bölümden alarak sonrasında temizleme işlemine geçilebilir.
- Geri dönüşüm kutusundan aldığımız tozları tekrar değerlendirmek mümkündür. Tozun içerisinde sinterlenmiş parçalar olabilir. Bunları kullanmak için tozları eleyip tekrar kullanabiliriz.
- Bu eleme işlemi vibrasyon eleme makinesi sayesinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7.12. Lazerle sinterleme yapılmış supportları ile birlikte bronz model örneği (Sisma, 2017)

- Makinenin içerisinde bulunan argon ve azot gazı ile 2-5 bar arasında çalışmaktadır.
- Sinterleme yapılan ve ürünlerin konulduğu üretim tablasının boyurları 10-10 cm dir. Makine ve üretim prensibi geliştikçe bu tabla da buna göre ilerleyen zamanlarda büyüme gösterecektir.
- Kuyumculuk sektöründe yeni olan bu makinede platin, titanyum, altın, gümüş , bronz v.b. tozlar ile testleri yapılmıştır.
- Makinenin toz sinterleme kalınlığı 20 mikron olup kullanacağınız materyal ve supportların durumuna göre işin süresini belirleyip ekranda ne zaman biteceğine dair bilgiyi görebilirsiniz.

8. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

8.1. Kuyumculuk Sektöründeki Gelişimlere Lazer Sinterlemenin Katkıları

Bu araştırmada geçmişten günümüze kuyumculuk üretim teknikleri araştırılmış ve sonunda bu tekniklere alternatif olan toz metalurjisi ve lazer sinterleme üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Geçmişte ve hala günümüzde de el ile işleme (Şekil 8.1), döküm, pres v.b. teknikler kullanılarak kuyumculuk sektöründe üretimler yapılmıştır. Bu yöntemlerin yetmediği yerde farklı sanayi malzemesi üretiminde de kullanılan toz metalurjisi kuyumculuk sektörüne de girmiş ve bu teknik ile üretimler yapılmıştır.



Şekil 8.1. Tellerle üretilmiş bir kelepçe bilezik örneği

Günümüz klasik teknolojisindeki cad-cam programlarıyla üretilen ürünlerin sonrasında bazı modellerde tekrar kalıp alma işlemi aşıkardır. Fakat bu her ürüne uygulanamamaktadır. Bunun uygulanma süreçlerinde modelin şekline ve ölçülerine bağlı üretim metodlarında sıkıntılar çıkabilmektedir. Her cad-cam yöntemiyle üretilen ya da ana kalıbı elle doğrudan metale uygulanan ürün döküme uygun olmayabilir.

Değerli madenlerin fiyatlarının günümüz koşullarında arttığı ve nihai tüketicinin satın alma gücünün azaldığı bir gerçektir. Bu gerçekten yola çıkıldığında tasarımcının ve üreticinin müşteriye ulaşabilmesi için daha hafif ya

da daha özel ürünler yapması gerekmektedir. Eski ürünlere nazaran farklı ürünlerle tüketicinin alım gücüne de uygun tasarımlarla kuyumculuk sektörünün durağanlaşması ya da geri gitmesi önlenmektedir.

Cad-cam üretim yöntemleriyle üretilen bazı modeller oldukça ince ve füzyon takı şeklindedir. Füzyon takılar tellerden oluşan ve birbiri içersinden geçerek boşlukların çok olduğu bir model ve üretim türüdür. Bu modellerde ağırlık azalmakta fakat bakıldığında ürün karmaşıklığı artmaktadır. Füzyon takılar döküme uygun olmasına karşın, kauçuk kalıba alınıp çoğaltılmaya uygun değildir (Şekil 8.2).

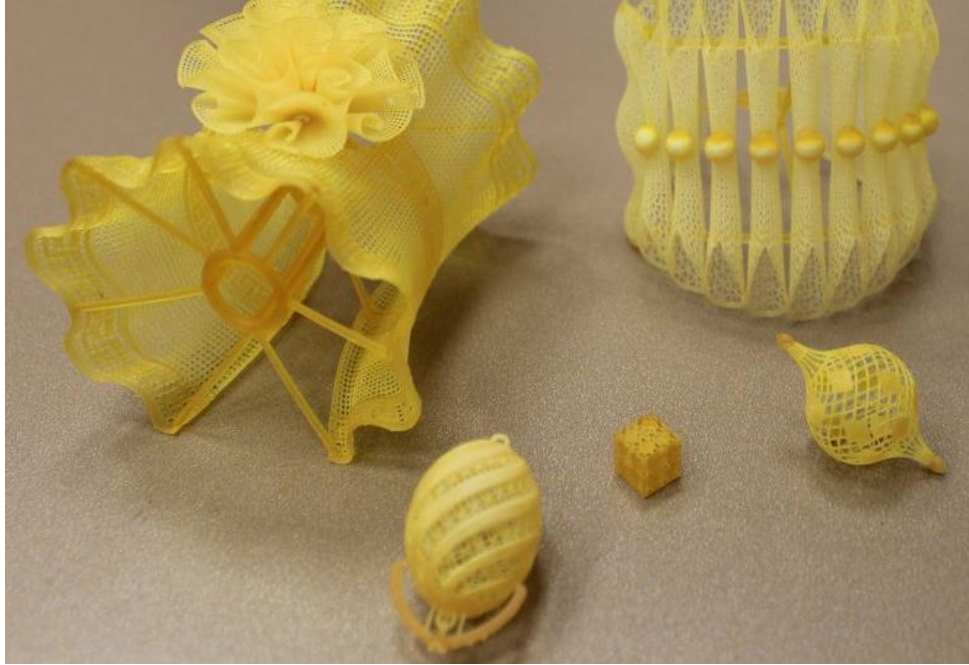


Şekil 8.2. Füzyon tekniği ile yapılmış bir yüzük

Hassas döküm prosesinin bir bölümünde çoğaltılacak olan ana kalıp kauçuca alınır ve daha sonra kauçuk pişirilir. Böylelikle tüm model kauçuk içerisine izini bırakır ve bu izlerin yeri uygun yöntemlerle mum ile doldurulur. Bu mumlar istenilen miktarda basılır ve daha sonra döküm işlemine geçilir.

Füzyon takılar, modelleri ve yapıları gereği kauçuğa alınmaya ve bu yöntemle çoğaltılmaya uygun değildir. Bu takılar oldukça ince tellerden ve karmaşık yapılardan oluştuğu için piştiğinde kauçuk bu modeldeki ayrıntıların içerisine girecektir. Bu da kauçuğun kesiminin doğru yapılamamasına ve teller arası kopmalara, mumun taşmasına v.b. sıkıntılara sebep olacaktır. Bunu önlemek için cad-cam sistemlerinde çeşitli gelişmeler meydana gelmiştir.

Füzyon takıların arz talepte ve sektör tarafından istenmesinden kaynaklı makinelerde çeşitli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu değişimlerden en önemlisi döküme uygun reçinelerin üretilmesi olmuştur (Şekil 8.3). Döküme uygun reçine sayesinde çıktısı alınan reçine ürün doğrudan alçıya alınıp hassas döküme yönlendirilmektedir. Bunun en büyük avantajı 1-2 mikronluk tellerin üretiminde bile sıkıntı yaşanmamasıdır. Bunun dezavantajı ise hem pahalı bir malzeme olması hem de kauçukla çoğaltma işlemi olmadığından dolayı her seferinde tek bir ürünün bile 3d yazıcıdan reçine halinde çıkmasını beklemektir. Fakat ürünün istenmesi ve çok satılması gibi unsurlar bu dezavantajları kapatabilmektedir.



Şekil 8.3. Doğrudan döküme girecek füzyon model yapılmış reçine örneği

Tasarım gelişme gösterdikçe, teknoloji de bu yönde doğru orantılı gelişmeler göstermektedir. Gelişmeler sayesinde de hem 3d programların hem de makinelerin bir üst seviyeye çıkmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bazı zamanlarda yine de üretim metotlarında bazı tıkanmalar meydana gelebilmektedir. Bu tıkanmalar arge çalışmalarıyla yenilenmelere ve teknolojik olarak üretim proseslerinin güncellenmesini sağlamıştır. Bu yenilenmelerin kuyumculuk sektöründeki en güncel hali ise toz metalurjisinde lazerle sinterleme yolu ile üretim yapılmasıdır.

Toz metalurjisi yönteminde geçmişten günümüze kadar presleme tekniği ile sinterleme metodu kullanılmış fakat üretimi hassas olan parçalarda bu yöntem uygulanamamıştır. Bunlar için bu sistemin gelişmesi ve ürün ve mikron hassasiyetine bağlı üretimin yapılması gerekiyordu.

İlerleyen zamanlarda tasarımcıların yaptıkları tasarımlarında farklı modeller ve daha ince teknikler geliştirilerek toz metalurjisi geleneksel yöntemi yerini lazerle sinterleme yolu ile üretime bırakmıştır. Bu üretim tekniği ile üretilmesi zor özel parçalar rahatlıkla üretilmektedir. Üretim pateni genişledikçe tasarımcıların da çalışma sahaları gelişme göstermiştir. Birbirine bağlı zincir parçaları bile tek bir seferde doğrudan tezgaha gidip oradan nihai sonuca ulaşabilmektedir (Şekil 8.4).



Şekil 8.4. Birbirine bağlantılı ve oynak şekilde tek bir parça olarak üretilmiş bir bilezik (Sisma, 2017)

Bu üretim metodunun en önemli özelliklerinden biri de birbiri içerisinde oynayabilen çingirak şeklinde ürünler üretebilmektir. Bu üretim herhangi bir kuyumculuk tekniğiyle yapmaya kalkışıldığında asla tek seferde yapılamamaktadır. Kaç adet çingirak varsa önce en içteki yapılır ardından üsttekiler yarım yarım yapılarak birbirine kaynaklama usulüyle birleştirilir. Burada ilave kaynak parçası başka bir yüzeye bulaşabilir ya da iç içe olan ürünler birbirine kaynayabilir. Bu da üretimde çoklu üretim olasılığını azalttığı gibi zorluklarından dolayı tercih edilmesi azalmaktadır.

Birbirine geçmiş ya da birbiri içinde çingirak gibi ürünler lazer sinterleme yoluyla rahatlıkla üretilebilmektedir. Bunun en önemli sebebi her toz tanesinin tek tek birbiriyle sinterlenmesidir. Lazer sinterlemede sistem lazerin nokta atışıyla uygulandığı için her bir parçacık ayrı ayrı birbirine bağlanmaktadır. Model 3d çizilirken çingiraklar arasına supportlar atılır. Böylelikle supportlar hem modelin yığılmasını engeller hem de modelin birbirinden ayrılacak yerlerini belirler.

Üretilen tüm modellerde supportlar kullanılmaktadır. Bu ister reçine, ister mum isterse lazer sinterleme metoduyla olsun. Supportlar üretim bittikten sonra modelden ayrılırlar. Lazerle sinterleme işleminde ise üretim bittikten sonra supportlar modelden ayrılır. Ardından tezgah aşamasında yapılacak işlemlere geçilir. Çingirak şeklinde yapılacak modellerde de çingirakın iç kısmındaki supportlar birbirinden ayrılır ve böylelikle içeride hareket eden parçalar elde edilir.

Lazer sinterleme sadece kuyumculuk alanında değil aksesuar alanında da oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Özellikle ayakkabı topuğu(Şekil 8.5), büyük bilezikler, iç içe geçen tasarımlı ürünler, kumaş görünümlü metal örgü yüzeyler için oldukça verimli ve sıfır hata ile doğrudan sonuca odaklı üretim sağlar.

Örneğin görünüşte içi dolu ve büyük görünen bir model bu yöntemle hafif şekilde üretilip birçok teknikle yapılamayanlar bu teknikle yapılabilir. Gelişen teknoloji ile ilerleyen zamanlarda daha çok ürün üretme imkânı sağlanacaktır.



Şekil 8.5. Cristina Franceschini'nin 3d yöntem ile üretilmiş olan ayakkabı topuğu

Ayrıca lazer sinterlemenin üretim açısından en önemli durumu ise kaynak ve birleştirme gerektirmeden istenilen süre içinde tüm işi bitirip alabilme şansına sahip olmaktır. Üretilen ürünler işlem bittikten sonra doğrudan tezgaha alınır, supportlarından ayrılarak tesviye, zımpara ve cila işlemleri bitirilir ve nihai sonuca en kısa sürede ulaşılır.

İlerleyen günlerde bu üretim yönteminin diğer yöntemlerin önüne geçeceği aşikardır. Fakat bu üretim yönteminde özellikle ülkemizde en önemli sorun tozun bulunmasıdır. Kullanılacak olan metallere göre istenilen ölçü ve yapıdaki toz üretimi ülkemizde yapılamamaktadır. Özellikle kuyumculukta kullanılan çeşitli altın alaşımları, platin, gümüş, titanyum gibi metallerin toz hallerini istenilen ölçü ve yapıda üretmek her toz üreten firmanın yaptığı bir çalışma değildir.

Üretim yapan lazer sinterleme makinelerinin Ülkemize gelmesinde bir sıkıntı yaşanmamaktadır, fakat istenilen tozlar genellikle yurt dışında bulunmaktadır. Değerli metal tozlarıyla ilgili de gümrük prosedürlerinden kaynaklanan sıkıntılar oluşmaktadır. Bu tür sorunlar aşılmadığı sürece Ülkemizin mücevher sektöründeki, tasarım ve üretim kulvarının işi oldukça zor olacaktır.

8.2. Kuyumculuk Sektörü İçin Toz Metalurjisi İle Lazer Sinterleme Yapılan Ürünlerin Analizleri ve Analiz Sonuçları

Burada lazer sinterleme konusunda dünyada en çok kullanılan endüstriyel lazer makinesi Mysint 100 ile üretilmiş olan kuyumculuk ürünleri alınıp üzerlerine çeşitli işlemler yapılarak analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler 22.09.2017 tarihinde Koç Üniversitesi KUYTAM laboratuvarlarında çeşitli analiz makineleriyle yapılmıştır.

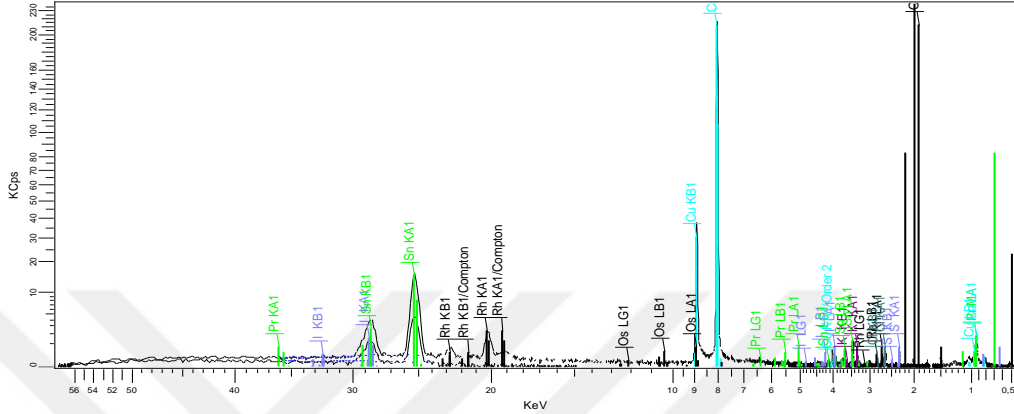


Şekil 8.6. Sisma firması tarafından Mysint 100 makinesi ile üretilmiş olan bir yüzük

Lazer sinterlemeden çıkan ürünler aynı metal tozundan üretildiği için aralarından bir örnek seçilerek analizlerin ilkinde başlanmıştır. Önce cevher analizi için XRF cihazına numune verilmiştir. XRF sonuçlarına göre ürünün

içerisinde bakır ve kalay bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre ürünün cevher analizinde bakır ve kalay bulunduğundan dolayı ürünün bronz tozundan imal edildiğini anlamış bulunmaktayız.

Çizelge 8.1. Şekil 8.6.'daki ürünün XRF cihazında çıkan analiz grafiği



Ürüne bakıldığında bakır ve kalay dışında başka elementler de görülmektedir. XRF cihazında yüzeeye yakın elementlerde görüldüğü için bunları da görmekteyiz.

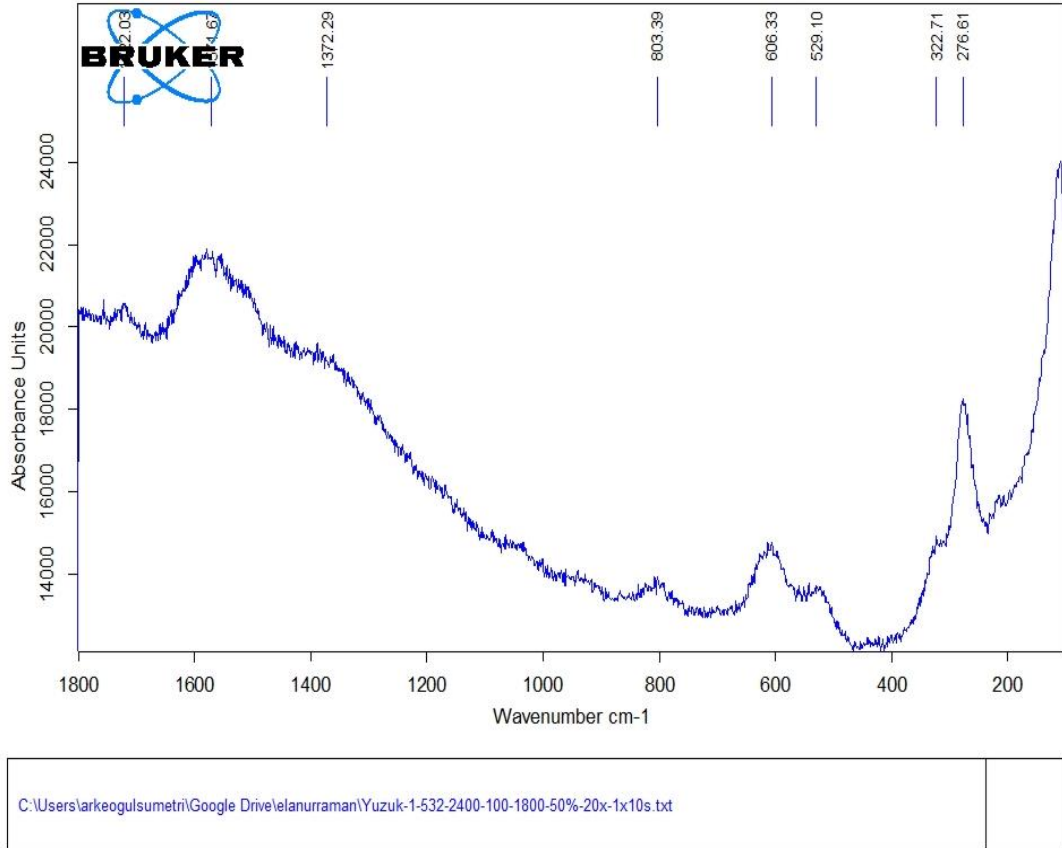
Çizelge 8.2. Şekil 8.6.'daki ürünün XRF cihazında çıkan içerisindeki cevherlere göre analiz sonuçları

Normalized data to % 100

Formula	Concentration	Formula	Concentration
Cu	84,02	CuO	81,94
Sn	9,85	SnO2	9,6
Na	1,4	Na2O	1,9
Cl	1,38	SO3	1,66
S	0,8	SiO2	1,3
Si	0,75	Cl	1,14
K	0,44	P2O5	0,71
P	0,37	MgO	0,51
Mg	0,36	Al2O3	0,44
Al	0,28	K2O	0,44
Ca	0,17	CaO	0,2
Zn	0,13	ZnO	0,13
		NiO	0,042

Daha sonra ürüne Raman Spektroskopisi ile bakılmıştır. Burada yüzeyde görülen karartıların ne olduğu hakkında kesin bilgi edinmek ve buranın spektrumuna bakmak için Raman'dan yararlanılmış bulunmaktayız.

Çizelge 8.3. Şekil 8.6.'daki üründe bulunan kararmış bölgenin Raman Spektrometrisi ile yapılan analiz grafiği



Page 1/1

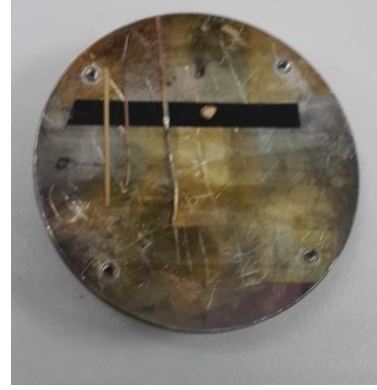
Ramanda mat kararmış ve parlak olan bölgelere bakılmıştır. Kararmış olan bölgenin spektrumlarına bakıldığında burada oksitli bir yapının olduğu görülmektedir, parlak kısımlardan ise sonuç alınamamıştır. Ramanda oksitli yapılar görülmektedir. Bu yüzükteki karartının oksitten dolayı meydana geldiğine analiz sayesinde kesin kanaat getirilmektedir. Ürünün zaten XRF sonuçlarına göre bronz olması, ayrıca içindeki bakır miktarının da yüksek olmasından dolayı bunun oksitli bir yapı olduğunun söylenebilirdi fakat analizle bu kesin olarak kanıtlanmış oldu.

Ürünle ilgili bir sonraki aşamada, lazer sinterleme ile üretilen ürünün normal sinterleme sonrasında ya da farklı fiziksel işlemler uygulanandıktan sonra tozların tanesal boyuttaki verdiği tepkiler SEM’de (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelendi.



Şekil 8.7. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

İncelenen ürünler sırasıyla; işlem görmemiş (sadece lazer sinterleme yapılmış) ürün, tavllanmış ürün, ilave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürün, ergitilerek güverse haline getirilmiş ürün, işlem görmemiş mat yüzük, parlak yüzük ve dökümden çıkmış örnek olarak 7 örnek incelenmiştir. Bu 7 örneğe de SEM ile bakılmış ve gördükleri işlemlere göre verdikleri tepkiler raporlanmıştır.



Şekil 8.8. SEM’de analizi yapılacak numelerin hazırlık aşaması

Analizi yapılacak olan numuneler daha önceden her biri onlara yapılan işlemlere göre ayrılmış ve numaralandırılmıştır. Analize başlamadan önce ürünler sırasıyla üzerinde organik ya da farklı bir malzeme olmamasına karşılık temizlenir ve sırasıyla numunenin bakılacağı tablanın üzerine yerleştirilir. Bu yerleştirme sırasında yapılacak analizler sırasıyla not alınmaktadır.

İlk 4 numune aynı anda sinterlenme işlemi yapılmış olan bir parçaya aittir. Bu parça 4’e ayrılarak bunlara şu işlemler uygulanmıştır: İşlem görmemiş, tavllanmış, ilave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ve ergitilerek güverse haline getirilmiş. Bu işlemler ürünler kuyumculukta kullanılacağı için homojen olmayan ortamda pürmüzle yapılmıştır. Diğer numuneler de sırasıyla incelenmiş ve aşağıda raporlanmıştır.



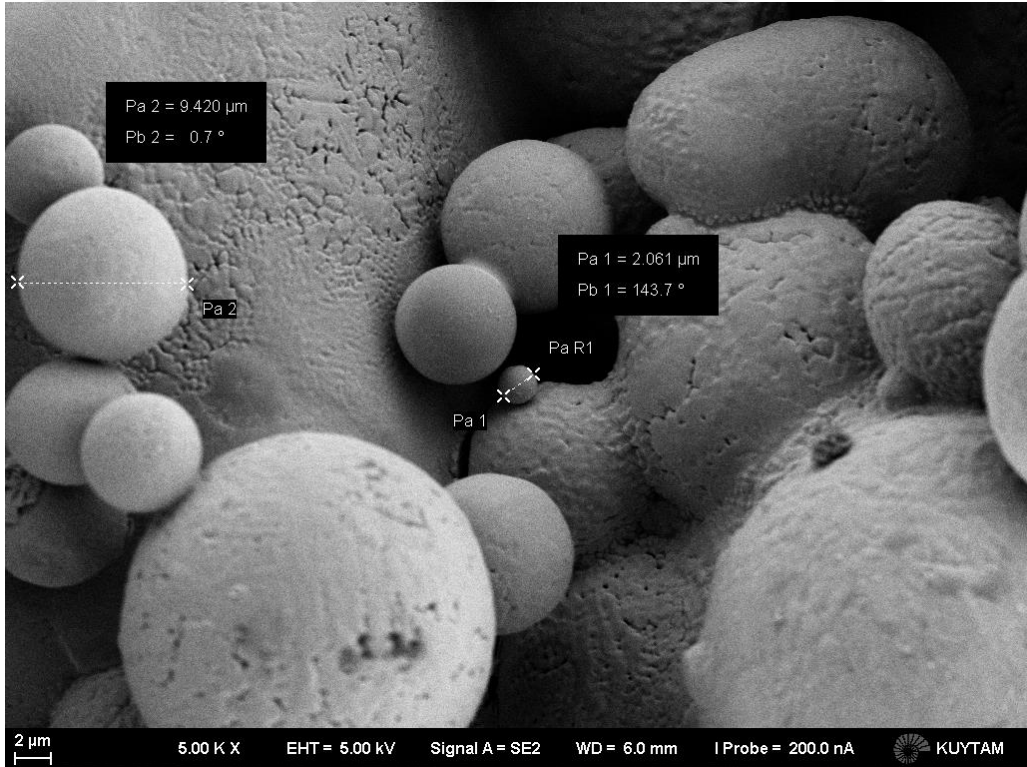
Şekil 8.9. Analizi yapılan numunenin lazer sinterleme makinesinden çıkmış hali

- İşlem görmemiş ürün (Sadece lazer sinterleme yapılmış)



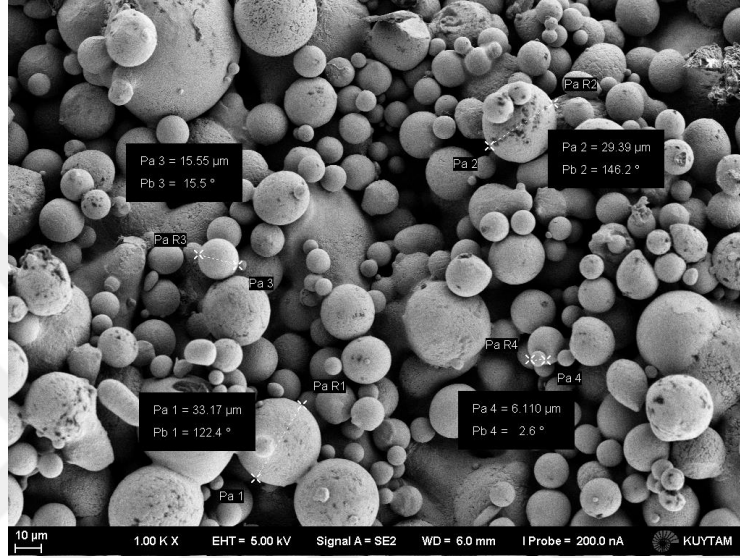
Şekil 8.10. Analizi yapılan işlem görmemiş ürün

1. numunede, üzerine daha sonra hiçbir işlem yapılmayan lazer sinterleme ile üretilmiş parçadır. İlk görüntüde toz parçacıkları SEM görüntüsünde 5.00K büyütülerek bakılmıştır. Burada toz tanelerinin birbirine sinterlendiğini ve boyun oluşturduğunu görülmektedir. Ayrıca toz tanelerinin boyutlarının değişkenlik gösterdiği de en küçük tanenin yaklaşık 2.061 mikron olduğu görülmektedir.

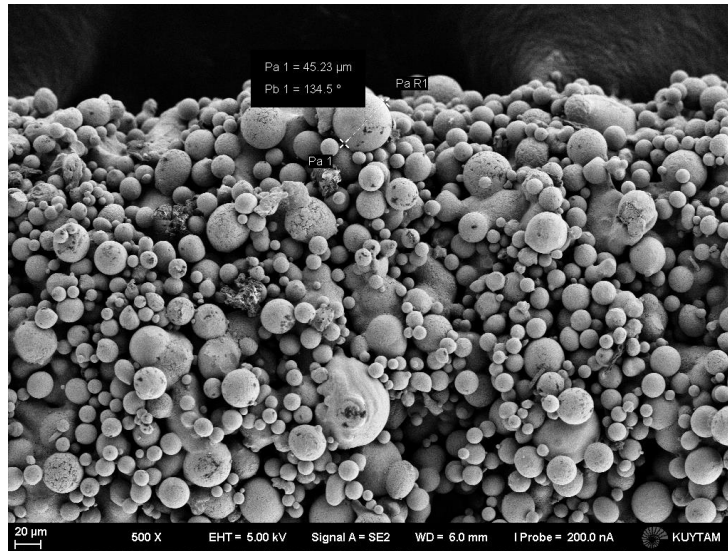


Şekil 8.11. İşlem görmemiş numunenin 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

Toz yapıları incelendiğinde işlem görmemiş olan numunedeki toz tanelerinin yüzeylerinde pek bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Sadece toz boyutları ve birbirlerine bağlanmalarındaki boyunlarda farklılıklar görülmektedir. Ürüne 1.00K ve 500 büyüklüğünde bakıldığında ise toz boylarında yine farklılıklar olduğu görülmektedir. Burada ise yaklaşık 6.110 mikron ile 45.23 mikron aralığında değişen toz boyları görülmektedir.

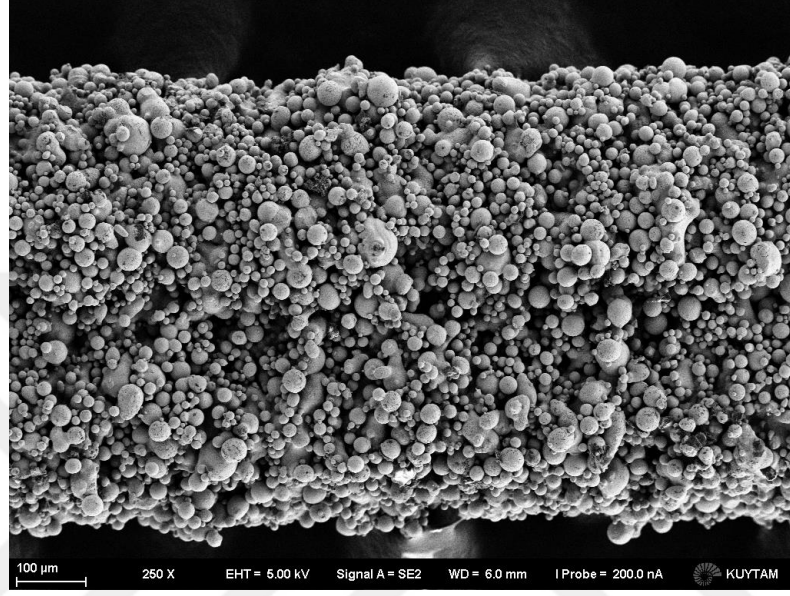


Şekil 8.12. İşlem görmemiş numunenin 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

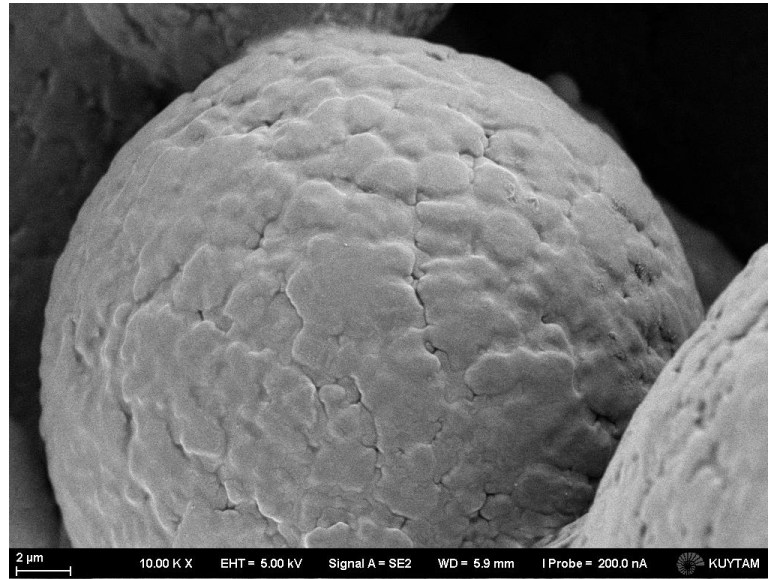


Şekil 8.13. İşlem görmemiş numunenin 500 büyütülmüş SEM görüntüsü

Genel olarak bu numune için toz tanelerinin küresel olduğu ve bu küresellikten dolayı muhtemelen gaz atomizasyonu ile üretilmiş olduğu söylenebilir. Toz yapıları birbirine lazerin değdiği yerlerden sinterlenmiştir. Aşağıda numunenin uzaktan ve yakından çekilmiş görüntüleri bulunmaktadır. Tozun yapısı özellikle 10.00K da daha net görülmektedir.



Şekil 8.14. İşlem görmemiş numunenin 250 büyütülmüş SEM görüntüsü



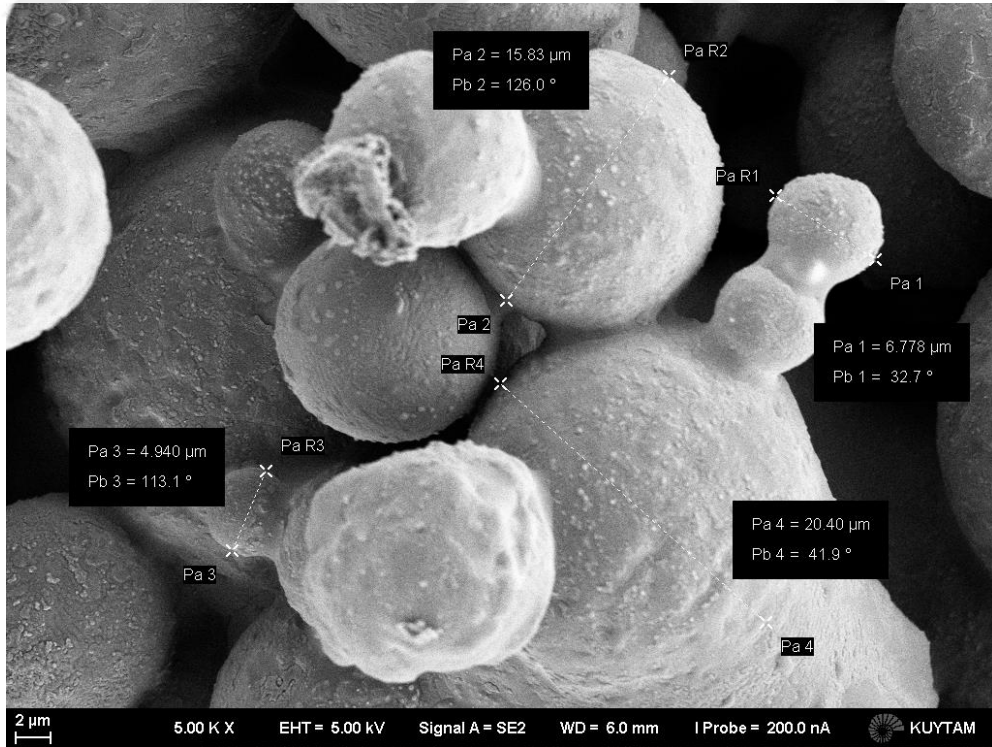
Şekil 8.15. İşlem görmemiş numunenin 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

- Tavllanmış ürün



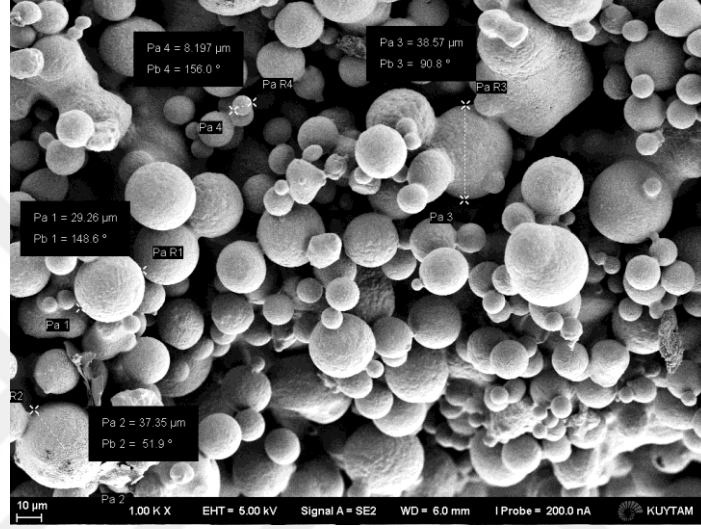
Şekil 8.16. Analizi yapılan tavllanmış ürün

2. numune homojen olmayan ortamda pürmüz yardımıyla tavlannmıştır. Bu üründe tavlannmanın etkisiyle yüzeyde oluşan bozulmalar açıkla görölmektedir. Üründe yüzey pürüzlenmelerinin ve tanelerin boyunlarla birleşmelerinin arttığı hatta küçük parçaların neredeyse tek bir parçaya dönüşmeye başladığı görölmektedir. İlk görüntüde toz parçacıkları SEM görüntüsünde 5.00K büyütülerek bakılmıştır. Burada da toz tanelerinin boyutlarının değişkenlik gösterdiği de en küçük tanenin yaklaşık 4.940 mikron olduğu en büyük tanenin de yaklaşık 20.40 mikron olduğu görölmektedir.

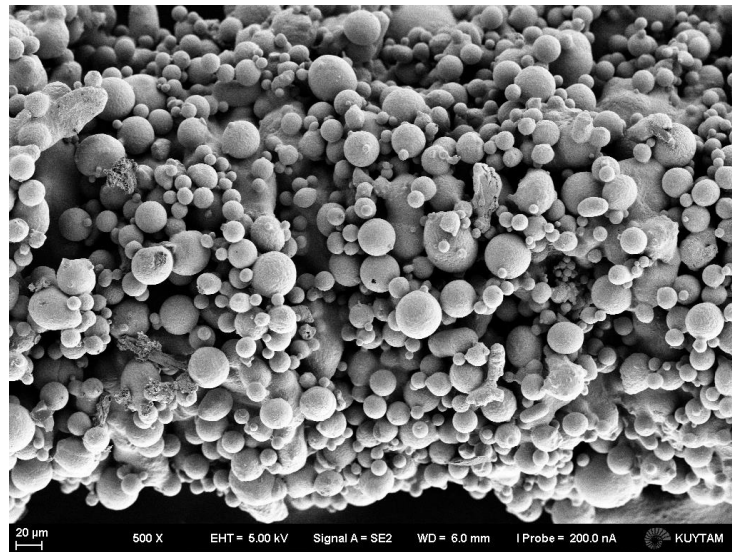


Şekil 8.17. Tavlannmış numunenin 5.00K büyütölmüş SEM görüntüsü

Toz yapıları incelendiğinde tavllanmış olan üründeki toz taneleriyle işlem görmemiş olan numunedeki toz tanelerinin toz boyutları arasında pek bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Sadece tavllanmış olanda yüzey bozulmaları ve birbirlerine bağlanmalarında boyunların genişlediği görülmektedir. Ürüne 1.00K ve 500 büyüklüğünde bakıldığında ise toz boylarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Burada ise yaklaşık 8.197 mikron ile 38.57 mikron aralığında değişen toz boyları görülmektedir.

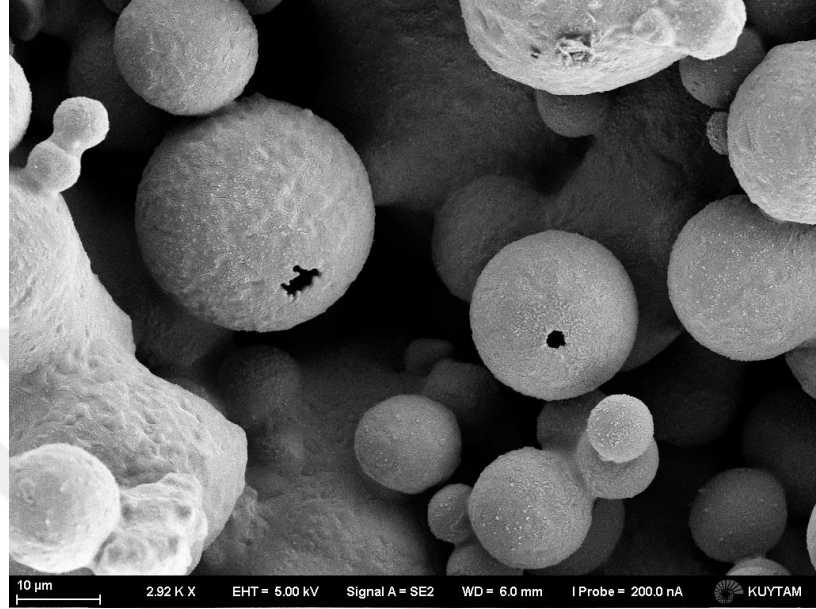


Şekil 8.18. Tavllanmış numunenin 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü



Şekil 8.19. Tavllanmış numunenin 500 büyütülmüş SEM görüntüsü

Numuneye daha da yakından bakıldığında yüzey üzerindeki bozulmalar daha net görülmektedir. Hatta bazı toz parçacıklarında delikler görülmektedir. Burada tozdaki bakırdan kaynaklı oksitlenmeden dolayı ayrılmaların olduğu düşünülmektedir.

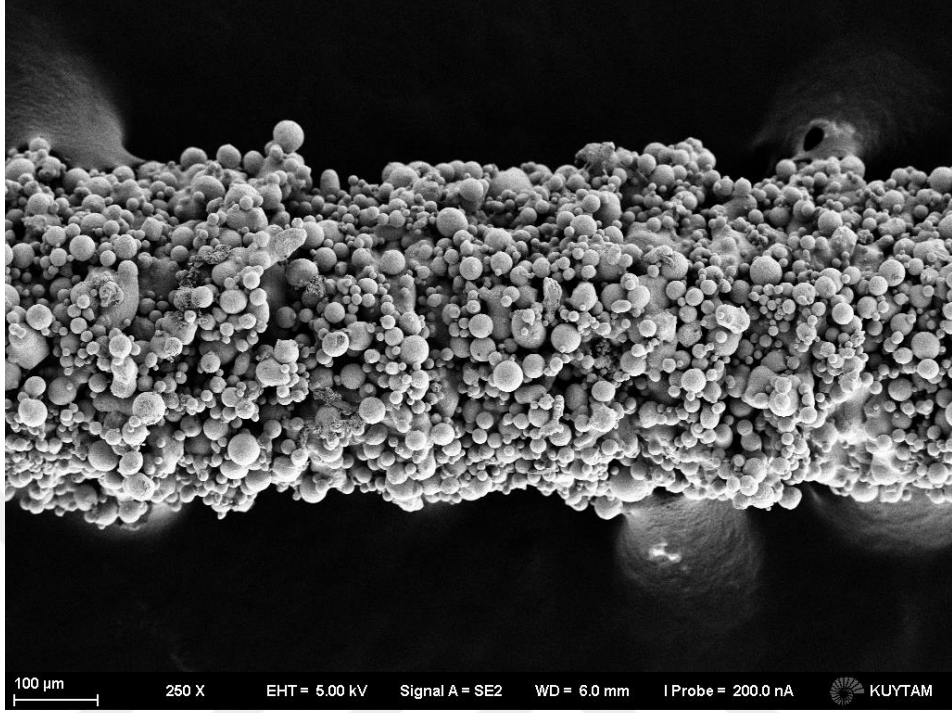


Şekil 8.20. Tavlanmış numunenin 2.92K büyütülmüş SEM görüntüsü



Şekil 8.21. Tavlanmış numunenin 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

Tavlanmış numune için en net söylenebilecek şey yüzey bozulmalarının artmış olmasıdır.



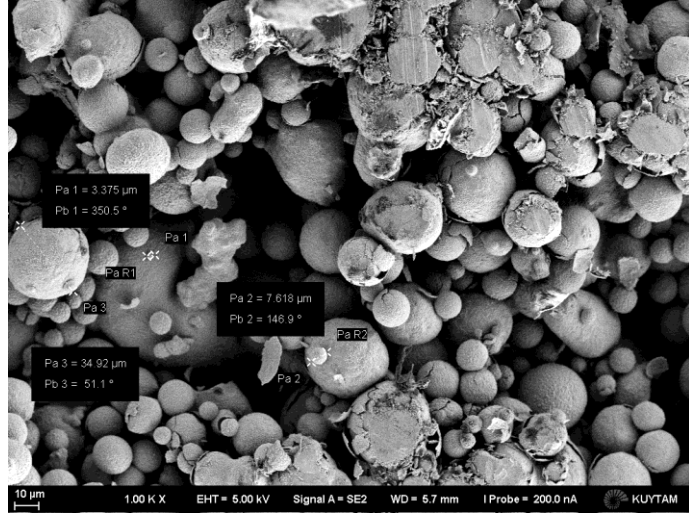
Şekil 8.22. Tavlanmış numunenin 250 büyütülmüş SEM görüntüsü

- İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürün



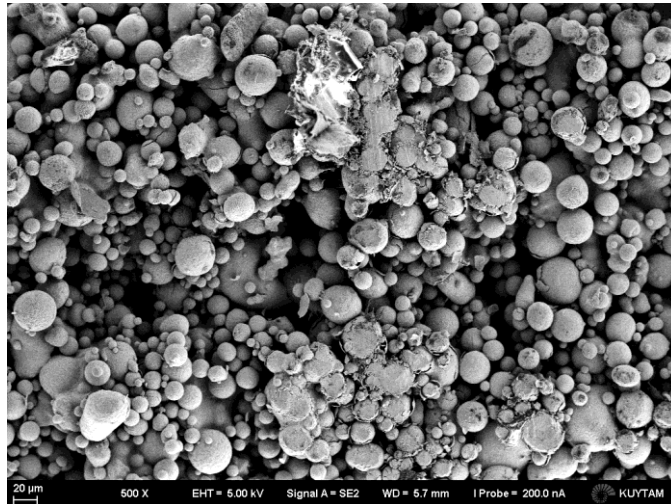
Şekil 8.23. Analizi yapılan ilave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürün

3. numune homojen olmayan ortamda pürmüz yardımıyla ilave kaynak metaliyle gümüş kaynakla kaynaklanmıştır. Bu üründe ısının artmasıyla yüzey bozulmalarının arttığı görülmektedir. Hatta yüzey bozulmalarında toz tanelerinin üzerinin kabuk kabuk ayrıldığı bile görülebilmektedir.



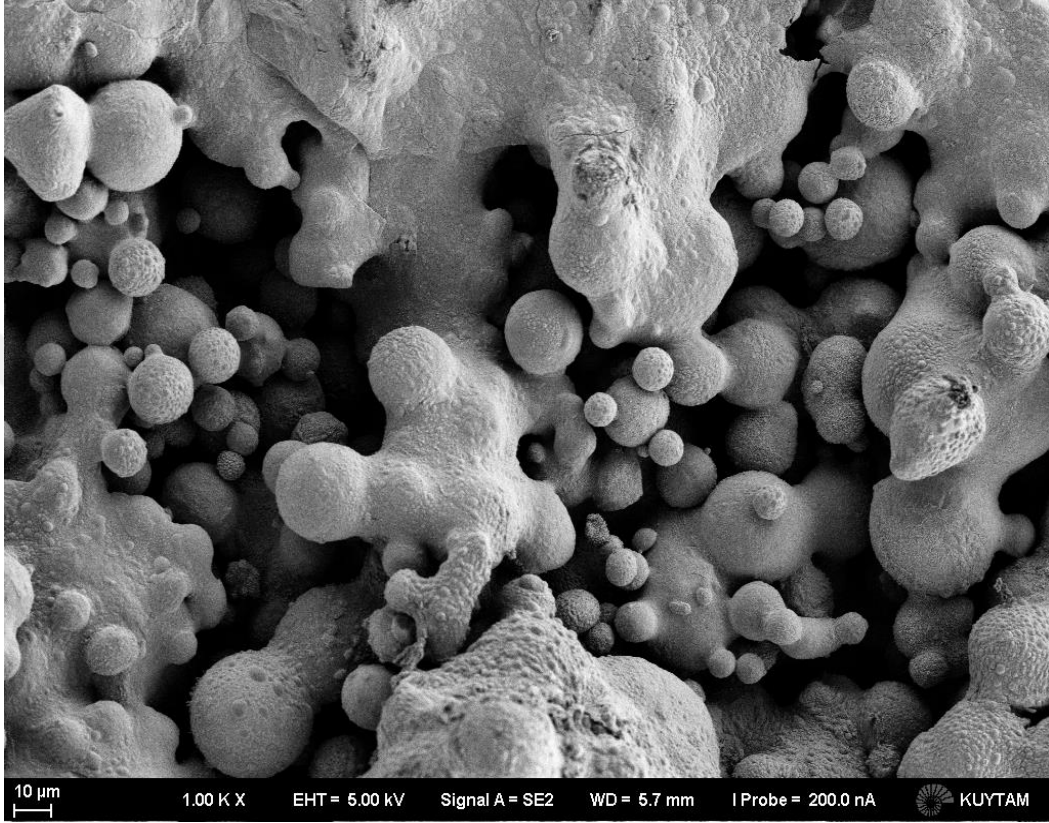
Şekil 8.24. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

İlave kaynak metalinin ergimesi için arttırılan ısıdan dolayı yüzey üzerinde artan bozulmalar, toz taneşerinin yer yer patlamış görüntüsü görülmektedir. İlk görüntüde toz parçacıkları SEM görüntüsünde 1.00K büyütülerek bakılmıştır. Burada da toz tanelerinin boyutlarının değişkenlik gösterdiği de en küçük tanenin yaklaşık 3.375 mikron olduğu en büyük tanenin de yaklaşık 34.92 mikron olduğu görülmektedir.



Şekil 8.25. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 500 büyütülmüş SEM görüntüsü

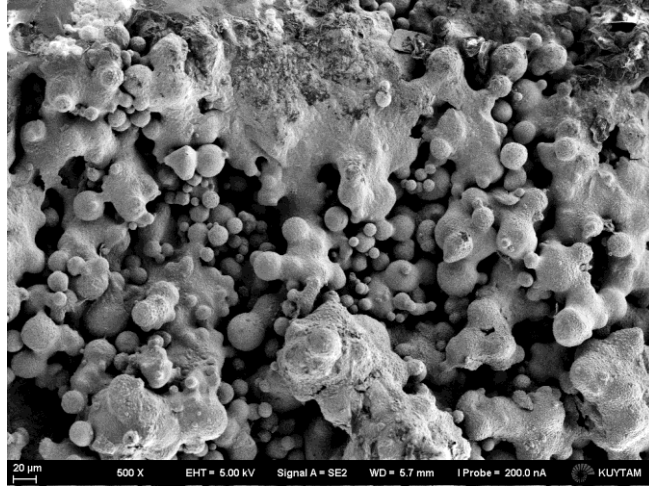
Tozların ölçüldüğü mikronlarından da anlaşıldığı üzere bozulmaların olmadığı toz taneleri tüm numunelerde aynı boyutlardadır. Fakat ısının arttığı yerlerde toz tanelerinin boyunla bağlanması genişlik göstermeye başlamış ve tozlar birbirine farklı amorf şekillerde bağlanmıştır..



Şekil 8.26. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

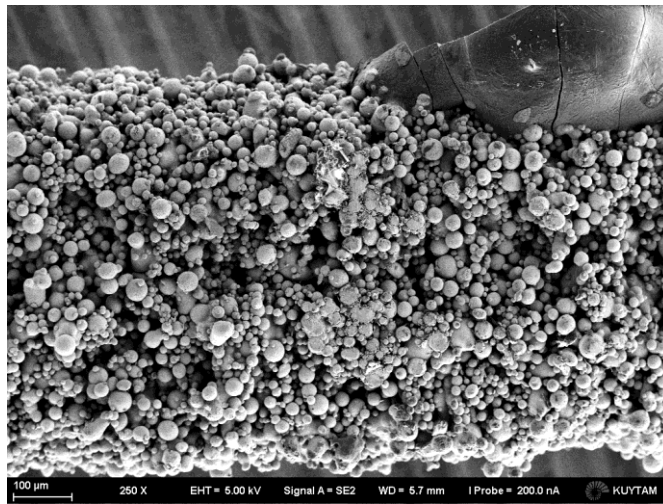
SEM görüntüleri incelendiğinde ısı artışının farklılaştığı bölgelerde bozulmalar daha da artmış hatta toz taneleri yapı değiştirerek artık farklı görünmeye başlamıştır.

Numunenin ilk başlangıcındaki küresel şekildeki toz taneleri incelendiğinde parçaya verilen ısının ergime derecesine yaklaştığı yerlerde bozulmalara neden olduğu görülmektedir. Isının ergime derecesinde ya da üstünde ise tamamen küresel formun bozularak birbirine girmiş, deformasyona uğramış olduğu oldukça net görülmektedir.



Şekil 8.27. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 500 büyütülmüş SEM görüntüsü

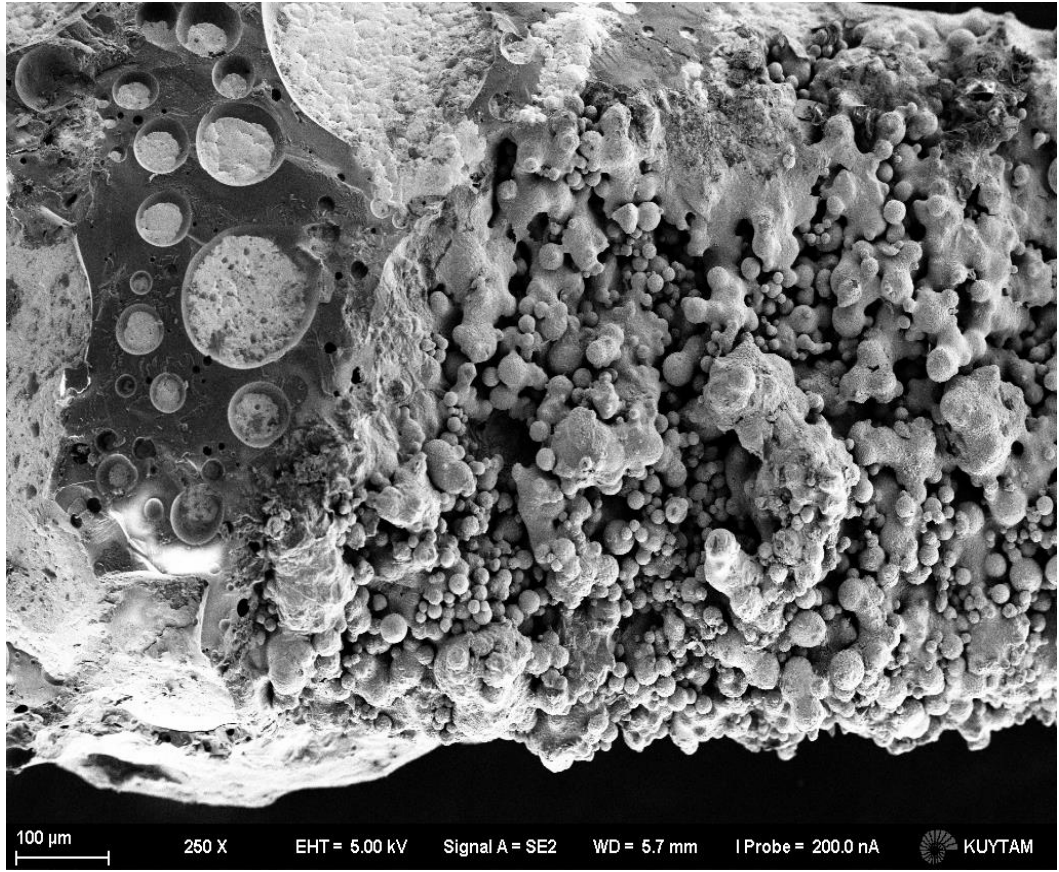
Ürünün aynı bölgesine 500 büyütme ile bakıldığında ise ısının verdiği deformasyon daha net gözükmemektedir. Kaynak yapılan bölgeye yakın yerlerde ısının artmasından kaynaklanan toz tanelerinin yapısal bozukluğu daha net gözülmemektedir. Toz tanelerinin bazı yerlerde gözükmesinin sebebi ise kaynak işleminin homojen olmayan bir ortamda yapılmasıdır. Isının homojen ortamda heryere aynı dağılmadığı aynı zamanda aşağıdaki SEM görüntüsünde de açıkça görülmektedir.



Şekil 8.28. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 250 büyütülmüş SEM görüntüsü

Ürün üzerinde kaynak yapılmış olan kısma yaklaşıldığında daha da net görülüyor ki ısının arttığı yerlerde bozulmalar daha da fazla görülmektedir. Burada artık toz taneleri ergimiş ve bütünleşmeler başlamıştır. Ergime noktasına yakın yerlerde ise tanelerde bozulmalar, tanelerdeki birleşmelerde boyun genişlemesi görülmektedir.

Yüzey üzerinde ayrıca ergitmeyi hızlandırmak için kullanılan boraks kalıntısı burada belirgin şekildedir. Boraks kalıntısının yanı sıra yer yer kaynak için kullanılan gümüş de görülmektedir.

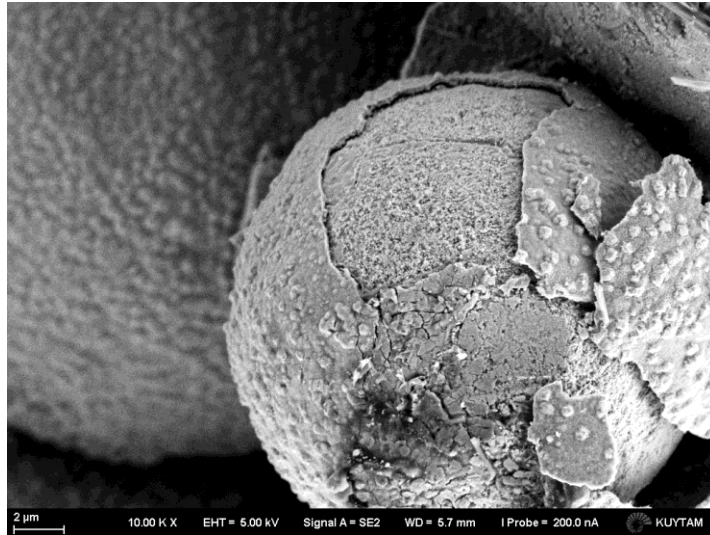


Şekil 8.29. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 250 büyütülmüş SEM görüntüsü

Toz tanelerine SEM görüntüsünde 5.00K ve 10.00K büyütülerek bakıldığında da daha net görülüyor ki toz tanelerinde ısının iyice artmasından kaynaklanan bozulmalar, patlamalar hatta kabuk kabuk atmalar gözükmektedir. Bu da kaynak işlemi yaptığımız parçanın ısıl ortamda toz taneleri üzerindeki deformasyonunu gözler önüne sermektedir. Oksitlenmeden de kaynaklanan kabuklanmaların olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 8.30. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü



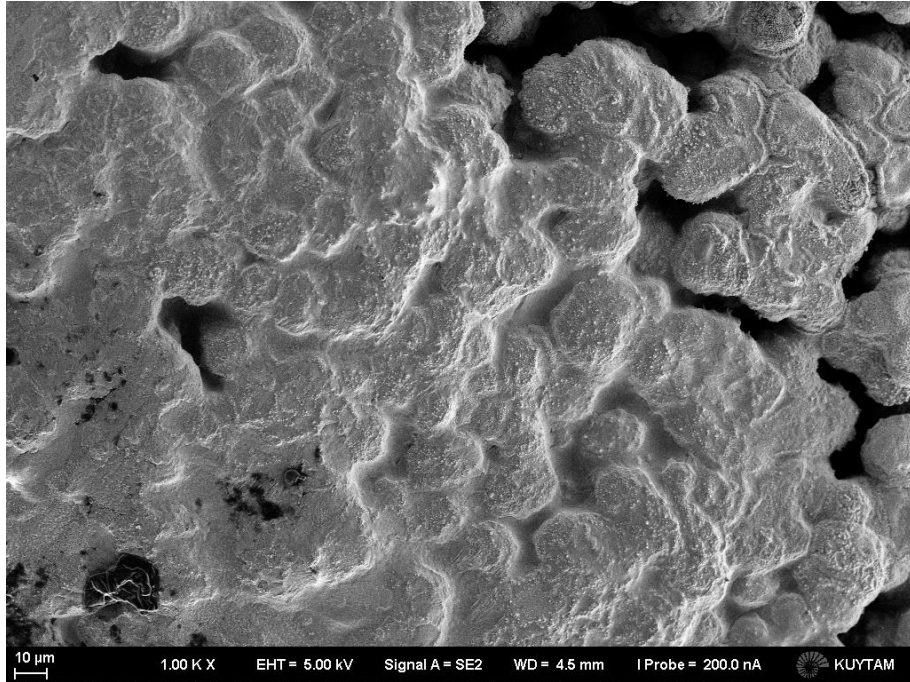
Şekil 8.31. İlave kaynak malzemesi ile kaynaklanmış ürünün 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

- Ergitilerek güverse haline getirilmiş ürün

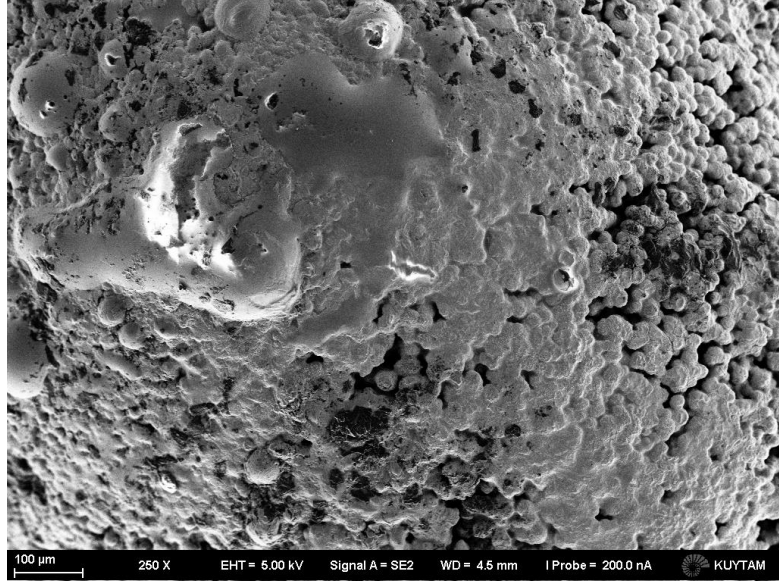


Şekil 8.32. Analizi yapılan ergitilerek güverse haline getirilmiş ürün

4. numune homojen olmayan ortamda pürmüz yardımıyla ergitilmiştir. Burada diğer 3 numunede de kullanılan sinterlenmiş ürün ergitilmiştir. Ergitilmiş numuneye 1.00K büyütülerek bakıldığında artık tanelerin tamamen bozulduğu ve bazı yerlerde sadece sınırlarının belirgin olduğudur. Bunun esas sebebi ise homojen olmayan bir ortamda ergitmenin yapılmış olmasıdır.

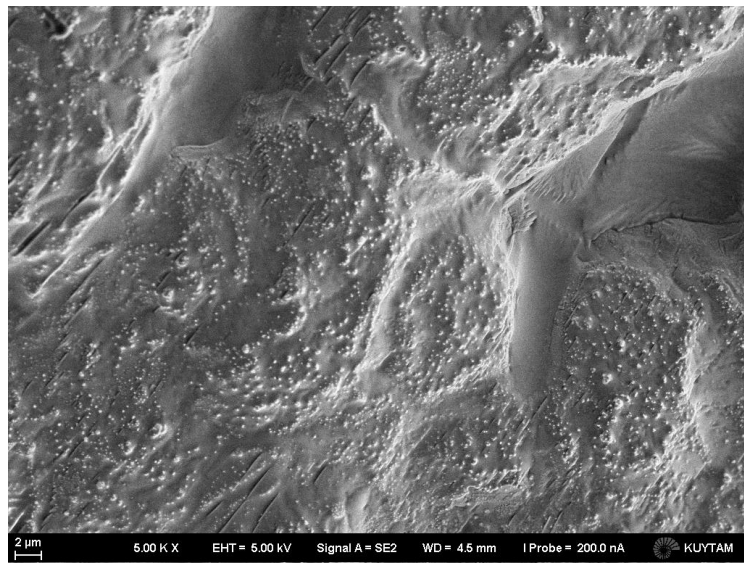


Şekil 8.33. Ergitilmiş ürünün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü



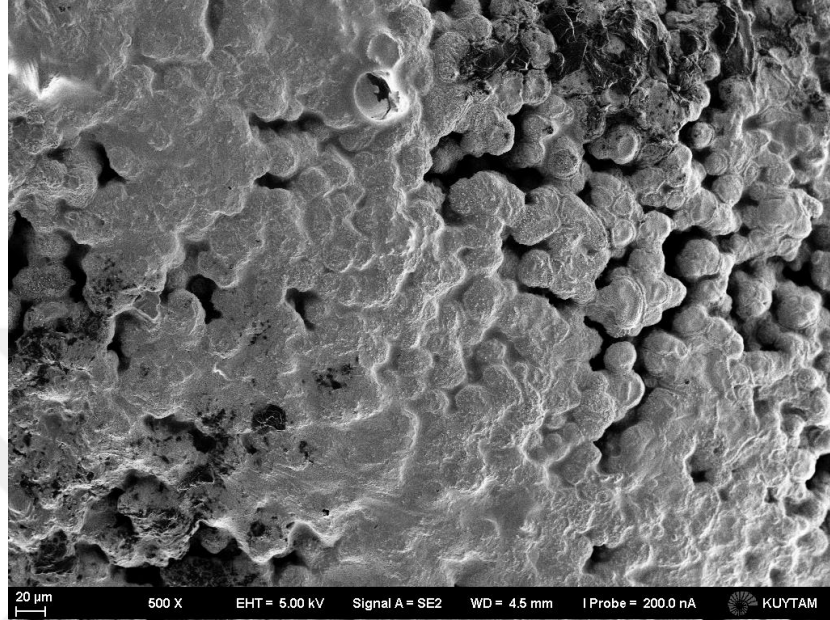
Şekil 8.34. Ergitilmiş ürünün 250 büyütülmüş SEM görüntüsü

Ergitilmiş olan ürünün 250 ve 5.00K görüntülerine bakıldığında da net şekilde görülmektedir ki toz taneleri artık tane olarak gözükmemektedir. Pürüzlenmeden bahsetmek artık imkânsızdır çünkü yapı bozulmuştur. Parçacıklar birbirine girmiş ve artık amorf bir yapı oluşmuştur. Ergitilme ve ardından soğutma homojen bir ortamda sağlansaydı görüntü her yerde benzer olurdu.

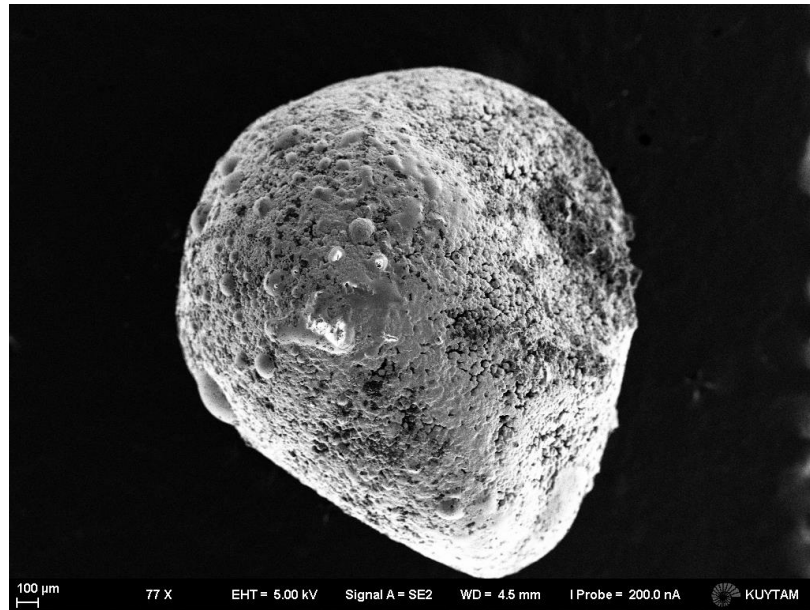


Şekil 8.35. Ergitilmiş ürünün 5.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

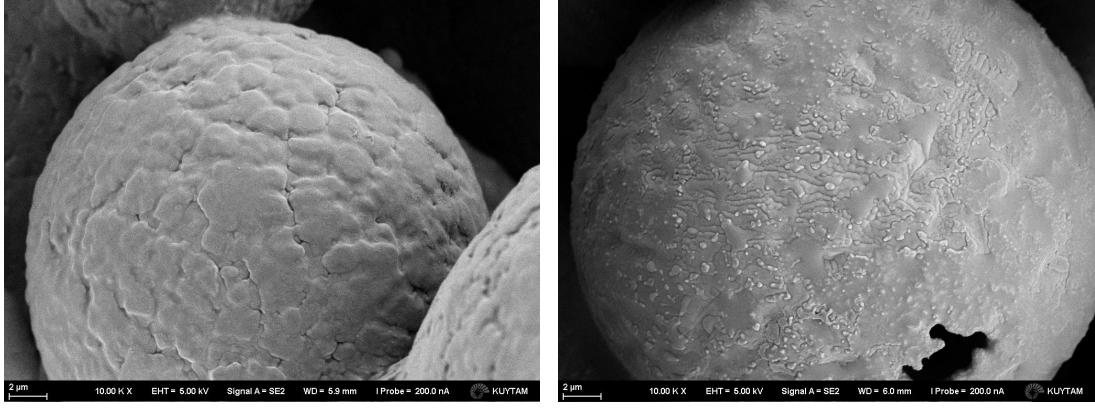
Güversenin tamamına SEM’de bakacak olursak tüm yüzeyde bozulmalar ve tane yapılarının bozulması net şekilde görülmektedir. Isının artarak ergimenin yoğun olduğu bölgeler ve yüzeyin amorf şekil alması da izlenmiştir. Bunu hem 500 hem de 77 büyütmede de aynı şekilde görülebiliyor.



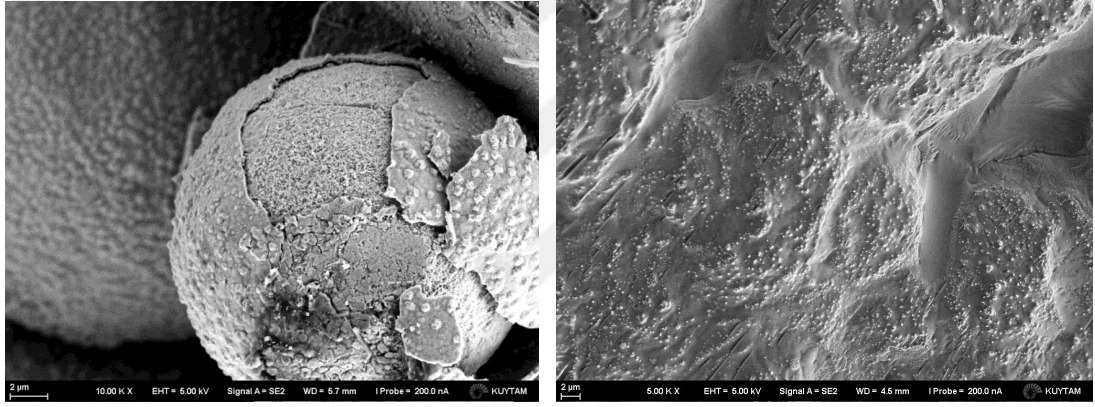
Şekil 8.36. Ergitilmiş ürünün 500 büyütülmüş SEM görüntüsü



Şekil 8.37. Ergitilmiş ürünün 77 büyütülmüş SEM görüntüsü



Şekil 8.38. İlk şekil işlem görmemiş ikinci şekil tavllanmış numuneye aittir



Şekil 8.39. İlk şekil kaynak yapılmış ikinci şekil ergitilmiş numuneye aittir

Yukarıdaki 4 numuneye SEM ile tane bazında bakıldığında da anlaşılıyor ki, ürünlere dışarıdan yapılan ısıl müdahaleler tozun yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. Isı arttıkça tozun yapısında pürüzlenmeler, çatlamlar, kopmalar meydana gelirken, ergitilme sıcaklığına gelindiğinde burada durum tamamen tozun amorf yapıya dönüp kendi özelliğini komple kaybetmektedir.

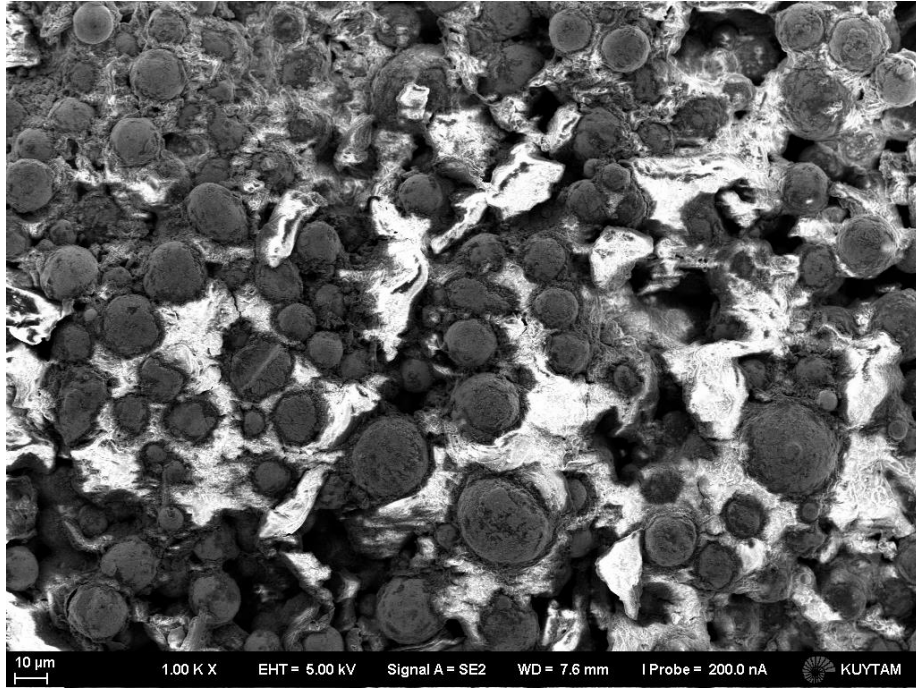
Yapılan ısıl işlemler homojen ortamda yapılmamıştır. Eğer homojen ortamda yapılmış olsaydı görüntülerde daha düzenlilik gözlenebilirdi. Özellikle ergitilmiş üründe tamamen ergitilen metal daha net belirginlik gösterebilirdi.

- İşlem görmemiş mat yüzük



Şekil 8.40. İşlem görmemiş mat yüzük

Bu yüzük SEM görüntüsü ile incelendiğinde tane boyutlarının sınırlarının belli olduğu ama yüzeyde bir dolgu malzemesi ya da oksitlenme olduğu düşünülmektedir. Raman Spektroskopu ile incelendiğinde yüzeyde olanın oksit olduğu belirlenmiştir. Bronz içerisinde bakır oranının çok olması ve üretilen yüzüğün işlem görmeden beklediği varsayıldığında da oksitlenmenin artarak tanelerin arasını kapatmasının normal bir davranış olduğu söylenmektedir.



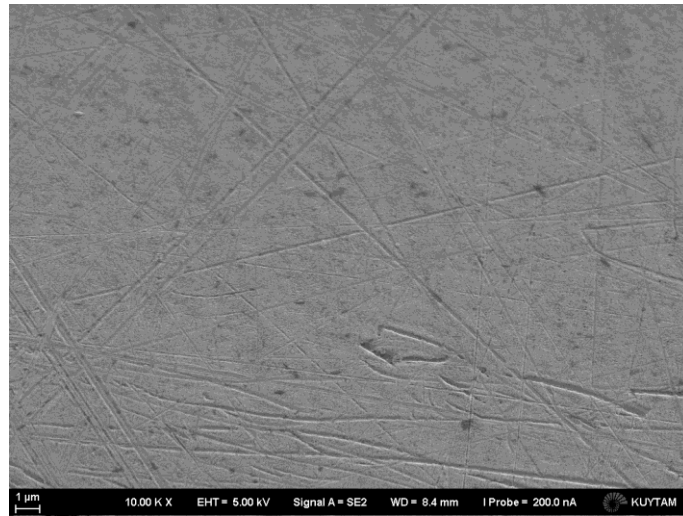
Şekil 8.41. Mat yüzüğün 1.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

- Parlak yüzük



Şekil 8.42. Parlak yüzük

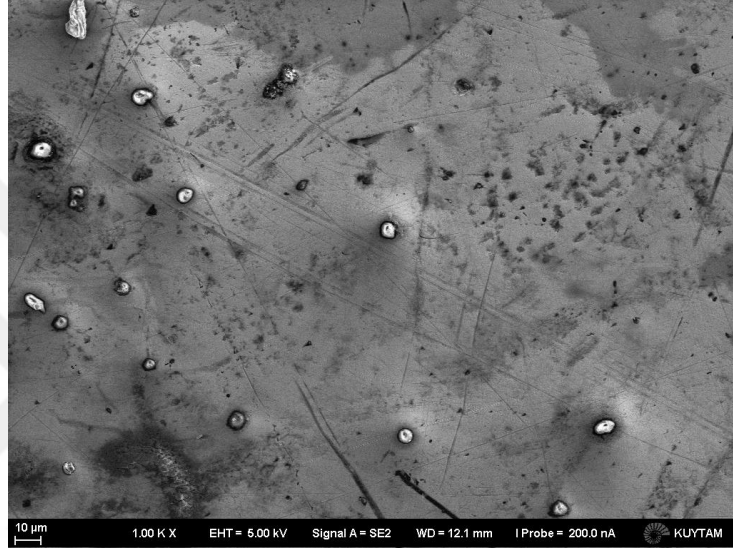
Bu yüzük SEM görüntüsü ile incelendiğinde tane boyutlarının artık olmadığı görülmektedir. Bu model üzerine zımpara, cila, kaplama işlemleri yapıldığı için artık yüzeyi düzlem olarak görebilmeyiz. Yüzeyin üzerinde çeşitli izler görülmektedir. Bunlar da dışarıdan aldığı darbe ya da izleri göstermektedir. Aynı zamanda ürünün üzerinde bir kaplama bulunmaktadır. Kaplama olmasının sebebi ise alttaki bakırın oksitlenerek kararmasının engellenmesi ve yüzeyin süslenmesidir. Kaplama bize lazer sinterleme ile yapılan ürünlerin yüzeyinin rahatlıkla kaplanabileceğini de göstermektedir.



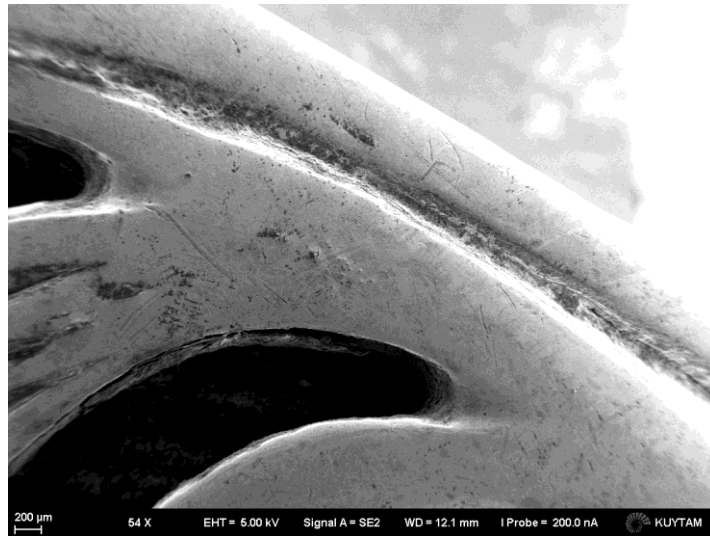
Şekil 8.43. Parlak yüzüğün 10.00K büyütülmüş SEM görüntüsü

- Döküm ile üretilmiş ürün

Burada bronz bir ürün döküm yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen bu ürünün lazer ile sinterleme olan ürünle karşılaştırılması yapıldığında görülenler şunlardır. Bronz dökümde de aynı parlak yüzükte olan yüzey görüntüsü net şekilde görülmektedir. Burada da tane boyutları artık görülmemekte ve yüzeyde sadece dışarıdan gelen müdahalelere karşılık oluşan çizikler ve izler gözölmektedir.



Şekil 8.44. Döküm yüzüğün 1.00K büyütölmüş SEM görüntüsü



Şekil 8.45. Döküm yüzüğün 54 büyütölmüş SEM görüntüsü

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çağımızda teknolojiler geliştikçe çeşitli sektörlerdeki üretim metotları da buna bağlı olarak gelişmektedir. Bu metotlar geleneksel üretim yöntemlerinden örneklerle bunları baz alarak teknoloji ile yapılacak olan ürünleri geliştirip üretmeyi hedeflemektedir.

Mücevher sektörünün gelişim sürecinde birçok üretim prosesi kullanılmıştır. Bunlar üretilecek olan ürünün ve kullanılacak metalin özelliklerine göre değişim göstermektedir. Arz talep, müşteri istekleri, gelişen ekonomi, modernleşme, farklılaşma, rekabet ve moda eğilimleri mücevher tasarımlarının da gelişmesine katkıda bulunmuştur. Mücevherler tasarlanırken gelişimine katkıda bulunan bu faktörler sayesinde hem yeni tasarımlar ortaya çıkmış hem de bunları üretecek yeni üretim prosesleri geliştirilmiştir.



Şekil 9.1. Cristina FRANCESCHINI'nin 3d üretim yoluyla yapılmış olan modern bilezik modeli

Günümüzde sadekar dediğimiz mücevher ustaları; el işçiliğiyle metale, muma ya da farklı malzemelere tasarımcının tasarladığı ya da kendilerinin zihinlerinde tasarladıkları tasarımları takılara uygulamaktadırlar. Bu işi günümüzde hala geleneksel yöntemlerle üreten ustalar bulunmaktadır. Ürünlerin üretiminde geleneksel yöntemler ya da günümüzde kullanılan yöntemler kullanılsa da her tasarım aynı şekilde üretilememektedir. Bazı ürünler üretilirken bu ürünlerin üretim zamanının fazla olması, döküme uygun olmaması, çoğaltılmaya uygun olmaması, ağırlık bakımından fazla olması v.b. birçok unsur bulunmaktadır. Mücevher ustası bunları üretirken, elindeki malzeme ve teknoloji kapasitesinde üretim yapabilmektedir. İşte bu üretim kapasitesini arttırmak ve biraz önce sayılan zaman, üretim şartlarına uygunluk gibi unsurların yanında gelişen tasarımların üretilme metotlarının arttırılması için teknoloji de hızla gelişme göstermiştir.

Teknoloji gelişirken eş zamanlı gelişen kuyumculuk teknikleri üretim aşamasına ve tasarım süreçlerine de katkıda bulunmaktadır. Geçmiş dönemlerde yapılan tasarımlar ve kullanılan üretim metotlarına bakıldığında artan değerli metal fiyatları ve ekonomik sıkıntılar üretime de çeşitlilik getirmiştir.

İlk çağlardan günümüze kadar gelen takı takma geleneği önceleri kemik, fildişi, taşlar v.b. malzemelerden oluşurken daha sonra metallerin kullanılmasıyla yerini çeşitli üretim teknikleriyle işlenmiş metal takılara bırakmıştır. Burada metaller işlenirken el işçiliği, döküm, pres, içi boş ürünler, elektroform v.b. teknikler kullanılmıştır. Ancak gelişen bilgisayar çağıyla birlikte üretimlerde artık 2D ve 3D üretim yöntemleri başlamıştır. Tasarlanan tasarımlar bilgisayar ortamında çizildikten sonra ya CNC makinelerine ya da 3 boyutlu yazıcı sistemleri bulunan makinelere gönderilerek üretimler gerçekleştirilmektedir. Gelişen kuyumculuk sektörüyle birlikte üretimle doğru orantılı olarak tasarımlar da gelişmiştir. Günümüz teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak varolan ve en çok tercih edilen mücevher üretim tekniklerinden biri füzyon tekniğidir. Bu teknikte çok ince teller ve karmaşık yüzeyler birlikte kullanılmaktadır. Ağırlık bakımından da görünüşte iri duran ama aslında hafif ürün alınabilen füzyon tekniği bu yüzden de çok tercih edilmektedir.

Bu gelişmelere rağmen tasarımın giderek gelişmesi, teknolojinin de üretim metotlarındaki gelişmesinin artmasını sağlamıştır. Örneğin geçmiş zamanlarda sinterleme yoluyla kullanılan toz metalurjisi günümüze lazer sinterleme ile ürün üretme olarak gelişmiştir.

Toz metalurjisi çok eski zamanlardan beri varolan ve birçok sektörde de üretimi süren bir teknolojidir. Toz metalurjisi ile üretimde kalıp içerisine konan tozlar sıkıştırılır ve ardından preslenerek sinterlenir. Zaman içerisinde endüstride kullanılan toz metalurjisi kuyumculuk sektöründe de kullanılmıştır. Gelişen tasarımlar ve daha ince yapılması istenen tel ürünler için normalde kullanılan toz metalurjisi artık yetersiz kalmaya başlamıştır. Özellikle birbiri içine geçmiş ürünlerin oynak parça ürünler ve birbiri içinde bulunan yani çingirak benzeri ürünler için yeni bir sistem kullanılması gerekmektedir. Bunlarla birlikte tekrar kauçuga alınıp üretimin döküme gidip zaman uzamasını da kısaltmak adına da kullanılan toz metalurjisinin gelişmesi üretimin de hızlanmasını sağlayacaktır.



Şekil 9.2. Lazer sinterleme yoluyla üretilmiş olan ürünler

Tüm bu ihtiyaçlardan dolayı preslenerek ısıtılarak yapılan sinterleme işleminin yanına alternatif olarak, ince ve detaylı işlerin üretilmesinde daha çok işe yarayacak olan lazer sinterleme yöntemi oluşmuştur. Son yıllarda kullanılan ve zamanla daha da yayılacak olan lazerle sinterleme metodu ile tüm ürünler doğrudan metal olarak üretilmektedir.

Lazer sinterleme yoluyla tüm tasarımlar üretilebilir fakat üretilme metodu pahalı olduğu için basit şekillerde ya da daha ekonomik süreçle üretilebilecek ürünler bu yöntemlerle tercih edilmemektedir. Örneğin; döküme uygun ve seri üretimde çokça üretilecek, kesme kalıpla kolaylıkla hazırlanabilecek ve presle üretilebilecek, bilgisayarda çizilerek 2 veya 3 boyutlu olarak yazıcı makinelerden alınarak dökümlerle çoğaltılabilecek ya da elle işçiliğiyle basit şekilde üretilebilecek olan bir ürünü lazer sinterleme yoluyla üretmek anlamlı olmayacaktır. Bunun en önemli sebebi sinterleme yapılacak metal tozunun üretilmesinin ve lazer sinterleme makinelerinin pahalı olmasıdır.



Şekil 9.3. Sinterlemenin lazer yoluyla yapıldığı an

Metale 3D baskının uzun ömürlü olarak sağlandığı lazer sinterleme, DMLS (Direct Metal Laser Sintering) doğrudan metal lazer sinterleme olarak bilinmektedir. Son yıllarda iyice gelişen DMLS sistemleri sayesinde üretimler ve tasarımlar kendini geliştirmiştir. Gelişen bu teknolojiye gerekli olan en önemli araç ise metal tozudur. Metal toz alaşımların atomizasyon şeklinde üretilme yöntemleri; metale, uygulanacağı sisteme ve makineye göre farklılık arzdebilmektedir. Metal tozları üretim ve sinterleme açısından belirli mikron ölçüsünde olmak zorundadır.



Şekil 9.4. DMSL(Direct Metal Laser Sintering) ile yapılmış olan bir kol düğmesi

Lazer sinterleme yönteminin en önemli avantajlarından biri ise bunun tüm metal tozlarına ve alaşımlara uygulanmasıdır. Örneğin; platinden yapılacak bir ürün tasarımından kaynaklanan ayrıntılarına göre dökümde ya da normal el işçiliğinde zorluklar çıkarabilmektedir. Ama bu lazer sinterleme ile hatasız şekilde üretilmekte ve bu ürün doğrudan elde edilmektedir.

Lazer sinterlemenin diğerk yöntemlere göre avantajlarına bakıldığında en önemli avantajlarından biri toz halindeki tüm metal alaşımlarına uygulanabilmektedir. Aynı zamanda üretim hızlıdır ve nihai sonuca çok kısa sürede ulaşılabilmektedir. Dökümle yapılacak olan bir parçada uygulanacak tüm prosesler düşünüldüğünde yaklaşık 3-4 günlük bir zaman dilimi gerekmektedir. El işçiliği ile yapılan üretimde ise işin zorluğuna göre bu zaman yine uzun ve değişkenlik göstermektedir. Fakat toz metal alaşımlarını lazer sinterleme ile boyutlarına da bağlı olmak üzere yaklaşık 1 günde doğrudan metal olarak elde etmek mümkündür.



Şekil 9.5. Lazer sinterleme sonunda makineden çıkarılmış yüzük örneği (Sisma, 2017)

Lazer sinterlemenin en büyük avantajlarından bir diğeri ise ürünlerin yüksek yoğunluğa sahip olmalarıdır. Toz tanelerinin sıklıkla birbirine sinterlenmesinden kaynaklanan yoğunluk ürünün dayanıklılığını da arttırmaktadır. Aynı zamanda üretilen ürünler bilgisayar ortamında çizildiği ve sonrasında makineye gönderildiği için bu ürünler aynen çizildiği gibi üretilmektedir. Hatasız üretim koşullarının olması da DMLS yani doğrudan metal lazer sinterleme yönteminin çeşitli sektörlerde tercih edilmesini arttırmaktadır.

Bunların dışında bu üretim yöntemi pahalı bir yöntem olduğundan dolayı çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Tozun üretilmesi, ücreti, makinenin fiyatının fazla olması lazer sinterlemenin herkes tarafından tercih edilmesini zorlaştırmaktadır. Fakat kişiye özel tek ya da az sayıda üretimli karmaşık ve farklı tasarım gerektiren üretimlerde ise bu yöntem tercih edilebilmektedir. Bunun en önemli özelliği diğer üretim yöntemleriyle zor ya da imkansız olan üretimin lazer sinterleme ile doğrudan yapılabilmesidir. Bu sebepten dolayı üretilmesi karmaşık olan parçalar bile bu yöntemle doğrudan üretebilmektedir.

Bu doğrultuda bu hazırlanan yüksek lisans tezi ile ilgili aynı zamanda analiz çalışmaları da yapılmış bulunmaktadır. Bu çalışmalardan çıkan sonuçlar aşağıda yorumlanıp, çıkan sonuçlar ve yapılması gereken öneriler bildirilecektir.

Öncelikle ister alaşım halinde isterse saf halde hangi toz malzeme olursa olsun lazer sinterleme yapılacak olan tozun şekli ve boyutları oldukça önemlidir. Eğer toz büyük ya da daha küçük olursa sinterleme de gözden kaçan parçalar olabilir. Bununla birlikte tozun şekli de bizim için oldukça önemlidir. Küresel toz taneleri lazer sinterlemede daha doğru birleşmeler sağlamaktadır.



Şekil 9.6. Lazer sinterleme yapılan makinenin haznesine uygun toz alaşımının koyulma işlemi

Örneğin toz taneleri amorf yapıda olsaydı bunlar sinterlenirken belki de üst yüzeyleri lazer ışınlarını görecekti ya da toz tanesi büyük olsaydı taneler birbirine değil tanelerin üstüne gelen lazer ışınları yüzünden boşuna sinterleme işlemi gerçekleşecek, bu da üretimi etkileyecektir. Çünkü tozların birbirine tam olarak bağlanmaması demek gevşek bir yapının oluşması demektir. Bu gevşek yapıda ürünün dayanıksız olmasına neden olacaktır.

Ayrıca bu üretim prosesinin çalışma prensibinde mutlaka 3D çizim bulunmaktadır. İstenilen ve ölçüleri birebir olarak hazırlanmış ve tüm detayları belirtilmiş olan 3D çizim önce uygun programda çizim olarak gerçekleştirilir. Bu programın hangisi olduğunun çok önemli yoktur sadece stl. formatında kaydedilmiş olması gerekmektedir. Aynı zamanda çizim yapılırken supportların yani modelin yığılmasını engelleyecek desteklerin hem ince hem de modeli bozmayacak şekilde doğru olarak atılması gerekmektedir. Bu supportlar en az üretim kadar önemlidir. Çingiraklı olarak bahsettiğimiz ürünlerde de iç parçanın havada durmasını sağlayacak supportlar bu bakımdan da oldukça önemlidir. Bazı parçaların ağırlığı ve geniş yüzeyleri sebebiyle fazla support atılmaktadır. Bu supportların temizlenmeleri dikkatli ve detay isteyen bir işlem basamağıdır. Ayrıca kullanılan toz metal alaşımları, değerli metallerle üretildiği için bu supportların dikkatlice toplanıp tekrar geri dönüşüme gönderilmesi gerekmektedir.



Şekil 9.7. Lazer sinterlemesi yapılan bronz takının supportlarının dizilimi

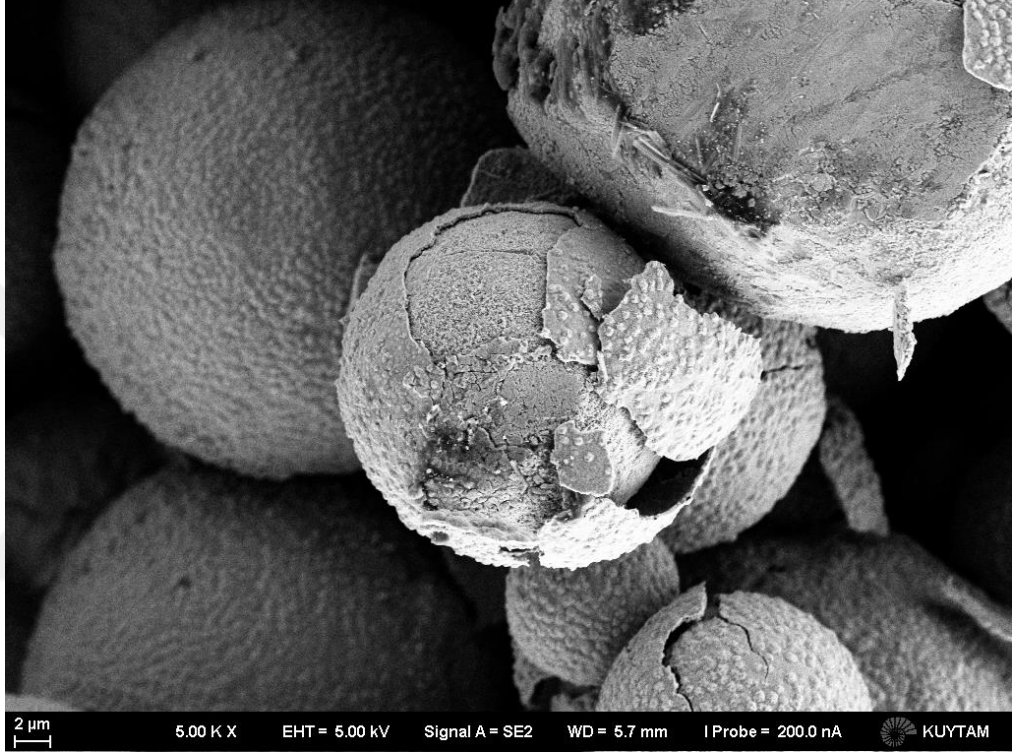
Bu çalışmada bronz toz kullanılarak çeşitli takıların üretilmesi ve bu üretilen takılar üzerinde çeşitli işlemler yapılması sağlanmıştır. Üretilen toz alaşımının bronz olduğu bize söylenmesine rağmen biz buna raman cihazıyla tekrar bakmış bulunuyoruz. Ramanda pikler bakır ağırlıklı kalay alaşımını vermiş bulunmaktadır bu da bize bunun gerçekten bronz olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışmada sadece bronz tozu ile çalışmalar ve analizler yapılmış bulunmaktadır. Bunun sebebi ise Ülkemize mücevher sektöründe kullanılan diğer metal tozlarının girişinin yapılamamasıdır. Altın alaşımları, gümüş, platin, titanyum gibi metal tozlarının gümrükte yaşanan prosedürlerden dolayı Ülkemizde bulunamadığından bu metallerle ilgili üretim ve analiz yapılamamıştır. Fakat tüm metal tozlarında üretim prosesi ve analiz verileri aşağı yukarı aynı çıkacağı için bu verilerle genelleme yapılacaktır. İlerleyen zamanlarda bu bilimsel çalışmaların diğer metal tozlarıyla da yapıp karşılaştırmaları yapılacaktır. Değerli metal tozları Ülkemizde de üretilebilse de kalibrasyon ve toz boyutu bakımından makine ile tam olarak entegre olamamıştır. Bu sebeple her türlü toz tanecığı bu işlemlerde kullanılamamaktadır.

Ürünlerle ilgili alınan numunelere çeşitli işlemler uygulanıp bunlara XRF cihazında bakılmıştır. 9. bölümde bununla ilgili tüm ayrıntılı bilgiler mevcuttur. Burada bizim elimize geçen verilerdeki en önemli bulgular öncelikle tozun karakterizasyonudur. Yani tozun yapısı ve boyutları bize tozun üretilme yöntemi hakkında bilgi verebilmektedir. Ayrıca bu tozun yapısını bilmemiz lazer sinterleme makinesinde üretilen tozun da yapısını da ortaya koymaktadır.

Elimizdeki numunelere dışarıdan fiziksel işlemler uygulanmış ve bunlara karşı verdiği tepkiler XRF cihazında incelenmiştir. Burada bulduğumuz bulgular eşliğinde, bu yöntemle üretilen takılarda bulunan özellikler ve faydaları ise;

- Tozun sinterleme esnasında yoğunluğu artmış ve birbirlerine bağlanmaları kuvvetlenmiştir.
- Tavlandıkça tozlar arası yakınlaşmalar artmış ve boyunlarda genişlemeler meydana gelmiştir.

- Isı arttıkça toz yüzeylerinde bozulmalar meydana gelmeye başlamıştır.
- Isı kaynak yapılması için daha da arttırıldığında tozun yapısında kabuk kalkmalarının meydana geldiği iyice yapının bozulduğu görülmektedir. Fakat tozlar birbirine sintelendiği için tozların birbirinden kopmaları meydana gelmeyecektir.



Şekil 9.8. Numunenin üzerine pürmüzle verilen ısı kaynak ısısına ulaştığında tozların üzerinde artan bozulmalar ve kabuk kalkmaları

- Kaynak yapılan bölgedeki ısı artışından kaynaklanan mikron düzeyinde yüzey bozulmaları meydana gelmektedir.
- Mücevherlerde üretim aşamasından sonra zımpara ve cila ile yüzeyin üzerindeki pürüzler alınmaktadır. Eğer homojen olmayan bir ortamda yapılan kaynaktan dolayı tozun yüzeyinde oluşan kopmalar oluşuyorsa bunun da yeniden zımpara cila ile düzelmesi gerekmektedir.

- Yapılan müdahaleler her yüzeyde aynı olamayacağından, kaynak bölgesinde daha fazla olacağından dolayı buraya yapılan işlemler sonucunda üretilen üründe hem gramda eksilme meydana gelecektir hem de görünümde oransızlık oluşabilecektir.
- Aslında lazer sinterleme ile üretim bir daha kaynak işlemine gerek duyulmayan doğrudan tesviye, zımpara ve cilanın ardından vitrin aşamasına gelmiş ürün üretme yöntemidir. Fakat burada müşteriye yapılan bir ürünün dar ya da geniş gelmesinden dolayı yeniden büyütme ya da küçültme yapılacağına verilecek tepkileride belirlemek adına bu analiz yapılmıştır.
- Bir başka çalışmada ise numune eritildiğinde yapısında ne gibi değişiklikler var bunlar incelenmiştir. Burada ise aslında beklenen değişim olmuş ve tozun karakterizasyonu tamamen bozulup amorf bir yapı meydana gelmiştir.
- Ürün üzerinde yapılan çalışmalardan bir diğeri ise altın kaplama işlemidir. Lazer sinterleme sonrasında ürünün yüzeyinde toz tanelerinden dolayı pürüzlü bir yüzey görülmektedir. Bu yüzey zımpara ve cila işleminden sonra giderilmekte ve yüzeyin üstündeki tozların birbirlerine tamamen düz bir satıh olarak gelmeleri sağlanmaktadır. Ardından elektroliz kaplama yöntemiyle altın ile kaplanan numune böylelikle ürünlerin kaplamaya da uygun olduğunu bizlere göstermektedir.



Şekil 9.9. Bronz yüzüğün oksitlenmiş ve altın kaplamalı görünümü

- Özellikle bronz ürünlerin kaplanması yüzeyde oluşan oksitlenmeyi engellediği gibi bazı firmalar ürettikleri mücevheri altın olarak ürettiğinde yaşayacağı maddi kaybı böylelikle en aza indirerek kaplamalı ürünlerle ana siparişi almaktadırlar.



Şekil 9.10. Lazer sinterleme yoluyla üretilmiş olan aynı şekildeki yüzüğün sinterlemeden sonra işlem görmemiş ve oksitlenmiş hali ile zımpara ve cilası yapıldıktan sonra altın kaplama ile kaplanmış hali

- Bu numunelere çekme, mukavemet v.b. testler uygulanmamıştır. Çünkü böyle bir yöntemle üretilecek olan ürünlerden tel üretilmesi ve o telin çekme işlemine tabi tutulması anlamsızdır. Ancak bu konuda şu söylenebilir ki tozların birbirine sinterlenmesinden kaynaklanan yoğunluk artışı bulunmaktadır. Bu sebeple yapılan ürünler bağ bakımından birbirine sıkı sıkıya bağlı bulunmakta ve mukavemet yönünden de oldukça iyidir.

- Bu yöntemin en büyük avantajı ise yüksek ergime sıcaklığına sahip olan metallerin örneğin platin ve titanyum gibi, sinterleme yoluyla doğrudan ürün olarak elde edilmesi ve dökümde yaşanacak olan sıkıntıların yaşanmamasıdır.
- Üretim yapılırken her zaman küçük parçaların değil büyük ve tek parça halinde diğer üretim yöntemleriyle yapılması zor olan ürünlerin üretimini sağlamıştır.



Şekil 9.11. Lazer sinterleme yolu ile üretilmiş üzerinde başka işlem görmemiş tek büyük bir bilezik örneği

- Aynı zamanda bilgisayar ortamında 3D çizim yapılırken yapılacak olan ürünün hafif olması istendiğinde o üründe dekoratif bir boşluk ya da içinin hafif olması için gereken işlemler yapılarak ürün ağırlık bakımından hafifleşebilir.



Şekil 9.12. Lazer sinterleme yolu ile üretilmiş zımpara ve cilası yapılmış bilezik örneği, Bilezik kolunun uç kısmında bırakılan boşluk sayesinde lazer sinterleme yapılırken oluşacak olan bilezik masif değil de için boş olarak gözükmemektedir. Böylelikle hafif bir bilezik elde edilmiştir.

Lazer sinterleme metoduyla üretilen takıların üretilme yöntemleri, analizler ve sonuçlar bu tezde tartışılmıştır. Bu veriler ışığında bilimsel gerçekliklerle tanımlanıp ıspatlanarak yapılmış olan çalışmaların sonucunda geleceğe dair bu yöntemin daha verimli kullanılması ve yapılması gerekenlerle ilgili öneriler de şu şekildedir;

- Lazer sinterleme ile mücevher üretimi günümüzde oldukça yeni kullanılan bir teknolojidir. Bu yöntem seramik malzemelere kolay ulaşım sağlandığından ve maliyet açısından uygun olduğundan dolayı dış teknolojisinde çok fazla kullanılmaktadır. Kuyumculuk sektöründe ise dünyada farklı metal alaşımları kullanılmasına rağmen Ülkemizde uygun karakterizasyondaki tozun bulunmasının zorluğu ve ithal edilmesinin güçlüğünden dolayı bu yöntemle üretim yaygınlaşmamıştır.
- Bu konuda yapılması gerekenler, tozun ithalindeki engelleri tayin edip kuyumculuk meslek örgütlerinin bu konuda yaptırımında bulunmaları sağlanmalıdır. Bu hem sektörün yenilenmesi, hem tasarımın gelişmesi hem de ülkeler arası rekabeti de arttıracaktır.
- Toz üretimi ile ilgili ülkemizde özellikle üniversiteler bünyesinde arge merkezleri kurularak bu yönde çalışmalar yapılması için teşvikler alınıp kullanılmalıdır.
- DMLS ile üretilecek olan ürünlerin bilgisini ve ürünlerin sektöre katkılarını bilimsel ve tasarım yönleriyle birlikte sektör mensuplarına anlatılmalı ve bu konudaki çalışmalar hızlandırılmalıdır.
- Teşvik veren kurum ve kuruluşlarla, hatta ilgili bakanlıklarla görüşülerek ülkemize yatırılacak olan bu yatırımlar sayesinde hem enerji, hem malzeme, tasarrufu yapılırken iş gücü ve ekonomide de gelişmeler sağlanabilir.
- Tozların lazer sinterleme yapılarak üretildiği tabla, tasarımların büyüklüğü ve gelişen makine ekipmanlarıyla büyüme göstermiştir.

- Bu tablaların çoklu üretimler ve özellikle büyük zincir üretimleri için daha da büyümesi üretim hızına katkıda bulunacaktır.
- İşlem yapılırken süpürülen tozların içerisinde sinterlenen tozlar da bulunabilmektedir bu tozlar süpürüldüğünde sinterlenen tozlar yeniden kullanılamayacağı için bunlar tekrar elenir ve geri dönüşüme gönderilir. Bu işlem için sonradan tekrar tekrar yapılmaktansa, makinenin içerisinde koyulacak olan bir elek sistemi sayesinde o aşamada işlem bitmiş olur ve kullanılacak toz tekrar sinterlenme alanına otomatik olarak aktarılabilir.



Şekil 9.13. Lazer sinterleme ile yapılmış içi boş ajurlu modelin tabladaki dizilimi

- Gelişen teknoloji sayesinde çift hatta daha fazla renkli ürün üretilebilmesi ile ilgili çalışmalar da yapılmalıdır. Böylelikle aynı ürün üzerinde birbirinden farklı renkte metaller birbirine sinterlenebilir. Bu sinterleme işleminde tozlar renk sırasına göre tablaya konulmalıdır.

Sırası gelen renkteki toz birikintisi yüzeyin üzerine püskürtülür ve sinterleme işlemi yapılır. Sinterlemenin ardından süpürge ile hangi renkte ise o rengin kutusuna geri kalan toz süpürülür böylelikle renkli ürünler bu şekilde de üretilebilir.



Şekil 9.14. Lazer sinterleme ile yapılmış içi boş ajurlu modelin bitmiş cilalı hali

KAYNAKLAR

- Gavas, M., Yaşar, M., Aydın M., Altunpak, Y., 2015. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri, Seçkin Yayıncılık, 615, İstanbul.
- Ersümer, A., 1970. Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 274, İstanbul.
- Kolektif, 2014. Kimyasal Tepkimeler, Tübitak Yayınları, 64, Ankara.
- Yazıcıoğlu O., Borat O., Demetgül M., 2014. İmalat Yöntemleri, Seçkin Yayıncılık, 320, İstanbul.
- Ball, P., 2015. Elementler. Çev. Öрге, N. Dost Kitapevi, 221, Ankara.
- German, R.M., 2007. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri. Çev. Türkiye Toz Metalurjisi Derneği. Türkiye Toz Metalurjisi Derneği, 574, Ankara.
- Vitiello, L., 1995. Modern Teknik ve Pratik Kuyumculuk. Çev. Bonacia, E. M.E.B. Yayınları, 526, Ankara.
- Cerit, A.A., 2014. Toz Metalurjisi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2016/03/toz-metalurjisi-afsin-alper-cerit.pdf>
- Dikicioğlu, A., 2016. Toz Metalurjisi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://akademi.itu.edu.tr/dikicioglu/Dersler/BuDonem>
- Eroğlu, Ş., 2007. Sinterleme Pratiği, Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://aves.istanbul.edu.tr/seref/dokumanlar>
- Karakuş, N., 2014. Toz Malzeme Teknolojisi – 9. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads>
- Toplan N., 2013. Toz Üretim Yöntemleri. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads>
- Toplan N., 2013. Pekiştirme ve Presleme Teknikleri. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads>
- Toplan N., 2013. Atomizasyon Yöntemiyle Toz Üretimi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads>

- Üstel, F., Toplan, N., Karakuş , N., 2014. Toz Malzeme Teknolojisi-1. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48939/27927/toz_malz_tek_1.pdf
- Yılmaz R., 2014. Toz Karakterizasyonu. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Toz Metalurjisinin Tarihi Gelişimi ve Uygulama Alanları. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Elektroliz Yöntemle Toz Üretimi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Mekanik Uygulamayla Toz Üretimi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Toz Şekillendirme Yöntemleri. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Dünyada ve Türkiyede Toz Metalurjisi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Atomizasyon Yöntemiyle Toz Üretimi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- Yılmaz R., 2014. Toz Karakterizasyonu. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://www.ryilmaz.sakarya.edu.tr/>
- ZEREN, M., 2014. Toz Metalurjisi. Erişim Tarihi: 23.06.2015.
<http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt423-03.pdf>
- Sintek, 1966. Erişim Tarihi: 23.06.2015. www.sintek.net/tr
- Sisma, 1961. Erişim Tarihi: 23.06.2015. www.sisma.com

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elanur GÜNER
Doğum Yeri ve Yılı : Malatya, 29/05/1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : elanurguner@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Aydın Lisesi, 1998
Ön Lisans : Mersin Üniversitesi, Uygulamalı Takı Teknolojisi Bölümü
Lisans : Mersin Üniversitesi, Takı Teknolojisi ve Tasarımı
Yüksek Lisans : İstanbul Aydın Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Yönetimi Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim

İstanbul Arel Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu
Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programı 2017-...

İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi Meslek Yüksekokulu
Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Bölümü Bölüm Başkanı 2015 -2017

Elanora Jewelry
Kişiyel Özel Mücevher Tasarımı ve Üretimi 2015 - ...

Akademi Atölye
Sanatsal Eğitim Merkezi Kurucu-Eğitmen 2013 -2015

İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi Güzel Sanatlar ve
Tasarım Fakültesi Takı Tasarımı Bölümü – Öğretim Görevlisi 2012 - 2015

Çeşitli alanlarda ve sektörlerde
Proje yazımı ve danışmanlık 2011 - ...

İstanbul Aydın Üniversitesi Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu
Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Program Başkanı 2006 - 2010

Muğla Ünv. Milas Sıtkı Koçman Meslek Yüksekokulu
Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programı Öğretim Görevlisi 2006 - 2006

Turkuaz Aurum Ltd. Şti.
Üretim – Tasarım 2001 - 2002

Yayınları

Güner, E., Selim, H. H., Şahin F., 2017. Minerallerin Mücevher Taşı Olarak Kuyumculukta Kullanımı. Uluslararası Katılımlı 70. Jeoloji Kurultayı, 10-14. Nisan 2017, Ankara

Şahin,F., Selim, H. H., Güçtekin, A., Taş, Ö., Güner, E., 2017. Şenkaya (Erzurum) Zümrütü Olarak Bilinen Yeşil Opalin Oluşumu ve Sektördeki Kullanımı. Uluslararası Katılımlı 70. Jeoloji Kurultayı, 10-14. Nisan 2017, Ankara

Şahin, F., Selim, H. H., Güner, E., 2017. Değerli ve Yarı Değerli Taşları İşleme Teknikleri. Uluslararası Katılımlı 70. Jeoloji Kurultayı, 10-14. Nisan 2017, Ankara

Tirik, E., Güner, E., Selim, H.H., Şahin, F., 2017. Mermerin Heykel Ve Obje Üretimindeki Sanatsal Süreci. Uluslararası Katılımlı 70. Jeoloji Kurultayı, 10-14. Nisan 2017, Ankara

Güner, E., Türe, M. A., 2016. Malatya Yöresi Kalkolitik Çağ Yerleşimleri Buluntusu Mühürlerin Arkeolojik ve Sosyolojik Önemleri. Geçmişten Günümüze Malatya Uluslararası Sempozyumu, 14-16 Nisan 2016, Malatya

Şahin, F., Selim, H. H., Güner, E., 2015. Characterization of Ankara Çubuk Agate (Saganite). 12th International Congress for Applied Mineralogy, 10- 12 Ağustos 2015, İstanbul

Güner, E., Selim, H. H., Şahin, F., 2015. Gemological Properties of Diaspor (Zultanite) Gemstone in Turkey. 12th International Congress for Applied Mineralogy, 10- 12 Ağustos 2015, İstanbul

Selim, H. H., Şahin, F., Güner, E., 2015. Characteristics of Fire Opal in Turkey. 12th International Congress for Applied Mineralogy, 10- 12 Ağustos 2015, İstanbul

Şahin, F., Selim, H. H., Örçen, S., Güner, E., 2015. Geçmişten Günümüze Değerli ve Yarı Değerli Mücevher Taşlarının Kabaşon ve Faset Kesim Teknikleri. Lidya 'Altın Ülke' Uluslararası Katılımlı Altın, Kuyumculuk ve Gemoloji Sempozyumu, 09-11 Ekim 2015, Manisa

Derin, B., Keskin, B., Güner E., 2015. Mücevherat Sektöründe Şekil Hafızalı Alaşımlar. Lidya 'Altın Ülke' Uluslararası Katılımlı Altın, Kuyumculuk ve Gemoloji Sempozyumu, 09-11 Ekim 2015, Manisa

Güner, E., Derin, B., 2015. Kuyumculuk Sektöründe Toz Metalurjisinin Gelişimi ve Katkıları. Lidya 'Altın Ülke' Uluslararası Katılımlı Altın, Kuyumculuk ve Gemoloji Sempozyumu, 09-11 Ekim 2015, Manisa

Çizmecioğlu, Z., Güner, E., 2015. Mücevherat Sektörü Ramatlarının Yüksek Verimlilikte Çevreci Yeni Yöntemle Değerlendirilmesi. Lidya 'Altın Ülke' Uluslararası Katılımlı Altın, Kuyumculuk ve Gemoloji Sempozyumu, 09-11 Ekim 2015, Manisa

Güner, E., Selim, H. H., Örçen, S., Şahin, F., 2015. Batı Anadolu'da Yer Alan Yarı Değerli Mücevher Taşları. Lidya 'Altın Ülke' Uluslararası Katılımlı Altın, Kuyumculuk ve Gemoloji Sempozyumu, 09-11 Ekim 2015, Manisa

Türe, M. A., Güner, E., 2017. Eski Çağlar'dan Günümüze Diademler. Geçmişten Günümüze Kuyumculuk Sempozyumu, 10 -13 Mayıs 2017, Isparta

Güner, E., Türe, M. A., Tirik, E., 2017. Damga Mühürler ve Mühür Baskılarının Mülkiyet, Yetki Simgeleri ve Takı-Muska Olarak Kullanılması. Geçmişten Günümüze Kuyumculuk Sempozyumu, 10 -13 Mayıs 2017, Isparta

Güner, E., 2017. Toz Metalurjisinin Mücevher Sektöründe Yapılan Tasarımlara Alternatif Katkıları. Geçmişten Günümüze Kuyumculuk Sempozyumu, 10 -13 Mayıs 2017, Isparta

Güner, E., Çizmecioğlu, Z., Şahin F., 2017. Mücevherat Sektörü Ramatlarının Çevreci Yöntemle Geri Kazanımı. Geçmişten Günümüze Kuyumculuk Sempozyumu, 10 -13 Mayıs 2017, Isparta

Güner, E., Selim, H.H., Şahin F., 2015. Türkiye Çıkarılan Mücevher Taşlarının Kuyumculukta Kullanımı. Değerli ve Yarı Değerli Taş Çalıştayı, 09-10 Aralık 2015, İstanbul

Şahin F., Selim, H.H., Güner, E., 2015. Değerli ve Yarı Değerli Mücevher Taşlarında Uygulanan Kesim ve İşleme Teknikleri. Değerli ve Yarı Değerli Taş Çalıştayı, 09-10 Aralık 2015, İstanbul

Güner, E., Babalık, H., Dikenel, M., Merdin K., 2015. Kuyumcukent Eğitim Çalıştayı, Kuyumculuk Ders Kitapları Hazırlanması. 22 Aralık 2015, İstanbul

