

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOZ METALURJİSİ VE UYGULAMALARI

MEDİHA SÖYLER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOZ METALURJİSİ VE UYGULAMALARI

MEDİHA SÖYLER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. FEHMİ ERZİNCANLI

GEBZE

2007



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11/06/2007 tarih ve 2007/20 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/10/2007 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mediha SÖYLER' in tez çalışması Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI
(TEZ DANIŞMANI)

ÜYE : Doç. Dr. Metin USTA

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve/.....sayılı kararı.

TEZİN BAŞLIĞI: TOZ METALURJİSİ VE UYGULAMALARI

YAZAR : MEDİHA SÖYLER

ÖZET

Bu çalışma temelde 4 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde genel olarak toz metalurjisine değinilmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen parçaların özellikleri, toz metalurjisi yönteminin kısaca nasıl uygulandığı, işlem basamakları ve genel olarak hangi sektörlerde malzeme üretiminde kullanıldığı yer almaktadır. İkinci bölümde toz metalurjisinin genel tanımı, doğuşu, eski dönemlerden günümüze kadar uzanan gelişim süreci ve bu süreç ile birlikte insanoğlunun ihtiyaçlarını ne şekilde karşıladığına yer verilmiştir. Bunun yanı sıra toz partiküllerin boyutları ve şekilleri, temel olarak toz üretim tekniklerinden kimyasal, elektrolitik, mekanik ve atomizasyon yönteminden bahsedilmiştir. Diğer yöntemlere nazaran toz üretiminde ağırlık verilen atomizasyon yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Çeşitli metallerin hangi toz üretim yöntemiyle üretildiği bu bölümde anlatılmıştır. Ayrıca toz metalurjisinin avantajları ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde toz metalurjisinin en yaygın uygulama alanlarına yer verilmiştir. Çalışmada yer alan son bölüm ise toz metalurjisi deneysel uygulamalardır. Bu bölümde ise yedi adet numune ele alınmıştır. Bu numuneler farklı sinterleme sıcaklığı ve sinterleme sürelerine bağlı olarak sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi sonucunda, yoğunluk değerleri, sertlik değerleri ve yüzey analizleri incelenmiştir. Bununla birlikte deneysel uygulama olarak sonuç ve öneriler kısmında deney çalışmasını zenginleştirecek öneriler sunulmuştur.

TEZİN BAŞLIĞI: POWDER METALLURGY AND APPLICATIONS

YAZAR : MEDİHA SÖYLER

SUMMARY

This study is basically composed of four parts. In the first part, generally, powder metallurgy is mentioned. This part; includes the masses' properties that are manufactured by powder metallurgy, how powder metallurgy is carried out in shorthand, its process steps and in which industries it is used in manufacturing of supplies. The second part; includes the common description of powder metallurgy, its birth, development process which comes up from the past to the present and how it supplies humanbeings' needs within this period. Beside, these particle size and shape of powders and some powder manufacturing methods which are chemical, electrolytic, mechanic and atomization are mentioned in this part. Comparing to the other methods, atomization which is focused on powder manufacturing is mentioned thoroughly. The methods of various metals' manufacturing is also mentioned in this part too. In the third part, most common application fields of powder metallurgy are related. In the last part of this study, seven examples are handled. These examples are sintered under different sintering temperature and time conditions. As a result of sintering, density values, hardness values and surface analysis of examples are researched. Nonetheless, suggestions that enrich experimental studying are presented in the "result and suggestion" part.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında her konuda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen tez danışmanım, Sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Metin USTA' ya ve labaratuvar çalışmalarımda her türlü olanak ve desteklerini esirgemeyen Sayın Adem ŞEN ve Ömer Faruk DENİZ' e teşekkürlerimi sunarım

Deney malzemesi için yardımlarını esirgemeyen Toz Metal A.Ş. firmasına ve Aytaç ATAŞ' a, tez çalışmalarımın her aşamasında manevi olarak desteklerinden ötürü sevgili arkadaşlarım Cihan ÖZTÜRK ve Diğdem AKTAŞ'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. TOZ METALURJİSİ	3
2.1. Tanımı	3
2.2. Toz Metalurjisinin Tarihçesi	6
2.3. Metal Tozlarının Üretim Yöntemleri	8
2.3.1. Kimyasal Yöntemler	11
2.3.2. Elektrilitik yöntemler	12
2.3.3. Mekanik yöntemler	13
2.3.4. Atomizasyon	15
1. Ticari Yöntemler	16
1.1.Su Atomizasyonu	16
1.2.Gaz Atomizasyonu	19
1.3.Yağ Atomizasyonu	21
1.4.Vakum Atomizasyonu	21
1.5.Döner Elektrod Atomizasyonu	23
2. Yan Ticari Yöntemler	24
2.1.Ultrasonik Gaz Atomizasyonu	24
2.2.Döner Disk Atomizasyonu	25
2.3.Silindir Atomizasyonu	26
2.4.Santrifij Yöntemi	27
2.5.Titreşim Elektrod Yöntemi	27

2.4. T/M Yöntemi İle Parça Üretim Süreci	28
1. Tozların Karıştırılması	29
2. Karışımın Preslenmesi	31
3. Sinterleme	37
4. İkincil İşlemler	41
2.5. T/M Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları	41
3. TOZ METALURJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI	43
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	51
4.1. Giriş	51
4.2. Numunelerin İncelenmesi	51
4.3. Deneysel Sonuçlar	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
6. KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. T/M parçaların pazar payları.	4
2.2. Bir araba içindeki T/M parçaları dağılımı	5
2.3. Bakır ve demir esaslı T/M parçalar.	5
2.4. Partikül boyutu ve metal toz uygulaması arasındaki İlişki (Lawley, 1992).	9
2.5. Toz Şekilleri.	10
2.6. Elektrolitik çökelme (German, 2005)	13
2.7.. Mekanik öğütme (German, 2005)	14
2.8.. Su Atomizasyonu.(mpif.org/apmi/doc4.htm, Şubat 2007)	17
2.9. Su atomizasyonu nozul düzeneği.	18
2.10. Su atomizasyonu ile elde edilen bakır tozunun elektron mikrograf görüntüsü.	19
2.11. Dikey Gaz Atomizasyonu (mpif.org/apmi/doc4.htm, Şubat 2007)	20
2.12. Gaz atomizasyonu nozul düzeneği.	20
2.13. Nitrojen gazı kullanılarak atomize edilen toz. (a) T15 yüksek hız çeliği, (b)Yüksek karbon çeliği (Fe-1.9 w/o C-1.2 w/o Ni- 1.2 w/o Cr) SEM.	21
2.14. Vakum Atomizasyonu	22
2.15. Vakum atomizasyonu ile elde edilen Nikel süperalaşım toz.(SEM)	23
2.16. Döner elektrod atomizasyon yöntemi.	23
2.17. Döner elektrod ile elde edilen tozlar. (a) Ti-6Al-4V, (b) Rene 95. (SEM)	24
2.18. Ultrasonik gaz atomizasyonu işlemi.	24
2.19. Ultrasonik gaz atomizasyonu ile elde edilen 1020 Çelik toz. (SEM)	25
2.20. Döner disk atomizasyon işlemi.	25
2.21. Döner disk atomizasyonu ile elde edilen tozun şekli.	26
2.22. Silindir atomizasyon düzeneği.	26
2.23. Santrifüj yöntemi.	27
2.24. Titreşim elektrod yöntemi.	28
2.25. Toz metalurjisi işlem basamakları	28

2.26. İki konili karıştırıcı.	29
2.27. Yağlayıcı miktarının, parçayı kalıp içerisinde çıkarmak için gerekli olan sıyırma basıncına etkisi.(Aydın, 1997)	30
2.28. Basınç değişiminin etkisi.	31
2.29. T/M ürünlerinde, çekme mukavemetinin % teorik yoğunlukla değişimi. (Onur, 1996)	31
2.30. Presleme işlem basamakları	32
2.31. Kalıp ve diğer elemanlar.	33
2.32. Tek yönlü Presleme basamakları.(1)Besleme ayağının kalıba yaklaşması, (2)Besleme, (3) Presleme,(4) Karışımın tamamen sıkıştırılması,(5)Parçanın kalıptan çıkarılması, (6) Yeniden besleme	34
2.33. İzostatik sıkıştırma	35
2.34. Presleme basıncının artışı ve taneciklerin kalıp içindeki durumu.	36
2.35. Toz taneciklerin birleşmesi.	37
2.36. Sinterleme süreci.	38
2.37. Ni tozların 1100 °C de sinterlenmesi.	38
2.38. 1400 °C de 2 saat sinterlenen seramik malzemenin yüzey bağlantısı.	39
2.39. Sinterleme sırasında metalurjik bağların oluşumu ve gözeneklerin değişimi.(Boz, 2003)	40
3.1. Kendinden yağlamalı burçlar.	43
3.2. Elektrik kontakları	44
3.3. Kesici uçlar.	45
3.4. Metalik filtreler.	46
3.5. Fren balataları.	47
3.6. Dişliler.	47
3.7. Mermi kovanları.	48
3.8. Biyopsi aletleri.	49
4.1. Numunelerin sinterleme sıcaklık ve süreleri.	52
4.2. I no' lu numunenin yüzey kesiti.	53
4.3. I no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	53
4.4. II no' lu numunenin yüzey kesiti.	54
4.5. II no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	55
4.6. III no' lu numunenin yüzey kesiti.	56

4.7. III no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	56
4.8. IV no' lu numunenin yüzey kesiti.	57
4.9. IV no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	58
4.10. V no' lu numunenin yüzey kesiti.	59
4.11. V no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	59
4.12. VI no' lu numunenin yüzey kesiti.	60
4.13. VI no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	61
4.14. VII no' lu numunenin yüzey kesiti.	62
4.15. VII no' lu numunenin dik yüzey kesiti.	62
4.16. Numunelerin yüzey kesit sertlik değerleri.	63
4.17. Numunelerin dik yüzey sertlik değerleri.	63

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
2.1. Toz Metalurjisinin İlk Uygulamaları	7
2.2. Toz metalurjisinde materyal ve işlem aşamaları	8
2.3. Bazı materyallerin toz üretim yöntemi. (German, 2005)	15
2.4. Bazı metaller ve Presleme Basınçları	32
2.5. Bazı metallerin sinterleme sıcaklıkları ve zamanı.	40
3.1. Bazı metaller ve uygulama alanları.	49
4.1. Numunelerin Hazırlanma Koşulları.	51

1. GİRİŞ

Modern bir imalat yöntemi olan ve eski sümerlerin alet ve silah yapımında kullandıkları [Aydın, 1997] “Toz Metalurjisi”; ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine çok uygun ve küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlayan önemli bir teknolojidir. Toz metalurjisi (T/M), metal ve metal alaşımlardan, kimyasal ve fiziksel yöntemlerle elde edilen tozların önce preslenmesi ve daha sonra malzeme yapısında toz tanecikler arasında kuvvetli bağ oluşturmak amacıyla sinterlenmesi işlemleridir. Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok azdır, belirli derece porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. Bu yüzden kullanım alanları çok geniştir. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıt bağlanması basamaklarını içerir. Öncelikle metal toz ve yağlayıcı karışımı kalıba doldurularak preslenir. Karışımın yağlayıcı kullanılmasının en önemli nedeni; preslenen toz taneciklerin yüzeyleri ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak malzemeyi kalıptan kolay bir şekilde çıkarmaktır. Yağlayıcılar sinterleme sırasında malzemeden yanarak çıkmaktadır. Çok küçük miktarda ilave edilmeleri yeterli olmaktadır [Demir, 1992]. Preslenen malzeme daha sonra sinterlenmektedir. Sinterleme preslenmiş kompaktlardaki toz taneciklerin birleştirilmesi işlemidir. Sinterleme, istenilen yoğunluğun ve fiziksel dayanımın elde edilmesi için önemli bir aşamadır. Çünkü T/M ile elde edilen parçanın dayanımı yoğunluğuyla doğrudan ilgilidir. Toz metalurji prosesleri kullanılarak üretilen tüm parçalarda % 100 teorik yoğunluklara erişilmek istenmektedir [Kayış, 2005].

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen parçalar üretildikten sonra hemen kullanılabilecekleri gibi, eğer istenirse kaplama ve yüzey sertleştirme gibi ikincil işlemlere de tabi tutulabilir. Döküm veya klasik üretim metodlarıyla elde edilmesi mümkün olmayan parçaların yapımı toz metalurjisi yöntemiyle gerçekleştirilebilmektedir. Otomotiv başta olmak üzere elektrik ve elektronik, tıbbi teçhizat gibi bir çok alanda parça üretimini mümkün kılmaktadır. Otomotiv alanında, fren balataları, araba kapı kilitleri, motor starterleri gibi bir çok parçanın yapımında kullanılmaktadır.

Günümüzde toz metalurjisiyle parça üretiminin tercih edilmesi maliyet açısından bakıldığında gelişen teknolojinin yenilikleriyle birlikte en önemli üstün özelliklerinden biri olacaktır.

Bu alışma temel olarak 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde kısaca toz metalurjisinin üretim özellikleri, yüzeysel olarak işlemler basamakları ve hangi sanayide kullanıldığı yer almaktadır. İkinci bölümde ise toz metalurjisi tanımı, geçmişten günümüze gelen uygulama ve gelişimi, toz üretim teknikleri ve detaylı olarak atomizasyon teknikleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde toz metalurjisi yöntemi ile üretilen, yaygın kullanılan malzemelere yer verilmiştir. Bir sonraki bölüm ise deney uygulamaları bölümüdür. Bu bölümde ise dört adet aynı toz malzemeden preslenen numunelerin değişik sinterleme sıcaklıkları ve zamana bağlı olarak sertlik değerleri ve yüzey analizleri incelenerek somut veriler ele alınmıştır. Son bölümümüz ise sonuç ve öneriler kısmıdır. Bu bölümde ise genel olarak neden böyle bir çalışma yapıldığı, nelerin hedeflendiğı, nelerin eksik kadığı ve neler yapılabileceğı hakkında bilgiler verilmiştir.

2. TOZ METALURJİSİ

2.1. Tanımı

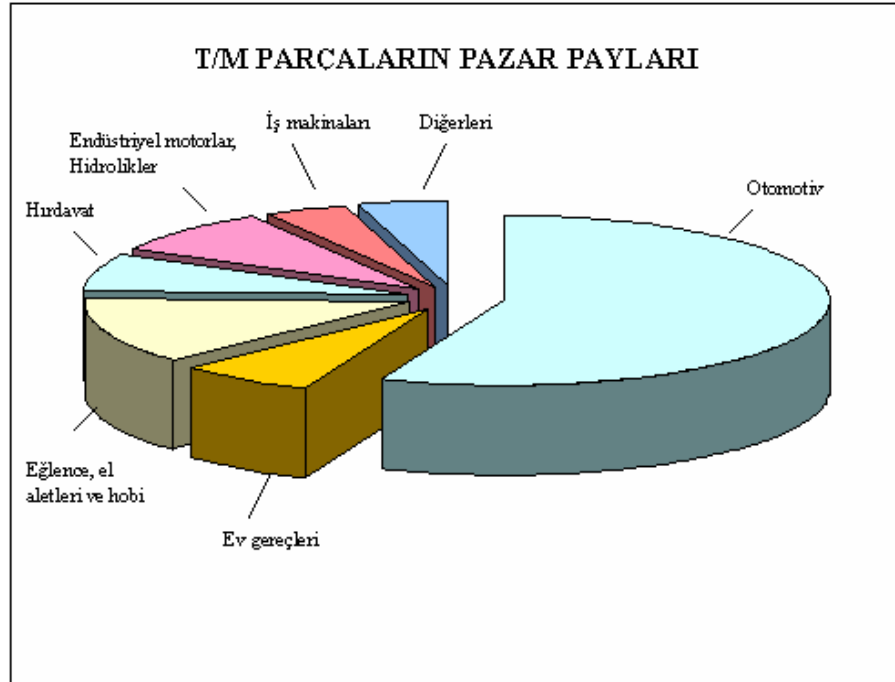
Toz metalurjisi (T/M), mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımlarını toz haline getirmek ve tozları ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir [Hiçyılmaz, 1999]. Bu yöntemde toz halindeki saf metaller, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırıldıktan sonra basınç altında preslenir. Daha sonra partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturmak ve istenilen özellikleri sağlamak amacıyla, "sinterleme" olarak bilinen, kullanılan metal tozlarının ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılan bir işleme tabi tutulur [Yavuz ve Güner, 2002]. Eğer toz karışım halindeyse, karışımdaki en yüksek ergime noktasına sahip tozun ergime sıcaklığının altında yapılıır [Anık ve diğ., 1999].

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilmesi, toz metalurjisininin kullanımını etkili kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının önce preslenmesi ve daha sonra taneciklerin sinterleme yoluyla birleştirilerek sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülmesidir. T/M düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullandığı için, sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Toz metalurjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların imalatına oldukça uygundur. Mazleme kaybı yok denecek kadar azdır. Bu yöntemde malzeme kayıpları yoktur ve elde edilen toleranslar isteğe uygun olmakla birlikte düzgün yüzeyler elde edilmektedir [Yavuz ve Güner, 2002]. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin yerini almaktadır.

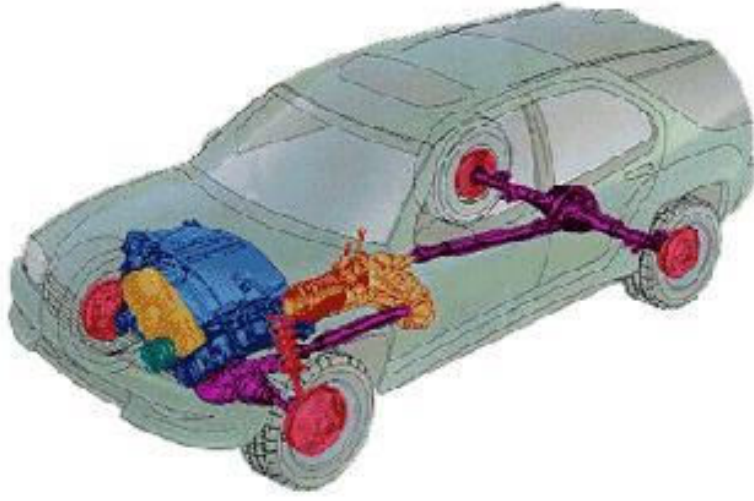
T/M'nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, yağlamasız yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makinaları parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motor parçaları metal tozlarından üretilen parçalara

örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, zenginleştirilmiş un, patlayıcılar, kaynak elektrodları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır. Bununla birlikte uçak endüstrisi, ileri teknoloji kompozitleri, elektronik parçalar, magnetik malzemeler ve taşlaşı imalatı kullanılan kesici takımların üretiminde hızlı bir büyüme göstermiştir [Yavuz ve Güner, 2002].

T/M parçaların dünya genelindeki pazar payı aşağıdaki Şekil 2.1.'de verilmiştir. Bu pazarın %75'i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar ise 5 kg T/M parçaya sahip olduğu halde, Amerikan arabaları 16 kg'dan daha fazla T/M parça içermektedir. [<http://turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, Ekim 2006]



Şekil 2.1. T/M parçaların pazar payları.



Şekil 2.2. Bir araba içindeki T/M parçaları dağılımı



Şekil.2.3. Bakır ve demir esaslı T/M parçalar.

2.2. Toz Metalurjisinin Tarihçesi

T/M bilinen en eski metal şekillendirme yöntemidir. Kökü, eski Sümerler'in toz üretim tekniklerini alet ve silah yapımında kullandıkları 4000 yıl öncesine dayanır. Refrakter metallerin elde edilmesinin tek yolu olan T/M yöntemiyle platin uzun yıllardan beri üretilmektedir. İlk insanlar doğada saf haliyle bulunduğu metalleri ergitemediğinden onları çekiçe döverek birleştirmeyi gerçekleştirmişlerdir. İnkalar doğal olarak meydana gelen platin, altın ve gümüş tanelerini kullanarak platin maddelerini hazırlamışlardır. Hatta 18. yüzyıl sonlarına kadar platin İnkaların kullandığı teknikle tanelerden üretildi [Aydın, 1997].

T/M en az 5000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Demir ve demir olmayan alaşımları eritilmesi ve maden cevherinin işlenmesinin keşfinden daha önceki uygarlıklar tarafından geliştirilen teknolojiye benzerlik gösterir. El aletleri, silahlar ve süs eşyalarında gibi yeni materyaller için kullanılmaktaydı. Sonraları bu teknoloji, Orta ve Kuzey Avrupa ve Doğu Akdeniz ülkelerine, Hindistan ve Asya'nın doğusuna yayıldı. 18. yy boyunca demir ve bakır gibi erimiş metal rafinesi ve maden cevherinin eritilmesindeki gelişim, Avrupa ve Asya'da ergitme olmayan metal üretiminin önemini büyük ölçüde azaltmıştır. 1750 ve 1825 yılları arasında, yumuşak platin ihtiyacının ortaya çıkmasıyla endüstriyel T/M' ye ihtiyaç doğdu. T/M teknolojisinde ilk olarak karışık şekilli parçaların üretilmesi ve sinterlenmesi 19. yüzyılda olmuştur. 1830 yılında, T/M' de paranın preslenme ve sinterlenmesi için bir uygulama geliştiren Osann ile birlikte tarihi bir gelişim yaşamıştır. Osann daha sonraki çalışmalarında ise gümüş, kurşun ve bakırı kullanmıştır. 1870 yılında, Gwynn, metal tozları kullanarak yataklama elemanlarının geliştirilmesini denedi. Günümüzde bu elemanlar kendinden yağlamalı yataklar olarak adlandırılmaktadırlar.

Toz metalurjisindeki ilk ticari gelişme, elektrik ampüllerinde kullanılan filamentlerin üretimidir. 1910 yılında Coolidge, preslenen Tungsten tozunu yüksek sıcaklıkta sinterledikten sonra tokluğunu arttırmış ve tel şekline getirilen bu materyalin daha düşük sıcaklıklarda çalışmasını sağlamıştır. Bu uygulama günümüzde hala kullanılmaktadır. Bir başka yenilik de 1920 yılında, kendinden yağlamalı gözenekli bronz yataklarının bulunmasıdır. 1920 ve 1930' lu yıllarda

Tungsten gibi ağır metal alaşımlarının üretiminde likit faz sinterleme uygulaması kullanılmış ve geliştirilmiştir.

1940 ve 1950 yıllarında, bakır tozları ve kendinden yağlamalı yataklar, en temel T/M ürünü olarak modern T/M' nin doğuşunda yerlerini almışlardır. II. Dünya Savaşı' nın başlangıcında, otomotiv endüstrisinin büyümesiyle birlikte demir tozu teknolojisi ticari yaşamda ilerleme sağlamış ve hızla T/M endüstrisinde dünya çapında bir güç haline gelmiştir. 1950 ve 1960' lı yıllarda, T/M ürünleri üzerinde yapılan yoğun çalışmalar sonucu; düşük maliyetli ve teknik yaşamını destekleyen toz birleştirme teknikleri ortaya çıkmıştır. Bunlardan başlıcaları: sıcak izostatik presleme, toz dövme, toz ekstrüzyon ve toz haddelemedir. 1970' li yıllarda, düşük alaşım çelikler, takım çelikleri ve süper alaşımların oluşumuyla yüksek performanslı malzemeler T/M' de yerlerinin almışlardır. T/M malzemelerin düşük maliyet ve uzun işlem ömrü gibi üstün özelliklere sahip olması nedeniyle yeni bir pazar oluşmaya başladı.

1980' li yıllarda, bir çok yeni ve önemli toz üretim teknikleri tanımlanmıştır. Bu teknikler günümüzde de varlıklarını sürdürmektedir. Bunlar; hızlı soğutma işlemleri, mekanik alaşımlama, sprey şekillendirme ve toz enjeksiyon kalıplama teknikleridir. Tablo 2.1' de T/M'nin ilk uygulamaları, Tablo 2.2.'de ise T/M materyal ve işlemleri aşama aşama verilmiştir [Lawley, 1992].

Tablo 2.1. Toz Metalurjisinin İlk Uygulamaları		
Demir Aletler	Mısır	M.Ö. 3000
Demir Sütunlar	Hindistan	M.S. 400
Kılıçlar	Arabistan	M.S.1000
Değerli Metal Eşyalar	Güney Amerika	M.S. 1200 - 1500
Bakır Para	Almanya	1840
Platinyum Külçesi	İngiltere ve Rusya	1834

[Lawley, 1992]

Tablo 2.2. Toz metalurjisinde materyal ve işlem aşamaları

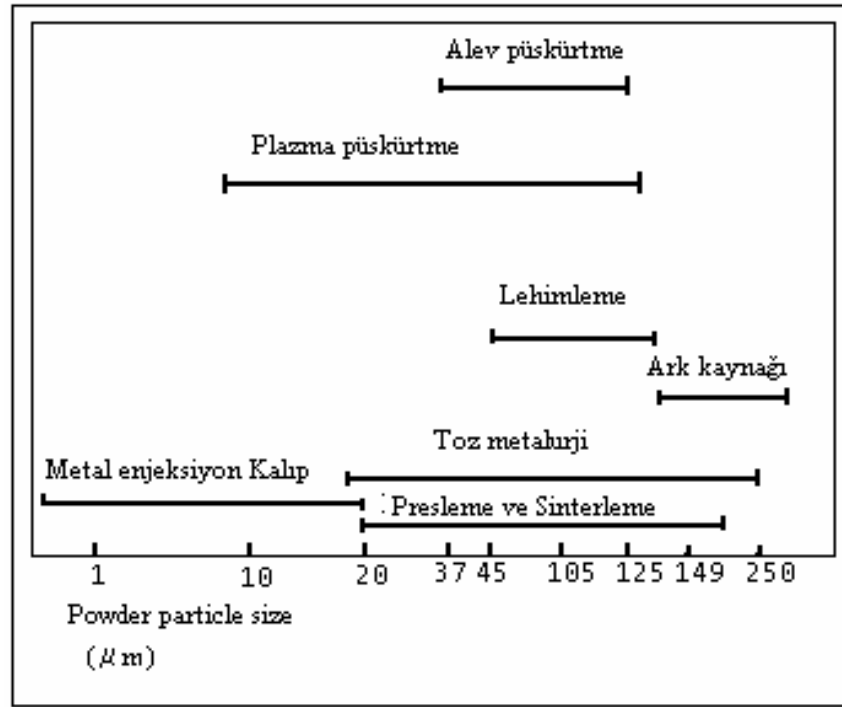
Tungsten Filamentler	1910
Kompozit Metaller	1900
Poruz Metaller ve Metal Filtreler	1900
Sementit Karbürler	1915 - 1930
Kendiinden Yağlamalı Yataklar	1920
Sürtünme Elemanları	1920
Elektrik Kontak Elemanları	1920
Preslenmiş ve Sinterlenmiş Ferrus T/M	1940
Ferrus ve non-ferrus T/M	1960
Takım Çelikleri ve Süperalaşımlar	1960 -1970
Sıcak Presleme	1960 - 1970
Sprey Şekillendirme	1970 - 1980
Toz Enjeksiyon Kalıplama	1980

[Lawley, 1992]

2.3. Metal Tozlarının Üretim Yöntemleri

Çoğu materyaller toz haline getirilebilir. T/M’ de kullanılan metal tozları 200 µm’ den küçüktür ve gelişen teknolojiyle birlikte her geçen yıl daha da küçülmektedir [<http://aselsan.com.tr>, Ekim 2006]. Toz üretim yöntemiyle, üretilen tozun boyutu, şekli, mikroyapısı ve kimyasal özellikleri arasında daima bir ilişki vardır. Belirli özellikteki tozların üretiminde farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. T/M imal teknikleri ve metal tozları imalat teknolojisi arasında kuvvetli bir bağ vardır. Kullanılan yöntemler üretilen tozun fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Bu bakımdan planlanan parça üretimine göre uygun toz seçimi yapılmalıdır [Onur, 1996].

Tozun boyutu, şekli ve yüzey morfolojisi; kullanılan metal ve alaşımın üretiminde hangi parametrelerin kontrol edildiğini yansıtır. Boyut; toz metalurjisinde son kullanım için belirlenen önemli bir özelliktir. Şekil 2.4.’ de bazı T/M uygulamalarıyla metal toz boyutu ilişkilendirilmiştir [Lawley, 1992]



Şekil 2.4. Partikül boyutu ve metal toz uygulaması arasındaki ilişki
[Lawley,1992].

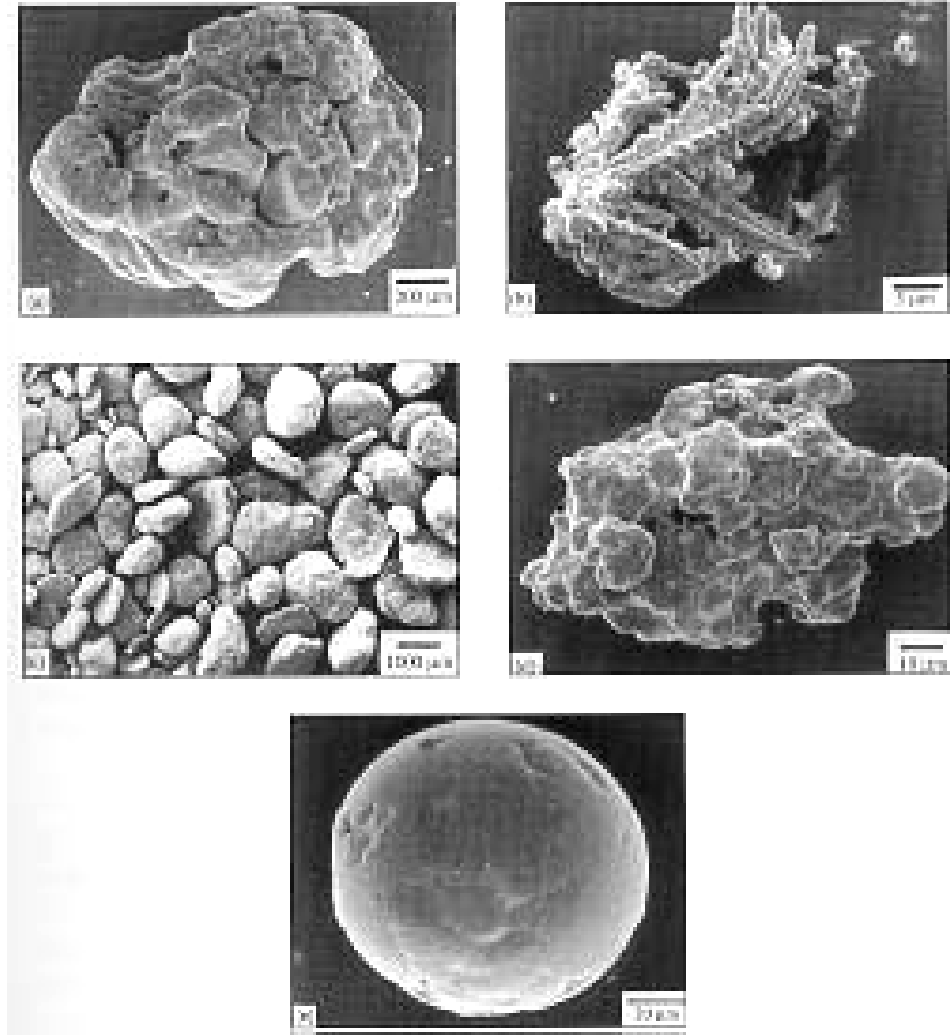
Günümüzde üretilen çoğu metal tozlarının boyutu 10 ~ 500 μm arasındadır. T/M işlemlerinde gerek akışkanlık gerekse sıkıştırılabilirlik yönünden kullanılan tozun boyutu ve şekli çok önemlidir.

Toz üretim yöntemleri başlıca 4 gruba ayrılır:

- 1- Kimyasal Yöntemler
- 2- Elektrolitik Yöntemler
- 3- Mekanik Yöntemler
- 4- Atomizasyon.

Geçmişte toz üretiminde kullanılan en yaygın yöntemler mekanik, kimyasal ve elektrolitik yöntemlerdi [Lawley, 1992] Günümüzde ise endüstride kullanılan tozların % 60' dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir [http://turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm, Ekim 2006]. Örneğin; küresel toz ihtiyacı için

gaz atomizasyonu, düzensiz şekilde toz ihtiyacı için su atomizasyonu ve elde edilecek tozların oksitsiz istenmesi halinde ise inert gaz veya yağ atomizasyonu tercih edilir. Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi, elde edilen tozun şekli, kullanılan her yöntem için farklıdır. Tozların şekilleride sıkıştırılabilirliğini etkiler [Onur, 1996].



Şekil 2.5. Toz Şekilleri.

2.3.1. Kimyasal Yöntemler

Genelde tüm metal tozlar kimyasal tekniklerle üretilebilir. Kimyasal yöntemlerle sentezlemede, katı, sıvı veya buhar tepkimeleri ile toz üretimi gerçekleştirilebilir. Bu sentezleme yöntemlerini:

- a) Gaz altında katının ayrışması
- b) Termal ayrışma
- c) Sıvıdan çöktürme
- d) Gazdan çöktürme

olmak üzere dörde ayırmak mümkündür.

- a) Gaz altında katının ayrışması

Metal toz üretiminin en klasik şekli metal oksitleri indirgeyici gaz ortamında indirgeyerek ayrıştırmaktır. Bu yöntemle saf metal oksit tozları gerek karbonmonoksit gerekse de hidrojen gazı ile tepkimeye sokularak yüksek sıcaklıklarda metal oksit indirgenmesi gerçekleşir.

- b) Termal ayrışma

Buhar fazında ayrışma ve yoğunlaşma süreçlerinin birleşimiyle metal tozlarını üretmek mümkündür. Prosesin termal ayrışması için gereken yüksek enerji gereksinimi ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel tehlikelerden ve çok pahalı bir yöntem olmasından dolayı tam olarak benimsenmemiştir.

- c) Sıvı fazdan çöktürme

Sıvı çözeltide nitrat, klorür ve sülfatlar olarak bulunan metalik tuzlar, metalik çözelti veya çökelti oluşturan metali üretmek için işleme tabi tutulurlar. Çökeltilen yada çökelti fazı haline getirilen metalik tuzlar, toz üretimi için uygun kaynak teşkil ederler. Tuz suda eritilir. İkinci bileşik yardımıyla çökeltilir. Açma ve Sönmez (2000) çalışmalarında; demir tozu üretimi için atık pickling banyosu tuzlarından götit çöktürme yöntemi kullanmışlardır. Suda çözömlendirilen demir vitriol tuzu (53gl^{-1}

Fe²⁺) pH, 2,5-3 değerlerinde H₂O₂ ile oksidasyon ve sudkostik (NaOH) ile sürekli nötralizasyon ile çöktürme işlemine tabi tutulmuştur. Sıvı fazdan keltiliyle gerçekleştirilen toz üretim teknikleri özellikle kompozit tozların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

d) Gazdan ktrme

Gaz bileşiklerinin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallere nano ölçekli partiküllerden tozlar üretilir. Gaz esaslı tepkimelerin en büyük avantajı; tepkime sırasında toz üretiminde ergitmenin ortadan kalkması sonucu potanın kirlenmemesi ve yeniden kullanılabilir olmasıdır [Turan, 2002].

Genel olarak kimyasal yöntemlerin avantajları şöyle sıralanabilir :

- Metal oksitler kolaylıkla bulunabilir.
- Gözenekli porlar elde edilebilir
- Metal ve oksitlerin boyut kontrolü yapılabilir.

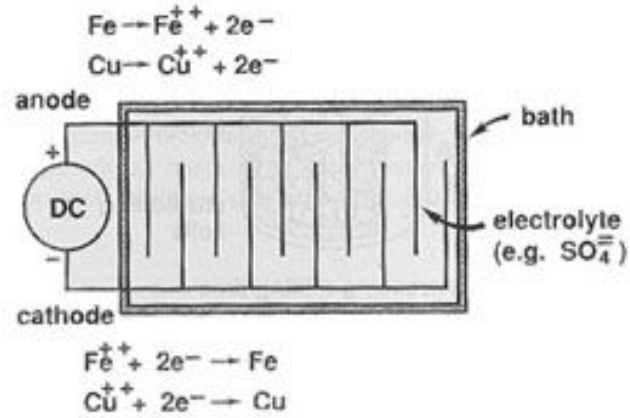
Dezavantajları ise şöyle sıralanabilir :

- Metal oksit saflığının toz saflığını etkilemesi
- Alaşım tozların üretilmesinin mümkün olmayışı [Kayış, 2005]
-

2.3.2. Elektrolitik Yöntemler

Genellikle iyi preslenebilen ve sinterlenebilen yüksek saflıktaki metal tozlarının üretiminde bu metod kullanılır [Pavlovic, et al., 2001]. Bu yöntemle elde edilen tozlar % 99.99 ve üzerinde saflıktadır [German, 2005]. Bu yöntemde tozu elde edilecek malzeme anot olarak, elektrolitik banyo içerisine yerleştirilir. Gerilim uygulandığında anot elektrolitik banyo içerisinde çözünür ve katot üzerinde toplanır. Daha sonra katot alınır ve temizlenir. Katot zerindeki tozlar sıyrılarak alınır. ğtlerek ince toz haline getirilir. Tozlar indirgeyici bir atmosfer altında tavlanarak oksitten arındırılır ve bu işlem sayesinde tanelerin daha iyi sıkıştırılabilmesi sağlanmış olur. Elektrolitik

yöntemle elde edilen toz, dentritik, süngerimsi (Pavlovic and Popov, 2005) ve gözenekli bir yapıdadır [Hiçyılmaz, 1999]. Tozun spesifik özellikleri, elektrolit kompozisyonunu, elektrolit sıcaklığı, elektrolit sirkülasyon hızı, akım yoğunluğu, anot ve katotun boyutu ve şekli, elektrod aralığı ve tozun uzaklaştırma hızı gibi etkenlere bağlıdır. Pavlovic et al. çalışmalarında zaman dışındaki tüm parametreleri sabit tutarak iki farklı bakır tozu elde etmişlerdir. 1. grup deneyler zaman 15 dakika ve elde edilen tozun yoğunluğu 3600 A/m², 2. grup deneylerde yine aynı şartlarda zaman 1.5 saat ve elde edilen tozun yoğunluğu 1800 A/m²' dir [Pavlovic, et al.,2001)]. Genellikle banyo sıcaklığı 60 °C civarındadır [Aydın, 1997]. Bu yöntemle en çok bakır tozu üretilir. Demir, nikel, kobalt ve benzeri bir çok metal tozları bu yöntemle üretilmektedir [Hiçyılmaz, 1999].

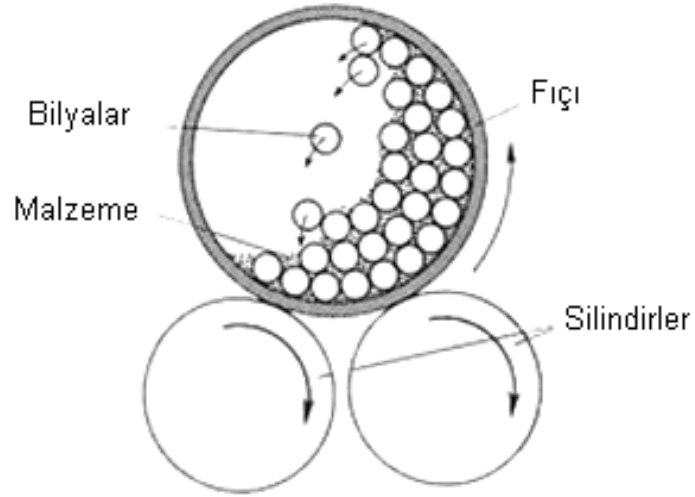


Şekil 2.6. Elektrolitik çökeltme [German, 2005].

2.3.3. Mekanik Yöntemler

Kırılgan ve gevrek yapıya sahip , kimyasal bağları zayıf ve kayma sistemi az olan karışık kristalli yapılara sahip metal alaşım ve seramik malzemelerin çarpışma sonucu ufalanarak toz haline getirilmesi işlemidir. Bu yöntem daha çok boyacılık ve baskı uygulamaları için fleyk metal tozu üretiminde kullanılır. Bunun yanı sıra, oksit tozların üretiminde de en çok kullanılan metottur [Sarıtaş, 1996]. Başlıca üretilen metal tozlar Al, Cu ve pirinçtir. Bunların yanı sıra Sn, Pb, Mn, Co, Si,Zn, Fe, Fe esaslı ve Cu esaslı tozlar da üretilebilmektedir [Turan, 2002].

Tozu elde edilecek malzeme iri tanecik parçacıklar halinde bilyalı silindirik fıçı içerisinde konulur. Fıçı içerisinde yer alan aşınmaya dayanıklı bilyalarla birlikte döndürülür. Bilyalarla çarpışan malzeme ince toz haline gelir. Bu yöntemde sünek malzemelerin kullanımı tercih edilmez. Bunun nedeni sünek malzemenin kırılmayarak taneciklerin birbiri üzerine sıvanmasıdır [<http://turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, Ekim 2006]. Bunun yanı sıra öğütmenin ilk aşamasında tozlar birbirlerine soğuk kaynaklanır. Soğuk kaynaklanma sonucu başlangıçta tozlara irileşme görülmektedir. Soğuk kaynaklanma işleminde; bilya-bilya ve bilya-öğütme tankı arasında ezilen tozlarda, ezilmenin etkisiyle temiz yüzeyler oluşmakta ve bu da soğuk kaynaklanmayı kolaylaştırmaktadır. Soğuk kaynaklanma aşamasından sonra öğütülen toz malzemelerde deformasyon meydana gelmektedir. Bir süre sonra ise pekleşme nedeniyle kırılmalar meydana gelir ve toz boyutunda küçülmeler görülmektedir [Özyürek ve diğerleri, 2004]. Bu yöntem metal tozlarının öğütülmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, düşük hızlarda çalışıklarından öğütme süresi uzundur [Aydın ve Yetgin, 2006].



Şekil. 2.7. Mekanik öğütme [German, 2005]

2.3.4. Atomizasyon

Atomizasyon bir sıvı metalin 100-150 μm ' dan daha küçük boyutlarda sıvı damlacıklar oluşturacak şekilde parçalanması ve bu parçacıkların ani ve aşırı soğumasıyla toz haline gelmesidir. Buna bağlı olarak ergitilebilen malzemelerin atomize edilebileceğini söyleyebiliriz [Hatman ve Karagöz, 1993]. Günümüzde metal tozların çoğunluğunun üretimi atomizasyon ile gerçekleştirilir [www.metal-powder.net, Kasım 2002]. En önemli fiziksel yöntem atomizasyondur. Tablo 2.3.' de yer aldığı gibi bazı materyallerden toz yöntemleri ortak ve farklı olabilmektedir [German, 2005]. Atomizasyon ile metal tozlarının üretiminde kullanılan metodlardan ilki düşük erime sıcaklığına sahip metallerde uygulanmıştır. Bir tankın içinde sıvı halde tutulan erimiş metal bir boru yardımıyla tanktan emilerek sıcak hava ortamına, nozul denilen deliklerden püskürtülür [Lenel, 1980]. Nozuldan püskürtülen ergiyik metal damlacıklara parçalandıktan sonra ısı enerjisini kaybederek soğur ve atomizasyon tankının dibine toplanır. Nozullar, metal akımının şekli ve boyutunu kontrol eder. Atomizasyonun temel prensibi, atomizasyon ortamında ergiyik metalin kararsız ve dağılmış hale gelene kadar parçalanmasıdır [Hatman ve Karagöz, 1993]. Sıvı metal püskürtüldüğünde parçacıklar kararsız enerjiye sahip oldukları için taneciklerde yeni yüzeyler oluşur [Lenel, 1980].

Table 2.3. Bazı materyallerin toz üretim yöntemi [German, 2005].

Materyal	Yöntem
Takım çelikleri	Su atomizasyonu, Gaz atomizasyonu, Santrifüj yöntemi.
Alüminyum	Vakum atomizasyonu, Mekanik öğütme
Berilyum	Mekanik öğütme, Gaz atomizasyonu
Sementit karbid (WC-Co)	Mekanik öğütme
Kobalt	Kimyasal yöntemler
Kompozitler	Mekanik alaşımlama, Plazma atomizasyon
Bakır	Elektrolitik, Su atomizasyonu, Gaz atomizasyonu, Kimyasal yöntemler
Bakır alaşımları (Pirinç)	Su atomizasyonu, Gaz atomizasyonu
Altın	Elektrolitik, Su atomizasyonu, Kimyasal yöntemler
Demir	Su atomizasyonu, elektrolitik, Gaz atomizasyonu, Santrifüj yöntemi

Nikel alaşımlar	İnert gaz atomizasyonu, su atomizasyonu
Değerli metaller (Ag)	Su atomizasyonu, elektrolitik, Kimyasal yöntemler
Reaktif metaller (Ti)	Kimyasal yöntemler, santrifüj yöntemi,
Refraktör metaller (W)	Kimyasal yöntemler, santrifüj yöntemi, Plazma atomizasyonu
Süperalaşımlar	Mekanik alaşımlama, Gaz atomizasyonu, Santrifüj yöntemi

Atomizasyon yöntemiyle toz üretiminin tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

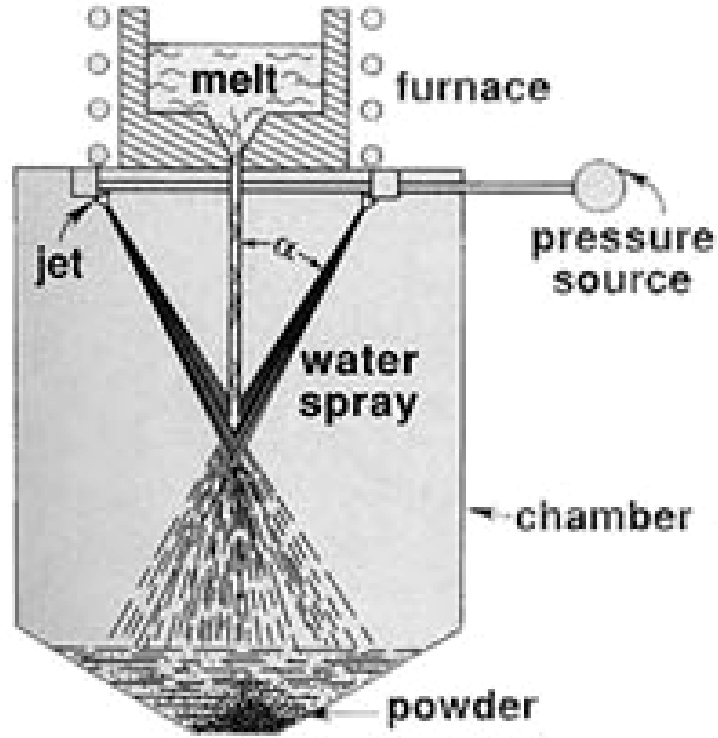
- Atomizasyon yöntemlerinin çeşitliliği sayesinde, istenilen değerde tozun boyutu, şekli ve yüzey yapısı gibi özellikler elde edilebilir.
- Ergitilebilen malzemelerin hemen hemen tamamı bu yöntemle toz haline getirilebilir.
- Demir tozlarının dışında, alüminyum, bakır, paslanmaz çelik gibi yüksek kalitede tozlar ve demir ve demir dışı alaşımların toz üretimi bu yöntemle sağlanmaktadır.

Atomizasyon yöntemi genel olarak 3 ana gruba ayrılır ;

1- Ticari yöntemler

1.1. Su atomizasyonu :

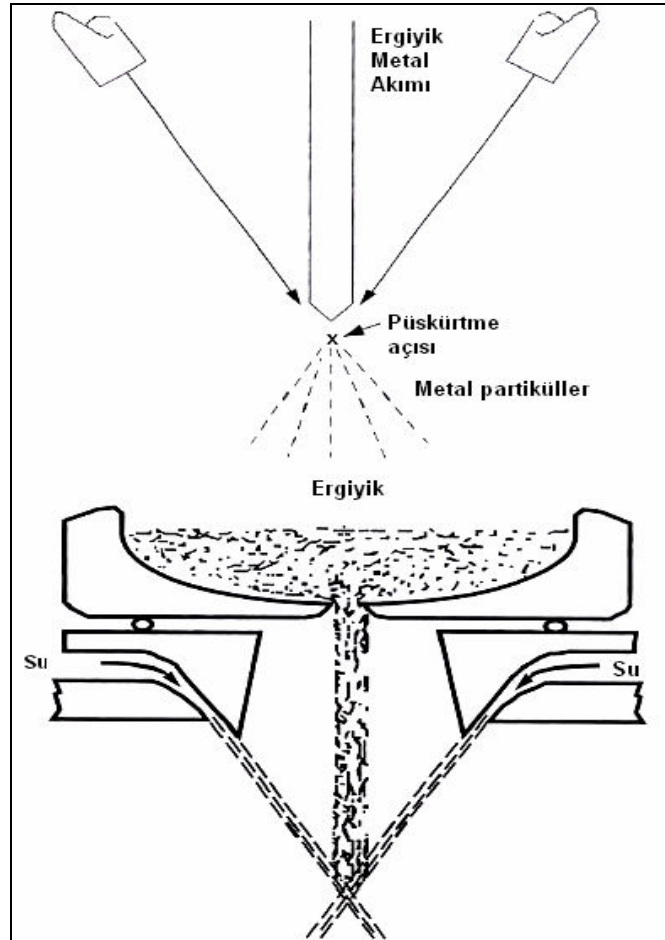
Uygulamanın genel prensibi ; ergiyik metal tandış denilen depodan nozul sayesinde, yüksek basınçlı su püskürtülen atomizasyon tankına aktarılır. Yüksek basınçlı su ortamında çarpışmanın etkisiyle oluşan toz tanecikleri tankın dibine çöker. (Şekil 2.8.)



Şekil 2.8. Su Atomizasyonu.. [mpif.org/apmi/doc4.htm, Şubat 2007]

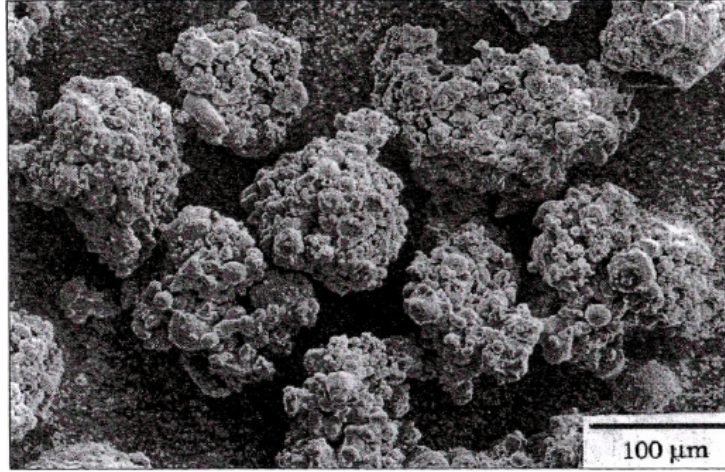
Su atomizasyonu, bakır, bakır alaşımları, paslanmaz çelik, takım çelikleri ve manyetik tozların üretiminde kullanılmaktadır. Su atomizasyonu ile elde edilen nikel alaşım tozlarının en yaygın kullanımı ısıtma sprey kaplama ve lehimlemedir. Bu yöntemle üretilmiş değerli metallere lehimleme ve sinterleme işlemlerinde kullanımı mümkündür. Bunun yanı sıra diş amalgamlarında kullanılan değerli metallerin üretimi de bu yöntemle gerçekleştirilmektedir. Diğer üretim yöntemleriyle kıyaslanacak olursa, üretim maliyeti daha ucuzdur. Bunun nedeni gaz ve hava atomizasyonuna kıyasla su basıncı sağlamak için daha az enerji gerektirir [metal-powder.net, Kasım 2002]. Toz saflığı açısından bakıldığında ise, reaktif metallere yetersiz kalmaktadır. Uygulamanın verimliliği su ile reaksiyona girmeyen metaller için oldukça tatmin edicidir.

Genellikle serbest düşme konfigürasyonlu düzenek kullanılır. Şekil 2.9.' da gösterildiği gibi, ergiyik metal tandiştten yerçekimi kuvvetiyle nozullar aracılığıyla su jetlerinin üzerine yönlendirilir. Çarpmanın etkisiyle ergiyik metal toz haline gelir.



Şekil 2.9. Su atomizasyonu nozul düzeni.

Su atomizasyonu ile elde edilen tanecikler genellikle kaba çukur dokulu ve düzensiz şekle sahiptir. Şekil 2.10.' da su atomizasyonu ile elde edilen bakır tozunun electron mikroskop görüntüsü yer almaktadır.

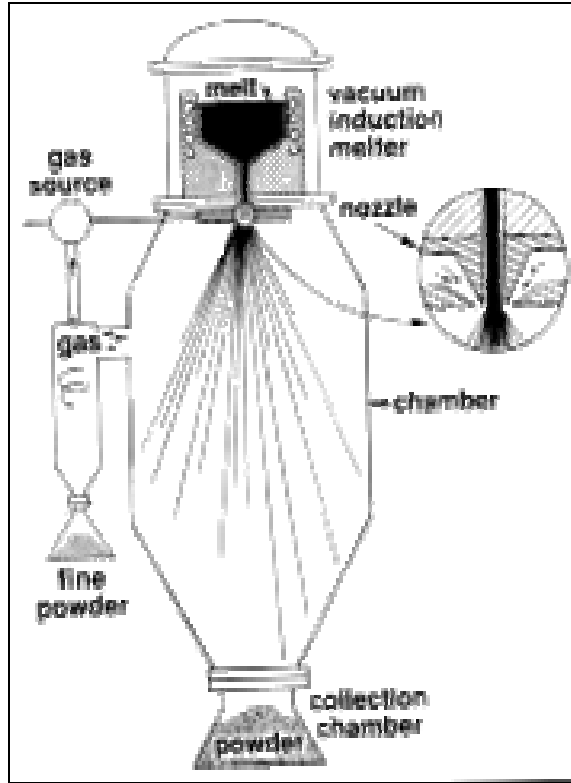


Şekil 2.10. Su atomizasyonu ile elde edilen bakır tozunun elektron mikrograf görüntüsü.

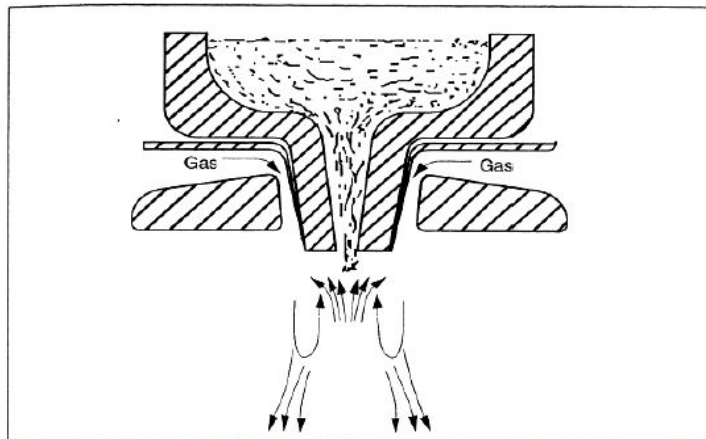
Klasik su atomizasyonu uygulamasında kullanılan su basıncı genellikle 5.5 – 21 MPa’ dır. Metal enjeksiyon kalıpcılığında kullanılan demir alaşımların üretimi için bu basınç 50-150 MPa’ a kadar yükselmektedir.

1.2. Gaz atomizasyonu : Gaz atomizasyonu, hava, nitrojen, argon ve helyum gibi yüksek hıza sahip gazlar yardımıyla ergiyim metalin dağıtılmasıdır. Gaz atomizasyonu ile Al, Ni, Mg, Co, Pd, Cu, Fe, Au, Zn ve Be alaşımlarının tozları üretilmektedir [Turan, 2002]. 1920’ li yıllardan beri demir dışı alaşımlar hava atomizasyonu ile üretilmektedir. Titanyum ve süperalaşımlar gibi reaktif metallerin atomizasyon işleminde yada düşük miktarda oksijen içeriği gerekiyorsa soygazlar kullanılmaktadır. Su atomizasyonunda olduğu gibi bu uygulamada da serbest düşme düzenekleri kullanılmaktadır.(Şekil 2.11.) Bu düzeneklerde yüksek basınçlı su pompaları yerine yüksek basınçlı gaz pompaları yer alır.(Şekil 2.12.) de nozul şematik olarak gösterilmiştir. İşlem sırasında basınç 5~100 bar arasında değişir. Örneğin demir, nikel ve kobalt alaşımlarının soy gaz atomizasyonunda kullanılan en yüksek basınç 15~60 bar’ dır [metal-powder.net, Kasım 2002]. Gaz atomizasyonunda ergiyik metali parçalara ayırmak için hava ve nitrojen kullanılmaktadır. Reaktif ergiyik metallerde kirlenmeyi azaltmak için argon kullanılması önerilir. Buna ilave

olarak atomize olan damlacıkların soğutma hızını arttırmak için atomizasyon ortamına helyum ilave edilebilir.



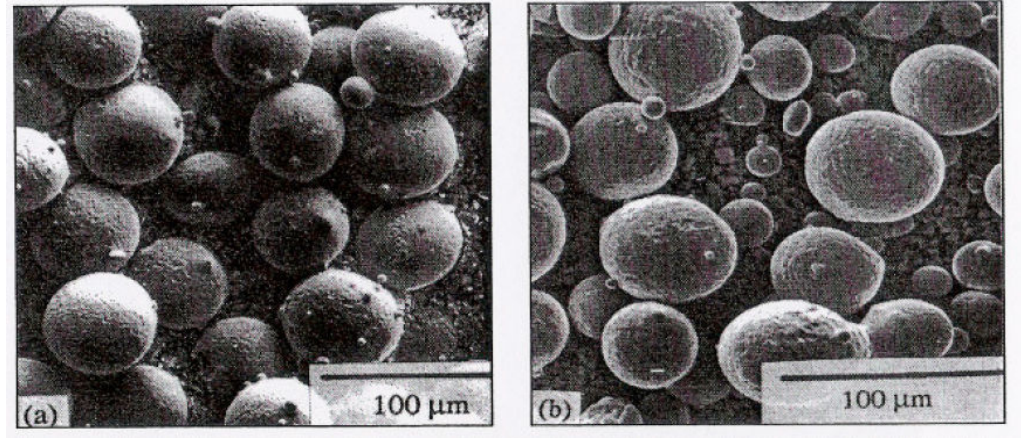
Şekil 2.11. Dikey Gaz Atomizasyonu [mpif.org/apmi/doc4.htm, Şubat 2007].



Şekil 2.12. Gaz atomizasyonu nozul düzeneği.

Atomizasyon tankı paslanmaz çelikten üretilmektedir. Su atomizasyonunda tankın su ağırlığını desteklemesi söz konusudur ancak gaz atomizasyonunda böyle bir durum söz konusu olmadığı için tankın cidarı su atomizasyonunda kullanılan tanktan daha incedir.

Gaz atomizasyonunda elde edilen tanecikler, düzgün küresel bir şekle sahiptir. Küçük partiküller kendilerinden daha büyük taneciklerin etrafına yapıştıkları için küçük bir uydu görüntüsündedirler.(Şekil 2.13)

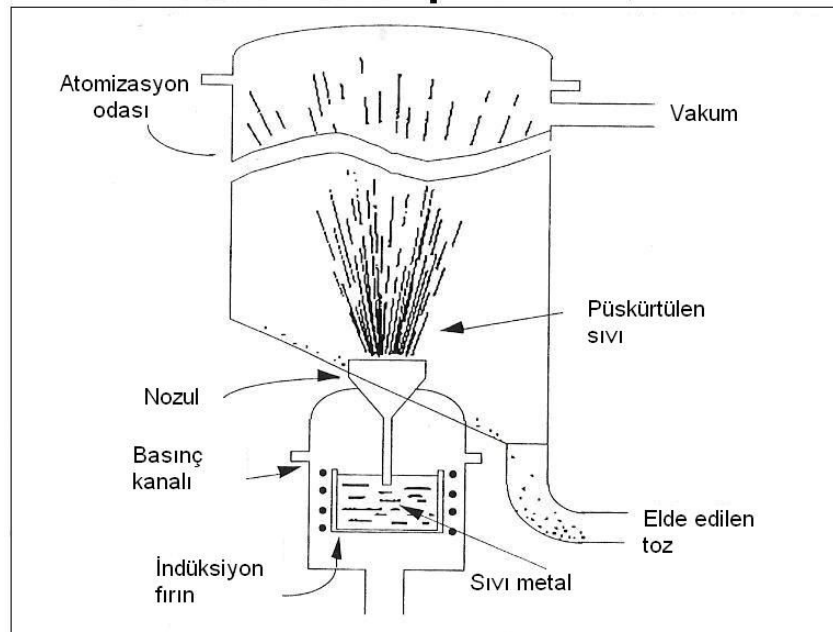


Şekil 2.13. Nitrojen gazı kullanılarak atomize edilen toz. (a) T15 yüksek hız çeliği, (b)Yüksek karbon çeliği (Fe-1.9 w/o C-1.2 w/o Ni- 1.2 w/o Cr) SEM.

1.3. Yağ atomizasyonu : Atomizasyon da suyun dışında kullanılan diğer sıvılar Hidrokarbonlardır. Su atomizasyonundaki oksidasyon problemi gibi yağ atomizasyonunda da bu problemten kaçınılmalıdır. 1980' lı yıllarda Sumitomo Metal, düşük oksijenli yüksek kalite çeliklerin üretimi için yağ atomizasyon işlemini geliştirmiştir.

1.4. Vakum atomizasyonu : Bu yöntem oksidasyona karşı duyarlı nikel, kobalt, demir ve alüminyum alaşımları için geliştirilmiştir [Turan, 2002]. Ergiyik metal

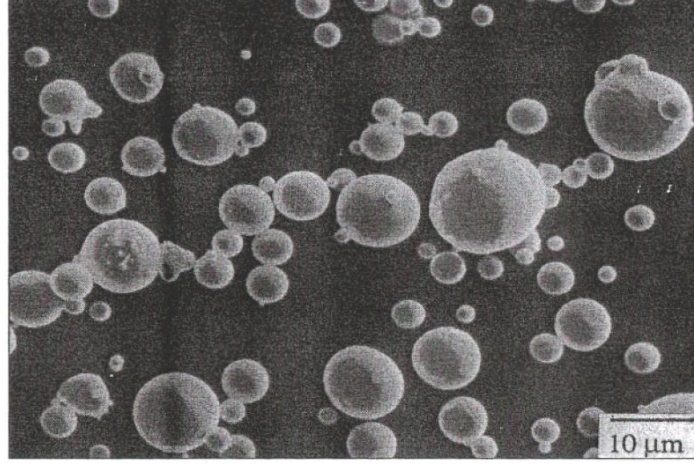
basıncılı hava ile doyurulduğunda aniden vakum etkisine maruz kalır. Gaz genişlererek ergiyik metalle birlikte çözelti gibi davranır. Ergiyik metal enerji yüklendiği için gazın basıncıyla birlikte püskürtülür. Düzenek şekil 2.14.'deki gibidir. Dikey çalışan iki tane oda vardır. Altta yer alan oda da metal ergitilir ve basınç altında tutulur. Seramik bir tüp vasıtasıyla atomizasyon kanalına iletilir. Bu iletim sonucu ani genişleyen sıvı önce damlacıklara ayrılır daha sonra da bu damlacıklar ani ve aşırı soğuyarak toz haline gelir [Turan, 2002]. Üstteki oda da ise püskürtülen toz partikülleri vakum etkisiyle bir tanka toplanır. Alaşım ilk önce alt odada klasik bir fırın kullanılarak vakum altında ergitilir, ergiyik 1 ila 10 MPa basınç altında tutulur. Ergiyik daha sonra sifon şeklindeki tüpten sıvı olarak üst odaya püskürtülür. Yüksek hız ve gaz doygunluğu ergiyik metalin parçalanmasını sağlayacak bir enerji meydana getirir. Vakum atomizasyonunda hidrojen basıncı gaz karışımının bileşimiyle kontrol edilmektedir. Uygulamada argon soy gaz olarak seçilir.



Şekil 2.14. Vakum atomizasyon düzeneği.

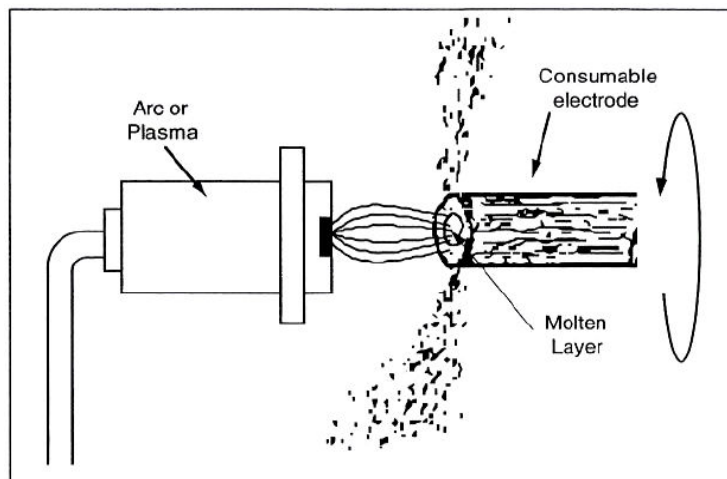
Vakum atomizasyonu ile elde edilen tanecikler, etraflarında çok küçük uydu partiküllerine sahip düzgün küresel biçimdedir. (Şekil 2.15.) Elde edilen toz tanecikler oldukça yüksek saflıktadır [Yılmaz, 1996].

Normal şartlar altında boyut aralığı 1 – 500 μm ve tanecik çapı 40 – 70 μm arasındadır.

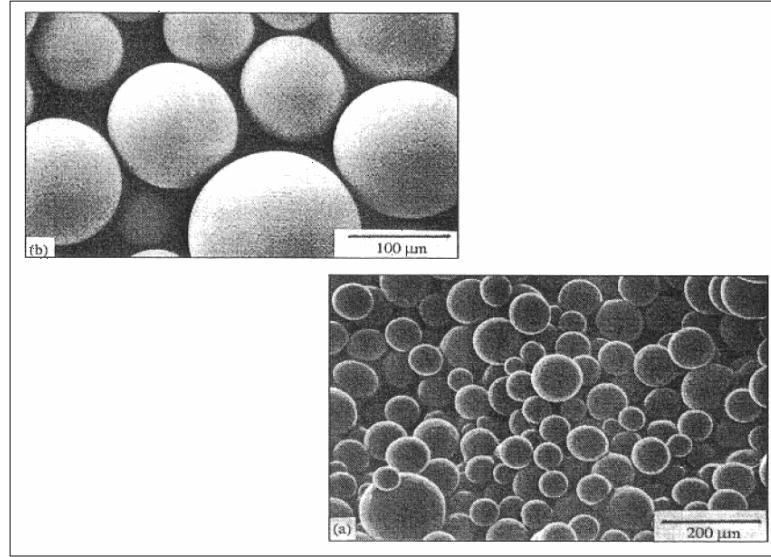


Şekil 2.15. Vakum atomizasyonu ile elde edilen Nikel süperalaşım toz.(SEM)

1.5. Döner elektrod atomizasyonu : Uygulama, kendi etrafında dönen metal çubuğun serbest ucunun ergitilmesi esasına dayanmaktadır. Metal çubuğun ergitilen kenarı merkezkaç kuvveti sayesinde damlacıklar halinde tanecikleri dağıtır.(Şekil 2.16.) Bu uygulamayla elde edilen tanecikler yüksek kalitede ve düzgün küresel şekle sahiptir. (Şekil 2.17.)



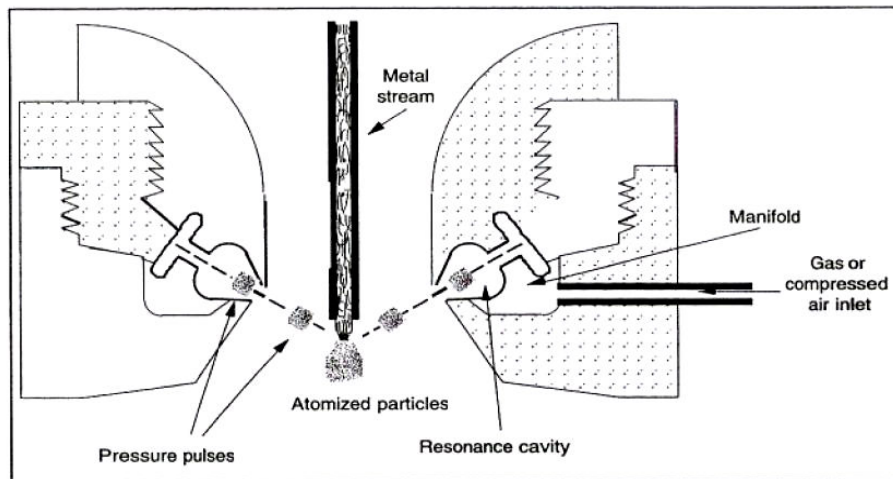
Şekil 2.16. Döner elektrod atomizasyon yöntemi.



Şekil 2.17. Döner elektrod ile elde edilen tozlar. (a) Ti-6Al-4V, (b) Rene 95. (SEM)

2- Yan ticari yöntemler

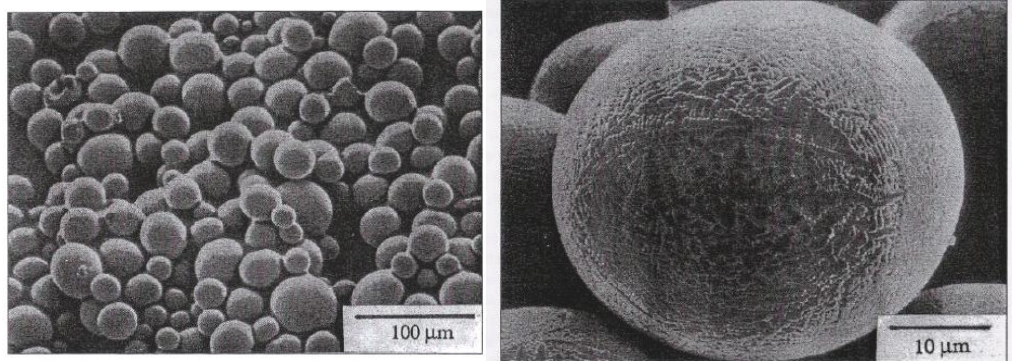
2.1. Ultrasonik gaz atomizasyonu : Metal ergiyik akımı, çok yüksek hızdaki gaz darbeleriyle atomize edilir.(Şekil 2.18.) Yüksek hıza sahip gaz jetleri, metal ergiyik akımı üzerine Hartman şok dalgası tüplerinin çarptırılmasıyla elde edildi.



Şekil 2.18. Ultrasonik gaz atomizasyonu işlemi.

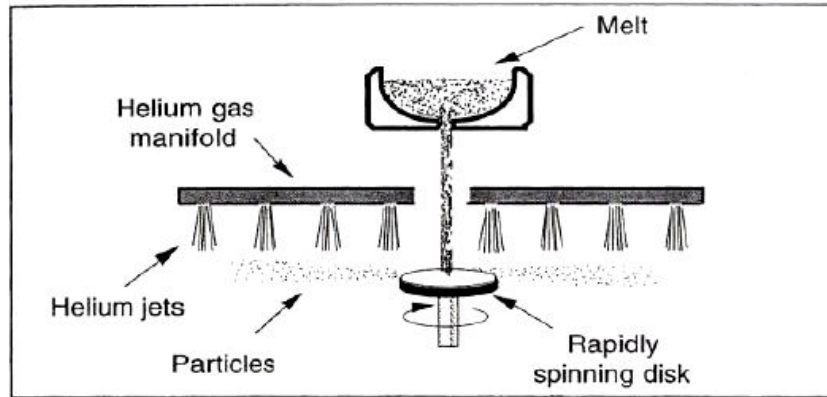
Atomizasyon gazı olarak genellikle 1.4 ila 8.8 MPa basınca sahip argon gazı kullanılmaktadır.

Bu yöntemle elde edilen tozlar genellikle etraflarında çok az uydu partiküllere sahip düzgün yüzeyli küresel şekildedir. Şekil 2.19.' da bu yöntemle üretilen 1020 çelik toz gösterilmiştir.

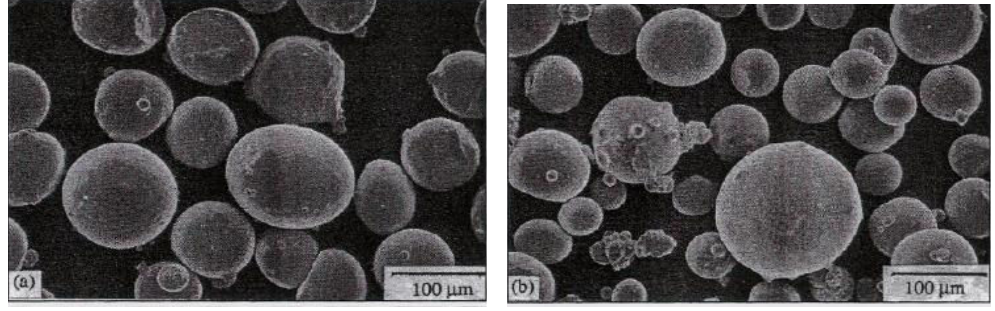


Şekil 2.19. ultrasonik gaz atomizasyonu ile elde edilen 1020 Çelik toz. (SEM)

2.2. Döner disk atomizasyonu : Döner disk üzerine sıvı metal ergiyik akımının çarptırılarak, merkezkaç kuvveti yardımıyla taneciklere ayrılmasıdır. Döner diskten uzaklaşan tanecikler Helyum jetleri aracılığıyla soğutulur ve siklon ayırıcılarla toplanır. (Şekil 2.20.) Bu yöntemle elde edilen tanecikler, uydu partiküllerinden bağımsız düzgün küresel biçimdedir. Partikül boyutu 200 µm ve çapı 90 µm' den küçüktür.(Şekil 2.21.)

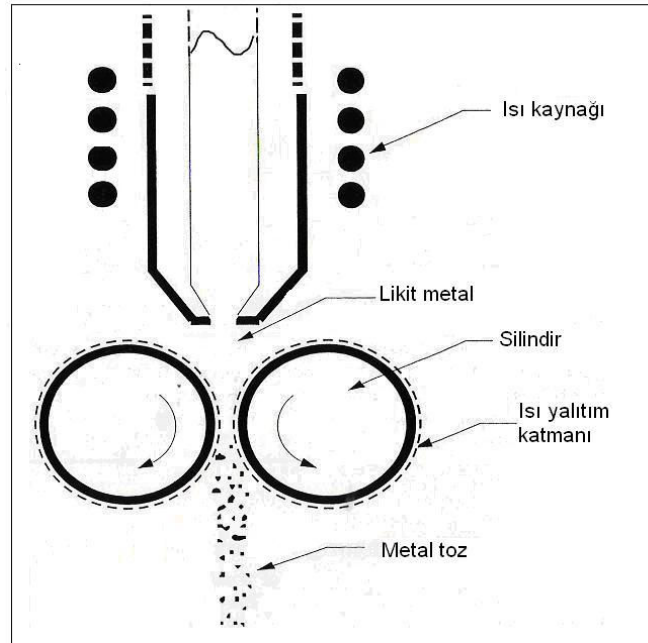


Şekil 2.20. Döner disk atomizasyon işlemi.



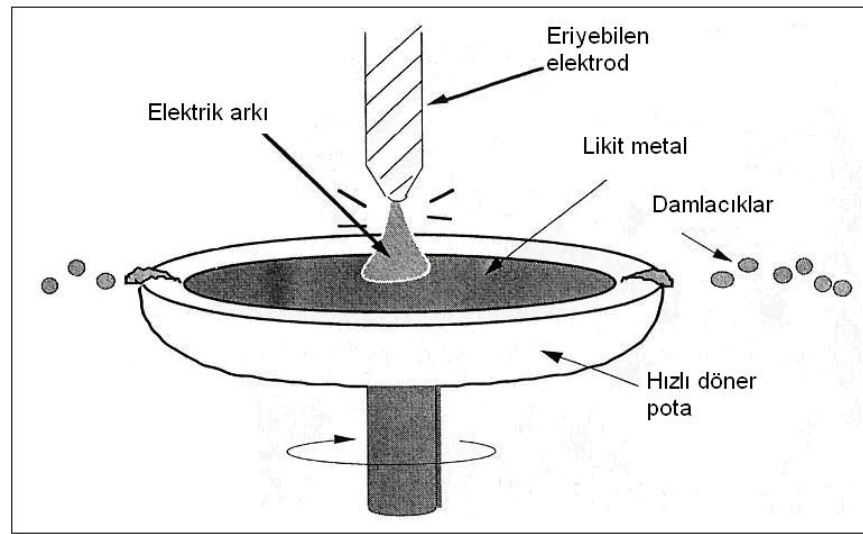
Şekil 2.21. Döner disk atomizasyonu ile elde edilen tozun şekli.

2.3. Silindir atomizasyonu : Silindir atomizasyon uygulaması 1970' li yıllarda Sinter tarafından bulunmuştur. Bu yöntemde, eriyik metalin hızla dönen iki silindir üzerine aktarılır.(Şekil 2.22.) Silindir atomizasyonu ile elde edilen taneciklerin şekli düzensiz ve iğne şeklindedir [Lawley, 1992].



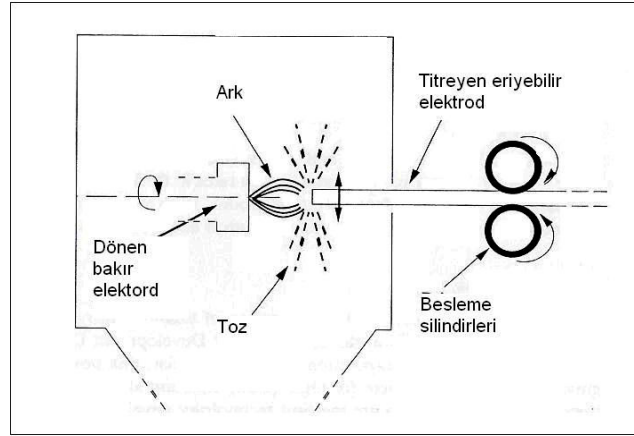
Şekil 2.22. Silindir atomizasyon düzeneği.

2.4. Santrifüj yöntemi: Bu yöntem 1970' li yıllarda Harwell tarafından geliştirilmiştir. Başlangıçta alumina ve uranyum monokarbid gibi nükleer yakıtlarda kullanılan refrakter tozların atomize edilmesinde kullanılmıştır. Daha sonra bir takım modifikasyonlar sayesinde demir, nikel, kobalt ve titanyum alaşımlarında da kullanımı söz konusudur. Şekil 2.23.'de görüldüğü gibi döner bir pota içerisine elektord eritilerek atomizasyon sağlanır. Bu yöntemle elde edilen taneler, düz yüzeylere sahip küre şeklindedir. Küresel parçacıklar 100-1500 µm çapındadır [Lawley, 1992].



Şekil 2.23. Santrifüj yöntemi.

2.5. Titreşim elektrod yöntemi : Bu yöntemde tozlar, eriyen elektrodun titreştirilmesiyle elde edilmektedir. Döner elektrod uygulamasına benzemektedir. Tek fark, elektrod dönmek yerine bu uygulamada titreşmektedir. Şekil 2.24'de görüldüğü gibi eriyebilen elektrod, atomizasyon döngüsünün devamlılığı için silindirler aracılığıyla beslenir. Bu uygulamada elde edilen toz küreseldir. Genellikle küçük miktarda refrakter metal tozların elde edilmesi için kullanılmaktadır [Lawley, 1992].

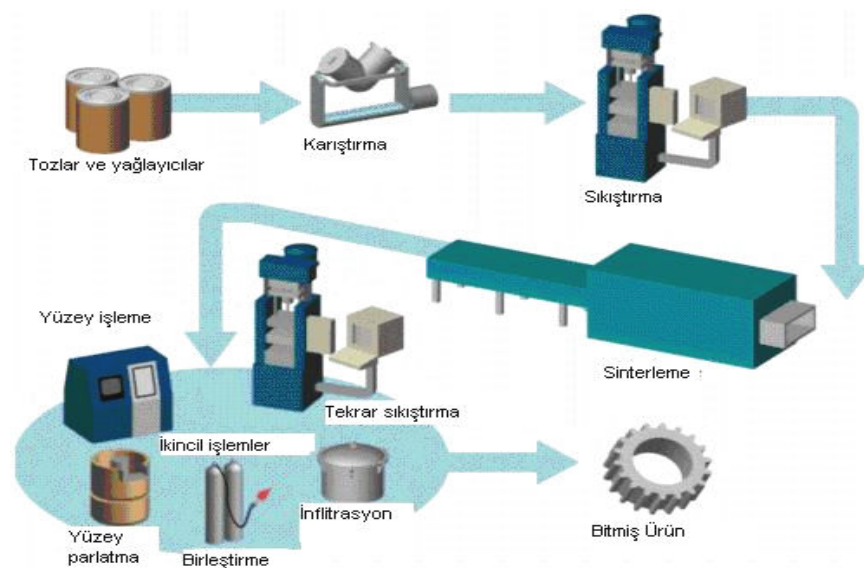


Şekil 2.24. Titreşim elektrod yöntemi.

2.4. T/M Yöntemi ile Parça Üretim Süreci

T/M yöntemiyle parça üretim süreci 4 aşamadır.(Şekil 2.25.) Bu aşamalar;

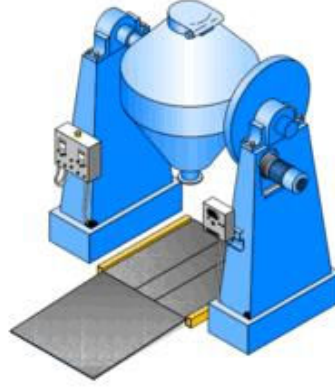
- 1- Tozların karıştırılması
- 2- Karışımın preslenmesi
- 3- Sinterleme
- 4- İkincil işlemler.



Şekil 2.25. Toz metalurjisi işlem basamakları

1 - Tozların karıştırılması

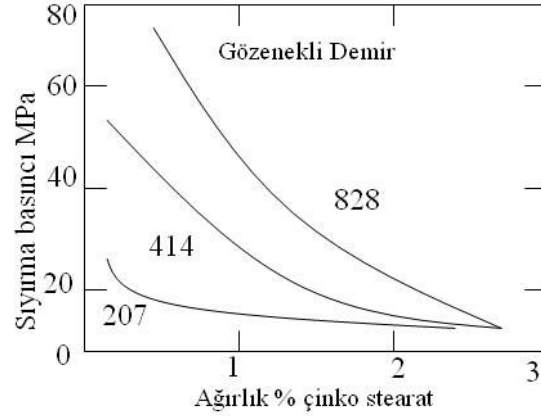
Bu aşamada preslemeyi kolaylaştırmak amacıyla, metal toz ve yağlayıcı homojen olarak karıştırılmaktadır. Tozların karıştırılması V ve Y tipi çift konili karıştırıcılarda yapılmaktadır [Aydın, 1997]. En çok kullanılan karıştırıcı, Şekil 2.26.'da gösterilen iki konili karıştırıcıdır.



Şekil 2.26. İki konili karıştırıcı.

Karışımında yağlayıcı kullanılmasının en önemli nedeni, preseleme sırasında tanecikler arasında sürtünmeyi azaltmaktır ve kalıptan preslenen parçanın sıyrılmasını kolaylaştırmaktır. Sıvı yağlayıcılar tozun akma özelliğini bozduğu için karışıma ilave edilen yağlayıcılar genellikle kuru toz şeklindedir [Kayış, 2005]. En yaygın yağlayıcılar; metal stearatlar [Demir, 1992], parafin, sterik asit, polipropilen [Karataş ve Sarıtaş, 1998], çinko ve lityum sterat ve akravaks, politetrafloroetilen (PTFE) [Li et al, 2002] gibi sentetik mumlardır. Bu yağlayıcılardan sterik asit ve metal steratlar, ergime noktası düşük organik bileşiklerdir. Çok küçük miktarda ilave edilmeleri yeterli olmaktadır [Demir, 1992]. Sinterleme sırasında yağlayıcılar yanarak malzemeden çıkmaktadırlar.

Şekil 2.27.'de preslenmiş gözenekli demir tozlarının ham yoğunluk ve kalıp içerisinde çıkarılma basınçlarının yağlayıcı miktarına bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 2.27. Yağlayıcı miktarının, preslenmiş sünger demirinden parçayı kalıp içerisinde çıkarmak için gerekli olan sıyırma basıncına etkisi [Aydın, 1997].

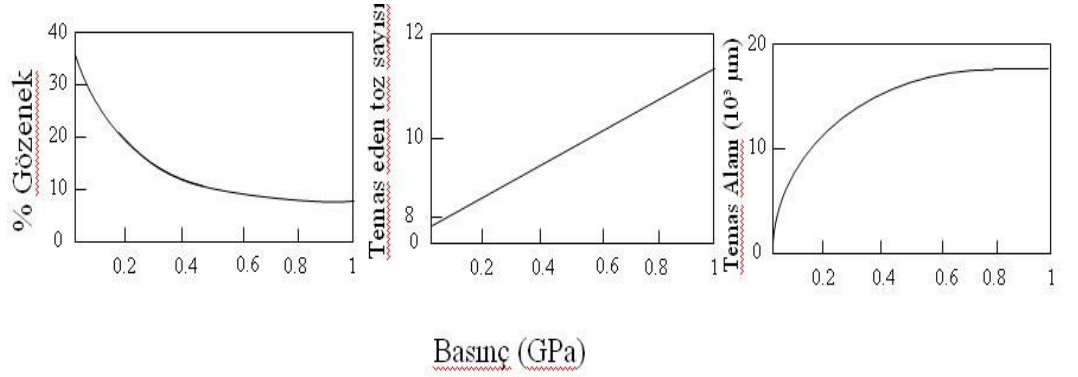
%1 yağlayıcı konsantrasyonuna kadar, preslenmiş parçanın ham yoğunluğu çok az artmakta, %1 değerinden sonra ise yağlayıcı miktarı arttıkça ona bağlı olarak ham yoğunluk dolayısıyla ham mukavemet azalmaktadır. Bunun nedeni ise, düşük yoğunluklu yağlayıcı toz içerisinde büyük bir hacime sahiptir.

Nihai ürünün şekline bağlı olarak, kullanılan yağlayıcı miktarı genellikle ağırlığın % 0.5~1' i kadardır. Karmaşık şekilli parçaların kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak için kullanılan yağlayıcı miktarı artabilir. Yağlayıcı ve toz karışımının yoğunluğu ve karıştırma zamanı, toz karışımının akış ve görünen yoğunluğu gibi özelliklerini etkiler. Çoğu metal toz karışımının karıştırılma süresi genellikle 20 ila 40 dakikadır [Lenel, 1980].

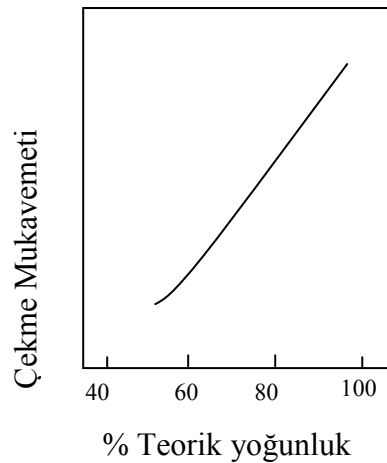
Aydın ve Yetgin'in (2006) yapmış olduğu çalışmada, 3 ayrı karıştırıcı tipi kullanılmış ve kullanılan karıştırıcı ve karıştırma süresinin malzeme mikro yapısındaki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada yatay tip karıştırıcıda elde edilen malzemelerin yeterli karıştırma süresine tabi tutulmadığı için yapılarında topraklanma (homojen olmayan dağılım) görüldüğü tespit edilmiştir.

2- Karışımın Preslenmesi:

Presleme genellikle oda sıcaklığında ve özel hazırlanmış çelik kalıplarda yapılmaktadır. Kalıplar sementit karbür esaslı ve ısıtılma ile sertleştirilmiş takım çeliğinden imal edilir [Turan, 2002]. Tozların preslenmesi sırasında preslenme basıncına göre gözenek miktarı değişmekte olup, basınç arttıkça gözenek miktarı azalmaktadır. Ayrıca artan presleme basıncına göre birbirine temas eden toz sayısı ve temas yüzey alanı artmaktadır.(Şekil 2.28.) Gözenek miktarı arttıkça yoğunluk azalmaktadır. T/M ile üretilen parçalarda gözenek miktarına göre mukavemet değerleri de değişmekte olup, Şekil 2.29.' de teorik yoğunluğa göre çekme mukavemeti değişimi görülmektedir [Onur, 1996].



Şekil 2.28. Basınç değişiminin etkisi.

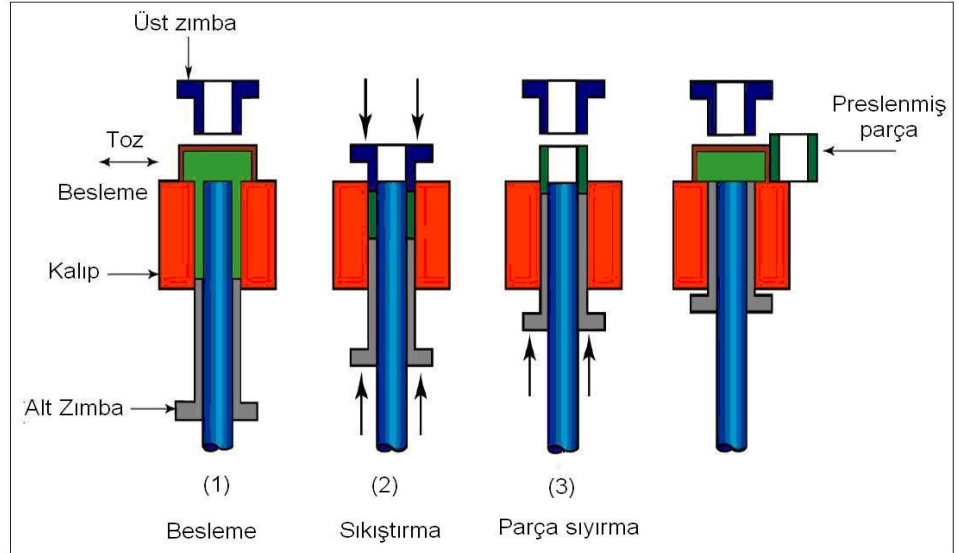


Şekil 2.29. T/M ürünlerinde, çekme mukavemetinin % teorik yoğunlukla değişimi [Onur, 1996].

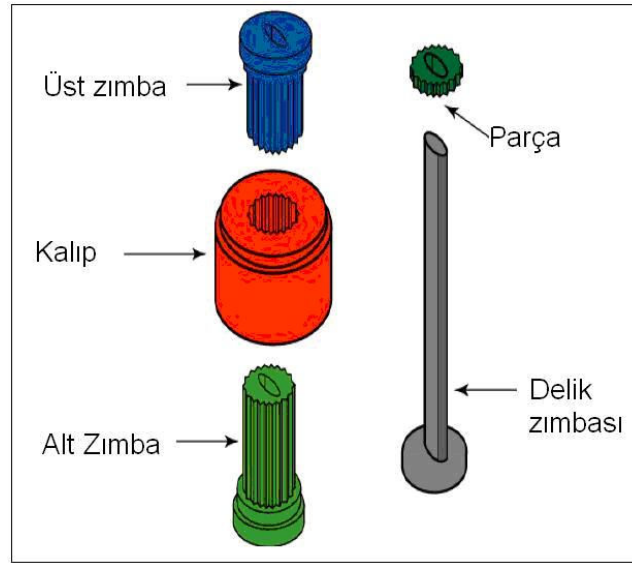
Aşağıdaki tabloda bazı metallerin presleme kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 2.4.Bazı metaller ve Presleme Basınçları	
Metaller	Preslenme Basınçları (Mpa)
Alüminyum	70 - 275
Pirinç	400 - 700
Bronz	200 - 275
Demir	350 - 800
Tantal	70 - 140
Tungsten	70 - 140
Diğer malzemeler	
Alüminyum oksit	110 - 140
Karbon	140 - 165
Sementit Karbid	140 - 400
Ferrit	110 - 165

Şekil 2.30.'da görüldüğü gibi işlem 3 basamakta gerçekleşmektedir. Öncelikle toz ve yağlayıcı karışım kalıba doldurulur. Daha sonra karışım preslenir. Son aşamada ise parça kalıptan sıyrıcı yardımıyla çıkartılır. Şekil 2.31.'de ise kalıp ve diğer elemanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.30. Presleme işlem basamakları

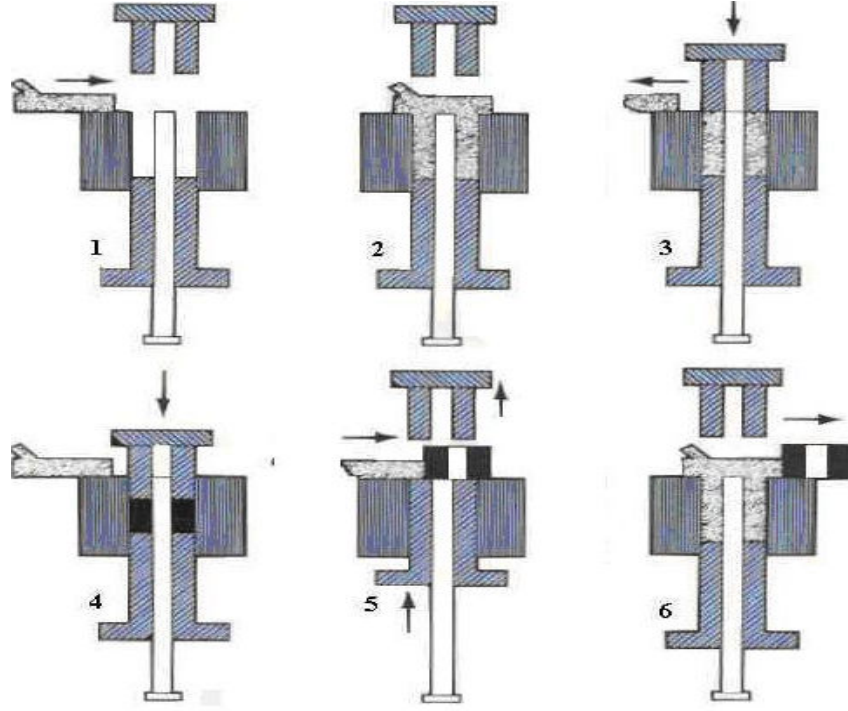


Şekil 2.31. Kalıp ve diğer elemanlar.

Metal tozların preslenmesi işlemi 3 gruba ayrılmaktadır:

1- Tek hareketli sıkıştırma:

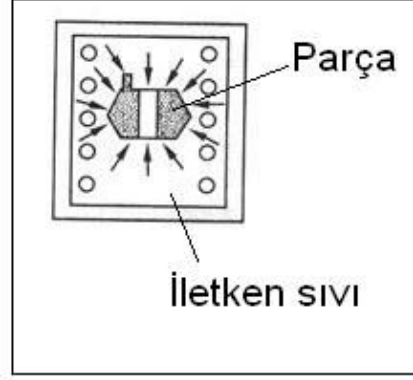
Geleneksel toz sıkıştırma işlemi Şekil 2.32.'de görüldüğü gibi tek yönlü yapılmaktadır. Bu yöntemde, toz karışım kalıba doldurulduktan sonra üst baskı plakası ile basma işlemi gerçekleştirilir. Alt pistonun görevi parçayı kalıptan sıyırmaktır. Parçanın kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak ve sıkıştırılabilirliğini sağlamak amacıyla kalıp duvarları yağlanmaktadır. Tek yönlü preslemede uygulanan basınç arttıkça sıkıştırılan malzemenin yoğunluğu artmaktadır. Bunun nedeni, tozlar arasında gözenek dediğimiz boşluklar azalır, kütle aynı ancak hacim küçüldüğü için yoğunlukta artmaktadır. Bu yöntem kalıp tipinin basitliği nedeniyle [Aydın, 1997] maliyet açısından uygun bir yöntem olmasına rağmen, karmaşık şekilli parçalar ile boy/en oranı yüksek ($L/D > 2.5$) metalik parçalarda istenilen ham yoğunluğu sağlayamadığı için tercih edilmemektedir. Bu yüzden bu tip parçaların preslenmesi için soğuk izostatik presleme (SİP) ile gerçekleştirilir. Soğuk izostatik presleme uygulamasında, tozlar kauçuk bir kalıba doldurularak yağ ile dolu basma hücresine yerleştirilir. Basma pistonu ile basınç uygulandığında, yağ sayesinde kalıbın her yerine eşit baskı uygulanır ve numunenin her tarafı eşit yoğunluğa sahip olur.



Şekil 2.32. Tek yönlü Presleme basamakları.(1)Besleme ayağının kalıba yaklaşması, (2)Besleme, (3) Presleme, (4) Karışımın tamamen sıkıştırılması, (5)Parçanın kalıptan çıkarılması, (6) Yeniden besleme

2- Çift Hareketli Sıkıştırma : Çift hareketli sıkıştırmada toz, hem alt hemde üst zımba tarafından sıkıştırılmaktadır. Bu iki zımbada hareketlidir. Zımbalar eşit yada farklı miktarlarda hareket ve basınç uygulayabilirler.

3- İzostatik Sıkıştırma: İzostatik sıkıştırma, tozların bir akışkan basıncı ile sıkıştırılmasıdır. Sıkıştırma işlemi oda sıcaklığında yapılıyorsa işleme soğuk izostatik presleme (CIP) adı verilir [Ekşi ve Sarıtaş, 2002]. Soğuk izostatik presleme uygulamasında, tozlar kauçuk bir kalıba doldurularak yağ ile dolu basma hücresine yerleştirilir. Basma pistonu ile basınç uygulandığında, yağ sayesinde kalıbın her yerine eşit baskı uygulanır ve numunenin her tarafı eşit yoğunluğa sahip olur. Süper alaşım uçak türbini diskleri ve takım çeliği kütükleri başlıca örnekleridir [Aydın, 1997].



Şekil 2.33. İzostatik sıkıştırma

Hedeflenene yakın bir boyut ve şekil istenen parça üretiminde izostatik presleme uygulanmaktadır. Basma hücresinde yağın yanı sıra su veya gaz ile de basınçlı sistem gerçekleştirilebilmektedir. İzostatik preslemenin avantajları;

- a. Karmaşık şekilli parçaların preslenme kabiliyetleri
- b. Pahalı toz girişindeki maliyetin azalması
- c. Malzeme kaybının az olması
- d. Preslenmesi zor olan parçaların üretimi
- e. Presleme sırasında bağlayıcıya ihtiyaç olmaması
- f. Parçayı son şekil ve boyuta yakın üretme

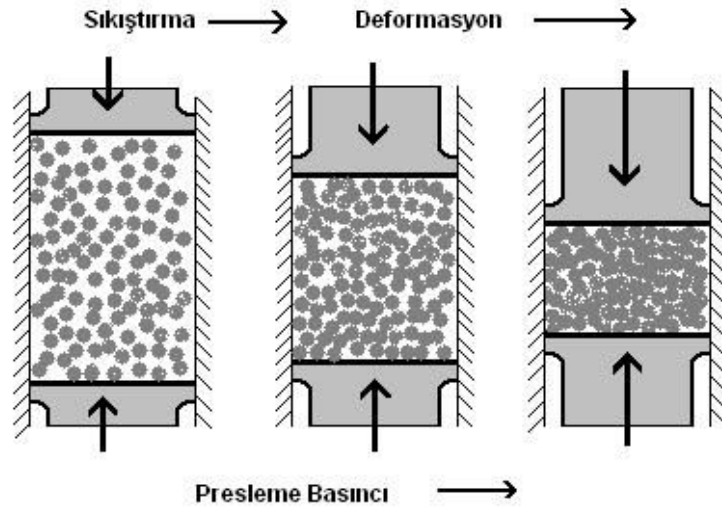
Homojen yoğunluk gibi özellikler yer almaktadır [Boz, 2003].

T/M ile parça üretiminde en önemli faktör sıkıştırılabilirliktir. Sıkıştırma 3 aşamada incelenebilir:

1. Bu aşama taneciklerin boyut ve şekil gibi fiziksel özelliklerin geniş ölçüde dağılımının yeniden düzenlenme aşamasıdır [Kurt and Davies, 1996]. Sıkıştırma basıncının ilk uygulandığı anda plastik deformasyon söz konusu değildir. Bazı partiküllerde kırılmalar olabilir. Bu aşamada partiküller arası boşluk biraz daha azalarak partiküller arasında sürtünme başlar.

2. İkinci aşamada artık taneciklerde elastik ve plastik deformasyon görülmeye başlanır. Partiküller arasında bağlar oluşabilir ve mekaniksel kilitlemeler gözlemlenebilir.

3. En son aşamada ise partiküller kırılır ve plastik deformasyon nedeniyle tanecikler arasındaki boşluk tamamen yok olmuştur. Bu aşamada tanecikler arasında soğuk kaynak görülmektedir



Şekil 2.34. Presleme basıncının artışı ve taneciklerin kalıp içindeki durumu.

T/M üretim sürecinde genellikle tek eksenli kalıpta presleme tercih edilir. Bunun nedeni, seri ve hızlı parça üretimidir.

Toz taneciklerin saflığı [Kurt and Davies, 1996], boyutu ve şekli, sıkıştırılabilirliklerine önemli derecede etki etmektedir. Örneğin, toz taneleri ince ise toz akış hızı ve presleme yoğunluğu düşük olur. Bunun yanı sıra tane boyutu küçük tozlar daha verimli sıkıştırılabilmektedirler.

Küresel şekilli tozlar dağınık şekilli tozlara oranla presleme basıncını daha iyi iletirler ve bunun yanı sıra paketlenme özellikleri daha iyidir [metal-powder.net, Kasım 2002].

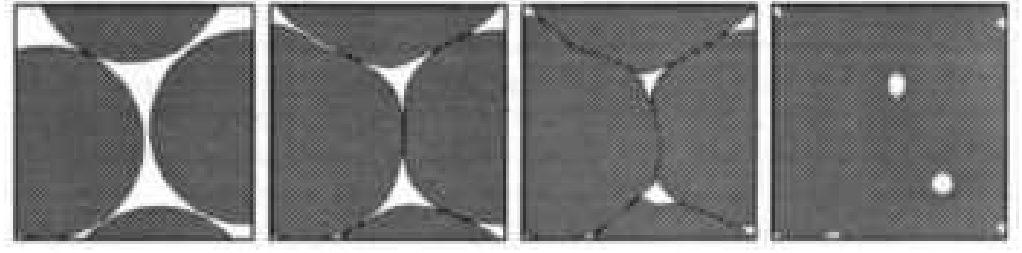
Presleme aşamasından sonra sıkıştırılan malzemeye yoğunluk kazandırma amacıyla sinterleme işlemine geçilir.

3- Sinterleme:

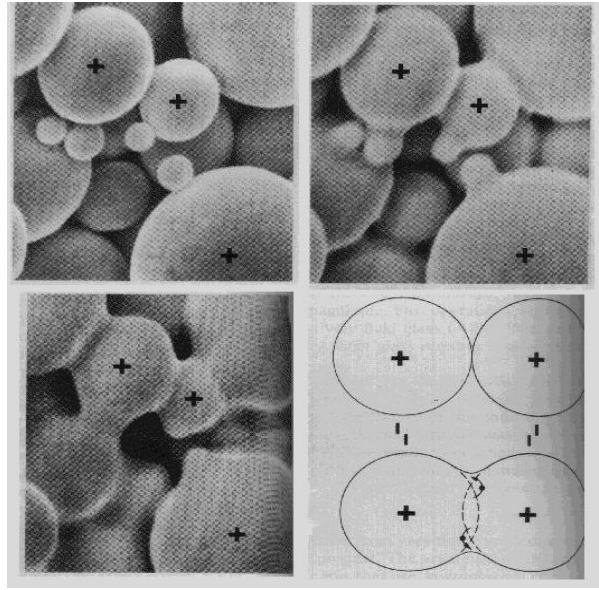
Sinterleme preslenmiş kompaktlardaki toz taneciklerin birleştirilmesi işlemidir.(Şekil 2.35.) Sinterleme sürecinde, toz parçacıkların yüksek yüzey enerjileri aşılarak, parçacıkların tam ve mükemmel bağlar oluşturulur. Bu sayede iç yapıdaki gözeneklilik sıfıra düşer.(Şekil 2.36.) Hacim başına düşen yüzey enerjisi toz parçacık çapının tersiyle doğru orantılı olduğundan, küçük toz parçacıkları daha kolay sinterlenmektedirler [Boz, 2003]. Sinterleme, istenilen yoğunluğun ve fiziksel dayanımın elde edilmesi için önemli bir aşamadır. Çünkü T/M ile elde edilen parçanın dayanımı yoğunluğuyla doğrudan ilgilidir. Aydın ve Yetgin (2006) çalışmalarında preslenen numuleri, grafit kaplar içerisinde 600 °C sıcaklıkta argon koruyucu atmosferi (Ar gazı bakır talaş içerisinde geçirilerek oksijeni alınmıştır) altında 1 saat sinterlenmiştir.



Şekil 2.35. Toz taneciklerin birleşmesi.



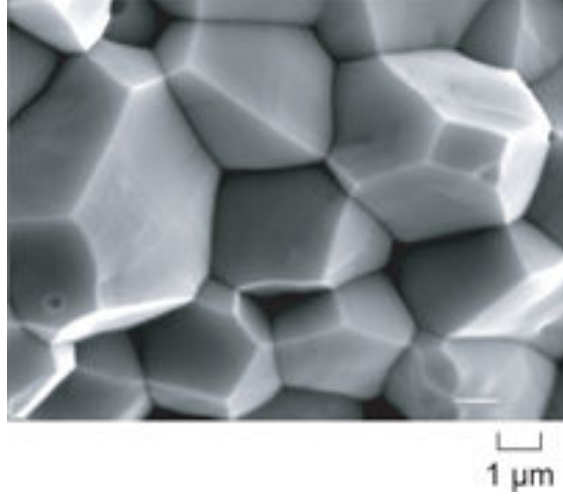
Şekil 2.36. Sinterleme süreci.



Şekil 2.37. Ni tozların 1100 °C de sinterlenmesi.

Sinterlenme işlemi sırasında bir takım olaylar meydana gelir. Bunlar; oksit indirgenmesi, bağlayıcıları kaldırılması veya kimyasal reaksiyonlardır. Örneğin; demirin sinterlenmesi sırasında, oksit indirgenmesi, yağlayıcıların dağılımı, karbon kaybı olması, sıcaklığa bağlı azot çözünübilirliği ile değişmektedir. Yüzeyin gazı dışarı atması (desorption) α' dan γ fazına dönüşüm, 900 °C üzerindeki tane büyümesi ve sıcaklığa bağlı olarak (bu dönüşüm bronz için 800 °C dir) difüzyon artışı meydana gelir. Aynı zamanda boşluk morfolojisi değişir.(Boz, 2003) Bunun yanı sıra malzemenin yapısında da değişimler olur. Seramiklerde mukavemet, ısı iletkenlik,

yoğunluk, saydamlık ve yarı saydamlık artar. Polimerde yoğunluk ve mukavemet yükselir. Metallerde iletkenlik, mukavemet ve süneklik genelde artar [Aydın, 1997].



Şekil 2.38. 1400 °C de 2 saat sinterlenen seramik malzemenin yüzey bağlantısı.

Gözenekli bronzlar ve bronzlara benzeyen alaşımlar 600 °C ile 800 °C arasında, demir grubu metallerin alaşımları ise 1000 °C ile 1300 °C arasında, sert alaşımlar 1400 °C ile 1600 °C arasında ve refrakter metaller (molibden, wolfram, tantal) 200°C ile 2900 °C arasında sinterlenirler. Sinterleme sıcaklığı gibi sinterleme süreside malzemeye göre değişmektedir. Elmas alaşımları ve refrakter metaller için yarım saatten az bir zaman yeterli olurken, sert alaşımlar ve mıknatıs alaşımlarsa olduğu gibi bir çok hallerde birkaç saat süren bir sinterleme uygulanmalıdır. Sinterleme sıcaklığı ve zamanı arasında ters oran vardır. Sinterleme sıcaklığı yüksek ise zaman az kısalır, sıcaklık azaldıkça uygulanan zaman artar.

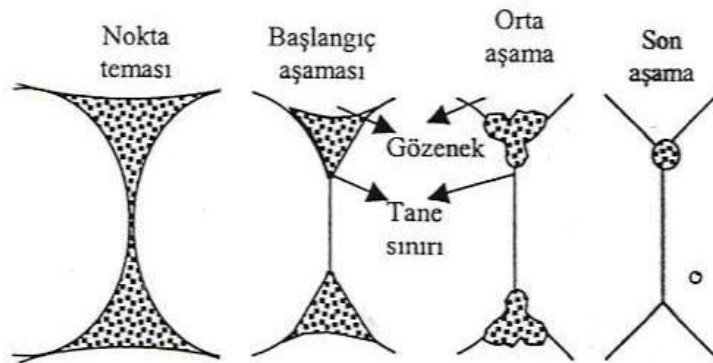
Sinterleme sıcaklığının 1050 °C civarında olması halinde nikel-krom veya demir-krom-alüminyum rezistanlı elektrik fırınları yeterlidir. 1350 °C' ye kadar silis çubuklu fırınlar kullanılmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklar için (1000 – 1600 °C) molibdenrezistanlı fırınlar; 1800 °C' ye ve daha yüksek sıcaklıklar için ise yüksek frekanslı veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar kullanılmaktadır. Molibden, wolfram, tantal gibi refrakter metallerin sinterlenmesinde 2000 °C' lık sıcaklık yeterli olmadığından, bu metaller hidrojen dolu sinter çanları içinde sinterlenirler. Sinter çanlarında parçadan akım geçirilerek, parçanın ergitilmesi için gerekenden % 10

kadar daha az güç kullanılır. Tablo 2.4.2.' de bazı metallerin sinterleme sıcaklık ve zamanları verilmiştir.

Materyal	Sıcaklık (°C)	Zaman (Dak.)
Bakır, Pirinç, Bronz	760–900	10–45
Demir, Demir grafit	1000–1150	8–45
Nikel	1000–1150	30–45
Paslanmaz çelik	1100–1290	30–60
Ferit	1200–1500	10–600
Tungsten karbid	1430–1500	20–30
Molibdum	2050	120
Tungsten	2350	480
Tantalum	2400	480

[me.gatech.edu, Şubat 2007].

Bazı T/M malzemeler için kullanılan fırınlar şu şekildedir; demir veya bronz gözenekli yataklar için, nikel-krom, demir-alüminyum, molibden ve silisyum karbürü fırınlar, sert alaşımlar için; kısa devereli karbon tüplü fırınlar, vakumlu yüksek frekanslı fırınlar, sinter mıknatıslar ve elmas alaşımlar için; molibden rezistanslı fırınlar veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar kullanılmaktadır [Aydın, 1997]. Sinterlenme sırasında tanecikler arasındaki birleşim Şekil 2.39.'deki gibi sıralanır [Boz, 2003].



Şekil 2.39. Sinterleme sırasında metalurjik bağların oluşumu ve gözeneklerin değişimi [Boz, 2003].

Presleme ve sinterleme işlemlerinin ayrı süreçler halinde olmasının yanı sıra, artık bazı malzeme ve alaşımlar için presleme+sinterleme işlemleri aynı süreçte gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme (HIP) teknikleridir. Bu uygulamada tozlar sıcaklık altında ilk olarak preslenir ve daha sonra daha yüksek sıcaklıklarda sinterlenmektedir [Turan, 2002].

4. İkincil İşlemler:

Sinterleme işleminden sonra nihai ürün dediğimiz parçaya isteğimiz doğrultusunda bir takım işlemler de yapılabilmektedir. Eğer parçaya yoğunluk kazandırılmak istenirse tekrar sıkıştırma işlemi, yüzey parlatma, birleştirme, yüzey kaplama, yüzey sertleştirme, yağ emdirme, yeniden boyutlandırma vs. işlemler yapılabilmektedir.

2.5. T/M Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

T/M' nin avantajları;

1. Malzeme kaybı yoktur,
2. Ergime kayıpları yoktur,
3. Net-shape denildiği gibi üretim sonrası elde edilen parça istenilen tolerans ve ölçüdedir,
4. Elde edilen parça düzgün yüzey kalitesine sahiptir,
5. Seri üretime uygundur,
6. Yüksek yoğunluğa sahip parçalar üretilebilir,
7. Metal matriks kompozit ve metal alaşımları üretimi yapılabilir,

8. Düşük maliyetlidir.

9. Metal olmayan malzemeler, metal asıllı ürünlerin içinde homojen bir şekilde dağıtılabilir (Boz, 2003),

10. Diğer üretim yöntemleriyle elde edilmesi zor olan gözenekli yapılar elde edilebilir,

11. Yoğunluk ve ergime noktalarındaki farklılıklarından dolayı başka yollarla üretimi imkansız olan alaşım ve karışımlar üretilebilir (Boz, 2003).

T/M' nin dezavantajları:

1. Makina ve teçhizat bakımından ilk yatırım maliyeti yüksektir.

2. Metal tozların maliyeti yüksektir.

3. Elde edilecek malzemenin boyutları sınırlıdır [Uygur, 1996].

4. Kalıplar pahalıdır

5. Güçlü presler gereklidir [Aydın, 1997].

6. Üretilen parça boyutları sınırlıdır.

3. TOZ METALURJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI

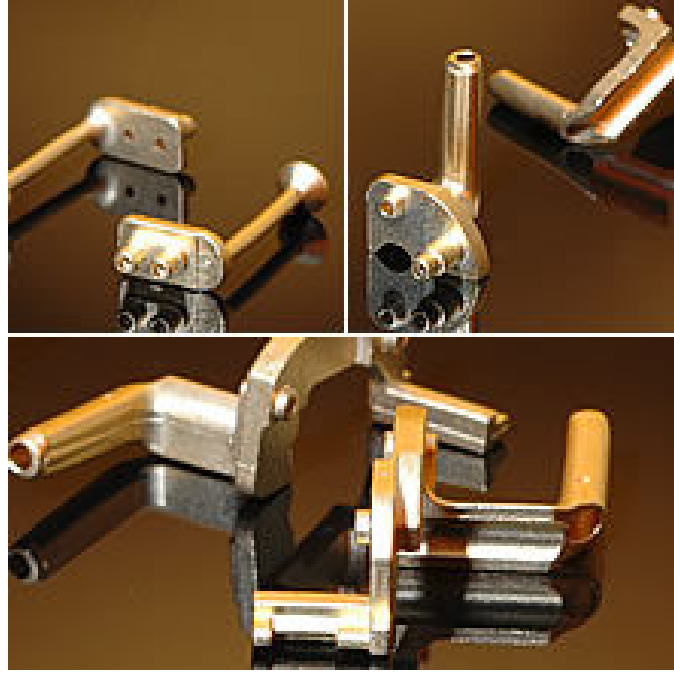
T/M ‘ de kullanılan metal tozları 200 μm ’ den küçüktür ve gelişen teknolojiyle birlikte her geçen yıl daha da küçülmektedir. T/M ile bir çok alanda uygulamalar mevcuttur. Bunlardan bazıları; kendinden yağlamalı yatak burçları, metalik filtreler, metal ve metal olmayan elemanların alaşımı, sürekli mıknatıslar, röle kontakları, elektrik ampüllerinin filamentleri, freze çakıları, elmas uçlar, sürtünmeyle çalışan yataklar, dişliler, pompalar ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır.

1- Kendinden yağlamalı yatak burçları: Demir, bakır, kalay, grafit ve stearik asit belirli oranlarda karıştırılarak preslenir. Presleme basıncı düşük tutulur. Bunun nedeni tozlar arasında gözenek kalması istenir. Presleme işleminden sonra sinterlenir. Sinterleme sırasında kalay ergir ve stearik asit yanarak kaybolur. Kalayın ergimesi sonucu, ergiyen kalay ile bakır kuvvetli bağ meydana getirirken diğer yandan ergiyen kalayın yerine boşluklar oluşur. Malzeme yapısındaki bu boşluklar daha sonra vakum altında yağ emdirilerek doldurulur. Mil ile burç arasındaki sürtünme nedeniyle yağ sürtünen yüzeylere akar ve yağlama işlemi gerçekleşmiş olur. Herhangi bir sürtünme olmadığı zaman yağ akışı durduğu için, burçlar uzun süre yağı yapılarında korurlar. Şekil 3.1. de olduğu gibi tam ve kısmi kesitli üretimleri söz konusudur.



Şekil 3.1. Kendinden yağlamalı burçlar.

2- Elektrik Kontakları: Elektrik iletkenliği fazla olan bakır ile gümüş, wolfram, molibden ve nikel tozları karıştırılarak preslenir ve sinterlenir. Elde edilen malzeme elektrik kontaklarında ve elektrik direnç kaynak elektronlarında kullanılır. Şekil 3.2. de görüldüğü gibi değışik şekil ve boyutta üretimleri söz konusudur.



Şekil 3.2. Elektrik kontakları

3- Süreli Mıknatıslar: Alüminyum, nikel ve kobaltı tozlarının %97 yoğunlukta karıştırıldıktan sonra preslenmesi sonucu çok ince yapılı ucuz mıknatıslar elde edilmektedir.

4- Sert Karbür (elmas) Kesici Uçlar: Yüksek kesme hızına sahip sert maden uçlarının, freze çakıları, kaya delme ve petrol kuyusu delme matkaplarının yapımında T/M’ den faydanılmaktadır. Sert maden uçların üretim maliyeti yüksek olduğu için küçük boyutlarda üretilip kullanılacakları takımlara sert lehimle lehimlenir. Bu uçlar wolfram karbür, titan karbür ve tantalum karbür tozlarından

üretilmektedir. Karbür tozlarının bağlayıcı maddesi olarak karışıma kobalt tozları da eklenebilir. Kobalt tozu ve wolfram karbür tozlarından üretilen kesici takım elemanlarının aşınma dayanımını arttırmak için karışıma % 40 kadar titankarbür veya tantalum karbür ilave edilebilir. Karışımda kullanılan kobalt oranı %3~13 arasındadır.

Genel uygulamalarda kullanılan sert uçlarda için %94 WC, %6 Co bulunur. Bu takımlar genellikle dökme demir ve demir olmayan metallerin işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Çeliklerin işlenmesinde ise %82 WC, %8 C ve %10 Co kullanılır. Şekil 3.3. de görüldüğü gibi üretimleri sonrası farklı bir işleme tabi tutulmadan kullanıma hazırdırlar.



Şekil 3.3. Kesici uçlar.

5- Metalik Filtreler : Presleme basıncı kontrol edilerek, karışım içindeki toz içerisinde gözenek bırakılır. Bu gözenekler sıvı gazların süzülüp filtrelenmesini sağlamaktadırlar [Aydın, 1997]. Şekil 3.4. de görüldüğü gibi değişik çaplarda üretimleri söz konusudur.



Şekil 3.4. Metalik filtreler.

6- Sürtünme Plakaları: İnce bakır plakalar üzerine bakır, kalay, silisyum, grafit ve kurşun tozlarının preslenmesi ile elde edilmektedir. Bu plakalar sinterlenerek 0.3 mm kalınlığında sürtünme diskleri elde edilmektedir. Bu diskler fren ve kavramada, havacılıkta uçak iniş takımlarında kullanılmaktadır.

7- Jeneratör Kömürleri: Bakır ve grafit tozları, preslenerek yağlama özelliğine sahip ve elektrik iletkenliği üstün bir malzeme elde edilir. Bu malzeme jeneratörlerde kullanılır.

8- Debriyaj ve Fren Balataları: Toz metalurjisi üretim tekniğinin temel avantajlarından birisi, birbirlerinden farklı özellikte veya karışmayan malzemeleri toz halinde birleştirmektir. Metal tozlar ve sürtünmeyi artırıcı reçineler ve katkı maddelerinin bu yöntemle sıkıştırılabilmesi, balataların ve debriyajların (Şekil 3.5.) üretimini de mümkün kılmıştır [Uygur, 1996)].



Şekil 3.5. Fren balataları.

9- Dişliler: İstenilen boyutta ve 1240 MPa ve üzeri yüksek mukavemete sahip dişlilerin üretimi mümkündür.



Şekil 3.6. Dişliler.

10- Diş Amalgamları: Gümüş esaslı metal tozlar diş dolgu amalgamlarının en önemli bileşenidir. Gümüş miktarı % 65 den fazla olup %30'a kadar kalay ve % 30

kadar bakır olan alaşımdan talaş kaldırma yada atomizasyon ile toz üretilir [Hiçyılmaz, 1999].

11- Savunma Sanayi: Toz metalurjisi savunma sanayinde ısı oluşturunclar, tutuşturunclur karışımclar, kibrit bileşimcleri, ateşleyicic ve geciktiricic gibi bir çok uygulamaları da desteklemektedir [Saritaş ve Ünal, 1996].

12- Akıllı Metaller: Toz metalurjisiyle tanecik boyutunun ve bileşim kontrolünün çok iyi olması nedeniyle, akıllı metallerin üretiminde oldukça yaygındır [Li et all., 2006].

13- Mermi Kovanları: Toz metalurjisi mermi kovanlarının yapımı içinde oldukça elverişlidir. Şekil 3.7. de görüldüğü gibi değişik koniklik oranları sağlanmaktadır.



Şekil 3.7. Mermi kovanları.

14- Biyopsi Aletleri: Toz metalurjisi sayesinde çok küçük boyutlu parçalara üretilbildiği için, biyopsi aletlerinin üretimi de bu yöntem ile gerçekleşmektedir. Şekil 3.8 de yer aldığı gibi diğer üretim yöntemleriyle üretilmesi zor ebatlardaki parçaların üretimi mümkündür.



Şekil 3.8. Biyopsi aletleri.

Bu uygulama alanlarının yanı sıra aşağıdaki tabloda bazı metallerin uygulama yerleri belirtilmiştir;

Tablo 3.1. Bazı metaller ve uygulama alanları.		
Uygulama	Metaller	Kullanım alanları
Aşındırıcılar	Fe, Sn, Zn	Temizleyiciler ve aşındırıcı tekerler.
Uzay	Al, Be, Nb	Jet motorları ve ısı kalkanları
Otomotiv	Cu, Fe, W	Valf girişleri, yataklar vardişliler
Elektrik	Ag, Au, Mo	Kontaktörler, diyot ısı alıcısı
Isıl işlemler	Mo, Pt, W	Fırınlr, termokapıllar
Yağlama	Cu, Fe, Zn	Kendinden yağlamalı yataklar

Manyetik	Co, Fe, Ni	Röleler, Manyetikler
Medikal	Ag, Au, W	Tıbbi cihazlar, dolgular.
Nükleer	Be, Ni, W	Kalkanlar, yansıtıcılar, filtreler

Kaynak: [me.gatech.edu, Şubat 2007].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

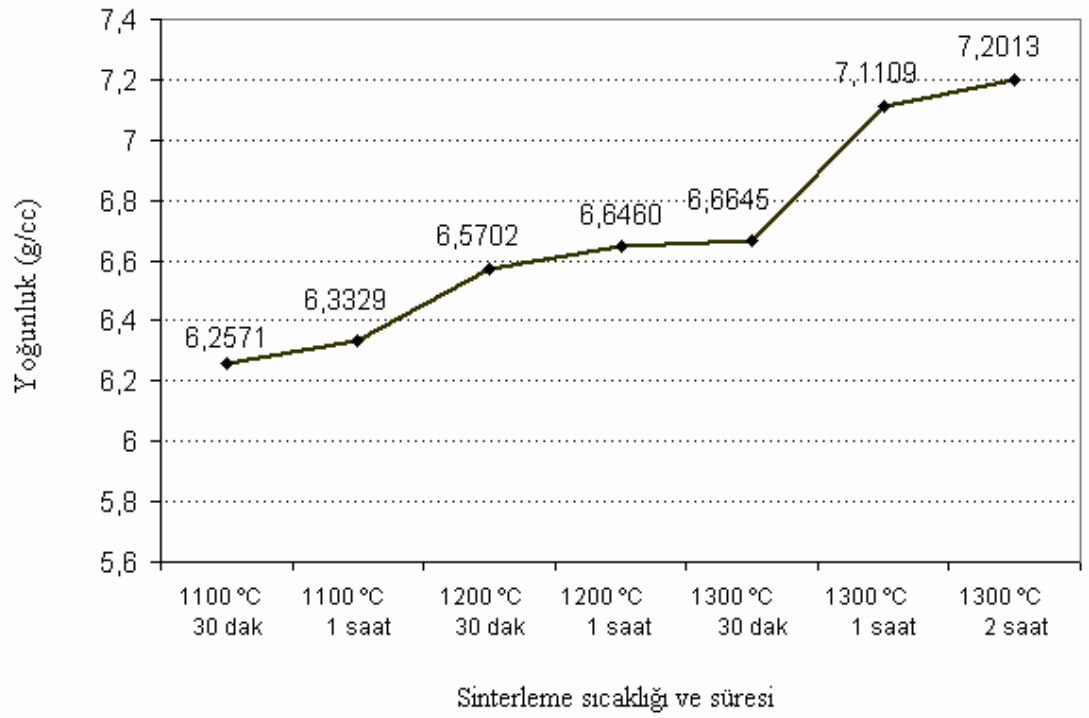
4.1. Giriş :

Bu uygulamada Toz Metal A.Ş. firması aracılığıyla Höganäs firmasından temin edilen içeriği ağırlıkça % 2,07 Cu, % 0.5 MnS, % 0.6 Grafit ve % 1 çinko stearat olan demir toz karışım kullanılmıştır. Bu uygulama için 70-80 ton basınç altında tek yönlü preslenen aynı ağırlıkta 7 adet numune farklı sinterleme sıcaklığı ve sinterleme zamanına maruz bırakılarak malzemenin yoğunluğu, dik kesiti ve yüzey kesitinin sertliği ve yüzey yapısı incelenmiştir. Numunelerin sinterleme sıcaklıkları ve sinterleme süreleri Tablo 4.1. de yer almaktadır.

Tablo 4.1. Numunelerin Hazırlanma Koşulları.		
Numune no	Sıcaklık (°C)	Zaman
I	1100 °C	30 dak
II	1100 °C	1 saat
III	1200 °C	30 dak
IV	1200 °C	1 saat
V	1300 °C	30 dak
VI	1300 °C	1 saat
VII	1300 °C	2 saat

4.2. Numunelerin İncelenmesi:

Numuneler vakumlu fırın ortamında Argon gazı altında sinterlenmiştir. Numuneler sinterlendikten sonra yoğunlukları ölçülmüştür. Numune yoğunlukları Şekil 4.1.' de gösterilmiştir

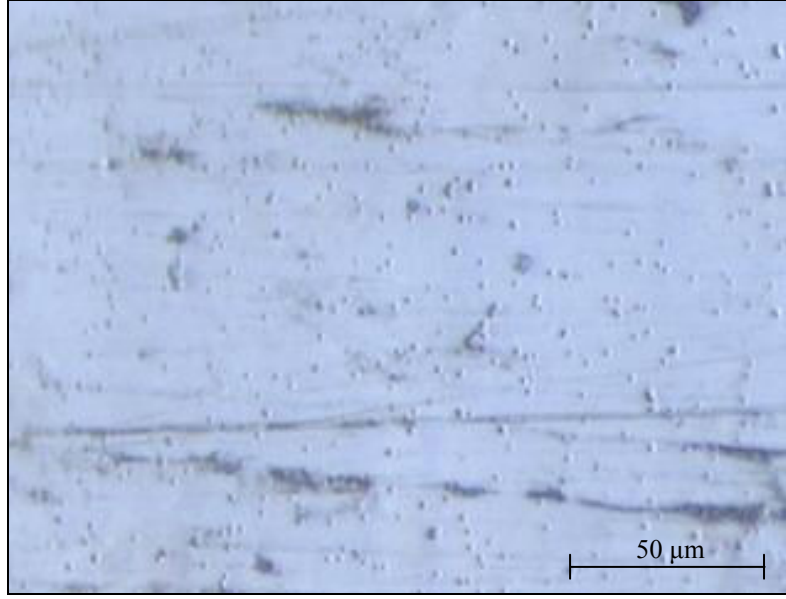


Şekil 4.1. Numunelerin sinterleme sıcaklık ve süreleri.

I no' lu numune 1100 °C sıcaklıkta 30 dakika sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 6.2571 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 71 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 94 HV 'dir.

Şekil 4.2.' de görüldüğü gibi tane sınırları çok belirgin değildir. Sinterleme boşlukları görülmektedir. Şekil 4.3. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır. Dik yüzey kesit incelendiğinde sinterleme boşluklarının yüzey kesitinden daha az olduğu ve sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. I no' lu numunenin yüzey kesiti.

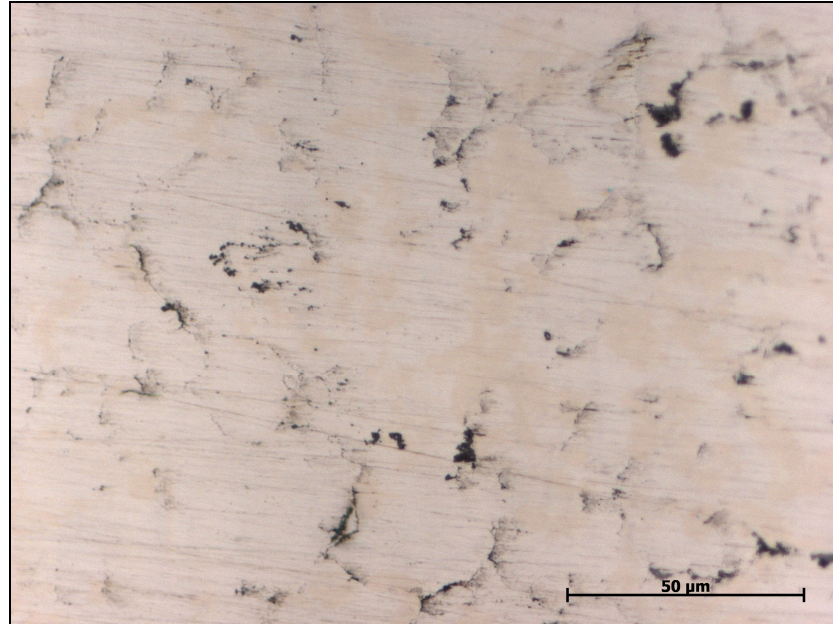


Şekil 4.3. I no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

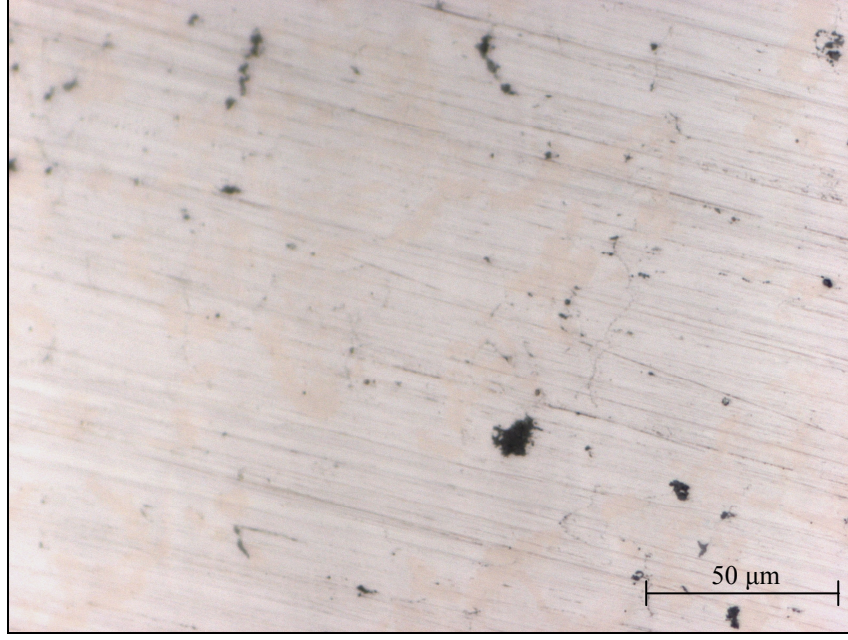
II no' lu numune 1100 °C sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 6.3329 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 86 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 96 HV 'dir.

Yüzey kesitleri incelendiğinde tane sınırları oldukça belirgin olmakla birlikte sinterleme boşlukları I no' lu numuneye nazaran daha azdır. Şekil 4.4.' de görüldüğü gibi yüzey kesit oldukça homojendir. Şekil 4.5. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır. Dik yüzey kesit incelendiğinde sinterleme boşluklarının yüzey kesitinden daha az olduğu ve sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. II no' lu numunenin yüzey kesiti.

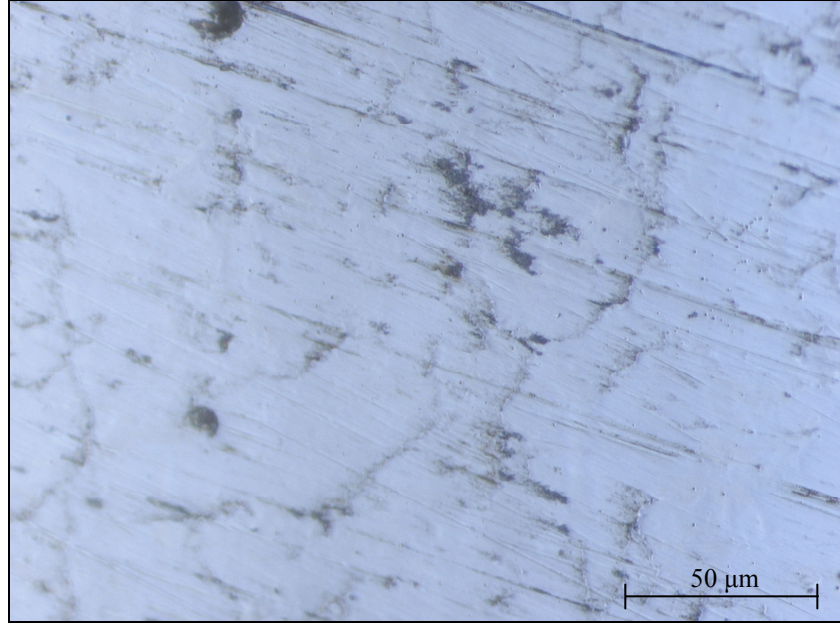


Şekil 4.5. II no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

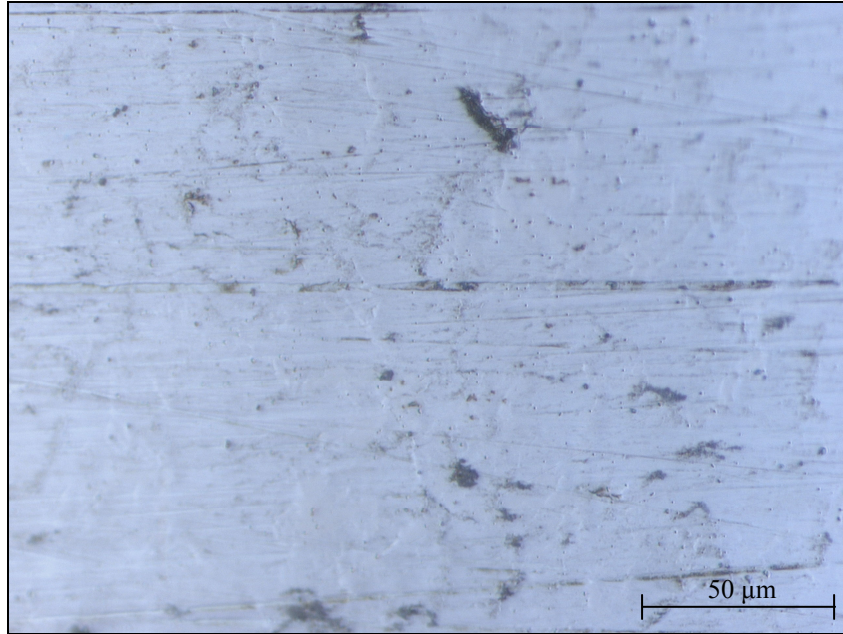
III no' lu numune 1200 °C sıcaklıkta 30 dak. sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 6.5702 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 101 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 101 HV 'dir.

Şekil 4.6.' de görüldüğü gibi tane sınırları oldukça belirgin olmakla birlikte sinterleme boşlukları I ve II no' lu numuneye nazaran daha azdır ve yüzey kesit oldukça homojendir. Şekil 4.7. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır.



Şekil 4.6. III no' lu numunenin yüzey kesiti.

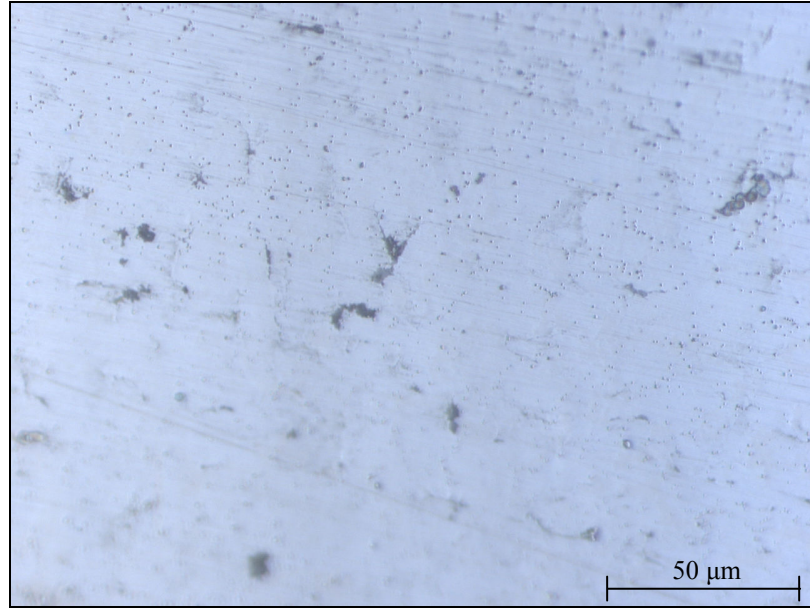


Şekil 4.7. III no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

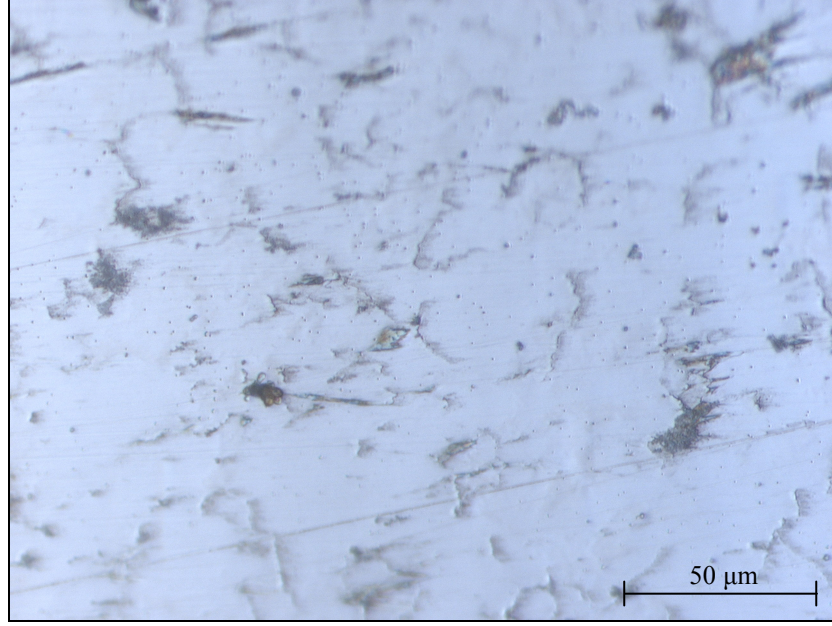
IV no' lu numune 1200 °C sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 6.6460 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 101 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 103 HV 'dir.

Şekil 4.8.' de görüldüğü gibi yüzey kesit oldukça homojendir ve sinterleme boşlukları belirgindir. Şekil 4.9. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır. Dik yüzey kesit incelendiğinde sinterleme boşluklarının yüzey kesitinden daha az, tane sınırlarının daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. IV no' lu numunenin yüzey kesiti.

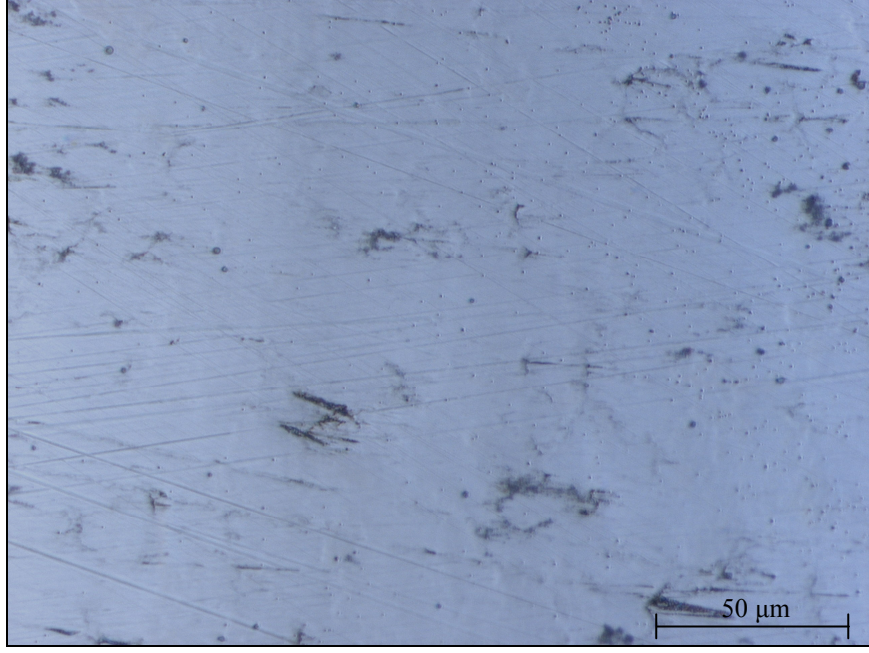


Şekil 4.9. IV no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

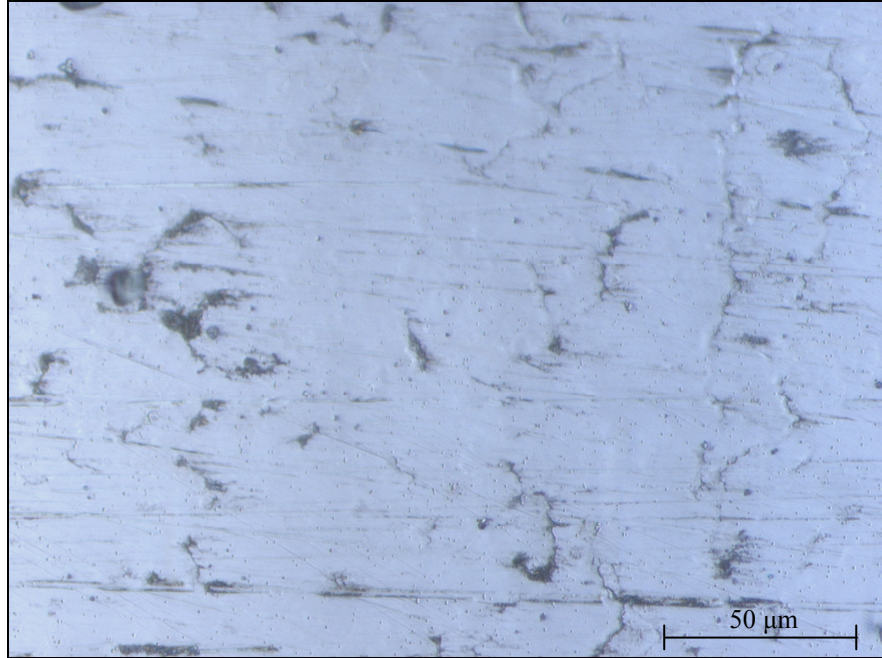
V no' lu numune 1300 °C sıcaklıkta 30 dak sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 6.6645 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 102 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 105 HV 'dir.

Yüzey kesitleri incelendiğinde tane sınırları belirgin olmakla birlikte sinterleme boşlukları diğer numunelere nazaran daha azdır. Şekil 4.10.' de görüldüğü gibi yüzey kesit oldukça homojendir. Şekil 4.11. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır. Dik yüzey kesit incelendiğinde sinterleme boşluklarının yüzey kesitinden daha az olduğu ve sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10. V no' lu numunenin yüzey kesiti.

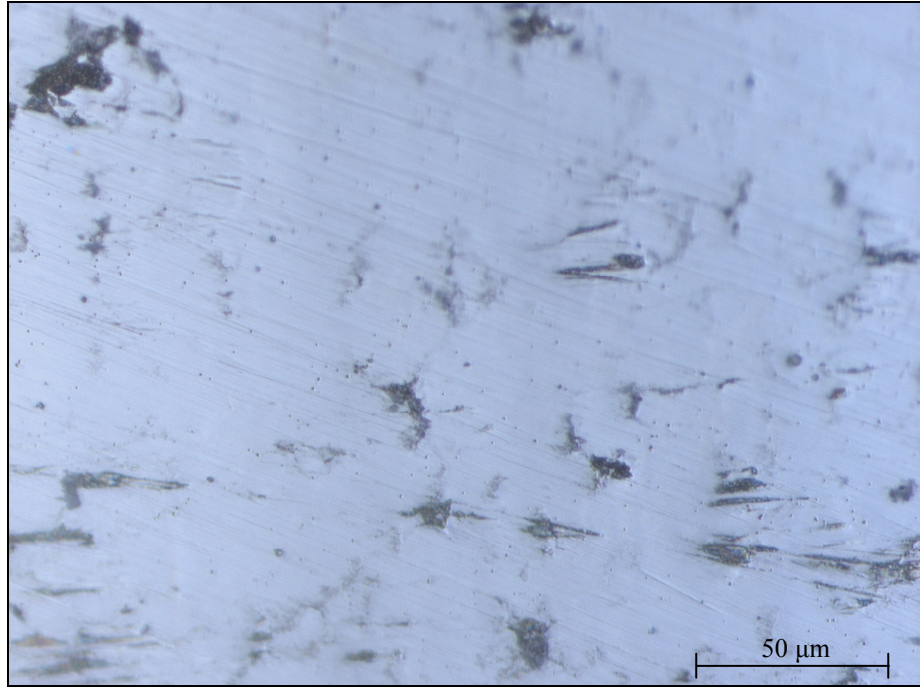


Şekil 4.11. V no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

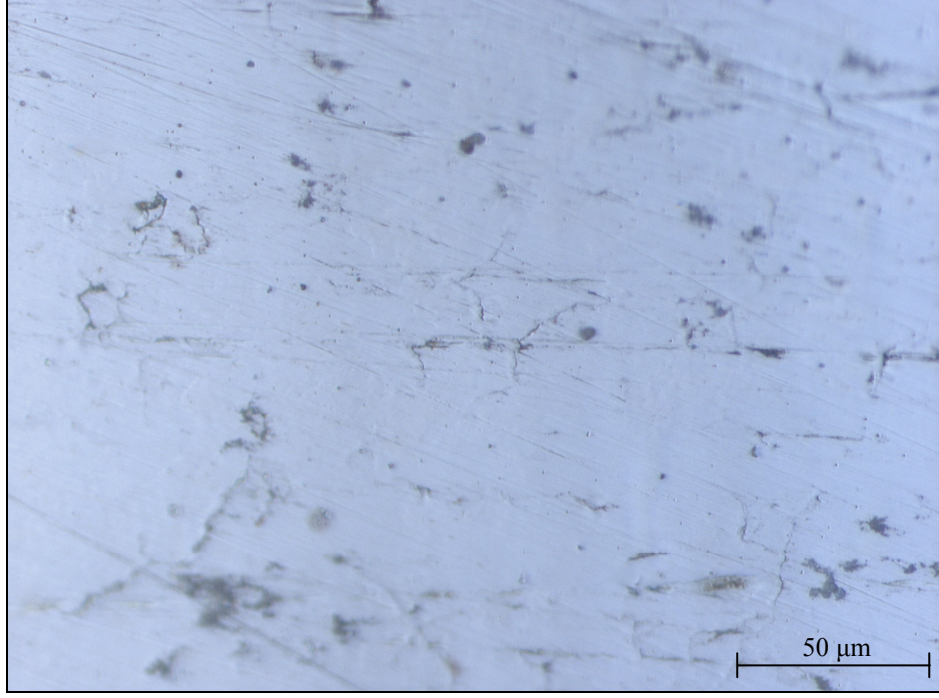
VI no' lu numune 1300 °C sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 7.1109 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 108 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 115 HV 'dir.

Yüzey kesitleri incelendiğinde tane sınırları oldukça belirgin olmakla birlikte sinterleme boşlukları diğer numunelere nazaran daha azdır. Şekil 4.12.' de görüldüğü gibi yüzey kesit homojendir. Şekil 4.13. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır. Dik yüzey kesit incelendiğinde sinterleme boşluklarının yüzey kesitten daha az olduğu ve sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. VI no' lu numunenin yüzey kesiti.

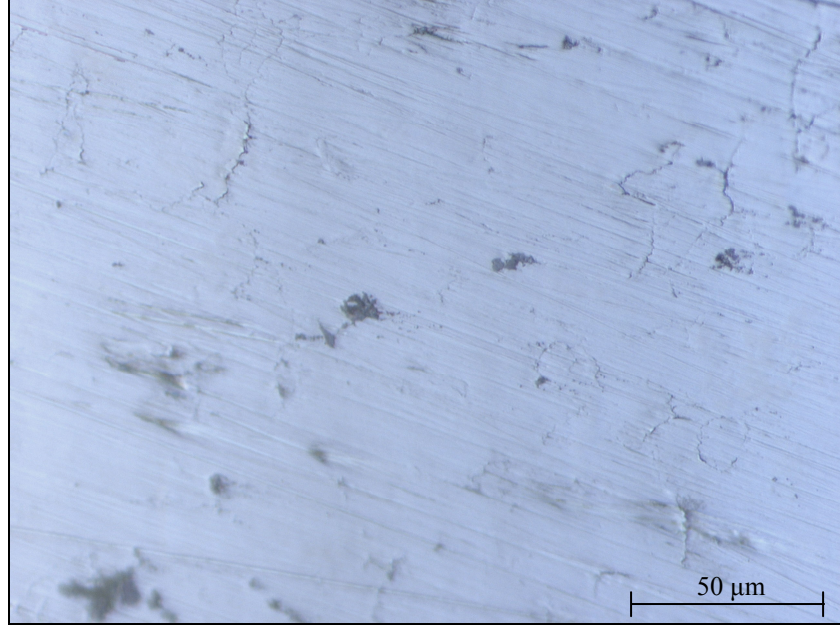


Şekil 4.13. VI no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

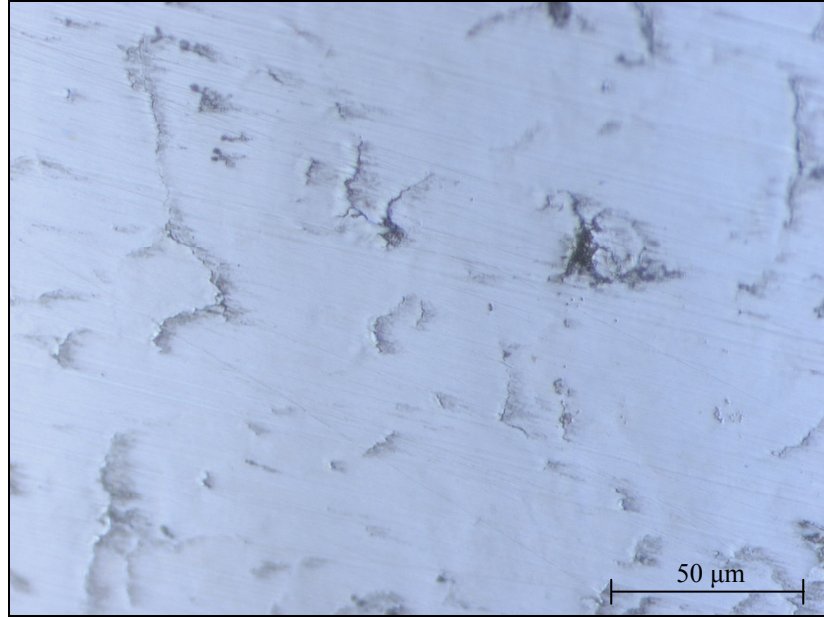
VII no' lu numune 1300 °C sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiştir. Sinterlenen numunenin yoğunluğu 7.2013 g/cc olarak ölçülmüştür.

Numunenin presleme kuvvetine dik olan yüzey kesitinin sertlik değeri numuneden alınan değerlerin ortalaması olarak 112 HV olarak bulunmuştur. Numunenin dik kesitinin sertlik değeri ise 122 HV 'dir.

Şekil 4.14.' de görüldüğü gibi yüzey alan oldukça homojendir sinterleme boşlukları oldukça azdır.. Şekil 4.15. de ise dik yüzey kesit yer almaktadır. Dik yüzey kesit incelendiğinde sinterleme boşluklarının yüzey kesitinden daha az ve tane sınırlarının daha belirgin olduğu ve sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

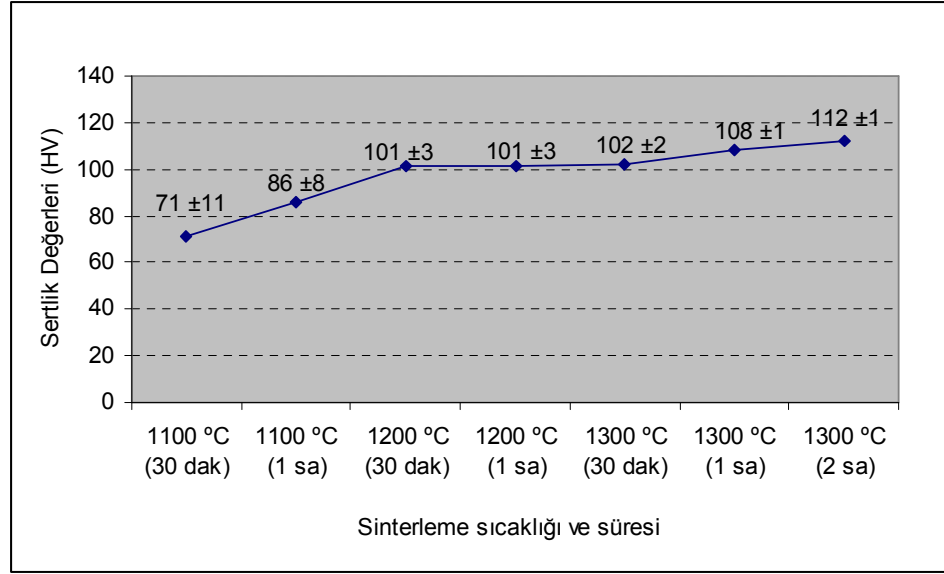


Şekil 4.14. VII no' lu numunenin yüzey kesiti.

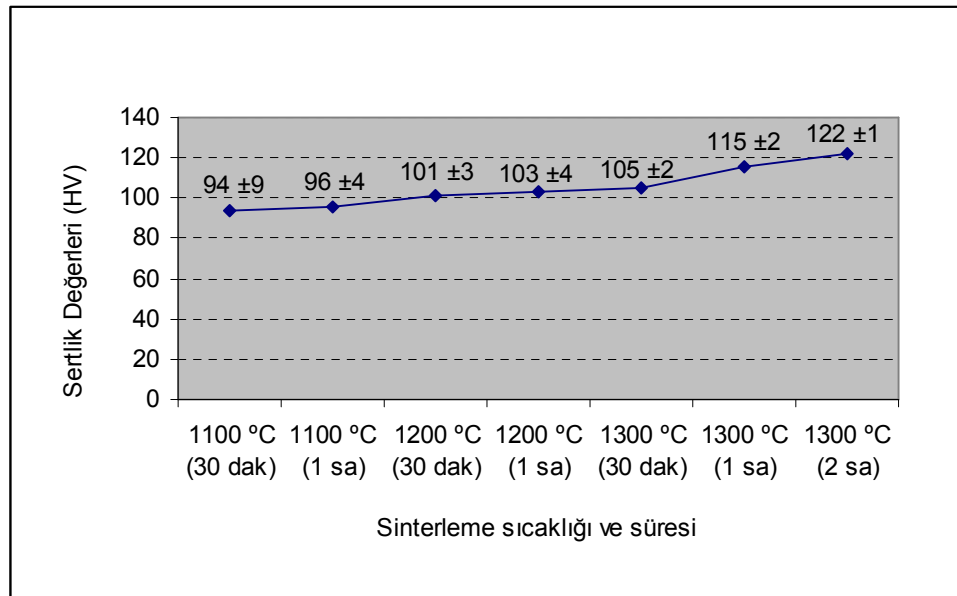


Şekil 4.15. VII no' lu numunenin dik yüzey kesiti.

Numunelerinin yüzey alan ve dik yüzeyin sertlik değerleri Şekil 4.16. ve Şekil 4.17. ' de yer almaktadır.



Şekil 4.16. Numunelerin yüzey alan sertlik değerleri.



Şekil 4.17. Numunelerin dik yüzey sertlik değerleri.

4.3. Deneysel Sonuçlar:

Numuneler üzerinde yapılan yoğunluk, sertlik deneyi ve yüzey analizi sonucu;

1- Numunelerin argon gazı altında vakumlu ortamda sinterlenmeleri neticesinde numune yüzeylerinde herhangi bir oksitlenme görülmemektedir. Sinterleme sonrasında numunelerin yoğunlukları ölçülmüştür. Numunelerin yoğunluk değerleri sinterleme sıcaklık ve sürelerine bağlı olarak ilk numuneden son numuneye doğru artış göstermektedir.

2- Numunelerin yapısı karşılaştırıldığında, I no' lu numunenin daha gözenekli yapıya sahip olduğu görülmektedir. En homojen yapıya sahip olan numune VII no'lu numunedir ve I no'lu numuneden VII no' lu numuneye kadar gözeneklilik azalmakta ve yapı daha homojen duruma gelmektedir. Numunelerin yüzey yapısında tane sınırları belirgindir.

3- Numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, sertlik değerlerinin sinterleme sıcaklığı ve süresine doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra sertlik değeri yüzey kesitinde dik yüzey kesit sertlik değerine nazaran daha düşüktür. Sertlik değeri ilk numuneden son numuneye kadar düzenli bir artış göstermektedir. Sertlik değeri yüzey kesitte ve dik yüzey kesitte en düşük numune I no' lu numune olmakla birlikte, sertlik değeri en yüksek olan numune VII no'lu numunedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma, toz metalurjisinin en basit anlamda tanımı ve nasıl uygulandığını içermektedir. Bunun yanı sıra toz metalurjisinin en eski uygulamalarından örneklerle, teknolojinin el verdiği yenilikleri içerisine katarak günümüze kadar nasıl uzandığını anlatmaktadır. En önemli toz üretim yöntemi olan atomizasyonun tanımı ve atomizasyon yöntemleri detaylı olarak anlatılmaya çalışılmıştır. Günümüzde uygulanmakta olan en yaygın atomizasyon yöntemleri, sistem düzenekleri ve bu yöntemlerle elde edilen tozun yapısal özelliklerine detaylı olarak yer verilmiştir. Bunun yanı sıra günümüzde en çok uygulanan toz metalurjisi örnekleri sunulmuştur.

Genel olarak anlatımın yanı sıra, çalışmayı hem görsel hemde somut verilerle desteklemek amacıyla deney çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar; sinterleme koşulu, sinterleme sıcaklığı ve süre göz önüne alınarak numunelerin sertlik değerleri ve yüzey analizeleri karşılaştırmalarını ve yoğunluk değerlerini içermektedir. Deney sonuçları karşılaştırılarak, sıcaklık ve zaman faktörlerinin numune yapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney uygulamaları sırasında en büyük sorun; numunenin sinterlenmeden önceki haliyle dış etkenlere karşı mukavemetinin düşük olmasıdır. Numune üzerinde sertlik değeri alınırken, malzemenin gözenekli yapısı nedeniyle aynı noktadan bir defada çok sağlıklı değer alınamadığı için bir kaç kez işlem yapıldı. Bu da zaman açısından sıkıntı yaratmıştır.

Yapılan çalışma daha çok güncel örneklerle zenginleştirilebilir. Deney çalışmalarında numuneler üzerinden alınan sertlik değerleri, sinterleme sıcaklığı ve zamanı dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. İstenirse bu değerler toz karışım içerisine farklı metaller eklenerek malzeme yapısı ve sertlik değerleri incelenebilir. Bir başka uygulama da presleme basıncı değiştirilerek malzeme yapısındaki gözeneklilik oranı, malzemenin yoğunluğu ve mukavemeti gibi değerler karşılaştırılabilir. Yapılan uygulamada sinterleme sonrası ikinci kez presleme yapılmamıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra malzeme yapısı incelenebilir ve presleme öncesi ve sonrası değerler karşılaştırılabilir. Bu deneysel uygulamada yalnızca sertlik deneyi verileri değerlendirilmiştir. Bu deneyin yanısıra çekme deneyi ve basma deneyi gibi parçanın

diğer mukavemet özellikleri zaman kısıtlılığı nedeniyle incelenememiştir. Bir başka çalışmada bu özelliklerde dikkate alınabilir.

KAYNAKLAR

Açma, E. ,Sönmez, Ş., (2000), İki Değerli Demir Sülfattan Demir Tozu Üretimi, Türk J. Engin. Environ. Sci. 25 , s. 211- 218 ,TÜBİTAK.

Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M. , (1999), İmal Usulleri, , İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul

Aydın, M., Yetgin,H., (2006) MMK Üretiminde Farklı Tasarımlardaki Karıştırıcıların Etkisinin Araştırılması , Teknoloji, Cilt 9, Sayı 1, 39-46

Aydın, R., (1997), T/M Çelik Parçalarda Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Aydın, Ş., (1997), Toz metalurjisi Yöntemleri iile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Boz, M., (2003), Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme- Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ankara

Demir, A., (1992), Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi. Ankara

Ekşi A. ,Sarıtaş S., (2002), Effects of Powder Hardness and Particle Size on the Densification of Cold Isostatically Pressed Powders, Turkish J. Eng. Sci., s: 377-384, Tübitak

German, R., M., (2005), Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing.

Hatman, A., Karagöz, Ş., (1993), 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi “Su atomize CuZn42 alaşımı tozu üretimi ve su basıncının toz özelliklerine etkileri”, s. 553-565, Ankara.

Hiçyılmaz, N. (1999), Toz Metalurjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Karataş, Ç., Sarıtaş, S., (1998), 316 Paslanmaz Çelik Tozları ve Polipropilen Esaslı Bağlayıcı Karışımlarının Reolojik Özellikleri, Ankara

Kayış, V., (2005), Kısmi ve Ön Alaşımli Demir Tozları İçerisine Katılan B ve Fe İlavelerin Sinterleme Davranışları ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul

Kurt, A.O., Davies, T.J., (1996), A Study of Compaction of Metal Powders, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı 16-17 Eylül 1996, Gazi Üniversitesi, Ankara

Lawley, A., (1992), Atomization The Production of Metal Powders.

Lenel, F., V., (1980), Powder Metallurgy Principles and Application.

Li, Y. Y., Ngai, T.L., Zhang, D.T., Long, Y., Xia, W., (2002), Effect of die wall lubrication on warm compaction powder metallurgy, Journal of Materials Processing Technology 129 (2002) 354-358.

Li, Z., Pan, Z.Y., Tang, N., Jiang, Y.B., Liu, N., Fang, M., Zheng, F., (2006), Cu–Al–Ni–Mn shape memory alloy processed by mechanical alloying and powder metallurgy, Materials Science and Engineering A 417 (2006) 225–229

Onur, A., (1996) Yağ Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Özyürek, D., Özbilen, S., Çetinkaya, C., (2004), Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Titanyum Bazlı Malzemelerin Atritör Tipi Değirmenlerde Öğütülebilme kabiliyetlerinin İncelenmesi, Teknoloji, Cilt 7, Sayı 4, 629-636

Pavlovic, G. M., Popov, K. I., (2005), Metal Powder Production By Electrolysis, December, 2005

Pavlovic, M.,G., Pavlovic, Lj., J., Ivanovic, E., R., Radmilovic, V., Popov, K., I., (2001), The Effect of Particle Structure on Apparent Density of Electrolytic Copper Powder, J. Serb. Chem. Soc. 66 (11-12)923.

Sarıtaş, S., (1996), Bir Titreşimli Öğütücü İmalatı ve Metal Tozlarının Öğütmeye Bağlı Özelliklerinin Araştırılması, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.387-395, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Sarıtaş, S., Ünal, İ., (1996), Piroteknik Uygulamalarda Toz Metalurjisi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s. 315- 333, Gazi Üniversitesi, Ankara

Turan, P., 2002, W-Ni-B ve W-Ni Ağır Alaşımlarının Karşılaştırmalı Sinterleme Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Uygur, M., E., (1996), Balata Üretim Teknoloji, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.485, Gazi Üniversitesi, Ankara

Uygur, M., E., (1996), Toz Metalurjisi: Ekonomik Bir Üretim Tekniği, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.485, Gazi Üniversitesi, Ankara

Yavuz, N., Güner, R., (2002), Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağından Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, S. 221-228.

Yılmaz, N., F., 1996, Production of Metal Powders by Gas Atomization, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep.

www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm, Erişim Tarihi (Ekim 2006)

www.aselsan.com.tr, Erişim Tarihi (Ekim 2006)

www.mpif.org/apmi/doc4.htm , Erişim tarihi (Şubat 2007)

www.metal-powder.net, (Kasım 2002)

www.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4210/powder.pdf, (Şubat 2007)

ÖZGEÇMİŞ

Mediha SÖYLER, 1982 yılında Adana da doğmuştur. Lise öğrenimini Adana Merkez Endüstri Meslek Lisesi Tesviye bölümünde tamamladı. 1999 yılında başlamış olduğu Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Öğretmenliği programını 2003 yılında bitirdi. 2004 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.