

83939

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEMİR ESASLI MOLİBDEN, NİKEL, BAKIR KATKILI TOZ METAL
ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE BAKIR ORANININ
ETKİSİ

İlyas SOMUNKIRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ELAZIĞ

1999

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEMİR ESASLI MOLİBDEN, NİKEL, BAKIR KATKILI TOZ METAL
ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE BAKIR ORANININ
ETKİSİ

İlyas SOMUNKIRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu Tez,Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği /
Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)
Danışman

(İmza)
Üye

(İmza)
Üye

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../.....
tarih ve sayı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****DEMİR ESASLI MOLİBDEN, NİKEL, BAKIR KATKILI TOZ METAL ALAŞIMININ
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE BAKIR ORANININ ETKİSİ****İlyas SOMUNKIRAN****Fırat Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı**

Bu çalışmada, Distaloy AE toz alaşımındaki artan bakır miktarının mekanik özelliklere etkisi incelendi.

Distaloy AE içindeki bakır miktarı %1.5 dan %6.5'e kadar artırıldı. Mekanik özellikler olarak çekme dayanımı, basma dayanımı ve sertlik değerleri her bir alaşım kompozisyonu için belirlenmiştir. Bütün numuneler çift etkili bir preste sabit pres kuvveti altında soğuk olarak preslenerek ve 1130⁰C sıcaklıkta 30 dakika süreyle Propan gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Baz olarak Distaloy AE tozu seçilmiştir ve ağırlıkça sırasıyla %0.5, %1, %2, %3, %5 Bakır tozları ilave edilmiştir.

Mekanik özellikleri belirleyebilmek için çekme, basma ve sertlik deneyleri yapıldı. Her bir alaşım gurubunun yoğunluğu belirlenerek Distaloy AE alaşımındaki artan bakır oranının yoğunluğa etkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak, alaşımlardaki bakır oranı artarken çekme, basma ve sertlik değeride artmaktadır. Ancak, %2.5Cu oranına kadar yoğunluğu artarken daha yüksek bakır ilaveleri için yoğunluk düşmektedir.

Anahtar Kalimeler: Toz Metalurjisi, Demir Esaslı Alaşımlar, Distaloy AE, Mekanik Özellikler

ABSTRACT**MSC THESIS****THE EFFECT OF COPPER CONTENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
IRON BASED MOLIBDENIUM, NICKEL AND COPPER ADDITIVE
POWDER METAL ALLOY****Ilyas SOMUNKIRAN**

**Firat University
Graduate School of Natural
Department of Metalurgy Education**

In this study, the effects of copper content of Distaloy AE powder alloy on the mechanical properties were investigated. Copper content of Distaloy AE was increased from 1.5% to 6.5% Mechanical properties such as ultimate, tensile strength, compression strength and hardness properties were determined for each alloy composition. All specimens were cold compacted in a double action press under a constant press force and sintered at 1130°C for 30 minutes in a propan gas atmosphere. As a based powder, Distaloy AE powder was choosen as the base material and copper powder was added 0.5%, 1%, 2%, 3% and 5% in weight . To be able to determine mechanical properties, tensile, compression and hardness tests were performed. Density of each alloy groups was determined and the effect of increasing copper content on the density of (Distaloy AE + Cu) alloys was investigated

It is concluded that with the increasing copper content, ultimate tensile strength, compression strength and hardness values increase. However, density of alloys increases up to 2.5% copper content and then decrease with higher copper content.

Key Words : Powder Metallurgy, Iron Alloy, Distaloy AE, Mechanical Properties

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesine yardımcı olan ve çalışmalarımın her safhasında büyük ilgi ve yakınlık gösteren danışman hocam Doç. Dr. Halis ÇELİK' e şükranlarımı sunarım. Ayrıca Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü hocalarından Doç. Dr. Remzi Varol ve Yrd. Doç. Dr. Şevki Y. GÜVEN' e, Toz Metal A.Ş Fabrikasına, ayrıca hayatımın her döneminde manevi katkı, emek ve anlayış gösteren Aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
ÇİZELGELER LİSTESİ	IX
1.GİRİŞ	1
1.1.Toz Metalurjisinin Tanımı ve Tarihi Gelişimi	1
2.TOZ METALURJİSİ TEKNOLOJİSİ	3
2.1. Metal Toz Üretim Yöntemi	4
2.1.1. Mekanik Pülverizasyon Yöntemi	4
2.1.2. Erimiş pulverizasyon Yöntemi	6
2.1.2.1. Atomizasyon Yöntemi	7
2.1.3. Metalsel Tozların Fiziko-Kimyasal Özellikleri	11
2.1.3.1. Numune Alma	11
2.1.3.2. Tane Büyüklüğü	11
2.1.3.3. Tane Şekli	13
2.1.3.4 Görünen Yoğunluk	14
2.1.3.5. Akış Hızı	14
2.1.3.6. Sıkıştırılabilirlik	15
2.1.3.7. Kimyasal Özellikler	16
2.2. Tozların Karıştırılması	16
2.2.1. Kullanılan Yağlayıcılar	17
2.2.2. Preslenmeden Evvel Metalsel tozların ısıt işlemleri	18
2.3. Presleme(Sıkıştırma ve Briketleme)	19
2.3.1. İzostatik Sıkıştırma	22
2.3.2.Tozların Haddelenmesi	23
2.4. Sinterleme	23

2.4.1. Sinterleme atmosferleri	25
2.4.2. Sinterleme fırınları	26
2.4.3. Sinterlemeiş Mamullerin Fiziksel Özelliklerinin Ergime ile Elde Edilenlerle karşılaştırılması	27
2.4.4. Sinterlenmiş Bakır metalinin özellikleri	28
2.4.5. Sinterleme İşleminin Sonuçları	30
3. SİNERLEME SONRASI TAM YOĞUNLUK TEKNİKLERİ	32
3.1. Ütöleme	32
3.2. Toz Dövme	32
4. TOZ METALURJİSİ MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	34
4.1. T/M parçaların sertlik özellikleri	34
4.2. T/M Parçalarının Çekme, Yorulma ve Darbe Mukavemeti	35
5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
5.1. Deneyde Kullanılan Malzeme	37
5.1.1. Toz karışımının özellikleri	37
5.1.2. Tozların hazırlanması	38
5.1.3. Kalıp yapımı	40
5.1.4. Tozların Preslenmesi	40
5.1.5. Sinterleme	42
5.2.Sinterlenmiş Numunelerin Karakterizasyon Çalışmaları	42
5.2.1. Sertlik Ölçümleri	42
5.2.2. Yoğunluk Ölçümü	43
5.2.3. Çekme Deneyi	48
5.2.4. Basma deneyi	49
5.2.5. Mikroyapı Analizi	51
6.SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
KAYNAKLAR	

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Toz Metalürjisi imalat safhaları	3
Şekil 2.2. İçte ve dışta karıştırma	9
Şekil 2.3. Yassı hüzmeli V jetleri	9
Şekil 2.4. Döner disk atomizasyon modeli	10
Şekil 2.5. Döner elektrod yöntemi	10
Şekil 2.6. Küresel ve pul şeklindeki parçalar	12
Şekil 2.7. Toz tane şekilleri	13
Şekil 2.8. Hall akış hunisi	14
Şekil 2.9. Şev açısı	15
Şekil 2.10. Tek hareketli sıkıştırma	20
Şekil 2.11. Çift hareketli sıkıştırma	21
Şekil 2.12. İzostatik presleme yöntemleri	22
Şekil 2.13. Toz haddeleme	23
Şekil 2.14. Sinterleme sırasında nokta teması bağlarının gelişimi	24
Şekil 2.15. a) Bir metalin tana yap b) Metal tanelerinin atomik yapısı c) α -Fe ve γ -Fe'in birim hücreleri	25
Şekil 2.16. Sinter fırınının şematik gösterimi	26
Şekil 2.17. Çeşitli sıcaklıklarda Sinterlenen Demirle Ergime yolu ile elde edilen saf demirin mukayeseli yapıları	27
Şekil 3.1. Toz dövme akış şeması	33
Şekil 4.1. Altın ve Bakırın sıkıştırma basıncına bağlı sertlik değerinin değişimi	34
Şekil 4.2. Hadde ve T/M çeliklerin yorulma özelliklerinin mukayesesi	35
Şekil 4.3. Kalıcı gözenekliliğin mekanik özelliklere etkisi	36
Şekil 5.1. a) Distaloy AE tozlarıyla üretilmiş Kilit parçalar b) Distaloy AE tozlarıyla üretilmiş Ev aletlerinin parçaları	37
Şekil 5.2. Elektron mikroskobu ile elde edilmiş Distaloy AE tozunun şekli	38
Şekil 5.3. Karıştırıcı	39

VII

Şekil 5.4. Çift etkili sabit kalıp	41
Şekil 5.5. Elektrikle çalışan Sinter fırınının şematik resmi	42
Şekil 5.6. Artan bakır oranının sertlik değerine etkisi	43
Şekil 5.7. Artan bakır oranının yoğunluğa etkisi	44
Şeki 5.8. Parlatılmış %100 Distaloy AE numunesinin mikroyapısı. 100X	45
Şekil 5.9. Parlatılmış %99,5 Distaloy AE + %0,5 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X	45
Şekil 5.10. Parlatılmış %99 Distaloy AE + %1 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X	46
Şekil 5.11. Parlatılmış %97 Distaloy AE + %3 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X	46
Şekil 5.12. Parlatılmış %95 Distoloy AE + %5 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X	47
Şekil 5.13. Çekme deney numune	48
Şekil 5.14. Üniversal çekme – basma deney makinası	48
Şekil 5.15. Artan Bakır oranının Çekme Dayanımına etkisi	49
Şekil 5.16. Basma deney numunesi	50
Şekil 5.17. Bakır oranın Basma mukavemetine etkisi	50
Şekil 5.18. %100 Distaloy AE toz alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X	51
Şekil 5.19. %100 Distaloy AE toz alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X	52
Şekil 5.20. %99,5 Distaloy AE + 0,5 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X	52
Şekil 5.21. %99,5 Distaloy AE + 0,5 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X	53
Şekil 5.22. %99 Distaloy AE + 1 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X	53
Şekil 5.23. %99 Distaloy AE + 1 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X	54

VIII

Şekil 5.24. %98 Distaloy AE + 2 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100x	54
Şekil 5.25. %98 Distaloy AE + 2 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X	55
Şekil 5.26. %97 Distaloy AE + 3 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X	55
Şekil 5.27. %97 Distaloy AE + 3 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X	56
Şekil 5.28. %95 Distaloy AE + 5 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X	56
Şekil 5.29. %95 Distaloy AE + 5 Bakır tozu alaşımının 1130 ⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X	57

ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Toz Metalurjisinin tarihi gelişimi	2
Çizelge 2.1. Metal Tozların üretimi	5
Çizelge 2.2. Standart elek takımı	12
Çizelge 2.3. Tavlı ve tavsız demir tozlarının analizi	19
Çizelge 2.4. Tav sıcaklığına bağlı olarak (D.P.G) demir tozunun sinterleme ve sıkıştırılabilme özelliklerinin değişimi	19
Çizelge 2.5. Tane büyüklükleri birbirinden farklı çeşitli sıcaklıklarda sinterlenmiş bakır tozunun sertlikl	29
Çizelge 4.1. Hadde ve T/M Çeliklerin özelliklerinin Mukayesesi	35
Çizelge 5.1. Elek analizi sonuçları (100gr numune için)	39
Çekilge 5.2. Sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen değerler.	43
Çizelge 5.3. Ölçülen teorik ve sinterleme sonrası yoğunluk değeri	44
Çizelge 5.4. Çekme deneyi sonunda elde edilen değerler	49
Çizelge 5.5. Basma deneyinde elde edilen değerler	50

1. GİRİŞ

1.1 Toz Metalurjisinin Tanımı ve Tarihi Gelişimi

Toz metalürjisi (T/M), metal tozlarından kütleli gereçler ve şekillendirilmiş parçalar üretme teknolojisi ve sanatıdır.

T/M üretim yöntemleri, diğer metal şekillendirme yöntemlerinden tamamen farklıdır ve seramik parça üretme teknolojisine benzemektedir. İşleme her iki halde de tozların bir kalıp içerisinde sıkıştırılmasıyla başlanır. Oluşturulan şekil pişirilerek (sinterleme) gerekli mukavemete kavuşturulur. Seramiklerin şekillendirilmesi sırasında seramiklere göre en önemli fark metal tozlarından üretilen pişirilmiş parçaların kuvvet altında kolayca şekil değiştirebilmeleridir.

T/M bilinen en eski metal şekillendirme yöntemidir. İlk insanlar doğada saf haliyle bulduğu metalleri ergitemediğinden onları çekiçle döverek birleştirmeyi gerçekleştirmişlerdir. M.Ö. 3000 yılında sünger demirden çeşitli el aletleri üretmişlerdir (Çizelge 1.1). Bu tür üretimlerden biri olan Yeni Delhi kolonu ise 6.5 ton ağırlığında olup, M.S. 300 yılında sünger demirden üretilmiş ve şekillendirilmiştir (Ersümer, 1970).

Otomotiv sanayiinde meydana gelen büyük gelişmeler T/M yöntemlerini de birlikte büyütüştür. 1940'lı yıllarda toz metal ürünü olarak en çok bakır esaslı kendinden yağlamalı yataklar üretilmiştir. 1950'li yıllardan itibaren Demir ve Çelik tozlarından üretilen dişliler, kamlar ve çeşitli şekiller piyasaya egemen olmaya başlamıştır. 1960'larda tam yoğun T/M gereçler üretilmeye başlanmıştır (Sarıtış, 1995).

Bu çalışmada kullanılan ve bakır ilave edilerek mekanik özellikleri iyileştirilmeye çalışılan metal tozu yurdumuzda çok miktarda kullanılmaktadır. Genel olarak kullanıldığı yerler otomotiv sanayii, tekstil sanayii (özellikle dikiş makinalarında), kapı kilitleri, çeşitli el ve ev aletlerinde ve daha bir çok sahada söz konusu tozlar kullanılmakta olup ülkemizde üretim yapan fabrikanın yıllık toz tüketimi gittikçe artmaktadır.

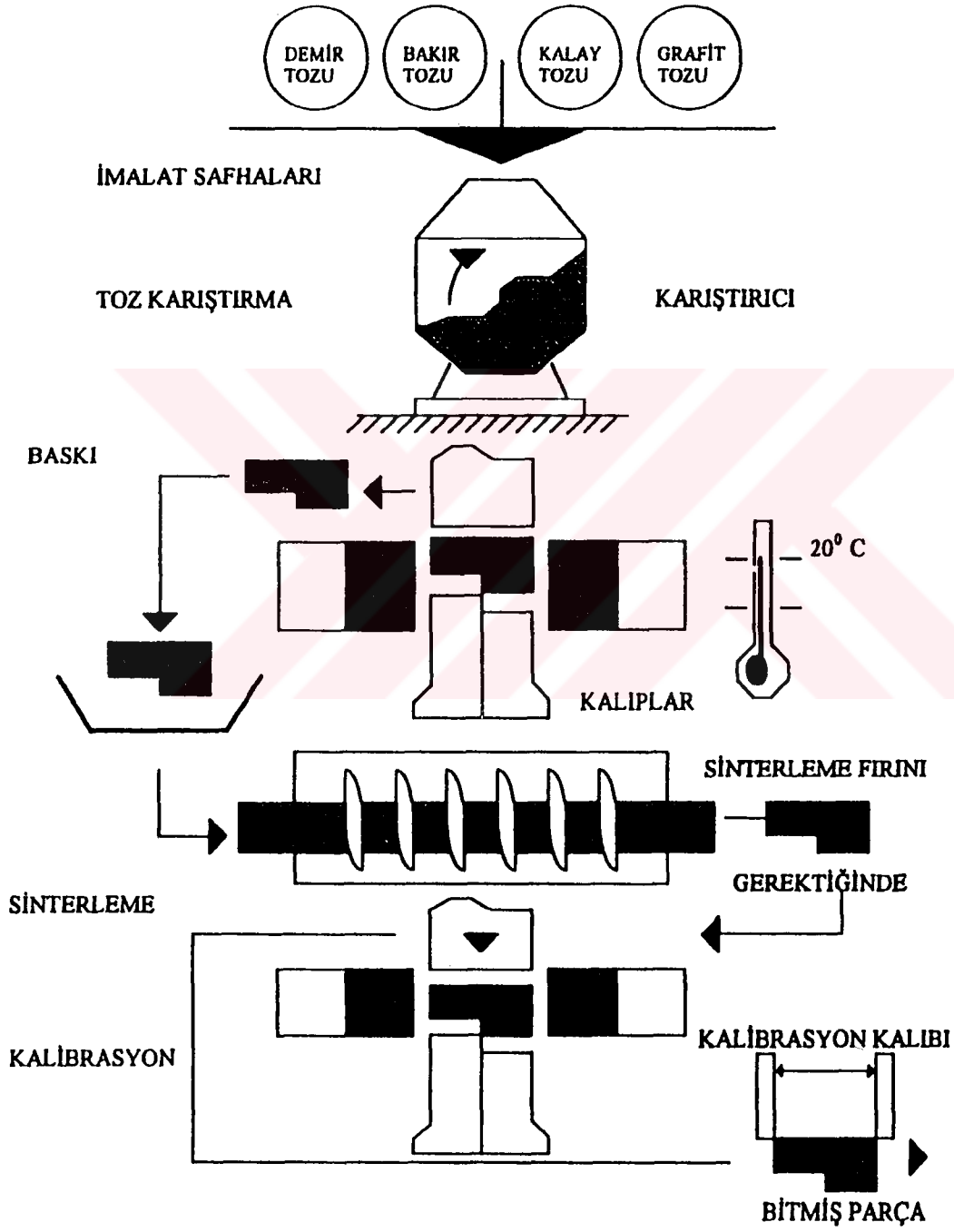
Dünya T/M piyasası yıllık %12 oranında genişlemektedir. En çok kullanılan metal tozu %85 ile Demir- Çelik tozudur. İkinci sırada da %6-7 ile Bakır alaşımları gelir (Sarıtış, 1995).

Çizelge 1.1. Toz Metalurjisinin tarihi gelişimi

Tarih	Gelişme	Menşey
M.Ö.3000	Alet yapımında“Sünger demir”	Mısır, Afrika, Hindistan
M.S.1200	Platin tanelerinin karbürlenmesi	Güney Afrika
1781	247-248 ⁰ C arasında eriyebilen platin arsenik alaşımları	Fransa, Almanya
1790	Ticari bir şekilde platin-arsenik kimyasal pataların yapımı	Fransa
1822	Katı ingot haline getirilen platin toz	Fransa
1826	Ticari esaslı platin komplekslerinin yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi	Rusya
1829	Platin süngerden platin paket üretiminde Wollcston modelinin geliştirilmesi	İngiltere
1859	Platin füzyon yöntemi	Avrupa
1870	Metal tozlarından yapılan yatak malzemesi patenti	Avrupa
1878-1900	Akkor lamba filamentleri	ABD
1915-1930	Sinterlenmiş karbürler	ABD
1900’ların başı	Kompozit metaller, gözenekli metaller ve metalik filitreler	ABD
1920’ler	Kendinden yağlayıcı yataklar	ABD
1940’lar	Demir tozu teknolojisi	Merkezi Avrupa
1950 ve 1960’lar	Dövülmüş ve dağılım mukavemetli T/M Parçaları	ABD
1970’ler	Sıcak İzostatik presleme, T/M takım delikleri ve süper plastik alaşımları	ABD
1980’ler	Hızlı katılaştırma ve enjeksiyon kalıplama tekniği	ABD

2.TOZ METALURJİSİ TEKNOLOJİSİ

Toz metalurjisinin imalat safhalarının şematik olarak genel bir gösterimi Şekil2.1 de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1. Toz Metalürjisi İmalat Safhaları

2.1. METAL TOZU ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal tozları; saf metallerin veya alaşımların 01-1000 µm tane boyutu içinde olan farklı parçacıklar olarak tanımlanır(Ünlü ve Öveçoğlu, 1995). Parçacıklar gözenekli metal filtrelerde kullanıldığı gibi küçük küreler şeklinde veya boya pigmentlerinde kullanıldığı gibi küçük tabakalar şeklinde de olabilir. Ayrıca T/M parçacıkların sinterlenmesi ve kompaktanmasında kullanıldığı gibi, parçacıklar düzensiz şekilli olabilir. Bu parçacıklar genellikle dentritler veya fiberler şeklindedir. Sıcak izostatik presleme tekniklerinin kullanılmasıyla, parçacıklar tam olarak yoğun yapı formunda birleşirler (Ünlü ve Öveçoğlu, 1995).

Toz Metalürjisinde, toz hazırlama, hazırlanacak tozun bileşenine, şekline, uygulama alanına göre farklılık gösterir (Çizelge 2.1). Yapılması istenen makine elamanının, uygulama alanına hizmet etmesi açısından, tozun üretim yöntemi çok önemlidir. Bu açıdan Toz üretim yöntemleri aşağıdaki metotlarla yapılır(Ersümer, 1970).

- Mekanik Pülverizasyon yöntemi
- Erimiş Metalin Pülverizasyonu
- Fiziksel ve Kimyasal yöntemler

2.1.1. Mekanik Pülverizasyon Yöntemi

Katı hal malzemeye öğütme uygulanarak toz oluşturulur. Mekanik Pülverizasyon Yöntemi;Kırıcı, Girdaplı, Taraklı ve Bilyalı değirmenler ile yapılır(Okumuş ve Öveçoğlu, 1995)

Mekanik Pülverizasyon Yönteminde, hammadde کافی derecede kırılğan ise, kaba bir öğütmeden sonra ince bir öğütme yapılır.

Öğütme;bir metal toz üretme tekniği olmakla beraber aynı zamanda başka metotlarla üretilmiş ancak kümeleşmiş tozların kırılması ve parçacıklara ayrılması için kullanılan bir yöntemdir. Bu metotla daha çok gevrek metallerin tozların üretilmesi gerçekleştirilir. Öğütme öncesi, metal önce kaba kırıcılarda 3-5 mm boyunda kırılır sonra öğütme işlemi görmesi gerekir.

Öğütmede en çok bilyeli silindirik değirmenler kullanılır. Öğütücüler metal, içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya dayanıklı bilyelerin bulunduğu değirmene önceden iri kırılmış olarak yerleştirilir.

Çizelge 2.1. Metal Tozlarının Üretimi(Okumuş ve Öveçoğlu, 1995).

YÖNTEM		UYGULAMA	PARÇACIK ŞEKLİ
Mekanik Pulverizasyon	Kıncı Değirmen	Elektrolitik metal.Oksit, Karbür, Hidrit	Gevrek Metal-köşeli Sünek Metal-fleyk
	Bilyalı Değirmen	Elektrolitik metal. Oksit Karbür, Hidrit	Gevrek Metal-köşeli Sünek Metal-fleyk
	Girdaplı Değirmen	Yüksek mukavemetli metal, Dövme metal	Levhasa Granüler
	Taraklı Değirmen	Sünek metal	fleyk
Ergimiş Metal Pulverizasyon	Taneleme (grainung)	Al ve diğer düşük ergimeli Metal ve alaşımlar	Granüler
	Püskürtme (shotting)	Fe, Cu, Al, ve alaşımları, Düşük ergimeli metal ve alaşımları	Küresel, modüler Düzensiz şekilli
	Atomizasyon	Fe, Cu, Al ve alaşımları, Düşük ergimeli metal ve alaşımları	Küresel, modüler Düzensiz şekilli
Fiziksel ve Kimyasal Yöntemler	Gazla İndirgeme	W, Mo, Fe, Ni, Co, Cu	Süngerimsi
	Katı Halde İndirgeme	Ta, Nb, Cr, V, Ti, Zr, Be,U,Tb	Küresel granüler
	Klorit ve oksitlerden Isıl Ayrışma	Au, Ag, Pt	Süngerimsi, granüler
	Karbonil Yöntemi	Fe, Ni	Küresel
	Hidrojenli Bileşenlerden Ayrışma	U, Tb, Ta, Ti, Zr	Düzensiz şekilli
	Eriyikten Elektrolitik Çökertme	Cu, Ag, Fe, Ni, Cr, Mo, Pb Zn, Sn	Dentiritik, granüler
	Buharlaştırma Yoğunlaştırma	Zn, Cd, Mmg	Küresel
	Azalgamasyon Tane Sınırı	Fe, Ni, Mo, Cr, Co Paslanmaz çelik	Mikro kristal granüler

Değirmenin içine konacak metal miktarı, öğütücü bilyeler dahil değirmen hacminin yarısını geçmemelidir. Değirmen dönerek ve titreştirilerek bilyeler ile malzeme arasında çarpmalar sonucu malzemeden daha sert olan malzeme arasında ani darbe, oğuşturma, burulma ve sıkıştırma etkilerinden birisi veya birkaçı beraber uygulanarak metal parçalara ayrılır, hareketin devamı ile küçük toz tanecikleri şeklini alır. Bilyeler malzemeye çarpması sırasında maruz kalacağı şekil öğütülen malzemenin özeliğine bağlıdır. Çok az sayıda metaller (manganez, krom, antimon, bizmut gibi) bilyeli

öğütücülerle öğütülebilir. Mesela mümkün olduğu kadar yüksek safiyette bir demir cevherinden, direk redükleme yöntemiyle elde edilen gözenekli demir, bilyalı öğütücülerle istenildiği kadar ince toz haline getirilebilir. Redükleme esnasında elimine edilmeyen ve toza karışan gayri safiyetlerin mevcudiyetini unutmamak gerekir.

Sünek metallerin bilyalı öğütücülerle öğütülmeleri imkanı bulunmamaktadır. Zira öğütme esnasında iri taneler sadece yuvarlaşmakta küçük taneler ise öğütücü cidarına ve bilyelere yapışmaktadır. Toz bileşenli metallerin pervaneli öğütücülerde arzu edilen granülometrik tertiple toz haline getirilebilmeleri önemli bir ilerlemedir. Bu usule “Hametog” usulü denir. Bu usul toz metallerinin(denir, bakır,alüminyum gibi) tozların hazırlanmasında, kaba toz haline getirilmiş kırılğan alaşım ve metallerin ince olarak öğütülmesinde kullanılır.

Mekanik pülverizasyon yönteminde kullanılan pervaneli öğütücü, karşılıklı iki mil üzerindeki sert manganezli çelikten ve sinterlenmiş sert alaşımdan birer pervane bulunan bir kalıptan ibarettir. Bu pervaneler ters yönde çok yüksek ve eşit hızlarda dönerler.

Toz haline getirilecek malzeme böylece öğütülürken meydana gelecek iki ters ve çok hızlı gaz cereyanı toz haline gelmiş parçacıkları sürükler. Öğütülen madde devamlı olarak elekten geçebilir. Toz parçalarının oksitlenmesine mani olmak için genellikle azot gibi redükleyici veya inert bir atmosfer altında çalışabilir. Pervanelerin şekillerine, boyutlarına ve dönüş hızlarına bağlı olarak muhtelif şekilli taneler ve farklı granülometrik tozlar elde edilir. Bu tozların müstesna sıkıştırılabilme özelliği vardır. Kullanma sahalarına örnek olarak; makine parçaları ve gözenekli yatak imalinde kullanılan bakır tozları gösterilebilir.(Ersümer, 1970). Bu yöntemle üretilen başlıca metal tozları Al, Cu, pirinç tozlarıdır; bunlardan başka Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe, Fe-alaşımli ve Cu-alaşımli tozlarda üretilir(Okumuş ve Öveçoğlu, 1995).

2.1.2. Erimiş Pulverizasyon Yöntemi

Erimiş metal granülasyonu metal tozların hazırlanmasında kolay tatbik edilen ve çok ucuz bir yoldur. Granülasyon; suda granülasyon veya erimiş metalin katılaşması esnasında karıştırılarak elde edilen granülasyon diye ikiye ayrılır. Suda granülasyon yöntemine bir örnekle; ergimiş kurşun, su ile dolu kaba bir elekten geçirilerek dökülür.

Kurşun damlalar daha havada düşerken önemli bir soğumaya uğrarlar. Bu yöntem erimiş metalin su içine dökülmesiyle elde edilen granülasyon yöntemidir.

Pülverizasyon usullerinden birisi, sıvı metali dar bir püskürtücüden fişkırtmak ve fişkırıran metal süzmesi üzerine su buharı, basınçlı hava veya başka bir gaz akımı göndermekten ibarettir. Böylece sıvı metal su haline gelirken aynı zamanda da parçacıkların çabuk soğumaları sağlanır. Tozun oksitlenmesi azdır. Tanelerin boyut ve şekilleri su buharının basıncı hava veya gazın hızı ayarlanarak değiştirilebilir. Bu usul bilhassa alüminyum, bakır ve demir tozlarının elde edilmesinde kullanılır.

Diğer bir usulde şöyledir: Suyla çevrelenmiş ince bir metal hüzmesi, yüksek hızla dönen ve kanatlı bir disk vasıtasıyla santrifüj kuvvetten faydalanılarak ince parçacıklara ayrılır. Bu usulle bileşenleri karışabilen bütün alaşımlar toz haline getirilebileceği gibi aynı usul, bileşenleri sadece sıvı halde karışabilen alaşımlara da uygulanabilir (Ersümer, 1970).

2.1.2.1. Atomizasyon Yöntemi

Tozlar, erimiş metalin yüksek basınca sahip sıvı akışkanın çapraz jetine maruz bırakılmasıyla elde edilir (Okumuş ve Öveçoğlu, 1995). Diğer bir anlamda Atomizasyon; erimiş metalin gaz yada sıvı bir ortam yardımıyla 250 µm'dan daha küçük damlacıklara parçalanması ve küçük parçacık halinde de katılaşmasıdır (Ünver, 1992).

Atomizasyon yöntemi ile çeşitli metal tozları büyük miktarlarda yüksek görünür yoğunluğa ve iyi akışkanlığa sahip tozlar elde edilir, küresel tozların üretimi mümkündür, bu metotla herhangi bir metal eritilerek toz haline getirilebildiği için bir çok metal ve alaşımların tozları üretilebilir (Avner, 1994).

Metal eriyiklerin atomizasyonu üç aşamada meydana gelir. Bunlar; sıvı metalin parçalanması, uygun bir ortamda soğutulması ve damlacıkların katılaşmasıdır. Ortam; gaz, sıvı(su) veya katı olabilir.

Eriyik parçalanması ve döndürme işlemi özel durumlarda parçacık oluşturmak için kullanılır. Atomizasyon işlemi için hava ve su sadece birkaç alaşım için uygun olabilir. Çoğu durumda, metal eriyiği ile istenmeyen reaksiyonlardan kaçınmak için koruyucu veya inert gaz kullanılır.

Inert gaz kullanılması ile gaz atomizasyonu temiz, küresel parçacıklara gereksinim duyulan ve yüksek alaşım kompozisyonlarında düşük segregasyon gösteren

metal tozlarının üretiminde yıllardır kullanılmaktadır. Bunun ticari üretim açısından en iyi örnekleri, yüksek alaşımlı takım çelikleri, uçakların sıcak bölge (jet motoru) bileşenlerinde kullanılan Ni-esaslı süper alaşımlardır (Okumuş ve Öveçoğlu, 1995).

Eritilen tüm malzemeler atomize edilebilir. Atomizasyon yöntemleri şu şekilde sıralanabilir.

a-Gaz atomizasyonu

b-Su atomizasyonu

c-Ultrasonik atomizasyonu

d-Döner Disk Yöntemi

e-Dönen Elektron Yöntemi (Ünver, 1992).

Atomizasyonda kullanılan yüksek basınçlı üfleme elamanı su ise, sistem “Su Atomizasyonu”, gaz ise “Gaz Atomizasyonu” adını alır. Atomizasyon yöntemlerinde izlenebileceği gibi vakum altında da atomizasyon yapılmakta, merkezkaç kuvvetlerinden yararlanılarak, çeşitli özel biçimlere sahip olabilen döner diske çarpan eriyen meralin atomize edildiği (döner disk yöntemi) yada wolfram bir elektrod ile arasında oluşturulan ark ile ergitilerek dönen malzemenin atomize edildiği (döner elektrod prosesi REP) sistemlerinde kullanılmaktadır. Şüphesiz ki bu yöntemler içinde en çok kullanım alanı bulan gaz ve su atomizasyonu yöntemleridir.

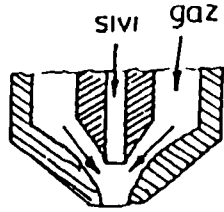
Atomize tozun en önemli özelliği ortalama toz boyut dağılımı, toz şekli, kimyasal bileşim (yüzey bileşimi ile) ve mikroyapıdır. Bu temel toz özellikleri, tozun görünen yoğunluk, akabilirlik, sinterlenebilirlik gibi teknolojik özelliklerini etkiler.

a-Gaz Atomizasyonu

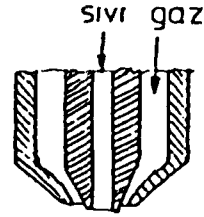
Su atomizasyonundan sonra en fazla gaz atomizasyonu ile toz üretilmektedir. Gaz atomizasyonu sıvı metal hüzmeye yüksek basınçlı gaz püskürtülerek hüzmanın dağılımı ile sıvı metal damlacıkları elde edilmesi işlemidir. Genelde azot gazı kullanılmaktadır.

Gaz atomizasyonu içte ve dışta karışım olmak üzere iki şekilde gaz ile sıvı metalin karışması sonucu oluşmaktadır. Dışta karışmada sıvı metal ile atomizasyon akışkanın teması karşılıklı ağızların dışında olur. İçte karışmalı türde ise oda sıcaklığında sıvı olan malzemelerin atomizasyonun da kullanılır, ve sıvı malzeme ile atomizasyonu akışkanının teması Şekil 2.2. de görüldüğü gibi ağızların iç kısmında

gerçekleşir. Gaz atomizasyonu tozların oksijen miktarının düşük olmasında ve yuvarlak (küresel) şekilli tozlar istendiğinde daha çok kullanılır.



İçte Karışma

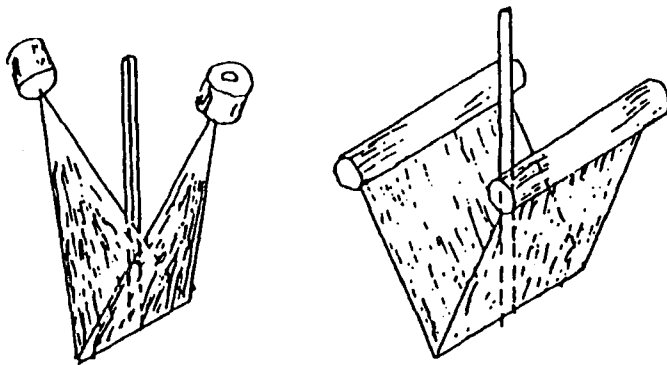


Dışta karışma

Şekil 2.2. İçte ve Dışta Karışma

b-Su Atomizasyonu

Atomizasyonla üretilen tozların %80'i eriyik sıvı metali basınçlı su ile parçalara ayırma yöntemi ile elde edilir. Şekil 2.3. de su ile atomizasyonda yaygın şekilde kullanılan iki jet sistemi görülmektedir. Bu iki sisteme yassı hüzmeli V jetleri denir(Beddow, 1979).

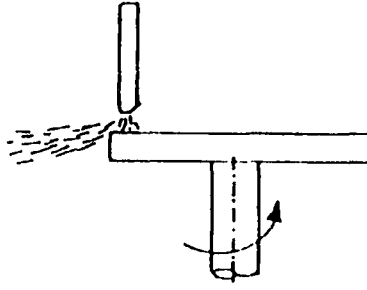


Şekil 2.3. Yassı Hüzmeli V Jetleri

Su atomizasyonunda kimyasal çökeltme problemi yoktur ancak toz yüzeyinde oluşan oksitlenme bu metodun problemi olarak görülebilir.

c-Döner Disk Atomizasyonu

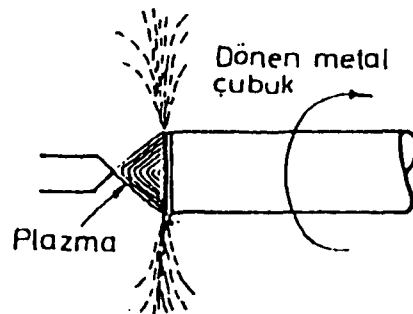
Bu yöntemde sıvı metal bir potadan dönmekte olan bir disk üzerine akar, diskin dönme hareketinden dolayı metal hüzmeye merkez kaç kuvvet etkisi ile saçılacak bir potaya toplanır. Döner disk atomizasyonunda düz disk, çanak disk ve kanat disk gibi değişik diskler kullanılır. Bu metodun tek problemi sıvı metal ile disk arasında sürtünmenin kontrol güçlüğüdür. Şekil 2.4 de döner disk modeli görülmektedir.



Şekil 2.4 Döner Disk Atomizasyon Modeli

d-Döner Elektrod Atomizasyonu

Döner elektrod metodunda tozu üretilecek metal elektrod bir ark plazma ile ısıtılır, çubuğun çok hızlı döndürülmesi ile (1000 dev/dak veya daha fazla) erimiş damlacıklar yine merkez kaç kuvvet etkisiyle savrulurlar. Bunlar bir husisi odacıkta toplanır. Tane iriliği 30- 500 mikron arasında olan tozlar elde edilir (Uygur, 1979). Şekil 2.5de döner elektrod yöntemi ile toz üretimi görülmektedir.



Şekil 2.4 Döner Elektrod Yöntemi

2.1.3. Metalsel Tozların Fiziko-Kimyasal Özellikleri

T/M tekniğinde kullanılan tozların tane ve kütle olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Tozların bir çok özelliklerini üretim teknikleri belirlediği için T/M parçaların kullanım alanına göre değişik metotla üretilen tozlar seçilir. Tozların özelliklerinin araştırılmasında, tozun tane büyüklüğü, tane şekli, yüzey alanı, içyapısı ve kimyasal analizi gibi değişkenler incelenir. Bunlara bağlı olarak; görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, toz akış hızı, ham mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.

2.1.3.1. Numune Alma

Tozların özelliklerinin tespitinde nasıl numune alınacağı ASTM B215 standartlarında belirtilmiştir. Alınan numunenin miktarı çok az olduğundan gerçeği temsil etmesine dikkat etmek gerekir. Numune alma statik ve hareketli olmak üzere iki şekilde alınır. Statik numune almada sabit bir toz varilinden birden fazla değişik noktalardan numune alınmalıdır. Deneyler için genelde 100 gr. toz yeterli olmaktadır. Sağlıklı netice almak için üretimin belirli aralıklarında ara stoklar toplanıp iyice karıştırıldıktan sonra numune alınmalıdır. Hareketli numune almada toz kütlesi hareket halindeyken numune alınır. Hareket tozların karışmasına etki eden bir varilde titreşim tozların üstü, ince tozların alta ayrılmasına sebep olur. Örnek almada tane büyüklüğü oldukça etkilidir.

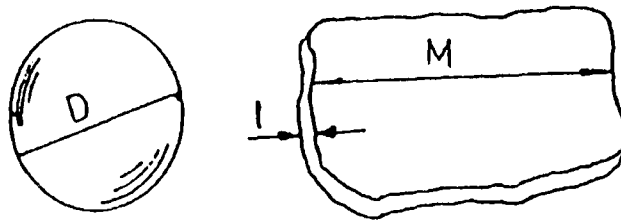
2.1.3.2. Tane Büyüklüğü

Metal tozların tane büyüklüğü genellikle elek analizi ile yapılmaktadır. Tane büyüklüğünde esas olan parçacık boyutlarının belirlenmesidir. Tozlarının tamamının aynı boyutta olduğu söylenemez ancak ortalama boyutundan söz edilebilir. 1970 de ASTM tarafından kabul edilen standart elek Çizelge 2 2 de verilmiştir. Deney döküm kumu tane büyüklüğü tespiti ile yapılmaktadır. 45 µm nin altındaki tane büyüklüğü için elek metodu iyi sonuç vermez çok ince tozlar için sedimantasyon, ışık dağılması ve Fisher -elek metotları kullanılır.

Çizelge 2.2. Standart Elek Takımı (Thumler ve Thomma, 1967)

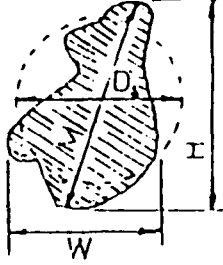
meş	delik çapı μm
30	600
40	425
50	300
60	250
80	180
100	150
140	106
200	75
230	63
325	45

Tozun şekli tane büyüklüğünün tespitine çok etki eder. Küresel tozlarda sadece çapın bilinmesi yeterli iken pul şeklindeki toz parçacıklarının pul kalınlığı ile düzlem yönündeki boyutun ölçülmesi gerekir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Küresel ve Pul Şeklindeki Parçalar

Değişik şekilli tozlarda yüzey alanından gidilerek tane ebadı tespit edilebilir. Yüzey alanı (izdüşüm alanı) küreye denkleştirilerek tanecik büyüklüğü bulunur.



H- İzdüşüm boyu
 M- Maksimum kort boyu
 W- İzdüşüm genişlik
 Eşdeğer küresel çap
 $DA = (4A/\pi)^{1/2}$, A=İzdüşüm alanı
 $DS = (S/\pi)^{1/2}$, S=Yüzey alan
 $DV = (6V/\pi)^{1/3}$ V=Hacim

2.1.3.3. Tane Şekli

Metal tozlarının en önemli iki özelliği toz tane şekli ve büyüklüğüdür. Tozların tane şeklinin tayini ışık ve elektron mikroskobu ile yapılmaktadır. Taneciklerin şekli tozların akış, görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet gibi özellikleri etkileyen önemli bir etkidir. Toz tane şekilleri tozların üretim metoduna göre değişik şekillerde oluşur. Genelde, küresel toz taneleri gaz atomizasyonu ile elde edilirken, gaza oranla daha hızlı soğutucu olan su atomizasyonunda karmaşık tane yapılı toz elde edilir. Şekil 2.6.da Üretim metodlarına göre toz tane şekilleri verilmiştir.

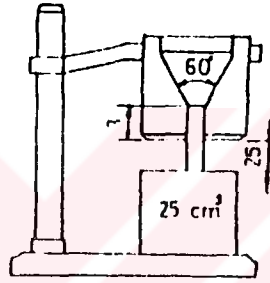


Şekil 2.6. Toz Tane Şekilleri

2.1.3.4. Görünen Yoğunluk

Görünen yoğunluk; belirli hacimde sıkıştırılmamış toz kütleinin ağırlığıdır ve g/cm^3 olarak ifade edilir. Pres kalıbı tasarımında bilinmesi gereken en önemli toz özelliğidir. Görünen yoğunluk toz şekline, tane büyüklüğüne ve metalin yoğunluğuna bağlıdır. Küçük taneli ve karmaşık taneli tozlar görünür yoğunluğu azaltır.

Görünür yoğunluğun tespiti ASTM B 212 ye göre Şekil 2.7.de verilen Hall hunisi ile yapılır. 30-35 cm^3 kuru toz Hall hunisine doldurulur ve altına yerleştirilen 25 cm^3 hacimli kaba belli yükseklikten akıtılır, kap dolunca düz bir cetvel ile silinir 25 cm^3 lük kap da ki tozlar tartılıp ve g/cm^3 olarak görünür yoğunluk tespit edilir.

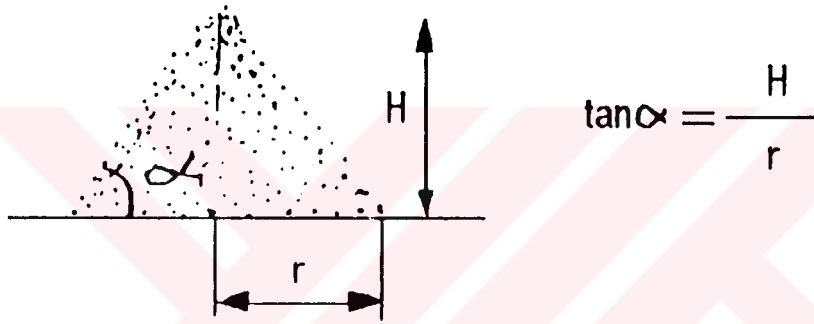
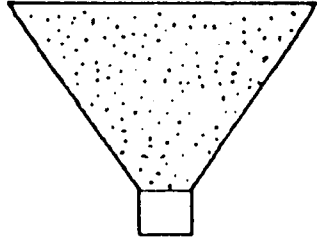


Şekil 2.7. Hall Akış Hunisi

2.1.3.5. Akış Hızı

Akış hızı; 50 g kuru tozun hall akış hunisinden kendi halinde akış zamanıdır. Akış hızı seri parça imalinde kalıbın doldurma zamanı ile doğrudan ilgili olduğundan önemlidir. En iyi akış özelliğini küresel tozlar verir. Pul şeklinde tozlar kolay akmazlar ve kalıpları bu tozlarla doldurmak zordur.

Toz taneciklerinin şekli, ebadı, dağılımı, üretim metodu, tozun nemli veya kuru olması toz yüzeyindeki oksitler akma özelliğini büyük ölçüde etkiler. Örneğin toz yüzeyindeki alüminyum oksit kaydırıcı etki yaparken, magnezyum oksit tutucu tesir yapar. Tozun akıcılık özelliğini artırmak için toza yağlayıcılar ilave edilir. Tozun akma özelliği şev açısından yararlanılarak da tayin edilebilir. Genellikle akış özelliği iyi olmayan tozlar bu yöntemle akış hızları bulunur. Şev açısı; tozun belli şartlar altında yatay bir yüzey üzerine bir huniden serbestçe döküldüğünde oluşturduğu yığının taban açısıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Şev Açısı

2.1.3.6. Sıkıştırılabilirlik

Belirli bir meral toz kütlesinin basınç altında kolay sıkışabilme ve teorik yoğunluğa yaklaşma derecesidir. Sıkıştırılabilirlik tozun şekillendirme sırasındaki davranışını belirlediğinden çok önemlidir. Bir tozun sıkıştırılabilirliği toz şekline, tane büyüklüğüne, dağılımına, tozun sertliğine ve kullanılan yağlayıcılara bağlıdır. Sıkıştırılabilirlik yoğunlaşma parametresi ile belirlenir.

$$\text{Yoğunlaşma Parametresi} = \frac{\text{Ham Yoğunluk} - \text{Görünür Yoğunluk}}{\text{Teorik Yoğunluk} - \text{Görünür Yoğunluk}}$$

2.1.3.7. Kimyasal Özellikler

Metal tozların en önemli kimyasal özellikleri saflıklarıdır. Saflıkları kimyasal analizle tayin edilebilir ve sinterlenmiş cisimlerin imalatına ve bilhassa özelliklerine birinci derecede tesir eder. Metal tozların saflığı büyük ölçüde maddelerin saflığına bağlıdır. Mesela kendi oksitlerinin hidrojenle redüklenmesiyle elde edilen volfram, kobalt ve demir tozlarının saflığı, pratik olarak, kullanılan oksidin saflığındandır.

Oksijen ve karbon gibi gayri safiyetlerin malzeme içinde ne şekilde bulundukları da önemlidir. Mesele oksijen, oksit levhaları, erimiş oksit ve absorbe edilmiş gazlar halinde [H_2O , CO , CO_2] bulunabilir. Oksitlerin redüklenmesi ile hazırlanan metalsel tozlar genellikle muntazam oksit kalıntıları ihtiva ederler. Elektroliz, granülasyon veya pülverizasyonla elde edilen tozlardan oksijen genellikle oksit kalıntıları halinde bulunur. Karbon ise serbest karbon (grafit), karbür veya katı solüsyon hallerinde bulunur.

Mekanik olarak hazırlanmış metal tozlar öğütücülerden ileri gelen gayri safiyetler ihtiva ederler. (demir, manganez, karbon vs.) Elektrolizle hazırlanmış metalsel tozlar çok saftır, toplam gayri safiyet %2 yi geçmez. Karbonil tozların ihtiva ettikleri oksijen ve karbon miktarı %1,5' kadar yükselebilir. Karbonmonoksitin de kompozisyonundan ileri gelen bu gayri safiyetler tozun bir ön ısıtma işleminden sonra sinterlenmesiyle ortadan kaldırılabilir. Demirde bulunan kükürt, fosfor, manganez, silisyum gibi gayri safiyetler tozlarda bulunmazlar.

Birçok hallerde tozlarda bazı gayri safiyetlerin bulunmasına müsaade edildiği gibi, sinterlenen malzemenin tozlarına bilhassa yabancı madde katılır. Mesela elektrik ampullerinde kullanılan volfram tozuna toruyum veya alüminyum oksit ilave edilir.

Yukarda bahsi geçen bütün kimyasal özelliklerin, metalsel tozların sinterlenmesinde büyük tesirler vardır. Oksijen, karbon, kükürt, fosfor, demir vs. gibi absorbe edilmiş gazlara büyük önem verilmelidir.

2.2. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI

Tozlar dengeli homojen karışım verecek şekilde karıştırılmalı ve bu karışım, kalıbın bütün bölgelerinden akacak şekilde olmalıdır. Bunu başarmak için toz karışımının içersine grafit gibi metal olmayan element katılıp hassas bir şekilde tartılarak bir karıştırıcıya konulmalı ve ilave edilecek yağlayıcıda % 0,5- 1,5 arasında

olmalıdır. karıştırma zamanı,sonradan gelecek işlemlerdeki malzeme davranışlarına ve üretilecek parçanın özelliklerine etki eder. Kalıp aşınmasını en aza indirmek ve sıkıştırma basıncını azaltmak için yağlayıcıların bütün tanelere yapıştırılması gerekir (Dixon ve Clayton, 1971)

Tozların karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift konili karıştırıcılarda yapılır. Karıştırma, tozların tane boyutuna ve şekline göre birikmesini önlerken, akış karakteristiğini ve görünen yoğunluğunu da değiştirir. Ayrıca taneciklerin nispeten kırılmasına, yuvarlatılmasına ve yüzey pürüzlülüğünün giderilmesine sebep olur. Gerektiğinden fazla karıştırma taneciklerin plastik defarmasyonuna sebep olur. Buda tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında gereğinden fazla soğuk işlem gerektirir.

Karıştırma genellikle toza yağlayıcı veya alaşım elemanı ilavesi gerektiğinde yapılır. Temel amaç farklı yapıda ki malzemelerden tek düze bir karışım elde edilmesidir Sinterleme dahil bütün işlem kademelerindeki değerlendirmeler yapılmadan yeteri derecede karıştırma yapılıp yapılmadığına karar vermek oldukça güçtür (Alpugan, 1981)

Karıştırılan tozlar, karıştırıldıktan sonra sinterlemeden sonra delik oluşturabilecek herhangi bir yabancı maddenin veya yağlayıcı birikintisinin, tozun içine girmemesi için korunmalıdır Toz karışımları preslenmeye gönderilmeden önce iki önemli özelliği olan, akma hızı, görünür yoğunluğu kontrol edilmelidir (Sarıtış, 1985)

2.2.1. Kullanılan Yağlayıcılar

Toz ile kalıp yüzeyi arasında ki sürtünme nedeniyle, şekillendirme enerjisinde büyük kayıplar oluşur. Bunun yanı sıra bitişik tanecikler arasında, toz ile zimbalar ve maşalar arasında, zimbalar ile kalıp yüzeyi arasında da sürtünme vardır. Ayrıca kalıptan çıkarma sırasında parça ile kalıp iç yüzeyleri arasında ki sürtünmede önemlidir. Bu nedenden dolayı hem şekillendirme hem de kalıptan çıkarmada etkili olacak ve sinterlemeyi bozmayacak bir yağlama düzenine ihtiyaç vardır.

Metal tozuna, toz şeklinde yağlayıcı karışıldığında, bu yağlayıcı tozun her tarafına dağılmış olur Ancak bu durumda yağlayıcının toz kütlesi içinde kaldığı ve etkisiz olduğu görüşü yaygındır. Ayrıca yağlayıcılar sıkıştırılmış tozun özelliklerinde kötü yönde etkiler.

Metal steoratlara, stearik asit ve balmumu olarak kullanılan yağlayıcılar, ergime sıcaklığı düşük organik bileşiklerdir. Bu bileşiklerin yoğunlukları düşük olduğundan, yüzde ağırlıkça küçük miktarlarda ilave edilmeleri büyük hacimlere karşılık gelir.

Yağlamanın diğer bir şeklide, sadece kalıp yüzeylerinin yağlanmasıdır. Böylece yağlayıcı, ihtiyaç duyulduğu yerde kullanılmış ve tozun özelliklerini de etkilememiş olur. Yağlayıcı kalıba elle uygulanabileceği gibi püskürtmede kullanılabilir. Endüstriyel uygulamada otomatik yağlama yapılır, kalıp yağlamada kullanılan yağlayıcı malzeme, genellikle süspansiyon şeklindedir.

Etkili bir yağlayıcı, parçayı kalıptan çıkarma basıncını (Buna sıyırma basıncı denir) azaltmalıdır. Yağlayıcı oranı arttıkça sıyırma basıncı o derecede azalma gösterir. Sıkıştırma basıncı ve dolayısıyla parça yoğunluğu ne kadar yüksek olursa, sıyırma basıncıda o derece büyük olur. Ayrıca kalıp malzemesinin bileşimi, sertliği ve yüzey özellikleri de sıyırma basıncını etkiler. Aynı sıkıştırma basıncı ve aynı yağlayıcı şartlarında sıyırma basıncı karbür kaplarda çelik kaplara göre daha düşük olmaktadır. Sıyırma basıncı tozun tane büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Küçük tane boyutu sıyırma basıncını artırır. Çünkü bazı tanecikler kalıptaki küçük boşluklara girerek sürtünmeyi artırır (Alpugan, 1981)

2.2.2. Preslenmeden Evvel Metal Tozların Isıl İşlemi

Birçok hallerde, metalsel tozların preslenmesinden evvel, 400°C ile 800°C arasında bir ön redükleme işlemi gerekir. Böylece oksitler, rutubet, absorbe edilmiş gazlar, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebede elimine edilmiş olur. Gayri safiyetlerin kısmen ve tamamen elimine edilmesinden farklı olarak, ısıl işlem, mekanik usullerle sıkıştırılabilme imkanıda artar. Havadaki oksijen, su buharı vs. gibi yeni gayri safiyetlerden sakınmak için tozun bu ısıl işlemde hemen sonra işlenmesi gerekir.

Karbon ve Oksijen ihtiva eden demir ve nikel eden ihtiva karbonil tozu 600°C ile 800°C arasında hidrojen içersinde ısıtılırsa gayri safiyet oranı 0,0001 mertebesine indirgenebilir. Toz nadiren 1000°C'nin üzerinde ısıtıldığında Nikel- Krom veya Molibden rezistanslı fırınlar tavsiye edilir. Demir tozu 30 dakika müddetle hidrojen içersinde 900°C de tavlınırsa sıkıştırılabilme özelliği iyileşir. Ayrıca içindeki karbon, kükürt, ve oksijen oranı da azalır. Çizelge 2.3. de bu işleme tabi tutulan ve tutulmayan

demir tozlarının sıkıştırılabilirlik özellikleri ile sinterlenmeye uygunluklarının sıcaklık ile değişimi Çizelge 2.4. de verilmiştir

Çizelge 2.3.Tavlı ve Tavsız Demir Tozlarının Analizi

Demir tozları	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Tavsız demir tozu	0.010	0.015	0.025	0.010	0.020
Tavlı demir tozu (H'de, 30 dakika, 900 ⁰ C)	0.001	0.015	0.025	0.010	0.005

Çizelge 2.4.Tav Sıcaklığına Bağlı Olarak (D.P.G) Demir Tozunun Sinterleme ve Sıkıştırılabilirlik Özelliklerinin Değişimi

Tav Sıcaklığı	700 ⁰ C	800 ⁰ C	900 ⁰ C	1000 ⁰ C
Silindirik numunenin yüksekliği (mm) (basınç: 4ton/cm ²)	17.5	16.6	16.2	16.0
Sinterlenmiş numunenin yoğunluğu (gr/cm ²) (H'de, 1saat, 1200 ⁰ C)	5.9	6.3	6.5	6.6
Sinterleme basıncıyla ağırlık kaybı(%)	1.3	0.8	0.4	0.1

2.3. PRESLEME(SIKIŞTIRMA VE BİRİKETLEME)

Kalıplara doldurulduktan sonra belli bir basınca maruz kalan tozların bireket şeklini alacak, gerekli plastiklik özelliğinin olması gereklidir. Bu işlem esasında her toz tanesi basınç kaldırıldıktan sonra da bağlı kalacak şekilde çok sıkı sıkıştırılmalıdır. İyi derecede bir sıkıştırma için tozların plastiklik özelliği, pres ve kalıbın da yüksek sıkıştırma özelliği gerekir

Sinter mamullerinin kaliteli üretilmesinde etki eden önemli faktörlerden biride presleme tekniğidir. Sıkıştırılmış tozun hacmi, sıkıştırılmamış tozun hacminden daha küçüktür. Bu hacimsel oran birçok yapısal parçalar için 2.5/1 -3/1 arasındadır.

T/M yöntemleri ile üretilen makine parçalarının şekil ve boyu üzerindeki temel kısıtlamalar sıkıştırma işlemleri ile olur. Metal tozlarını preslemek için birçok uygun

yöntem vardır. Fakat bunlardan çok azı eş dağılımlı yoğunluk sağlayabilir. Özellikle karışık şekilli parçalarda bu daha azdır (Herman, 1978). Metal tozların kalıp içersinde briketlenmesini .

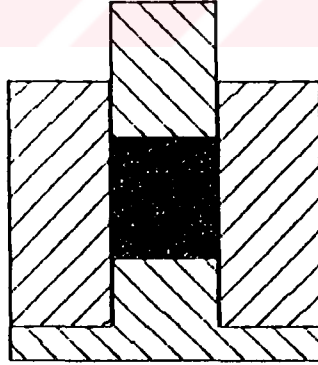
a-Tek hareketli sıkıştırma

b-Çift hareketli sıkıştırma

olarak iki guruba ayırabiliriz.

a-Tek Hareketli Sıkıştırma

Tek hareketli sıkıştırmada dikey doğrultuda deformasyonun başlamasıyla; tozlar arası ve toz kalıp çeperi arasında oluşan sürtünme boy ve çap arasındaki düzensiz bir basınç dağılımına sebep olur. Sonuç olarak uygulanan yük, iş parçasına düzenli olarak uygulanmaktadır. Dolayısıyla iş parçasındaki yoğunluk homojen bir dağılım göstermektedir. Yoğunluk hareketli zımbaya doğru giderek azalmaktadır. Yoğunluktaki bu azalma iş parçasının boy/çap oranına bağlıdır. Bu etki Şekil 2.9 da görüldüğü gibi disk yada rondela gibi ince parçalarda problem olmamasına karşın kalın parçalarda önemli bir problemdir (Sartaş, 1988).



Şekil 2.9. Tek Hareketli Sıkıştırma

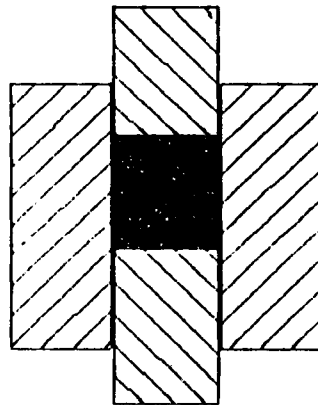
Bu kalıp tipinin basitliği kalıp fiyatı yönünden önemli bir avantajdır. Bununla birlikte briketi kalıptan çıkarmak diğer yöntemlere göre daha zordur. Parçanın kalıptan çıkarılması şu iki temel üzerine olur. Kalıp sabit olup, alt zımba yükselerek parçayı kalıp boşluğundan dışarı atar. Alt zımba sabit kalırken kalıp aşağı çekilerek parça çıkarılır.

Tek yönlü sıkıştırma istenilen yoğunluk dağılımını vermediğinden parçanın alt ve üst bölgelerinde eşit sıkıştırmayı sağlamak , çift hareketli sıkıştırma ile mümkün olur (Alpugan, 1981).

b-Çift hareketli sıkıştırma

Çift hareketli sıkıştırmada toz, birbirine zıt yönde hem alt hem de üst zımba tarafından ayrı ayrı sıkıştırılmaktadır. Her bir yönden eşit veya farklı miktarda hareket veya basınç uygulanabilir (Alpugan, 1981). Çift hareketli sıkıştırma ile kalıp içersinde boydan boya dengeli bir sıkıştırma temin edilir. Kalıp alttan bir yayla desdeklenerekte çift yönlü sıkıştırma gerçekleştirilebilir. Buradaki yay kuvveti pres kuvvetine adapte edilmektedir. Preslenecek parçaların dik kesitlerinin kademeli olması preslemede güçlük çıkarır. Bir parçanın kalıptan rahatlıkla çıkarılması da parçanın şekline bağlıdır. Çift hareketli sıkıştırmanın en önemli avantajı,briket kesitinin her yüksekliği için pres kontrolü uygun kalıp hareketinin olabilirliği (Herman, 1978).

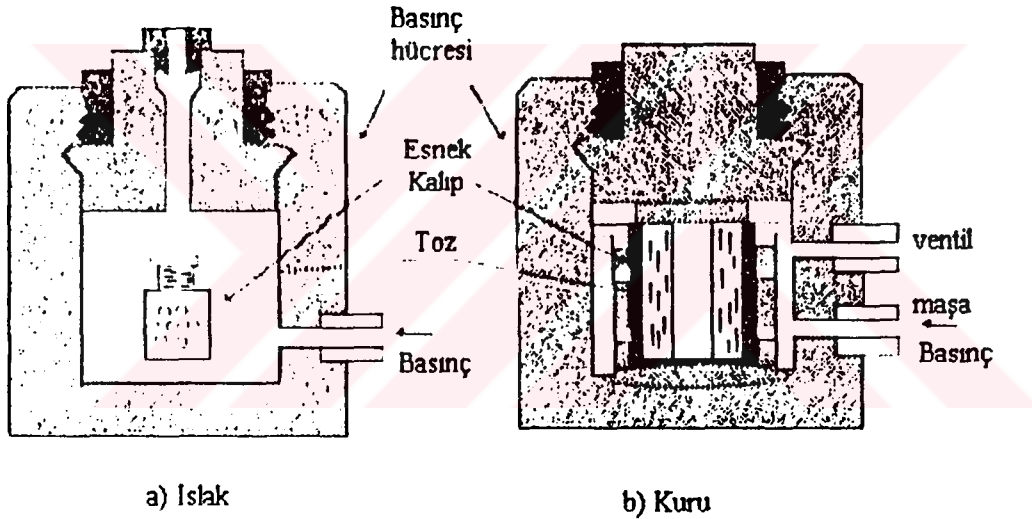
Çift hareketli sıkıştırmada alt ve üst zımbanın her ikisinede aynı basınç uygulanır. Bu çift yönlü hareket eden özel bir pres gerektirir. Toz metalürjisinde kullanılan özel pres kalıpları, önceden belirlenen toz miktarının hassasiyetle yerleştirilmesine, ardından sıkıştırılmasına ve Preslenen bireketin çıkarılmasına uygun olmalıdır. Bu nedenle bütün preslerin doldurma ve çalışma pozisyonlarının olması ve bunların her ikisinin de otomatik olarak arka arkaya gelmesi gerekir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Çift Hareketli Sıkıştırma

2.3.1. İzostatik Sıkıştırma

İzostatik sıkıştırma, tozların her bir akışkan basıncıyla sıkıştırılmasına denir. Presleme genellikle bir yağ veya su içersinde ve oda sıcaklığında (CİP). (Cold Isostatik Pressing) yapılır. Parçanın şeklinde uygun bir kalıp hazırlanın ve içi tozla doldurulur. İçindeki hava boşaltılır ve gerekli sızdırmazlık sağlandıktan sonra basınç kazanına atılır. İzostatik preslerde kalıp sürtünmeleri olmadığından ve basınç her yerde eşit olduğundan yoğunluk dağılımları ve mekanik özellikleri izotropiktir. Yöntemin dezavantajları hassas boyutsal tolerans elde edilmemesi ve yavaş olmasıdır. Bununla birlikte 700MPa kadar basınçlardan ve 1200 °C' ye kadar sıcaklıklarda (Hp) İzostatik presleme ile her türlü refrakter metal ve seramik biçimlendirilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. İzostatik Presleme Yöntemleri

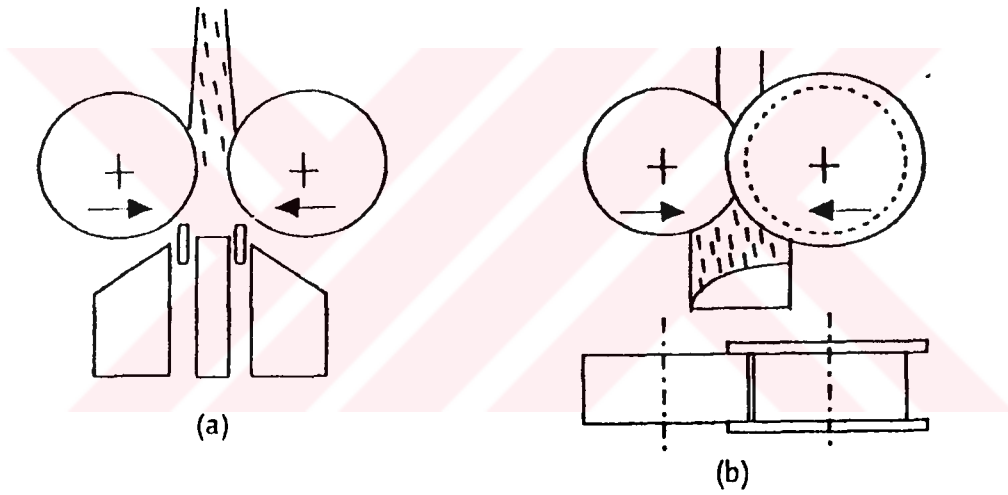
İzostatik presleme basıncın uygulandığı ortam, çevre ve oda sıcaklığında olduğunda “soğuk izostatik presleme” olarak ve ortamın yüksek sıcaklıkta olmasında ise “sıcak izostatik presleme” olarak ikiye ayrılır. Soğuk izostatik presleme ile yapılan yoğunlaştırma işleminden sonra sinterleme işlemi yapılır. Diğer taraftan sıcak izostatik preslemede yoğunlaştırma ve sinterleme birlikte olur (Ünlü ve Öveçoğlu, 1995).

Soğuk izostatik presleme (SİP) tozlar iki şekilde sıkıştırılabilirler. Islak kalıp olarak bilinen yöntemde tozlar bir esnek kalıba doldurulup ve basınç ortamının içine atılır. Kuru kalıp yönteminde ise tozlar sabit bir esnek kalıbın içersine doldurulur ve

dıştan basınç uygulanır. Islak kalıp yöntemi kolay olup deneysel araştırmalar için çok uygundur ancak yavaştır. Diğer taraftan kuru kalıp hızlıdır.

2.3.2. Tozların Haddelenmesi

Şekil 2.12.da gösterildiği gibi tozlar bir besleyiciden haddelerin arasına akıtılarak sıkıştırılabilirler ve böylece sürekli biçimlendirme gerçekleştirilebilir. İstendiği taktirde ikili üçlü kademeli haddeleme mümkündür. Hadde silindirlerinden sonra yerleştirilecek bir fırında sürekli bir bişirme ve onu takiben sıcak haddeleme işlemleri işlemleri kullanılarak sac malzemeleri üretilir (Sarıtış, 1995).



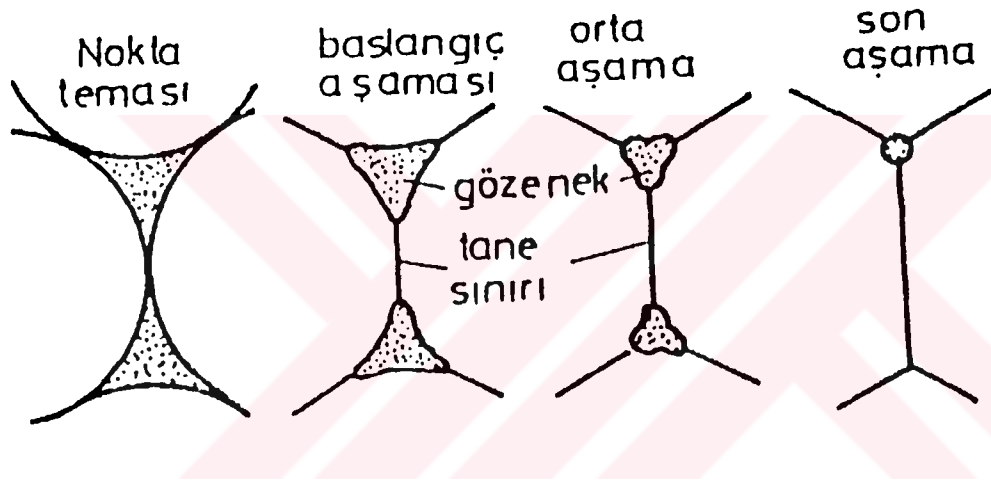
Şekil 2.12. Toz Haddeleme

2.4. SİNERLEME

Sinterleme işleminde preslenmiş parçalar kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıkta istenilen nihai özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısıtılma işlemine tabi tutulurlar. Sıkıştırma ile şekillendirilen parçalarda toz şekline göre , küresel olmayan tozlarda mekanik kilitlenme ile mukavemet kazanır. İkinci olarak toz yüzeylerinde sürtünmeden dolayı soğuk olarak kaynak oluşur. Böylece ham mukavemet iki şekilde oluşur. Ham mukavemetteki amaç parçanın bozulmadan kalıptan çıkmasını sağlamaktır. Kullanıldığı yerdeki gerekli mukavemet sinterleme ile elde edilir. Ham mukavemet ile

sinterleme mukavemeti arasında 100 katının üzerinde fark vardır. Sinterleme toz taneleri arasında metalurjik bağ oluşur.

Sinterleme; sıkıştırılarak geometrik şekil verilmiş parçaya malzemenin ergime sıcaklığının altında ısıtılarak mukavemet kazandırma işlemidir. Bu sıcaklık malzemelerin çoğunda ergime sıcaklığının %70- %80 arasında olurken, bazı refrakter malzemelerde sinterleme sıcaklığı ergime sıcaklığının %90' na ulaşılabilir. Demir ve çelik malzemeler için 1100- 1200°C de, bronz için 800°C ideal sinterleme sıcaklığıdır. Sinterleme sıcaklığı ile sinterleme süresi arasında yakın bir ilişki vardır. Süre kısa tutulursa sıcaklık fazla alınır. Sıcaklık az tutulursa süre fazla alınır.



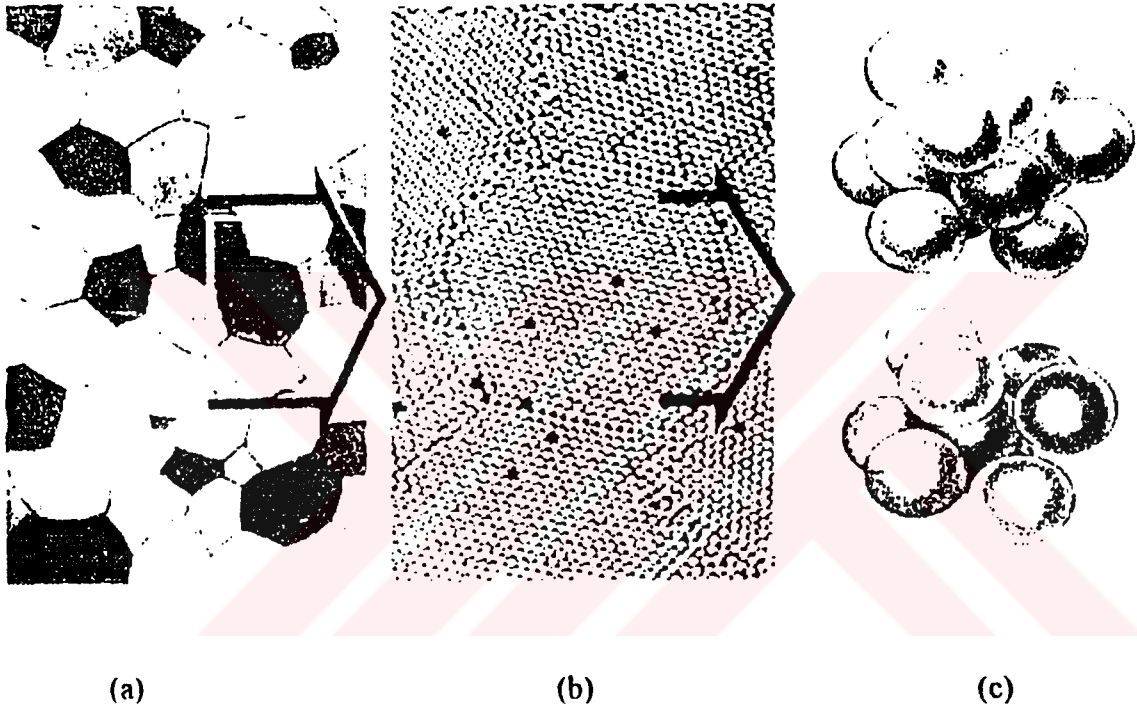
Şekil 2.13. Sinterleme Sırasında Nokta Teması Bağlarının Gelişimi

Sinterleme başlangıcında Şekil 2.13.de görüldüğü gibi parçacıkların nokta temas halinde oldukları kabul edilerek, sinterleme zamanı ile malzemede ;başlangıç, orta ve son aşama olmak üzere üç aşamada sinterleme nin gerçekleştiği kabul edilir.

Gözenekler içindeki hapsedilen gazlar son yoğunlaşma kademesinin miktarını sınırlar. Son aşamada %92 yi geçen teorik yoğunluk elde edilir.

Sinterleme esnasında ürünlerde bir takım özellikler meydana gelir. Difüzyon sonucu toz partikülleri arasında metalik bir bağ oluşur. Farklı kompozisyondaki tozların harmanlanması halinde difüzyon metaller arası fazların ve katı çözelti alaşımlarının oluşumunu sağlar. Yüksek sıcaklıkta birbirleri ile teması halindeki yüzeyler arasında atomlar arası bağ teşekkülü eden ve atomların her iki yönde hareketi

ile bağ kuvvetlenir. Aynı zamanda plastik ve viskoz akış (akışkanlığı düşük, kısmi ergime) meydana gelebilir ve kütleli difüzyon ile boşlukların boyutları küçülür. Böylece parçanın hacmi azalır ve yoğunluğu artar. Düşük ham yoğunluğu sahip parçalarda büzülme daha fazladır. Isıtma esnasında faz değişimi olursa, büzülme ihmal edilecek seviyede olabilir hatta büyüme görülebilir. Pres kalıplarının boyutları, büzülme oranları dikkate alınarak tayin edilmektedir.



Şekil 2.15. a) Bir Metalin Tana Yapısı

b) Metal tanelerinin atomik yapısı

c) α -Fe ve γ -Fe'in birim hücreleri

2.4.1. Sinterleme Atmosferleri

Sinterleme işleminde elde edilmek istenen mekanik özellikler çok değişik atmosferlerde gerçekleştirilir

Bu atmosferler;

- 1.Oksitleyici Atmosferler: Hava, CO_2 , Su buharı(H_2O)
- 2.Redükleyici Atmosfer: Hidrojen, CO, metan(CH_4) ve Amonyak
- 3.Karbürleyici Atmosfer: Vakum, Helyum, Argon, Azot

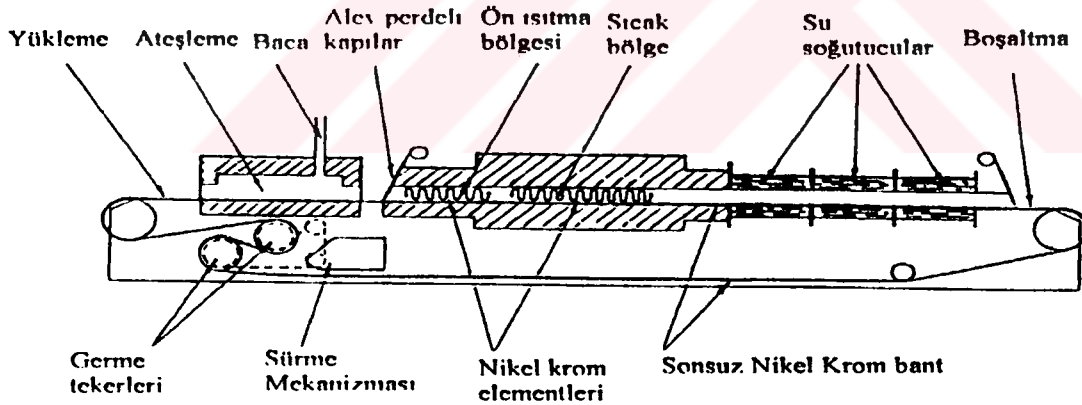
4.Nitrürleyici Atmosfer Amonyak (NH_3) ; Paslanmaz çelikler ve Krom alaşımlı çelikler için, bazen azotan arındırılırlar

Metan tozlarının sinterlenmesi için kullanılan atmosferler bu şekilde sınıflandırılabilir. Bu gazların karışımlarında kullanılabilir. Örneğin bir CO ve CO_2 karışımı aynı zamanda oksitleyici redükleyici veya dekarbürleyici olabilir. Gaz karışımları sinterleme sıcaklığına ve sinterlenecek malzemeye bağlıdır.

2.4.2. Sinterleme Fırınları

Toz metalürjisi yönteminin yaygınlaşmasıyla sinterleme fırınlarının üretimine başlanmıştır. Deneyimler sonucu doğrudan beslemeli fırınlar sinter endüstrisi için en yaygın kullanım alanı bulmuştur. Modern sinter fırınlarının oluşumu bu fırınlara dayanmaktadır. Sinter fırınlarının tasarımında şu faktörler dikkate alınmaktadır.

- a-Sinterleme sıcaklığı
- b-Sinterleme Atmosferi
- c-Üretim kapasitesi
- d-Devamlılık

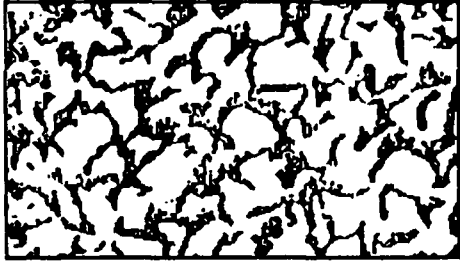


Şekil 2.16. Sinter Fırınının Şematik Gösterimi

2.4.3. Sinterlenmiş Mamullerin Fiziksel Özelliklerinin Ergime ile Elde Edilenlerle karşılaştırılması

Sinterlenen mamullerin yapılarına bakarak özellikleri hakkında fikir edinmek sinterleme ile elde edilen metallere nazaran daha zordur. Ergime ve sinterleme ile elde edilen metaller arasında belli başlı fark sinter mamullerinin daha gözenekli

olmasıdır. Gözenekler, artan sinterleme sıcaklığıyla azalır da, ancak sonradan yapılacak sıcakta dövme gibi bir işlemle tamamen yok edilebilir. Sıcakta dövülmüş sinter mamullerinin yapıları aynı sıcaklıktaki kompakt metallerin yapılarına benzer (Şekil 2.17).



a



b



c



d

Şekil 2.17. a-b Çeşitli sıcaklıklarda Sinterlenen Demirle Ergime yolu ile elde edilen saf demirin mukayeseli yapıları (Erstümer, 1970)

- a- 700°C'de sinterlenmiş demir karbonil.
- b- 1200 °C'de sinterlenmiş demir karbonil.
- c- 1200 °C'de sinterlendikten sonra 1000°C'den tavlanarak dövülmüş demir karbonil.
- d- Normalizasyon tavına tabi tutulan saf demir.

Sıvı faz mevcudiyetinde yapılan sinterlemede yoğunluk teorik olarak yaklaşırsa da, yine de gözeneksiz sinter mamul elde edilemez. Sinter mamullerle kompakt metallerin yoğunlukları arasındaki fark gözenekliliğin bir ölçüsü olsa da, gözeneklerin şekli ve boyutları hakkında bir fikir vermez. Halbuki gözenekler birçok özelliklere tesir ederler. Gözeneklilik taneleri şekil ve büyüklüğüne, presleme basıncına, sinterleme sıcaklığı ve atmosferine bağlıdır. Bu sebeple, sinter mamullerin özellikleri ergime ile elde edilen metallerinkine nazaran daha büyük değişiklikler gösterir.

Sinter mamullerin kopma uzamaları çok azdır, fakat sinterlemeye müteakip yapılan sıcak veya soğuk bir presleme işlemi ile artırılabilir. Mesela sinterlendikten sonra kopma uzamasına eşit, hatta daha büyük olabilir. Sadece sinterlenmiş metalin uzamasının az olması, toz tanelerinin tamamıyla birleştirilmiş olmalarındandır. Aynı sebeple, sinterlenmiş metalin çekme mukavemeti ile uzaması arasındaki bağıntı ergimeyle elde edilen metalinkine uymaz. Süneklik tayininde daima çok küçük değerler bulunmuştur. Bu sebep gözenekliliktir. Sinterlenmiş bakır parçaları, gözenekliliğe rağmen, beklenmedik şekilde, yorulmaya karşı kompakt metal kadar hatta daha fazla mukavemet göstermişlerdir.

Yoğunlukla beraber, elektrik iletkenliği de sinter mamullerin sık sık tayin edilen fiziki özelliklerdir. Elektrik iletkenliği, presleme ve ısıtma esnasında, toz partüküllerinin birleşme tarzı, gaz habbeciklerinin mevcudiyeti ve yalıtkan oksit kalıntıları hakkında fikir verir.

Belirli bir sıcaklıkta tanelerin ani olarak büyümesi, sinterlenmiş cisimlerin normal metallerden ayıran en önemli bir özelliktir. Yüksek sinterleme sıcaklıklarında, billurlaşma neticesinde büyük taneler meydana gelir. Bu durum yoğunluk, mekanik mukavemet gibi özelliklere tesir edebilir (Ersümer, 1970)

azalır. Pişirilmiş T/M malzemelerin dezavantajları gevrek olmalarıdır. Dinamik yük uygulamalarının olduğu parçaların pişirmeden sonra dövülerek tam yoğunluğa kavuşturmaları gerekmektedir. Toz dövme alışılmış dövme gibi sıcak yada soğuk olarak yapılabilir. Parça kuvvet altında plastik şekil değiştirerek istenen son şekli alırken bir taraftan tam yoğunluğa kavuşur.

2.4.4. Sinterlenmiş Bakır Metalinin Özellikleri

Bakır, sinterlemesi en çok incelenen metallerden biridir. Bu elementin yoğunluğu, sertliği, çekme mukavemeti, uzaması, preslemeye mukavemeti ve elektrik iletkenliğinin, basınç, sinterleme sıcaklığı ve presleme sıcaklığının fonksiyonel olarak değişimi incelenmiştir.

Sinterlenmiş bakırın özellikleri:

a) Yoğunluk: Sıcakta preslenmiş cisimlerin yoğunluğu, sıcakta preslenmiş cisimlerin yoğunluğu gibi iyi bir artış gösterir. Ancak sıcakta preslenmiş cisimlerin yoğunluğu çok daha büyüktür. 8 ton/cm² lik bir basınç ve 500°C lik bir sıcaklıkta

preslenmiş sinter cisminin (bakırın) yoğunluğu ergime ile elde edilen bakırınkine yakındır. 30 ton/cm² ye kadar çıkan basınçlarda preslenen bakır numunelerin yoğunluğu 8,75 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Çok yüksek basınçta preslenmiş bakır numunelerde, yoğunluğun sinterleme sıcaklığının fonksiyonu olarak değişimi anormal bir gidiş gösterir. Örneğin 6 ton/cm² lik bir basınçla preslenmiş bir numunenin yoğunluğu 7,1 gr/cm³ den 7,8 gr/cm³'e kadar yükselirken, 30 t/cm² lik basınçlarda yoğunluk aynı şartlarda 8,6 gr/cm³ den 6,9 gr/cm³'e düşer.

b) Sertlik: Ergime ile elde edilmiş ve tavllanmış bakırın Brinell sertliği 40 Kg/mm², soğukta dövülmüş bakırınki 110 ila 120 Kg/mm², 30 t/cm² basınç altında preslenmiş bakır tozları ki ise 130 ila 160 Kg/mm² dir. Sinterleme sıcaklığı artıkça numunelerin sertliği ergime ile elde edilmiş ve tavllanmış bakırın sertliğine yaklaşır. 800⁰C üzerindeki sıcaklıkta bakırın sertliğinde bir düşüş meydana gelir buda tanelerin büyümesi ve aynı zamanda yüzeylerin pürüzlenmesi sebebiyledir. Çizelge 2.5.de Tane boyutları farklı olan bakır tozları üzerinde yapılan deneylerde bulunan bulgular verilmiştir. 700⁰C nın altında yapılan sinterlemede, sertliğinin en az olduğu cisimlerin en kaba tozlardan yapılmış oldukları bu tabloda anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.5. Tane Büyüklükleri Birbirinden Farklı Çeşitli Sıcaklıklarda Sinterlenmiş Bakır Tozunun Sertlikleri

Tane Büyütme (mm)	Brinell Sertliği Kg/cm ²					
	Sıkıştırma (20 ⁰ C)	Sinterleme				
		260 ⁰ C	530 ⁰ C	700 ⁰ C	840 ⁰ C	920 ⁰ C
0,08	152,4	120,5	78,4	66,0	50,9	43,5
0,10	141,5	104,5	75,4	64,6	50,7	43,3
0,15	131,6	93,2	70,5	59,7	50,5	44,0
0,30	116,9	90,5	65,2	56,4	50,1	45,3

Bakır numuneleri daha yüksek sıcaklıklarda preslendiği takdirde (sıcakta presleme), maksimum sertlik, 8 ton/cm² den yüksek basınçlar için ve 300⁰ ile 450⁰ arasında elde edilir.

c) Mekanik özellikler: Mukavemet sinterleme sıcaklığı ile artar, preslendikten sonra sinterlenmiş numuneler için bulunan mukavemet 15 Kg/mm² olup, bu değer ergime ile elde edilmiş ve tavllanmış bakırınkinin %75 ine eşittir. Çekme mukavemeti

genellikle 600°C veya 700°C üzerinde bir düşüş gösterir. Mukavemetle beraber yoğunlukta biraz düşer. Mukavemet düşüşüne oksit kalıntılarının redüklenmesi ve parça hacminin artması sebebiyle yüksek sıcaklıkta meydana gelen gaz genleşmeleri(su buharı) sebep olur. Hidrojen içersinde redüklenmiş olan kaba bakır tozlarının sinterlenmesinde bu olay görülmez.

Sıcakta preslenmiş bakır numunelerde çekme mukavemeti önemli bir artış gösterir. 700°C lik sıcaklıkta presleme mukavemeti takriben 25 Kg/mm² kadar yükselir.

Sinterlemiş bakır parçalarda uzama, presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı ile artar. 3 ila 5 ton/cm² basınç altında preslendiğinde 800°C de sinterlenen numuneler takriben %4 ila 5, daha yüksek (10ton/cm² gibi)basınçlarda preslendikten sonra aynı sıcaklıkta sinterlenen numunelerde ise uzama %40 dır.

d)Özdirenç: Bakırın öz direnç değişimi 18°C ila 600°C arasında incelenmiştir.

Sıcakta preslenmiş bakır numunelerin öz direnç büyük ölçüde saf bakırinkine tekabül eder. Bu cisimlerin iletkenlikleri ergime ile elde edilmiş bakırinkinden pek farklı değildir

2.4.5. Sinterleme İşleminin Sonuçları

Eğer toz parçacıkları bir arada bağlanmak üzere yeteri kadar sıcaklıkta bir araya getirilirse sinterleme oluşur. Bazı malzemeler için, örneğin gümüş –cıza amalgami (diş dolguları)ve buz, oda sıcaklığı veya altı, bununla beraber genellikle daha yüksek bir sıcaklık kullanmak gerekir ve bunu elde etmek içinde çeşitli ısıtma yöntemleri kullanılır. Çoğunlukla koruyucu bir atmosfer de gereklidir.

Bazı malzemelerin sinterlenmesiyle özelliklerinde birçok değişme meydana gelir. Seramiklerde, mukavemet, ısı iletkenlik, yoğunluk saydamlık ve yarı saydamlık artar. Metallerde iletkenlik mukavemet ve süneklik genelde artar, yoğunluğun artacağı ve azalacağı metalin hazırlanmasındaki ayrıntıya bağlıdır. Yoğunluğun hazırlanmasındaki ayrıntıya bağlıdır Yoğunluğun azalması genellikle toz yüzeyinden çıkan gazların tutulması yada kapalı boşluklara hapsedilmiş yağlayıcıların ayrışması sonucudur. İki bileşen içeren sıvılarda genişleme yayılma boşluklarından da meydana gelebilir. Sinterleme esnasındaki özellik değişimleri sıcaklığın yayınma oluşa bilecek düzeye getirilmesiyle oluşan boyutlarda, biçim ve boşluk miktarındaki değişimlerin sonucudur. Meydana gelen sıcaklık genellikle ana malzemenin yeniden kristalleşme

sıcaklığına yakındır. Bundan dolayı sinterleme mekanizmalarının yeniden krisalleşmesindeki atom hareketlerine benzer büyüklükteki atom hareketlerine içildiği kabul edilebilir. Genelde atom hareketinin ortalama uzaklığı yaklaşık olarak parçacık boyutu kadardır (Ersümer, 1970)



3. SİNERLEME SONRASI TAM YOĞUNLUK TEKNİKLERİ

Piştirme pek çok T/M parça için son işlemdir. T/M malzemeler de, alışılmış döküm hadde malzemeler gibi ısıtıl işlem, yüzey temizleme, kaplama ve birleştirme işlemlerine tabi tutulabilir. Ancak, malzemeler piştirilmiş halleriyle gözenekli olduklarından bu işlemler sırasında daha dikkatli davranılmalıdır.

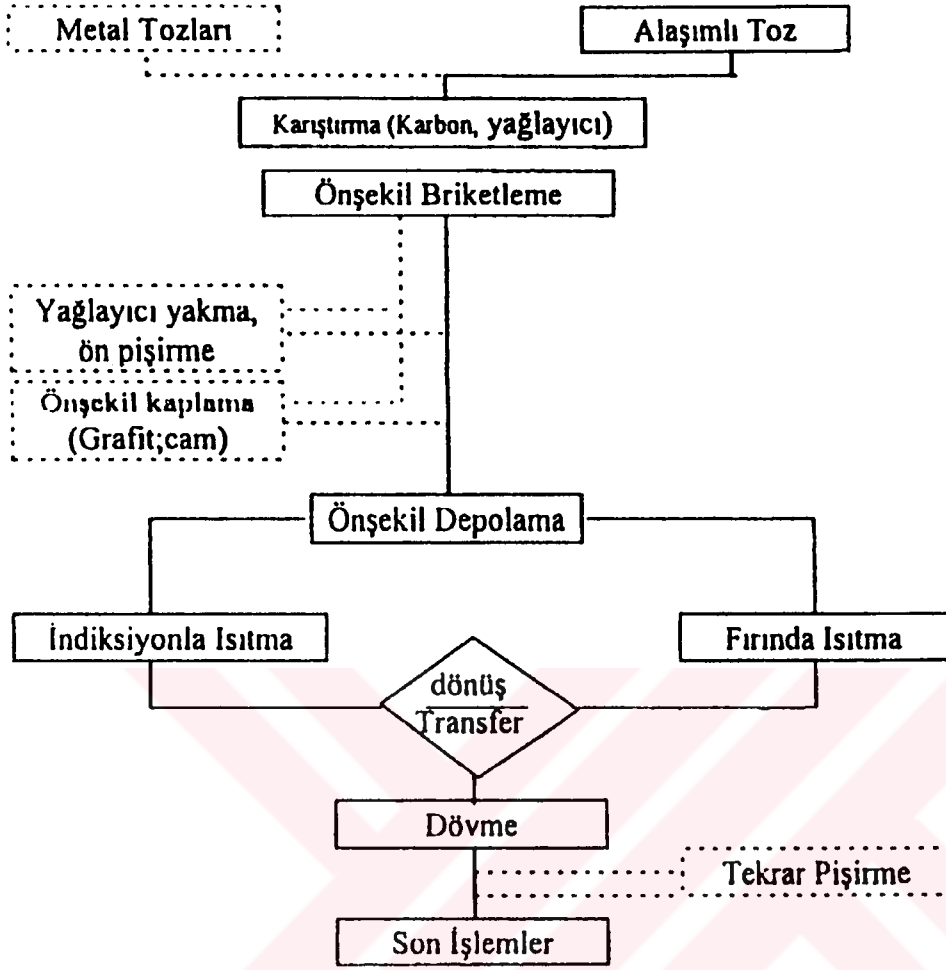
Piştirilmiş T/M malzemelere, iki işlem daha uygulanabilir. Bunlardan birincisi; piştirme sırasında oluşan boyut değişimini düzenlemeye yarayan ütüleme işlemi ve diğeri de, tam yoğunlukta malzeme istendiği zaman dövme işlemi.

3.1. Ütüleme

Her piştirme işleminde tozlar arası kütle transferi olduğundan yoğunlaşma, çarpılma ve boyutlarda daralma olur. Pek çok uygulama için bu boyutsal farklılık önemli değildir. Ancak yataklar, kamlar yada pistonlar gibi bir mil ya da yuvaya hassas olarak geçmesi gereken parçaları sinterlemeden sonra ütülemek gerekir. Ütüleme işlemi biçimlendirme işlemine çok benzer. Uygulanan kuvvet biçimlendirme kuvvetinden daha azdır. Parça çok az şekil değiştirerek istenilen toleranslara getirilir.

3.2. Toz Dövme

T/M parçaların mekanik özellikleri kalıcı gözeneklere bağlıdır. Bu gözenekler yok edilirse, mekanik özellikleri artar, parçanın kırılabilirliği azalır. T/M malzemelerin dezavantajları gevrek olmalarıdır. Bu olumsuzluğu yok etmek için sinterlenmiş malzemeler tam yoğunlaştırma işlemine tabi tutulur. Şekil 3.1. de toz dövme için başlangıçtan sonuna kadar işlem sırası verilmiştir. Toz dövme alışılmış dövme gibi sıcak yada soğuk olarak yapılabilir. Parça kuvvet altında plastik şekil değiştirerek istenen son şekli alırken bir taraftan tam yoğunluğa kavuşur.



Şekil 3.1. Toz Dövmeye Akış Şeması.

4. TOZ METALURJİSİ MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

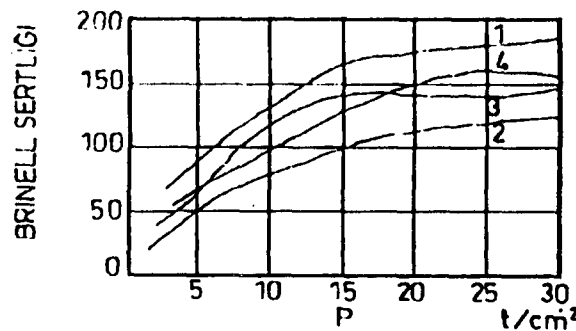
T/M malzemelerin mekanik mukavemetleri şekillendirme sonrası uygulanan ısıl işlemle kazandırılır. Oda sıcaklığında sıkıştırılan T/M parçalarda mekanik bağlar oluşur. Sonradan oluşan ısıl işlemle mekanik bağlar kimyasal bağlara dönüştürülerek mekanik özellikler iyileştirilir

T/M parçaları ile ergitilerek elde edilmiş parçalar arasında en önemli fark T/M parçaların gözenekli yapıda olmasıdır. Gözeneklilik; sinterleme sıcaklığına ve atmosferine, presleme basıncına bağlı olarak değiştiğinden T/M parçaların özellikleri ergitilerek elde edilen metallerin özelliklerine göre daha büyük özellikler gösterir.

4.1. T/M Parçaların Sertlik Özellikleri

T/M parçalarda sertlik ölçüleri genellikle Brinell sertlik ölçme metodu ile yapılır. Ergime ile elde edilmiş metallerde sertlik ve çekme mukavemeti arasında doğrusal bir ilişki vardır. T/M parçalar için bu söz konusu değildir. T/M parçalar gözenekli yapıya sahip olmaları nedeniyle sertlik değerinin ölçümünde ölçüm noktalarının yerini dikkat etmek gerekir. Eğer ölçüm noktası gözenek üzerinde veya yakınında olursa iz büyük olacağından sertlik değerinde yanlış netice alınır.

T/M parçaların sertlik değeri parçayı sıkıştırma basıncına göre de değişir. Altın ve Bakır tozlarının sıkıştırma basıncı ile sertlik değişimi Şelik 4.1. de verilmiştir. Ergime ile üretilen bakırın sertliği HB40-60 olduğu halde, bakır tozlarının T/M yöntemiyle sıkıştırılması ile sertliğinin %100 artırılması mümkündür. Sertliğin bu kadar yüksek olması tozun soğuk şekillendirme ile mekanik mukavemetinin çok artması ile izah edilir.



Şekil 4.1. Altın ve Bakırın Sıkıştırma Basıncına Bağlı Sertlik Değerinin Değişimi

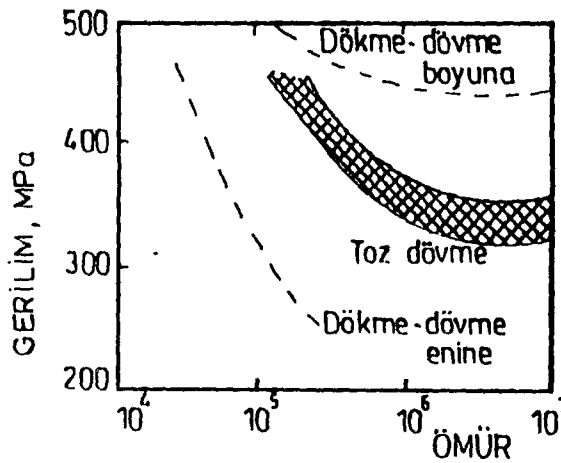
4.2. T/M Parçalarının Çekme, Yorulma ve Darbe Mukavemeti

T/M parçaların gözenekli bir yapıya sahip olmaları bu parçaların çekme mukavemetini olumsuz yönde etkiler. Çekme deneyi sırasında parçada önemli bir uzama olmadan kopma meydana gelir. T/M parçalarının çekme mukavemeti ergitilerek elde edilen parçaların çekme mukavemetinin ölçülmesi gibi tespit edilir. T/M parçaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde sıcak dövme yoluyla dökme-dövme malzemelere eşit bazen de üstün özeliğe sahiptir. Çizelge 4.1 de bazı T/M parçaların çekme ve darbe mukavemeti verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hadde ve T/M Çeliklerin Özelliklerinin Mukayesesi (Sarıtış, 1985).

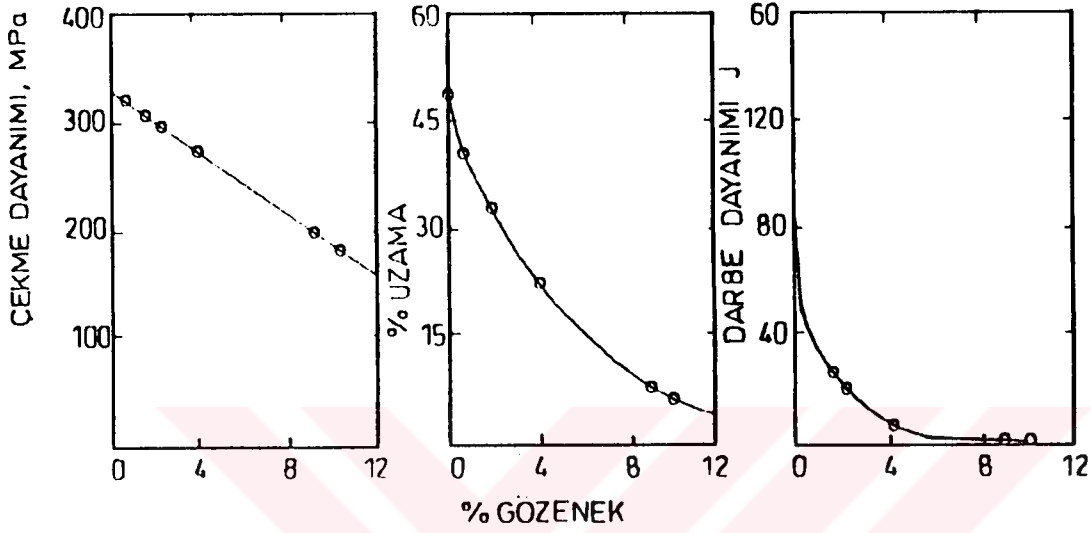
MALZEME		Çekme Dayanımı MPa	Uzama %	Kesit Daralması %	Darbe Enerjisi J
Mn-Mo	Hadde Yönü	920-980	17-19	60-62	100
Hadde	dik yön	910-950	5-12	6-24	10
T/M Ni-Mo		900-930	13-15	40-50	27

T/M parçaların yüzey kalitelerinden dolayı, özellikle T/M çeliklerin yük taşıma kabiliyetleri bazen hadde çeliklerinden bile üstündür. Şekil 4.2 de T/M parçaların yorulma mukavemetleri hadde parçalarla mukayese edilmiştir.



Şekil 4.2. Hadde ve T/M Çeliklerin Yorulma Özelliklerinin Mukayesesi (Sarıtış, 1985)

T/M parçalarda kalıcı- gözenek mekanik özelliklere tesir eder. Çekme mukavemeti ve miknatıslık kalıcı gözenek ile yavaş değişmektedir. Süneklilik çok hızlı değişmektedir. Şekil 4.3 de kalıcı gözenekliğin mekanik özelliklere etkisi görülmektedir



Şekil 4.3. Kalıcı Gözenekliğin Mekanik Özelliklere Etkisi (Sartaş, 1985)

T/M parçaların mekanik özellikleri kalıcı gözeneklerden başka oksijen miktarının da etkisi vardır. Süneklilik, darbe mukavemeti oksijen miktarı ile önemli ölçüde değişmektedir. Çatlak genellikle kalıcı gözenekleri ve toz yüzeyi oksitleri takip etmektedir (Sartaş, 1985)

5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada ev aletleri ve kilit parçalarında kullanılan Distaloy AE toz alaşımı kullanılmış ve bu alaşımlarındaki bakır oranı kademeli olarak artırılarak Cu elementinin mukavemet özelliklerine etkisi incelenmiştir. İşlemden önce pres basınçları ve sinterleme sıcaklıkları aynı tutularak sadece Cu elementinin miktarı değiştirilmiştir. Şekil 5.1.de Distaloy AE tozu kullanılarak üretilen parça resimleri görülmektedir (Höganäs, 1985)

Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilen demir esaslı molibden, nikel, bakır ve karbon ilaveli Distaloy AE toz alaşımları yüksek mukavemet ve tokluk sağlanması amacıyla geliştirilmiştir.



Şekil 5.1.a) Distaloy AE Tozlarıyla Üretilmiş
Kilit Parçaları

b) Distaloy AE Tozlarıyla Üretilmiş
Ev Aletlerinin Parçaları

5.1.1. Toz Karışımının Özellikleri

Distaloy farklı büyüklük ve şekillerde alaşımlandırılmış Fe esaslı bir tozdur ve bu tozların işlenmesi esnasında bir segregasyon riski oluşur. Bu segregasyon oluşumu Fe ve çok az alaşım katkıları arasında bir bağ oluşturularak azaltılır. Distaloy tozlarında bağ oluşumu, redükleyici bir atmosferde tozlar ısıtılarak difizyonla bağlanmıştır. Bu difizyonla alaşımlandırma kullanımında çok avantaj sağlar.

Örneğin;

- Toz safhasında alaşımların ilavesi segregasyon riskini azaltır.

- Presleme safhasında iyi bir preslenebilirlik sağlar.

- Sinterleme esnasında segregasyon riski az olan çeşitli şekillerde parçalar boyutlandırılabilir.

Bu çalışmada Distaloy tozlarının bir çeşidi olan Distaloy AE tozu kullanılmıştır. Distaloy AE tozu difizyonla bağlanmış olan küçük alaşım elementleriyle çok saf Fe tozlarından meydana gelmiştir. Bu tozlar diğer distaloy tozlarından farklı olarak Ni oranı %4'e çıkarılmıştır. Şekil 5.2.de Distaloy AE tozunun şekli görülmektedir (Höganäs, 1985)



Şekil 5.2. Elektron Mikroskobu ile Elde Edilmiş Distaloy AE Tozunun Şekli

5.1.2. Tozların Hazırlanması

Tozlar preslenmeden evvel tozhanelerde hazırlanır. Bu çalışmada kullanılan tozlar tamamen yurtdışından ithal edilmiş Distaloy AE ve Cu tozlarından oluşmaktadır.

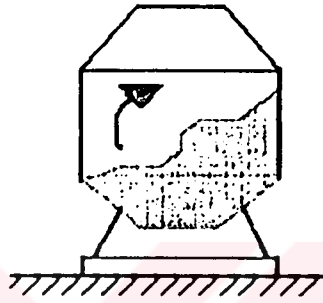
Distaloy AE;

C	% 0,01
Ni	% 4,04
Cu	% 1,51
Mo	% 0,50
Fe	Geri kalan

toz karışımından oluşmaktadır.

1- Numune için %100 Distaloy AE	100gr
2- Numune için %99,5 Distaloy AE + %0,5Cu	100gr
3- Numune için %99 Distaloy AE + %1Cu	100gr
4- Numune için %98 Distaloy AE + %2Cu	100gr
5- Numune için %97 Distaloy AE + %3Cu	100gr
6- Numune için %95 Distaloy AE + %5Cu	100gr

karışım olarak hazırlandı. Tozlar kalıp içersinde homojen dağılmasını sağlamak amacıyla % 0,8 Zn stearate katıldı. Karıştırıcıya tozlar bırakılmadan önce karıştırıcı temizlenip daha sonra numuneler karıştırıcıya yerleştirildi. Homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık tozlar 1 saat karıştırıldı. Bu işlem bütün numuneler için tekrarlandı. Şekil 5.3.de karıştırıcının şekli görülmektedir.



Şekil 5.3. Karıştırıcı

Elde edilen toz karışımlarının tane büyüklüklerini tespit etmek amacıyla elek analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Elek Analizi Sonuçları (100gr numune için)

Elek açıklığı	%
+212	-
+141-212	3
+76-141	18
+44-76	20
+37-44	31
-37	25
kayıp	3

Elek analizinden sonra toz halindeki numunelerin akıcılığını ve görünen yoğunluğunu tesbit etmek için testlere tabi tutuldu.

Tozun kalıp boşluğuna akma oranı çok önemlidir. Eğer tutarlı bir presleme isteniyorsa hızlı akmalıdır. Bir tozun akma özelliğine tane şekli, tane boyutu ve yağlayıcılar etki eder.

Hazırlanan toz numunelerinin Görünen yoğunlukları 3.03g/cm^3 olup akıcılığı 26 saniye/50gr olarak tespit edilmiştir. Bu yaklaşık olarak tüm numuneler için aynı değerdedir.

5.1.3. Kalıp Yapımı

Kalıp malzemeleri seçilirken parçanın ham yoğunluğu ve şekline göre kalıp malzemesi seçilir. Bu da kalıbın baskı sonucu esnemesini ve deforme olmasını önler.

Kalıp hazırlanmasında kalıp parçaları ve plakalar bir tel erozyon yardımı ile kesilir. Bu alet likit gaz ve bir elektrot bulundurur. Likit gaz içine konulan metal blok bakır elektrod yardımı ile istenilen şekle uygun olarak kesilip ve daha sonra çeşitli işleme ve kesme aletleri ile istenilen şekle getirildi. Kalıbın aksamaları birbirleri için de hareket ederken sürtünme ve aşınmaya maruz kalmamaları için $1\mu\text{m}$ boşluk olacak şekilde hazırlandı. Bundan sonra su verme ısı işlemi uygulandı.

Dişi kalıp için; K 107= Din norma 1,2436 x210Cr W12 bileşimi %2,1C-%11,5 ve %7W dir. Yumuşatma tavlama 800- 850°C'de yapılır. Tavlama sonrası max 250HB sertlik elde edilir. 650-700°C'de gerilimi alınır ve 950-980 °C'de sertleştirilir. Sertleştirme sonrası 64-66 HRC sertlik elde edilir. Menevişleme ise 300°C' de yapılırsa 61 HRC sertlik elde edilir.

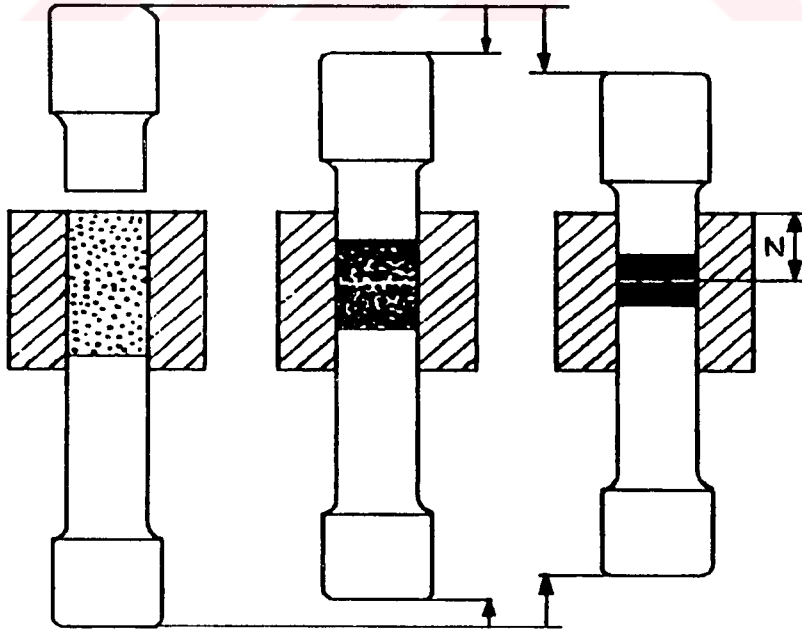
Erkek kalıp yapımında ise; K115= Din normu 1,2379x 155 Cr V Mo 112 alaşım elemanları; %1,55 C- %11,5 Cr- %0,7 Mo- %1.0 V dir. 800-850°C' de yumuşatma tavrına tabii tutuldu. Bu işlem sonrası max. sertliği 250 HB dir. 600-700''de gerilim giderme tavrı uygulanır.

5.1.4. Tozların Preslenmesi

Toz metalurjisinde en önemli adım preslemedir. Metal tozları özel olarak hazırlanmış çelik kalıplar içerisinde basınç etkisiyle sıkıştırılır. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılır.

Toz halindeki numunelerin preslenmeden evvel hangi preste preslendiği saptanır. Bunun için ilk önce parçanın yüzey alanı hesaplanıp ve bir cm^2 ye uygulanacak

kuvvet için kaç tonluk bir basınç uygulaması gerektiği tesbit edildi daha sonra bu kapasiteye en uygun olan R-4 diye bilinen maksimum 24 tonluk kapasiteye sahip pres seçilerek oda sıcaklığında presleme yapıldı. Presleme işleminden önce toz, pres kutusuna konur. Toz bir hortum ve hareketli bir pabuç yardımıyla kalıba iletilir. Hareketli pabuç ileri hareket ederek tozu kalıba doldurur ve bir silme hareketi yaparak geri çekilir. Böylece presleme işlemi gerçekleşmiş olur. Presleme oda sıcaklığında yapıldığı için metal tozları baskı sonucu birbirlerine yapışmasına rağmen taneler arası metalik bağ oluşmaz. Bu sebeple parçalar son derece kırılgandır. Parça preslendikten sonra kalıbın hareketiyle dışarı çıkarılır. Pabuç tekrar tozu doldurmak için geldiğinde çıkan parçayı tepsiye doğru iter. Kalıplar kalıp adaptörleri yardımı ile prese monte edilip ve birkaç denemeden sonra preslemeye geçildi. Kalıbın kırılmaması için presleme kuvveti kademeli olarak artırılıp asıl uygulanacak kuvvet bulundu. Bu pres kuvvetiyle birkaç numune basılarak daha sonra bu parçaları boyut ölçüleri ve gözle kontrolleri yapıldı. Parçaların yoğunluk kontrolü yapılarak yoğunluğu $6,6\text{gr/cm}^3$ olarak tesbit edilip tüm toz karışımları bu pres kuvvetiyle basılmıştır. Kararlı bir yoğunluk elde etmek için hem alttan hem de üstten yapılan çift etkili bir basınç kuvveti kullanılmıştır. Şekil 5.4.de çift etkili sabit kalıp görülmektedir.



Şekil 5.4. Çift etkili Sabit Kalıp

5.1.5. Sinterleme

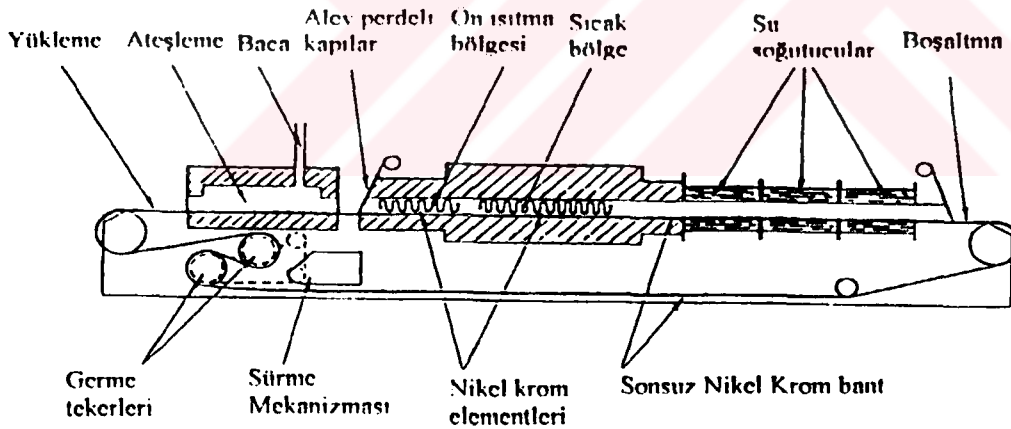
Sinterleme işleminde preslenmiş parçalar kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıkta istenilen nihai özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısıtma işlemine tabi tutulmasıdır.

Sinterleme işlemi tüm numuneler için 1130°C de ve 30 dakika bekletilerek yapıldı. Gaz atmosferi olarak propan gazı kullanıldı.

Propan gazının tercih edilmesinin sebebi; propan gazı karbürleyici bir gaz olmasından dolayı sinterleme işlemi sırasında numuneler bir miktar karbon emerler ve bu işlem de sertliğin daha da artmasını sağlar.

İşlem; devamlı bant şeklinde dizayn edilmiş fırınlarda gerçekleştirildi. Bu fırınlarda numuneler öncelikle ön ısıtma bölgesinden geçirilerek sinterleme işlemi başlatılmış olur daha sonra ısıtma bölgesi denilen ve sinterleme sıcaklığının en yüksek olduğu bölgeden geçirilip sonra ön soğutma bölgesine tabi tutuldu ve son işlem olarak ise su ile çevrilmiş soğutma bölgesinden geçirilip sinterleme işlemi tamamlandı.

Sinterleme işlemine numunelerin girişi ve sinterleme fırınından çıkışı 1,5 saat sürdü. Isıtma bölgesinde numunelerin bekleme süresi 30 dakikadır. Şekil 5.5.de sinterleme fırının şematik resmi verilmiştir



Şekil 5.5. Elektrikle Çalışan Sinter Fırınının Şematik Resmi

5.2.Sinterlenmiş Numunelerin Karakterizasyon Çalışmaları

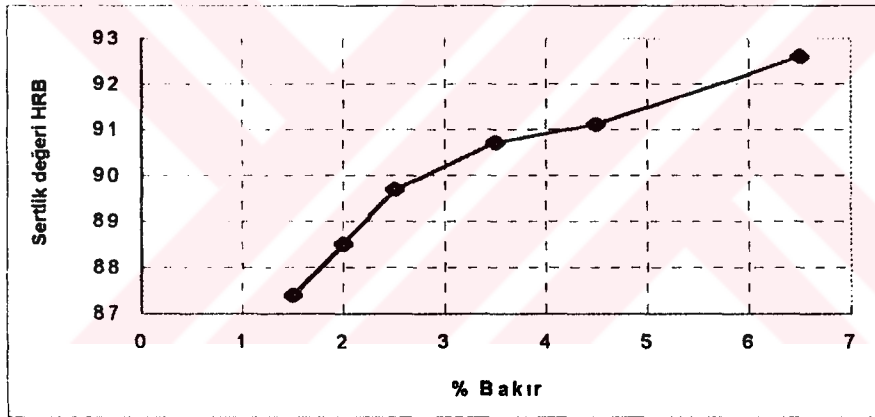
5.2.1. Sertlik Ölçümleri

Hazırlanan tüm numuneler literatürdeki çalışmalara uygun olarak her numunenin 5 farklı noktasındaki sertliği belirlenmiştir. HRB olarak bulunan sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak sertlik değerleri Çizelge 5.2. de verilmiştir. Bu tabloya

bağılantılı olarak Şekil 5.6. de artan bakır ilavesinin sertlik değerine etkisi görülmektedir.

Çekilge 5.2. Sertlik Ölçümleri Sonucunda Elde Edilen Değerler.

Numune no	Sertlik değeri
A ₁	87.4 HRB
A ₂	88.5 HRB
A ₃	89.7 HRB
A ₄	90.7 HRB
A ₅	91.1 HRB
A ₆	92.6 HRB



Şekil 5.6. Artan bakır Oranının Sertlik Değerine Etkisi

5.2.2. Yoğunluk Ölçümü

Bakır oranı farklı kompozisyona sahip numunelerin sinterleme işlemi sonucunda kazandıkları yoğunlukları ölçmek amacıyla Arşiment prensibine bağlı kalarak yoğunluk ölçümü yapılmıştır.

Arşiment prensibine göre

$$D = \frac{W_{kuru}}{W_{kuru} - (W_{sıvı} - W_{askı})} \times D_{sıvı}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada;

$D_{Sıvı}$ = İçinde ağırlık ölçüsü yapılan sıvının yoğunluğu

W_{Kuru} = Numunelerin şekillenmiş haldeki ağırlığı

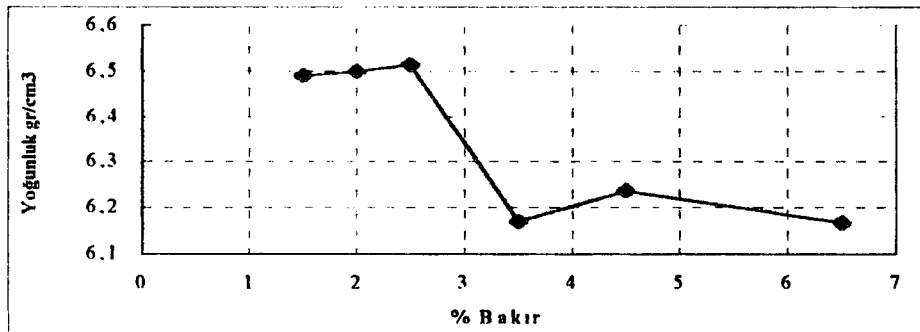
$W_{Sıvıda}$ = Numunenin sıvı içerisindeki asılı haldeki ağırlığı

$W_{Askı}$ = Numunenin sıvı içerisindeki tutulduğu askının ağırlığı

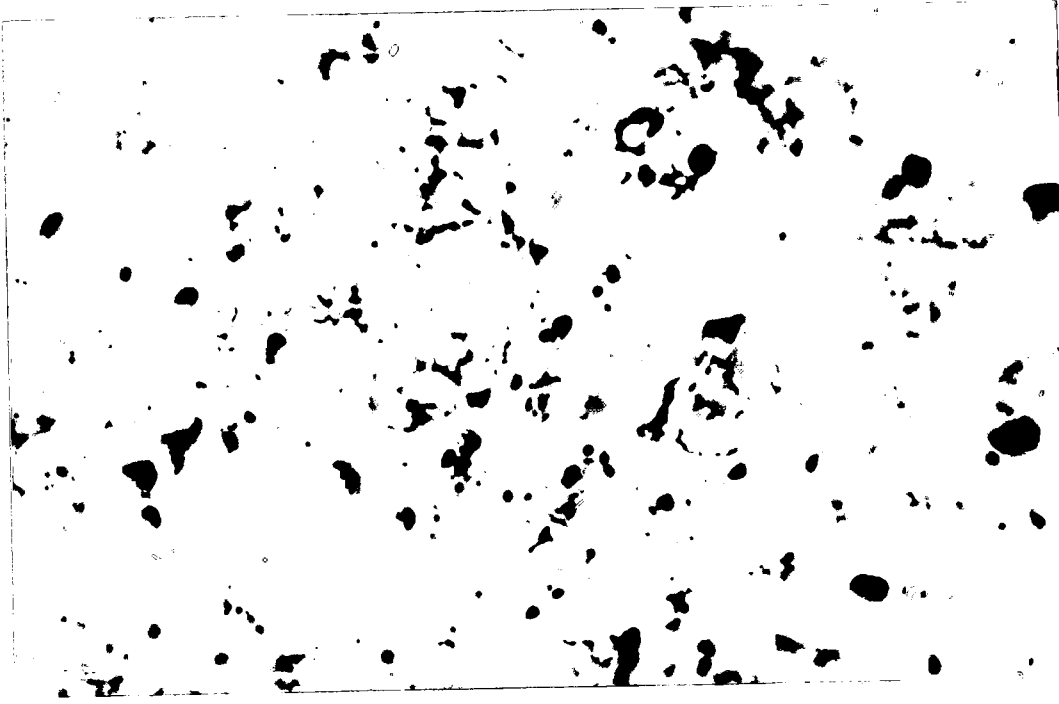
Yoğunluk ölçümleri sırasında numunelerin daldırıldığı sıvı ortam olarak yoğunluğu 1gr/cm^3 olan arı su kullanılmıştır. Yoğunluk ölçümleri sırasında $\pm 0.001\text{gr}$. hassasiyete ölçüm yapılabilen laboratuvar tipi dijital bir terazi ve metal bir askı sistemi kullanılmıştır. Çizelge 5.3.de sinterleme sonrası altı değişik kompozisyondaki alaşımlara ait ölçülen yoğunluk değerleri verilmiştir. Şekil 5.7 artan bakır oranının yoğunluğa etkisini göstermekte olup, %2,5 bakır oranından sonra yoğunlukta belirgin bir düşüş gözlenmektedir bunun sebebi yapıdaki gözeneklerdir. Şekil 5.8, 5.9, 5.10; %2.5Cu oranına kadar parlatılan fakat yapıdaki boşlukların tespiti için dağlanmamış numunelerin mikroyapıları gösterilmekte olup, Şekil 5.11, 5.12 ise %2.5 Cu dan fazla bakır ilaveli numunelerin gözenekli mikroyapılarını göstermektedir.

Çizelge 5.3. Ölçülen Teorik ve Sinterleme Sonrası Yoğunluk Değeri

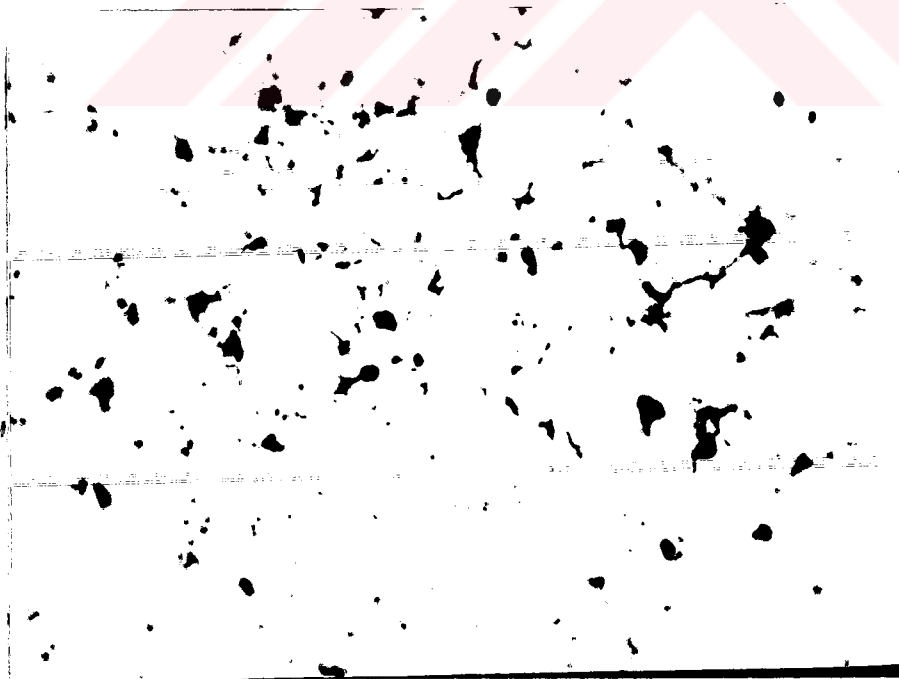
Numune No	Yoğunluk gr/cm^3	Teorik Yoğunluk gr/cm^3
A ₁	6.4896	7.939
A ₂	6.4985	7.958
A ₃	6.5129	7.964
A ₄	6.1688	7.974
A ₅	6.2354	7.981
A ₆	6.1663	8.002



Şekil 5.7. Artan Bakır Oranının Yoğunluğa Etkisi



Şeki 5.8. Parlatılmış %100 Distaloy AE numunesinin mikroyapısı. 100X



Şekil 5.9. Parlatılmış %99.5 Distaloy AE + %0.5 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X



Şekil 5.10. Parlattılmış %99 Distaloy AE + %1 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X



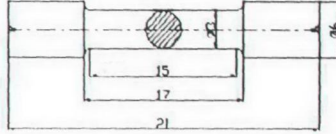
Şekil 5.11. Parlattılmış %97 Distaloy AE + %3 Bakır numunesinin mikroyapısı. 100X



Şekil 5.12. Parlattılmış %95 Distolay AE + %5 Bakır numunesinin mikroyapısı, 100X

5.2.3. Çekme Deneyi

T/M ile üretilen toz alaşımlarının çekme deneyine tabi tutulması amacıyla her numuneden 3'er tane olmak üzere 18 adet numune sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrasında düşük hızlarda talaş kaldırılarak şekillendirilen numuneler 17mm'lik ölçü aralığına sahip olacak şekilde TS-138 standartlarına uygun olarak hazırlandı.



Şekil 5.13. Çekme Deney Numunesi

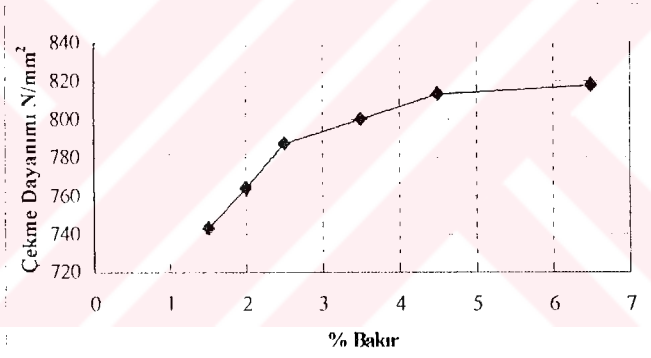
Hazırlanan numuneler Şekil 5.14'de görülen universal çekme- basma makinasında çekme deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.14. Universal Çekme – Basma Deney Makinası

Çizelge 5.4. Çekme Deneyi Sonunda Elde Edilen Değerler

Numune No	Çekme dayanımı N/mm^2	Uzama (% ϵ)
Λ_1	743.0	6.57
Λ_2	764.22	6.80
Λ_2	787.11	6.86
Λ_4	800	7.02
Λ_5	813.00	7.14
Λ_6	817.8	7.25



Şekil 5.15. Artan Bakır Oranının Çekme Dayanımına Etkisi

5.2.4. Basma deneyi

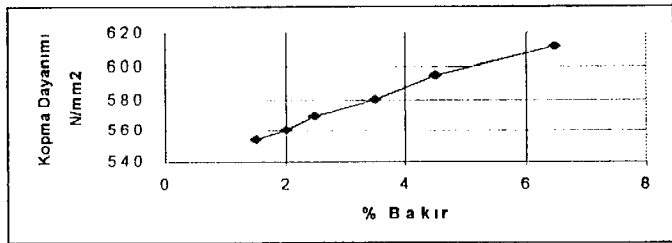
Sinterlenmiş ve bakır oranı farklı altı numunenin her birinden üç tane olmak üzere 18 adet basma deney numunesi standartlara göre hazırlanmıştır. Bu hazırlanan numunelerin alt ve üst yüzeyleri grafitle yağlanıp, üniversal çekme- basma makinasında basma deneyine tabi tutulmuştur



Şekil 5.16. Basma Deney Numunesi

Çizelge 5.5. Basma Deneyinde Elde Edilen Değerler.

Numune No	Basma dayanımı	% Kısılma
A ₁	553.879	40
A ₂	560.224	35.7
A ₃	569.773	32.4
A ₄	579.322	30.9
A ₅	594.601	28.6
A ₅	611.153	19.9



Şekil 5.17. Bakır Oranının Basma Mukavemetine Etkisi

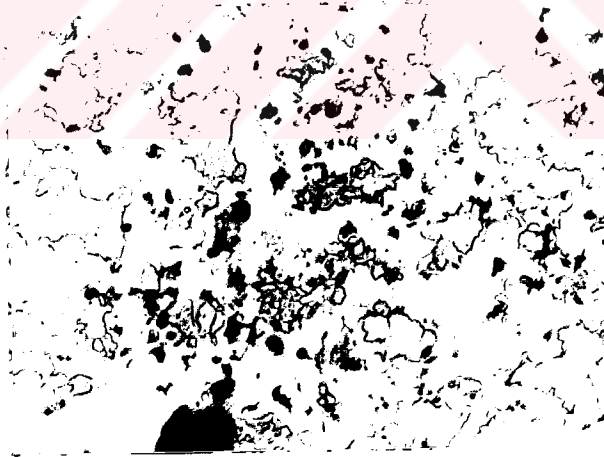
5.2.5. Mikroyapı Analizi

Farklı kompozisyonlara sahip demir esaslı alaşımların sinterleme sonrası oluşan mikroyapılarının incelenmesine yönelik yapılan çalışmalarda sadece optik mikroskop kullanılmıştır.

Optik mikroskop çalışmasında 2000x'e kadar büyütme yapabilen, otomatik kamaralı, yansıtma geçirimli ve polarize ışık altında görüntü verebilen bir mikroskop kullanılmıştır.

Optik mikroskop çalışmasında yüksek kalitede görüntü etmek amacıyla, bütün numuneler çekim öncesi metalografik incelemeden geçirilmiştir. Bu çalışma sırasında numuneler bakalıte alınıp 240, 320, 600, 800 ve 1200'lük zımparalarla zımparalandıktan sonra Al_2O_3 kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numunelerin gerekli kontrast farklılıkları kazanmaları için Dağlayıcı olarak "%2'lik Nital" kullanılmıştır. Dağlama süresi "5-8" saniye arasında bakır oranına göre değişmektedir. Bakır oranı artıkça dağlama süresi kısa tutulmuştur.

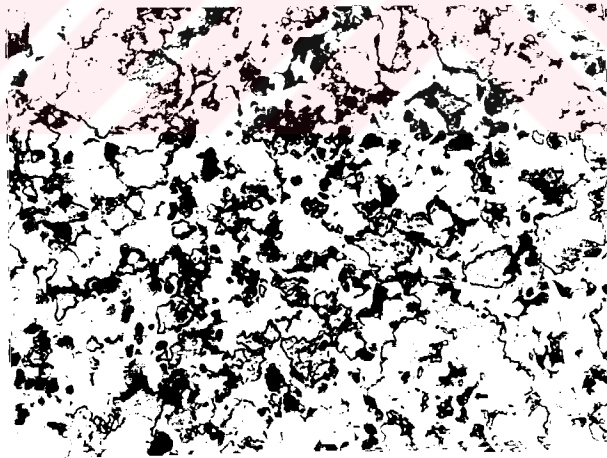
Optik mikroskop çalışmalarında silindirik şekilde sinterlenmiş parçaların sadece üst yüzeylerini incelemek üzere 100x ve 400x büyütme ile normal ışık altında fotoğraflar çekilmiştir.



Şekil 5.18. %100 Distaloy AE toz alaışının 1130° C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü 100X



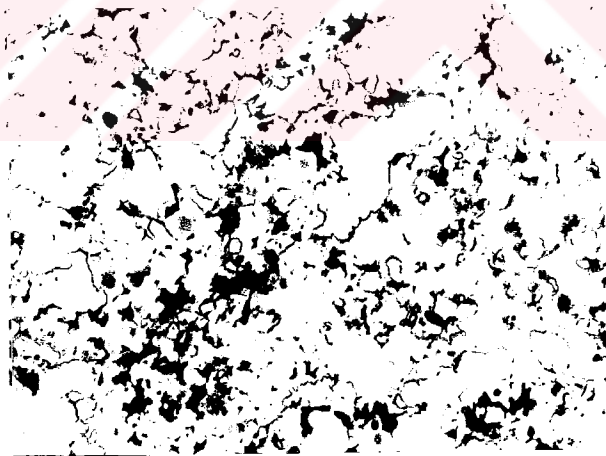
Şekil 5.19. %100 Distaloy AE toz alaşıımının 1130^o C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü 400X



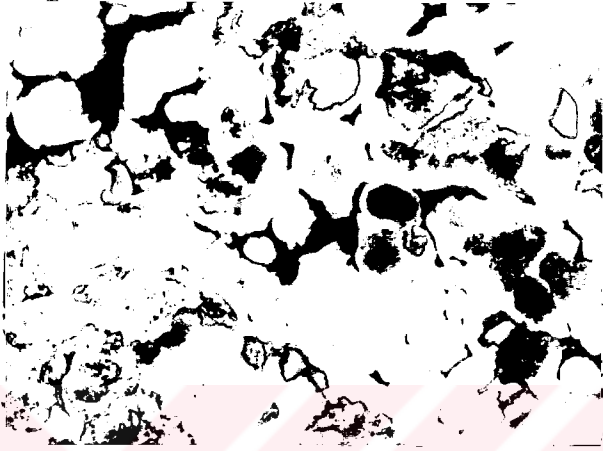
Şekil 5.20. %99.5 Distaloy AE + 0.5 Bakır tozu alaşıımının 1130^o C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü 100X



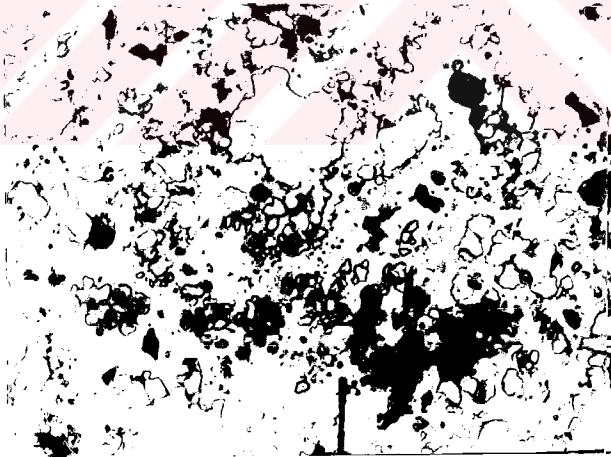
Şekil 5.21. %99,5 Distaloy AE + 0,5 Bakır tozu alaşımının 1130⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X



Şekil 5.22. %99 Distaloy AE + 1 Bakır tozu alaşımının 1130⁰ C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X



Şekil 5.23. %99 Distaloy AE + 1 Bakır tozu alaşımının 1130^o de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X



Şekil 5.24. %98 Distaloy AE + 2 Bakır tozu alaşımının 1130^o de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X



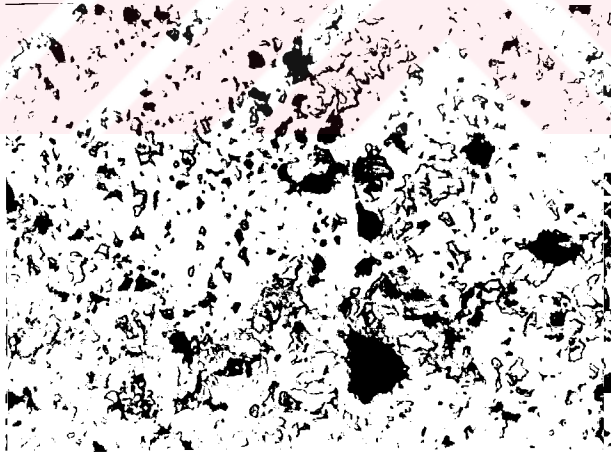
Şekil 5.25. %98 Distaloy AE + 2 Bakır tozu alaşımının 1130^o C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü 400X



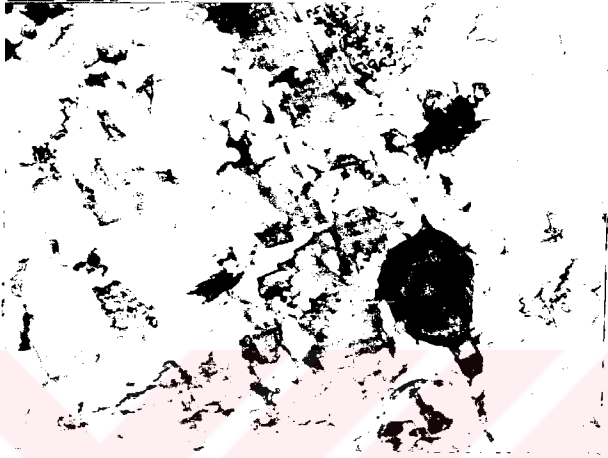
Şekil 5.26. %97 Distaloy AE + 3 Bakır tozu alaşımının 1130^o C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü 100X



Şekil 5.27. %97 Distalloy AE + 3 Bakır tozu alaşıımının 1130^o C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 400X



Şekil 5.28. %95 Distalloy AE + 5 Bakır tozu alaşıımının 1130^o C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü. 100X



Şekil 5.29. %95 Distalloy AE + 5 Bakır tozu alaşımının 1130° C de ve 30 dakika sinterleme sonrası optik mikroskoptaki görüntüsü .400X

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Toz Metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilen demir esaslı molibden, nikel ve bakır katkılı toz alaşımlarındaki bakır miktarı belirli oranlarda artırılarak elde edilen numunelere uygulanan çekme deneyi, basma deneyi, sertlik ölçümü, yoğunluk ve mikro yapı incelemelerinde ki sonuçlar irdelendiğinde;

Çekme deneyi sonucunda birinci numunenin (%100 Distaloy AE) çekme dayanımı 743N/mm^2 iken artan bakır oranıyla birlikte çekme dayanımında da artış kaydedilmiştir. A_6 numunesinin (%95 Distaloy AE + %5Cu) çekme dayanımı 817.8N/mm^2 dir. A_6 numunesinin çekme dayanımında A_1 numunesine göre %10 lük bir artış kaydedilmiştir.

Basma deneyi sonunda A_1 numunesinin basma dayanımı 553.87N/mm^2 iken artan bakır oranıyla birlikte basma dayanımında da artış kaydedilmiştir. A_6 numunesinin basma dayanımı 611.15N/mm^2 olup son numunenin basma dayanımı ilk numuneye göre %10.37 ilk bir artış göstermiştir.

Sertlik ölçümü sonunda A_1 numunesi HRB cinsinden sertlik değeri 87.4 olup artan bakır oranıyla birlikte sertlik değerinde de artış meydana gelmiştir. Son numunenin sertlik değeri HRB92.6 dır. Son numunenin sertlik değeri ilk numuneye göre %6 lık bir artış göstermiştir.

Yoğunluk tespiti için hazırlanan deney numunelerinin sinterleme sonrası yoğunlukları irdelendiğinde, % 2.5 ilk Cu ilavesine kadar yoğunluğunda çok az bir artış gözlenmiştir. Presleme esnasında homojen bir yoğunluk dağılımı elde edilememiş bunun nedeni dişi ve erkek kalıp arasındaki sürtünme kuvvetinin etkili olduğu için homojen bir basma uygulanamamıştır. Bundan dolayı %2.5 Cu oranından sonra yoğunlukta düşüş kaydedilmiştir.

Numuneler, sinterleme esnasında süreksiz sıvı faz sinterleme mekanizması oluşturmıştır. Demir içersindeki bakır, çözünürlük sınırının altında olduğu için sıvı bakır fazı difüzyon yoluyla demir içersinde çözünmüştür.

Çekme dayanımı, basma dayanımı ve sertlik değeri incelendiğinde, artan bakır ilavesi sıvı faz miktarını arttırmış, bundan dolayı demir içersine taşınan bakır miktarda yükselmiştir. Preslenmiş numuneler sinterleme sıcaklığına çıktığında, bakır parçacıkları eriyerek sıvı hale geçer. Bakırın tane sınırı enerjisinin yüksek olması nedeniyle sıvı bakır,

riyerek sıvı hale geçer. Bakırın tane sınırı enerjisinin yüksek olması nedeniyle sıvı bakır, arçacıklar arasındaki temas bölgelerine yayılır. Daha sonraki aşamada ise temas bölgelerindeki sıvı bakır tane sınırlarına sızarak ilerler ve sinterleme esnasında demir ve ligör katkı elementlerinin taneleri içersine difüzyon ile taşınırlar. Bu durum mikro yapı esimlerinde açıkca ayırt adılabilmektedir. Sıvı bakırın tane içersine taşınarak çökmesi üm yapıyı daha mukavemetli hale getirmiştir. Demir içersinde çözünen bakır miktarına ağırlık olarak kopma dayanımı, basma dayanımı ve sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

Sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi sabit tutularak yapılan bu çalışmada artan bakır ilavesine bağlı olarak kopma dayanımı, % uzama, basma dayanımı ve sertlik gibi mühendislik değerlerinde artış gözlenmiştir. % uzama değerindeki artışın bir sebebi olarak anecikler arasına ergimek suretiyle yayılan bakır gösterilebilir. Yani yapıyı oluşturan toz anecikleri arasında bulunan bakır sünek bir malzeme olması nedeniyle bu doğrultuda ana malzemeye tesir ederek onun % uzama değerini artırmıştır.

KAYNAKLAR

- Dixoz, R.T.H. and Clayton, A., 1971, Powder Metallurgy for Engineers. The Mechanicery Publishing Co., london.
- Alpugan, Z., 1981, T/M'de Presleme Tekniği ve N kleeer Yakıt  retimine Uygulanması. Tübitak
- Herman, S., 1978, Sintering an Economical Proses for The Manufacture of Metalic Precision Parts. Mannesman Konferans Notları., Almanya.
- Sarıtaş, S. ve  ınar, H., 1988, Metal Tozlarının  ift Hareketli Zimbalarla Briketlenmesi. 3.Ulusal Mak. Tes. İmalat Kongresi, 615-621.
- Sarıtaş, S., 1995, Toz Metalurjisi Derg., 36, 421, 41-47, Türkiye.
- Ersümer, A., 1970, Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme. İstanbul, 1-2, 7-25, 48-55, Gümüşsuyu/ İstanbul.
-  nl , N ve  avuşoğlu, L., 1995, Toz Metalurjisinin Yaygın Kullanım Alanları. Metal Dünyası, Teknik Yazı, Esentepe/İstanbul, 12 – 13.
- Avner, H., 1994, Powder Metallurgy, 605 – 607, 614 –615.
- Okumuş, S. . ve  ve oğlu, L., 1995, Toz Metalurjisinde Atomizasyon Yöntemi ve Bu Yöntemle  retilen Demir Esaslı Malzemeler, Matbaa Dünyası Teknik Yazı, Esentepe/İstanbul, 26 – 31.
-  nver, K., 1992, Atomizasyon ve Elektroliz Sistemleri ile Metal Tozu  retimi ve Metal Teknolojisi, İstanbul. 6, 41 – 45.
- Bedow, J.K., 1978, The Production of Metal Powders by Atomization Heiden Ltd., London.
- Uygur, E.M., 1979, Metal Tozlarının İmalı. ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi, 2, Ankara.
- Tohmier, F. and Thomma, W., 1967, The Sintering Process. Metal Rewiews, V.12.
- Sarıtaş, S., 1995, Yüksek Lisans Notları, Ankara.
- Sarıtaş, S., 1985,  elik Toz D vmecilik, ODTÜ, Uygulamalı Araştırmalar Dergisi, Ankara, 3, 11, 1 – 26.
- Demir, A. ve Sarıtaş, S., 1990, Toz Metal  eliklerinin Mekanik  zellikleri, Maltepe/Ankara.

- Çınar, H. ve Sarıtaş, S., 1988, Metal Tozlarının Çift Hareketli Zımbalarla Briketlenmesi. 3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 615 – 620.
- Sands, RL and Shaksphere, C.R., 1966, Powder Metallurgy. George Newnes Ltd, London.
- Özakça, M., 1989, Mechanical Properties of Compacted and Sintered Powder Metallurgy Blanks. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep
- Khun, H.A and Lavley, A., 1985, Powder Metallurgy Processing. Academic Press, 34-110
- Lang, K., Neubauer, A., Vöhringer, O. and Mars, O., 1997, Evaluation of the Ultimate Number of Cycles for Fatigue Testing of some PM Steels. Advances in Struktural PM Component Production, 1,257-264
- Höganäs AB., 1985, Iron and Steel Powders for Sintered Components, Sweden
- Höganäs ., 1985, Distaloy AE, Sweden
- Maulik, P., and Price, W.J.C., 1987, Effect of Carbon Addition on Sintering Characteristic and Microstructure of BT 42 High Speed Steel. 30-247
- Brazenhall, M.V.J.,1990, Furnase Atmospheres for Sintering. MPR, 600-604
- Kaufman, S.M., 1973, Carbon Control During The Sintering of Iron. Powder Metallurgy International, 11-16
- Halder, R.F., 1974, Mod. Dev. In P/M. 213