

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜZ DİŞLİLERİN MODELLENMESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali YAŞA

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon ve İmalat Teknolojisi

MANİSA 2008

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜZ DİŞLİLERİN MODELLENMESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali YAŞA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. Halit DOĞAN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Enver ATİK

: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOPARLI

MANİSA 2008

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

İÇİNDEKİLER	III
SEMBOL LİSTESİ	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
ÇİZELGELER LİSTESİ	X
TEŞEKKÜR	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ	1
2. TOZ METALURJİSİ	4
2.1. Toz Üretim Yöntemleri	6
2.1.1. Mekaniksel Yöntemler	7
2.1.1.1. Talaşlı Üretim	8
2.1.1.2. Kırma Ve Öğütme	8
2.1.1.3. Mekanik Alaşımlama	10
2.1.2. Atomizasyon Yöntemleri	10
2.1.3. Kimyasal Yöntemler	15
2.1.4. Elektroliz Yöntemi	17
2.1.5. Diğer Üretim Yöntemleri	17
2.1.6. Demir Tozu Üretimi	18
2.2. TOZ ÖZELLİKLERİ VE KARAKTERİZASYONU	19
2.2.1. Toz Özellikleri	19
2.2.1.1. Tane Boyutları	21
2.2.1.2. Tanelerin Şekli	21
2.2.1.3. Akma Faktörü	22
2.2.1.4. Tozların Sıkıştırılabilirliği	22
2.2.1.5. Kimyasal Özellikler	22
2.3. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI	24
2.4. TOZLARIN PRESLENMESİ (SIKIŞTIRILMASI)	25
2.4.1. İzostatik Presleme	27
2.5. SİNERLEME	28
2.5.1. Yöntemin Tanımı	28
2.5.2. Sinterlemede Taşınım Ve İtici Güç	29
2.5.3. Sinterleme Aşamaları	31
2.5.4. Sinterleme Atmosferi	32

2.5.5.	Sinterleme Fırınları	33
2.5.6.	Tek Fazlı Sistemlerde Sinterleme Mekanizmaları	36
2.5.7.	Sinterleme Parametrelerinin Malzeme Özelliklerine Etkisi	36
2.5.8.	Sinterlemeyi Etkileyen Faktörler	38
2.5.9.	Pratik Sinterleme Operasyonu	39
2.6.	KALİBRASYON KALIPLAMA (Tekrar Presleme)	39
2.7.	TALAŞLI ÜRETİM AŞAMALARI	39
2.8.	ISIL İŞLEMLER	40
2.8.1.	Hızlı Soğutma (Su Verme)	40
2.8.2.	Temperleme (Menevişleme)	40
2.8.3.	Sementasyon	41
2.9.	TOZ METALURJİSİNİN KULLANIM ALANLARI	41
2.10.	YÖNTEMİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	43
2.10.1.	Avantajları	43
2.10.2.	Dezavantajları	44
3.	ENDÜSTRİDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN DİŞLİLER	45
3.1.	Dişli Çarklar Ve Çeşitleri	45
3.1.1.	Düz Dişli Çarklar	46
3.1.1.1	Düz Dişliye Ait Elemanlar	47
3.1.2.	Helis Dişli Çarklar	48
3.1.3	Kramayer Dişli Çarklar	48
3.1.4.	Konik Dişli Çarklar	49
3.1.5.	Sonsuz Vida Ve Karşılık Dişlisi	50
3.1.6.	Zincir Dişli Çarklar	50
3.2.	Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Düz Dişli Üretim Aşamaları	51
3.2.1.	Düz Dişlinin Hesaplanması	51
3.2.2.	Düz Dişli Taslağının Tornalanması	51
3.2.3.	Düz Dişlinin Freze Tezgahında Açılması	52
3.2.4.	Azdırma Tezgahlarında Açılması	55
3.2.5.	Kama Kanalı Açma Ve Boşaltma İşlemleri	57
3.2.6.	Sementasyon İşlemi	58
3.2.7.	Düz Dişlinin Taşlanması	60
4.	TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE DÜZ DİŞLİ ÜRETİM YÖNTEMİ	60
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	66
5.1.	Dişli Hesabının Yapılması	66
5.2.	Metal Tozları Karışımı	68

5.3.	Sıkıştırma Kalıbı Tasarımı Ve İmalatı	69
5.4.	Sıkıştırma (Presleme)	72
5.4.1.	Sıkıştırma Basınçlarının Yoğunluğa Etkileri	75
5.5.	Sinterleme	77
5.5.1.	Sinterleme Sıcaklıklarının Yoğunluğa Etkileri	78
5.5.2.	Sinterleme Sıcaklıklarının Mikro Sertliğe Etkileri	80
5.5.3.	Sinterlenmiş Dişli Görüntüleri	80
5.6.	SEM Görüntüleri	81
6.	SONUÇLAR	89
7.	KAYNAKLAR	91

SEMBOL LİSTESİ

D	Hakiki çap (mm)
E	Eksenler arası mesafe (mm)
K	Sonsuz vida karşılık dişlisi diş sayısı (40)
N	Divizör manivela kolu çevirme oranı
X	Sinterleme boyun yarıçapı (mm)
Z	Diş sayısı
Da	Diş üstü çapı (mm)
Df	Diş Dibi Çapı (mm)
Dt	Bölüm dairesi çapı (mm)
Mn	Modül
b	Dişli genişliği (mm)
d	Ölçülen ortalama çap (mm)
h	Diş yüksekliği (mm)
p	Boyun dış kavis yarıçapı (mm)
γ	Yüzey gerilmesi
h₁	Diş üstü yüksekliği (mm)
h₂	Diş dibi yüksekliği (mm)
σ	Çekme gerilmesi

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 2.1. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Parça Üretiminin Şematik Gösterimi	5
Şekil 2.2. Mekanik Öğütme ile Toz Üretiminin Şematik Gösterimi	9
Şekil 2.3. Mekanik Alaşımlama Yöntemi	10
Şekil 2.4. Düşey Gaz Atomizasyon Ünitesi	11
Şekil 2.5. Su Atomizasyon İşlemi	12
Şekil 2.6. Döner Disk Atomizasyon Yöntemi	13
Şekil 2.7. Döner Elektrot Atomizasyon Yöntemi	13
Şekil 2.8. Vakum Atomizasyon Yöntemi	14
Şekil 2.9.. Ultrasonik Gaz Atomizasyonu	15
Şekil 2.10. Kimyasal Yöntemle Demir Tozu Üretimi	16
Şekil 2.11. Elektroliz Yöntemi İle Toz Üretimi	17
Şekil 2.12.a İndirgenmiş Sünger Demir Tozu	18
Şekil 2.12.b Atomize Demir Tozu	19
Şekil 2.13. Karıştırıcı	25
Şekil 2.14. Presleme işleminin Basamakları	26
Şekil 2.15. Soğuk Presleme	27
Şekil 2.16. Laplace Gerilmesi	29
Şekil 2.17.: Boyun Bölgesinde Muhtemel Sinter Mekanizmaları	30
Şekil 2.18. Sinterlemenin 4 Safhası	31
Şekil 2.19. Nikel Tozunun Sinterlemesi Sırasında Boyun Oluşumunun İlk Safhaları	32
Şekil 2.20. Sinterleme Fırınlarında Uygulanan Operasyonların Sıcaklık Ve Zaman/Durum Diyagramı	34
Şekil 2.21. Hareketli Bant Sistemine Sahip Bir Sinterleme Fırını	34
Şekil 2.22. Zamana Bağlı Olarak Değişik Sinter Sıcaklığının Toz Yapının Yoğunlaşabilirliğine Etkisinin Şematik Gösterimi	36
Şekil 2.23. İnce (1-10 µm) Kaba (50-200 µm) Taneli Tozlarda Sıcaklığa Bağlı Yoğunluk Değişimi	37
Şekil 2.24. Değişik Presleme Yoğunluğuna Sahip Toz Numunelerinin Sıcaklığa Bağlı Yoğunluk Değişim	38
Şekil 2.25. Toz Metal Parçaların Pazar Payları	42
Şekil 2.26. Bir Araba İçindeki Toz Metal Parçaların Dağılımı	42
Şekil 2.27. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Bazı Parçalar	43
Şekil 3.1. Bir Düz Dişli Görüntüsü	46
Şekil 3.2. Düz Dişliye Ait Elemanlar	47

Şekil 3.3. Bir Helis Dişli Çifti Ve Helis Dişli Görüntüsü	48
Şekil 3.4. Bir Düz Dişli İle Kramayer Dişli Görüntüsü	49
Şekil 3.5. Bir Düz Konik Ve Helisel Konik Dişli Görüntüsü	49
Şekil 3.6. Bir Sonsuz Vida Ve Karşılık Dişlisi Görüntüsü	50
Şekil 3.7. Bir Zincir Dişli Çark Mekanizması Ve Zincir Dişli Görüntüleri	50
Şekil 3.8. Bir Dişli Taslağının Tornalanması İçin Teknik Resim Görüntüsü	52
Şekil 3.9. Bir Üniversal Freze Tezgahı Görüntüsü	53
Şekil 3.10. Bir Divizör Görüntüsü	54
Şekil 3.11. Bir Modül Freze Çakısı Görüntüsü	54
Şekil 3.12. Bir Azdırma Tezgahı Görüntüsü	55
Şekil 3.13. Farklı Modüllerde Azdırma Çakıları Görüntüleri	56
Şekil 4.1. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilmiş Dişli Görüntüleri	61
Şekil 4.2. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilmiş Bir Bahçe Traktörüne Ait Dişliler	61
Şekil 4.3. Karışıma Ait Düz Dişli Görüntüleri	62
Şekil 4.1. Toz Metal Parçalar İçin Sıkıştırma Basıncı Etkisi	64
Şekil 5.1. Profil Kaydırma Yapılan Düz Dişliye Ait Görünüş	67
Şekil 5.2. Profil Kaydırma Yapılmayan (A) Ve Yapılan (B) Dişlilerin Diş Görüntüleri	67
Şekil 5.3 Sıkıştırma Kalıbı Görüntüsü	69
Şekil 5.4 Sıkıştırma Kalıbı Teknik Resim Görüntüsü	70
Şekil 5.5. Sıkıştırmayı Yapan Kalıbın Erkek Zimba Görüntüsü	71
Şekil 5.6. Metal Tozlarının Dolumu Yapılan Kalıbın Dişi Plakası Görüntüsü	71
Şekil 5.7. Kalıbın Hidrolik Pres Üzerine Montaj Görüntüsü	73
Şekil 5.8. Düz Dişli Sıkıştırma Kalıbı Ve Sıkıştırma İşleminin Yapıldığı Hidrolik Pres	73
Şekil 5.9.. Sıkıştırma İşlemi Sonrası Düz Dişlinin Görüntüleri	74
Şekil 5.10. Sıkıştırma İşlemi Sonrası Düz Dişlinin Görüntüleri	74
Şekil 5.11. Sıkıştırma Basıncının Normal Kalınlıktaki Parçaların Yoğunluklarına Etkileri	75
Şekil 5.12. Çift Baskı Yapılan Dişlilerde Basınç Yoğunluk İlişkisi	76
Şekil 5.13. Tek Baskı Yapılan Dişlilerde Basınç Yoğunluk İlişkisi	76
Şekil 5.14. İnce Parçalarda Basınç Yoğunluk İlişkisi	77
Şekil 5.15. Sinterleme İşleminin Yapıldığı Fırınlara Ait Görüntüler	78
Şekil 5.16. Sinterleme Sıcaklığının Yoğunluğa Etkileri	78
Şekil 5.17. Hızlı Soğutma Yapılan Dişlilerin Sıcaklık Yoğunluk İlişkisi	79
Şekil 5.18. Sabit Basınçta Sıkıştırılmış (754 MPa) Dişlilerin Sıcaklık Yoğunluk İlişkisi	79
Şekil 5.19. Sinterleme Sıcaklığının Mikro Sertliğe Etkisi	80
Şekil 5.20. Sinterlenmiş Dişli Görüntüleri	80
Şekil 5.21. Düşük Basınçta Sıkıştırılmış Dişli Görüntüleri	81

Şekil 5.22. Dişlilerin SEM Görüntüsü Almak İçin Hazırlanması	81
Şekil 5.23. Tel Erozyonda SEM İçin Hazırlanan Parça Görüntüsü	82
Şekil 5.24. "1" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 164 MPa	82
Şekil 5.25. "68" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 565 MPa	82
Şekil 5.26. "98" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 706 MPa. Sinterleme Sıcaklığı 1150	83
Şekil 5.27. "78" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 706 MPa. Sinterleme Sıcaklığı 1350 °C	83
Şekil 5.28. "1" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 164 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, SEM Görüntüsü.	83
Şekil 5.29. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 565 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, SEM Görüntüsü.	84
Şekil 5.30. "1" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 164 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, SEM Görüntüsü.	84
Şekil 5.31. "28" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 754 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1350 °C, Diş Dibine Ait SEM Görüntüsü.	85
Şekil 5.32. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağzı Görüntüsü	85
Şekil 5.33. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağzı Oksit Analizi	86
Şekil 5.34. "68" Nolu Parça 120 000 Kg, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağzı Oksit Görüntüsü	86
Şekil 5.35. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağzı Görüntüsü	87
Şekil 5.36. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli İç Kısmı Görüntüsü	87
Şekil 5.37. "94" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 754 MPa, Sinterlenmemiş Parça İç Kısmı Görüntüsü	88
Şekil 5.38. "94" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 754 MPa, Sinterlenmemiş Parça Dişli Kısmı Görüntüsü	88

ÇİZELGE LİSTESİ

SAYFA NO

Çizelge 2.1. Tozun Önemli Özellikleri Ve Etki Ettiği Bazı Faktörler	20
Çizelge 2.2. Hidrojen Atmosferi Altında Demirin Sinterleme Sonuçları	33
Çizelge 2.3. Sıcak Fırında Elementler ve Kullanımları	35
Çizelge 4.1. Farklı Karışımlarda Hazırlanmış Metal Tozlarının Sertlik Ve Yoğunluk Değerleri	63
Çizelge 4.2. Takım Çeliklerine Ait Kimyasal Kompozisyon	63
Çizelge 4.3. Sıcaklık Miktarı Ve Sinterleme Süresinin Yoğunluk Miktarına Etkileri	65
Çizelge 5.1. Metal Tozları Karışımının Kimyasal İçeriği	68
Çizelge 5.2. Metal Tozları Karışımına Ait Analiz Sonuçları	69
Çizelge 5.3. Parça Numaralarına Göre Sıkıştırma Kuvvetleri	72

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımın sıkıntlarına benimle birlikte katlanan değerli aileme teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve çalışmalarımın her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen Hocam Öğrt. Gör. Dr. Halit DOĞAN beye teşekkürler. Çalışmalarımda bana her konuda yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Kenan Yalınız beye teşekkür ederim. Arkadaşlarım Araş. Gör. Uğur ÇAVDAR, Sedat KOÇANOĞULLARI, Burak YILMAZ, Ali SARI ve çalışma arkadaşlarım Ali ASLAN, M. Raşit KESKİN, Bülent AKIN, Ertuğrul ASLAN'a teşekkür ederim. Numunelerin üretimi için, kalıp tasarımı ve presleme işlemlerinde bana yardımlarını esirgemeyen NE-KA KALIP SAN. VE TİC. AŞ. çalışanlarına ve üretim sorumlusu İlhan UĞURLUCAN beye teşekkür ederim. Proje çalışmamda maddi destek sağlayan Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, üretimi yapılacak olan düz dişlinin modül ve diş sayısı belirlendikten sonra, bir dişli hesabı yapan program yardımıyla dişliye ait elemanlar hesaplanmıştır, dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi için dişlere profil kaydırma uygulanmış ve dişlinin iki boyutlu görüntüsü çizilmiştir. Toz metal dişli üretimi için metal tozları seçimi yapıp, karışım olarak temin edilmiştir.

Hesaplamalardan sonra düz dişliye ait elemanların sıkıştırma kalıbı tasarlanarak imal edilmiştir. Farklı basınç değerlerinde presleme (sıkıştırma) işlemi uygulanmıştır. Sinterleme 900-1350 °C sıcaklık aralıklarında yapılmıştır.. Numunelerin bir kısmına havada soğutma, diğer bir kısmına ise suda soğutma uygulanmıştır.. Tel erozyonda kesilen numunelerin SEM görüntüleri çekilmiş, sertlik değerleri ölçülmüştür. Numunelerin hepsinin yoğunlukları hesaplanmıştır.

Sıkıştırma aşamasında tek etkili pres kullanmanın, sinter dişlinin yoğunluğunu düşürdüğü; düşük basınçta sıkıştırılan dişlilerde yoğunluğun düşük olduğu ve yüzey kopmalarının düşük basınçlarda gerçekleştiği görülmüştür. Üretilen sinter dişlilerin yoğunluk değerleri 6.5-7.3 gr/cm³ aralığında tespit edilmiştir. Bu yoğunluk değerine ulaşmak için; sıkıştırma derecesi, sıkıştırma yöntemi, sinterleme sıcaklığı ve yöntemi ile soğuma hızının etkili olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT

Then the determination of module and teeth number of gear which will manufacture, the other parameters was calculated by, to make the resistance properties right, profile sliding operation was applied and drafting of the gear was been drawn.

In this study, metal powders, it is necessary for the gear manufacturing by the powder metallurgy, assured to desire amounts and according to chemical content of metal powders.

According to the parameters of the results of all the calculation of the gear, compressing level was manufactured, compressing level was realized in different pressure values by according to decided thickness measurements which was given in the beginning.

Compressed items was been sintered in different relative heats to condition stable times. the samples was been sintered range from 900 c to 1350 c in heat levels in the sintering operation. cooling in the air and water was been applied on the samples.

After the sintering operation, according to the decide plan, the samples were processed by wire edm machine and its sem photographs were taken to get any information of the resistance by applying the certain experiments. hardness values and densities of the samples was been measured. tribological properties of samples was been researched. result of all the experiments was done;

Special processes increases the resistance in the manufacturing level, it is necessary to use double effected press machine and to heat the mold, low pressure compressing decrease the density of the gear and increase the coming apart in the surface. Density of the gear must be about $6.5-7.3 \text{ gr/cm}^3$ for the gear have a strong resistance. to reach the density level occurred many factors. they are increasing of the pressure, compressing method, sintering method, cooling velocity and heating value. If these processes are applied, mechanical properties are improved.

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere insanlığın gelişiminde rol oynayan malzemeler, teknikler ve yöntemler genellikle olmasını istemediğimiz savaşlar sayesinde ilerleme göstermiştir. Savunma sanayiinde yapılan araştırma geliştirme faaliyetlerinin bütçeleri bir çok ülkenin bütçesinden büyüktür. Bu kadar büyük bütçelerin söz konusu olduğu bir sahada gelişme elbette kaçınılmazdır. Toz metalurjisi yöntemi bu gelişmenin beraberinde getirdiği yöntemlerden birisidir.(Baksan ve diğerleri,)

Toz metalurjisi yöntemi ile demir esaslı makine parçalarının kullanımı endüstride gittikçe yaygınlaşmaktadır. Toz metalurjisi çeşitli üretim süreçlerini kullanarak farklı boyut şekil paketleme özelliğine sahip metal ve alaşım tozlarını dayanıklı, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştüren modern bir üretim yöntemidir. Üretilen parça türü göz önünde bulundurulduğunda üretilen parçaların büyük çoğunluğu otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Bu parçalar düşük karbonlu demir tozlarından yapıldıkları için genellikle ısıtım işlemi yapılmadan kullanılmaktadır.(Çavdar, 2005)

Toz metalurjisi yöntemi, diğer üretim yöntemlerine (döküm, talaşlı imalat, soğuk şekillendirme gibi) karşı alternatif bir üretim şeklidir. Bu yöntemle karmaşık şekilli parçaların imalatı kolaydır, bunun yanında belli parça sayısından sonra daha ekonomiktir. Toz metalurjisi uygulamaları oldukça geniştir. En başta sert maden uçlar olmakla beraber, tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, yağlamasız yataklar, elektrik kontaktları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makinaları parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motorlarının parçaları bu yöntemle üretilmektedir. (Kurt, 2007)

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçalardan biriside dişlilerdir. Dişlilerin bilinen yöntemlerle üretilmesi malzeme ve işçilik açısından incelendiğinde maliyetlerin çok yüksek olduğu açık olarak görülmektedir. Bir dişlinin bilinen bir yöntemle imal edilmesi malzeme seçiminden başlayarak incelendiğinde;

Malzeme seçiminde sementasyon çelikleri veya ıslah çelikleri kullanılmaktadır. Bu çelikler kalitelerinin yüksek olmasından dolayı fiyatları da yüksektir. Dişlinin üretimi yapılacak olan malzeme istenilen çapta, boy malzemedan kesilerek veya seri üretim için çelik dövme olarak imal edilebilir.

Malzemesi temin edilen dişlinin talaşlı imalat aşamalarına baktığımızda, diş üstü çapı, delik çapı ve kalınlık gibi dişli elemanlarının oluşturulması için tornalama işlemi gerekmektedir. Tornalama

işlemi biten dişlinin diş açımı için gerekli bağlama aparatlarının yapılması gerekmektedir. Diş açımı freze tezgahında veya seri imalatta kullanılan azdırma tezgahlarında gerçekleştirilir. Bu tezgahlarda işlemi gerçekleştirmek için ayar süresi ve hesapların yapılması işçilik maliyetlerini yükseltmektedir. Diş açımı tamamlanan dişli kama kanalı açımı ve boşaltma delikleri gibi işlemlere tabi tutulurlar.

Dişlilerin çalışması sırasında yüzey aşınmalarını an aza indirmek ve dayanımlarını arttırmak için talaşlı imalatı tamamlanan dişlilere sementasyon işlemi yapılır. Sementasyon işlemi ile sertleşen dişlilere delik içi taşlama ve dişlere profil taşlama işlemi uygulanır. Bu işlemler ile ısıl işlemdeki çarpılmalar giderilmiş olur.

Bir düz dişlinin imalatı için yapılan işlemlerin fazla olması, beraberinde küçük bir dişli için bile olsa yüksek maliyetler getirdiği için, toz metalurjisi yöntemi ile dişli üretimini seri imalat yapılacak olan dişlilerde avantajlı hale getirmiştir.

Aynı dişliyi toz metalurjisi yöntemi ile seri olarak üretmek istediğimizde malzemenin kimyasal yapısını oluşturacak metal tozları seçilmesi ve karışımının hazırlanması ile işlemler başlar. Yapılacak dişliye ait sıkıştırma kalıbı tasarımı ve imalatı yapılır. Sıkıştırma işleminin özellikleri tespit edilir. Metal tozları karışımı belirlenen basınçta sıkıştırılarak dişli bütün olarak kalıptan çıkarılır. Dişliler sinterleme işlemine tabii tutularak dayanım kazanmaları sağlanır. Sinterleme işleminden sonra parçalara, ısıl işlem ve talaşlı imalat işlemleri uygulanabilir. Isıl işlemler öncesindeki kesme, tornalama ve diş açma imalat aşamalarının minimuma indirilmesi bu yöntemi seri imalatı yapılacak olan dişlilerde avantajlı hale getirmiştir.

Bu çalışmada, makine parçası olarak kullanılacak düz dişlinin modülü 3 mm, diş sayısı 15 olarak seçilmiştir. Düz dişliye ait elemanların hesapları yapıldıktan sonra dişlinin yapım resmi çizilmiştir. Dişli hesapları yapılırken dişlinin dayanımını arttırmak ve diş profillerinin kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak için dişliye pozitif yönde profil kaydırma yapılmıştır.

Dişlinin malzemesini oluşturacak olan metal tozları karışımı sementasyon çeliğinin kimyasal yapısı baz alınarak ve düşük karbonlu bir karışım tespit edilip, buna göre karışım hazır olarak temin edilmiştir.

Dişli hesapları; dişlinin elemanlarının, dayanımının ve dişliye ait teknik resmin yapılabilirdiği bir program yardımı ile hazırlandıktan sonra teknik resimdeki diş profiline göre kalıbı tasarlanmıştır. Metal tozlarının sıkıştırma hassasiyeti dikkate alınarak gerekli çalışma boşluklarına göre kalıp

imalatı tamamlanmıştır.

Kalıbı imal edilen düz dişli presleme işlemi, 250 tonluk ve tonajı ayarlanabilen tek etkili bir hidrolik pres yardımı ile önceden belirlenen farklı basınçlarda gerçekleştirilmiştir. Parça kalınlığı yarıya indirilerek ve çift baskı uygulanarak numune basımı yapılmıştır.

Basımı gerçekleştirilen parçalar süre sabit tutularak farklı sıcaklıklarda sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Parçaların soğuması havada ve suda olmak üzere iki şekilde yapılarak parça üzerindeki etkileri izlenmiştir. Sinterleme işlemi tamamlanan numunelerin SEM görüntüleri alınmış, parçaların yoğunlukları belirlenmiş ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Toz metal parçalarda ulaşılabilen yoğunluk değerleri $6.5-7.3 \text{ gr/cm}^3$ aralığında elde edilebilmektedir. Parçalarda elde edilen sonuçlara göre üretim aşamalarının parçanın dayanımı üzerine etkileri belirlenmiştir.

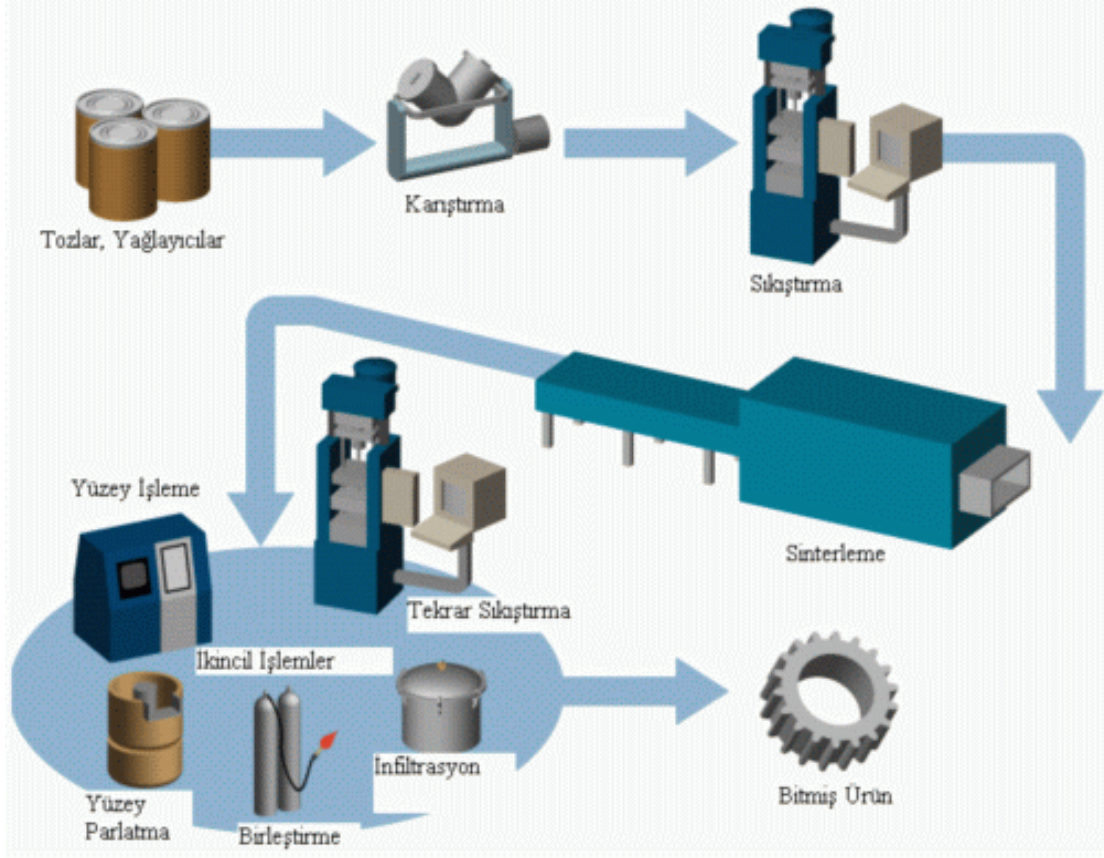
2. TOZ METALURJİSİ

1926 da Rusya'da tedavüle çıkan platin para Toz metalürjisi (T/M) yönteminin ilk endüstriyel uygulamasıdır. Çok eskiden beri bilinen bir yöntem olmasına rağmen uygulama açısından yeni sayılabilecek bir tekniktir. (Baksan ve diğerleri, 2002)

Toz metalürjisi çeşitli metal işleme teknikleri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalürjisini cazip kılmaktadır.T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimli kullanılır. Dakikada 25 parça üretilebilir. Toplam parça sayısı 100 000'den fazla ise oldukça ekonomiktir. (www.turktoz.gazi.edu.tr/trtozmetal.htm, 2008)

Toz metalürjisi yöntemi demir ve demir dışı metallere parça üretiminde kullanılan gelişmiş bir üretim yöntemidir. Toz metal parça üretiminde genellikle tozlar öncelikle soğuk sıkıştırma ile şekillendirilir ve sinterleme işleminden sonra bitirme işlemleri uygulanır. TM yöntemi ile tozların soğuk şekillendirilmesi ve kalıptan çıkarılması sırasında metal tozları ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak kalıp ömrünü artırmak amacıyla yağlayıcılar kullanılır. Malzemeye uygun yağlayıcılar ağırlık olarak % 0.5-2 oranlarında ilave edilerek karıştırılırlar. (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008).

Bu süreçte tozların başarılı bir şekilde sıkıştırılarak şekillendirilmesi birinci basamaktır. Karışımı hazırlanan tozlar istenilen geometrideki kalıplarda preslenir. Presleme işlemi esnasında dağınık halde bulunan tozlar kalıp içerisinde parçanın şeklini alır. Bu aşamada elde edilen parçalar düşük mukavemet değerine sahiptir. Bu mukavemet değerine ham mukavemet (green strength) denir. Ham mukavemet değeri parçanın kalıptan çıkartılıp sinterleme ortamına yerleştirilmesine olanak verecek değerlerde olmalıdır fakat bu değer parça üzerine uygulanacak yüksek değerlerdeki kuvvetleri taşımak için yeterli değildir. Kalıptan çıkartılan parçaların mukavemet değerlerini artırmak için parçalara sinterleme işlemi uygulanır. (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)



Şekil 2.1. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Parça Üretiminin Şematik Gösterimi (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)

Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller, T/M ile kolaylıkla şekillendirilebilirler. Döküm, gibi alışlagelmiş üretim tekniklerinde yaşanan oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu ve yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım oluşturmama gibi bir çok problem T/M yöntemi ile kolaylıkla ortadan kaldırılabilir.

Bir üretim yöntemi olmasının yanı sıra T/M aynı zamanda önemli bir malzeme ve yarı mamul üretim yöntemidir. Periyodik cetvelde metal olarak kabul edilebilen 86 kadar elementten yaklaşık 8000 kadar alaşım üretilebilmiştir. Halbuki bu 86 elementten ikili, üçlü, dörtlü gibi farklı kombinasyonlarla 10^{25} mertebelerinde alaşım üretebilmek mümkün olabilir bunu mümkün kılabilen yegane yöntem olarak T/M ortaya çıkmaktadır. T/M, kompozit malzeme üretiminde de kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yolla alışlagelmiş malzemelerden daha farklı ve üstün özelliklerde malzeme üretmek mümkündür.

T/M küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece

uygundur. Belirli derecede porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. T/M ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması T/M yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir. (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)

Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması (tungsten, molibden gibi), bazı özelliklerin ancak T/M ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalürjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metot olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı T/M yönteminin en bariz avantajlarıdır.

Toz metalurjisi, sıvı fazda hiç çözünmeyen elementlerden mekanik alaşımlama ile yüksek dayanımlı parça üretimine imkan verdiği gibi, mıknatıs, filtre, kesici takım uçları, kontaktörler, kendinden yağlamalı yataklar vb. bir çok özel doku ve yapıdaki parçaların en uygun üretim yöntemidir. (Yılmaz, 2004)

2.1. TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal malzeme üretimi açısından ortalama boyutları birkaç mikrondan birkaç yüz mikrona kadar parçalanmış partiküller toz olarak tanımlanmıştır. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, dendritik formlara kadar çok farklı olabilmektedir. Aynı şekilde tozun yüzey durumu da yani düzgün veya gözenekli olması da yine üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. (Baksan ve diğerleri, 2002)

Metal tozlarının üretimi için geniş çeşitlilikte mekanik, fiziksel ve kimyasal yöntemler bulunmaktadır ve piyasada bulunan tozlar parçacık büyüklüğü, kimyasal saflık ve mikro yapı bakımından geniş farklılık gösterir. Toz metalürjisinde kullanılan tozlar şekil olarak neredeyse küresel, iri partikül içermeyen ince toz şeklinde olmalıdır. Ürünün son hali ve üretimi için kullanılan teknikler, prensipte toz üretim tekniği tarafından etkilenen tozun karakteristiğine dayanır. (Nebel et al, 1989)

Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler, tozların birçok özelliklerini tayin eder. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, karmaşık şekle kadar çok farklı olabilmektedir. Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir.

Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir. Bir çok toz üretim tekniği arasından, ticari olarak teknikler kullanılmaktadır (Lawley, A., 1992, German, R.M., 1994,)

Metal tozları üretim yöntemleri mekanik, kimyasal ve elektro kimyasal olarak gruplandırabiliriz;(www.sakarya.edu.tr/~aokurt Kurt, 2001)

a.Mekaniksel yöntemler :

Kırma ve Öğütme

Atomizasyon

b.Kimyasal yöntemler :

İndirgeme

Hidrojen İndirgemesi

Hidro Kimyasal İndirgeme

Karbon İndirgemesi

Metal ile İndirgeme

Karbonil Prosesi

c.Elektro Kimyasal yöntemler

2.1.1. Mekaniksel Yöntemler

Metallerarası bileşikler, demir alaşımları, demir-krom, demir-silisyum v.b. gibi kırılgan malzemeler mekanik olarak bilyalı değirmenlerde öğütülürler. Fakat öğütme işlemi bir çok sünek metal için uygun değildir; çünkü bu metaller kolayca kırılmazlar. Sünek tanecikler kırılma yerine birbirleri ile soğuk olarak kaynaklanır ve daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüzde öğütme işlemi alüminyum gibi sünek metallere pul toz üretiminde de kullanılır. Bu durumda, soğuk kaynaklanmayı ve yapışmayı engellemek için yağlayıcılar kullanılır.

2.1.1.1. Talaşlı Üretim

Bu yöntemle tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma teknikleri kullanılarak çok iri ve karmaşık tozlar üretilir. Üretilen tozlar, öğütülerek ince tozlar haline getirilebilir. Toz özelliklerinin kontrolündeki zorluk, oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğer malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Yüksek karbonlu çelik tozları bu yöntemle üretilir.

2.1.1.2. Kırma ve Öğütme

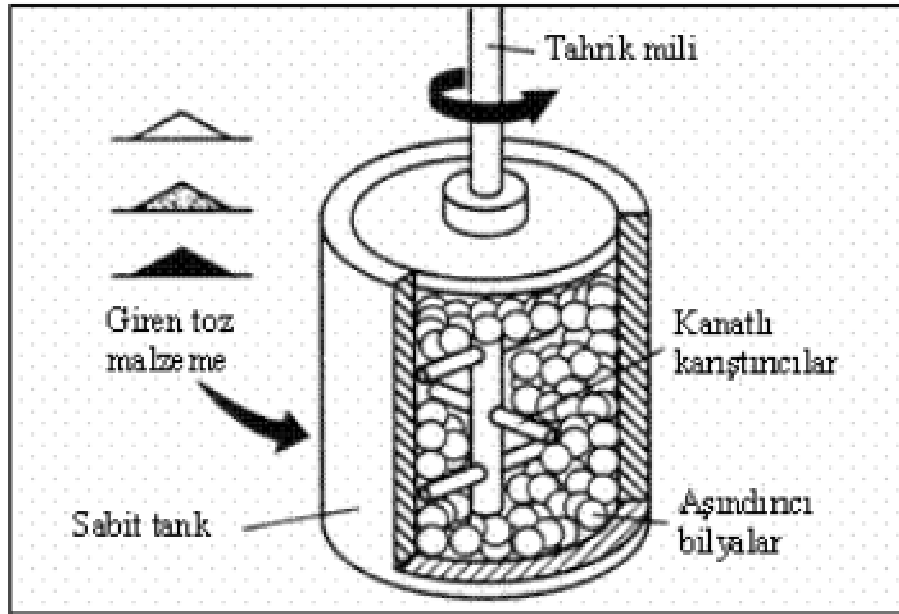
Metal tozları elde etmek amacıyla kullanılan bu çok basit yöntem, metali tornalama, planyalama, frezeleme ve eğeleme gibi işlemlerde mekanik olarak küçük zerreler haline getirilmesinden ibarettir. Fakat bu şekilde elde edilen demir ve magnezyum tozlarının toz metalürjisinde önemli bir tatbikatı yoktur. Hammadde yeteri derecede kırılğan ise, kaba bir öğütmeden sonra ince bir öğütme yapılır. Malzemenin cinsine göre sert porselenden bilyeli öğütücüler kullanılır.(Ersümer, 1970)

Değirmen büyük parçacık parçacık topraklarının ebatlarının küçültülmesi için birincil yöntemdir. Öğütme sırasında , beslenen malzeme son parçacık halini alıncaya kadar malzeme üzerinde kuvvetler etki eder. Darbe, kırma ve basınç hepsi parçacık ebat ve şeklini etkiler. Ancak az sayıda metaller (manganez, krom, antimuan, bizmut gibi) bilyalı değirmenlerde öğütülebilirler. Bu yüzden mesela, mümkün olduğu kadar yüksek saflıkta bir cevherinde direkt redükleme ile elde edilecek gözenekli demir, bilyalı öğütücülerde istenildiği kadar ince toz haline getirilebilir. Diğer yandan elektroliz yoluyla elde edilen kırılğan ve küçük taneli elektrolitik demir, bilyalı öğütücülerde istenen incelikte bir toz haline getirilebilir. Bu şekilde elde edilen demir tozu özellikle yüksek frekans bobinlerinin nüvelerinde kullanılır.

Bu yöntemde malzeme mekanik ya da pnomatik olarak kırma, çarpma ve öğütme şeklinde parçalanarak toz haline getirilir. Bu amaçla kullanılan makineleri kırıcılar, kaba ve ince öğütücüler olarak gruplandırabiliriz. Kırıcılar genellikle cevher hazırlamada kullanılır. Kaba ve ince öğütücüler ise birkaç mikrona kadar değişen boyutlarda toz hazırlamada kullanılır.Seramik malzemeler Metaller arası bileşikler, ferro alaşımlar; ferrosilis, ferrokrom gibi gevrek malzemeler bilyalı değirmenlerde öğütülür ve toz haline getirilir. Gevrek olmayan malzemelerin kırılması zor olduğu için öğütme işlemi genellikle bu tür malzemelere uygulanmaz, bunun yerine bazı sünek malzemeler sıvı azot ile soğutularak gevrek hale gelmesi ve öğütme işlemine elverişli hale gelmesi sağlanır. Sünek malzemelerin öğütülmesi özellikle alüminyumun öğütülmesinde yapışmayı engelleyici yağlayıcılar kullanılır. Bu yöntemde diğer bir uygulama da hidrürler

2.1.1.3. Mekanik Alaşımlama:

Mekanik alaşımlama (M.A.) yöntemi, kuru ve katı haldeki tozların birbirlerine periyodik olarak kaynaklanmasını ve tekrar bu kaynakların kırılmasını sağlayarak daha ince ve homojen bir mikroyapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılır.(Çiftçi, İ., 2003) Mekanik alaşımlama yönteminde tozlar kapalı bir kap içerisine konulur ve şaft döndürülür (Şekil 2.3.). Tozlar, şaft kolları ve bilyalar yardımı ile deforme edilir ve bu tozlarda kırılma ve soğuk kaynaklaşmalar meydana gelir.



Şekil 2.3. Mekanik Alaşımlama Yöntemi

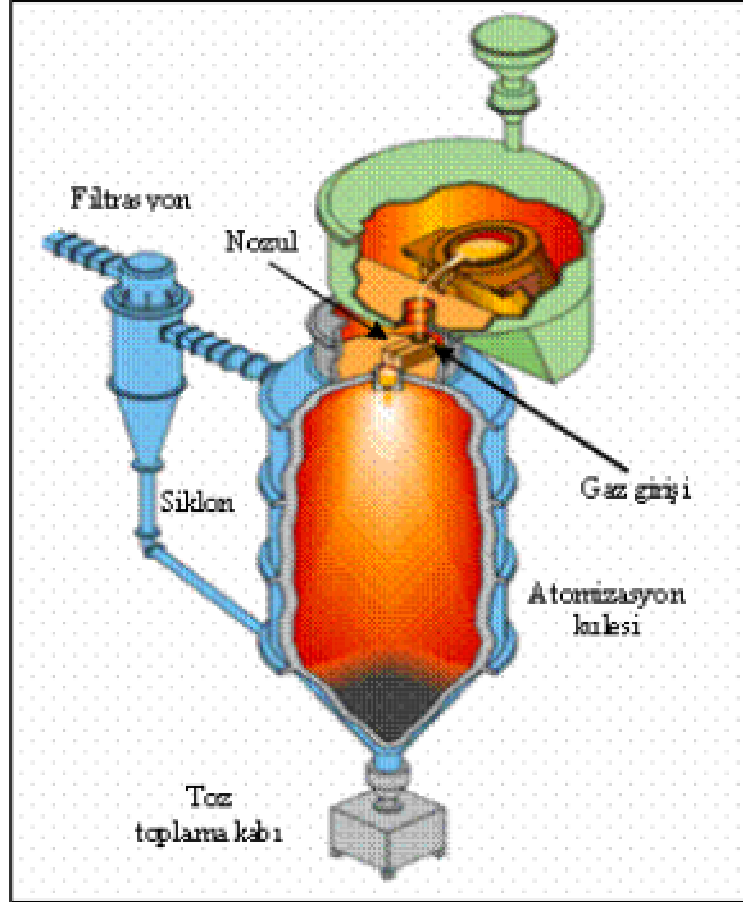
(http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html, 2008)

2.1.1.4. Atomizasyon Yöntemleri

Atomizasyon, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara ayrılmasıdır. (Kaysser W.A., ve diğerleri, 1990.)

Temel prensip, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir (Şekil 2.4.). Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardandır ve su ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal

demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacığa ayırır. Damlacıklar daha sonra katılaşıp metal tozlarını oluştururlar. Bu üretim yöntemi üç ana bölüme ayrılır: Ergitme, Atomizasyon, Katılma ve soğuma.



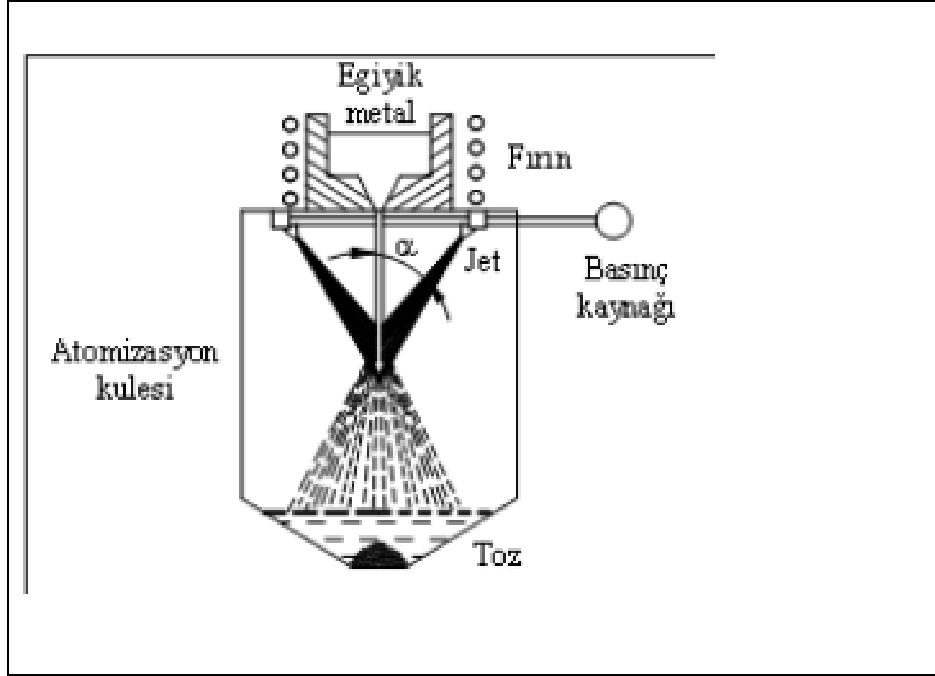
Şekil 2.4. Düşey Gaz Atomizasyon Ünitesi.

(http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html, 2008)

Bu işlemlerden sonra çoğu zaman yüzey oksitlerinin azaltılması, gazlardan uzaklaştırma ve toz boyutu dağılımı gibi ürünün istenen niteliklere getirilmesi için ek işlemler yapılmaktadır. Metal tozlarının üretiminde yaygın olarak kullanılan atomizasyon yöntemleri paslanmaz çelik, pirinç, demir, alüminyum, çinko, kalay ve kurşun gibi metal ve alaşımları için oldukça iyi sonuçlar vermektedir. (Sarıtış ve diğeri, 1994.)

Ayrıca atomizasyon yöntemleri, alüminyum ve alaşımlarının tozlarının üretiminde en yaygın ve en ekonomik olan yöntemlerdir. Atomizasyon yöntemlerinden su atomizasyonu, sıvı metalin su jeti ile parçalanması, gaz atomizasyonu ise gaz jeti ile parçalanması olarak tanımlanır. Tipik bir

suyla atomizasyon tankı Şekil 6'da verilmiştir. Çevresel olarak yerleştirilmiş olan memelerde oluşan basınçlı su jetleri sıvı metali keserek parçalar. Oluşan damlacıklar tankın dibine doğru hareket ederken soğuyarak katılaşırlar ve dibine çökelirler. Su çok iyi bir soğutucu olduğundan, suyla atomizasyon tankları kısadır (1m civarında). Gazla atomizasyonda benzeri şekilde oluşur. Ancak gazlar iyi soğutucu olmadıklarından gazla atomizasyon tankları 6 m den uzundur.(Sarıtaş, 1994)



Şekil 2.5. Su Atomizasyon İşlemi (German, R.M., 1994.)

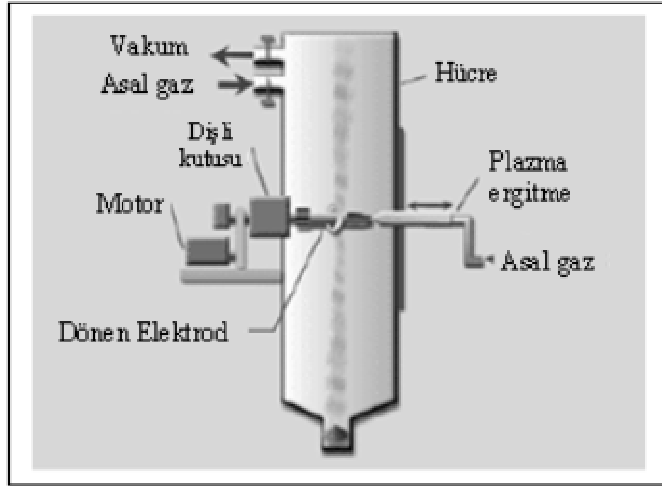
Gaz atomize tozlar küresel veya küresele yakın şekillidirler (Şekil 7). Bu yöntemle üretilen tozların tane boyutu 20 – 300 mm arasındadır. Su atomize tozlar genel olarak karmaşık şekilli olup, bu tozların sıkıştırılabilirlikleri ve sıkıştırılma sonrası ham mukavemetleri yüksektir. Su atomizasyon yöntemiyle elde edilen tozların ortalama tane boyutu 30 – 1000 mm arasındadır. (<http://web.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler/tozuretım.htm>.)

Ergiyik metalden toz üretimi için merkezkaç kuvvetinin kullanılması olarak bilinen döner disk santrifüj atomizasyon yönteminde, sıvı metal dönen bir disk üzerine akıtılır (Şekil 2.6.). Disk üzerindeki set ve yarıklara çarpan sıvı metal parçalanarak şekildeki gibi saçılır. Saçılan metal parçacıklar soğutulularak katılaşımları sağlanır. (Sarıtaş ve diğerleri, 1994.)



Şekil 2.6. Döner Disk Atomizasyon Yöntemi (Baksan ve diğerleri, 2003.)

Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yöntemi ise, dönmekte olan elektrotun ergiyen ucundaki sıvı metal damlaların atomize olması esasına dayanır (Şekil 2.7.) (Lawley, A., 1977.)



Şekil 2.7. Döner Elektrot Atomizasyon Yöntemi (Baksan ve diğerleri, 2003.)

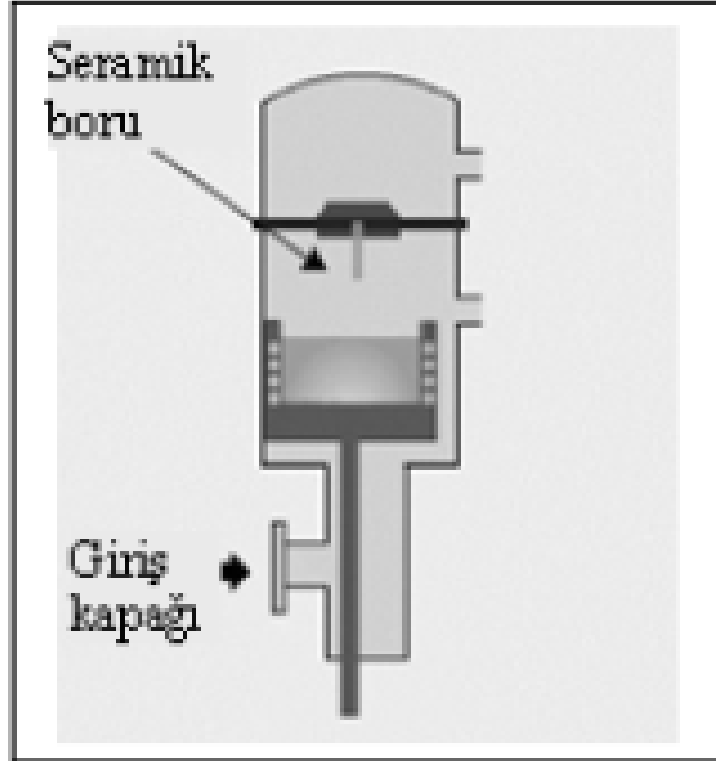
Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yönteminde tozu elde edilecek metalden yapılmış elektrot ile ergimeyen tungsten elektrot arasında ark oluşturulur. Ergiyen elektrotun döndürülmesiyle, elektrik arkı altında oluşan damlacıklar savrulur ve parçalanır ve

tankta toplanır. Oksidasyonu önlemek için toz toplama tankı helyum, argon gibi asal gazlarla doldurulur. (Baksan ve diğerleri, 2003.)

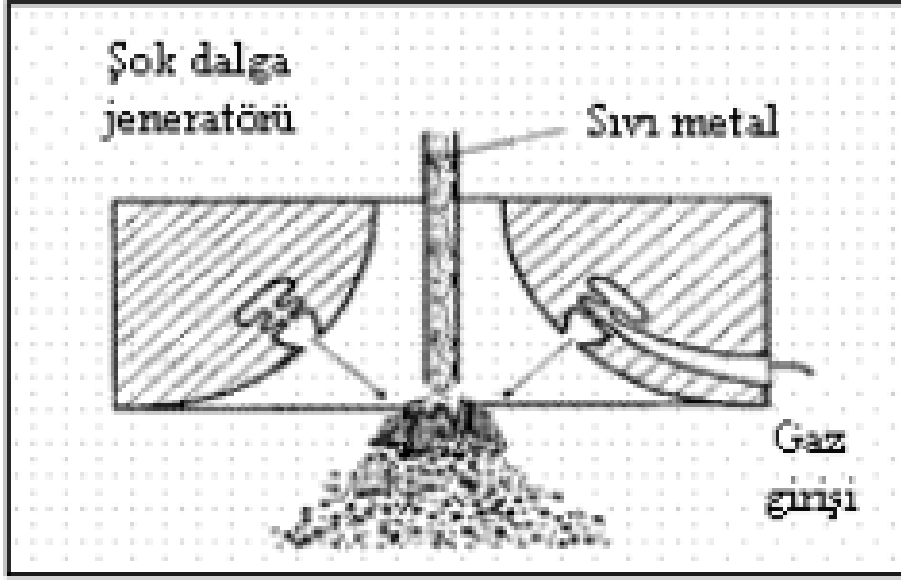
Döner elektrot yöntemiyle, kobalt, krom ve titanyum alaşım tozları üretilmektedir. (Lawley, A., 1992.)

Vakum atomizasyonu yöntemi, basınçlı gaz altındaki sıvı metale ani olarak vakum uygulanması sonucu gazın genleşmesi ve metalin atomize olmasıyla gerçekleştirilen bir metottur. (Champange, B.ve diğerleri, 1984.)

Bu yöntemde, Şekil 2.8'de görüldüğü gibi silindirik bir tankın alt kısmında sıvı metal potası, üst kısmında da vakum atomizasyon odası bulunmaktadır. Vakum altındaki sıvı metal önce belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, bundan sonra bu bölüme hidrojen gazı doldurulur. Potadaki sıvı metalde hidrojen gazı çözüldükten sonra potayı yukarı taşıyan mil potayı yukarı iterek seramik boruyu potaya daldırır. Üst kısımda vakum olduğu için sıvı metal memeden geçerek parçalanır. Böylece metal ve alaşımlarından ince küresel tozlar üretilir. (Baksan ve diğerleri, 2003.)



Şekil 2.8. Vakum Atomizasyon Yöntemi (Baksan ve diğerleri, 2003.)



Şekil 2.9.. Ultrasonik Gaz Atomizasyonu (Klar, E. ve diğerleri, 1984.)

Ultrasonik gaz atomizasyon yönteminde ise, yüksek basınçlı gaz rezonans boşluklarının birinden diğerine ivmelendirilerek ultrasonik ses dalgaları oluşturulur (Şekil 2.9.) ve yüksek katılma hızına bağlı olarak çok ince ve küresel şekilli tozlar üretilir. (Rai, G. Ve diğerleri, 1985.)

Atomizasyon yöntemleriyle bir tozun ortalama boyutu, toz boyutu dağılımı, toz şekli, yüzey kompozisyonu da dahil olmak üzere kimyasal bileşimi ve mikroyapısı kontrol edilebilir. Bu temel özellikler, tozların ve bitmiş parçaların görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler. (Klar, E. Ve diğerleri, 1984.)

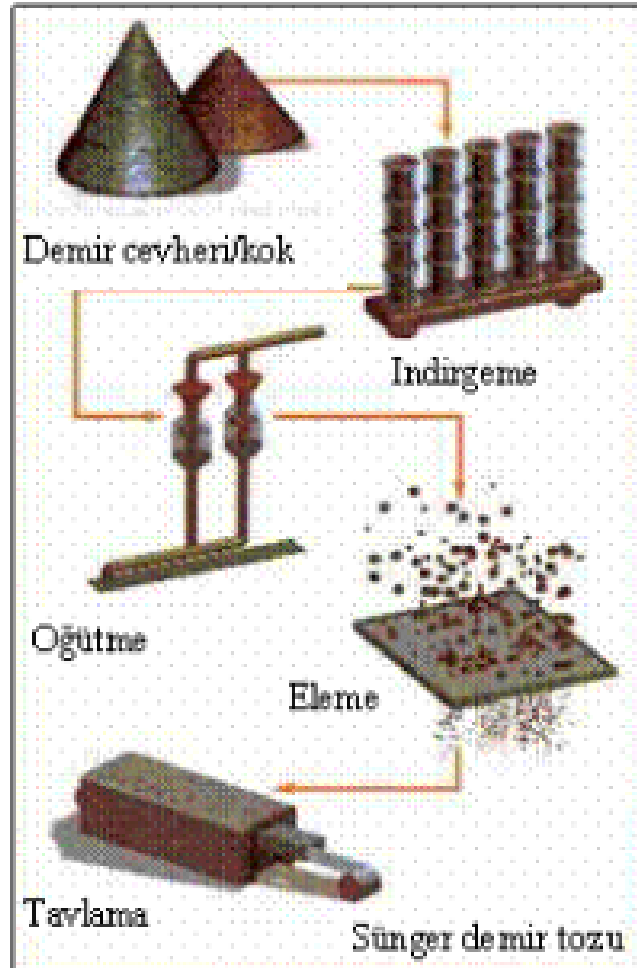
Bunların yanı sıra, atomizasyon yöntemlerindeki yüksek toz üretim hızı, ekonomik olarak bir üstünlüktür. Her atomize partikül bir ön alaşım veya küçük bir kütük gibidir ve her partikülde bileşim aynıdır. (Lawley, A., 1992.)

2.1.3. Kimyasal Yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) CO veya hidrojen gibi indirgeyici gazlarla oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesidir. (German, R.M., 1994.)

Kimyasal yöntemle üretilen sünger-demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleye dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit (Fe_3O_4), kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde $1260\text{ }^{\circ}C$ sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat bekletilir. (Sarıtaş S., 1994.)

İndirgenmenin tamamlanması ile sünger demir elde edilir. Şekil 2.10'da kimyasal yöntemle demir tozu imalatı görülmektedir. Elde edilen sünger demir külçeleri yüksek sıcaklıkta ($1260\text{ }^{\circ}C$) birbirine kaynak olmuş tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Hidrojen gazı altında $870^{\circ}C$ 'de tavlanaarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arıtılır ve son olarak elekten geçirilir. (Turan, H., 1993)

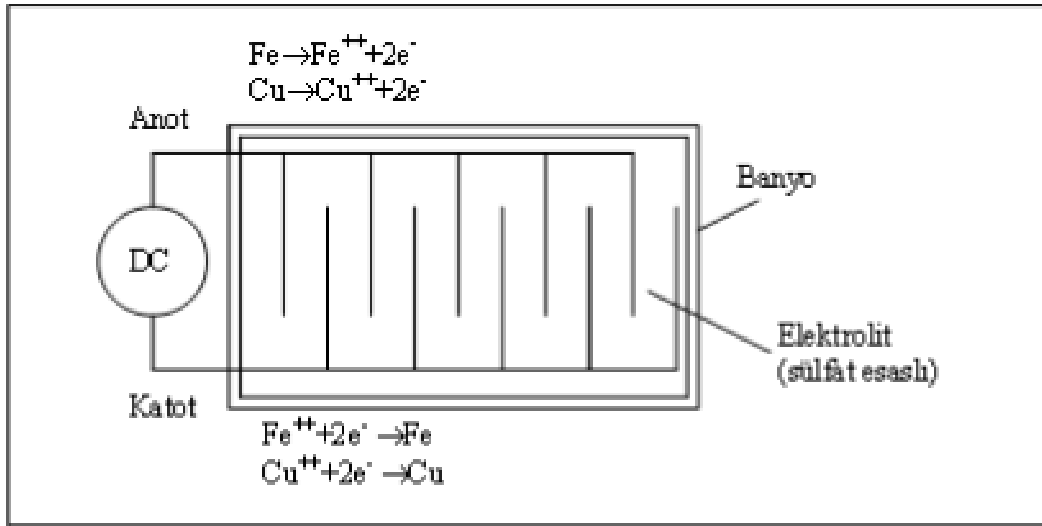


Şekil 2.10. Kimyasal Yöntemle Demir Tozu Üretimi (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr>. 2008)

2.1.4. Elektroliz Yöntemi

Elektroliz yöntemiyle, oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek suretiyle elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabilme özelliğinde katot da toplanır (Şekil 4). Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılır. Anot bakır katod ise antimuanlı kurşundur. (Ersümer A., 1970.)

Elektroliz yöntemi ile genel olarak bakır tozları imal edilir.



Şekil 2.11. Elektroliz Yöntemi İle Toz Üretimi. (Baksan ve diğerleri, 2003.)

Elektroliz yönteminde, elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir ve üretilen tozlar yıkanarak elektrolitten iyice temizlenir. Kurutma asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenir. (Sarıtış s., 1994.)

Elektroliz sırasında oluşan parçacıklar dendritik bir yapı gösterirlerse de daha sonraki işlemlerle bu yapı kaybolur. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek safiyetleri, dolayısıyla iyi sıkıştırabilme özelliklerine sahip olmalarıdır.

2.1.5. Diğer Üretim Yöntemleri

Nikel karbonilde olduğu gibi, bazı durumlarda kimyasal bileşiğin ısıl ayrışması kullanılır. Karbonil işlemi ilk olarak nikeli rafine etmek için geliştirilmiştir. Bu yöntemde ham metal basınç altında karbonil oluşturmak için karbon monoksit ile reaksiyona girer. Karbonil reaksiyon sıcaklığında

gazdır ve sıcaklığın yükselmesi ve basıncın azalması ile ayrışır. Aynı işlem demir için kullanılır ve karbonil demir tozları yüksek saflık istenen durumlarda kullanılır. Yakın zamanda enjeksiyon kalıplama için ince tozlara olan talep, karbonil işlemine hız vermiştir. Tipik karbonil demir tozunun boyutu 1-5 mm'dir. Isıl ayrışma için diğer bir örnek, platin amonyum klorür tuzunun ısıtılması sonucu üretilen süngerimsi platin tozlarıdır. Sherritt Gordon işleminde nikel tozlar basınç altındaki nikel tuzlarının çözeltisinin hidrojen ile indirgenmesi ile üretilirler. (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

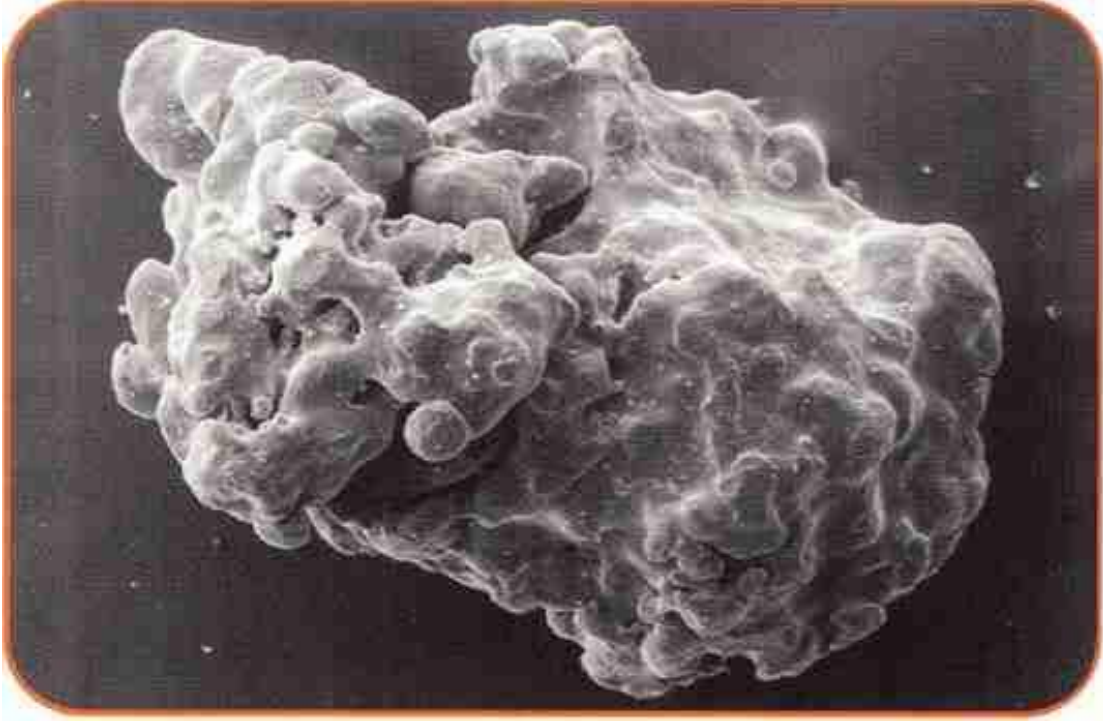
2.1.6. Demir Tozlarının Üretimi

Toz metal endüstrisinde en çok kullanılan toz demir tozudur. Oksidinden indirgeyerek üretme en eski demir tozu üretme yöntemidir. İsveç sünger demir yöntemi Höganäs tarafından İsveç'te 1900'lu yıllarda geliştirilmiştir. Yöntem katı halde ve 1260 °C'de gerçekleşir. Magnetitçe zengin cevher öğütülerek kok ve kireçtaşı ile karıştırılır, ve seramik tüplere doldurulur. Seramik tüpler fırın arabalarına yüklenir ve uzun fırın içinden 68 saatte geçerler. Öğütmeden sonraki tavlama işlemi hidrojen gazı altında 870 °C'de gerçekleşir. Sonuç toz, sünger görünümündedir. (Şekil 2.12)



Şekil 2.12.a İndirgenmiş "Sünger Demir Tozu" (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

Atomizasyon yöntemi de demir ve özellikle çelik tozu üretmek için kullanılır.(Şekil 2.13.) Demirin atomizasyonu için su kullanılır, ancak çelik için su veya alaşımın içeriğine göre asal gazlar kullanılır. Su ile atomize edilmiş demir ve çelik tozları yüzeylerindeki oksidi indirgemek ve basılabilirliklerini geliştirmek için 950 °C'de indirgeyici gaz altında tavlanylabilir. (Çavdar, 2005)



Şekil 2.12.b Atomize “Demir Tozu” (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

2.2. TOZ ÖZELLİKLERİ VE KARAKTERİZASYONU

2.2.1. Toz Özellikleri

Sinterlenmiş parçaların özellikleri toz boyutu, boyut dağılımı ve yüzey şartları gibi toz özellikleri tarafından etkilenir. Tozların görünür yoğunluğu, yani preslenmemiş ve yerleşmemiş tozların verilen hacminin kütlesi, önemli bir parametredir. Görünür yoğunluk tozlardaki boşluk derecesi ve toz şeklinin bir fonksiyonudur. Toz seçimi çeşitli zıt toz özellikleri arasında pazarlık yaparak gerçekleşir. Mesela toz şeklinin karmaşılaşması ve gözenekliliğin artması görünür yoğunluğu düşürür. Görünür yoğunluğun düşmesi ise presleme aşamasında hacim azalmasını artırır ve böylece soğuk kaynak miktarını artırır. Neticede daha yüksek ham mukavemetli parça elde edilmiş olur. Parçanın sinterlenme verimi de soğuk kaynak miktarının artmasından dolayı

artacaktır. Belirli bir basınçta elde edilen yoğunluk, basılabilirlik de önemli bir toz özelliğidir. Düşük basılabilirliğe sahip tozlar çok yüksek basınca, yüksek kapasiteli preslere ve daha dayanıklı kalıplara ihtiyaç duyarlar. Kalıp içerisindeki tozların paketlenme verimliliği toz boyut dağılımına geniş ölçüde bağlıdır. Büyük tozlar arasında oluşan boşluklar küçük boyuttaki tozlar ile doldurulabilir. (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

Tozların saflığı da çok önemlidir. Müsaade edilebilecek yabancı madde seviyesi büyük oranda maddelerin tamamının yapı ve durumuna bağlıdır. Mesela, demir içinde birleşmiş karbon varlığı sertleşmeye yol açar, böylece sıkıştırma esnasında daha yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Fakat serbest karbon, presleme operasyonu esnasında yağlayıcı olarak davrandığı için bir avantajdır. Pek çok metal tozunun ince bir oksit tabakası ile kaplı olması presleme işlemine fazla etkili olmaz. Çünkü tozlar arası sürtünme ile bu tabaka kolayca yırtılır ve açığa çıkan metal yüzeyler hemen soğuk kaynak olurlar. Ancak bu oksitlerin sinterleme aşamasında indirgenmeleri yüksek mukavemet için şarttır. Çizelge 2.1'de Tozun önemli özellikleri ve etki ettiği bazı faktörler görülmektedir. (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

Toz özellikleri iki ana alt bölümde ele alınabilir.

1. Teknolojik özellikler:

Toz akıcılığı

Ham ve titreşimli yoğunluk

Sıkıştırılabilirlik

2. Fiziksel özellikler:

Toz şekli

Toz boyutu dağılımı

Spesifik yüzey alanı

Safsızlık (oksijen, karbon, Na, Ca, Fe miktarı)

Çizelge 2.1. Tozun Önemli Özellikleri Ve Etki Ettiği Bazı Faktörler

Önemli Özellikler	Etkisi
Tozun Boyutu (Partikül Boyutu)	Görünen (ham) yoğunluk
Boyut Dağılımı	Akış davranışı
Toz Şekli (Partikül Şekli)	Ham dayanım
Kimyasal Kompozisyonu	Sıkıştırılabilirlik
Yüzey Özellikleri	Sinterleme
Mikro Yapı	Şekillendirilebilirlik, tokluk

2.2.1.1. Tane Boyutları

Tanelerin boyutlarını ölçmek için toz ince bir tabaka halinde bir levha üzerine yayılır veya özel bir malzeme içine gömülür. Mesela volfram tozu bakır veya bronz tozu ile karıştırılıp sinterlenir veya bakırın veya bronzun ergime noktasına kadar ısıtılır. Gömme işleminin saydam (Plexiglass gibi) plastik malzeme içinde yapılması çok pratiktir. Plastik malzemenin tozu ile incelenen metelsel toz karıştırılarak elde edilen karışım takriben 150° sıcaklıkta preslenir. Bu şekilde hazırlanan malzeme adi bir metalografik preparat gibi muamele edilir. Partiküllerin boyutları direkt olarak ölçüldüğü gibi, görüş alanı içindeki bir bölgede mevcut partiküllerin sayısı da tespit edilir. Bu son halde, yardımcı maddenin belirli bir hacmi içindeki toz miktarından hareketle tanelerin büyüklüğü hesap edilebilir. Hakiki D çapı ile, ölçülen ortalama d çapı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi olur. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

$$d = \frac{\pi \times D}{4} = 0,79D$$

2.2.1.2 Tanelerin Şekli

Tanelerin şekli ve yüzeysel yapıları tozun sıkıştırılabilme özellikleri üzerine çok tesir eder. Partiküllerin şekli tozun hazırlanışına bağlıdır. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Mekanik usullerle hazırlanan metelsel tozların şekilleri küresel olmaktan çok uzaktır. Lamel şeklinde olan partiküllerin kenarları gayri muntazam ve dantelli olup genişlik ve uzunlukları genellikle kalınlıklarından daha büyüktür. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Granülasyon ve pülverizasyonla elde edilen veya bir gaz fazından itibaren hazırlanan tozların şekilleri genellikle küreseldir. Bunların yüzeyleri düz ve muntazam (karbonil metaller, çinko, kurşun) olabileceği gibi, pürtüklü ve çatlak (Alüminyum, demir) da olabilir. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Metelsel bir terkinin yüksek sıcaklıkta redüklenmesi ile veya erimiş veya ergitilmiş bir tuzun redüklenmesi ile hazırlanan tozların taneleri iğne şeklinde olup sünger gibi yapıları vardır. Elektronik mikroskopla bakılınca, bu tozlar bir "Kaktüs" görünüşünü andırırlar. Bunun sebebi

iğne şeklinde kristallerin mevcudiyetidir. Bu iğneler en büyük kristallere saplanmışlardır. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Elektrolize hazırlanan metalsel tozların "Fujer" şeklinde dendritik yapıları vardır. Redükleme ve elektrolize hazırlanan tozların dış görünüşleri arasında bir benzerlik vardır.

Alçak sıcaklıkta hazırlanan sert mamul tozlarının tane şekilleri temel metallerin tozlarının tane şekillerine benzer. Yüksek sıcaklıkta hazırlanan sert maddelerin tozları genellikle mekanik olarak öğütülmesi gerekir. Bunların mikroskobik görünüşleri sert taş parçacıklarına benzer. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

2.2.1.3. Akma Faktörü

Bu faktör, gözenekli yatak imalatçıları tarafından tayin edilen ve sıvıların viskozitesine benzeyen bir büyüklüktür. Bu büyüklük tepe açısı belirli, konik bir kabın alt kısmında açılan bir delikten birim zamanda geçen toz miktarıyla ölçülür. Akma faktörü, yatak malzemelerinin imalinde sık sık kullanılan mekanik preslerin çalışma intizamının tayininde mühim rol oynar. Bu faktör, ölçüldüğü yerin sıcaklığına ve rutubet durumuna göre değişir. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

2.2.1.4 Tozların Sıkıştırılabilirliği

Yukarda incelenen fiziksel özellikler, tozların preslenmesinde büyük rol oynayan faktörlerdir. Tozun preslenme esnasındaki hareketi, şekil verilebilme özelliğine (yani presleme ile elde edilen parçanın şekil ve kenarlarının kararlılığına) ve sıkıştırma indisi'ne (yani bir basınç tatbikiyle elde edilen numunenin yoğunluğuna) tabidir. Şekil verebilme özelliği herhangi şekilli parçalar üzerinde tayin edilebilir. Granüle tozdan mamul (mesela karbonil demir tozu) preslenmiş malzemenin sıkıştırma indisi nispeten büyük; şekil ve açılarının muhafaza edilme özelliği ise kötüdür. Dolayısıyla bu malzemeler, sıkıştırmadan sonra dikkatle kullanılmalıdır. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

2.2.1.5. Kimyasal Özellikler

Metalsel tozların en önemli kimyasal özellikleri saflıklarındadır. Saflık adı kimyasal analizle tayin edilebilir ve sinterlenmiş cisimlerin imalatına ve bilhassa özelliklerine birinci derecede tesir eder. Metalsel tozların saflığı büyük ölçüde temel maddelerin saflığına bağlıdır. Mesela kendi oksitlerinin hidrojenle redüklenmesiyle elde edilen volfram, kobalt ve demir tozlarının saflığı, pratik olarak, kullanılan oksidin saflığındadır. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Oksijen ve karbon gibi gayri safiyetlerin malzeme içinde ne şekilde buldukları da önemlidir. Mesela oksijen levhaları, erimiş oksit veya absorbe edilmiş gazlar halinde bulunabilir. Oksitlerin redüklenmesi ile hazırlanan metelsel tozlar genellikle muntazam oksit enlüzyonları (kalıntı) ihtiva ederler. Elektroliz, granülasyon veya pülverizasyonla elde edilen tozlardan oksijen genellikle oksit enlüzyonları halinde bulunur. Karbon ise serbest karbon (grafit), karbür veya katı solüsyon hallerinde bulunur. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Mekanik olarak hazırlanmış metelsel tozlar öğütücü organlarından ileri gelen gayri safiyetler ihtiva ederler (demir, manganez, karbon vs.). Mesela sert alaşımların imalinde kullanılan sert mamullerin veya bir karbürle bir yardımcı metal karışımının ince tozları, %0,5 ila 1,5 demir ihtiva ederler. Elektrolize hazırlanan metelsel tozlar çok saftır; toplam gayri safiyet %2 yi geçmez. Karbonil tozların ihtiva ettikleri oksijen ve karbon miktarı %1,5'e kadar yükselebilir. Karbon monoksitin dekompozisyonundan ileri gelen bu gayri safiyetler tozun bir ön ısıtma ameliyesinden sonra sinterlenmesiyle elimine edilebilirler. Demirde bulunan kükürt, fosfor, manganez silisyum gibi gayri safiyetler tozlarda bulunmazlar. Granülasyonla elde edilen tozların kimyasal bileşimi ergiyen metalin bileşimine tekabül eder. Bunların ihtiva ettikleri oksit filmleri hidrojen içinde yapılan bir tretmanla elimine edilirler. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Metelsel bir tozun kimyasal kararlılığı yüzeyi çok büyük olduğundan topak metalin kararlılığından çok daha azdır. Mesela tel veya yaprak halinde bulunan tantal, asitlere iyi dayanan metallere sayıldığı halde toz halinde, kloridrik asit, sülfürik asit ve nitrik asit tarafından nispeten daha kolaylıkla etkilenir. Metelsel tozların, havada bir oksit tabakasıyla kaplanmaya, örtülmeye temayülleri de yüzeylerinin büyük olmasıyla izah edilebilir. Su buharı da ince metelsel tozlar tarafından kolaylıkla absorbe edilir (yüzeye yapışır). Metelsel karbürlerin imali gibi bazı hallerde, ince tozların kimyasal afiniteleri bir avantaj teşkil eder. Volfram, hidrojen içinde, 1400°ila 1600° arasında kömür veya grafitle karbür vermediği halde, volfram tozu-is karışımı, 1250° nin üzerinde ısıtılarak kolayca volfram karbür elde edilebilir. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Birçok hallerde tozlarda bazı gayri safiyetlerin bulunmasına müsaade edildiği gibi, sinterlenen malzemenin tozlarına bilhassa yabancı maddeler katılır. Mesela elektrik ampullerinde kullanılan volfram tellerinde yeniden billurlaşmayı önlemek için saf volfram tozuna toryum veya alüminyum oksit ilave edilir. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Metalsel tozların renkleri kimyasal bileşimlerine, bilhassa ihtiva ettikleri oksijen miktarına bağlıdır. Elektrolize hazırlanmış bakır tozu, genellikle başlangıçta bakırın tipik kırmızı rengindedir. Fakat, elektrolitin elimine edilmesi ve yüzeysel kurutmadan sonra, bakır tozu oksidasyona uğrayarak parlaklığını kaybeder ve kırmızı-kahverengi bir renk alır. Redükleme ile hazırlanarak billurlaşmış ve oksijen ihtiva etmeyen volfram tozu açık gri renkte, alçak sıcaklıkta redüklenen ve çok az oksijen ihtiva eden tozun rengi koyu gri ile siyah arasındadır. Tozun rengi tanelerin büyüklüğüne de çok bağlıdır. Eşit miktarda oksijen ihtiva eden tozlardan ince öğütülmüş olanları kaba öğütülenlerden daha koyudur. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

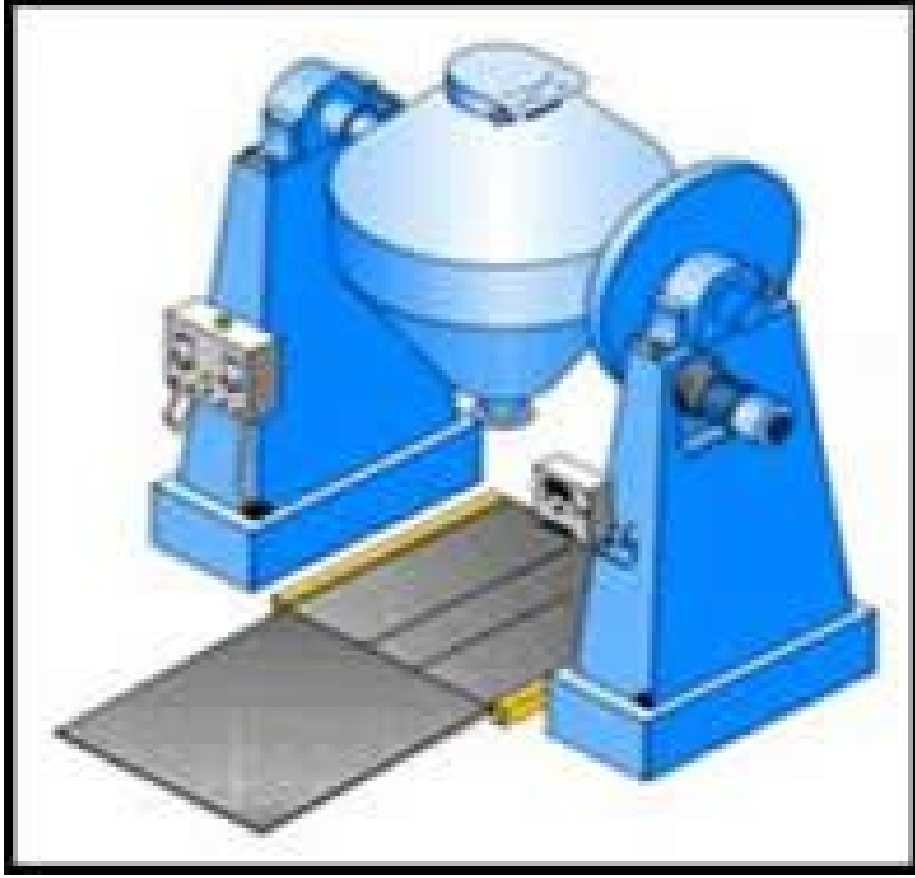
Çok miktarda 1 mikrondan küçük partiküller ihtiva eden ince metalsel tozlar piroforik özellikler gösterirler. Bu özellikler bir taraftan tozun geniş yüzeyine dolayısıyla büyük kimyasal afinitesine, diğer taraftan metalsel oksitlere bağlıdır. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Oksalatın redüklenmesiyle elde edilen tozların ani tutuşma özellikleri bilhassa kobalt, nikel ve demir tozlarında görülür. Bu piroforik özellikler, yeni redüklenen tozun karbon dioksitle soğutulması veya redüklemenin grafit sepetlerde yapılmasıyla önlenir. Tozun kendi kendine tutuşması ise redüklemenin tekrar edilmesiyle önlenir. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

Yukarda bahsi geçen bütün kimyasal özelliklerin, metalsel tozların sinterlemede kullanılabilmelerine büyük tesirleri vardır. Oksijen, karbon, kükürt, fosfor, demir vs. gibi gayri safiyetlere ve karbon dioksit, su buharı vs. gibi absorbe edilmiş gazlara büyük ehemmiyet verilmelidir. (<http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008)

2.3. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI

Tozların karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift borulu ve çift-koni karıştırıcılarda yapılmaktadır (Şekil 1). Karıştırma işlemi, tozların tane boyutuna ve şekline göre yığılmasını önlerken, akma hızını ve görünür yoğunluğunu da değiştirir. Karıştırma işleminin uzun tutulması taneciklerin kırılarak küreselleşmesine ve önemli ölçüde plastik deformasyona uğramasına sebep olabilir. Buda tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında gerekenden fazla soğuk işlem gerektirir. Sinterleme dahil bütün işlem kademelerinin değerlendirilmesi yapılmadan yeterli derecede karıştırma yapıp yapılmadığına karar vermek oldukça güçtür.



Şekil 2.13. Karıştırıcı. (<http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/sekillendirme/shaping.html>oz Metalürjisi, 2008)

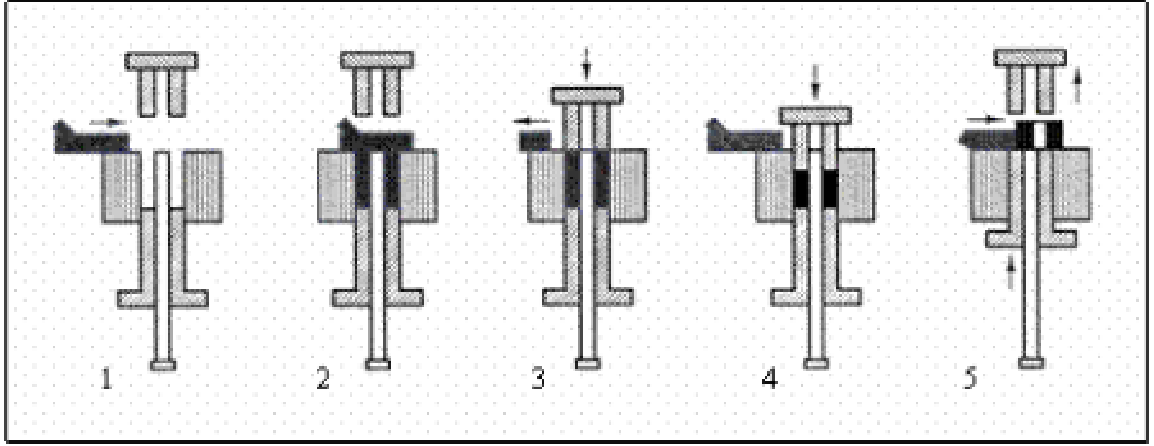
2.4. TOZLARIN PRESLENMESİ (SIKIŞTIRILMASI)

Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki toz partiküllerinin istenilen şekle dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Tozların sıkıştırılmasındaki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir.

Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70 ila 700 MPa arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145 – 450 MPa arasındadır.

Bir çok halde preslemeden önce tozlar 400 – 800 °C arasında bir ısıtmaya tabi tutulur. Böylece

oksitler, rutubet, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebe ortamdaki uzaklaştırılmış olur. Ayrıca ısı işlem tozlarının sertliklerini de azaltır. Böylece tozların sıkıştırılabilirliği artar. Sıkıştırılabilirlik tavlama sıcaklığı arttıkça, oksijen azaldıkça artar. Presleme sıcak veya soğuk yapılabilir. (<http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/sekillendirme/shaping.htm> Metalürjisi, 2008) Şekil 2.14'de tipik bir eksenel presleme işleminin basamakları görülmektedir.



Şekil 2.14. Presleme işleminin Basamakları; 1. İşlem Başlangıcı, 2. Toz Doldurma, 3. Presleme Başlangıcı, 4. Preslemenin Bitişi, 5. Preslenmiş Parçanın Çıkarılması. (<http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/sekillendirme/shaping.htm> Metalürjisi, 2008)

Presleme sonrası parça kalıptan çıkarılabilecek yeterli mukavemete sahiptir ve sinterleme öncesi taşıma işlemleri yapılabilir. Yüksek basılabilirlik kabiliyetindeki demir tozları 800 MPa basınç altında 7.3 g/cm^3 (veya % 93 teorik yoğunluk) yoğunluğa ulaşabilir. Ilık presleme kullanılarak, özel yağlayıcı katılmış toz $130 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ve kalıp $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılır, yoğunluk soğuk preslemeye göre 0.2 g/cm^3 daha artırılabilir. Ilık preslenmiş parçalar sinterleme öncesi talaşlı imalat için gerekli olan mukavemete sahiptirler. Ham parçanın talaşlı imalatı kesici takım aşınmasını hemen hemen ortadan kaldırır. (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr>. 2008)

Sıkıştırma üç aşamada ele alınabilir:

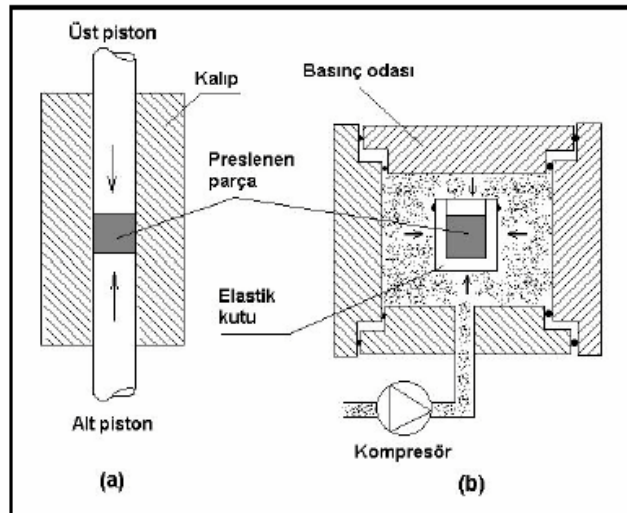
1. Sıkıştırma basıncının ilk uygulanmasına müteakip partiküllerin yer değiştirmesi ve yeniden pozisyon belirlenmesi gerçekleşir. Plastik şekil değiştirme yoktur. Kısmi olarak bazı partiküllerde mekaniksel kırılmalar olabilir. Bu aşamada partikül boyutu, toz boyut dağılımı, partikül şekli ve yüzey özellikleri ile partiküller arası sürtünme önemli rol oynar.

2. Toz sıkıştırmanın ikinci aşamasında elastik ve plastik deformasyon faktörleri baskındır. Bu aşamada partiküller arası soğuk şekillendirmeye bağlı bağlar oluşabilir. Ayrıca partiküllerin mekaniksel kilitlemeleri ile partikül-partikül etkileşimleri bu aşamada önem kazanan durumlardır.

3. Presleme basıncının arttığı sıkıştırmanın son aşamasında toz partiküllerinin kırılması ve plastik deformasyon ile boşlukların doldurulması sağlanmış olur. Bu aşamada toz partikülleri arasında soğuk kaynak olabilir.

2.4.1. İzostatik Presleme

Tozların kalıp içerisinde tek yönlü preslenmesinde hareketli piston ile kalıp yüzeyi ve tozlarla kalıp yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme nedeni ile uygulanan basınç tüm tozlara eşit olarak iletilmez. Bu durum özellikle aspekt oranı (L/D ; L =Yüksekli, D =Genişlik) büyük olan parçalarda homojen olmayan yoğunluk dağılımına neden olur. Parça iç yapısındaki homojen olmayan bu yoğunluk dağılımı nedeniyle preslenmiş parçalar sinterleme sırasında farklı boyutsal daralma miktarları nedeniyle şekilsel deformasyonlara maruz kalabilirler. Bunun giderilmesi için düşük basınçlarda preslenen numuneler soğuk veya sıcak izostatik presleme denen ve daha yüksek basınç altında bir akışkan yardımı ile sıkıştırma sağlayan sistemlerde homojen dağılımlı ve yüksek yoğunluklu parçalara dönüştürülürler. Şekil 2.15`de bu durum şematik olarak gösterilmiştir. (<http://web.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler/tozuretım.htm>. 2008)



Şekil 2.15. Soğuk Presleme a) Tek Yönlü Presleme b) İzostatik Presleme
(<http://web.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler/tozuretım.htm>. 2008)

2.5. SİNERLEME

2.5.1. Yöntemin Tanımı

Soğukta presleme veya yığma ile elde edilen parçalar itinalı bir ısıtma işlemine tabi tutulmalıdır. Sinterleme, toz halindeki malzemenin erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasına denir. (Kurt, 2002)

Sinterleme sıkıştırılmış parçaların mukavemet kazandığı bir ısıtma işlemidir. Tüm toz metal ve seramik parçalar mukavemet kazandırmak amacıyla yüksek sıcaklıklarda sinterlemeye tabi tutulurlar. (Kurt, 2002)

Sinterleme, gözenekli yapıda bir form (şekil) kazandırılmış tozların spesifik yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıtma işlemine aktif edilmiş malzeme taşınım olayı olarak tanımlanabilir. (Kurt, 2002)

Diğer bir ifade ile sinterleme toz kütesinin veya yapıda sıkıştırılmış toz parçalarının özelliklerinin gözeneksiz yapıya sahip malzeme özelliklerini değiştirmek için yapılan bir ısıtma işlemidir.

Sıkıştırılmış toz parçalar arasındaki bağlantı, yapışma, mekanik kilitleme ve benzeri türden zayıf bağlar olup kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına kıyasla çok zayıf kalmaktadır. Sıkıştırılmış toz yapılar içerisindeki partiküller birbiri ile temas ediyor olsa da partikül diğerinden bağımsızdır. Sinterleme ile partikül temas noktaları artmakta ve atomlar ve iyonlar arasında fiziksel bir bağ oluşmaktadır. Bu türden bağ oluşumu kristal kafes sistemi içerisindeki yüksek dayanımlı atomsal bağlanma ile benzeştir. (Kurt, 2002)

Tek fazlı sistemlerde (saf toz kullanımında) sinterleme tamamen katı fazda gerçekleşir. Çok fazlı sistemlerde (birden fazla türde toz bir arada kullanılması durumunda veya toz içerisinde bulunan safsızlıklar) sinterleme işlemi sıkıştırılmış parçanın katı formunun (iskeletini) koruyacak şekilde sıvı fazda gerçekleşebilir. Sinterleme ile preslenmiş toz parçalarda yoğunluk artışına neden olan boyutsal (veya hacimsel) küçülme meydana gelir. Bu durum özellikle çok ince taneli tozlarda daha fazla görülür. (Kurt, 2002)

2.5.2. Sinterlemede Taşınım Ve İtici Güç

Herhangi bir katı hal sinterlemede, sinterlemeye neden olan itici güç sistemin serbest enerjisinin azalmasıdır. Bu; partikül temas noktalarının büyümesi sonucu spesifik yüzey alanının küçülmesine, gözenek hacminin azalması veya gözeneklerin küreselleşmesine, toz partiküller bünyesinde üretim süreçlerinde oluşabilecek olan atom boşlukları ve dislokasyon gibi kristal yapı hatalarının elimine (yok) edilmesine neden olur. (Kurt, 2002)

Termodinamiğe göre herhangi katı bir malzemenin ergime derecesinin altında kararlı durumu tek kristalli halidir. Bu durum sinterlemede pratik olarak mümkün değildir. Çünkü çoğu zaman sinterlenmiş bir parça kalıntı gözeneklerin bulunduğu polikristal yapıdadır. İstenen dayanımın ve sertliğin elde edilebilmesi için yüksek yoğunlukta küçük ve homojen dağılımlı tane yapısına sahip parçalar elde edilmelidir. (Kurt, 2002)

Temas halindeki iki partikül (Şekil 2.16) dikkate alındığında itici gücü termodinamik olarak Laplace Eşitliği ile tanımlanabilir.

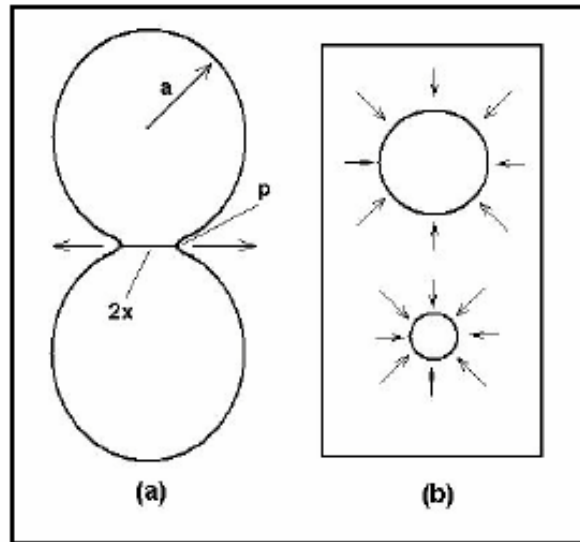
$$\sigma = \gamma (1/x - 1/p)$$

Çekme gerilmesine (σ)

Yüzey gerilmesidir. (γ)

Sinterleme boyun yarıçapı (x)

Boyun dış kavis yarıçapı. (p)



Şekil 2.16. Laplace Gerilmesi (a) Boyun Bölgesinde (a=Partikül Yarıçapı, x=Sinterleme Boyun Yarıçapı, p=Boyun Dış Kavis Yarıçapı) ve (b) Gözenekler Çevresindeki İtici Güç. (Kurt, 2002)

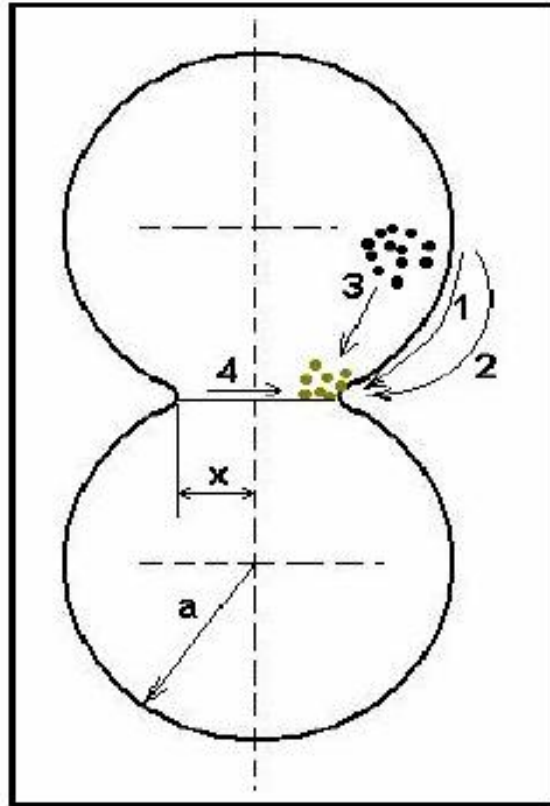
Şekildeki içbükey yüzey, çekme gerilmesine (σ) maruz kalmalıdır. γ , yüzey gerilmesidir. Şayet σ kritik stres değerini aşarsa boyun plastik ve yarı akışkan akış ile büyür. Gözeneklerin küçülmesinde;

$$\sigma = 2\gamma / r_{\text{gözenek}}$$

formülünden yararlanılır. Gözenekler basma gerilmesine, σ , maruz kalır. Sinterleme ile amaç bu gerilmelerin ortadan kaldırılmasıdır. Boyun bölgesindeki muhtemel sinter mekanizmaları şekil 2.17' de verilmiştir. Mekanizmalar ;

- 1: Yüzey difüzyonu
- 2: Buharlaştırma ve yoğunlaşma
- 3: Kütle difüzyonu
- 4: Tane sınır difüzyonu

olarak görülmektedir.



Şekil 2.17.: Boyun Bölgesinde Muhtemel Sinter Mekanizmaları (Kurt, 2002)

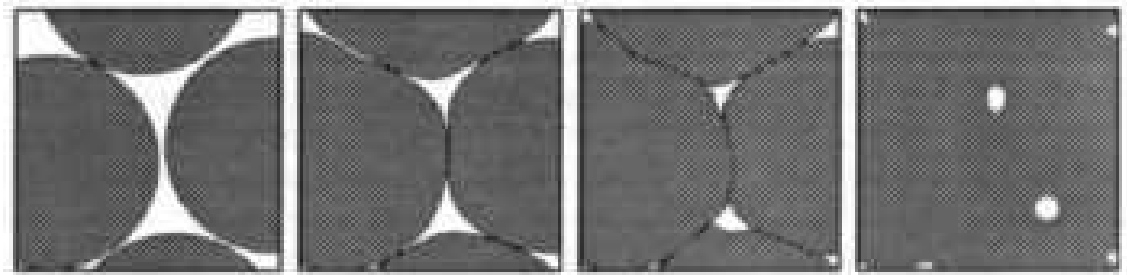
2.5.3. Sinterleme Aşamaları

Genellikle katı hal sinterleme prosesi için kabul gören sinterleme mekanizmaları üç ana alt grup altında toplanabilir.

1.Aşama : Partiküller arası temas “boyun” olarak adlandırılan sinter köpüklerine dönüşür. Bu aşamada toz partikülleri birbirinden bağımsız ve müstakildirler. İki partikül arasındaki temas düzlemlerinde tane sınırı oluşumu başlar. Partiküllerin merkezleri çok küçük bir miktar birbirine yaklaşır. (Hacimsel daralma sınırlıdır. (Kurt, 2002)

2.Aşama : Güçlü boyun oluşumuna müteakip bu ara aşmada şayet x/a oranı belli bir değerin üzerine çıkacak olur ise müstakil tane şekli tanımlanabilirliğini kaybeder. Düzenli bir boşluk ağı oluşumu gözlenir ve yeni bir mikro yapı oluşumuna izin veren tane büyümesi oluşur. Gözenekler parça yüzeyine kadar birbiri ile bağlantılıdır. Boyutsal küçülmenin en fazla görüldüğü aşama bu aşamadır.

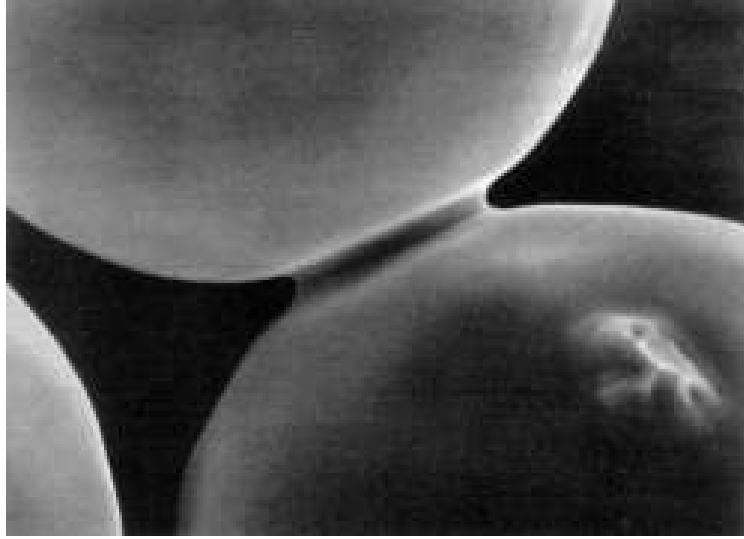
3.Aşama : Kapalı gözenek oranı hızla azalır. Birbirinden izole edilen gözenekler küresel şekil kazanmaya başlar. Şayet gözenekler içerisinde hapsolmuş ve dışarıya çıkması (difüz olması) mümkün olmayan gaz varsa ve gözenekteki gazın basıncı ile yüzey geriniminden doğan basınç denge halini aldığı anda sinterlenmiş yapıda teorik yoğunluğa çıkmak mümkün olamaz. Şayet vakumla sinterleme yönteminde olduğu üzere gözeneklerde gaz yok ise veya gözenekteki gaz ana yapıdan kolayca difüz olup sistemden uzaklaşabiliyorsa yoğunluk artışı devam eder ve %100 teorik yoğunluğa ulaşılabilir. (Kurt, 2002)



Şekil 2.18. Sinterlemenin 4 Safhası (Kurt, 2002)

Yüksek yoğunluk ve dayanım gerektiren çelikler, manyetik malzemeler, sementit karbürler gibi toz metalurjisi ürünlerinde çoğu kez 3. aşamaya çıkılabilir veya en azından ara aşamanın (2. aşama) sonuna ulaşılabilir. Daha çok kaba toz boyutunda ve küresel şekilli tozlardan, mamul

yüksek gözenekli yapıda, gaz veya sıvı geçirgenlik özellikleri aranan filtre türü toz metalurjisi ürünlerinde sadece 1. aşama yeterli sinterleme prosesini oluşturur. (Kurt, 2002)



Şekil 2.19. Nikel Tozunun Sinterlemesi Sırasında Boyun Oluşumunun İlk Safhaları 33 Mikron çapında bir toz... (Kurt, 2002)

Çok ince toz boyutundaki tozlarla yapılan sinterlemede, sinterleme proseslerini (özellikle 1. aşamayı) tanımlamak oldukça zordur. Boyutsal küçülme ve tane büyümesi düşük sıcaklıklarda başlar ve sinterleme sıcaklık artışı ile birlikte gerçekleşir. Bu arada özellikle çelik gibi malzemelerde çok yüksek yoğunluklarda preslenmesi sonucu sinterlenmesin de çok küçük boyutsal küçülme meydana gelir. Bu durumda 1. ve 2. aşamaları birbirinden ayırmak mümkün olmayabilir. (Kurt, 2002)

2.5.4. Sinterleme Atmosferi

Metal tozlarının sinterlenmesi genel olarak altı tip atmosferde uygulanır. Bunlar; Nitrojen (N_2), Hidrojen (H_2), Karbon monoksit (CO), Karbondioksit (CO_2), Oksijen (O_2), Karbon (C).

Sinterleme sırasında oluşacak oksidasyonu engellemek için kullanılan atmosferler kırılmış amonyak veya azot gibi atmosferlerdir. Sinterlenmiş parçalarda örneğin demir esaslı alaşımlarda karbon içeriğinin kontrolü nihai özellikler açısından önemlidir. Çizelge 2.2'de Hidrojen atmosferi altında demirin sinterleme sonuçları verilmiştir. (German, R.M., 1994.)

Çizelge 2.2. Hidrojen Atmosferi Altında Demirin Sinterleme Sonuçları (Kurt, 2002)

Sıcaklık	Zaman		Yoğunluk	Basınç	Uzama
°C	dk	% HCl	g/cm ³	MPa	%
950	30	0	6.2	131	6
950	30	1	6.3	159	10
950	120	0	6.3	138	6
950	120	1	6.3	159	10
1375	30	0	7.0	193	11
1375	30	1	7.2	234	20
1375	120	0	7.5	234	17
1375	120	1	7.8	283	25

2.5.5. Sinterleme Fırınları

Sinterleme işlemi aşağıdaki kademelerden oluşur.

- Mumun giderilmesi
- Sinterleme
- Soğutma

Mumun giderilmesi bölgesinde yağlayıcının uçması sağlanır. Aynı anda toz tanecikleri üzerindeki oksitler fırın içinde redüklenirler ve birbirine temas eden taneciklerde ilk bağlanma başlar. Sinterlemenin ana mekanizmaları yüzey ve hacim difüzyonudur. Difüzyon ile katkı maddelerinin demir içine difüze olmaları sağlanır.

Sinterleme sırasında boyutta orta derecede değişim görülür. Birçok malzeme küçüldüğü halde, bakır gibi bazı alaşımlarda boyutta artış görülür. Baskı kalıbı tasarlanırken bu değişimlerin de göz önünde bulundurulması gerekir.

Termodinamik kurallarına göre enerjiyi minimize edebilmek için porozitelerin yuvarlanması ve küçüklerin büyüklerin gelişimine yardımcı olabilmek için kaybolduğu gözlenir.

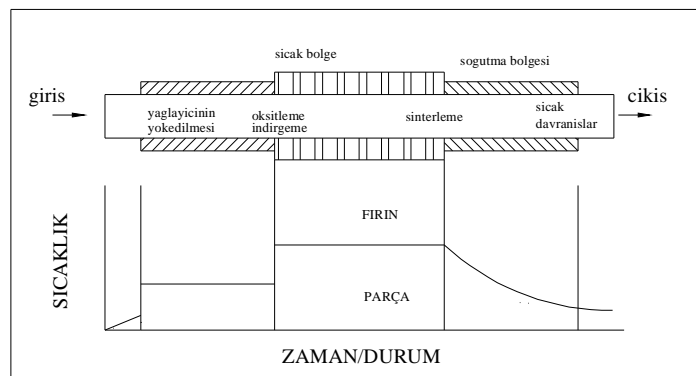
Sinterleme fırınının soğutma bölgesinde, parçaların hava ile temas ederek oksitlenmelerini engellemek amacıyla oksitlenmeden koruyucu bir gaz altında soğumaları sağlanır. Soğuma hızı 850-500 °C civarındadır ve malzemenin mekanik özellikleri meydana gelen faz dönüşümleri

nedeniyle soğutma hızı ile yakından ilişkilidir Şekil 2.21'de Hareketli bant sistemine sahip bir sinterleme fırını görülmektedir. (www.inonu.edu.tr/deren/sinterleme, 2008.)



Şekil 2.21. Hareketli Bant Sistemine Sahip Bir Sinterleme Fırını (Kurt, 2002)

Sürekli sinterleme yöntemi, sinterleme prosesini daha hızlı ve ekonomik bir hale getirmek için kullanılan yöntemlerden biridir, temel olarak bu yöntemde sinterlenmek istenen parçalar hareketli bantlar vasıtasıyla çeşitli sıcaklıklarda bulunan bölgelerden geçerken farklı ısıl işlemlere tabi tutulmuş olur, buda istenen hızlı ve verimli sinterlemeyi sağlayacaktır. Bu tip sinterlemeyi sağlayacak fırınlar şekil 2.20'de şematik olarak ve şekil 2.21'de görülmektedir. (Kurt, 2002)



Şekil 2.20. Sinterleme Fırınlarında Uygulanan Operasyonların Sıcaklık Ve Zaman/Durum Diyagramı (Kurt, 2002)

Sinterleme sıcaklığının 1050 °C civarında olması halinde nikel-krom veya demir-krom-alüminyum rezistanslı elektrik fırınları yeterli gelir. 1350 °C ye kadar silit çubuklu fırınlar kullanılır. Daha yüksek sıcaklıklar için (1000 °C ila 1600 °C) molibden rezistanslı fırınlar, 1800 °C ve daha yüksek sıcaklıklar için ise yüksek frekanslı veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar kullanılır. Karbon tüplü fırınlar, karbon monoksit mevcudiyetinin zararlı etkileri olmadığı hallerde kullanılır.

Molibden, volfram, tantal gibi refrakter metallerin sinterlenmesinde 2000°C lik sıcaklık dahi yeterli gelmediğinden, bu metaller hidrojen dolu T/M çantaları içinde sinterlenirler. Burada sinterlenecek parçadan akım geçirilir. Harcanan enerji zor sinterlenen parçanın ergimesi için gereken enerjiden %10 kadar daha azdır.

Sinterlenen malzemenin oksitlenmesini önleyecek tedbirler alındığı takdirde gazla ısıtılan fırınlardan da faydalanılabilir. Sinter fırınlarında kullanılan bant genellikle elek tipindedir ve malzemeler bir kap içine yerleştirildikten sonra bant üzerine yerleştirilir. Diğer tip (arabalı, askılı vs.) fırınlar da kullanılmaktadır. Çizelge 2.3'de Sıcak fırında elementler ve kullanımları görülmektedir. (Kurt, 2002)

Çizelge 2.3. Sıcak Fırında Elementler ve Kullanımları (Kurt, 2002)

Isınan Element	Maksimum Sıcaklık °C	Atmosfer
NiCr	1150	1,2,3,4,5,6
Fe-Cr-Al-Co	1300	1,3,4,6
Fe-Si-Al	1600	1,3
SiC	1250	1,2,3,5,6
SiC	1600	1,3
Pt	1500	1,3,4
Mo	1800	2,3,4,5,6
Mo	2200	4
Ta	1900	3,4
Ta	2400	4
W	1900	2,3,4
W	2600	4
C	2200	3,4,5
C	3000	3,4
ZrO ₂	2200	1,3,4
MoSi ₂	1700	1,3

Atmosferler: 1: Oksitlenme 2:İndirgeme 3:Hareketsiz 4: Vakum 5: Karbürize 6: Dekarbürize

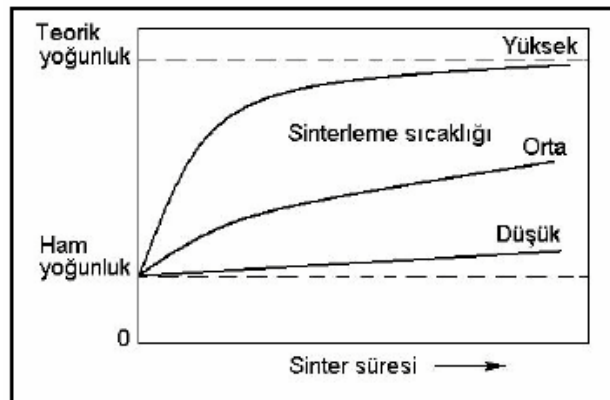
2.5.6. Tek Fazlı Sistemlerde Sinterleme Mekanizmaları

Yüzey taşınımı (difüzyon) muhtemel tüm sinterleme proseslerinde görünmektedir. Özellikle ince tanelerin ve buna bağlı olarak spesifik yüzey alanı fazla tozların kullanıldığı düşük sıcaklık sinterleme işlemlerinde birinci aşama sinter mekanizmasında basınç olarak yer alır. Yüzey taşınımında genel kabul boyutsal küçülme ve gözenek daralmasına neden olmamakla birlikte, düzensiz şekilli yüzeylerin düzleşmesi gözeneklerin küreselleşmesi ve boyun genişleme hususunda etkin rol oynamaktadır. Tüm difüzyon mekanizmaları içerisinde yüzey difüzyon en az aktivasyon enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Yüzey atomları gerçekte dışbükey (konveks) yüzeylerden içbükey (konkav) yüzeylere oranla en yüksek hareketlilik kabiliyetine sahiptirler. Dolayısıyla bu atomlar keskin boyun oluşumunda içbükey yüzeyler tarafından yakalanırlar. Yüzey taşınımında tek fazlı sistemlerde düşük sıcaklıklarda tane sınırı difüzyon mekanizmasında önemli rol oynamaktadır.

Tane sınırı difüzyon patikası görevi üstlenmenin dışında orta ve sonraki aşamalarda önemli olan gözeneklerin küçülmesi suretiyle sinterlemede atom boşluklarının toplanması ve tane içerisinde uzaklaştırılmasında da cazibe merkezidir. Boşluklar yardımıyla kütle difüzyon (taşınımı) bir çok sinterleme prosesinde baskın yöntemdir. Yüksek aktivasyon enerjisi nedeniyle yüksek sıcaklıklarda yüzey ve tane sınırı taşınımından daha baskındır.

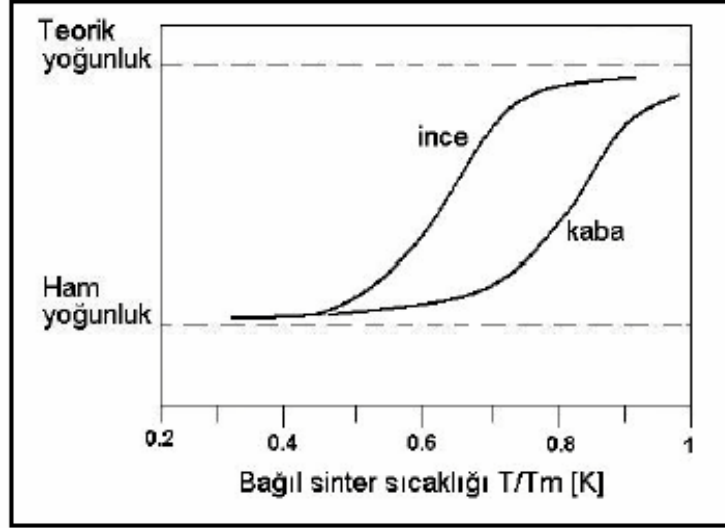
2.5.7. Sinterleme Parametrelerinin Malzeme Özelliklerine Etkisi

Şekil 2.22'de düşük yoğunlukta preslenmiş tozların sinterleme süresi ve sıcaklığının yoğunluğa etkisi görülmektedir. Grafikte de görüleceği üzere yüksek sıcaklıklarda bünyesel küçülme sinterleme prosesinin ilk aşamasında gerçekleşmektedir.



Şekil 2.22. Zamana Bağlı Olarak Değişik Sinter Sıcaklığının Toz Yapının Yoğunlaşabilirliğine Etkisinin Şematik Gösterimi (Kurt, 2002)

Toz boyutunun tozların sinterleme yoğunluğu üzerine etkisi şekil 2.23'de verilmiştir. İnce taneli tozların kaba tanelilere oranla kolay sinterlenebilirliği bu tozların yüksek oranda temas noktası ve yüksek yüzey enerjisine sahip olmaları nedeni ile itici gücün yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

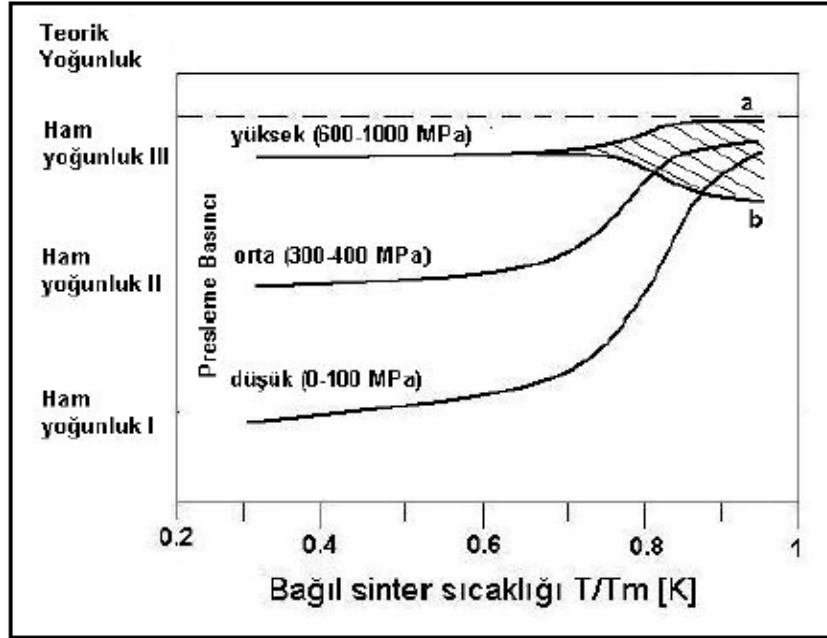


Şekil 2.23. İnce (1-10 µm) Kaba (50-200 µm) Taneli Tozlarda Sıcaklığa Bağlı Yoğunluk Değişimi (Kurt, 2002)

Sinter öncesi soğuk presleme basıncının sinter sonrası boyut küçülmesine etkisi Şekil 6'da verilmektedir. Yüksek ön presleme işlemine tabi numuneler sadece küçük miktarda hacimsel küçülme göstermektedirler. Gümüş ve benzeri tozlarda olduğu üzere yüksek plastik deformasyona müsaade eden çok ince tozlarda çok sıkı kapalı gözeneklerde hapsolan yüksek basınçta gazlar sinterleme ile birlikte hacimsel genişleme gösterebilir. Bu ve benzeri durumlarda düşük presleme basıncı kullanılmalıdır.

Sinterlemede yüksek yoğunluğa ulaşıldıktan sonra genel olarak tane boyutu büyümesi gözlemlenir. Bu durum sinter sonrası yüksek yoğunluk ve ince taneli yapı istenmesi durumunda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumun sağlanması çoğu zaman zor olmakla birlikte yüksek yoğunluk ve ince taneli yapı malzemenin mekaniksel mukavemetini arttıran bir etki yapar. Dolayısıyla sinterleme prosesi en küçük tane boyutunu ve yüksek yoğunluk verecek şekilde optimize edilmelidir. Dayanım diğer bir deyişle gözenek miktarı ve tane boyutuna bağlıdır. Bu durum hem seramik ve hem de metalik parçalar için geçerlidir. Şekil 2.24'de şematik olarak ortalama tane boyutu ve sinterlemenin tane boyutu büyümesini önleyicisi (inhibitör) katılarak veya katılmadan davranışı sergilenmektedir. Sinterlemede düşük yoğunluklarda gözenekler

tane büyümesini engellemektedir. Ancak tane büyümesi daha çok boşlukların tamamen kaybolması ve tane sınırlarının artması ile birlikte gözlenmektedir. Bu aşamaya gelmeden önce yardımcı sinterleme elemanlarının (inhibitörler) veya toz üretim süreçlerinden gelen safsızlıklar tane büyümesini önler ve yoğunluk artışına yardımcı olurlar.



Şekil 2.24. Değişik Presleme Yoğunluğuna Sahip Toz Numunelerinin Sıcaklığa Bağlı Yoğunluk Değişim(Kurt,2002)

2.5.8. Sinterlemeyi Etkileyen Faktörler

Sıcaklığın yükselmesiyle çekme kuvvetlerinin etkileri artarken, sinterlemeyi zorlaştıran etkiler de ortadan kalkar. Ayrıca sıcaklığın artması kristalleşme şartlarını da uygun hale getirir. Ortam sıcaklığında, toz taneleri gerektiği kadar plastik olmamaları, yüzeylerinde gaz ve oksit tabakalarının mevcudiyeti, toz taneleri arasındaki temasın mükemmel olmaması, presleme esnasında toz içinde zararlı gazlar bulunması, sinterlemenin yüksek sıcaklıkta yapılmasını gerektirir.

Yukarda sözü geçen zararlı etkiler sinterleme şartlarında önemli değişiklikler gösterirler ve tozun hazırlanma şartlarına büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenle tozun sinterlemeden önce tabii tutulduğu işlemler çok önemlidir. (Kurt, 2002)

2.5.9. Pratik Sinterleme Operasyonu

- Tek bileşenli sistemlerde genellikle sinterleme sıcaklığı olarak metalin mutlak ergime sıcaklığının 2/3 ve 4/5'i alınır.
- Birden fazla bileşenli sistemlerde ise sinterleme genellikle ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılır.
- Gözenekli bronzlar ve bronzlara benzeyen alaşımlar 600 °C ila 800 °C arasında sinterlenir.
- Demir grubu metallerin alaşımları ise 1000 °C ila 1300 °C arasında sinterlenir.
- Sert alaşımlar 1400 °C ila 1600 °C arasında sinterleme yapılır.
- Refrakter metaller (molibden, volfram, tantal) 2000 °C ila 2900 °C arasında sinterlenirler.
- Sinterleme sıcaklığı gibi, sinterleme süresi de kullanılan malzemeye göre değişir.
- Sert alaşımlar ve mıknatıs alaşımlarında olduğu gibi birçok hallerde de birkaç saat süren bir sinterleme uygulanmalıdır.
- Sinterleme zamanı ve sıcaklığı arasında basit bir bağıntı vardır. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme zamanı kısalır; aksine olarak alçak bir sinterleme sıcaklığı sinterleme zamanının uzamasına neden olur. (Yılmaz, S.S., 2004.)

2.6. KALİBR SAYON PRESLEME (TEKRAR KALIPLAMA)

İstenilen mekanik ve manyetik özelliklerin sağlanmasında gerekli olan parça yoğunluğunu elde etmek için bir gözenek azaltma işlemi olan ikinci presleme kullanılır. Preslenmiş parçanın 700-800 °C arasında ön sinterlenmesi ile yağlayıcılar yanar ve yeniden kristalleşme meydana gelir. Pekleşme ve iç gerilmeler kaldırıldığından malzeme sünekliğini tekrar kazanır. İkinci preslemeden sonra parçalar ikinci defa sinterlenir. (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

2.7. TALAŞLI ÜRETİM AŞAMALARI

Sinterlenmiş parçaların üretilmesindeki en önemli çekicilik karmaşık şekiller ve dar toleransa sahip parçaların üretilebilmesi olmasına rağmen, bazı sınırlamalar bulunur. Bundan dolayı frezeleme, delik delme (presleme doğrultusuna dik delikler), diş açma gibi talaşlı imalat operasyonları, kalıpta presleme ile elde edilemeyen şekillerin başarılabilmesinde kullanılır. Sinterlenmiş metallerin talaşlı imalatı genellikle aynı bileşimdeki döküm-dövme alaşımlarından daha kolaydır. Bundan dolayı kesme hızı ve kesme takımları optimum sonuçları almak için ayarlanmalıdır. Takım ömrünü artırmak için, MnS gibi işlenebilirliği artırıcı

katkılar toz ile karıştırılabilir. Sinterleme sonrası bu katkılar yapı içerisinde düzgünce dağılmış olarak kalırlar ve mekanik özellikler belirgince etkilenmez.

Bu işlem, presleme ve talaşlı imalattan kaynaklanan çapakları almak için kullanılır. En yaygın metod tamburlamadır. ve bazı durumlarda içinde aşındırıcı toz bulunan sıvı ortamlar kullanılır. (<http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 2008)

2.8. ISIL İŞLEMLER

2.8.1. Hızlı Soğutma (Su Verme)

Su verme işlemi toz metal parçalara uygulanabilmektedir. Bir metal alaşımının dönüşüm bölgesinin üstünde ve içindeki bir sıcaklığa kadar ısıttıktan sonra bu sıcaklıktan kritik soğuma hızına göre bir ortamda soğutma işlemidir. Toz metal çelik parçalara su verme yöntemi ile çekirdeğe kadar sertleşme elde edilebilmesi için parçanın ostenit bölgesine kadar ısıtılması gerekmektedir. Yalnız tozun özelliğine göre bu sertleşme çekirdeğe kadar sağlanamayabilir. (Çavdar, 2005.)

Su verme sonucunda martenzit yapı elde edilir. Martenzitik yapının mikroskop altında iğneli bir yapısı vardır. İğneler kabalaştıkça malzemenin kırılabilirliği artar. (Monson et al, 1963)

Su verme neticesinde mekanik özellikler şu şekilde değişir.

1. Malzemenin çekme mukavemeti artar.
2. Sertlik artar.
3. Elastiklik sınırı artar.
4. Uzama azalır.
5. Süneklik azalır.
6. Kesit büzülmesi azalır.
7. Kırılabilirlik artar.

2.8.2. Temperleme (Menevişleme)

Toz metal parçalara uygulanan bir diğer ısıtım işlemi temperlemedir. Sertleştirme işlemi sonucunda elde edilen martenzitik yapı sert ve kırılabilir olup ostenitin martenzite dönüşümü sırasında oluşabilecek istenmeyen özellikleri önlemek için menevişleme yapılır.

Menevişleme işleminin 400-650 °C aralığında yapılması halinde sementit taneleri büyür. Bu tanelerin birikerek büyümeleri, matriksi oluşturan ferrit yapısının belirginleşmesine neden olur.

650 °C 'nin üzerinde yapılan menevişleme işlemi sonucu küresel sementit taneleri elde edilir. Menevişleme sonucu elde edilen mikro yapılara menevişlenmiş martenzit denir. Isıtılan malzeme oda sıcaklığında soğutulur. Temperleme süresi 30 dakika ile 2 saat arasında değişir. (Sisko, 1957)

2.8.3. Sementasyon

Endüstride sementasyon işlemi aşınma, temas ve eğilme yorulmasına karşı yüzey direncinin gerekli olduğu dişliler, yataklar ve şaftlar gibi makine parçalarına yaygın olarak uygulanır. Sementasyon işlemi aşınma ve yorulma direncine ilaveten iyi kırılma tokluğunun Grekli olduğu ağır iş dişlilerine de uygulanır. (William, 1957)

Bir çelik için sementasyon işleminde tipik olarak % 0.1-0.2 karbon içeren az karbonlu bir çeliğin yüzeyi karbonca zenginleştirilir. Karbürleşmiş yüzey katmanının karbon içeriği yaklaşık % 0.8-1 oranına yükseltilir.

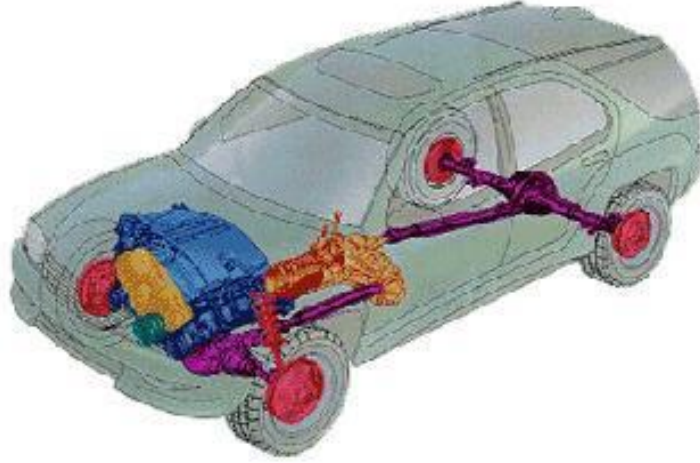
2.9. TOZ METALURJİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini alarak uygulama alanları çoğalmaktadır.

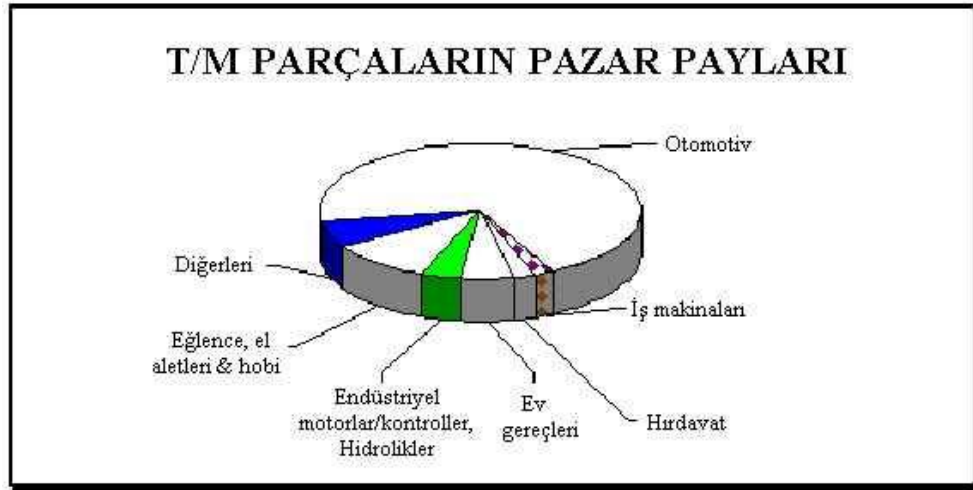
Genellikle demir parçalarının üretiminde kullanılan T/M yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulduğu otomotiv endüstrisi T/M yöntemini daha hafif parça üretimine doğru yönlendirmektedir. (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)

T/M uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zır delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıtları elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarz edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi T/M kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mükrekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır.

T/M kullanım alanlarından bir tanesi de savunma sanayisidir. Ateş sanatı olarak bilinen piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için oldukça önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklık oluşturdıklarından aydınlatmaya yol açarlar. Piroteknikler havai fişek, işaret fişeği ve flaş tozu olarak kullanılırlar. (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)



Şekil 2.26. Bir Araba İçindeki Toz Metal Parçaların Dağılımı
(<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)



Şekil 2.25. Toz Metal Parçaların Pazar Payları (<http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008)



Şekil 2.27. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Bazı Parçalar

2.10. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

2.10.1. Avantajları

T/M küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Belirli derecede porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. T/M ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması T/M yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir.

Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşılamaması (tungsten, molibden gibi), bazı özelliklerin ancak T/M ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalurjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metot olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı T/M yönteminin en bariz avantajlarıdır.

T/M yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir :

- · Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı.
- · Yüksek üretim hızları.
- · Düşük maliyet
- · Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi.
- · Karmaşık şekilli parçaların imalatı.
- · Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı.
- · Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi.
- · Metal matriks kompozit ve metal alaşımları üretimi.
- · Üstün mikro yapısal özelliklere sahip parça üretimi.
- · Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik.

2.10.2. Dezavantajları

Çoğu kez toz metalurjisi parçalarının mekanik özellikleri, döküm ve dövme üretilen parçaların özelliklerinden daha düşüktür. Yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu uygulama alanlarında bu parçalar kullanılmaz. Bununla birlikte ilave masrafların göze alınması halinde ürünlerin mukavemet değerleri farklı malzeme, alternatif yöntem ve ikincil işlem teknikleri kullanımıyla yükseltilebilmektedir.

Toz metal yönteminde yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yüksek miktarda aşınma söz konusu olduğu için kalıplar pahalı malzemelerden ve büyük kütleler halinde yapılmaktadır. Bu nedenle toz metalürjisi ile üretilecek parça sayısı en az 1000 adet olmalıdır.

Yoğunluğun parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişimi özelliklerin de değişimine neden olmaktadır. Bunun ana nedeni parçaların tasarımı yapılırken dizayn kriterlerine uyulmamasıdır. Uniform olmayan şekillerin toz metalürjisi ile üretilmesi halinde bu tip problemlerle karşılaşılabilir. (Çalışkan, 2000)

T/M yönteminin genel olarak dezavantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir ;

- 1- Düşük Mekanik Özellikler
- 2- Yüksek kalıp maliyeti
- 3- Parça kesiti boyunca özelliklerin değişim göstermesi
- 4- Yüksek malzeme maliyeti
- 5- Dizayn sınırlamaları

3. ENDÜSTRİDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN DIŞLİ ÜRETİM YÖNTEMİ

3.1. Dişli Çarklar ve Çeşitleri

Dişliler mekanik alanda ödevleri bakımından büyük bir önem arz ederler. Çalışacakları yer ve verimlerine göre, bir çok biçimlerde imal edilmektedirler. Dişliler birbirlerine paralel veya karışık açılarda bulunan bir milden diğer bir mile hareket ve kuvvet naklini temin eden yegane makine elemanlarıdır. (Esentepeli, 1966.)

Dişli çarklar, eksenleri birbirine yakın veya birbirine kesişen iki mil arasında güç ve hareket nakleden elemanlardır. Çevrelerine dişler açılmış iki dişli çark bir dişli çiftini oluşturur ve bunlardan güç ve hareketi nakleden dişliye çeviren dişli adı verilir. (Bağcı, 1998.)

Dişli çarklar uzun yıllardır bilinen ve üzerinde yine uzun yıllardır araştırmalar yapılan makina elemanlarıdır. Özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli özel dişli tasarımları literatürde mevcuttur. Bu özel uygulamalar sayesinde örneğin, mekanizma daha küçük boyutlarda imal edilebilir, aynı boyutlarda daha büyük momentler nakledilebilir, yüksek çevrim oranını sağlamak için gerekli kademe sayıları azaltılabilir veya tek kademede ulaşılabilecek çevrim oranları büyütülebilir, daha ucuz ve daha yüksek verimli mekanizmalar elde edilebilir. Örneğin, bazı uygulamalarda imalatı zor olan konik dişli çarklar yerine hassas imalat toleransları gerektirmeyen koni veya taç dişli mekanizmalar kullanılarak imalat maliyeti düşürülebilir. (Roth, 1998)

Silindir çevresi üzerinde, eksenine paralel doğrultuda, eşit aralıklı ve uygun profillerdeki girinti ve çıkıntıların meydana getirilmesi ile düz dişli çarklar elde edilir. Bu girinti ve çıkıntılar, başka bir deyimle, dişli çarkların diş profilleri, modül freze çakıları ile meydana getirilir. Eksenleri birbirine paralel olan düz dişli çarklar bir milden diğer bir mile hareket iletiminde kullanılır. (Özcan, 1991.)

Dişli çarkları biçimlerine göre sınıflandırırsak;

- Düz dişli çarklar
- Helis dişli çarklar
- Kramayer dişliler
- Konik dişli çarklar
- Sonsuz vida ve karşılık dişlisidir.

3.1.1. Düz Dişli Çarklar

Silindirin çevresine eksenini doğrultusunda, bilinen bir sistemle açılan eşit aralıklı, özel profildeki kanal ve çıkıntılardan düz dişliler meydana gelmiştir. Endüstride en çok kullanılan düz dişliler, disk veya çarkın üzerine ana eksene paralel olarak, dişlerin açılması ile elde edilen makine elemanlarıdır. Genelde büyük dişliye "çark" küçük dişliye de "pinyon çark" denir. Bunlara "dıştan çalışan dişliler" adı verilir. İçten çalışan dişlilerde; silindirik düz dişli çarklarda olduğu gibi, açılan dişler birbirine paraleldir. Burada fark; büyük dişli, iç yüzeylerinden diş açılmıştır.

Düz dişliler; genelde orta derecede hız ve kuvvet ileten; düşük devirlerde çalışan makinelerde kullanılır. Burada iki mil arasına konan, dişli çark gruplarının mil üzerindeki yerlerini değiştirmek suretiyle istenen hız değişiklikleri elde edilir. Eksenleri birbirine paralel olan düz dişli çarklar, bir milden diğer mile hareket iletiminde kullanılırlar. Torna, freze, vb. gibi tezgahların yapımında düz dişli çarklar, makinelerin önemli kısımlarını teşkil ederler.

Düz dişlilerde dişli ana profil doğruları eksene paraleldir. Kavramaya giriş bir anda ve bütün diş genişliği boyunca olmaktadır. Düz dişliler, hareket iletiminde kullanılırlar. Mil eksenlerinin çalışma konumları paraleldir. Düz dişliler çalışma esnasında ses çıkartırlar. Düz dişliye ait görüntüler şekil 3.1' de verilmiştir. (http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=104519)

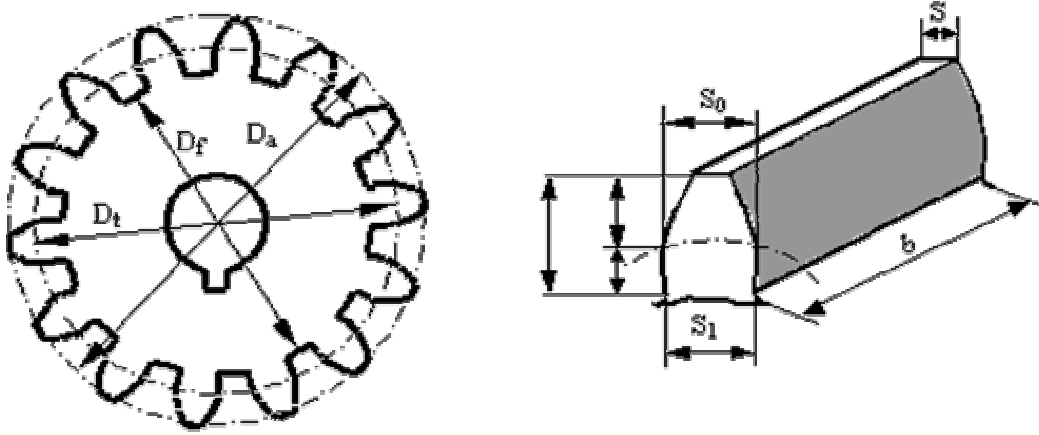


Şekil 3.1. Bir Düz Dişli Görüntüsü

(http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=104519)

3.1.1.1. Düz Dişliye Ait Elemanlar

Düz dişliye ait elemanlar şekil 3.2' de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.2. Düz Dişliye Ait Elemanlar

Modül ; (m) harfi ile gösterilir. Metrik sistemde dişli hesaplarında kullanılan özel bir kelime olup, mm olarak bölüm dairesi çapının diş sayısına olan oranını ifade eder.

Adım : (t) harfi ile gösterilir. Bölüm dairesi çapı üzerinde ölçülen iki diş merkezi arası veya boş dolu iki diş arasındaki uzaklık olarak ifade edilir.

Diş Sayısı; (z) harfi ile gösterilir. Bölüm dairesi çapının modüle olan oranını ifade eder.

Bölüm Dairesi Çapı; (Dt) harfi ile gösterilir. Dişlerin birbirine eşit aralıklarla bölündüğü dairedir.

Diş Üstü Çapı; (Da) harfi ile gösterilir. Diş uçlarının çevreye doğru son bulduğu dairedir.

Diş Dibi Çapı; (Df) harfi ile gösterilir. Diş diplerinin merkeze doğru son bulduğu dairedir.

Diş Yüksekliği; (h) harfi ile gösterilir. Dişin diş başından diş dibine kadar olan uzaklığıdır.

Diş Üstü Yüksekliği; (h_1) harfi ile gösterilir. Diş üstü ile bölüm dairesi çapı arasında kalan uzaklıktır.

Diş Dibi Yüksekliği; (h_2) harfi ile gösterilir. Diş dibi ile bölüm dairesi çapı arasında kalan

uzaklıktır. (Esentepeli, 1966.)

3.1.2. Helis Dişli Çarklar

Helis dişliler genel olarak büyük kuvvetlerin iletilmesinde, yüksek hızlarda (vites kutuları) yaygın olarak kullanılır. Helis dişlilerde dişli ana doğruları helistir. Bir helisel dişli birbirine göre bir miktar kaydırılmış yan yana konan sonsuz adet düz dişli olarak kabul edilebilir. Böylece helisel dişlilerde aynı anda birden fazla diş kavrama durumunda olduğundan toplam kavrama oranı daha büyük olup dönme hareketi daha düzgündür.

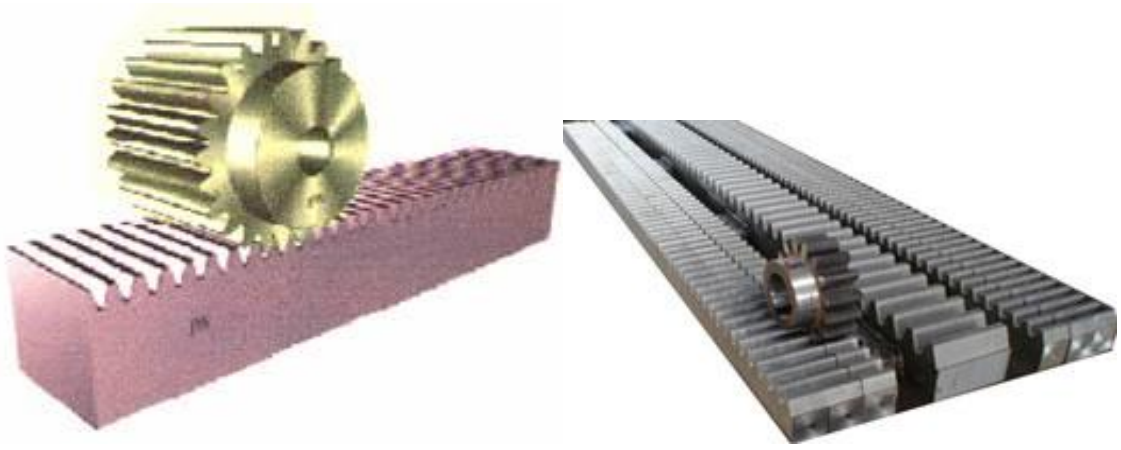
Düz dişlilerde mil eksenleri birbirine paralel olduğu halde helis dişliler hem paralel hem de değişik açılarda çalışabilirler. Dişlerin açılış yönlerine göre de sağ helis, sol helis adını alırlar. Şekil 3.3'de helis dişli görüntüleri verilmiştir. (http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=104519)



Şekil 3.3. Bir Helis Dişli Çifti Ve Helis Dişli Görüntüsü

3.1.3. Kramayer Dişli Çarklar

Aslında bir düz dişli çeşididir. Çalışma şekli incelendiğinde bir düz dişliden aldığı dairesel hareketi doğrusal harekete çevirmeye yarar. Düz dişli elemanları ile aynı özelliklere sahiptir. Sadece dişler bir freze tezgahında, modül çalışacağı düz dişli ile aynı olmak şartıyla adım kadar aralıklarla istenilen genişlik ve uzunlukta imal edilebilirler. Torna tezgahlarının arabalarının hareketini sağlama ve matkap tezgahının tablasının aşağı yukarı hareketini sağlama vb. yerlerde yaygın olarak kullanılırlar. Şekil 3.4'de kramayer dişliye ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.4. Bir Düz Dişli İle Kramayer Dişli Görüntüsü

3.1.4. Konik Dişli Çarklar

Güç Ve hareket iletiminin, 90° , dar açılı veya geniş açılı bir şekilde iletilmesi gereken durumlarda konik dişliler kullanılır. Konik dişliler düz ve helisel olarak iki şekilde üretilirler. Dişler, dişli merkezinden geçecek şekilde ise düz konik dişli, dişler düz değil de helis şeklinde ise helis konik dişli denir. Genelde ayna mahrutu dişli takımı olarak adlandırılırlar. Çeviren dişliye mahrutu, çevrilen büyük dişliye ayna dişlisi denir.

Eksenleri kesişmeyen millerde, güç ve hareketin yön değiştirmesi gereken ve tahvil oranı yüksek şanzımanlarda kullanılır. En yaygın kullanım yeri diferansiyeldir. Şekil 3.5'de konik dişlilere ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 3.5. Bir Düz Konik Ve Helisel Konik Dişli Görüntüsü

3.1.5. Sonsuz Vida Ve Karşılık Dişlisi

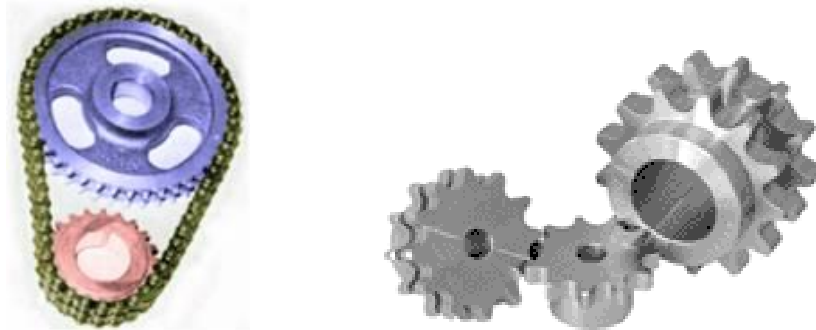
Sonsuz vida ve karşılık dişlileri güç ve hareketin doksan derece yön değiştirileceği yerlerde kullanılır. Sonsuz vida dişlisi genelde sementasyon çeliğinden imal edilir. Çalışma esnasında daha çok karşılık dişlisinin aşınması istenir. Karşılık dişlisi kalay oranı yüksek pirinç malzemeden imal edilir. Dişliler birbiri ile çalışırken birden fazla diş temas ettiği için güvenlik gerektiren yerlerde kullanılır. Asansörler buna en iyi örnektir. Şekil 3.6'da sonsuz vida ve karşılık dişlisi görülmektedir.



Şekil 3.6. Bir Sonsuz Vida Ve Karşılık Dişlisi Görüntüsü

3.1.6. Zincir Dişli Çarklar

Eksenler arası mesafenin fazla olduğu güç ve hareket iletimi gerektiren yerlerde zincir dişliler kullanılır. Eksenleri paralel miller üzerine takılan zincir dişliler üzerinde çalışan bir zincir yardımı ile güç ve hareket iletimi sağlanır. Zincir dişliler inç ölçü sistemine göre tek sıralı, çift sıralı, üç sıralı, dört sıralı olarak imal edilirler. İnç ölçüsü ve diş sayısı belirtilerek temin edilirler. Standartlaşmış üretimlerin bulunması çok kolaydır. Şekil 3.7'de zincir dişli çarklar görülmektedir.



Şekil 3.7. Bir Zincir Dişli Çark Mekanizması Ve Zincir Dişli Görüntüleri

3.2. Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Düz Dişli Üretim Aşamaları

3.2.1. Düz Dişlinin Hesaplanması

Düz dişlilerin hesaplanması yapılmadan önce dişlinin nerede hangi koşullar altında çalışacağı tespit edilir. Çalışacağı eksen arası mesafe, ileteceği güç ve iki dişli arasındaki tahvil oranına göre dişlinin modülü ve diş sayısı tespit edilir. Belirlenen modül ve diş sayısına göre aşağıdaki standart olan formüller ile düz dişlinin imalatı için gerekli olan elamanları hesaplanır.

m	: Modül
Z	: Diş sayısı
Dt	: Bölüm dairesi çapı
Dt	: $m \times Z$
Da	: Diş üstü çapı
Da	: $Dt + 2 \times m$
Df	: Diş Dibi Çapı
Df	: $Dt - 2.332 \times m$
h	: Diş yüksekliği
h	: $2.166 \times m$
h ₁	: Diş üstü yüksekliği
h ₁	: m
h ₂	: Diş dibi yüksekliği
h ₂	: $1.166 \times m$
b	: Dişli genişliği
b	: $8/12 \times m$
E	: Eksenler arası mesafe
E	: $dt_1 + dt_2 / 2$

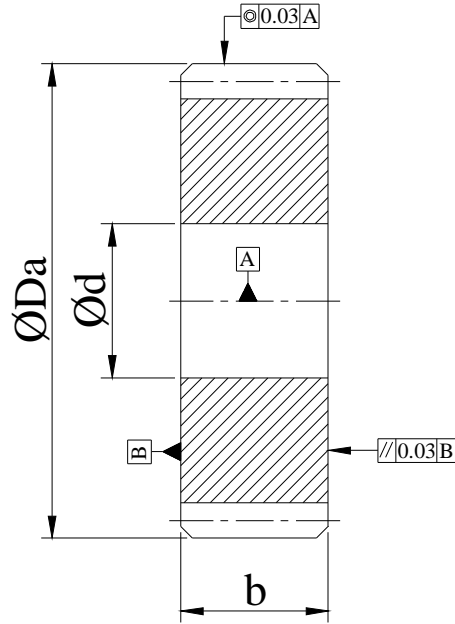
3.2.2. Düz Dişli Taslağının Tornalanması

Düz dişlinin hesapları yapıldıktan sonra diş üstü çapı, dişli genişliği ve eğer bir mil üzerine montaj yapılacak ise delik çapına göre dişlinin taslağının tornalanması gerekir. Dişlerin açılması için hazır hale gelmesi sağlanır.

Dişlilerin çalışması incelendiğinde dönme eksenine göre bir eşmerkezlilik toleransı vardır. Toleransın dışına çıktığında dişli çalışma sırasında çok sesli çalışır. Sesli çalışması dişlinin dönme ekseninden bazı bölgelerde sıkıştığını ifade eder. Bu durum dişlinin sıkıştığı bölgede

aşınma ve sistemin çok ısınmasına sebep olur. Isınan dişli özelliklerini kaybetmeye başlayacağından dolayı belirli bir süre sonunda sıkışma hareket veren motorun arıza yapmasına yada dişlinin kırılmasına sebep olacaktır.

Aynı zamanda dişli taslağının yan yüzeylerinde paralellik toleransına da dikkat etmek gerekir. Bu kriterlere dikkat edilmediğinde dişlinin çalışmasında istenilen performansa ulaşılamaz. Salgılı işlenen bir dişliye diş açımı gerçekleştirilir ise dişlinin çalışması sırasından yukarıda anlatılan durumlardan kaçılmaz. Şekil 3.8' de bir dişli taslağının tornalanması için gerekli ölçü ve toleranslar verilmiştir.



Şekil 3.8. Bir Dişli Taslağının Tornalanması İçin Teknik Resim Görüntüsü

3.2.3. Düz Dişlinin Freze Tezgahında Açılması

Düz dişlinin taslağının işlenmesinden sonra diş açma işlemi iki şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan birincisi freze tezgahında divizör yardımı ile yapılabilir. Bu tip işlemler universal freze tezgahlarında yapılabilir. Şekil 3.9'da bir universal freze tezgahı görülmektedir. Tezgah malafası yardımıyla istenilen modül freze çakısı tezgaha bağlanır. Dişimiz bir malafa yardımı ile divizörün aynası ile puntası arasına bağlanır. Şekil 3.10'da bir divizör görülmektedir. Şekil 3.11'de görülen modül freze çakısı yardımıyla dişler tek tek açılır.

Dişlinin diş sayısına göre divizör hesabı yapılır. Divizörün yapısı incelendiğinde içerisinde sonsuz vida ve karşılık dişlisi sistemi bulunmaktadır. Bu sistemde karşılık dişlisi diş sayısı genelde 40 diş olarak imal edilmiştir. Divizör üzerinde bulunan delikli ayna yardımıyla istenilen eşit aralıktaki bölüntüler yapılabilir.



Şekil 3.9. Bir Üniversal Freze Tezgahı Görüntüsü

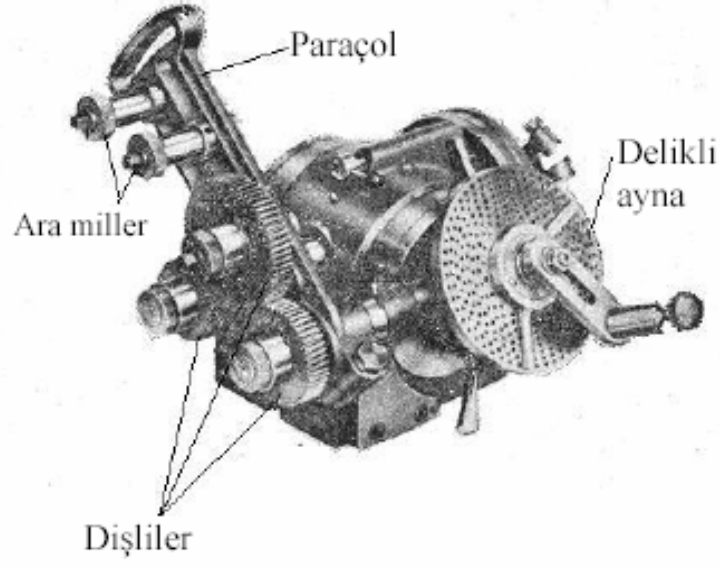
Divizör delikli ayna hesabı aşağıdaki formüle göre hesaplanır;

$$N = K / Z$$

N : Divizör manivela kolu çevirme oranı

K : Sonsuz vida karşılık dişlisi diş sayısı (40)

Z : Diş sayısı veya bölüm sayısı, şeklinde hesaplanır.



Şekil 3.10. Bir Divizör Görüntüsü (Güllü, A., ve diğerleri, 2006.)



Şekil 3.11. Bir Modül Freze Çakısı Görüntüsü

Divizör hesabı yapılmış olan ve modül frezesi bağlanmış olan dişli imalatı için çakının merkezi ile punta ucu aynı eksene getirilir. Parçanın diş üstü çapına çakı değiştirilerek sıfırlama yapılır. Tezgahın konsolu diş derinliği kadar yukarı kaldırılarak talaş verilmiş olur. Birinci diş açımı

gerçekleştirildikten sonra divizör hesabında çıkan sonuca göre manivela kolu her defasında çevrilerek tüm dişlerin açımı yapılır.

3.2.4. Azdırma Tezgahlarında Açılması

Diş açma işleminin ikinci yöntemi de azdırma tezgahları yardımıyla diş açımıdır. Freze tezgahlarının, dişli açmada yetersiz kalmalarından ya da diş açma işini istenen kalitede yapamamalarından ötürü azdırma tezgahlarının önemi daha belirginleşmiştir. Azdırma tezgahları, yuvarlanma metodu ile dişli çark açan özel tezgahlardır. Bu tezgahlar sayesinde, dişli çarklarda arzulan düzgünlük ya da kalite elde edilmiş olur. Azdırma tezgahı adını azdırma frezesi denilen kesici ucundan-çakısından almıştır. Azdırma frezeleri, sağ ve sol yönlü olarak yapılan özel kesicilerdir. Görünümleri vida biçimindedir ancak azdırma tezgahında her modülden tek çakı olarak bulunur ve bir tezgah tüm modülleri açamaz. Tezgahın kapasitesine göre modülleri de sınırlı olur. Örneğin; 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2 gibi. Azdırma takımlarında dişlerin sırtı tornalanmış ve taşlanmış yüzeyleri vardır. Büyük takımlarda talaş oyuklarına helis verilerek dişlerin sürekli bir şekilde kavranmaları ve işlenen yüzeylerden kesintisiz olarak ayrılmaları sağlanır. Bu şekilde titreşimler de önlenmiş olur. Şekil 3.12' de bir azdırma tezgahı görülmektedir.



Şekil 3.12. Bir Azdırma Tezgahı Görüntüsü (<http://www.toreci.com.tr/info/homepage.htm>)

Azdırma tezgahında işlenecek parçaya göre çeşitli tipte çakılar kullanılabilir. En yaygın olan çakı ise hava çeliğinden yapılan çakılardır. Ayrıca, titanyum alaşımlı zincir dişli çakılar ise daha sağlam oldukları için işleme kapasitesini yaklaşık olarak üç kat artırabilirler. Kesme sırasında kullanılan çeşitli sıvılar, kesme sırasında sürtünme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkabilecek çeşitli kırılmalara karşı alınan bir önlemdir. Şekil 3.13'de bir azdırma çakısı görülmektedir. (İpekçioğlu, N., 1994.)



Şekil 3.13. Farklı Modüllerde Azdırma Çakıları Görüntüleri

Azdırma tezgahında işlenecek parçalar 3 çeşit işleme tabi olabilirler:

Düz dişli açma: Düz dişli açma işleminde parçanın eksenine dişlerin yönü paraleldir. Diğeri bir şekilde ifade etmek gerekirse; parça düz bir yüzeye konulduğunda dişlerle yüzey arasında dik açı olduğu gözlenir.

Helisel dişli açma: Bu işleminde, parçanın eksenine dişlerin yönü paralellik göstermez. Parça düz bir yüzey üzerindeyken dişler ile yüzey arasındaki açının dar açı olduğu gözlenecektir. Çakı tezgaha yerleştirilirken belli bir açı verilmesi gerekmektedir.

Nihayetsiz çark: Tanjansiyel başlık gerektiren bu işlem her tezgahta yapılmaz.

İş parçası, tezgahın özeliğine uygun bağlama araçlarıyla tablaya tespit edilir. Diğeri çevresi

komparatörle yapılan karşılaştırmalarla kontrol edilir. Azdırma dişli tezgahlarının doğru olarak ayarlanması çok önemlidir. Tezgahın ayarlarının ve kontrollerinin işleme başlanmadan önce yapılması tavsiye edilir. Açılacak dişli düz ise, azdırmanın eğim açısı çakı üzerinden alınarak takıldığı gövdeye verilir. İş parçasıyla çakının dönüş oranı yani iş ve çakı, bir vida ile çarkı döndürüyormuş gibi düşünülerek, tezgah çark donanımları yapılmalıdır. Bunun için, dişli, diş sayısına göre bölüm dişli çarkları kataloğundan alınarak ilgili yerine takılır (Tam otomatik tezgahlarda bu donanımlar sadece kollarla yapılır.).

Dişlinin açılabilmesi için çakının diş derinliği verildikten sonra, işin dönmesiyle oranlı olarak düşey konumda ilerlemesi yine çark donanımlarıyla sağlanır. Eğer dişli çark helis dişli ise, kesme sırasında azdırmanın dişleri arasında zorlanarak işin kaymasını önlemek ve helis açısını çıkarabilmek için çakıya göre daha hızlı dönmesi gerekir. İşlem bitinceye kadar kesme yağı kullanılır. Böylece çakının zorlanması önlenerek düzgün yüzey elde edilmesi sağlanır. (Dinçmen, M., 1984)

Azdırma takım tezgahlarında maliyet, diğer bütün takım tezgahların olduğu gibi değişken bir kavramdır. Talaşlı takım tezgahlarında maliyeti etkileyen çok çeşitli maliyetler vardır. Azdırma takım tezgahları için bunlardan başlıcaları; işin yapılmakta olduğu ülke, işçilik, iş adedi, tezgah amortismanları, işleme süreleri, tezgah bedeli, üretim yöntemi (kütle üretimi, parti üretimi veya siparişe göre üretim), tezgahın boştaki bekleme ve temizlik maliyetleri ve benzerleridir. Toplam maliyet hesaplarında gerekli veriler ise zamanlar ve birim maliyetlerdir. Burada ele alınan zamanlar; iş parçasının bağlanma süresi (t1), iş parçasının sökülme süresi (t2), tezgah temizliği süresi (t3), ölçme süresi (t4), tezgah ayarları süresi (t5), işleme dışı süre (t); $t=t1+t2+t3+t4+t5$ olarak bulunur.

Azdırma tezgahları ile diş açma işlemi freze tezgahlarına göre daha kısa sürede ve birden fazla dişlinin aynı anda açılmasını sağladığı için seri imalat yapılan işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.5. Kama Kanalı Açma Ve Boşaltma İşlemleri

Diş açımı tamamlanan dişlilerin çapakları temizlendikten sonra dişlinin yapısına göre kama açma işlemi gerçekleştirilir. Dişlimiz bir mile montaj olacak ise delik içine vargel tezgahı veya planya tezgahı yardımıyla delik çapı standardına göre kama kanalı açma işlemi uygulanır. Eğer dişlimiz bir mil ile bütün ise freze tezgahı yardımıyla mil çapına uygun kama kanalı açma tamamlanır.

Kama kanalı açılan dişliler üzerinde farklı işlemler var ise bunlar tamamlanır. Genelde büyük ebatlı dişlilerde sementasyon işlemini ucuzlatmak ve taşımayı kolaylaştırmak için dişlilere boşaltma delikleri delinir. Bu deliklerden karşılıklı iki tanesine uygun kılavuz çekilerek taşıma işlemleri kolaylaştırılır. Talaşlı imalatı tamamlanan dişliler yüzey sertleşmesi için sementasyon işlemine gönderilir.

3.2.6. Sementasyon İşlemi

Dişlilerde yüzey teması olarak çalışma sürekli olduğu için dayanımın artırılması ve yüzey aşınmalarının en aza indirilmesi için sementasyon işlemi yapılır. Sementasyon işleminin özelliklerini incelersek;

Genellikle sementasyon uygulanan çeliklerin çekirdekdeki mikro yapısı ferritik ve perlitik yapıdan oluşmaktadır. Yüzeyden iç bölgeye doğru sertlik değerleri arasında olan aşırı farklar, kullanım sırasında çeliğin yumuşak kısmında çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu değişik oranlardaki çeşitli alaşım elementleri içeren çeliklerin kademeli olarak sertleştirilmesi ile önlenmektedir. Mikro yapı incelemeleri, çeliğin kullanımı sırasında en uygun performansı sağlayabilecek sementasyon işleminin yapılacağı hususunda kılavuzluk eder. Bu işlem ile tane büyüklükleri veya incelmeleri, oluşabilecek çatlak ve kırılmaların belirlenmesi açısından önemlidir. Literatürde sementasyon edilmiş malzemelerin mikro yapılarının yorulma dayanımlarına ve dolayısıyla malzemelerin kullanım ömrüne etki ettiği belirtilmektedir. Karbürleme süresi, sıcaklığı, karbon oranı, soğutma hızı ve sertleşebilirlik büyük önemi olan parametrelerdir. Sertlik derinliği ve yüzey sertliği, yapı farklılıklarına, iç gerilmelere ve sonunda oluşabilecek çatlaklara ve dolayısıyla yorulma dayanımına etki etmektedir. (<http://www.sutav.com/tr/hizmetlerimiz/segmentasyon.html>)

Sementasyon çelikleri karbon oranları % 0.2 nin altında olan çeliklerdir. Sementasyon işlemi sonrası yüzeyleri sert ve aşınmaya dirençli, iç kısımları ise yumuşak ve tok olması istenilen darbeli ve değişen kuvvete maruz kalan dişli çarklar, miller, makaralar, kesici takımlar gibi uygulama alanlarına sahiptir. Sertleştirilmenin sonradan yapılması ve sertleştirme öncesi yumuşak çeliklerle aynı özelliklere sahip olması talaş kaldırılarak işlenilmesini kolaylaştırır. Sertleştirilmesi istenmeyen ve yumuşak kalması arzu edilen yüzeylerin bakırla kaplanarak korunması, iç kısımların tok olması sonucu çarpılma ve çatlak oluşumunun minimuma indirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. (<http://www.sutav.com/tr/hizmetlerimiz/segmentasyon.html>)

Toplam sementasyon derinliği ile etkili sementasyon derinliği birbirine karıştırılmamalıdır. Etkili

sementasyon derinliği genelde, toplam sementasyon derinliğinin 2/3'ü ile 3/4'ü arasındadır. 0.76 mm' den daha az sementasyon derinlikleri için tek bir döngü yeterli olacaktır. Daha fazla derinlik istenildiğinde ise iki aşamalı(karbürleme difüzyon) bir proses gerekir. Tipik olarak, sementasyon ve su verme prosedürleri sonunda 60-63 HRC lik bir kabuk sertliği ve 10-40 HRC ' lik bir çekirdek sertliği elde edilmekle beraber, kabuk ve çekirdek sertlikleri, çeliğin kimyasal bileşimine, iş parçasının kesit kalınlığına ve ısıl işlem prosedürüne bağlıdır.

Malzemelerde bileşii oluşturan atomlar, hangi ortam olursa olsun aynı kimyasal bileşime sahip olmak için "difüzyon" olarak isimlendirilen yayılma eğilimindedir. Bu durum boşluk ve ara yer atomu gibi mekanizmalarla gerçekleşir. Sıcaklık yükselmesi yayılmayı hızlandırır. Difüzyon, atomun çevresi ile bağlarını kurtarması, sonra atomların arasındaki boşluklardan geçmesi ve yeni çevresi ile yeniden bağ kurması aşamaları ile gerçekleşir.

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı. çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir. Parçaya bu özelliklerin kazandırılması, çelik yüzeyine karbon emdirilmesi suretiyle olur. Sementasyon çelikleri, dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılırlar.

Sementasyon çeliklerinin kullanımı, yüzeyde aynı sertlik değerini verecek yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına nazaran, şu avantajları sağlar.;

- Sementasyon işlemi parça kısmen veya tamamen son şeklini aldıktan sonra uygulandığı için, parçanın işlenmesi oldukça kolaydır.
- Parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen kısımlar var ise, bu bölgeler özel pasta veya elektrolitik bakır ile kaplanarak örtülür.
- Sementasyon işlemi bu kısımlara tesir edemeyeceğinden sonradan kolayca işlenir. Sementasyon işlemi sonrasında, çekirdek bölgesi yumuşaklığını koruyacağından, sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmalar oldukça azdır.
- Semente edilmiş çeliklerin iç kısımları kolayca işlenebilir.
- Sementasyon çeliklen, yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur. Ancak, uygun sementasyon çeliğinin seçimi ve doğru sementasyon işlemi çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir.
- Sementasyon işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen sementasyon derinliğine ve sertliğe ulaşıması), kullanılan çeliğin iç yapı temizliği ile yakından ilgilidir.

- İç yapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde eritilmiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit sülfür inklizyonlarından temizlenmesi işlemidir. (<http://www.celmercelik.com/sementasyon.htm>)

3.2.7. Düz Dişlinin Taşlanması

Isıl işlemde gelen dişliler, diş açımı sırasında taşlama paylı olarak imal edilirse diş profillerinin taşlanması gerekir. Bu işlem için imal edilen taşlama tezgahına bağlanan dişlinin modülüne göre taş seçimi yapılır. Diş sayısına göre dişli taksimat hesapları yapılarak diş profilleri istenilen yanak ölçüsüne gelinceye kadar taşlama yapılır. Bu işlemlerin yapılabilmesi için tezgaha ait kriterler ile diş sayısı taksimatı veya dişimiz bir helis dişli ise helis açısı taksimatı hesaplanmalıdır.

Dişli delik çapı ve yan yüzeylerinin taşlanması veya dişimiz bir mil ile bütün olarak imal edildi ise silindirik yüzeylerin taşlanması delik taşlama, yüzey taşlama ve silindirik taşlama tezgahlarında gerçekleştirilmelidir.

Bu imalat aşamalarının hepsi uygulandıktan sonra ancak bir dişli kullanıma hazır hale gelmektedir. Bir dişlinin hesaplanması, dişli taslağının tornalanması, diş açımı ve sonrasındaki talaşlı imalat aşamaları, sementasyon işlemi ve taşlama işlemleri bir dişli için en az üç gün süre almaktadır. Bu sebeplerden dolayı dişli üretimi maliyet açısından her geçen gün zorlaşmaktadır. Her geçen gün işçilik giderlerinin artması, malzeme fiyatlarının yükselmesi, elektrik, su vb. maliyetlerdeki artış dişli üretimi için farklı yöntemlerin araştırılmasına sebep olmuştur. Bunlarda biride toz metalurjisi yöntemi ile dişli üretimidir.

4. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE DÜZ DİŞLİ ÜRETİM YÖNTEMİ

Dişli üretiminin zaman açısından uzun sürmesi ve beraberinde getirdiği maliyetlerin yüksek değerlerde olması insanları farklı üretim yöntemlerini araştırmaya yönlendirmiştir. Bunlardan biri de toz metalurjisi yöntemi ile dişli üretimidir.. Toz metalurjisi yöntemi ile dişli üretimi metal tozların seçimi ile başlar. Metal tozlarının sıkıştırılması (preslenmesi) işleminden sonra sinterleme işlemine tabii tutulur. İşlemleri tamamlanan parçalar istenilen mekanik özelliklere göre ısıtılma ve kaplama işlemlerine tabii tutulabilirler. Bu yöntemle üretilen dişli görüntüleri şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilmiş Dişli Görüntüleri
(<http://www.plastic-gear-manufacturer.com/powder-metallurgy-gear.htm>)

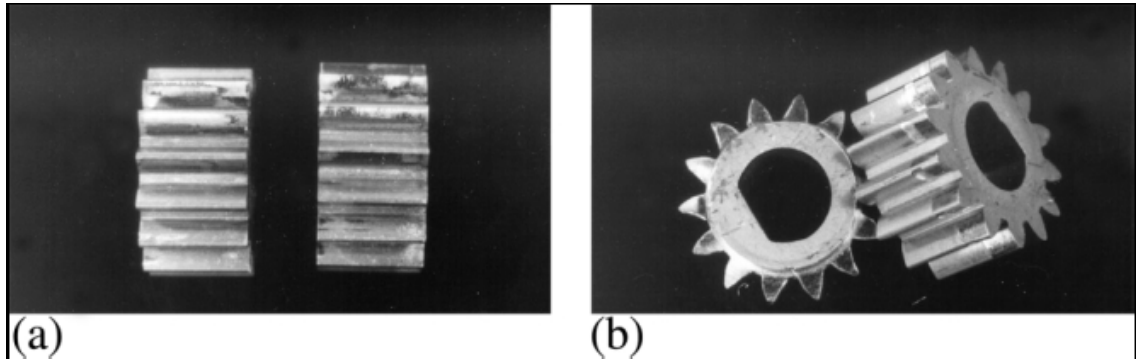
Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen dişliler artan pinyon dişli hızları yüksek tahvil oranları ve yüksek sürtünmeye karşı istenilen performansları gösterebilmektedirler. Üretilen parçalarda talaşlı üretim aşamalarının ortadan kaldırılması ile tercihli hale gelmektedir. İmalatı zor olan farklı şekildeki dişliler bu yöntemle çok kolay üretilebilmektedir. Bu yöntemle bahçe traktörlerinde kullanılan dişli ve diğer parçaları, zincir dişliler ve biomedikal parçalar üretilebilmektedir. Şekil 4.2' de bu yöntemle üretilmiş dişli görüntüleri verilmiştir.(<http://www.appliancemagazine.com/editorial.php?article=1933&zone=114&first=1>)



Şekil 4.2. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilmiş Bir Bahçe Traktörüne Ait Dişliler
(<http://www.appliancemagazine.com/editorial.php?article=1933&zone=114&first=1>)

Metal tozlarının seçim aşaması incelendiğinde toz metalurjisi yöntemi ile üretilecek dişlilerin toz karışımının temelini demir tozları oluşturmaktadır. Demir tozlarının içerisine karbon, molibden krom gibi elementlere ait tozlar farklı oranlarda karıştırılarak mekanik özellikler iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde her bir elementin üretilecek olan malzemeye sağlayacağı faydalar tespit edilebilir.

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilecek olan bir düz dişli için, dişliye ait özellikler 3 mm modül 14 diş olarak tespit edilmiştir. Bu dişlinin imalatında kullanılan metal tozları karışımına ait kompozisyon 89.3 wt.% Mn, 1.2 wt.%C, 0.41 wt.% Si, 2.3 wt.% O₂, 0.13 wt.% N₂ ve Fe kullanılmıştır. Bu toz karışımı 700 Mpa basınçta sıkıştırılmış ve 6.9 gr/cm³ yoğunluk elde edilmiştir. Şekil 4.3'de bu karışım ile üretilen dişliler görülmektedir. (J. Georgiev ve diğerleri, 2004)



Şekil 4.3. Karışıma Ait Düz Dişli Görüntüleri (J. Georgiev ve diğerleri, 2004)

Bir başka çalışmada sinterlenmiş çelikler ile parça üretiminde Fe-C-Mo-Cr elementlerine ait metal tozları kullanılmıştır. Bu çalışmada karıştırma işlemi sonrasında farklı prosesler uygulanmıştır. Üretilen parçaların mikroskopik incelemeleri yapılarak, parçaların sertlik değerleri ve yoğunluk miktarları incelenmiştir. Aynı zamanda üretilen dişlilere aşınma testleri uygulanarak parçaların farklı oranlardaki karışımlarının ve her bir elementin mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. (Ceschini L. Ve diğerleri, 2005)

Bu çalışma sonucunda farklı oranlarda karışımlar elde edilerek üretilmiş olan dişlilerin yoğunlukları, sertlikleri, mikroskopik incelemeleri ve aşınma testleri sonuçları metal tozlarının etkilerini göstermektedir. Karışımlardan elde edilen yoğunluk ve sertlik değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı Karışımlarda Hazırlanmış Metal Tozlarının Sertlik Ve Yoğunluk Değerleri (Ceschini L. Ve diğerleri, 2005)

Çelik (Ağırlık%)	Kompozisyonu	Basınç (MPa)	Yoğunluk (Mg/m ³)	Sertlik HV _{5/15}
Fe-Mo-C (C=0.50; Mo=0.85)		700-750	7.18	163
			7.23	154
Fe-Mo-C (C=0.50; Mo=1.5)		500-550	6.96	158
			7.06	177
		700-750	7.12	181
				184
Fe-Cr-C (C=0.50; Cr=3.0)		500-550	6.84	144
		700-750	7.01	153

Bir başka çalışmada takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Niobyum alaşımlı takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonu tablo 'da verilmiştir. Bu karışım 500-600 MPa basınçta sıkıştırılmıştır. 1100 °C de 4 saat sinterlemeye tabi tutulmuştur. Üretilen parçaların korozyon dirençleri, yüzey sertlikleri ve aşınma dirençleri incelenmiştir. Çizelge 4.2'de Takım çeliklerine ait kimyasal kompozisyon verilmiştir. (Novák P. Ve diğerleri, 2005)

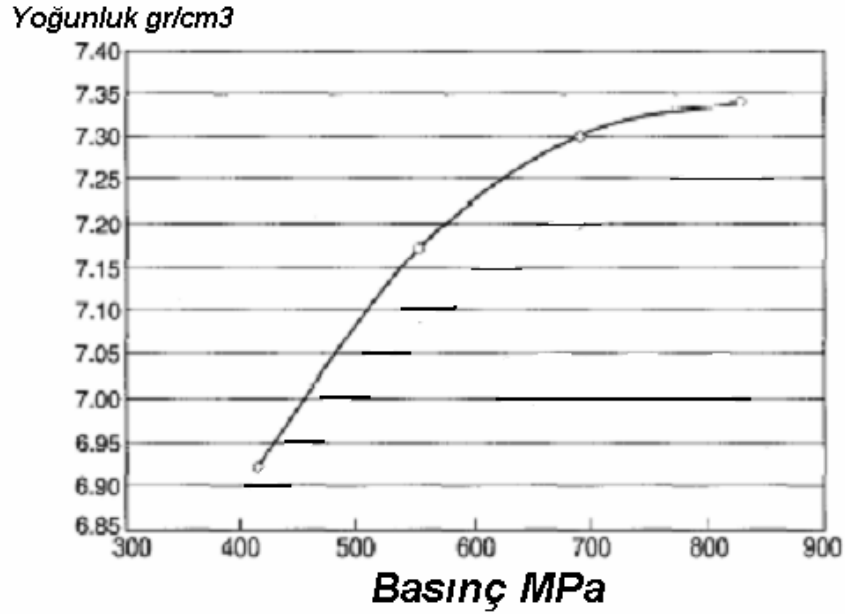
Çizelge 4.2. Takım Çeliklerine Ait Kimyasal Kompozisyon (Novák P. Ve diğerleri, 2005)

	C	Si	Cr	Nb	V	Mo	W	Fe
[wt. %]	2.5	3.3	6.2	2.6	2.6	2.2	1	Bal.

Toz metalurjisi yöntemi ile dişli üretiminde metal tozları karışımı hazırlandıktan sonra tozların belirli bir basınç altında sıkıştırılması gerekmektedir. Sıkıştırma işleminde dikkat edilmesi gereken kriterler incelendiğinde ideal bir sıkıştırma işlemi tüm yüzeylerden aynı anda ve aynı basınçta sıkıştırma yapabilmektir. Dişlilerin sıkıştırılmasında bu uygulama yoğunluk ve gözenek oranı açısından olumlu özellikler kazandırır.

Metal tozlarının sıkıştırılması sırasında, sıkıştırma kalıbına yaklaşık 100-150 °C ısıtma uygulanarak sıkıştırma işlemleri gerçekleştirilir. Sıkıştırmanın çift etkili preslerde ve mümkün olduğu kadar yüksek basınçlarda yapılması dişlide elde edilecek mekanik özellikler açısından

çok önemlidir. Dişlilere uygulanacak olan test sonuçları da sıkıştırma yöntemi ve sıkıştırma basıncının etkilerini göstermektedir. Şekil 4.1'de sıkıştırma basıncının yoğunluğa etkisi görülmektedir.



Şekil 4.1. Toz Metal Parçalar İçin Sıkıştırma Basıncı Etkisi (Metal-powder.net)

Sıkıştırma basıncı düşük olan dişlilerde sıkıştırma işlemi sonrasında yüzeylerden parçacık kopması gerçekleşir. Metal tozlarının birbirine yapışması bir yağlayıcı tarafından sağlansa da asıl bütün olmalarını sağlayan en büyük etken sıkıştırma basıncıdır.

Sıkıştırması gerçekleşen dişlilerin dayanım kazandırılıp metal tozlarının ergime derecesinde birbirine kaynaması için sinterleme işlemine tabii tutulurlar. Sinterleme dişlilerin mukavemet kazanmasını sağlar.

Sinterleme operasyonu dişli üretiminde en önemli proseslerden biridir. Sinterleme şartlarının uygun olmadığı üretimlerde dişlilerin istenilen mekanik özelliklere sahip olmadığı görülür. Üretilen dişlilere, 900 °C ile 1300 °C arasında, minimum 30 dakika ile maksimum 4 saat arasında sinterleme işlemi yapılmaktadır. Sıcaklık miktarının ve sinterleme süresinin hidrojen atmosferi altında parça yoğunluğuna etkileri Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Sıcaklık Miktarı Ve Sinterleme Süresinin Yoğunluk Miktarına Etkileri
(Metal-powder.net)

Sıcaklık (°C)	Zaman (dk)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç (MPa)
950	30	6.2	131
950	30	6.3	159
950	120	6.3	138
950	120	6.3	159
1375	30	7.0	193
1375	30	7.2	234
1375	120	7.5	234
1375	120	7.8	283

Sinterleme işlemi koruyucu gaz altında gerçekleştirilmesi gereken bir operasyondur. Dişliye ait özelliklerin iyileştirilmesi için mutlaka uygulanmalıdır. Metal tozlarının özelliğine göre hangi koruyucu atmosfer altında sinterlenmesi gerektiği, mekanik özellikler ve sinterleme sonucuna etkileri oldukça fazladır.

Sinterleme sonrasında dayanım kazanmış olan dişliler her türlü talaşlı imalat işlemleri uygulanabilir. İmalat öncesinde kumlama, parlatma işlemleri, talaşlı imalat olarak; delme, tornalama, taşlama vb. işlemler rahatlıkla uygulanabilir. Talaşlı imalat işlemleri sonrasında parçanın özelliklerine göre kaplama işlemine tabi tutulabilirler.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Düz dişliler standartlara göre imal edildiği zaman dayanım sorunları ile karşılaşmaktadır. Dişlinin elemanlarının hesaplanmasında standart değerler kullanıldığında, diş profilleri dayanımı düşük olmaktadır. Aynı zamanda dişli imalatı aşamaları zor olmakla beraber çok hassas işlemlerdir. Çalışma sırasında aşınma, ısınma ve dayanım problemleri, dişli imalatı sırasındaki meydana gelen hatalardan kaynaklanmaktadır. İmalat aşamaları uzun süreli ve maliyetlidir.

Dişlinin dayanımını artırmak için dişli hesabı, bir dişli hesap programı yardımıyla yapılmıştır. Dişli, standart hesap değerlerine göre değil, pozitif yönde profil kaydırılarak hesaplanmıştır. Bu sayede diş profili daha dayanıklı hale gelmiştir. Programda 1.5 kat daha dayanımı artmıştır. Dişli imalatı endüstride kullanılan yöntemlerle değil toz metalurjisi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede imalat aşamaları ve bunlardan kaynaklanan hatalar minimuma indirilmeye çalışılmıştır.

Üretilen dişlilerin üretim aşamaları sonunda yapılan tüm çalışmalar kayıt altına alınarak dişlinin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen verilere göre sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda bu üretim aşamalarını incelediğimizde detaylar verilmektedir .

5.1. Dişli Hesabının Yapılması

Düz dişli imalatı için dişliye ait elemanlardan modül değeri 3 mm, diş sayısı 15 olarak tespit edilmiştir. Dişli kalınlığı 27 mm olarak üretilecek ve basıncın etkilerini görmek için daha ince parçaların üretimi de yapılacaktır. Dişliye ait elemanları modül ve diş sayısına göre aşağıdaki gibi hesaplarız.

m : 3 mm (modül) Z : 15 diş dişli için:

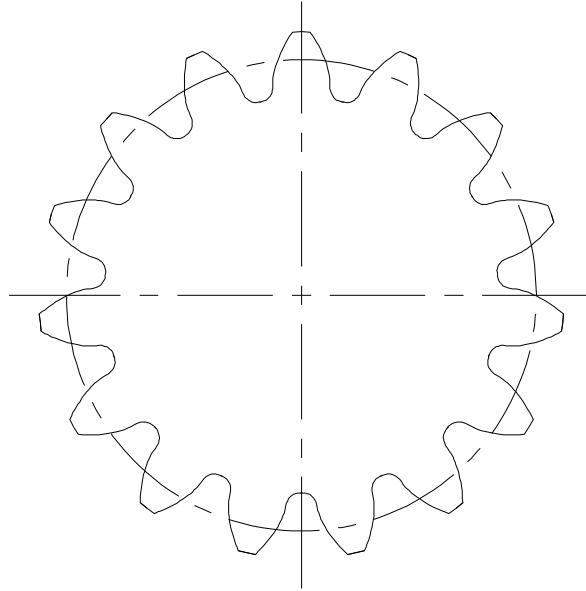
Adım	: $t = m \times \pi = 3 \times 3.14 = 9.42$ mm
Bölüm Dairesi Çapı	: $D_t = m \times Z = 3 \times 15 = 45$ mm
Diş Üstü Çapı	: $D_a = D_t + (2 \times m) = 45 + (2 \times 3) = 51$ mm
Diş Dibi Çapı	: $D_f = D_t - (2.332 \times m) = 45 - (2.332 \times 3) = 38.004$ mm
Diş yüksekliği	: $h = 2.166 \times m = 2.166 \times 3 = 6.498$ mm
Diş Üstü Yüksekliği	: $h_1 = m = 3$ mm
Diş Dibi Yüksekliği	: $h_2 = 1.166 \times m = 1.166 \times 3 = 6.498$ mm
Dişli Kalınlığı	: $b = (8/12) \times m = 9 \times 3 : 27$ mm, bulunur.

Yukarıdaki dişli elemanları hesabı standart ölçülerde olması diş profilinde güçlendirme yapılmadığını gösterir. Dişlinin diş üstü çapını 52.707 mm olarak işlersek artı yönde profil kaydırma yapılmış olur. Bu işlem bize dayanıklı bir profil olmasını sağlar. Dişliye ait elemanların değerleri aşağıdaki gibi olur. Bu değerler, sadece dişli hesaplarını yapan Kisssoft Hinware 2004 programında hesaplanmıştır.

m : 3 modül Z : 15 diş dişli için:

Adım	: $t = m \times \pi = 3 \times 3.14 = 9.42 \text{ mm}$
Profil Kaydırma Miktarı	: 0.3822
Bölüm Dairesi Çapı	: $D_t = 47 \text{ mm}$
Diş Üstü Çapı	: $D_a = 52.707 \text{ mm}$
Diş Dibi Çapı	: $D_f = 39.793 \text{ mm}$
Diş yüksekliği	: $h = 6.457 \text{ mm}$
Profil Kaydırma Değeri	: $x = (14 - Z_1) / 17 = (14 - 15) / 17 = 0.0588 \text{ mm}$

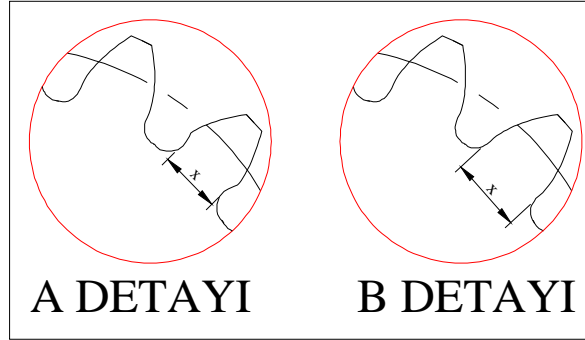
Yukarıda profil kaydırma yapılarak hesaplanan dişlinin imalatı yapılmıştır. Profil kaydırma yapılarak elde edilecek olan dişlinin profil görüntüsü şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Profil Kaydırma Yapılan Düz Dişliye Ait Görünüş

Profil kaydırmanın diş profilinde meydana getirdiği değişiklikler incelendiğinde; A detayında profil kaydırma olmadığı zaman oluşan diş biçimini, B detayı profil kaydırma olduğu zaman oluşan diş biçimini göstermektedir. Şekil 5.2.'de A ve B detay resimleri görülmektedir. Buradaki

diş profillerine bakıldığında B detayındaki dişin daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Bu diş profili dayanım ve sessiz çalışma açısından tercih edilen bir diş profilidir. Şekil 5.2’de “x” olarak gösterilen kısım zayıflayan bölgeyi ifade için gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Profil Kaydırma Yapılmayan (A) Ve Yapılan (B) Dişlilerin Diş Görüntüleri

İmalatı yapılacak olan dişliler yukarıda açıklandığı gibi bir program yardımıyla hesaplanıp dişliye ait elemanların sayısal değerleri bulunmuştur. Ayrıca bu program yardımıyla dişliye ait şekil 5.1’de görülen dişlinin görüntüsü DXF dosyası olarak birebir ölçülerinde oluşturulmuştur.

5.2. Metal Tozları Karışımı

Toz Metalurjisi yöntemi ile üretilecek dişli için kimyasal içeriği çizelge 4.4’de verilen toz karışımı kullanılmıştır.. Fakat karbonun kırılganlığı arttırması sebebiyle üretim aşamasında özel işlemler gerekmektedir. Bu işlemler çok yüksek maliyetler içerdiği için karbon oranı düşük toz karışımı seçilmiştir. Aşağıda, kullanılan toz karışımına ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 5.1. Metal Tozları Karışımının Kimyasal İçeriği

Fe	% 98	C	%0,6
MnS	% 0,5	Kenolube	%0,6

Karışımındaki %98.3 demir tozunun analizi incelendiğinde; aşağıdaki kimyasal analiz test sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 4.5’de analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5.2. Metal Tozları Karışımına Ait Analiz Sonuçları

Kimyasal Analiz	Test Sonuçları	Min	Max
C	0.00 %		0.01 %
Ni	4.06 %	3.65	4.35 %
Cu	1.52 %	1.38	1.62 %
Mo	0.51 %	0.46	0.54 %
O-tot	0.08 %		0.12 %
Fe			Esas
Metal Tozları Karışımına Ait Fiziksel Özellikler			
Görünen Yoğunluk	3.04 g/cm ³	2.97	3.12 g/cm ³
Flow (Hall)	26 s/50 g	30	s/50 g
GD (600 MPa)	7.17 g/cm ³	7.09	g/cm ³
Metal Tozlarının Mikron Analiz Sonuçları			
+212	0.0 %		0.0 %
180-212	0.8 %		2.0 %
150-180	6.2 %		Esas %
150-212	7.0 %		12.0 %
106-150	19.8 %		Esas %
75-106	20.4 %		Esas %
45-75	29.8 %		Esas %
-45	23.0 %	10.0	30.0 %

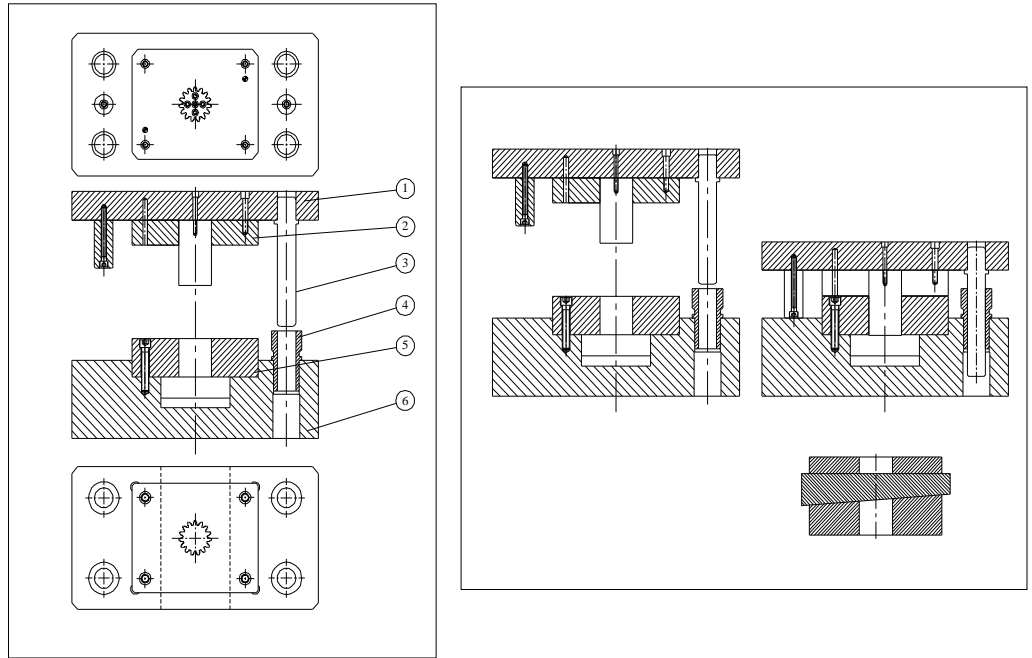
Yukarıda özellikleri verilen metal tozları karışımı istenilen özelliklerde bir karıştırıcı yardımı ile tozun satın alındığı firma tarafından karışım olarak sertifikası ile birlikte alınmıştır.

5.3. Sıkıştırma Kalıbı Tasarımı Ve İmalatı

Sıkıştırma işlemi için gerekli olan kalıp düz dişlinin elemanlarına ait değerlere göre kalıbı imal edecek olan firma sorumlusu ile birlikte tasarlanmıştır. Dişlinin şekli dişli hesap programı yardımıyla elde edilmiştir. Dişlinin şeklinden yola çıkarak kalıp tasarımı tamamlanmıştır. Tasarım, sıkıştırma işleminin 706 MPa basınçta gerçekleşeceği düşünülerek yapılmıştır. Metal tozlarının sıkıştırma bölümüne doldurulması ve sıkışmış olan dişlinin çıkarılması için bir tarafı açılı yüzeye sahip bölme yapılmıştır. Tasarlanan kalıbın görüntüleri Şekil 5.3. ve 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Sıkıştırma Kalıbı Görüntüsü



Şekil 5.4 Sıkıştırma Kalıbı Teknik Resim Görüntüsü

Sıkıştırma kalıbı erkek zımba parçası tel erozyon yardımıyla sıkıştırma işlemi için çok hassas boşluklar verilerek imal edilmiştir. Tel erozyon tezgahında kesildikten sonra sertleştirilmiş ve erkek zımba taşlanmıştır. Bu sayede hassas boşluklar elde edilmiş ve ısı işleminden kaynaklanan çarpılmalar giderilmiştir. Çalışma sırasında kalıptan kaynaklanan hiçbir hata ile

karşılaşılmamıştır.

Kalıbın çalışma boşlukları önceden daha küçük bir kalıp imal edilerek sıkıştırma yapılacak metal tozları ile denenerek tespit edilmiştir. Bu sayede asıl kalıbın imalatı tek seferde hatasız olarak sağlanmıştır.

Boşluklardan kaynaklanacak olan sıkıştırma ve parçanın kalıptan çıkarılırken dağılması gibi problemler ortadan kaldırılmıştır. Kalıbın tasarımı ve imalatı sırasında her aşama düşünülerek ve gerekli uygulamalar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.5.' de sıkıştırmayı yapan kalıbın erkek zımba görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.6'da Metal tozlarının dolumu yapılan kalıbın dişi plakası görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.5. Sıkıştırmayı Yapan Kalıbın Erkek Zımba Görüntüsü



Şekil 5.6. Metal Tozlarının Dolumu Yapılan Kalıbın Dişi Plakası Görüntüsü

5.4. Sıkıştırma (Presleme)

Kalıp imalatı sırasında dişlinin, diş profillerini elde etmek için erkek ve dişi kalıp için gerekli parçalar hassas olarak üretilmiştir. Kalıbın tüm parçaları gerekli kalıp malzemelerinden imal edilmiş. Gerekli ısı işlemler yapıldıktan sonra taşlanmıştır. Kalıbın montajı tamamlandıktan sonra sıkıştırma aşamasına geçilmiştir.

Önceden alınmış olan metal tozları karışımı planlanan basınç değerlerinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. 164-754 MPa basınç aralığında 117 adet numune basımı gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemine ait bazı numune numaraları ve sıkıştırma kuvvetleri Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Sıkıştırma işlemi sırasında bazı numunelere aynı basınç iki kere uygulanıp etkileri izlenmiştir.

Çizelge 5.3. Parça Numaralarına Göre Sıkıştırma Kuvvetleri

Parça No	Sıkıştırma Basıncı (MPa)	Parça No	Sıkıştırma Basıncı (MPa)
1	164	11	400
2	188	12	424
3	212	13	447
4	235	14	471
5	259	15	518
6	282	16	565
7	306	17	612
8	329	18	659
9	353	19	706
10	377	20	754

Sıkıştırma kalıbı hidrolik pres üzerine alınarak akslenmesi yapılmış ve sabitlenmiştir. Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7. Kalıbın Hidrolik Pres Üzerine Montaj Görüntüsü

Sıkıştırma işlemi için parçamıza 950 MPa basınç uygulayabilen, Beşsan marka, 1999 model tek etkili bir pres kullanılmıştır. Kullanılan prese ait görüntü Şekil 5.8'de verilmiştir.

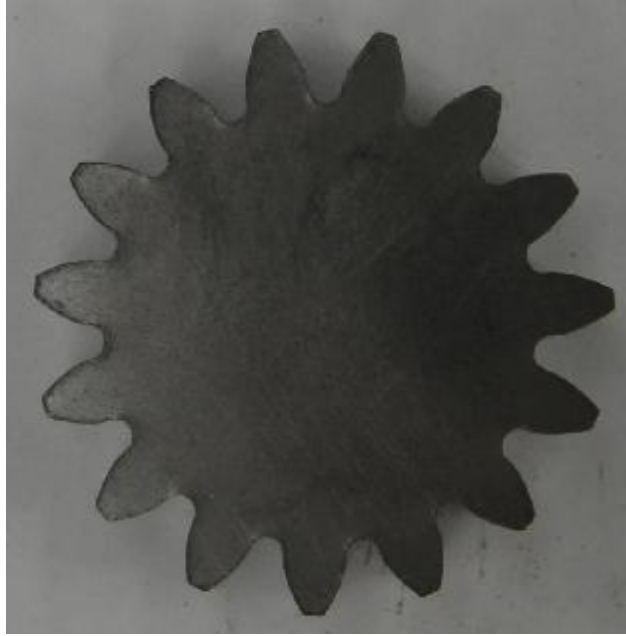


Şekil 5.8. Düz Dişli Sıkıştırma Kalıbı Ve Sıkıştırma İşleminin Yapıldığı Hidrolik Pres

Sıkıştırma işlemi için sıkıştırma basınçları 164 MPa başlayarak 754 MPa basınca kadar bu aralıkta, on adet olarak numuneler basılmıştır. Bazı parçalara kalıp içerisinde çıkarılmadan aynı basınç altında iki defa sıkıştırılmıştır. Bazı parçalar ise daha ince olarak üretilmiştir. İnce ve aynı basınçta iki defa sıkıştırma yapılan parçalar incelenerek etkileri gözlenecektir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'de sıkıştırma sonrası dişliler görülmektedir.



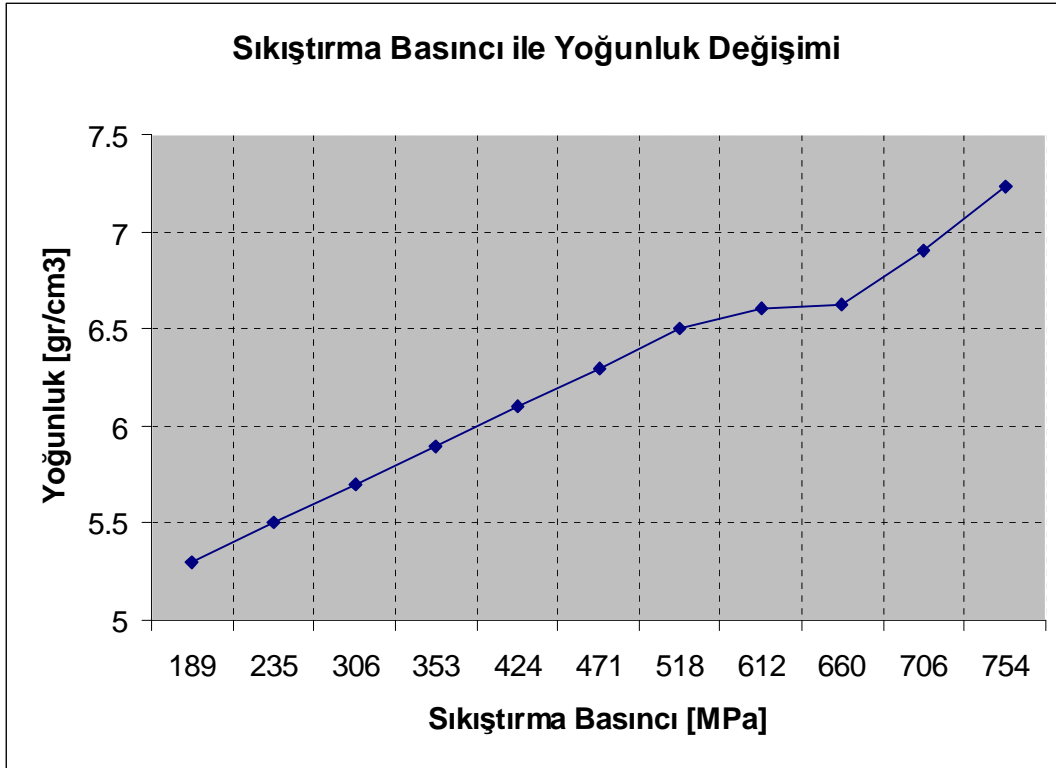
Şekil 5.9.. Sıkıştırma İşlemi Sonrası Düz Dişlinin Görüntüleri



Şekil 5.10. Sıkıştırma İşlemi Sonrası Düz Dişlinin Görüntüleri

5.4.1. Sıkıştırma Basınçlarının Yoğunluğa Etkileri

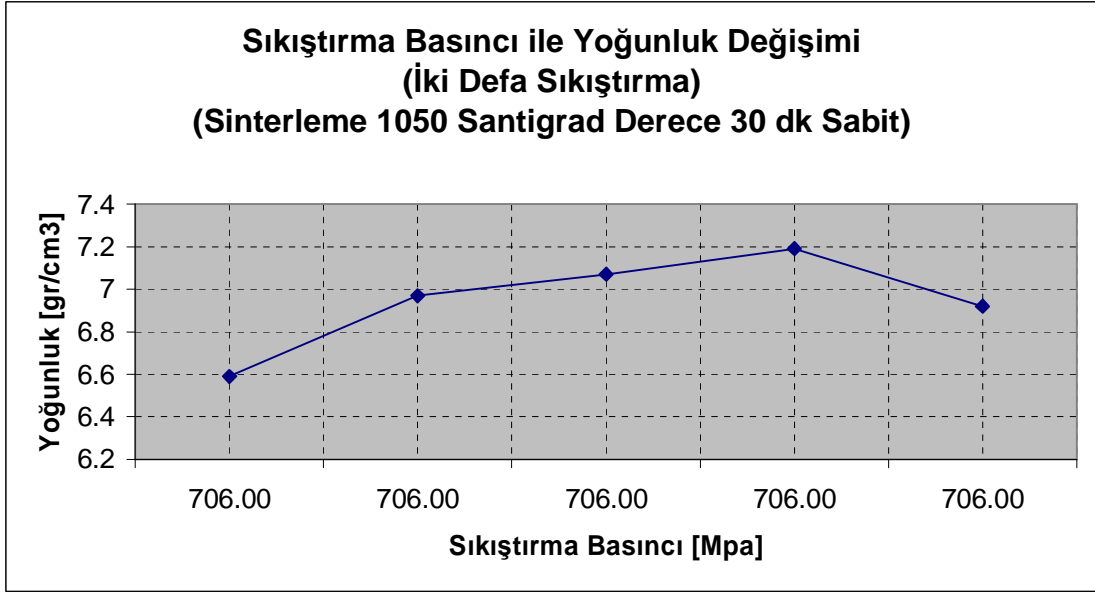
Sıkıştırma işlemi dişlinin üretim aşamalarından en önemlilerindendir. Metal tozlarının, sıkıştırma işlemi sonucunda toz tanelerinin aralarındaki boşluk miktarı en aza indirilmesi dayanım için en önemli kriterlerden bir tanesidir. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen dişlilerde yoğunluk miktarı üretilen dişli hakkında en önemli bilgiyi vermektedir. Literatürde bu yöntemle üretilen parçalarda 7.6 gr/cm^3 yoğunluğa ulaşılabilir. Bu sebepten dolayı Şekil 5.11'de sıkıştırma basıncının yoğunluğa etkileri verilmektedir.



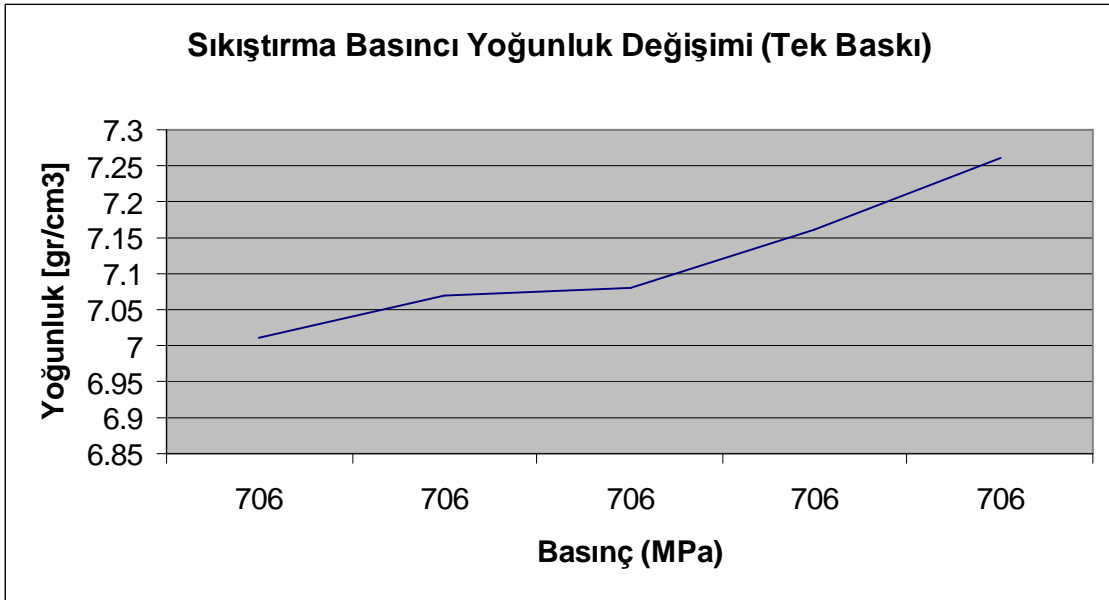
Şekil 5.11. Sıkıştırma Basıncının Normal Kalınlıktaki Parçaların Yoğunluklarına Etkileri

Sıkıştırma basıncı ve yoğunluk değerleri incelendiğinde sıkıştırma basıncının yoğunluğa etkisi basınç arttıkça yoğunluk değerinin de arttığı görülmektedir.

Sıkıştırma işlemi sırasında bazı parçalara çift baskı uygulanmıştır. İki defa sıkıştırma işlemi 706 MPa basınç altında beş adet parça üzerine uygulanmıştır. Aynı basınç değerinde iki defa sıkıştırma yapılan dişlilerin yoğunluğu ile tek baskı yapılan dişlilerin yoğunluğunu karşılaştırılırsa;



Şekil 5.12. İki Defa Sıkıştırma Yapılan Dişlilerde Basınç Yoğunluk İlişkisi

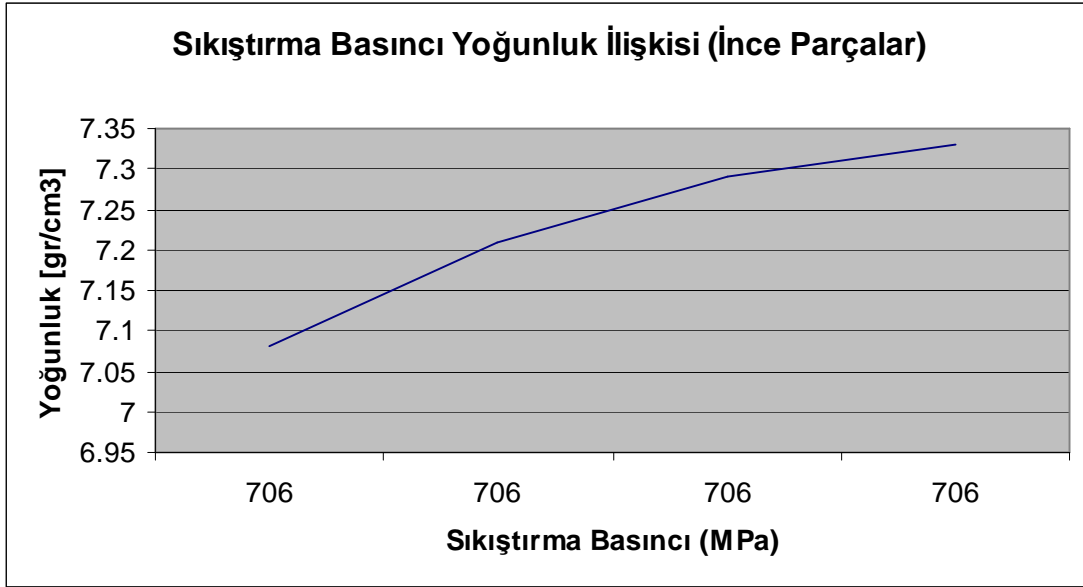


Şekil 5.13. Tek Baskı Yapılan Dişlilerde Basınç Yoğunluk İlişkisi

Şekildeki grafik incelendiğinde iki defa baskı yapmanın etkileri aynı basınç altında sıkıştırılmış olan parçalar üzerinde ters etki yaptığı görülmektedir. 706 MPa basınç altında iki defa baskı yapılarak üretilen dişlilerin yoğunluğu $6.59-7.01 \text{ gr/cm}^3$ arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu parçalar ait değerler Şekil 5.12'de görülmektedir. Tek sıkıştırma sonunda üretilen dişlilerde 706 MPa basınç altında yoğunluğun $7.01-7.26. \text{ gr/cm}^3$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu parçalar ait değerler Şekil 5.13'de görülmektedir.

Sıkıştırma işlemi sonrasında iki defa baskı yapmanın çok fazla etkisinin olmadığı görülmektedir. Daha fazla yoğunluğa sahip dişliler üretmek için çift etkili sıkıştırma gerektiği tespit edilmiştir. Sıkıştırmanın iki kere olması çift etki oluşturmamaktadır.

Parça kalınlığı azaldıkça sıkıştırma basıncının etkisi artmaktadır. Boşlukların azalması, yoğunluk değerlerinin artışı olarak Şekil 5.14'deki grafikte görülmektedir.



Şekil 5.14. İnce Parçalarda Basınç Yoğunluk İlişkisi

Yukarıda da açıklandığı gibi sıkıştırma basıncının miktarı, sıkıştırma işleminin şekli ve parça kalınlığı, üretilen dişlilerin dayanımı için yoğunluk açısından bakıldığında etkilerinin fazla olduğu görülmektedir.

5.5. Sinterleme

Sinterleme, gözenekli yapıda bir form (şekil) kazandırılmış tozların spesifik yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısı olarak aktive edilmiş malzeme taşınım olayı olarak tanımlanabilir.

Sıkıştırma aşaması sonunda hazırlanan parçalar sinterleme için: süre sabit tutularak (30 dk) 1000 °C ile 1350 °C arasında farklı sıcaklıklarda olması için planlanmıştır. Parçalar numaralarına göre sırasıyla belirlenen sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi atmosferik ortamda ve 1400 °C'ye kadar ısıtma yapabilen Protherm marka elektrikli fırınlarda

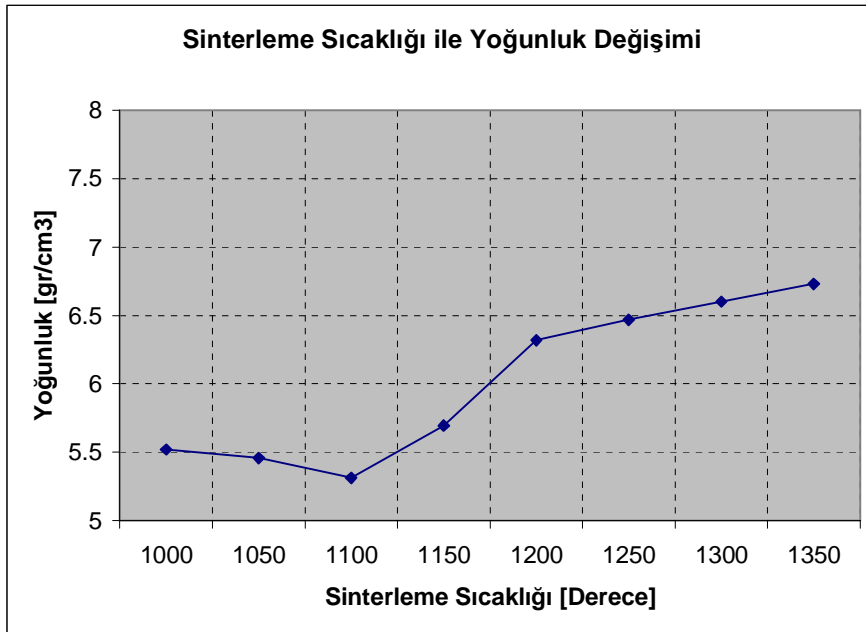
gerçekleştirilmiştir. Sinterleme atmosferi kullanılmamıştır. Şekil 5.15'de sinterleme yapılan fırın görülmektedir.



Şekil 5.15. Sinterleme İşleminin Yapıldığı Fırınlara Ait Görüntüler.

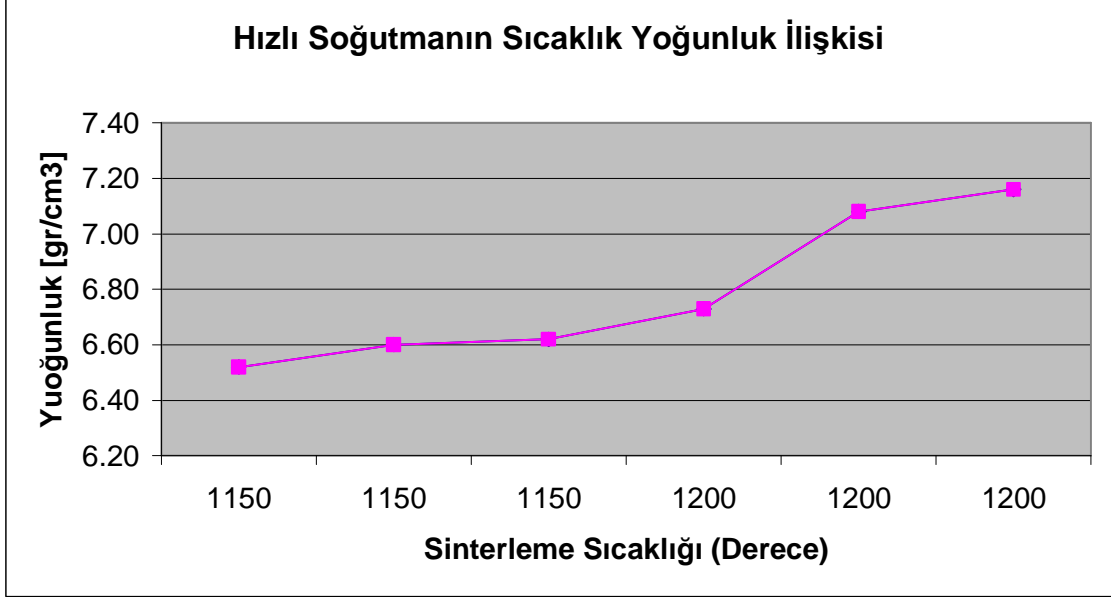
5.5.1. Sinterleme Sıcaklıklarının Yoğunluğa Etkileri

Sinterleme sıcaklığı 1000 °C – 1350 °C arasında parçalara uygulanmıştır. Şekil 5.16 incelendiğinde sinterleme sıcaklığı arttıkça dişlilere ait yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.16. Sinterleme Sıcaklığının Yoğunluğa Etkileri

Yukarıdaki grafikte değerleri verilmiş olan parçaların sinterleme işlemleri farklı sıcaklıklarda 30 dk sabit süreli olarak yapılmıştır. Sinterleme fırınından çıkarılan parçaların bazılarında suda soğutarak hızlı soğutma uygulanmıştır. Hızlı soğutmanın yoğunluğa etkileri Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17. Hızlı Soğutma Yapılan Dişlilerin Sıcaklık Yoğunluk İlişkisi

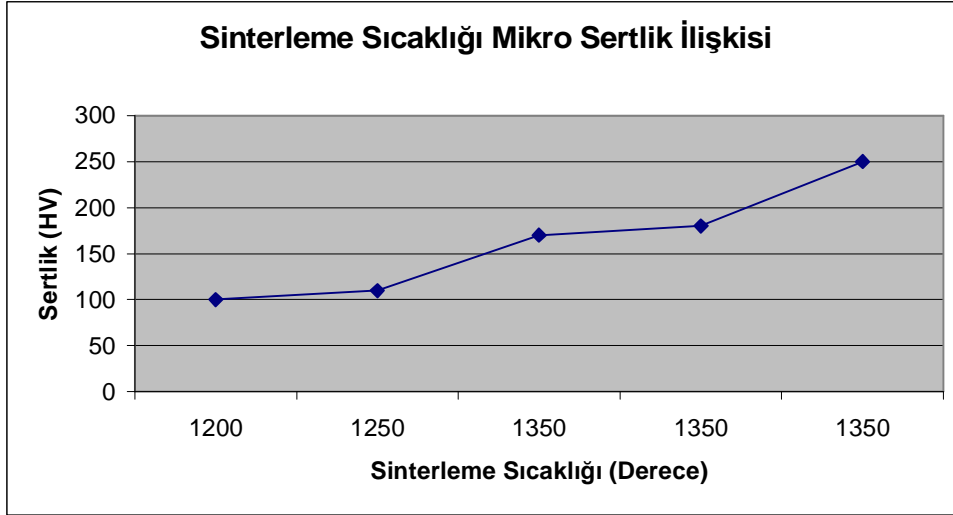
Sıkıştırma basıncı 754 MPa olarak imal edilen dişlilerin sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimleri incelendiğinde yoğunluk miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.18'da dişlilere ait yoğunluk değerler görülmektedir.



Şekil 5.18. Sabit Basıncıta Sıkıştırılmış (754 MPa) Dişlilerin Sıcaklık Yoğunluk İlişkisi

5.5.2. Sinterleme Sıcaklıklarının Mikro Sertliğe Etkileri

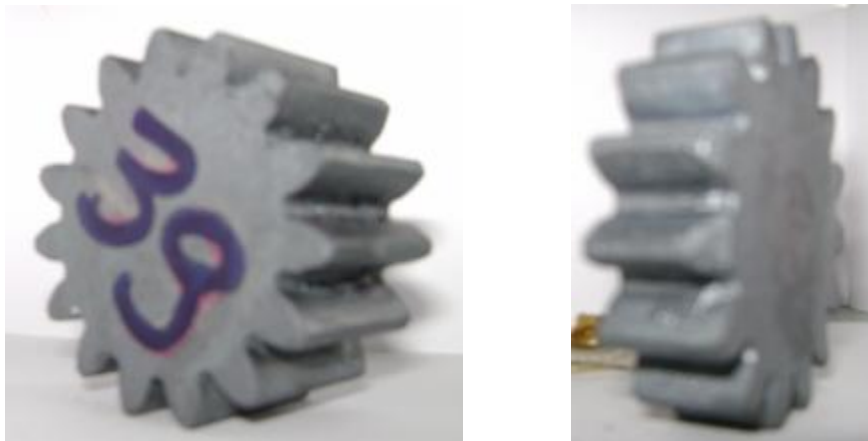
Sinterleme işlemine tabii tutulan dişlilerden bazılarının sertlik değerleri ölçüldüğünde sinterleme sıcaklığı yüksek olan dişlilerin sertlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Sertlik değerleri 500 gr kuvvet uygulanarak Wolpert marka, 1982 model Almaya üretimi bir Vickers sertlik ölçüm cihazında ölçülmüştür. Şekil 5.19 de değerler görülmektedir.



Şekil 5.19. Sinterleme Sıcaklığının Mikro Sertliğe Etkisi

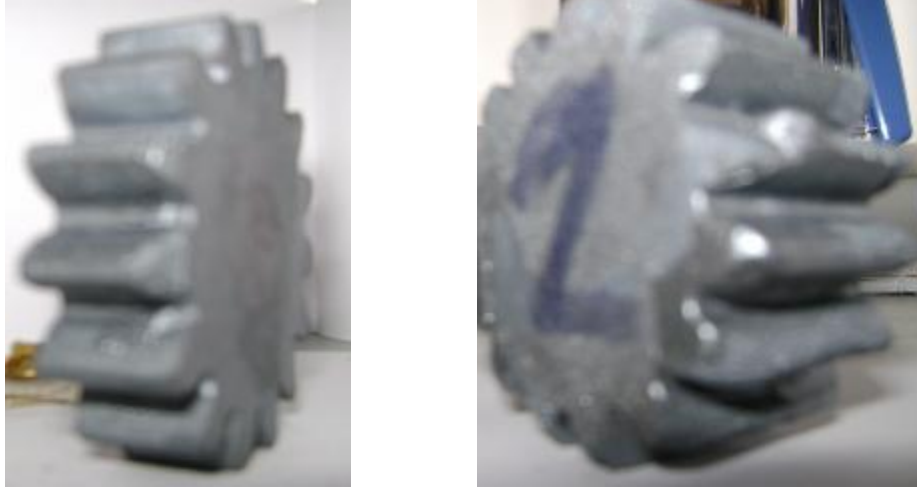
5.5.3. Sinterlenmiş Dişli Görüntüleri

Sinterlenmiş Dişli görüntüleri Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Sinterlenmiş Dişli Görüntüleri

Şekil 5.21'de sıkıştırma basıncı düşük olan dişliler görülmektedir. Dişlilerde görüldüğü gibi düşük basınçlarda kalıptan çıkarma sırasında diş profillerinde parçacık kopmaları meydana gelmektedir.



Şekil 5.21. Düşük Basınçta Sıkıştırılmış Dişli Görüntüleri

5.6. SEM Görüntüleri

Sinterleme işlemi tamamlanmış olan dişlilerin farklı basınçlarda sıkıştırılmış ve farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş olanlarından seçilerek bu dişliler SEM görüntülerini alabilmek için 10 mm kalınlığa tornalanmıştır. Şekil 5.22'de tornalama işlemi görülmektedir. SEM görüntüleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde ki "JEOL JSM 6060 Scanning Electron Mikroskop" cihazı kullanılarak alınmıştır.



Şekil 5.22. Dişlilerin SEM Görüntüsü Almak İçin Hazırlanması

Tornalaması tamamlanan dişlilerin Sem görüntülerini almak için düz ve ısınmadan kesilmesini sağlamak amacıyla, belirlenen numuneler dişlilerin diş yüzeyleri ve iç yüzeylerinden görüntü alınabilecek şekilde tel erozyon tezgahında kesilmiştir. Şekil 5.23'de Tel erozyonda kesilen

parça görüntüsü verilmiştir.

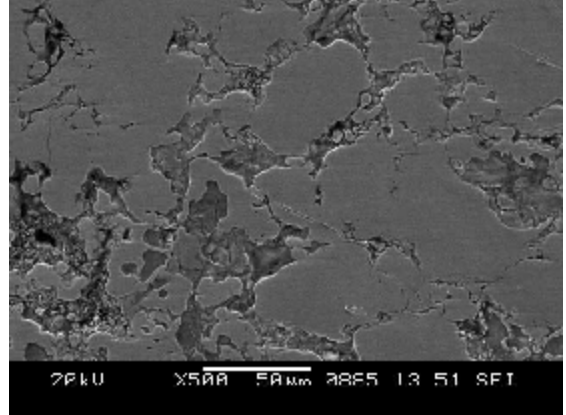
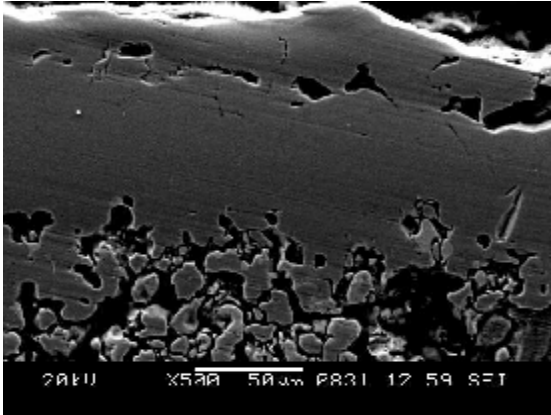


Diş Profilinden Görüntü Almak İçin

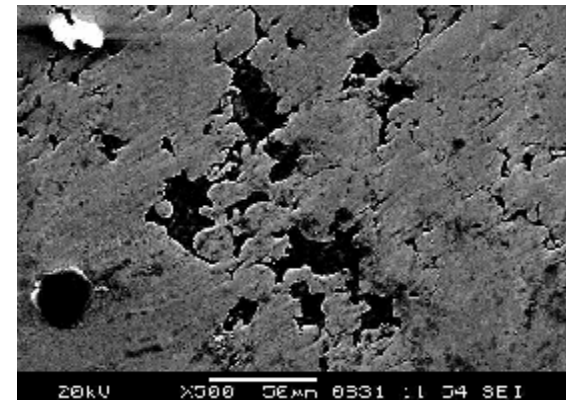
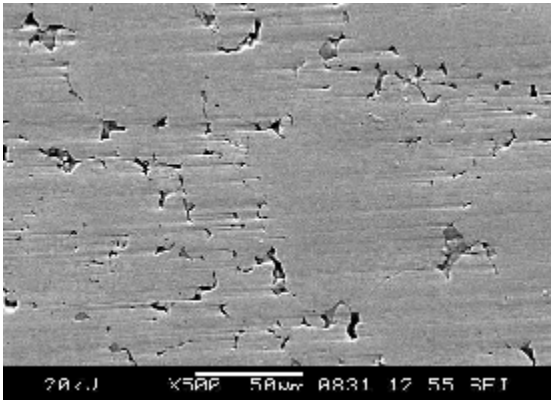
Parçanın İç Kısmından Görüntü Almak için

Şekil 5.23. Tel Erozyonda SEM İçin Hazırlanan Parça Görüntüsü

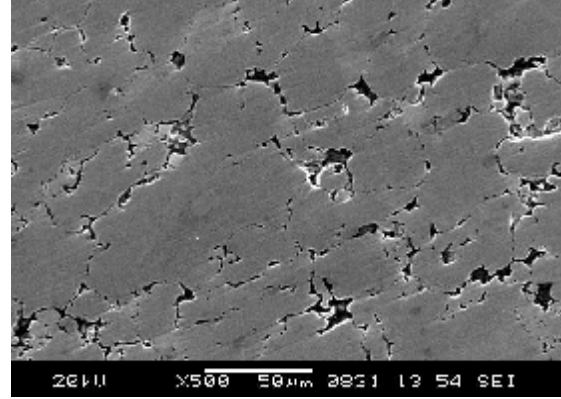
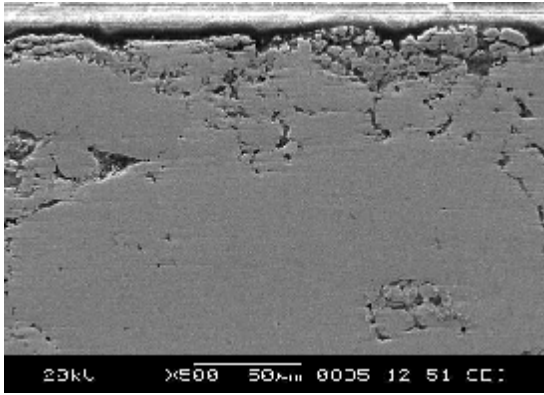
Solda bulunan görüntüler dış profiline yakın noktalardan, sağdaki görüntüler ise parçanın kesiti alınarak iç kısımlardan alınmıştır.



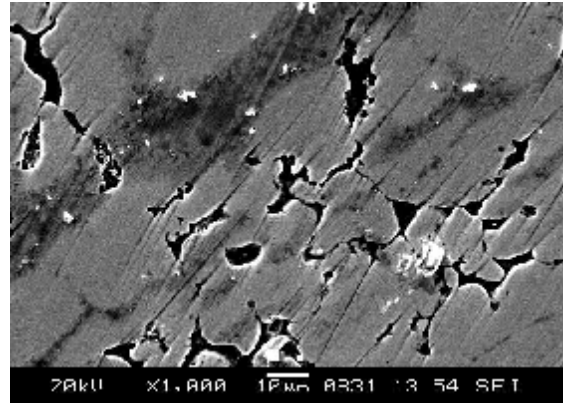
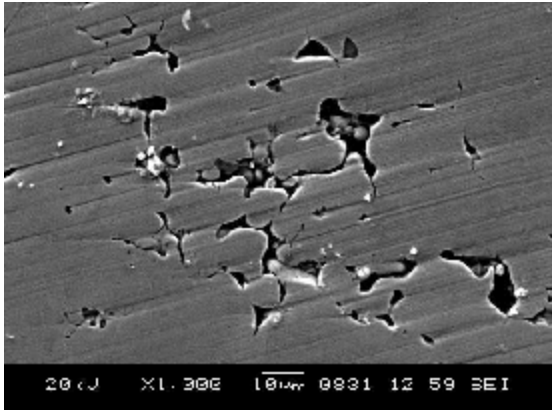
Şekil 5.24. "1" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 164 MPa



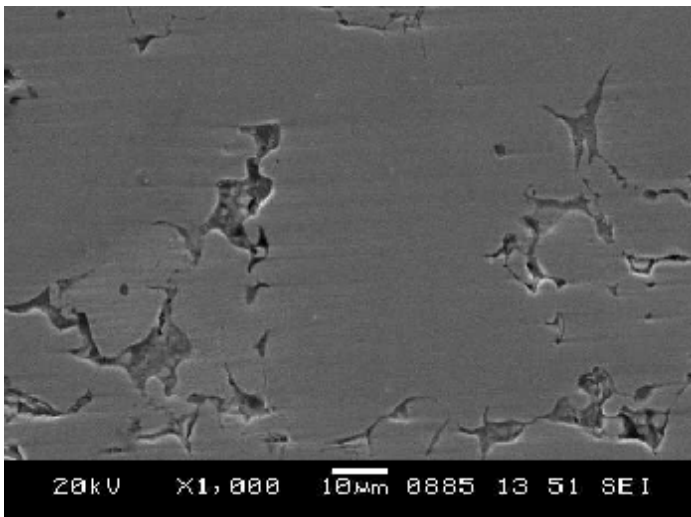
Şekil 5.25. "68" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 565 MPa



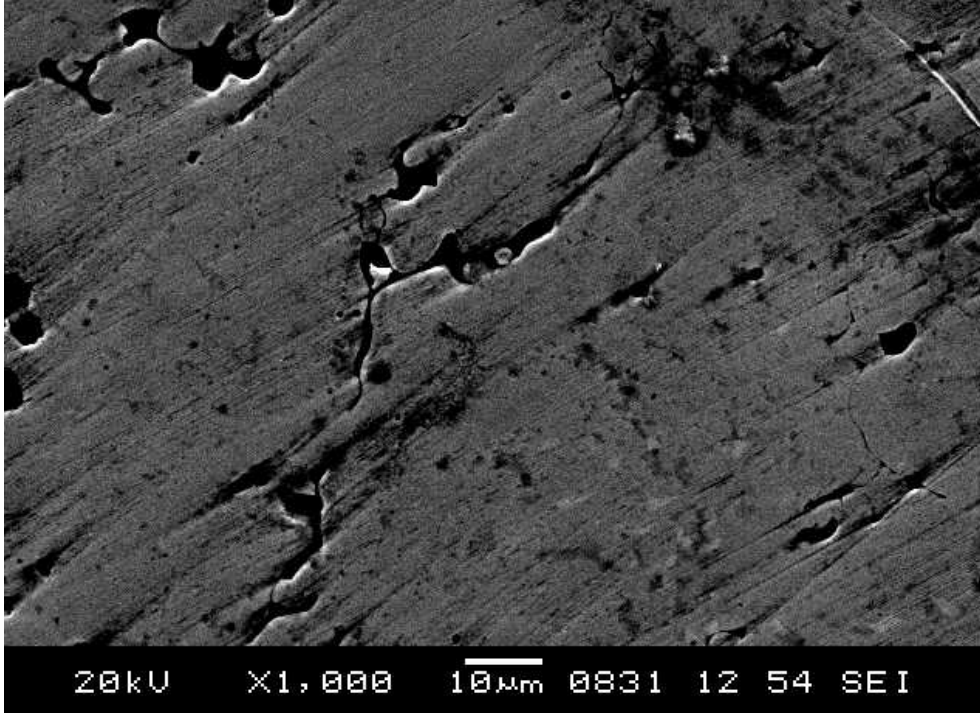
Şekil 5.26. "98" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 706 MPa. Sinterleme Sıcaklığı 1150 °C



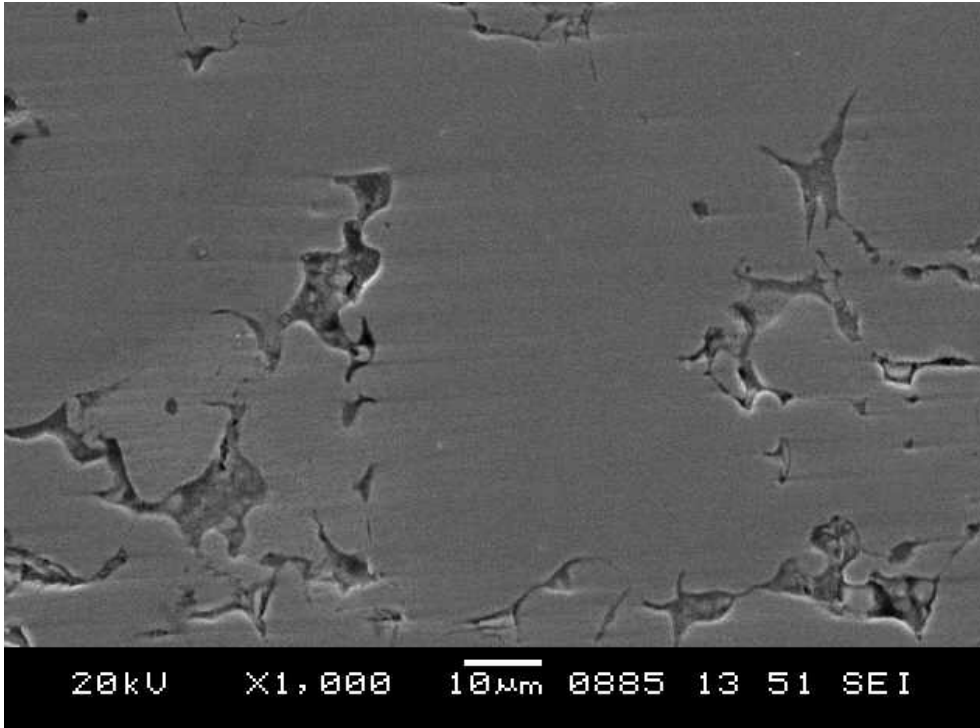
Şekil 5.27. "78" Nolu Parçaya Ait SEM Görüntüleri. Sıkıştırma Basıncı 706 MPa. Sinterleme Sıcaklığı 1350 °C



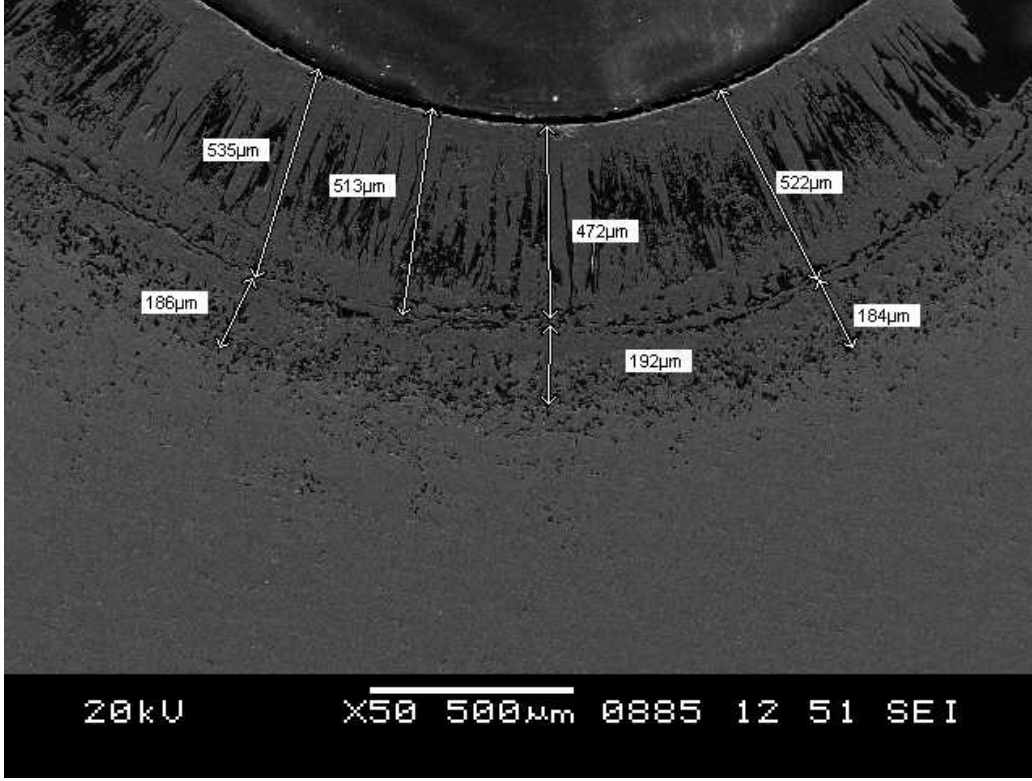
Şekil 5.28. "1" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 164 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, SEM Görüntüsü.



Şekil 5.29. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 565 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, SEM Görüntüsü.

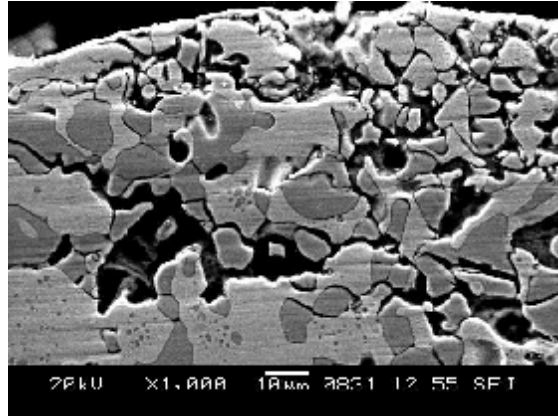


Şekil 5.30. "1" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 164 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, SEM Görüntüsü.



Şekil 5.31. "28" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 754 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1350 °C, Diş Dibine Ait SEM Görüntüsü.

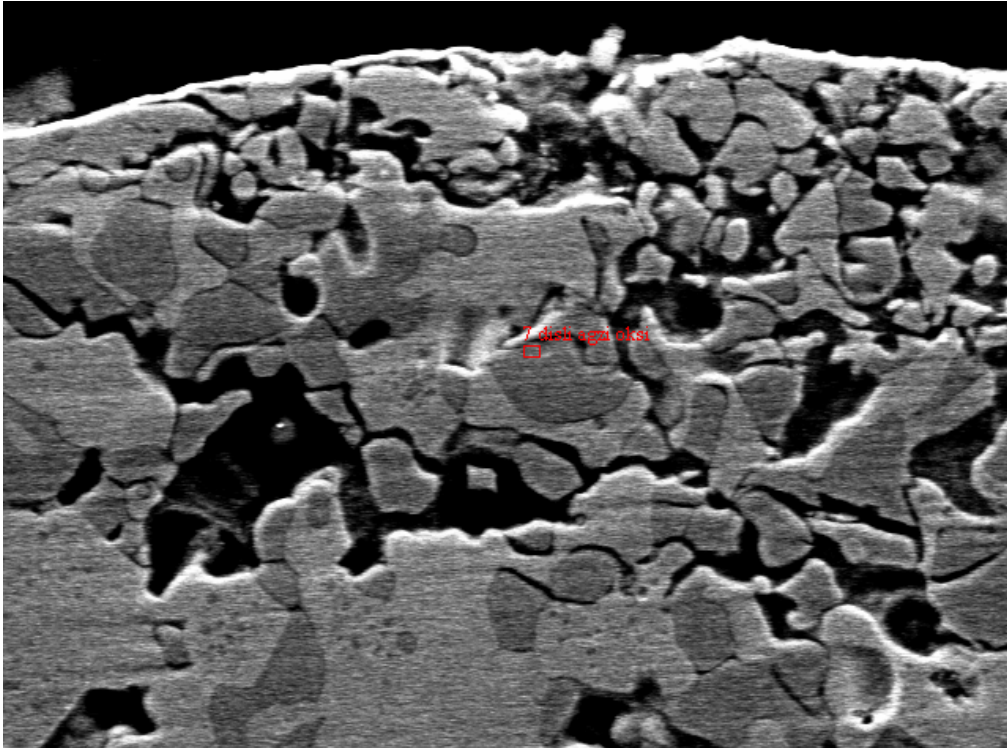
Sinterleme işleminin vakum ortamında olmamasından kaynaklanan oksitlere ait bilgiler aşağıda verilmiştir. İncelemelerimize göre sinterleme çok özel bir operasyon olup mutlaka vakumlu bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Oksit ölçümü, Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde ki "JEOL JSM 6060 Scanning Electron Mikroskop" cihazı kullanılarak yapılmıştır.



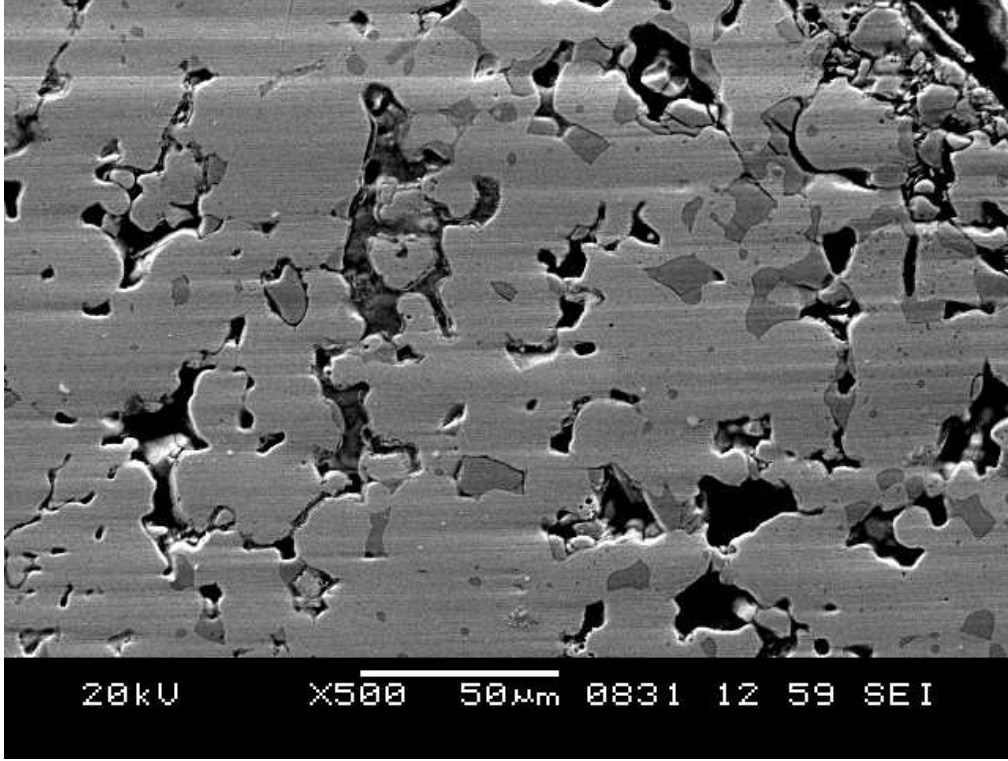
Şekil 5.32. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağız Görüntüsü

Component	Conc.				
O	22.000	wt.%			
Fe	78.000	wt.%			
	100.000	wt.%	Total		
Elm.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
O	Ka	40.39	1.620	22.000	wt.%
Fe	Ka	301.84	4.429	78.000	wt.%
				100.000	wt.%
kV	20.0				
Takeoff Angle	35.0°				
Elapsed Livetime	61.5				

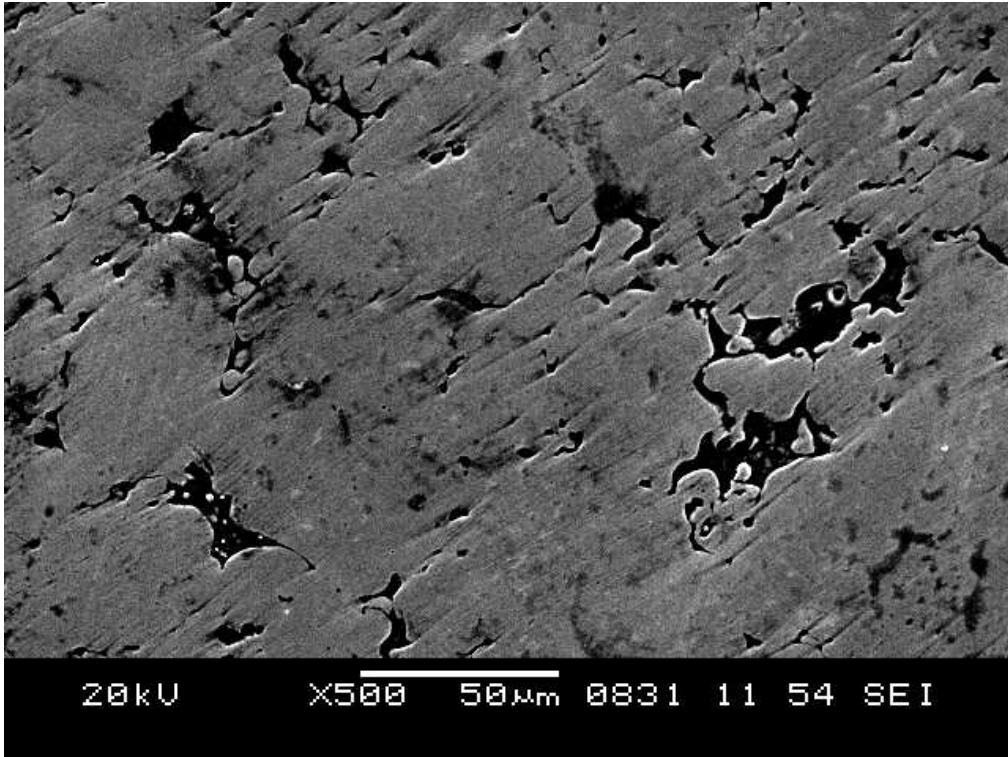
Şekil 5.33. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağız Oksit Analizi



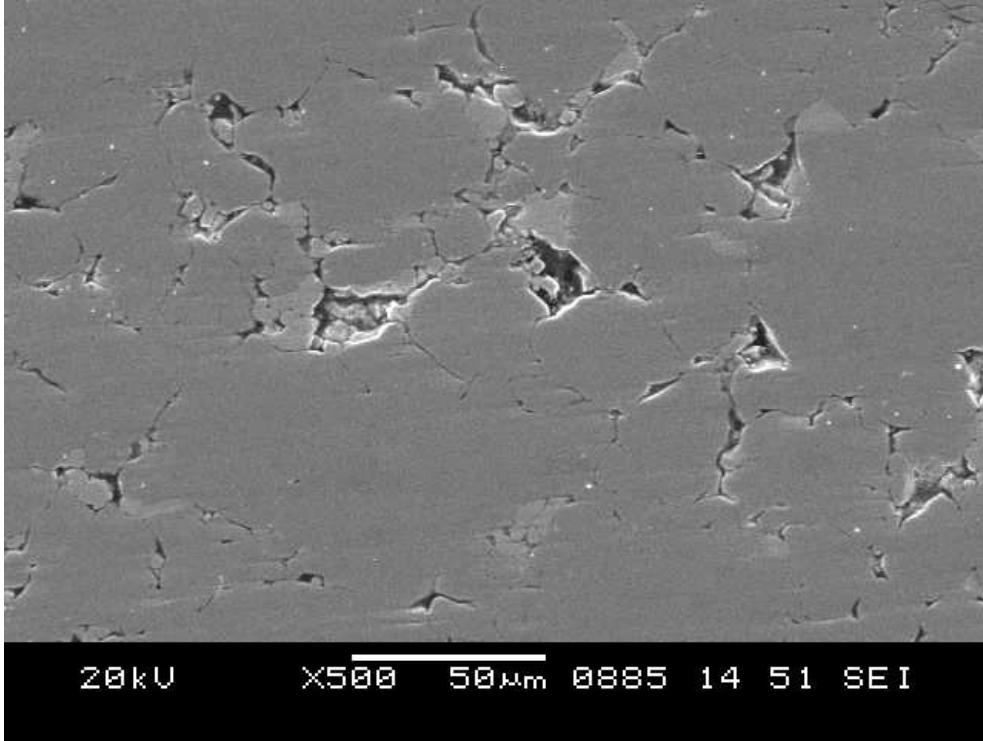
Şekil 5.34. "68" Nolu Parça 120 000 Kg, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağız Oksit Görüntüsü



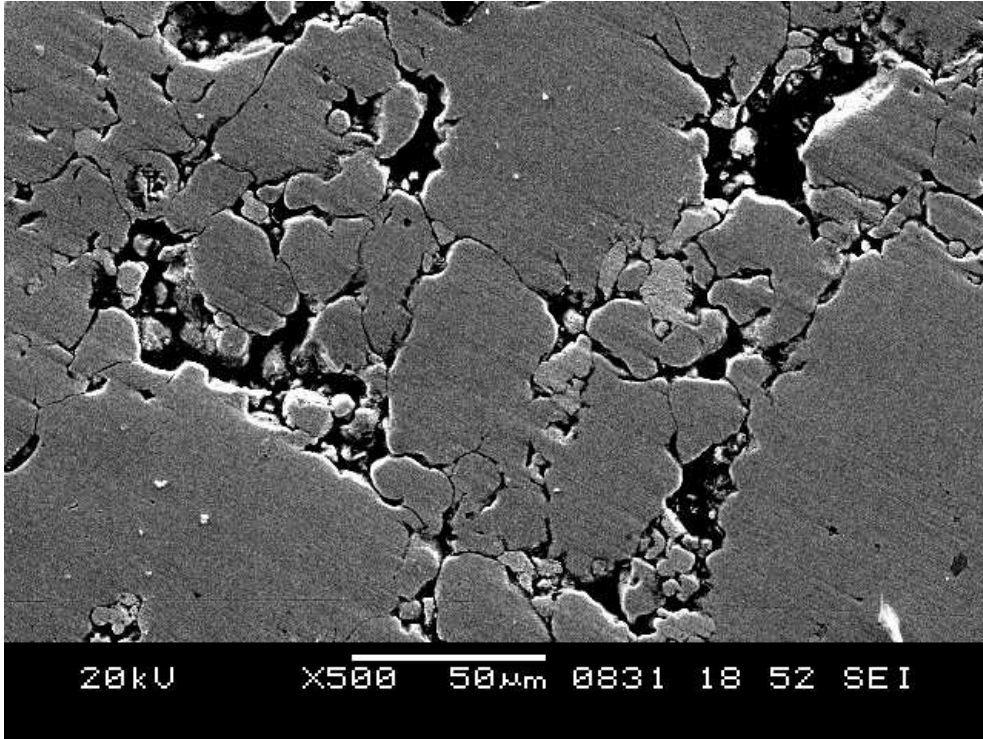
Şekil 5.35. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli Ağzı Görüntüsü



Şekil 5.36. "68" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 706 MPa, Sinterleme Sıcaklığı 1200 °C, Dişli İç Kısmı Görüntüsü



Şekil 5.37. "94" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 754 MPa, Sinterlenmemiş Parça İç Kısmı Görüntüsü



Şekil 5.38. "94" Nolu Parça Sıkıştırma Basıncı 754 MPa, Sinterlenmemiş Parça Dişli Kısmı Görüntüsü

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemi ile üretilecek olan düz dişliye ait elemanların hesabı için modülü 3 mm, diş sayısı 15 olarak seçilmiştir. Modül ve diş sayısına bağlı olarak hesaplar dişli hesap programı yardımıyla yapılmış ve dişliye profil kaydırma uygulanarak dişli dayanımı arttırılmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda profildeki iyileşme yani diş profilindeki geçişlerin keskin köşe olmaması dişlilerin kalıptan düzgün çıkmalarına yardımcı olmuştur.

Toz Metalurjisi yöntemi ile üretilen düz dişli imalatı için, C, Ni, Cu, Mo, Fe tozlarının karışımından oluşan tozlar kullanılmıştır. Tozlar üretici firma tarafından karıştırılmış halde temin edilmiştir.

Dişlinin yapılan hesaplarına göre kalıp imalatı gerçekleştirilmiş ve 950 MPa kapasiteli, tek etkili bir preste 164 MPa ila 754 MPa basınçlar arasında sıkıştırılarak üretim yapılmıştır. Bazı numunelere iki defa basınç uygulanarak etkileri izlenmiştir. Kalıp imalatı parçanın istenen ölçülerde imali için tasarlanmış ve tasarım aşamasında parçanın kalıptan nasıl çıkarılacağı, kalıbın tek veya çift etkili olmasının ve kalıbın ön ısıtmasız olmasının etkileri dikkate alınmıştır. Çünkü sıkıştırma aşamasından uygulanan basıncın değeri ve şekli parçanın yoğunluğunu ve gözenek yapısını doğrudan etkilemektedir.

Sinterleme işlemi 900-1350 °C sıcaklık aralığında 30 dk olarak uygulanmış ve bazı numunelere suda hızlı soğutma yapılarak etkileri izlenmiştir. Bütün bu işlemlerin parçalar üzerindeki etkileri izlenmiştir.

Üretimi tamamlanan parçaların özelliklerinin tespiti için; parçaların üretim aşamasındaki verilerden de yararlanılarak yoğunlukları, sertlik değerleri, SEM'de alınan görüntüleri incelenmiştir. Uygulanan testler sonucunda parçaların yoğunluk değeri bize dayanımda ulaşmamız gereken değer için en önemli etkenlerden biridir. Çünkü yoğunluk bize parçanın presleme ve sinterleme sonucunda istenen özelliklere ne kadar yaklaştığımızı gösterir.

Numunelerimiz incelendiğinde ortaya çıkan genel sonuçlar şöyledir;

- 1- Dişli hesabı yapılırken dayanımı arttırmak ve uygun dişli profilini elde etmek için dişlilere profil kaydırma yapılması gerekir.
- 2- Kalıp tasarımı yapılırken mümkün olduğu kadar yüksek basınçta sıkıştırma yapabilecek şekilde olmalıdır. Yüksek basınçta yapılan sıkıştırma parça dayanımını doğrudan etkilemektedir. Sıkıştırma basıncı arttıkça parçanın yoğunluğunun arttığı görülmüştür.

- 3- Parçanın homojen özelliklere sahip olması için çift etkili sıkıştırma yapabilecek bir kalıp tasarlanmalıdır. Tek etkili kalıp ile yaptığımız dişlilerde, dişlinin iç kısmı ile yüzeyi arasındaki farklılıklar SEM görüntülerinde görülmüştür.
- 4- Sıkıştırma işleminde kalıbın montajının çok dikkatli yapılması gerektiği aksi takdirde kalıbın sıkışma ihtimalinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kalıp çalışma boşluğunun kullanılacak metal tozlarına ve parçanın şekline göre belirlenmesi gerektiği görülmüştür.
- 5- Sıkıştırma işlemi yapılırken düşük basınçlı (165-215 MPa) sıkıştırma yapılan dişlilerde kalıptan çıkarılma sırasında parçacıkların koptuğu dişli çarkın yüzey parlaklığının düşük olduğu görülmüştür.
- 6- Sıkıştırma işlemi sırasında arka arkaya iki defa yapılan sıkıştırmanın çok fazla etkisinin olmadığı, sıkıştırmanın çift etkili olması gerektiği yoğunluk değerlerinden anlaşılmıştır.
- 7- Sinterleme işleminin özel bir operasyon olduğu, sıradan bir fırında yapılmaması gerektiği bundan dolayı parçaların sertlik değerlerinin düşük olduğu görülmüştür.
- 8- Sinterlemenin koruyucu bir atmosfer altında yapılması gerektiği sinterleme işlemi sırasında meydana gelen gaz çıkışından ve parça yüzeyinde oluşan katmandan anlaşılmıştır. SEM mikroskobunda çekilen görüntülerde bu katman görülmüştür.
- 9- Parçaların sertlik ölçümleri yapıldığında düşük değerlerin çıkması sinterleme süresinin 60 - 120 dakika arasında yapılması gerektiğini göstermiştir.
- 10- Parçaların yoğunlukları ölçüldüğünde düşük basınçta (165-377 MPa) sıkıştırılmış parçaların, yoğunlukları 5 - 6.5 gr/cm³ arasında değiştiği görülmüştür.
- 11- Sıkıştırma basıncı arttığında (400-754 MPa), parçaların yoğunlukları 6.5 - 7.3 gr/cm³ arasında değiştiği görülmüştür.
- 12- Sinterleme sıcaklığı düşük (1000-1200 °C) olan parçalarda 6.1 - 6.5 gr/cm³ arasında değiştiği görülmüştür.
- 13- Sinterleme sıcaklığı yükseldiğinde (1200-1350 °C) parçaların yoğunluklarının 6.5 – 7.3 gr/cm³ arasında değiştiği görülmüştür.

Toz metalurjisi yöntemi ile dişli üretimi seri olarak üretilecek, çok sayıda olan parçalarda üretim kolaylığı açısından çok avantajlı, fakat parça kalitesi ve üretim aşamalarının hassaslığı açısından dezavantajlı ve gelişime açık bir yöntemdir. Bu sebeplerden dolayı; bu yöntemle dişli üretimi yapılacaksa dişliye ait elemanların hesabının yapılmasında dişli kalınlığının tespitinde dayanım değerleri dikkate alınarak dişlinin çalışacağı yere göre belirlenmelidir. Mümkün olduğu kadar yüksek basınçlarda sıkıştırma yapılmalı ve sıkıştırma işlemi ön ısıtmalı bir kalıpta çift etkili olarak yapılmalıdır. Sinterleme işlemi vakum ortamında 1300-1400°C arasında 60-120 dk aralığında uygulanmalıdır. Üretilen parçalara mutlaka ısıl işlem uygulanmalıdır. Bu yöntem üretim adetleri çok fazla olan ve kullanım özellikleri belirli, yani maruz kalacağı yüklerin belli olduğu dişli üretimleri için çok avantajlıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Uğur ÇAVDAR “Demir Esaslı Sinter Metallerine Yapılabilecek Isıl İşlemlerin Belirlenmesi Ve Geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa 2005
2. Kurt Ali Osman, “Toz Üretim Yöntemleri Ve Sinterleme Ders Notları” Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2002.
3. BAKSAN Bedri, GÜRLER Remzi, “ Toz Metalurjisinin Savunma Sanayinde Uygulanması”, MSB, Tekno D., ARGE Semineri.
4. [www.turktoz.gazi.edu.tr/trtozmetal .htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/trtozmetal.htm)
5. SARITAŞ, S. “Toz Metallurjisi” Makine Mühendisliği El Kitabı 2. Basım, Cilt.1, 1994.2/64-82
6. Niebel B.W., Draper A.B., Wysk R.A. “Modern Manufacturing Process Engineering” Mcgraw-Hill, Book Company, New York, 1989.
7. Ersümer A., “Toz metalurjisi: Sert Metal Sinterleme,” İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul,1970
8. Yılmaz, S.S., Doktora Tezi, “Demir Esaslı T/M Parçaların Yüzey sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi” 2004 C.B.Ü Fen Bilimleri
9. Lawley, A., 1992, Atomization: The production of metal powders, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA.
10. German, R.M., 1994, Powder metallurgy science,2nd edition, Metal Powder Industries Federation, USA.
11. <http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html>, 2008
12. http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html, 2008
13. Çiftçi, İ., 2003, Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
14. Kaysser W.A., and Rzesnitzek, K., 1990, Principles of atomization, Science of Sintering, Ed. D.P. Uskokovic, Plenum Press, 157 – 174.
15. Sarıtaş, S., and Doğan, C., 1994, Metal powder production by centrifugal atomization, Int. J. Powder Metallurgy, 30, 419 – 427.
16. <http://web.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler/tozuretlim.htm>. 2008
17. Baksan, B., Gürler, R. 2003, Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Eskişehir.
18. Lawley, A., 1977, An overview of powder atomization processes and fundamentals, Int. J. Powder Metallurgy & Powder Technology, 13(3), 169 – 188.
19. Champagne, B., Angers, R., Fiset, M., 1984, Characteristics of powders produced by rotating electrode process, MPR.

20. Klar, E., and Fesko, J.W., 1984, Production of metal powders, Metals Handbook, 9th ed. Vol. 7, Powder Metallurgy, 25 – 51, Ohio
21. Rai, G., Lavernia, E., and Grant, N.J., 1985, Powder size distribution in ultrasonic gas atomization, J. Metals, 22 – 26
22. Turan, H., 1993, Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
23. <http://enm.blogcu.com/4630948>, 2008
24. <http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/sekillendirme/shaping.htm>oz Metalürjisi, 2008
25. Sinterleme sıcaklığı, sinterleme atmosferi ve ham yoğunluk gibi işlem parametreleri ile oluşacak iç yapılar, www.inonu.edu.tr/deren/sinterleme, 2008.
26. Monson, C.J. and Weeks, W.R., “Metallurgy”, American Technical Society, Chiago, USA, 1963.
27. Sisko, F.T., “Engineering Metallurgy”, Pitman Publishing Company, Newyork, 1957.
28. William F.SMITH., “Smith Structure And Properties Of Engineering Alloys” Mc Graw Hill, 1993.
29. Çalışkan, C., “Toz Metalurjisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bitirme Projesi, 2000.
30. Esentepeli, M., “Tahrik Sistemleri Dişli Çarklar Genel Teknolojisi”, 1966.
31. Bağcı, M., “Makine Teknik Resmi”, Ankara, 1998.
32. Özcan, ř. ve diğerleri, “Atölye Ve Teknoloji”, Ankara, 1991.
33. Roth Karlheinz, Zahnradtechnik Stirnrad-Evolventen Verzahnung, Springer, (1998)
34. http://www.odevarsivi.com/dosya.asp?islem=gor&dosya_no=104519
35. Güllü A., Kaya S., Pinar A. M., “Freze Tazgahı İçin Geliştirilen PLC Tabanlı Divizör” Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.
36. <http://www.toreci.com.tr/info/homepage.htm>, 2008.
37. İPEKÇİOĞLU, Nusret, ”Frezecilik”, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 1994
38. DİNÇMEN, Murat, “Takımlar ve Takım Takım Tezgahları”, Karadeniz Üniversitesi Basımevi, 1984
39. <http://www.celmercelik.com/sementasyon.htm>, 2008.
40. <http://www.sutav.com/tr/hizmetlerimiz/sementasyon.html>, 2008.
41. Lorella Ceschini, Giuseppe Palombarini, Giuliano Sambogna, Donato Firrao, Giorgio Scavino and Graziano Ubertaini, “Friction and wear behaviour of sintered steels submitted to sliding and abrasion tests, 10 August 2005
42. <http://www.plastic-gear-manufacturer.com/powder-metallurgy-gear.htm>, 2008
43. <http://www.appliancemagazine.com/editorial.php?article=1933&zone=114&first=1>, 2008
44. Pavel Novák, Dalibor Vojtěch and Jan řerák, “Wear and corrosion resistance of a plasma-nitrided PM tool steel alloyed with niobium”, 2005.

45. J. Georgiev, T. Pieczonk, M. Stoytche, D. Teodosie, "Wear resistance improvement of sintered structural parts by C7H7 surface carburizing" 2004.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

ADI : ALİ
SOYADI : YAŞA
MEDENİ DURUM : EVLİ
MİLLİYET : T.C.
DOĞUM TARİHİ : 18 / 05 / 1979
DOĞUM YERİ : TURGUTLU
ASKERLİK : 283. KISA DÖNEM
AMASYA-2002



EĞİTİM

İLKOKUL : TURGUTLU İNKILAP İLKÖĞRETİM OKULU – (1985-1990) - PEKİYİ
ORTAOKUL : TURGUTLU ORTAOKULU – (1990-1993) - İYİ
LİSE : TURGUTLU ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ – (1993-1996) – 4.18
LİSANS : GAZİ ÜNİVERSİTESİ TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ TALAŞLI
ÜRETİM ÖĞRETMENLİĞİ – (1997-2001) – 77
LİSANS ÜSTÜ : CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ KONSTRÜKSİYON VE İMALAT
ANABİLİMDALI – (2005-2008)

İŞ DENEYİMİ

: YETKİNLER MAFSAL SANAYİİ – (1994-1996) LİSE STAJI – 6 AY
: SAĞLAM HİDROLİK MAKİNA SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. – (1997-1998)
ÜNİVERSİTE STAJI- 2 AY
: EGE REDÜKTÖR VE MAKİNA SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. – ÜRETİM
SORUMLUSU - (2001-2004)
: GÜRER REDÜKTÖR VE MAKİNA SANAYİİ – ÜRETİM VE TASARIM
SORUMLUSU – (2004-2006)
: BMC SANAYİ VE TİCARET A.Ş. – TESVİYE ÖĞRETMENLİĞİ (2007)

KULLANDIĞI

PROGRAMLAR

: AUTOCAD, INVENTOR 11, PROENGINEER WILDFIRE, KISSOFT
HINWARE 2004 DİŞLİ HESAP PROGRAMI, OFFICE, ACCESS,
CNC PROGRAMLAMA, WINDOWS.