

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ POMPA DİŞLİLERİNDE GERİLME
ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Burak YILMAZ

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği
Programı : Konstrüksiyon ve İmalat

MANİSA 2008

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ POMPA DİŞLİLERİNDE GERİLME
ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Burak YILMAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Ağustos 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Eylül 2008

Tez Danışmanı : Öğr.Gör.Dr. Hakan ÇETİNEL

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Enver ATİK (CBÜ)

Yrd.Doç.Dr. Mustafa TOPARLI (DEÜ)

MANİSA 2008

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

İÇİNDEKİLER	III
TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	XI
TEŞEKKÜR	XII
ÖZET	XIII
ABSTACT	XIV
1. GİRİŞ	1
2. TOZ METALÜRJİSİ	1
2.1. Toz Üretimi	3
2.1.1. Mekanik Yöntemler	4
2.1.1.1. Atomizasyon işlemi	4
2.1.1.2. Dönen elektrot işlemi	6
2.1.1.3. Mekanik işlemler	6
2.1.2. Kimyasal Yöntemler	8
2.2. Toz Sıkıştırma	10
2.3. Sinterleme	11
3. GEROTOR POMPA	16
4. FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) ve ANSYS	19
5. MATERYAL	20
5.1. T/M Malzemesi	20
5.2. Gerotor Dişli Takımı	24
6. TEORİK ÇALIŞMA	24
6.1. Analitik Model ve Diş Temas Gerilimi	24
6.2. Temas Noktası ve Dişli Geometrisi	25
6.3. Temas Gerilimi ve Temas Momentinin Hesabı	26
6.4. Hidrolik Moment Hesabı	29
6.5. Maksimum Temas Gerilimi	29
6.6. Hacimsel Karakteristikler	30
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	31
7.1. Modelleme	31
7.2. Analizin Hazırlanması	34
7.3. Sonlu Elemanlara Ayırma	41

7.4.	Analiz Çeşitlerinin Girilmesi	42
7.5.	Analizin Yapılması	43
8.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
8.1.	Sonuçlar	43
8.2.	Tartışma	70
9.	GENEL SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR		73

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı çeki gerilmesi değerleri	21
Tablo 5.2. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı akma dayanımı değerleri	22
Tablo 5.3. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı Young modülü değerleri	22
Tablo 5.4. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı uzama değerleri	23
Tablo 5.5. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı sertlik değerleri	23
Tablo 6.1.1156-1157 dişli seti boyutsal parametreler	29
Tablo 7.1. Numune-1 mekanik özellikleri	35
Tablo 7.2. Numune-2 mekanik özellikleri	35
Tablo 7.3. Numune-3 mekanik özellikleri	35
Tablo 7.4. Numune-4 mekanik özellikleri	36
Tablo 7.5. Numune-5 mekanik özellikleri	36
Tablo 7.6. Numune-6 mekanik özellikleri	36
Tablo 7.7. Numune-7 mekanik özellikleri	37
Tablo 7.8. Numune-8 mekanik özellikleri	37
Tablo 7.9. Numune-9 mekanik özellikleri	37
Tablo 7.10. AISI 8620 çeliği mekanik özellikleri	38
Tablo 7.11. AISI 1064 çeliği (sıcak haddeli) mekanik özellikleri	39
Tablo 8.1. Girdi ve sonuç değerleri	43
Tablo 8.2. Simülasyon sonucu bulunan von-Mises birim şekil değiştirme değerleri	44
Tablo 8.3. Simülasyon sonucu bulunan maksimum birim şekil değiştirme değerleri	44
Tablo 8.4. Simülasyon sonucu bulunan deformasyon değerleri	44
Tablo 8.5. Numune-1 analiz sonuç değerleri	47
Tablo 8.6. Numune-2 analiz sonuç değerleri	47

Tablo 8.7. Numune-3 analiz sonuç değerleri	48
Tablo 8.8. Numune-4 analiz sonuç değerleri	48
Tablo 8.9. Numune-5 analiz sonuç değerleri	48
Tablo 8.10. Numune-6 analiz sonuç değerleri	48
Tablo 8.11. Numune-7 analiz sonuç değerleri	49
Tablo 8.12. Numune-8 analiz sonuç değerleri	49
Tablo 8.13. Numune-9 analiz sonuç değerleri	49
Tablo 8.14. AISI 8620 analiz sonuç değerleri	50
Tablo 8.15. AISI 1064 analiz sonuç değerleri	50

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Tipik Metal Tozları	2
Şekil 2.2. Parçacık büyüklüğünün preslenmiş toz dayanımına etkisi	3
Şekil 2.3. Parçacık büyüklüğünün preslenmiş tozdaki gözenek büyüklüğüne etkisi	4
Şekil 2.4 Su Atomizasyonu İşlemi	5
Şekil 2.5. Dikey Gaz Atomizasyonu İşlemi	5
Şekil 2.6. Santrifüj atomizasyonlu dönen elektrot işlemi	6
Şekil 2.7. Kavanoz değirmen ile parçacık küçültme işlemi	7
Şekil 2.8. Pervaneli (Hametag) öğütücünün şematik gösterimi	8
Şekil 2.9. Toz ayrışması için elektrolitik hücre operasyonunun şematik gösterimi	9
Şekil 2.10. a) Tek vuruşla toz sıkıştırma, b) Çift hareketli presle toz sıkıştırma işlemleri	10
Şekil 2.11. Sıkıştırma sırasında toz tanelerinin davranışı	11
Şekil 2.12. Sinterleme aşamaları	13
Şekil 2.13. Sinterleme işlemlerinin sıcaklık ve zaman/durum diyagramı	14
Şekil 2.14. Zamana bağlı olarak değişik sinter sıcaklığının toz yapının yoğunlaşabilirliğine etkisinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.15. İnce (1-10 μm) kaba (50-200 μm) taneli tozlarda sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi	15
Şekil 2.16. Değişik presleme yoğunluğuna sahip toz numunelerinin sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi	16
Şekil 3.1. Gerotor pompa çalışma prensibi	17
Şekil 3.2. Montajı yapılmış gerotor pompa dişlileri.	18
Şekil 4.1. İki boyutlu elastik gövdenin sonlu üçgen elemanlara ayrılması	19
Şekil 5.1. Distaloy AB metal tozu tanesi	20
Şekil 6.1. 1156-1157 dişli takımı için bulunan referans konumda temas çizgisi	25

Şekil 6.2. 1156-1157 dişli takımı için oluşturulan kinematik dönüş	27
Şekil 6.3. 1156-1157 dişli takımı için bulunan temas kuvvetleri	28
Şekil 6.5. Bir diş çevrimi sırandaki maksimum Hertz basıncı değişimi	31
Şekil 7.1. 1156-1157 gerotor dişli takımı	32
Şekil 7.2. Üç boyutlu modellenen 1156-1157 gerotor dişlileri	32
Şekil 7.3. Üç boyutlu modellenen 1156-1157 gerotor dişlileri ve pompa gövdesi	33
Şekil 7.4. ANSYS' de üç boyutlu 1156-1157 dişli modellerinin görünüşü	33
Şekil 7.5. Tablo 5.1-5.3'deki değerlerin ANSYS WORKBENCH'e girilmesi	34
Şekil 7.6. Dokuz adet numune, AISI 8620 ve AISI 1064 için girilen mukavemet değerleri	40
Şekil 7.7. Dokuz adet numune, AISI 8620 ve AISI 1064 için girilen yoğunluk değerleri	40
Şekil 7.8. Dokuz adet numune için girilen sinterleme süresi değerleri	41
Şekil 7.9. 1156-1157 dişli takımı model geometrilerinin sonlu elemanlara ayrılması	42
Şekil 7.10. Seçilen analiz yöntem ve çeşitleri	42
Şekil 8.1. Von-Mises elastik birim şekil değiştirme sonuçları	45
Şekil 8.2. Maksimum elastik birim şekil değiştirme sonuçları	46
Şekil 8.3. Deformasyon sonuçları	46
Şekil 8.4. Numune-1 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	51
Şekil 8.5. Numune-1 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	51
Şekil 8.6. Numune-1 toplam deformasyonu	52
Şekil 8.7. Numune-2 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	52
Şekil 8.8. Numune-2 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	53
Şekil 8.9. Numune-2 toplam deformasyonu	53
Şekil 8.10. Numune-3 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	54
Şekil 8.11. Numune-3 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	54
Şekil 8.12. Numune-3 toplam deformasyonu	55
Şekil 8.13. Numune-4 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	55

Şekil 8.14. Numune-4 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	56
Şekil 8.15. Numune-4 toplam deformasyonu	56
Şekil 8.16. Numune-5 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	57
Şekil 8.17. Numune-5 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	57
Şekil 8.18. Numune-5 toplam deformasyonu	58
Şekil 8.19. Numune-6 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	58
Şekil 8.20. Numune-6 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	59
Şekil 8.21. Numune-6 toplam deformasyonu	59
Şekil 8.22. Numune-7 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	60
Şekil 8.23. Numune-7 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	60
Şekil 8.24. Numune-7 toplam deformasyonu	61
Şekil 8.25. Numune-8 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	61
Şekil 8.26. Numune-8 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	62
Şekil 8.27. Numune-8 toplam deformasyonu	62
Şekil 8.28. Numune-9 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	63
Şekil 8.29. Numune-9 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	63
Şekil 8.30. Numune-9 toplam deformasyonu	64
Şekil 8.31. Numune 1-9 von-Mises gerilme dağılımı	64
Şekil 8.32. Numune 1-9 maksimum gerilme dağılımı	65
Şekil 8.33. AISI 8620 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	65
Şekil 8.34. AISI 8620 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	66
Şekil 8.35. AISI 8620 von-Mises gerilme dağılımı	66
Şekil 8.36. AISI 8620 maksimum gerilme dağılımı	67
Şekil 8.37. AISI 8620 toplam deformasyonu	67
Şekil 8.38. AISI 1064 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı	68
Şekil 8.39. AISI 1064 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı	68
Şekil 8.40. AISI 1064 von-Mises gerilme dağılımı	69
Şekil 8.41. AISI 1064 maksimum gerilme dağılımı	69

Şekil 8.42. AISI 1064 toplam deformasyonu	70
Şekil 8.43. Sıkıştırma sırasında parçacık şeklinin elastik modüle etkisi	71

SEMBOL LİSTESİ

Latin sembolleri

a	temas çizgisi uzunluğu
c_v	hacimsel kapasite
d	temas kuvvetine normal uzaklık
e	ekzantiriklik
F	birim uzunluğa düşen temas kuvveti
G	dış dişliyi tamamlayıcı dairenin yarıçapı
H	dişli kalınlığı
I	izafi hareketin anlık merkezi
m	IP_s mesafesi (Şekil 6.1)
O	dişli merkezi
r	dış açıklığı dairesi
P	sıvı basıncı
P_s	S yayı yarıçapı merkezi tekil noktası
P_k	temas noktası $k=1, 2, \dots, Z$
Q_k	eğrilik merkezi
Q_s	belirli akış
R_2	O_2P_s mesafesi (Şekil 6.1)
S	dış dişli dişinin yay yarıçapı
V_k	genel bir çevrimin hacmi
x_{pc}, y_{pc}	temas noktasının koordinatları
x, y	dişli profilinin koordinatları
X, Y	mutlak referans
$Z, (Z-1)$	dış, iç diş adedi

Yunan sembolleri

α_{pc}	temas noktası açısı
α_g	oluşum açısı
δ_Q	düzensiz akış dizini
Φ	basınç açısı
γ	temas noktası tanjantı
λ	kasılma dizini
ρ	vektör ışını
v	eş uzaklık dizini
ω	dönme açısı
ψ	dış dişlinin iç dişliye göre izafi dönüşü
σ	asal gerilme
v_p	Poisson oranı

İndisler

$1 \equiv i$	iç/dış dişli
$2 \equiv e$	dışta kalan/dış dişli
A, B	düşük ve yüksek basıncı ayıran temas noktaları (Şekil 6.1)
k	genel temas noktası
pc	temas noktası

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Sn. Öğr.Gör.Dr. Hakan ÇETİNEL'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

T/M malzemesi ve numune dişli takımı ile ilgili Tozmetal Tic. ve San. A.Ş. (İstanbul), CMM kullanımı ile ilgili HMS Makine Sanayi (İzmir), hidrolik pompa konusunda Norm Hidrolik & Pnömatik Endüstri Malz. (İzmir) kuruluşlarına teşekkür ederim.

Göstermiş oldukları sabır, maddi, manevi destek ve yardımları için sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada, piyasada kullanılan ve T/M (Toz Metalurjisi) yöntemi ile üretilmiş hidrolik pompa dişli takımının aynı çalışma şartları altında farklı mekanik özellikler ile meydana gelen gerilmeler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Üreticiden temin edilen dişli takımı, CMM (Üç boyutlu Tarama) yöntemi ile bilgisayar ortamına aktararak üç-boyutlu model oluşturulmuştur. Hidrolik pompanın belirli çalışma şartları altında dişlilerin birbirine uyguladıkları temas kuvveti hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer ve toz metal üreticisinden sağlanan mukavemet değerleri kullanılarak ANSYS WORKBENCH programı ile analizler yapılmıştır. Analizlerde, sinterleme sıcaklığı ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı mukavemet değerleri değiştirilerek, dişlilerin hangi şartlarda daha kolay deformasyona uğradığı araştırılmıştır.

Sonuç olarak, sinterlenmiş yoğunluğun mekanik özelliklere birincil derecede etkidiği görülmüştür.

ABSTRACT

In this study, hydraulic pump gear set produced with P/M (Powder Metallurgy) techniques, are examined with different mechanical properties and then the stresses occur on the gear body are compared. The 3-D model of the gear set obtained from the manufacturer is built after the CMM (3-D scanning) operation. The tooth contact stress has been calculated under particular operation conditions of the hydraulic pump. Then this value and the mechanical properties obtained from the powder metal manufacturer has been used in analysis with ANSYS WORKBENCH software. In these analysis, sintering temperature and the mechanical properties due to sintered density value variations are used to determine the stress distribution.

It was found out that the sintered density is the primary factor affecting on the mechanical properties.

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinin üzerinde odaklandığı gerotor pompalar, tüm cihazlar gibi kusursuz hizmet vermek zorundadır. Hali hazırda üretimde kullanılan pompalarda meydana gelen hasarların neden kaynaklandığını tespit edip bunları en aza indirmek ekonomik fayda sağlayacaktır.

T/M (toz metalürjisi) yöntemiyle üretilmiş parçaların mukavemetini etkileyen en önemli etkenler; sinterleme süresi ve yoğunluktur. Bu etkenlerin bileşimi ile sinterleme sırasında toz metal tanelerinin birbirine kaynaması sağlanır ve sonuçta elde edilen parçanın mukavemet özellikleri oluşur. Uygulanabilir etken değerler değiştirilerek hangi durumda parça mukavemetinin düştüğü belirlenmeli ve üretim proseslerinde düzeltme ile önlem alınmalıdır.

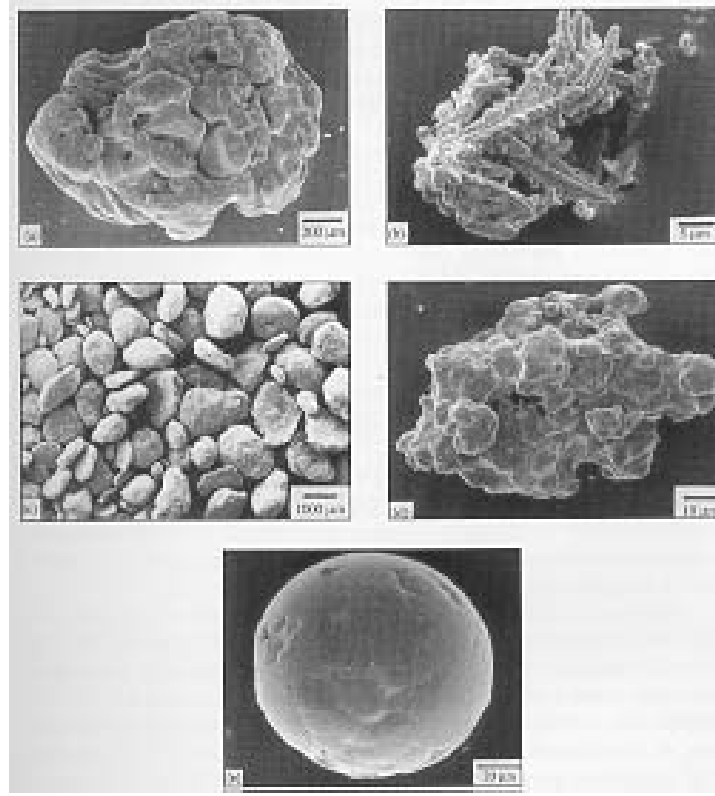
T/M malzemelerin plastik deformasyonu sıradan malzemelerinkine benzer fakat malzemedeki zengin boşluk parçacıklarının etkisiyle daha karışık hale gelir. Sıradan metal şekillendirme işlemlerindeki problemler için çeşitli analiz teori ve yöntemleri geliştirilmiş olsa da bunlar T/M malzemelere uygulanamaz.[1]

Burada, metal tozu üreticisinden sağlanan malzeme özellikleri kullanılarak ve dişlilerin temas kuvveti hesaplanarak ANSYS programı ile gerilme analizleri yapılmıştır. Farklı sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa göre belirli olan mekanik özelliklerinden çekme mukavemeti, akma mukavemeti, Young modülü, Poisson oranı ve yoğunluk değerleri kullanılmıştır.

Analizde, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS programından ve üç boyutlu katı modellerden yararlanılmıştır. Modellenen dişliler üzerine, bulunan kuvvet uygulanarak dış dişlide en çok zorlanan bölge belirlenmiş ve farklı malzeme özelliklerinde dişlinin maruz kaldığı etkiler karşılaştırılmıştır.

2. TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi, metalik bileşenlerin istenen şekildeki kalıba metal tozlarının (Şekil 2.1) beslenerek, gevşek metal tozunun, istenen bitmiş parça ebatlarına yakın kompakt bir kütüğe preslendiği ve ardından toz parçacıklarının istenen fiziksel ve mekanik özelliklerde birbirine yapışması için kütüğün ısıtılması ile metalik bileşenlerin üretim yöntemidir. Gerekirse, toleranslara ulaşmak için son ölçülendirme veya kalibre işlemleri yapılabilir.[2]



Şekil 2.1. Tipik Metal Tozları: (a) Kimyasal yöntem; Süngerimsi demir-azaltılmış mineral; (b) Elektrolitik yöntem; Bakır; (c) Mekanik yöntem; Öğütülmüş alüminyum tozu; (d) Su Atomizasyonu yöntemi; Demir; (e) Gaz Atomizasyonu yöntemi; Temel Nikel sert yüzey kaplama alaşımı.[3]

Toz metal bileşenlerin iki ana avantajı (1) dişli, eksantrik, eğriseller ve düzensiz şekilli delikleri en az işlem ve artık ile üretimine izin verir, (2) başka yöntemle elde edilemeyen gözenekli rulmanlar, sementte karbid kesme takımları, refraktör metaller gibi parçaları üretebilir.

Tozlara dayanan malzeme şekillendirme işlemleri veya daha belirli bir biçimde toz metalürjisi işlemleri, en az adımla ürünü son haliyle üretmeye, makinede işleme aşamalarını belirgin şekilde azaltmaya ve üretim maliyetlerini azaltmaya izin verir. Bu işlemler ayrıca malzemenin, diğer işlemler tarafından sağlanamayan eşsiz özelliklere sahip olmasını sağlar.[4]

Toz metalürjisi çeşitli endüstriyel sektörlerde kullanılır:

- Otomobil endüstrisi (motorlar, dişli grupları, frenler),
- Aşındırıcılar (parlatma ve oyma tekerleri),
- Üretim (kesme ve delme aletleri),

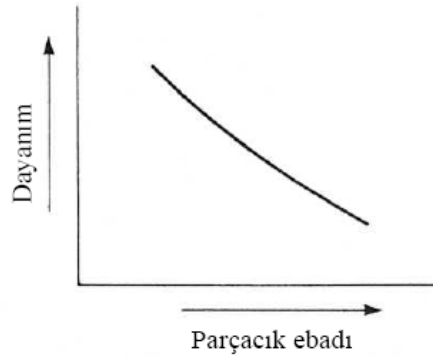
- Elektrikli ve manyetik cihazlar (mıknatıs ve çekirdeği),
- Tıbbi ve dişçilikle ilgili (implant, protez ve amalgam),
- Uzay ve havacılık (motor, ısı kalkanı, yapısal parçalar),
- Kaynak (lehim, elektrotlar),
- Enerji (elektrotlar, yakıt hücreleri),
- Diğer (gözenekli filtreler, spor malzemeleri)

2.1. Toz Üretimi

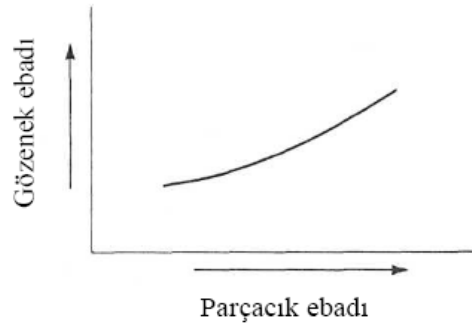
T/M işlemlerinde ilk adım, metal tozlarını üretmektir. Toz üretiminde kullanılan dört farklı ana işlem bulunur: katı hal azaltma, atomizasyon, elektroliz ve kimyasal yöntemler.[5]

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 parçacık içermeyen ince toz şeklinde olmalıdır. Ürünün son hali ve üretimi için kullanılan teknikler, prensipte toz üretim tekniği tarafından etkilenen tozun karakteristiğine dayanır.

Parçacık büyüklüğünün preslenen parçanın dayanımına ve gözenek büyüklüğüne etkisi Şekil 2.2 ve 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Parçacık büyüklüğünün preslenmiş toz dayanımına etkisi.[2]



Şekil 2.3. Parçacık büyüklüğünün preslenmiş tozdaki gözenek büyüklüğüne etkisi.[2]

Metal tozları üretim yöntemleri mekanik ve kimyasal olarak iki ana grup altında toplanır;

Mekanik yöntemler:

- Atomizasyon işlemi,
- Dönen elektrod işlemi (REP),
- Mekanik işlemler ,

Kimyasal yöntemler:

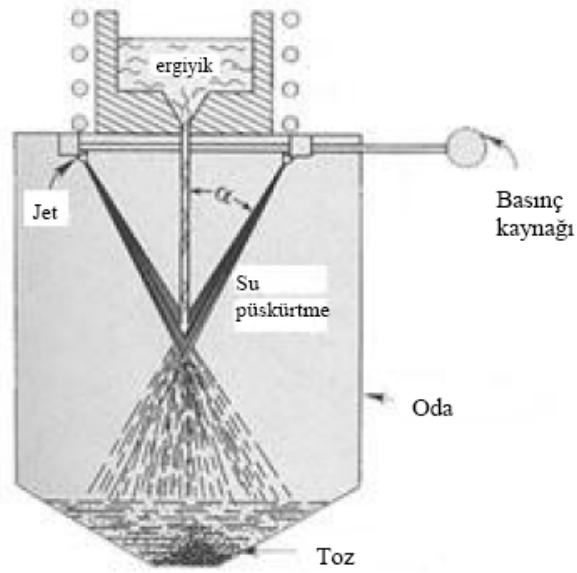
- Metalik oksit azaltma,
- Hidrometalurjik teknikler,
- Termal ayrışma (karbonil reaksiyonlar).

2.1.1. Mekanik Yöntemler

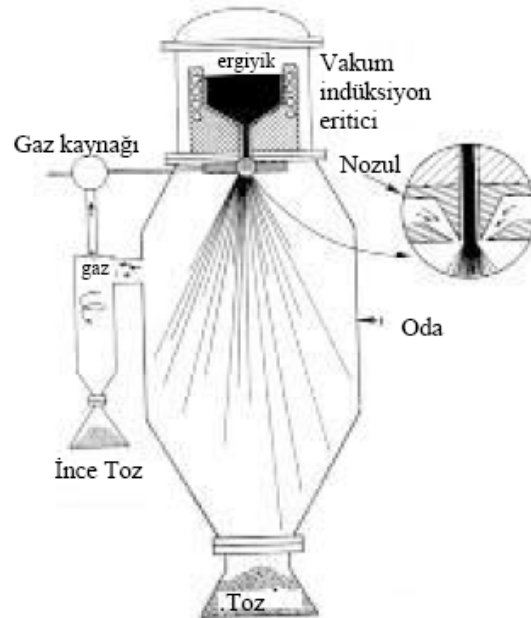
2.1.1.1. Atomizasyon İşlemi

Atomizasyon, ticari olarak en çok ve tonlarca metal tozunun üretildiği yöntemdir [6]. Sıvı metalin kırılması ve sıvı damlacıkların donması olarak iki aşamada gerçekleşir [7]. Su ve gaz atomizasyonunda (Şekil 2.4 ve 2.5) hammadde ertirilir ve ayrı parçacıklara bölünür. Bunu başarmak için elemental yapıda, çoklu element metalik alaşımlarda ve/veya yüksek kaliteli kırpıntı, indüksiyon, ark veya başka türlü ısıtma ile ertirilir. Hazne homojen dolduğunda ertiyik, atomizasyon odasına sabit ve kontrollü bir akışla gönderileceği ağza ilerler. Akışkan metal ağızdan çıkarken, yüksek hızlı akan atomize ortamla çarptırılır (su hava veya asal bir gaz). Ergimiş metal akımı, atomizasyon tankı boyunca düşerken soğuyan iyi damlacıklara ayrışır. Parçacıklar, tankın tabanında birikir.

En çok kullanılan kimyasal işlemler; oksit azaltma, solüsyon çökeltme ve termal ayrışma yöntemlerinden solüsyon çökeltme ile karbonillerde öğütme ve eleme sonrasında %99.5 saflıkta toz elde edilebilir.



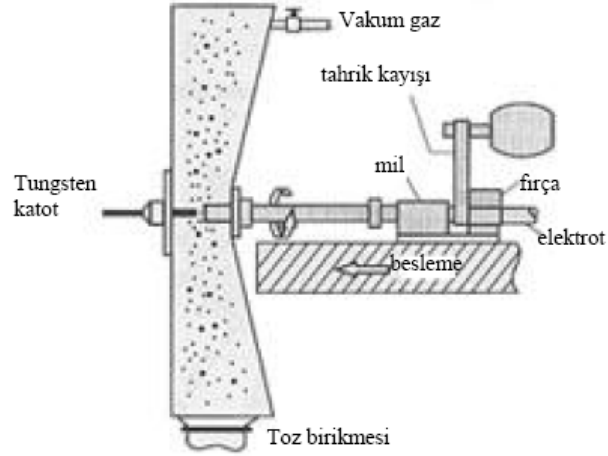
Şekil 2.4 Su Atomizasyonu İşlemi. [6]



Şekil 2.5. Dikey Gaz Atomizasyonu İşlemi. [6]

2.1.1.2. Dönen Elektrot İşlemi

Atomizasyona alternatif olarak, dönen elektrot veya disk/kap dış kenarından ayrılan sıvı metali santrifüj kuvvetiyle bölme yöntemidir. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Santrifüj atomizasyonlu dönen elektrot işlemi. [6]

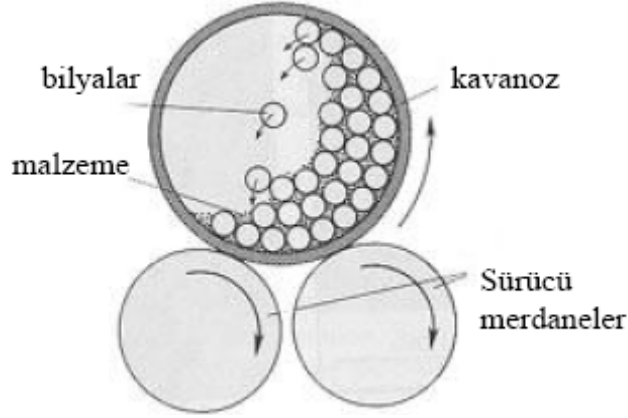
Orijinal malzeme ergitildikten sonra da ergiyik havuzunda ek alaşımlama yapılabilir. Ayrıca sıvı metal üzerini asal gaz ile örterek, havuz oksidasyondan korunabilir. Alternatif olarak ocak üzeri vakumlu oda ile kapatılabilir. Ocak tipi ve koruma derecesini havuzun kimyasal deposisyonu ve metalin oksitlenmeye meyili belirler.

2.1.1.3. Mekanik İşlemler

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.

Ham madde yeteri derecede kırılğan ise, kaba bir öğütmeden sonra ince bir öğütme yapılır. Malzemenin cinsine göre sert porselenden bilyeli öğütücüler veya sert alaşımla kaplı çelik öğütücüler kullanılır.[7]

Değirmen (Şekil 2.7), büyük parçacık ve parçacık topaklarının 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.

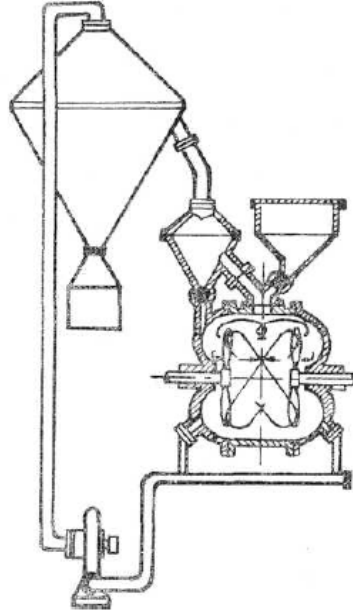


Şekil 2.7. Kavanoz değirmen ile parçacık küçültme işlemi.[6]

Ancak az sayıda metaller (manganez, krom, antimuan, bizmut gibi) bilyalı değirmenlerde öğütülebilirler. Bu yüzden mesela, mümkün olduğu kadar yüksek saflıkta bir cevherinden direkt redükleme ile elde edilecek gözenekli demir, bilyalı öğütücülerde istenildiği kadar ince bir toz haline getirilebilir.

Diğer yandan elektroliz yoluyla elde edilen kırılgan 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.

Sünek metallerin bilyeli öğütücülerde öğütülmeleri imkanı bulunamamıştır çünkü öğütme sırasında iri taneler sadece yuvarlaklaşmakta, küçük taneler ise öğütücü cidarlarına yapışmaktadır. Tok bileşenli metaller pervaneli öğütücülerde istenen granülometrik terkipte bir toz haline getirilebilir. Bu yönteme Hametag yöntemi denir. Bu yöntem tok metallerin (demir, bakır, alüminyum gibi) tozların hazırlanmasında, kaba toz haline getirilmiş kırılgan alaşım ve metallerin ince olarak öğütülmelerinde kullanılır. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8. Pervaneli (Hametag) öğütücünün şematik gösterimi.[6]

Pervaneli öğütücü, içinde karşılıklı iki mil üzerinde sert manganezli çelikten veya sinterlenmiş sert alaşımdan birer pervane bulunan bir kabtan ibarettir. Pervanelerin şekillerine, boyutlarına ve dönüş hızlarına bağlı olarak muhtelif şekilli taneler ve farklı granülometride tozlar elde edilir. Örnek olarak, makine parçaları ve gözenekli yatak imalinde kullanılır.

Diğer yandan demir-nikel alaşımlarını manganez ve magnezyum ilavesi ile blok parçalar olarak haddelemeye belirli bir sıcaklığın altında tutup, malzemenin kırıntılar haline gelmesi sağlanır. Takip eden haddelemeler ile metal toz haline gelir.

2.1.2. Kimyasal Yöntemler

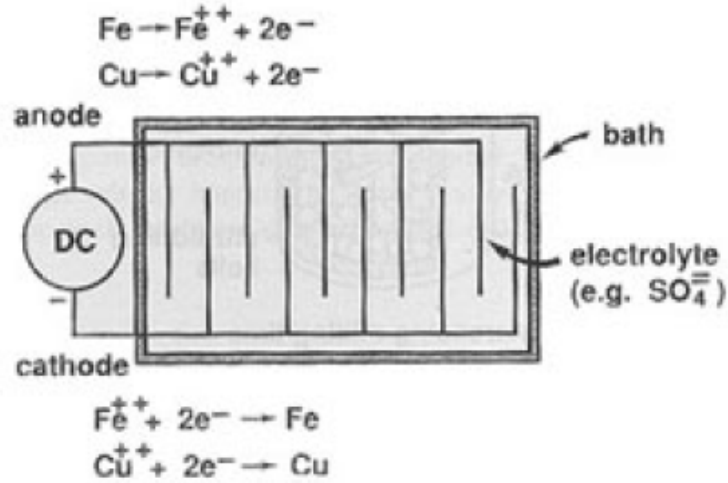
Bu işlemler kapsamında metal tozunun üretimi, metalik oksitlerin azaltılması, solüsyondan çökeltme (hidrometalurjik) ve termal ayrışma (karbonil reaksiyonlar) ile yapılır.

Oksit azaltımı için kullanılan malzemeler; demir cevheri (manyetit), değirmen ölçeği ve oksit azaltımı için okside edilmiş metalik malzemeler. Demir cevheri ile erimez bir tüp, demir cevheri ve kömür, kok ve kireçtaşı içeren bir karışım kombinasyonu ile doldurulur. Daha sonra tüp, ~1200°C sıcaklıkta tuğla fırınından geçirilir. Karışım ayrılarak tüp içinde azalan bir atmosfer üretir ve manyetit cevheri metalik Fe'ye dönüşür.

Değirmen ölçeği ve okside metalik ürünler hem oksijen hem karbon içeriklerini azaltmak için tavlınırlar. Azalan bir atmosfer oluştuğunda FeO, Fe₂O₃ veya Fe₃O₄ azalır. Ek olarak, CO ve CO₂ oluşumuyla parçacıklar içindeki karbon çıkarılır.

Hidrometalurjik üretim ve termal ayrışma, alternatif yöntemlerdir. Bir solüsyondan bir metalin çökmesi elektroliz, sementasyon ve kimyasal azaltma kullanarak gerçekleştirilebilir. Bu ya cevher içeren bir solüsyonsan veya ayrışma veya azalma ile sonuçlanan metal hidroksitin çökme sonrası ısıtılması ile yapılır.

Elektrolitik ayrışma; bir elektrolitik hücrenin katodunda metalik elementlerin çökmesidir (Şekil 2.9). En yaygın uygulama bakır tozu üretimidir.



Şekil 2.9. Toz ayrışması için elektrolitik hücre operasyonunun şematik gösterimi.[6]

Karbonil yöntem özellikle sanayide saf demir ve nikel tozlarının hazırlanmasında kullanılır. Yüksek basınç altında demir ve nikel mineralleri karbon oksidine maruz bırakılır; böylelikle sıvı karbonil metalleri elde edilir; bunların en önemlileri demir pentakarbonil [Fe(CO)₅] ve nikel tetrakarbonildir [Ni(CO)₄].

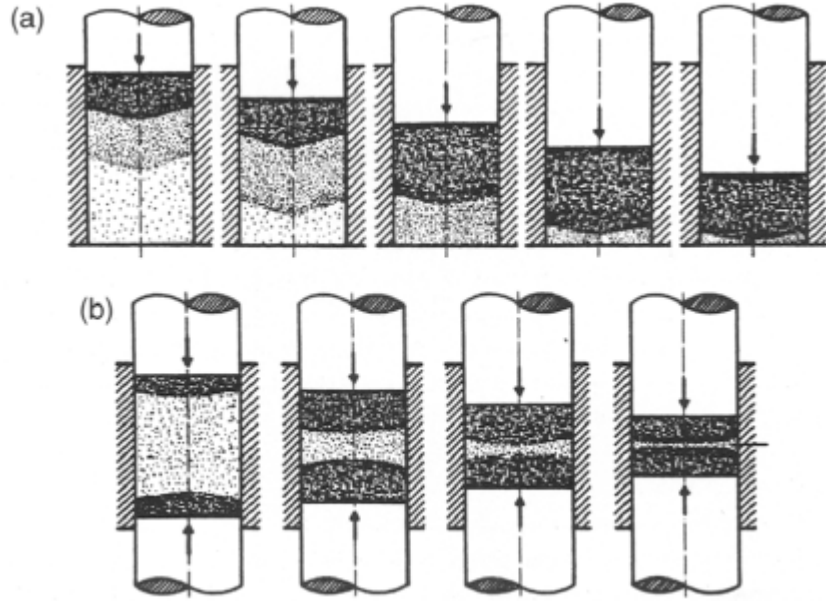
Bu üretim teknikleri farklı karakteristikte ve görünüşte, özel uygulamalarda kullanılmak üzere tozların oluşumunu sağlar (Şekil 2.1).

Tane ölçüleri ise, mekanik işlemler ile 10 – 100 µ, kimyasal işlemler ile 0,1 – 50 µ elde edilebilir.

2.2. Toz Sıkıştırma

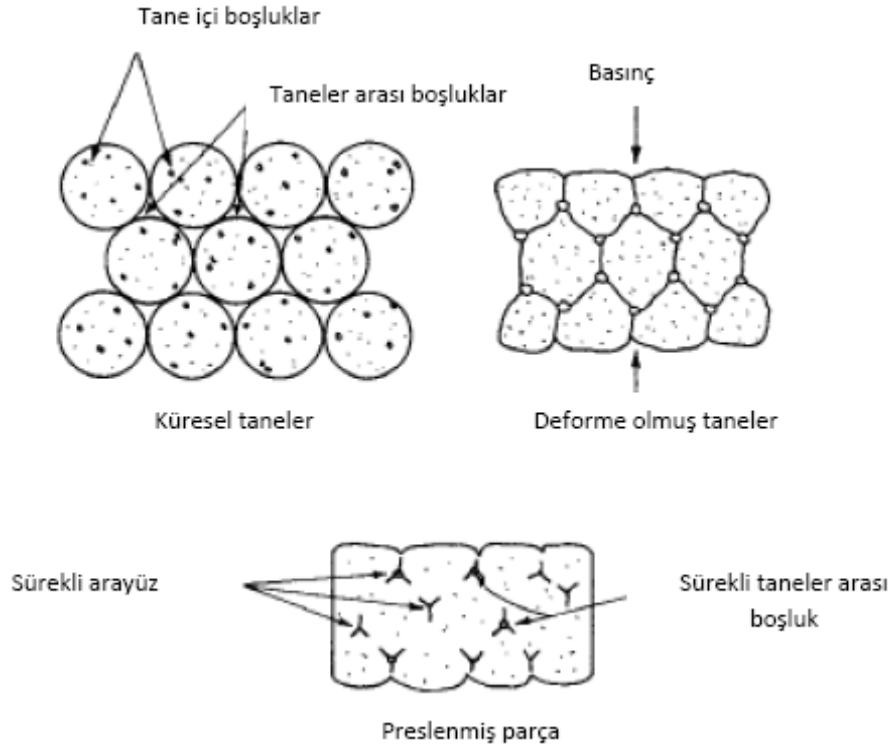
Dışarıdan uygulanan basınç ile tozun sıkıştırılarak temel parça şeklini alması sağlanır. Şekil 2.10'da iki yaygın sıkıştırma yönteminden tek hareketle sıkıştırma görülmektedir. Tek hareketli sıkıştırma kısmen basit şekilli parçalar için kullanılır ve tek pres vuruşu ile metal tozunu kalıba sıkıştırır. Parçanın karmaşıklığına bağlı olarak ek pres uçları, homojen yoğunluk dağılımı sağlamak amacıyla kullanılabilir.[8]

Çift hareketli sıkıştırmada (Şekil 2.10) minimum basınç ve yoğunlaşma toz yatağının orta düzleminde, maksimum basınç ve yoğunlaşma ise uçlarda oluşur. Çift hareketli sıkıştırma sırasında toz tanelerinin birbiri ve kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı basınç eksenini boyunca eşit olmayan yoğunluk elde edilebilir. Çünkü sinterleme sırasında iç taneler, uçlardakilere göre daha fazla çekerler.



Şekil 2.10. a) Tek vuruşla toz sıkıştırma, b) Çift hareketli presle toz sıkıştırma işlemleri.[8]

Sıkıştırma işlemi, kalıba tozun dökülmesi, ilk pres stroğunun verilmesi, havanın boşaltılması, ikinci pres stroğunun verilmesi ve parçanın kalıptan çıkarılması işlemlerinden oluşur. Şekil 2.11'de sıkıştırma sırasında metal tozu tanelerinin davranışı izah edilmektedir. Bu işlem sonunda parça, sinterlemeye taşınabilecek kadar mukavemete sahip olmaktadır.



Şekil 2.11. Sıkıştırma sırasında toz tanelerinin davranışı.[8]

2.3. Sinterleme

Sinterleme, toz halindeki malzemenin erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine temas ettikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasına denir.[9]

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

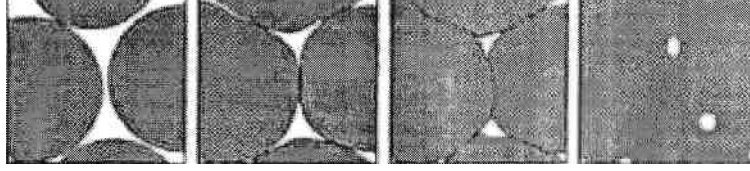
Sinterleme, gözenekli yapıda bir form (şekil) kazandırılmış tozların belirli yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıtma olarak aktive edilmiş malzeme taşıyım olayı olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifade ile sinterleme toz kütlesinin veya yapıda sıkıştırılmış toz parçalarının özelliklerinin gözeneksiz yapıya sahip malzeme özelliklerini değiştirmek için yapılan bir ısıtma işlem uygulamasıdır.

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.

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.

Genellikle katı hal sinterleme prosesi için kabul gören sinterleme mekanizmaları üç ana alt grup altında toplanabilir (Şekil 2.12):

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).
2. Aşama: Güçlü boyun oluşumuna müteakip bu ara aşamada şayet x/a oranı belli bir değerin üzerine çıkacak olur ise müstakil tane şekli tamamlanabilirliğini 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 (difüze olması) mümkün olmayan gaz varsa ve gözenekteki gazın basıncı ile yüzey geriliminden 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.[9]



Şekil 2.12. Sinterleme aşamaları.[9]

Sinterleme işlemi aşağıdaki kademelerden oluşur (Şekil 2.13) :

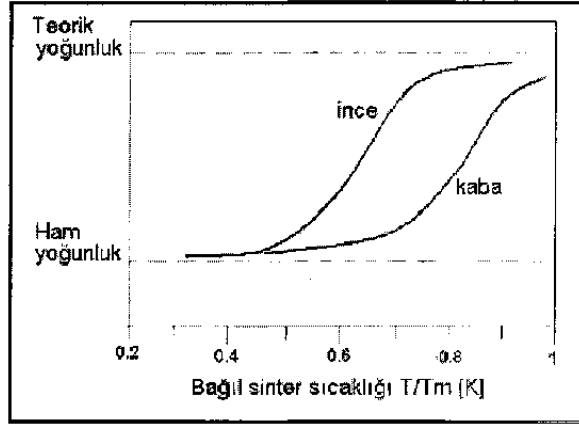
- Mumun giderilmesi,
- Sinterleme,
- Soğutma.

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 gözeneklerin yuvarlanması ve küçük gözeneklerin, büyüklerin gelişimine yardımcı olabilmek için kaybolduğu gözlenir.

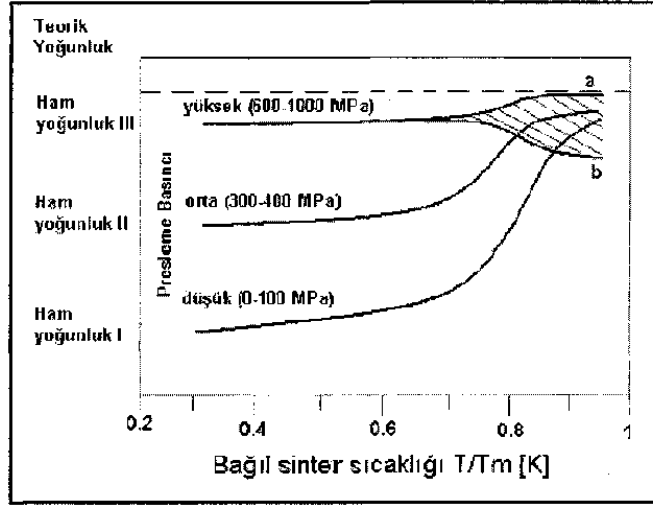
Sinterleme fırınının soğutma bölgesinde, parçaların hava ile temas ederek oksitlenmelerini engellemek amacıyla oksitlenmeden koruyucu bir gaz altında soğumaları sağlanır. Soğuma hızı 850-500 °C civarındadır ve malzemenin mekanik özellikleri meydana gelen faz dönüşümleri nedeniyle soğutma hızı ile yakından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



Şekil 2.15. İnce (1-10 µm) kaba (50-200 µm) taneli tozlarda sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi.[9]

Sinter öncesi soğuk presleme basıncının sinter sonrası boyut küçülmesine etkisi Şekil 2.16'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 2.16'da 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. Örneğin MgO eklenerek Al_2O_3 'in sinterlenmesi.



Şekil 2.16. Değişik presleme yoğunluğuna sahip toz numunelerinin sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi.[9]

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.

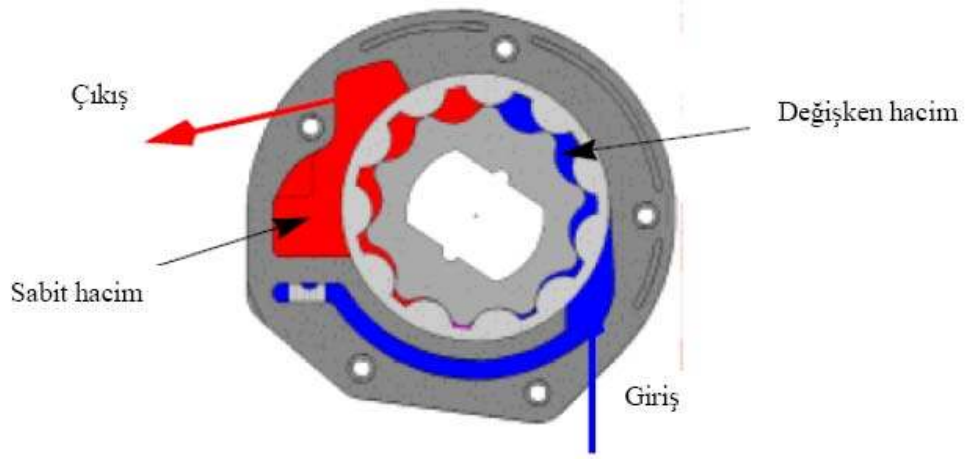
Yukarda sözü geçen zararlı etkiler sinterleme şartlarında önemli değişiklikler gösterirler ve tozun hazırlanma şartlarına büyük ölçüde bağılırlar. Bu nedenle tozun sinterlemeden önce tabi tutulduğu işlemler çok önemlidir.[9]

Sinterleme sonrasında parçaya gerekirse çapak alma, kalibre etme gibi işlemler uygulanır.

3. GEROTOR POMPA

Bir pompa; mekanik gücü sıvı gücüne çeviren mekanik bir cihazdır. Pozitif deplasmanlı pompalar ise kendi iç bileşenleri arasında çok az sızıntıya izin veren pompalardır. Bu türden olan gerotor pompada dişliler iç içe dönerler ve şaft, iç dişliye bağlıdır. İç dişli, diş teması ile dış dişliyi hareket ettirir. İç dişlinin diş sayısı, dış dişlinin diş sayısından bir eksiktir ve iç ve dış dişler

sürekli temas halindedirler. Diş sayısı farkından oluşan dişler arasındaki değişken hacim boşluğu ile sıvı, girişten çıkış kanalına iletilir (Şekil 3.1).



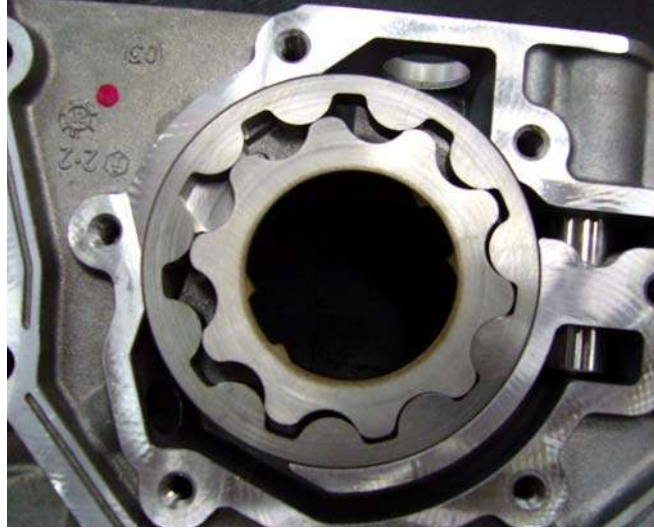
Şekil 3.1. Gerotor pompa çalışma prensibi.[10]

Çoğu hidrolik pompa ve motorlar birbirlerinin yerine konulabilir, aynı prensiple çalışır ve benzer parçalara sahip görünseler de, performansı iyileştiren dizayn farklılıklarına sahiptirler. Pozitif deplasmanlı pompalar; şaftın her dönüşüyle belirli hacimde sıvıyı ileten pompalardır.[11]

Bu pompaların en basitlerinden olan dişli pompalar, dişli döndükçe dişlerin arasına sıvıyı hapsederek iletirler. Akış hacmi, itici dişlinin hızı ile kontrol edilir. Bu pompalar gürültülü olsalar da, iyi dizayn edildiklerinde küçük ve kompaktırlar.

Dişli pompanın bir versiyonu olan gerotor, iç dişlide bir eksik dişe sahiptir ve dış dişli eksenine yakın hareket eder. İki dişli arasındaki boşluk hacmi, iç dişlinin bir tarafında artarken diğer tarafında azalır. Üç basit parçadan oluşur: iç gerotor, dış gerotor ve gövde. Diş sayıları çeşitlilik göstermekle birlikte, iç gerotorun diş sayısı, her zaman dış gerotordan bir eksiktir (Şekil 3.2).

Trokoid tip (gerotor) makinelerin bazı avantajları; basitlik, güvenilirlik ve yüksek hızda çalışabilmeleridir. İlk gerotor Hill tarafından icat edilmiştir.[12]



Şekil 3.2. Montajı yapılmış gerotor pompa dişlileri. Dış dişli 11 ve iç dişli 10 adet dişe sahiptir. [Tozmetal A.Ş.]

Trokoid profilde dairevi eğriler, temel daireye bağlı kalarak kaymasız yuvarlanmayla oluşturulurlar. Dış çevrim eğrisi (hiposikloit), oluşturulan daireyi temel daire etrafında yuvarlayarak oluşturulur ve iç çevrim eğrisi (episikloit), temel dairenin iç kısmı üzerinde yuvarlana oluşum dairesi üzerindeki bir nokta ile tanımlanır. Uygun dairevi eğrilerin aşağıdaki iki temel şartı sağlaması gerekir:

- a) Eğriler, diş adedi tam sayı olacak şekilde kapanan yaylardan oluşmalıdır,
- b) Profillerin üst üste binmemesi için eğriler düğüm yapmamalıdır.

Bundan sonra izlenecek dıştan örtme yöntemiyle dıştan dişli, içten örtme yöntemiyle ise içten dişli profiller elde edilir.

Çoğu teknik literatürde iç ve dış dişli profilini belirlemede iki strateji bulunmaktadır:

- a) İç rotor profili, dış rotoru çeker,
- b) Dış rotor profili, iç rotoru çeker.

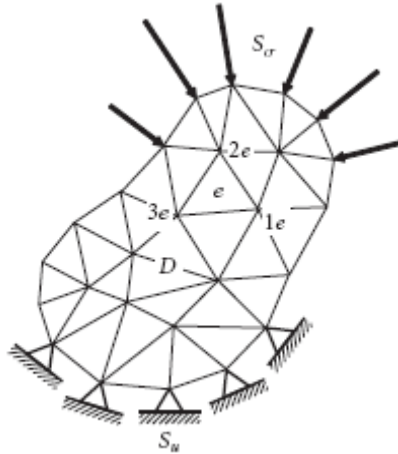
Metod a), daha geliştirilmiş bir strateji olarak görülmüştür. Bu eleme ile, dış rotorun matematik modeli kolaylaşır.[12]

4. FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) ve ANSYS

Bilim ve mühendislikte karşılaşılan çeşitli fenomenler, mekanik modeller formüle edilerek diferansiyel denklemlerle tanımlanmıştır. Diferansiyel denklemleri sınır şartları veya iç şartlar gibi sınırlarda çözmek, bizi fenomeni anlamaya ve gelecek fenomenleri tahmin etmeye götürür. Diferansiyel denklemlerin sonuçlarını yaklaşık olarak belirleyecek nümerik metotlar benimsenmiştir. Bu nümerik metodlar arasında, sonlu derecede serbestliğe sahip ayrı gövdeye sürekli yaklaşım, “ayrım analizi” olarak bilinmektedir. Popüler ayrım analizleri arasında, sonlu fark metodu, endirekt sınır elemanları yöntemi, Rayleigh-Ritz metodu bulunmaktadır. Rayleigh-Ritz metodu, sonlu elemanlar yöntemine temel oluşturmaktadır.[13]

Sonlu elemanlar yönteminde ilgili alan alt bölümlere ayrılır. Bu alt bölümlere “eleman”, alt bölümlerin birleşme noktasına da “düğüm” adı verilir (Şekil 4.1).

ANSYS, çeşitli mekanik problemleri çözmek için kullanılan, genel amaçlı sonu eleman modelleme paketidir. Bu problemler, statik/dinamik, yapısal analiz, ısı transferi ve akışkanların yanında akustik ve elektromanyetik problemlerini içerir.[13]



Şekil 4.1. İki boyutlu elastik gövdenin sonlu üçgen elemanlara ayrılması. (Bu şekilde S , gerilmeleri ifade etmektedir) [13]

Genelde, sonlu eleman çözümü üç aşamaya bölünebilir:

1- Önışlem: Problemin tanımı

Ana adımlar; (i) nokta/çizgi/alan/hacimlerin tanımlanması, (ii) eleman tipi ve malzeme/geometrik özellikler, (iii) çizgi/alan/hacimlerin alanlara bölünmesi.

2- Çözüm: Yüklerin verilmesi, sınırlar ve çözüm

Burada sınırların ve yüklerin belirtilmesi (nokta veya basınç) ve son olarak çıkan denklemlerin çözülmesi.

3- Ardışık: Sonraki işlemler ve sonuçların görüntülenmesi

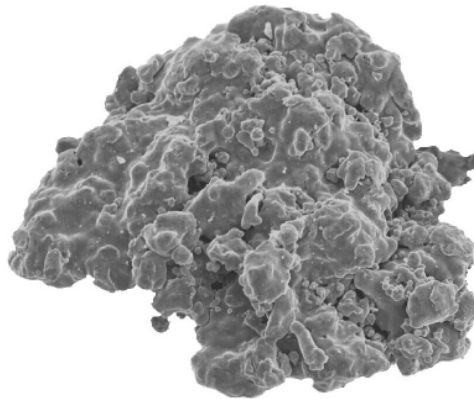
Burada görmek istediğimiz; (i) düğüm deplasmanlarının listesi, (ii) eleman kuvvet ve momentleri, (iii) sapma planı, (iv) gerilme şekil diyagramları veya sıcaklık haritalarıdır.

ANSYS Workbench, üç boyutlu modelleme, simülasyon, sonlu elemanlar işlemlerin görsel öğelerin klasik ANSYS'e göre geliştirildiği, kullanımın kolaylaştırıldığı, hem katı hem de elastik dinamik analiz yeteneklerinin geliştirildiği bir modüldür.

5. MATERYAL

5.1. T/M Malzemesi

Üretici tarafından otomotiv sektörü için üretilen 1156-1157 dişli takımının malzemesi olarak Höganäs AB, Sweden tarafından üretilen Distaloy AB toz metal malzeme kullanılmaktadır. Şekil 5.1'de bir Distaloy AB metal tozu tanesi görülmektedir.



Şekil 5.1. Distaloy AB metal tozu tanesi.[14]

Distaloy AB metal tozu kimyasal bileşimi aşağıdaki gibidir;

% C : 0,15 – 0,25

% Cu : 1,35 - 1,65

% Ni : 1,58 – 1,93

% Mo : 0,45 - 0,55

% MnS : 0,45 - 0,55

% Amid mumu : 0,80 – 1,10

Zahiri yoğunluk : 3,03 - 3,18 g/cm³

Distaloy AB + %0.5 C için üretici tarafından, belirli üretim şartlarında sağlayacağı özelliklerin verildiği grafiklerden sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı mekanik özellikler elde edilmiştir (Tablo 5.1 – 5.5).

Üretim şartları; %0.8 Amid mumu, %0.6 yağlama, 400-800 MPa sıkıştırma basıncı ve 1120°C sinterleme sıcaklığı olarak belirtilmiştir.

Tablo 5.1. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı çeki gerilmesi değerleri.[15]

		Sinterleme süresi (dak.)		
		15	30	45
		Çekme Mukavemeti (MPa)		
Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)	7.0	580 (numune-1)	600 (numune-2)	620 (numune-3)
	7.2	640 (numune-4)	660 (numune-5)	680 (numune-6)
	7.4	700 (numune-7)	720 (numune-8)	740 (numune-9)

Tablo 5.2. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı akma dayanımı değerleri. [15]

		Sinterleme süresi (dak.)		
		15	30	45
		Akma Mukavemeti (MPa)		
Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)	7.0	350 (numune-1)	370 (numune-2)	390 (numune-3)
	7.2	390 (numune-4)	410 (numune-5)	425 (numune-6)
	7.4	425 (numune-7)	435 (numune-8)	450 (numune-9)

Tablo 5.3. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı Young modülü değerleri. [15]

		Sinterleme süresi (dak.)		
		15	30	45
		Young Modülü (MPa)		
Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)	7.0	132000 (numune-1)	133000 (numune-2)	134000 (numune-3)
	7.2	144000 (numune-4)	145000 (numune-5)	146000 (numune-6)
	7.4	158000 (numune-7)	159000 (numune-8)	160000 (numune-9)

Tablo 5.4. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı uzama değerleri. [15]

		Sinterleme süresi (dak.)		
		15	30	45
		Uzama (%)		
Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)	7.0	2.2 (numune-1)	2.3 (numune-2)	2.4 (numune-3)
	7.2	2.9 (numune-4)	3.1 (numune-5)	3.3 (numune-6)
	7.4	3.9 (numune-7)	4.0 (numune-8)	4.1 (numune-9)

Tablo 5.5. 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiş Distaloy AB + %0.5 C için sinterleme süresi ve sinterlenmiş yoğunluğa bağlı sertlik değerleri. [15]

		Sinterleme süresi (dak.)		
		15	30	45
		Sertlik (HRB)		
Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)	7.0	82 (numune-1)	84 (numune-2)	86 (numune-3)
	7.2	86 (numune-4)	88 (numune-5)	90 (numune-6)
	7.4	91 (numune-7)	93 (numune-8)	95 (numune-9)

Çalışmanın devamında tablolardan yola çıkarak dişli takımının mekanik özellikleri olarak, üç ayrı sinterlenmiş yoğunluk ve üç ayrı sinterleme sıcaklığı için toplam dokuz ayrı simülasyon yapılmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

5.2. Gerotor Dişli Takımı

İçten dişli trokoid tip pompaların (gerotor pompa) birkaç avantajı; sessiz olmaları, az sayıda parçadan oluşmaları ve sızdırmazlık elemanı bulundurmamaları olarak belirtilebilir. Bu avantajların dezavantaja dönüşmemesi için doğru dizayn edilmeli ve performansları analiz edilmelidir. Dişli takımında performansı belirleyen en büyük etken; dişler arasındaki temastan kaynaklanan aşınmadır. Dolayısıyla, yeterli performansı sağlayabilmeleri için dişliler aşındığında değiştirilmelidirler.[16]

Trokoid tip makinelerde dişli temas kuvvetini trokoid profili belirler. Rehber dişli bulunmadığından, her iki dişlinin de hareketi tamamen dişler arasındaki temas noktalarından iletilen temas kuvveti ile sağlanır. Colbourne'nin teorisinde sürtünmeyi temas noktalarına yansıtarak basitleştirdiği analitik yöntemle, dairesel yay formuna sahip dişler için temas noktaları ve maksimum temas gerilmeleri elde edilebilmektedir. Dönüşün herhangi bir anında birkaç temas noktası bulunduğundan, optimal temas gerilmesine ulaşırken, belirli akış, hacimsel kapasite, dağıtım düzensizliği ve diş gerilimi gibi dizayn faktörleri de dikkate alınmalıdır.[16]

6. TEORİK ÇALIŞMA

6.1. Analitik Model ve Diş Temas Gerilimi

İçten dişli gerotor pompalar, iç ve dış dişli adı verilen dıştan dişli iç rotor ve içten dişli dış halkadan oluşmaktadır (Şekil 6.1). İki dişli, tüm dişleri temas noktasını oluşturacak kayma teması yapacak şekilde eşleşmiştir. Colbourne'nin teorisindeki fikir; hidrolik ve gerilme momentlerini eşitleyerek ilk olarak temas noktalarının konumlarını belirlemektir. Dişlilerin herhangi bir konumunda her bir temas noktasının konumu belirlendiğinde, temas noktalarının ikisi, yüksek ve alçak basınçlı kesitler arasında sızdırmazlık elemanı görevi yapmaktadır. Koordinatlar bilindiğinde, her bir diş üzerine etki eden, sıvı basıncı farkının oluşturduğu kuvvetin hesaplanmasını sağlar ve her bir diş hareket ettirmeye yarayan dişli seti hidrolik momentini hesaplamak mümkün olur. Pompa shaftı iç dişliye bağlı olduğundan, iç ve dış dişliler arasındaki temas kuvveti, temas noktaları ile iletilir.[16]

Şekil 6.1' deki referans pozisyon için işaret negatif alınmıştır.

İç dişli, dişli setinin tam tur dönüşündeki tüm temas noktalarını içerdiğinden, sırayla gelen dört parametrenin oluşturduğu denklem ile kendi profilini $x_i(\alpha_{gi}), y_i(\alpha_{gi}) = f(R_2, S, e, Z-1)$ ile tanımlar. Dış dişliyi belirlemek için sırayla gelen dört parametrenin oluşturduğu geometrik $x_e(\alpha_{ge}), y_e(\alpha_{ge}) = f(R_2, S, G, Z)$ parçaları belirlenmelidir. Her iki profil de referanslarıyla gösterilmiş ve Şekil 6.1' de izah edilmiştir. Dişli setinin başka herhangi bir pozisyonu için profiller aşağıdaki dönme denklemi ile belirlenebilir;

$$x_{r,j}(\omega_j) = x_j(\alpha_{gj}) \cos \omega_j - y_j(\alpha_{gj}) \sin \omega_j, \quad (6.2)$$

$$y_{r,j}(\omega_j) = x_j(\alpha_{gj}) \sin \omega_j + y_j(\alpha_{gj}) \cos \omega_j, \quad (6.3)$$

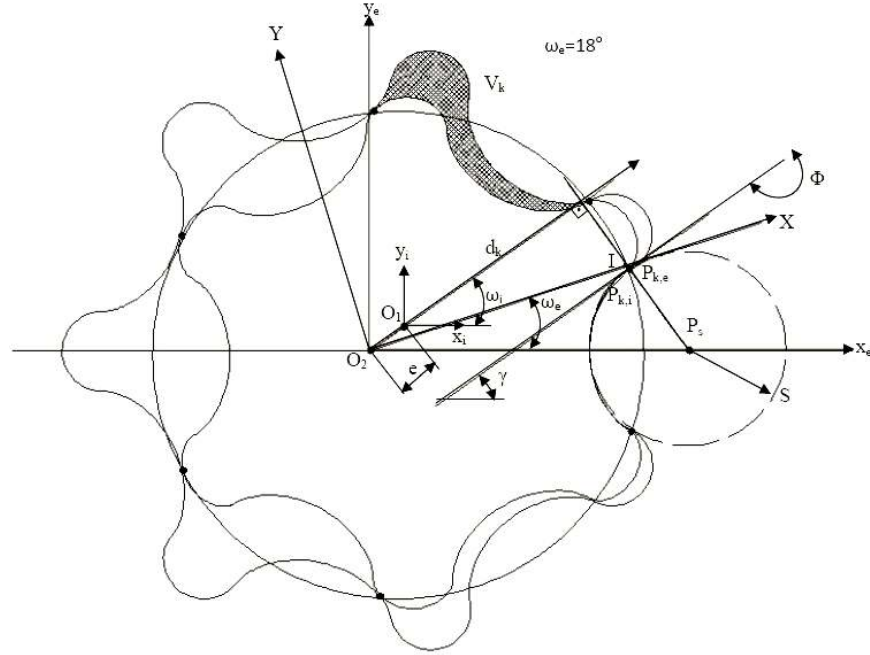
Burada iç dişli için $j = i$ ve dış dişli için $j = e$ dir.

6.3. Temas Gerilimi ve Temas Momentinin Hesabı

Şekil 6.2'de, tüm sisteme $(Z-1)\psi$ kadar saatin tersi yönünde bir dönüş verilmiş ters çevrilmiş kinematik durumu gösterirken burada ψ , dış dişlinin iç dişliye göre saatin tersi yönünde izafi dönüşüdür. Dişli setinin herhangi bir pozisyonunda temas noktalarının koordinatları bir kez belirlendiğinde bu yöntemin arkasındaki fikir; kinematik ters çevirme boyunca dış dişli referansının ilk çeyreğinde tüm temas noktalarını bir araya getirmektir. Böylece tüm temas noktaları Şekil 6.2'de gösterilen pozisyonda çalışılabilir. Sonradan dış dişli $\omega_e = -(Z-1)\psi$ açısıyla orijinal konumuna geri getirilir. İç dişlinin şimdi saatin tersi yönünde $(Z-1)\psi$ kadar ve kendi etrafında ψ kadar dönmüş kendi merkezi O_1 vardır. Dolayısıyla iç dişlinin bir $P_{k,i}$ noktası $P_{k,e}$ noktasında dış dişliye dokunursa, dış dişlinin $P_{k,e}$ deki normal, izafi I hareketinin anlık merkezinden geçmelidir. Bu özellik kullanılarak, eşlenik şekillerin yarıçapları arasındaki ilişki L'Hôpital tarafından türetilmiş, Hartenberg ve Denavit tarafından alıntı yapılmıştır (Denk. 6.4);

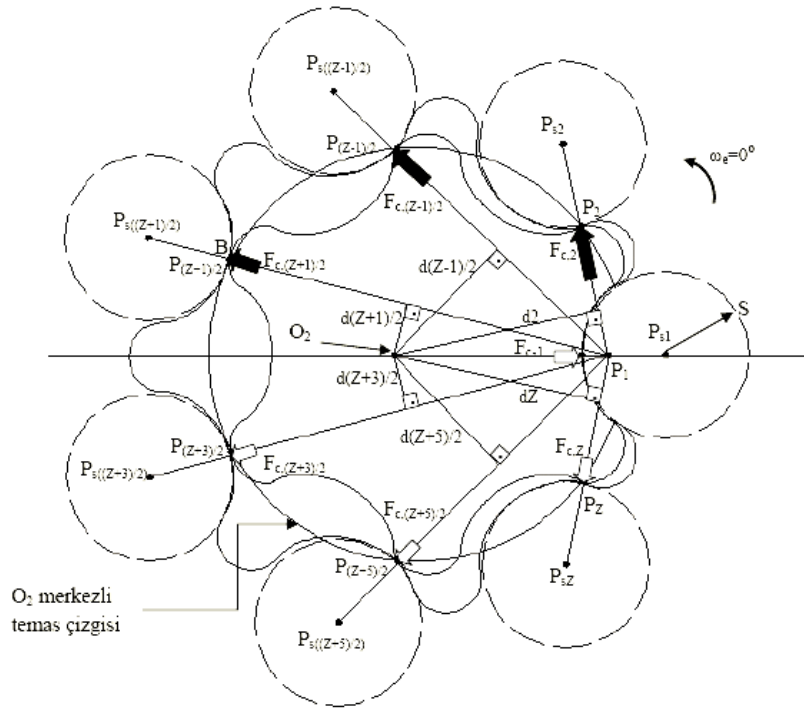
$$\frac{1}{IQ_{k,e}} - \frac{1}{IQ_{k,i}} = \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \frac{1}{\sin \phi_k}, \quad (6.4)$$

Buradaki $Q_{k,e}$ ve $Q_{k,i}$ dış ve iç dişlilerin temas noktasındaki eğrilik yarıçaplarıdır. Dış dişli dişinin eğriliği biliniyor çünkü şekli, S çapının dairesinin yayıdır. Bu ilişki iç dişli dişinin eğriliğini hesaplamaya izin verir.



Şekil 6.2. 1156-1157 dişli takımı için oluşturulan kinematik dönüş.

Son olarak dış dişlinin O_2 deki gerilim momenti, $IP_{k,e}$ çizgisi boyunca yerleşmiş $F_{k,e}$ kuvveti ve bunun temas noktalarındaki O_2 merkezine olan normal d_k mesafesinin ürünü olarak oluşan toplamdır. Fakat tüm temas noktaları momenti iletmeye katkıda bulunmaz. Diğer taraftan saatin ters yönü referans olarak alındığından ve aktif noktalar olduğundan 2'den $(Z+1)/2$ 'e kadar olan noktalar gerilim momentini iletecektir (Şekil 6.3'te bu noktalar siyah ok ile gösterilmiştir).



Şekil 6.3. 1156-1157 dişli takımı için bulunan temas kuvvetleri.

Diğer yandan $(Z+3)/2$ den 1'e kadar olan noktalar (Şekil 6.3'te bu noktalar beyaz ok ile gösterilmiştir), aktif noktalar değildir. Şekil 6.3'te gösterilen siyah oklar gerilim momentinin büyüklük menzili gösterirken beyaz oklar herhangi bir kuvvet göstermez.

Böylece iç dişliye bir bağlantı uygulandığında, kendi eksenini etrafında O_2 civarındaki birleşik momentler dış dişlideki gerilim momentine eşit oluncaya kadar bir miktar dönecektir. İç dişliye verilen küçük bir $\Delta\omega_i$ dönüşü ve her dişlide sebep olunan Δv sızıntısı hesaplanmıştır. Bu sebepten dolayı temas gerilim kuvvetlerini bulmak için Hertz denklemi kullanılır ve maksimum temas geriliminin tekrarlanan prosedürü aşağıdaki gibidir;

$$|\sigma_{yy}|_{\max} = \frac{2F}{\pi a}. \quad (6.5)$$

6.4. Hidrolik Moment Hesabı

Çevrim hacmi X-ekseni üzerinde simetrik iken minimum ve maksimum değerlere ulaşır. Şekil 6.1'deki iki temas noktası A ve B, çıkış kanalının yüksek basınçlı sıvısını ve giriş kanalının düşük basınçlı sıvısını ayıran sızdırmazlık elemanını oluşturur. Böylece temas noktalarının tüm koordinatları bilindiğinde, dış dişli üzerinde O_2 civarındaki sıvı momentini hesaplamak için Enerjik yöntem kullanılabilir. Sıvı basıncının sebep olduğu kuvvetin $-P\Delta Y$ ve $-P\Delta X$ olarak iki bileşeni olacaktır ve iki temas noktasını birleştiren temas çizgisinin orta noktası aracılığıyla etki yapacaktır.

6.5. Maksimum Temas Gerilimi

Bu çalışmada kullanılan 1156-1157 gerotor pompa dişli setinin boyutsal özellikleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Sıvı basıncı $P = 0.5$ MPa olarak alınmıştır.

Dişli seti için maksimum temas gerilimi analitik model kullanılarak hesaplanmıştır. Dişli setinin belirli bir pozisyondaki her P_k temas noktası için, iç dişli için dönüş açısı ω_i anlamına gelen maksimum temas gerilimi saptanmıştır. Üzerinde çalışılan pozisyonlar, her $(2\pi)/Z$ ile tekrar edilen $\omega_i = 0^\circ$ referans pozisyonuna dayanarak, $\omega_i = 03(2\pi)/Z$ aralığında konumlanmıştır. Burada muhafazadaki giriş ve çıkış kanallarının konumunun ve kapağın etkisi göz ardı edilmiştir.[16]

Tablo 6.1. 1156-1157 dişli seti boyutsal parametreler.

G	21.6 mm
R_2	44.1 mm
S	13.63 mm
e	2.73 mm
H	32 mm
Z	7 adet

6.6. Hacimsel Karakteristikler

Pompalama işlemi, dönme hareketi iç diş dişliye iletildiğinde, pompanın girişinden çıkış kanalına hacmi artan kapalı hacim sirkülasyonu oluşturması ile yürür. Her iki dişli de aynı yönde fakat dişler arasındaki bağıntı nedeniyle farklı hızlarda döner. Açısal hız oranı $(Z-1)/Z$ dir.

Hacimsel karakteristikler çoğunlukla çevrim hacmi, hacim değişimi, ani akış, hacimsel kapasite ve dağıtım düzensizliği barındırır. Enerjik yöntemle göre analitik integral ile hesaplanabilir. Stryczek tarafından hacimsel karakteristiklerin ani akış (Denk. 6.6), hacimsel kapasite (Denk. 6.7) ve dağıtım düzensizliği (Denk. 6.8) gibi dört temel dizayn parametresine dayandığı, bunların $f(M, Z, \lambda, v)$ nin birer fonksiyonu oldukları ve $V_{u \max}$, $V_{u \min}$ ve V_{umed} değerlerinin, iç dişlinin her bir dişi tarafından dağıtılan hacmin maksimum, minimum ve ortalama değerleri olduğu gösterilmiştir.

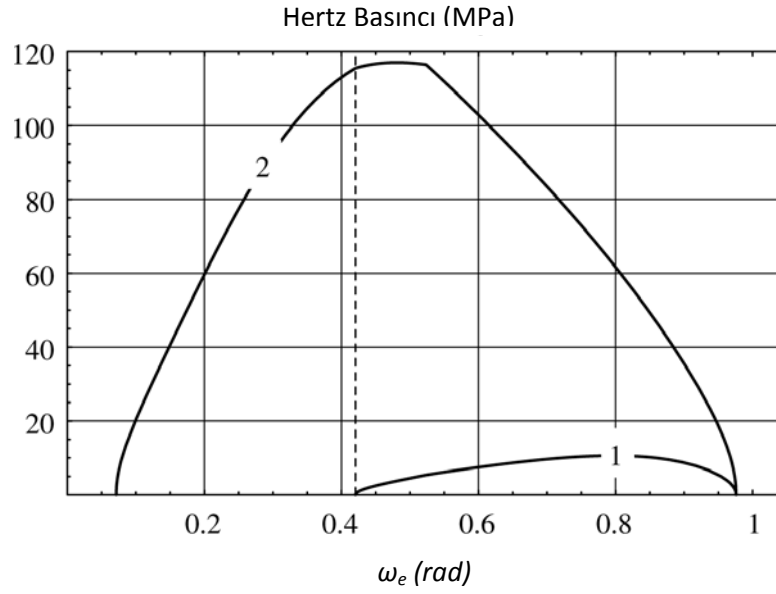
$$\frac{dV_u}{d\omega_i} = \frac{1}{2} H \left[R_{ie}^2 - \frac{r_1}{r_2} R_{ie}^2 - r_1(r_1 - r_2) - \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) u^2 \right], \quad (6.6)$$

$$c_v = (Z-1) \int_{-\pi/Z}^{+\pi/Z} \frac{dV_u}{d\omega_i} d\omega_i, \quad (6.7)$$

$$\delta Q = \frac{V_{u \max} - V_{u \min}}{V_{umed}}. \quad (6.8)$$

Şekil 6.3'deki dişli takımının hareketinde 3 numaralı temas noktası, diş yarıçap eğrisinin tersine döndüğü bölgelere çok yakındır. İç dişlinin dış dişli ile temas eden yüzey alanı çok küçüktür. 2 numaralı temas noktası iç dişli diş eğrisinin içbükey, dış dişli diş eğrisinin dışbükey olduğu konumda bulunduğu için temas alanı daha fazladır. Maksimum temas gerilimi de bu temas noktasında oluşmaktadır.

Paffoni, Progri ve Gras, çalışmalarında gerotor dişli profilinde ve aynı diş adedine sahip dişlilerin temas noktasındaki maksimum Hertz basıncını hesaplamışlardır (Şekil 6.5.). Aynı pompa çalışma şartları kabul edilerek, sonuç referans alınmıştır. [17]



Şekil 6.5. Bir diş çevrimi sırandaki maksimum Hertz basıncı değişimi.[17]

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Üzerinde çalıştığımız 1156–1157 gerotor dişli takımı, en zayıf kesit olan diş dibi bölgesine iletilen gerilme ve neticesinde oluşan gerilme dağılımı, birim şekil değiştirme ve deformasyon miktarının tespiti önem taşımaktadır. Belirlenen dokuz numune ve karşılaştırma amacıyla dişli üretiminde yaygın olarak kullanılan 20NiCrMo2 sementasyon çeliği (AISI 8620) ile kimyasal bileşiminde %C ve %Mn değerleri Distaloy AB+%0.5C malzememize yakın olan yüksek karbonlu AISI 1064 çeliği ile simülasyon yapılmıştır. T/M malzemelerde sinterlenmiş yoğunluk ve sinterleme süresinin etkisi araştırılmıştır.

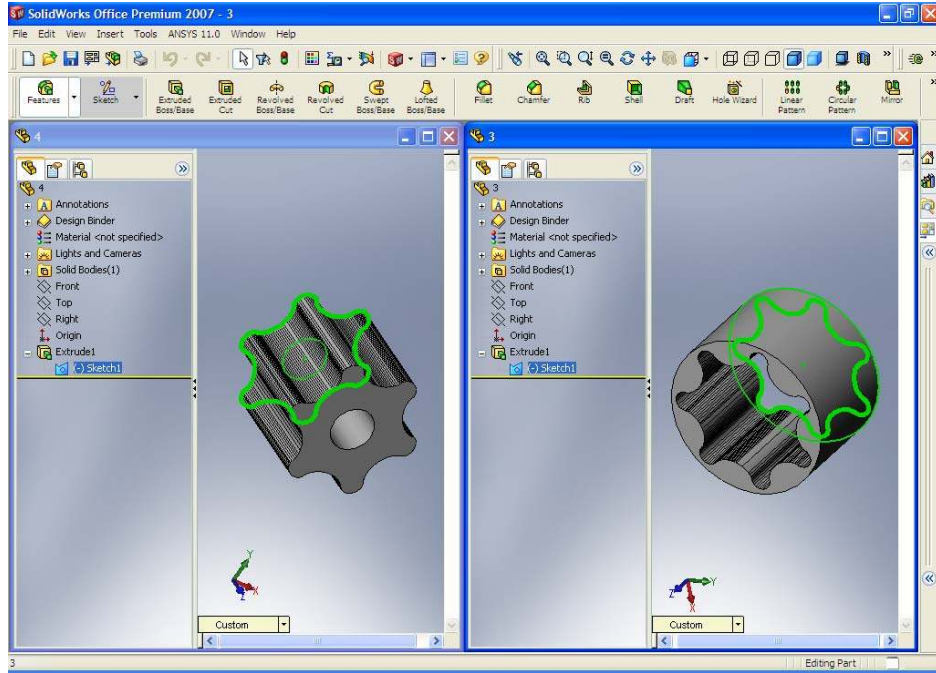
7.1. Modelleme

Öncelikle firmadan temin edilen gerotor dişli takımının (Şekil 7.1) bilgisayar ortamında modellenebilmesi amacıyla, özel diş eğrileri de basit ölçüm aletleri ile ölçülemeyeceğinden, CMM (Capability Maturity Model) cihazı ile üç-boyutlu tarama ile dişliler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

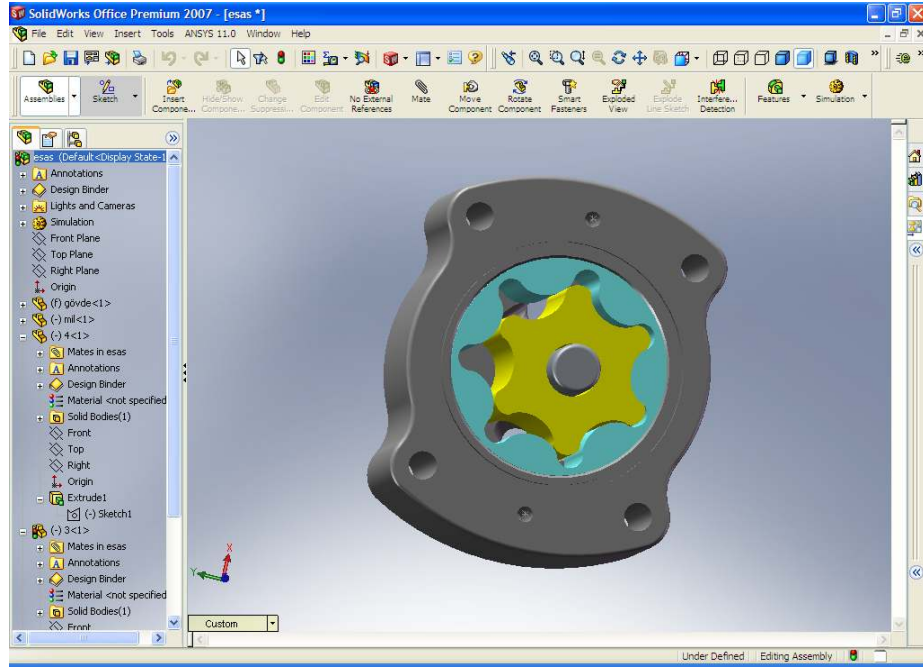


Şekil 7.1. 1156-1157 gerotor dişli takımı.

Sonrasında dişliler ve pompa gövdesi, Solidworks programı ile üç-boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 7.2 ve 7.3).

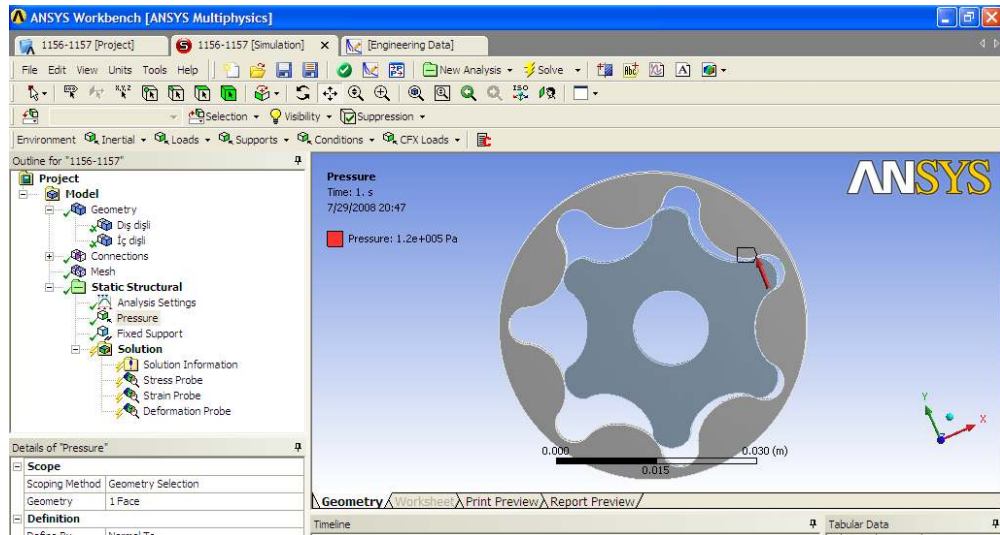


Şekil 7.2. Üç boyutlu modellenen 1156-1157 gerotor dişlileri.



Şekil 7.3. Üç boyutlu modellenen 1156-1157 gerotor dişlileri ve pompa gövdesi.

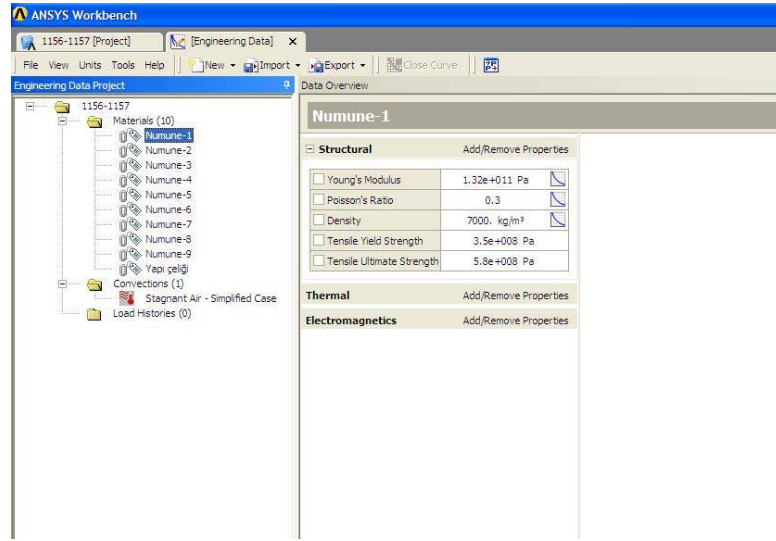
Dişlilerin modellenmesi tamamlandıktan sonra sonlu elemanlar analizi için modeller, “Import External Geometry File” komutu ile ANSYS programına aktarılmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. ANSYS' de üç boyutlu 1156-1157 dişli modellerinin görünüşü.

7.2. Analizin Hazırlanması

Yapılan dokuz ayrı simülasyon için toz üreticisi tarafından garanti edilen mekanik özellikler olan Young modülü, yoğunluk, çekme ve akma mukavemeti değerleri ve Poisson oranı her bir numune ve ayrıca iki farklı çelik malzeme için ilgili mühendislik bilgileri bölümüne girilmiştir. (Şekil 7.5)



Şekil 7.5. Tablo 5.1-5.3'deki değerlerin ANSYS WORKBENCH'e girilmesi.

Her bir numunenin mekanik özellikleri Tablo 7.1 – 7.9' da gösterilmiş olup, bu değerler ANSYS'in mühendislik veritabanı olan "engineering data" sayfasına girilerek kaydedilmiştir.

Tablo 7.1. Numune-1 mekanik özellikleri.

Numune-1	
Çekme Mukavemeti (MPa)	580
Akma Mukavemeti (MPa)	350
Young Modülü (MPa)	132000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.0
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.2. Numune-2 mekanik özellikleri.

Numune-2	
Çekme Mukavemeti (MPa)	600
Akma Mukavemeti (MPa)	370
Young Modülü (MPa)	133000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.0
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.3. Numune-3 mekanik özellikleri.

Numune-3	
Çekme Mukavemeti (MPa)	620
Akma Mukavemeti (MPa)	390
Young Modülü (MPa)	134000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.0
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.4. Numune-4 mekanik özellikleri.

Numune-4	
Çekme Mukavemeti (MPa)	640
Akma Mukavemeti (MPa)	390
Young Modülü (MPa)	144000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.2
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.5. Numune-5 mekanik özellikleri.

Numune-5	
Çekme Mukavemeti (MPa)	660
Akma Mukavemeti (MPa)	410
Young Modülü (MPa)	145000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.2
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.6. Numune-6 mekanik özellikleri.

Numune-6	
Çekme Mukavemeti (MPa)	680
Akma Mukavemeti (MPa)	425
Young Modülü (MPa)	146000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.2
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.7. Numune-7 mekanik özellikleri.

Numune-7	
Çekme Mukavemeti (MPa)	700
Akma Mukavemeti (MPa)	425
Young Modülü (MPa)	158000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.4
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.8. Numune-8 mekanik özellikleri.

Numune-8	
Çekme Mukavemeti (MPa)	720
Akma Mukavemeti (MPa)	435
Young Modülü (MPa)	159000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.4
Poisson oranı	0.3

Tablo 7.9. Numune-9 mekanik özellikleri.

Numune-9	
Çekme Mukavemeti (MPa)	740
Akma Mukavemeti (MPa)	450
Young Modülü (MPa)	160000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.4
Poisson oranı	0.3

Sementasyon çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 7.10'da gösterildiği şekildedir.

Tablo 7.10. AISI 8620 çeliği mekanik özellikleri. (870°C' den 620°C' ye 17°C/saatte hava ile soğutulmuş). [18]

AISI 8620H (UNI 20NiCrMo2)	
Çekme Mukavemeti (MPa)	530
Akma Mukavemeti (MPa)	385
Young Modülü (MPa)	205000
Yoğunluk (g/cm ³)	7.85
Poisson oranı	0.29

AISI 8620 çeliğinin kimyasal bileşimi ise aşağıdaki gibidir; [18]

C	% 0.18 - 0.23
Cr	% 0.4 – 0.6
Fe	% 96.9 – 98.02
Mn	% 0.7 – 0.9
Mo	% 0.15 – 0.25
Ni	% 0.4 – 0.7
P	maks. % 0.035
S	maks. % 0.04
Si	% 0.15 – 0.35 dir.

Yüksek karbonlu çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 7.11'de gösterildiği şekildedir.

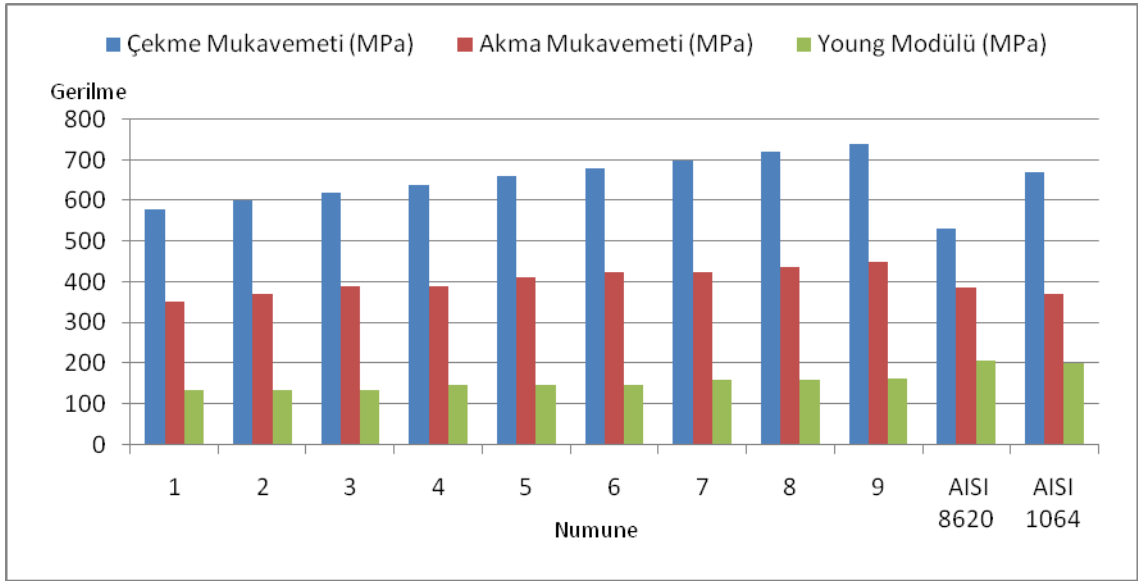
Tablo 7.11. AISI 1064 çeliği (sıcak haddeli) mekanik özellikleri. [19]

AISI 1064	
Çekme Mukavemeti (MPa)	670
Akma Mukavemeti (MPa)	370
Young Modülü (MPa)	200000
Yoğunluk (g/cm ³)	7,89
Poisson oranı	0,29

AISI 1064 çeliğinin kimyasal bileşimi ise aşağıdaki gibidir; [19]

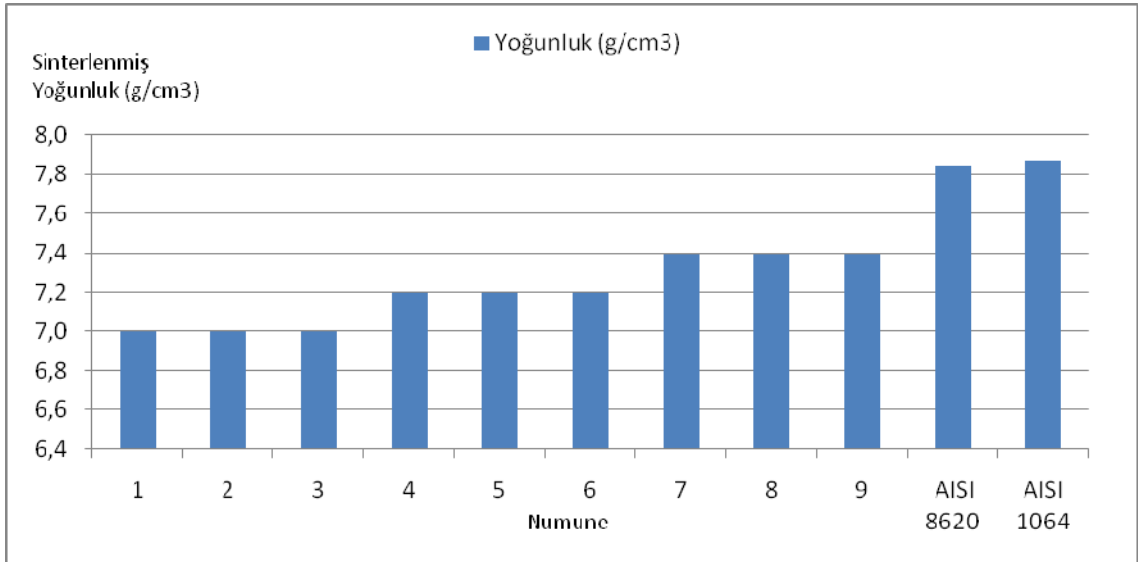
C	% 0.6 - 0.7
Fe	% 98.41 – 98.9
Mn	% 0.5 – 0.8
P	≤ %0.04
S	≤ %0.05

Çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve Young modülü girdi değerlerinin numunelere göre gösterimi Şekil 7.6'da yapılmıştır.



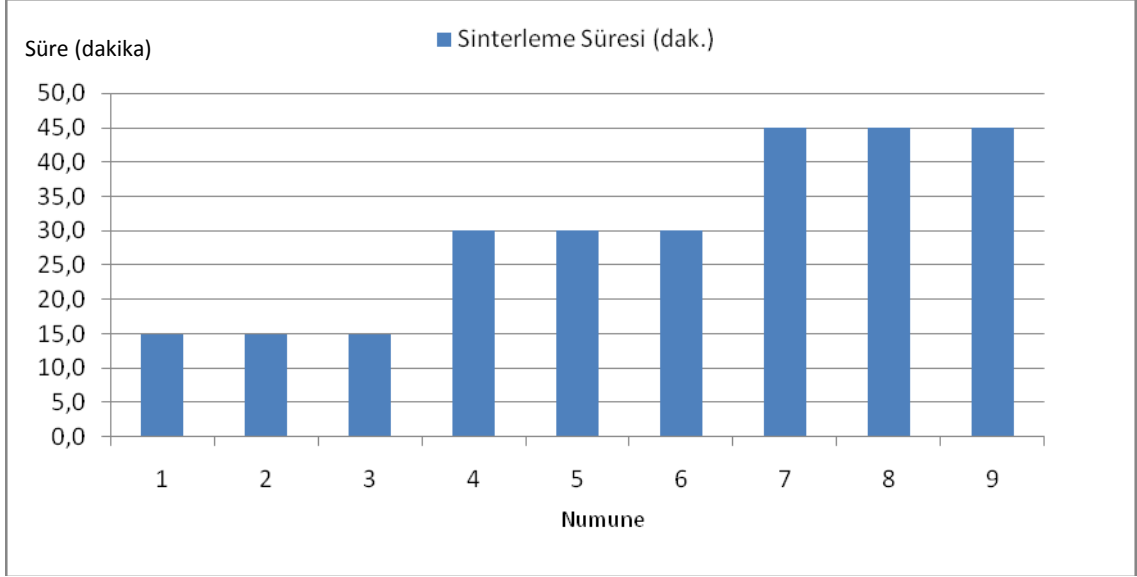
Şekil 7.6. Dokuz adet numune, AISI 8620 ve AISI 1064 için girilen mukavemet değerleri.

Sinterlenmiş yoğunluk girdi değerlerinin numunelere göre gösterimi Şekil 7.7'de yapılmıştır.



Şekil 7.7. Dokuz adet numune, AISI 8620 ve AISI 1064 için girilen yoğunluk değerleri.

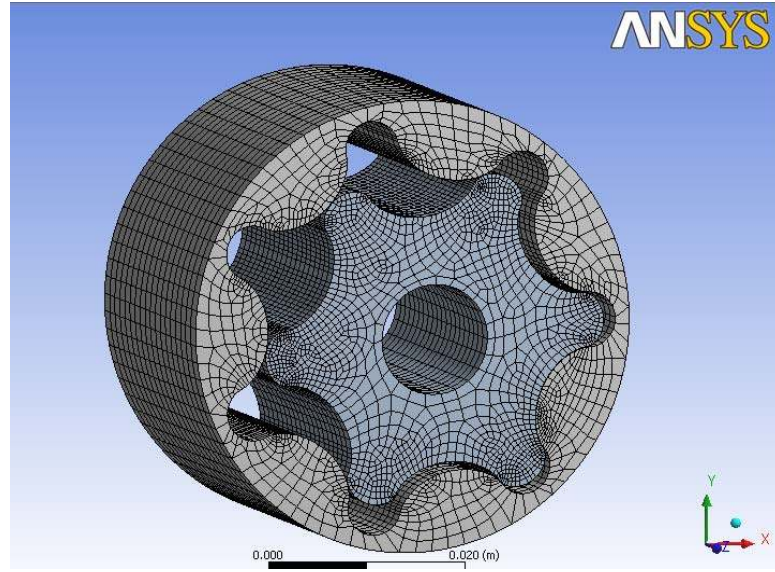
Sinterleme süresi girdi değerlerinin numunelere göre gösterimi Şekil 7.8'de yapılmıştır.



Şekil 7.8. Dokuz adet numune için girilen sinterleme süresi değerleri.

7.3. Sonlu Elemanlara Ayırma

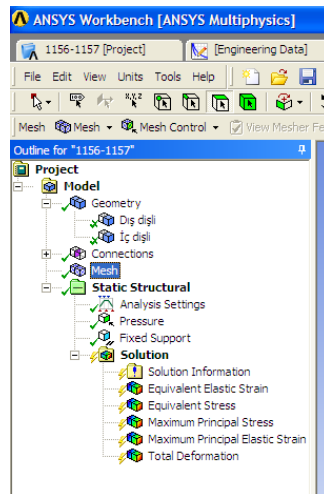
Programın hesap yapabilmesi için simülasyondan önce model geometrisi elemanlara ayrılmıştır. Mekanik fiziksel referans ve standart mekanik şekillendirme yöntemleri ile iç ve dış dişlide toplam 192382 adet düğüm ve 41666 adet eleman oluşturulmuştur (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. 1156-1157 dişli takımı model geometrilerinin sonlu elemanlara ayrılması.

7.4. Analiz Çeşitlerinin Girilmesi

Analiz yöntemi olarak “static structural” seçildikten sonra, elde etmek istediğimiz sonuca göre von-Mises (equivalent) tür gerilme, maksimum gerilme, von-Mises tür elastik birim şekil değiştirme, maksimum elastik biçim şekil değiştirme ve toplam deformasyon olarak analiz çeşitleri çözüm başlığı altına eklenmiştir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10. Seçilen analiz yöntem ve çeşitleri.

7.5. Analizin Yapılması

Project / Model / Geometry başlığı altında bulunan iç ve dış dişli için veritabanından aynı malzeme seçilir ve “solve” komutu ile matematik model çözdürülür.

Sırası ile Numune 1-9 malzemeleri ve AISI 8620 seçilerek toplam on adet analiz yapılmış ve sonuçlar raporlarla alınmıştır.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

8.1. Sonuçlar

Girdi değerleri ve simülasyon sonucu elde edilen değerler birlikte Tablo 8.1’de gösterilmiştir.

Tablo 8.1. Girdi ve sonuç değerleri.

		Numune										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	AISI 8620	AISI 1064
Girdiler	Çekme Mukavemeti (MPa)	580	600	620	640	660	680	700	720	740	530	670
	Akma Mukavemeti (MPa)	350	370	390	390	410	425	425	435	450	385	370
	Young Modülü (MPa)	132	133	134	144	145	146	158	159	160	205	200
	Yoğunluk (g/cm ³)	7,0	7,0	7,0	7,2	7,2	7,2	7,4	7,4	7,4	7,85	7,87
	Sinterleme Süresi (dak.)	15,0	15,0	15,0	30	30	30	45	45	45	-	-
Sonuçlar	von-Mises Gerilme (MPa)	86,950	86,950	86,950	86,950	86,950	86,950	86,950	86,950	86,950	87,134	87,134
	Maksimum Gerilme (MPa)	87,067	87,067	87,067	87,067	87,067	87,067	87,067	87,067	87,067	87,028	87,028
	von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0,00065872	0,00065376	0,00064888	0,00060382	0,00059966	0,00059555	0,00055032	0,00054686	0,00054344	0,00042505	0,00043567
	Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0,00061409	0,00060947	0,00060492	0,00056291	0,00055903	0,00055520	0,00051304	0,00050981	0,00050662	0,00039701	0,00040693
	Deformasyon (mm)	0,02766000	0,02745200	0,02724700	0,02535500	0,02518000	0,02500700	0,02310800	0,02296300	0,02281900	0,00001791	0,00001836

Yapılan dokuz ayrı simülasyon sonucu elde edilen birim şekil değiştirme verileri Tablo 8.2 – 8.3 ve deformasyon değerleri Tablo 8.4’deki tablolarda verilmiştir.

Tablo 8.2. Simülasyon sonucu bulunan von-Mises birim şekil değiştirme değerleri.

	Sinterleme Süresi (dak.)		
	15	30	45
Sinterlenmiş yoğunluk (g/cm ³)	Birim Şekil Değiştirme (von-Mises), (MPa)		
7,0	0,00065872	0,00065376	0,00064888
7,2	0,00060382	0,00059966	0,00059555
7,4	0,00055032	0,00054686	0,00054344

Tablo 8.3. Simülasyon sonucu bulunan maksimum birim şekil değiştirme değerleri.

	Sinterleme Süresi (dak.)		
	15	30	45
Sinterlenmiş yoğunluk (g/cm ³)	Birim Şekil Değiştirme (maksimum), (MPa)		
7,0	0,00061409	0,00060947	0,00060492
7,2	0,00056291	0,00055903	0,00055520
7,4	0,00051304	0,00050981	0,00050662

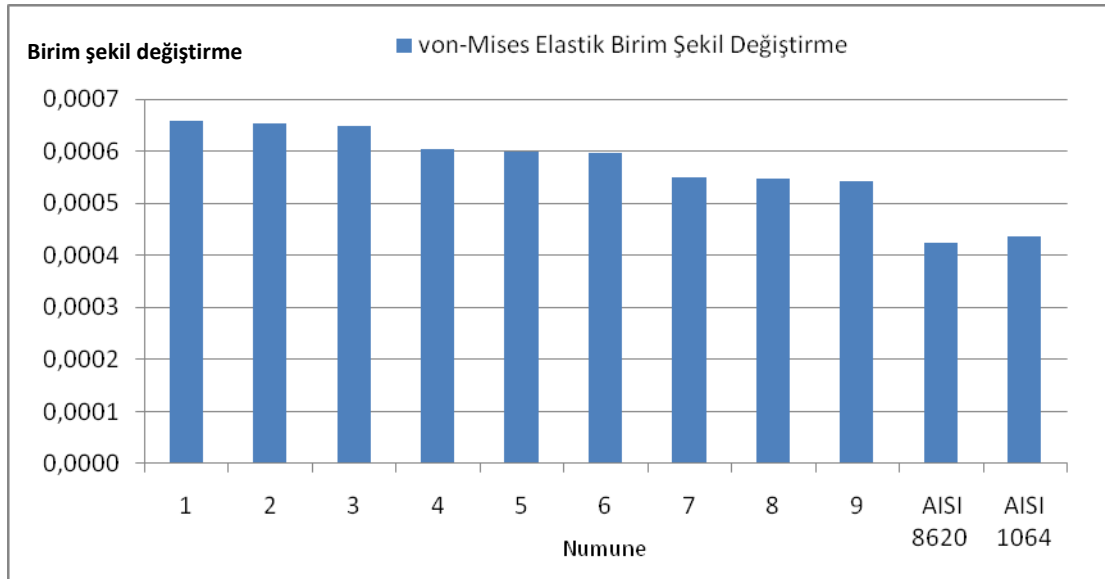
Tablo 8.4. Simülasyon sonucu bulunan deformasyon değerleri.

	Sinterleme Süresi (dak.)		
	15	30	45
Sinterlenmiş yoğunluk (g/cm ³)	Deformasyon (mm)		
7,0	0,027660	0,027452	0,027247
7,2	0,025355	0,025180	0,025007
7,4	0,023108	0,022963	0,022819

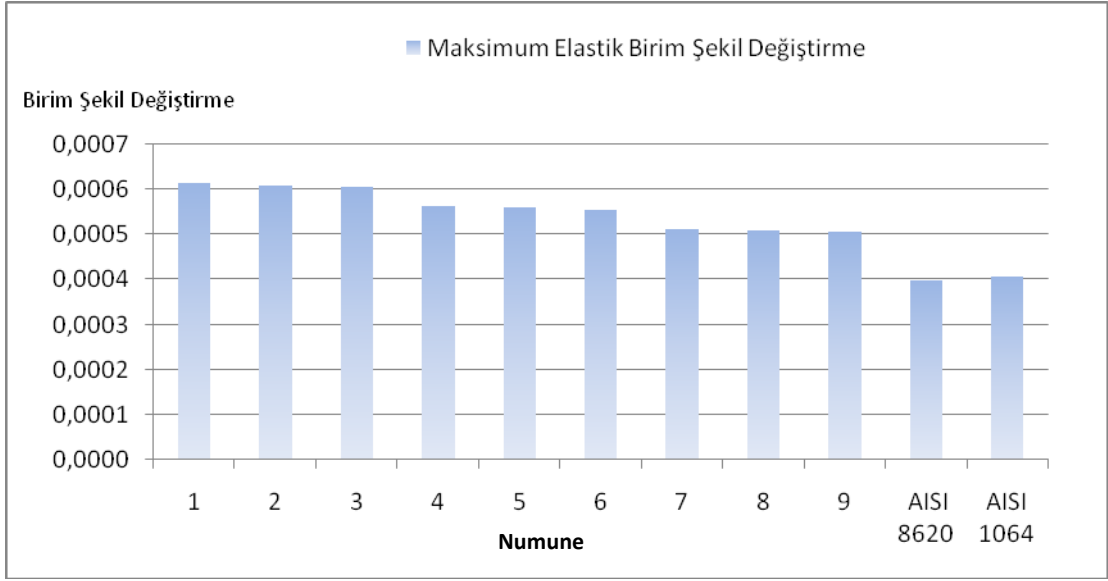
Bu tablolarda görölüyor ki; birim şekil değıştirme ve deformasyondaki değışim, sinterleme süresine göre sinterlenmiş yoğunluklar arasında daha fazladır. En büyük birim şekil değıştirme ve deformasyon, 15 dak. Sinterleme süresi ve 7.0 g/cm^3 sinterlenmiş yoğunluk durumunda (Numune-1) gerçekleşmiştir.

En büyük gerilme değeri $\sigma = 87.067 \text{ MPa}$, von-Mises gerilmesi ise 86.950 MPa olarak her T/M numunede aynı bulunmuştur.

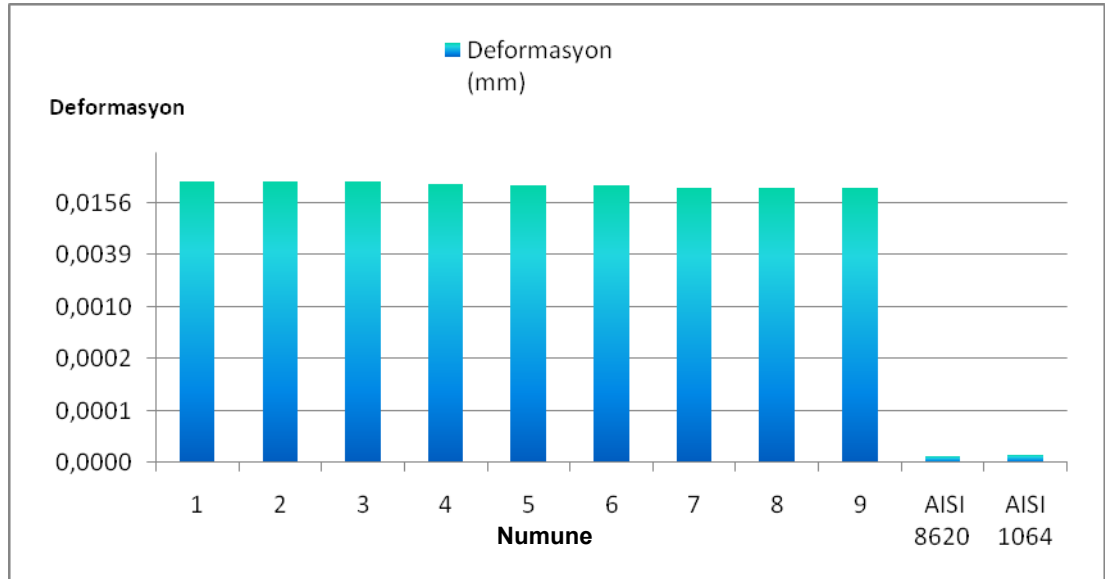
Von-Mises elastik birim şekil değıştirme, maksimum elastik birim şekil değıştirme ve deformasyon değeri, Numune 1-9 aralığında, Şekil 8.1, 8.2 ve 8.3'te gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Von-Mises elastik birim şekil değıştirme sonuçları.



Şekil 8.2. Maksimum elastik birim şekil değişirme sonuçları.



Şekil 8.3. Deformasyon sonuçları.

Sonuçların ayrı olarak gösterimi Tablo 8.5 – 8.14 ile gösterilmiştir.

Tablo 8.5. Numune-1 analiz sonuç değerleri.

Numune-1	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00065872
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00061409
Deformasyon (mm)	0.02766000

Tablo 8.6. Numune-2 analiz sonuç değerleri.

Numune-2	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00065376
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00060947
Deformasyon (mm)	0.02745200

Tablo 8.7. Numune-3 analiz sonuç değerleri.

Numune-3	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00064888
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00060492
Deformasyon (mm)	0.02724700

Tablo 8.8. Numune-4 analiz sonuç değerleri.

Numune-4	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00060382
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00056291
Deformasyon (mm)	0.02535500

Tablo 8.9. Numune-5 analiz sonuç değerleri.

Numune-5	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00059966
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00055903
Deformasyon (mm)	0.02518000

Tablo 8.10. Numune-6 analiz sonuç değerleri.

Numune-6	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00059555
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00055520
Deformasyon (mm)	0.02500700

Tablo 8.11. Numune-7 analiz sonuç değerleri.

Numune-7	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00055032
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00051304
Deformasyon (mm)	0.02310800

Tablo 8.12. Numune-8 analiz sonuç değerleri.

Numune-8	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00054686
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00050981
Deformasyon (mm)	0.02296300

Tablo 8.13. Numune-9 analiz sonuç değerleri.

Numune-9	
von-Mises Gerilme (MPa)	86.950
Maksimum Gerilme (MPa)	87.067
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00054344
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0.00050662
Deformasyon (mm)	0.02281900

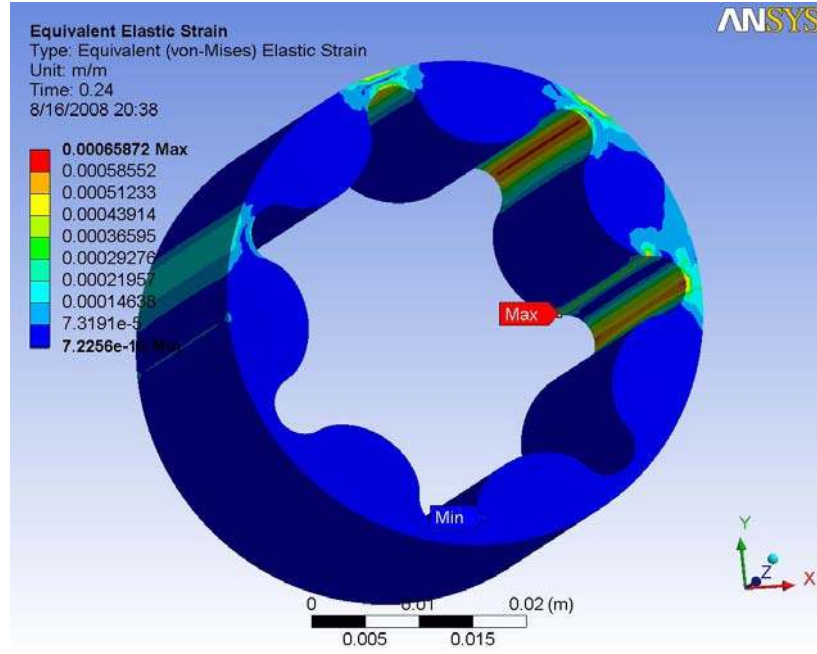
Tablo 8.14. AISI 8620 analiz sonuç değerleri.

Çelik - AISI 8620	
von-Mises Gerilme (MPa)	87,134
Maksimum Gerilme (MPa)	87,028
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0,00042505
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0,00039701
Deformasyon (mm)	0,00001791

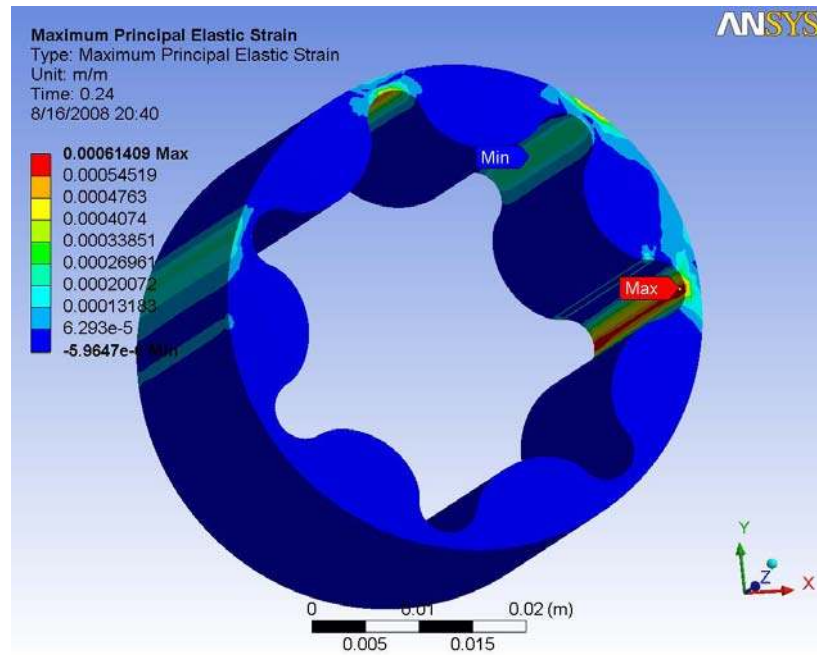
Tablo 8.15. AISI 1064 analiz sonuç değerleri.

Çelik - AISI 1064	
von-Mises Gerilme (MPa)	87,134
Maksimum Gerilme (MPa)	87,028
von-Mises Elastik Birim Şekil Değiştirme	0,00043567
Maksimum Elastik Birim Şekil Değiştirme	0,00040693
Deformasyon (mm)	0,00001836

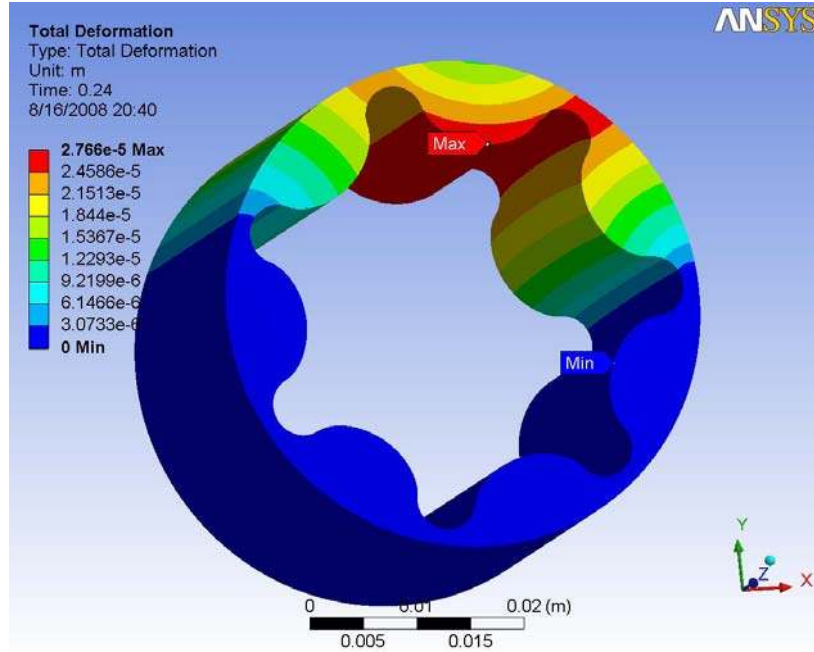
Dış dişli geometrisi üzerinde gerilme, von-Mises elastik birim şekil değiştirme, maksimum elastik birim şekil değiştirme ve toplam deformasyon dağılımı T/M numuneler ve çelikler için Şekil 8.4 – 8.42’de gösterilmiştir.



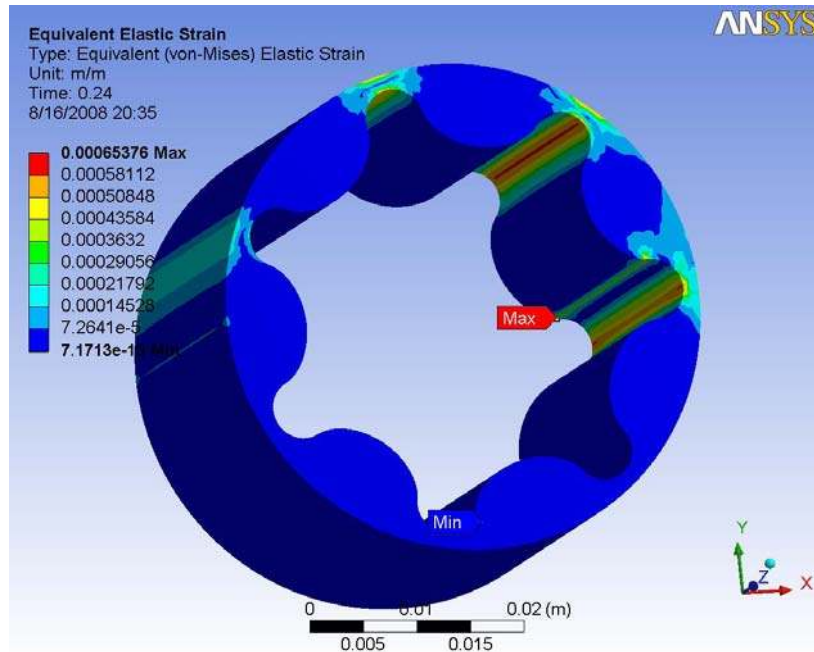
Şekil 8.4. Numune-1 von-Mises elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



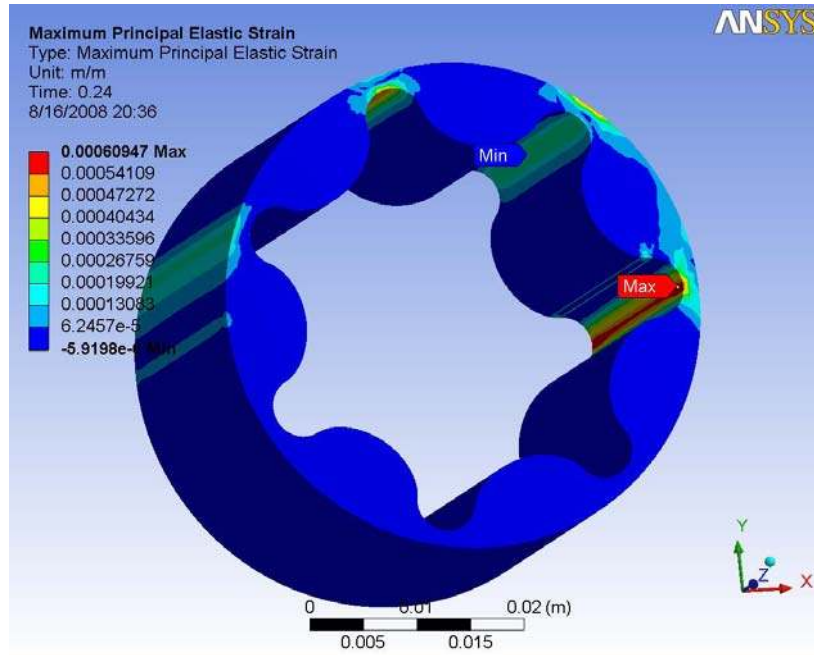
Şekil 8.5. Numune-1 maksimum elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



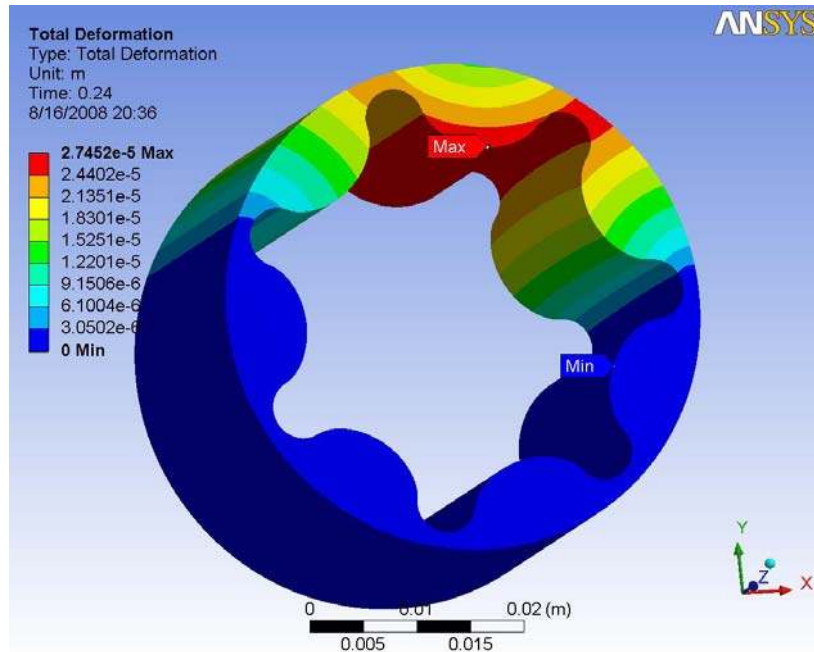
Şekil 8.6. Numune-1 toplam deformasyonu.



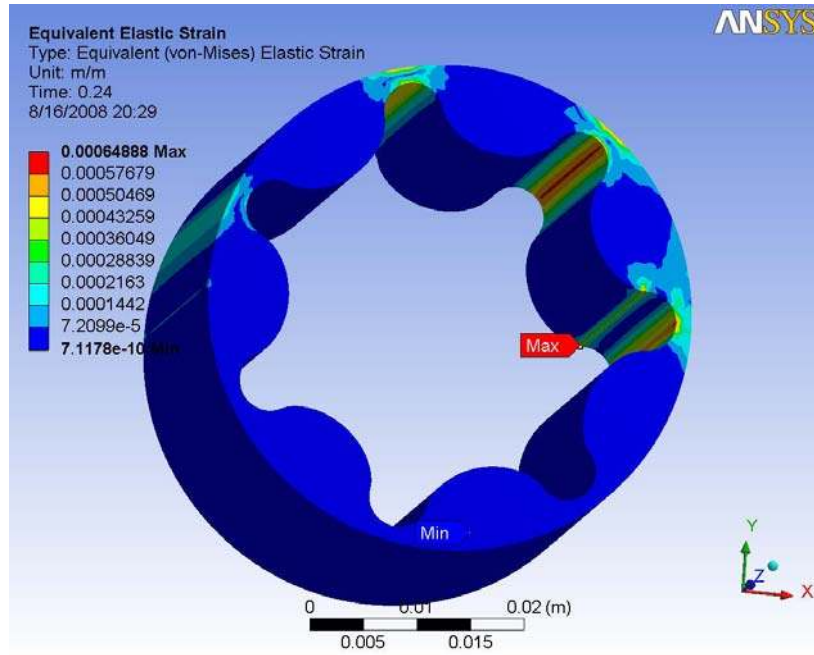
Şekil 8.7. Numune-2 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



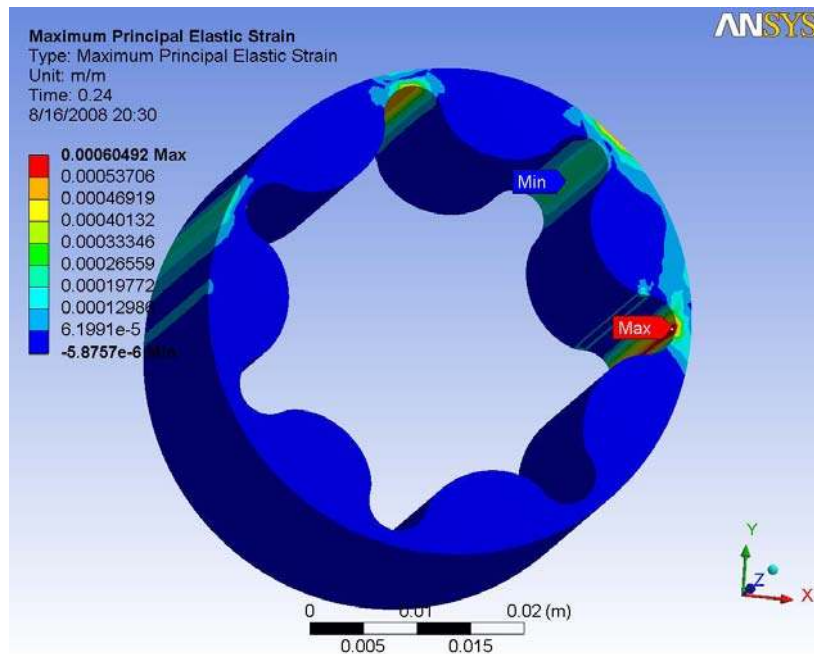
Şekil 8.8. Numune-2 maksimum elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



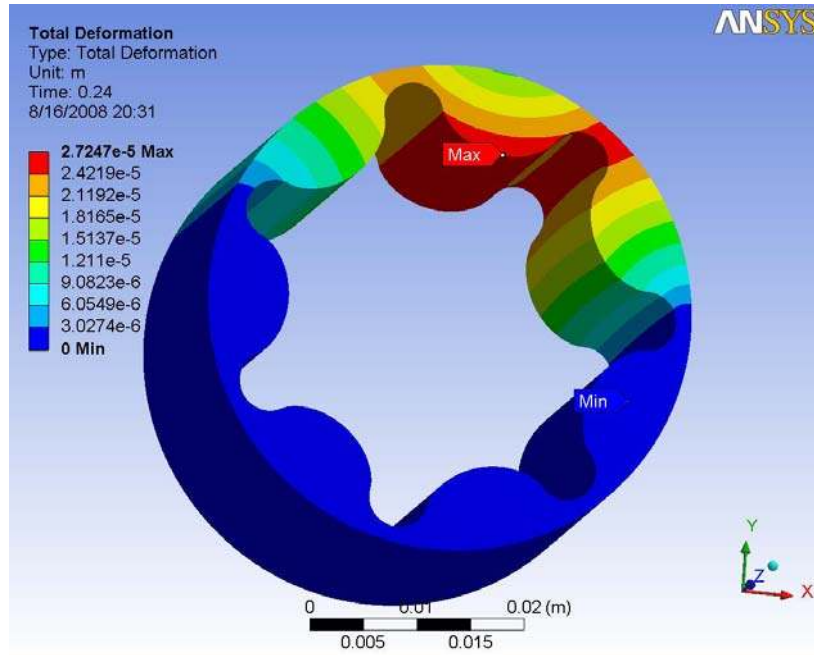
Şekil 8.9. Numune-2 toplam deformasyonu.



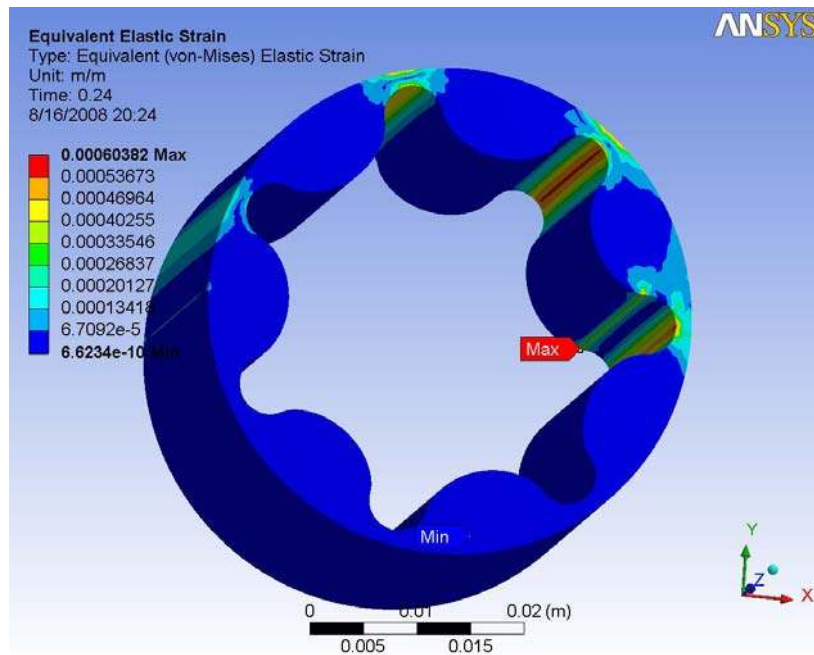
Şekil 8.10. Numune-3 von-Mises elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



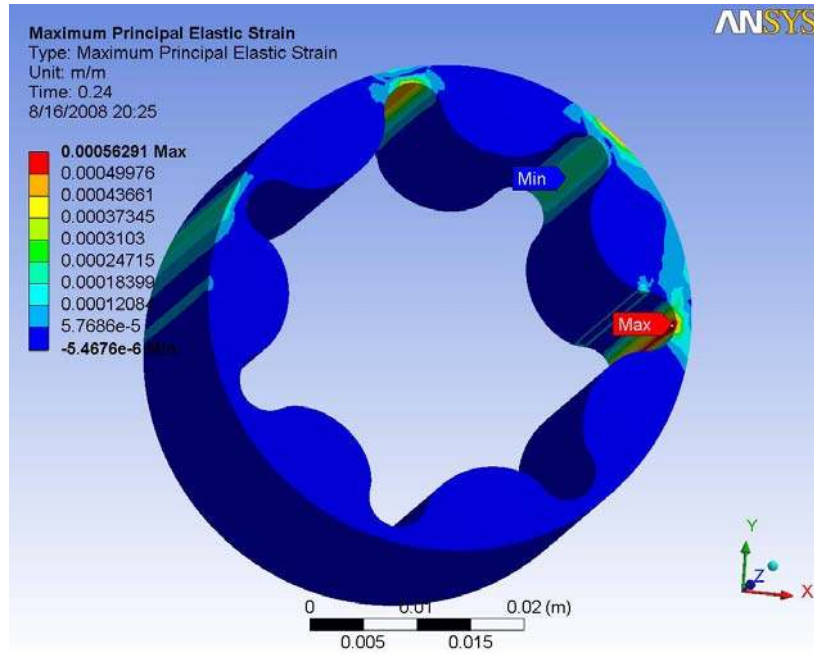
Şekil 8.11. Numune-3 maksimum elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



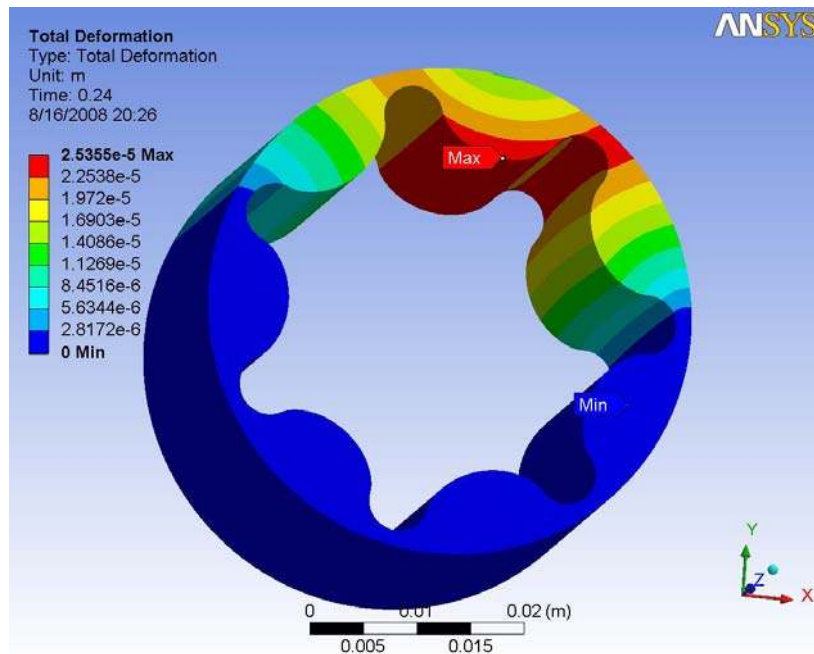
Şekil 8.12. Numune-3 toplam deformasyonu.



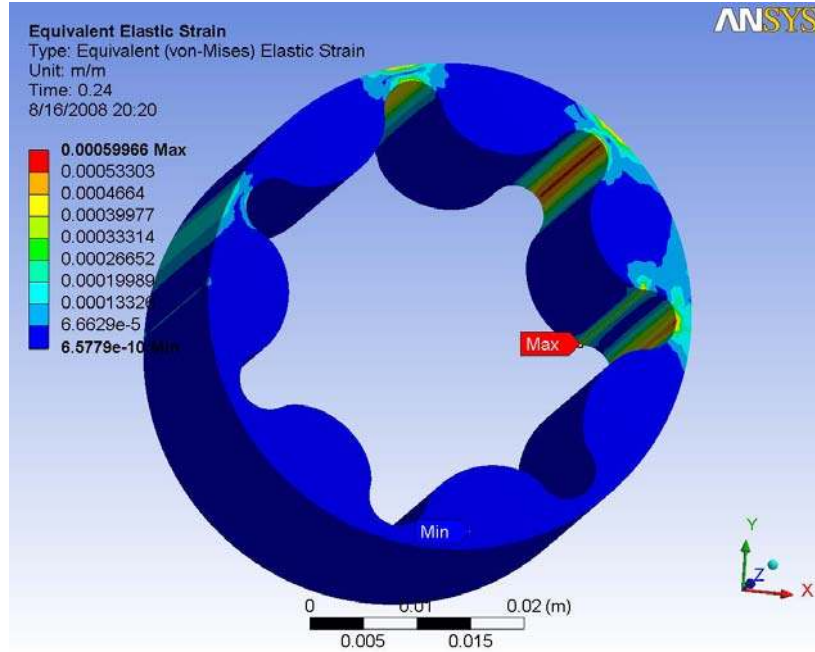
Şekil 8.13. Numune-4 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



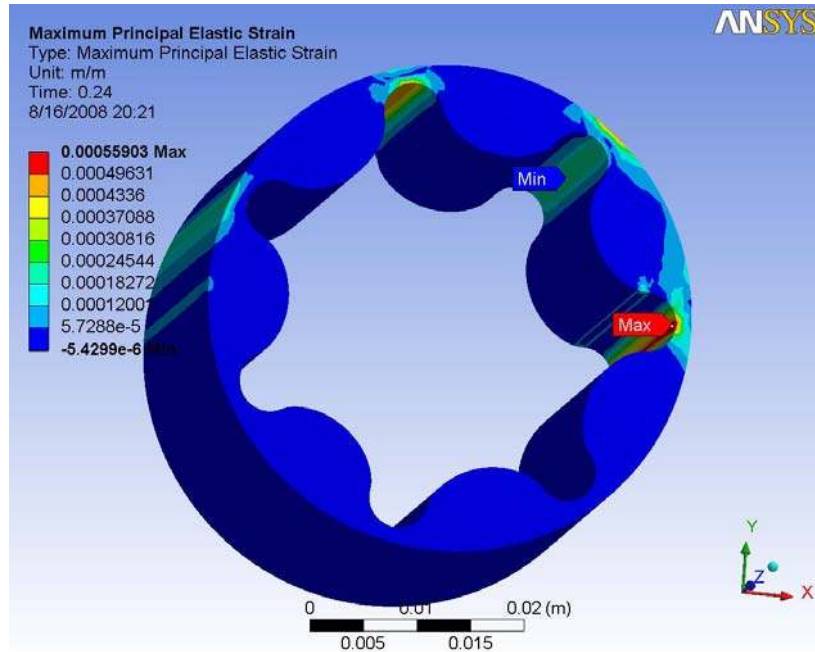
Şekil 8.14. Numune-4 maksimum elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



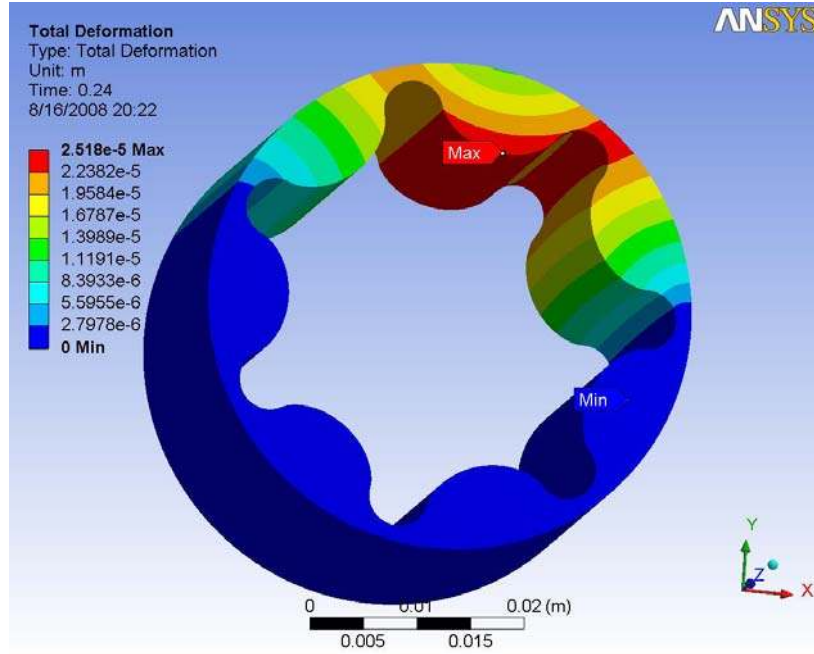
Şekil 8.15. Numune-4 toplam deformasyonu.



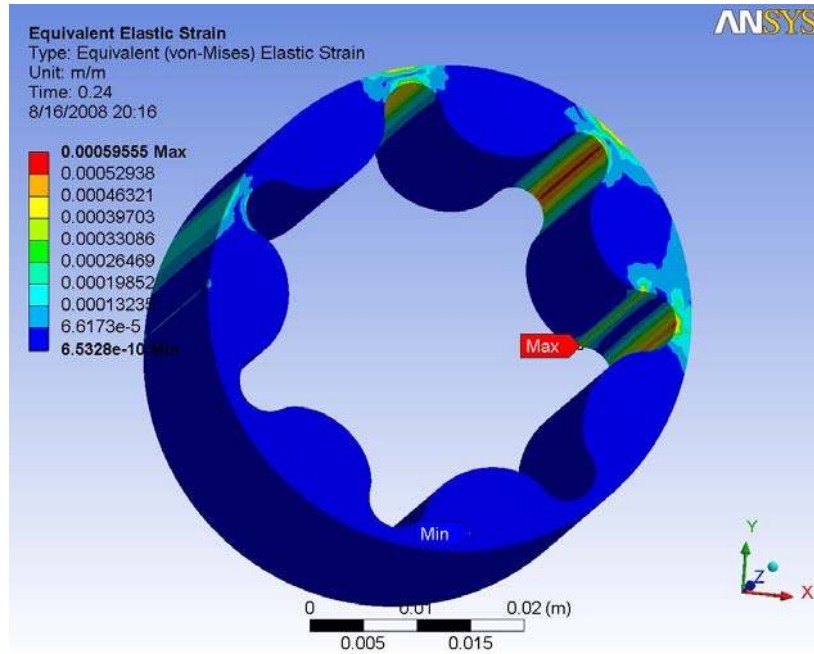
Şekil 8.16. Numune-5 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



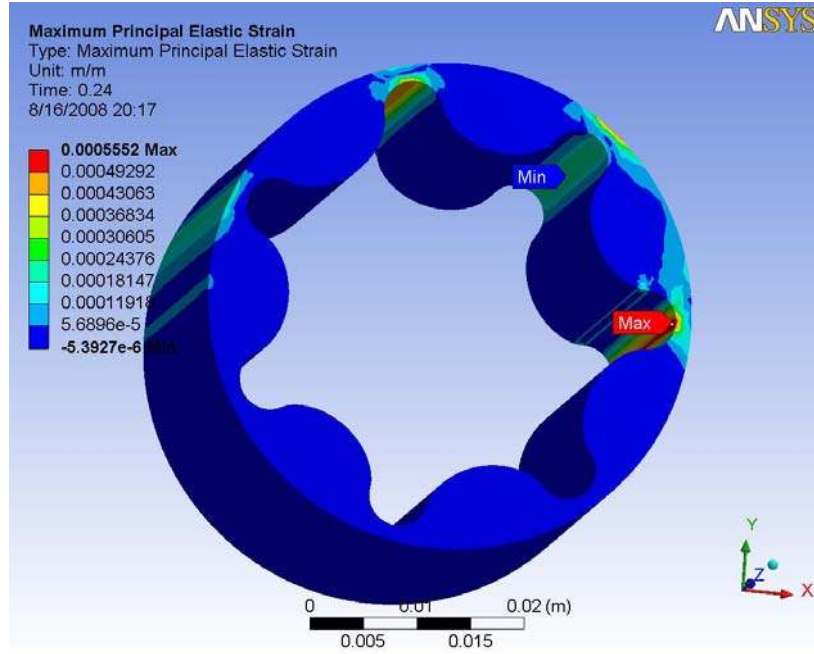
Şekil 8.17. Numune-5 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



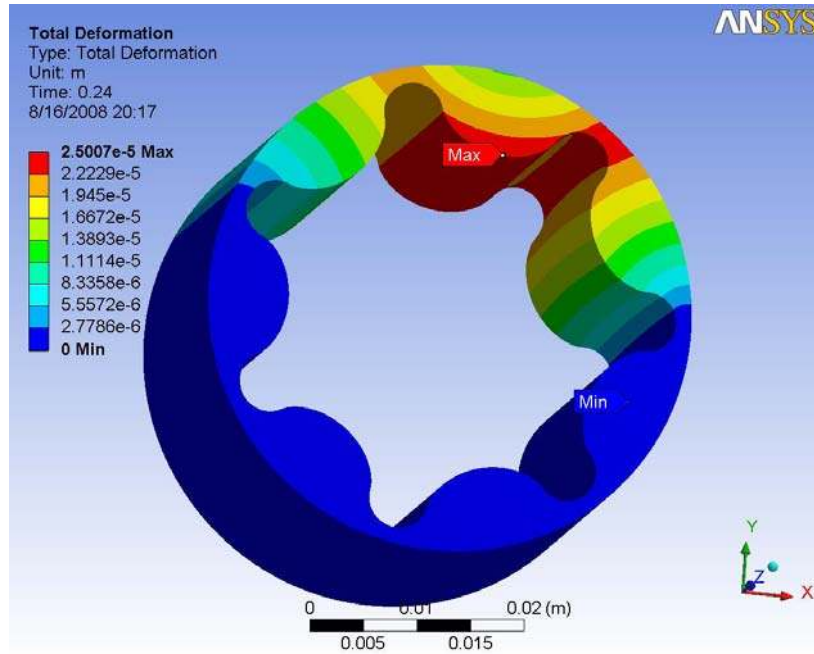
Şekil 8.18. Numune-5 toplam deformasyonu.



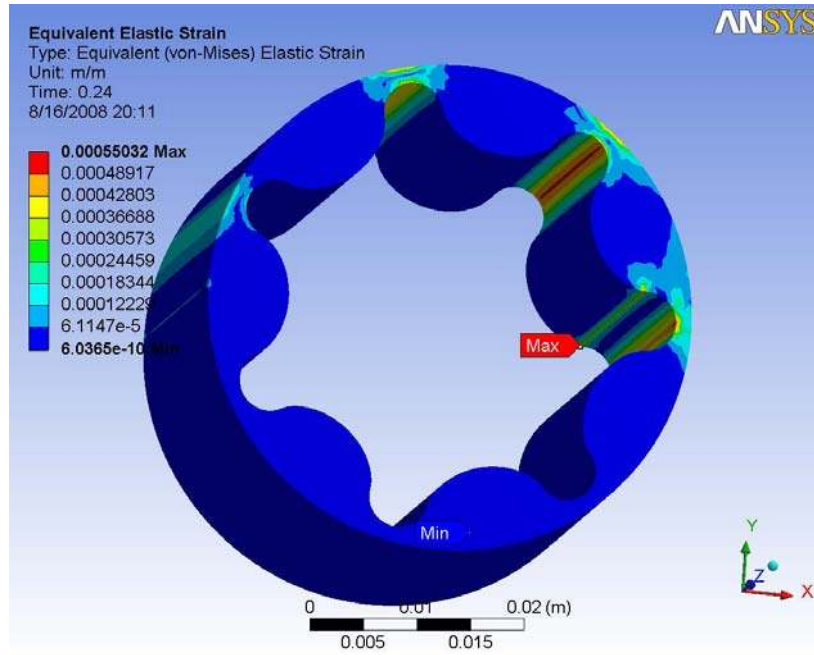
Şekil 8.19. Numune-6 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



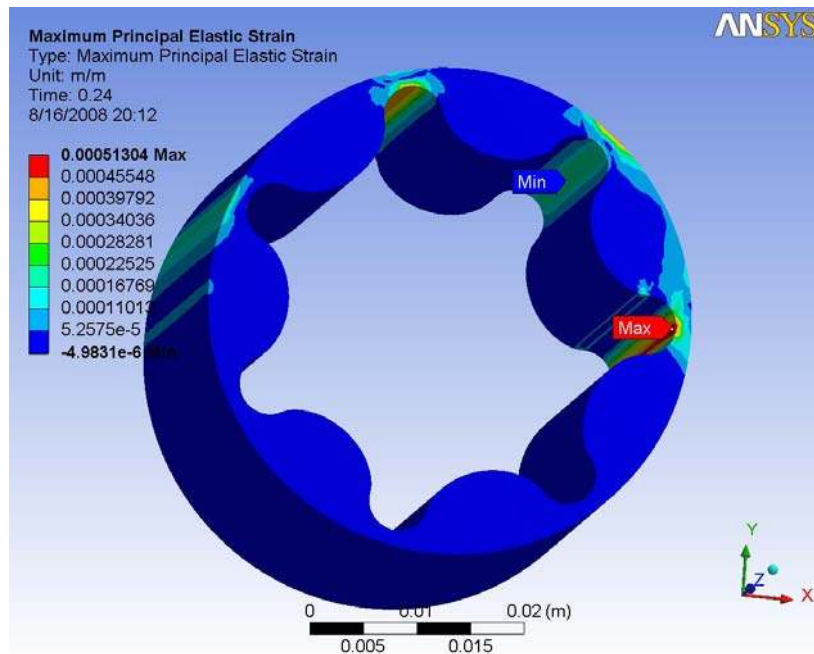
Şekil 8.20. Numune-6 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



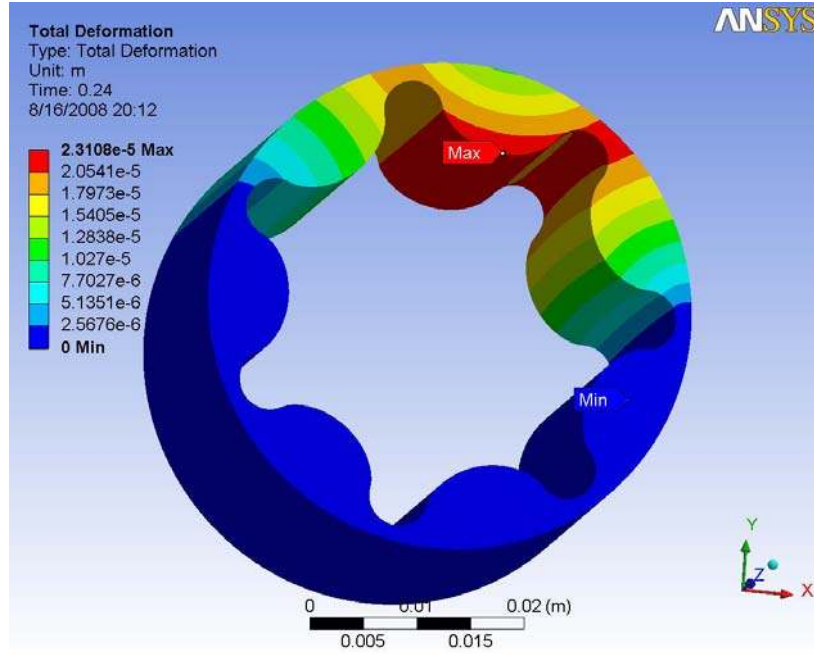
Şekil 8.21. Numune-6 toplam deformasyonu.



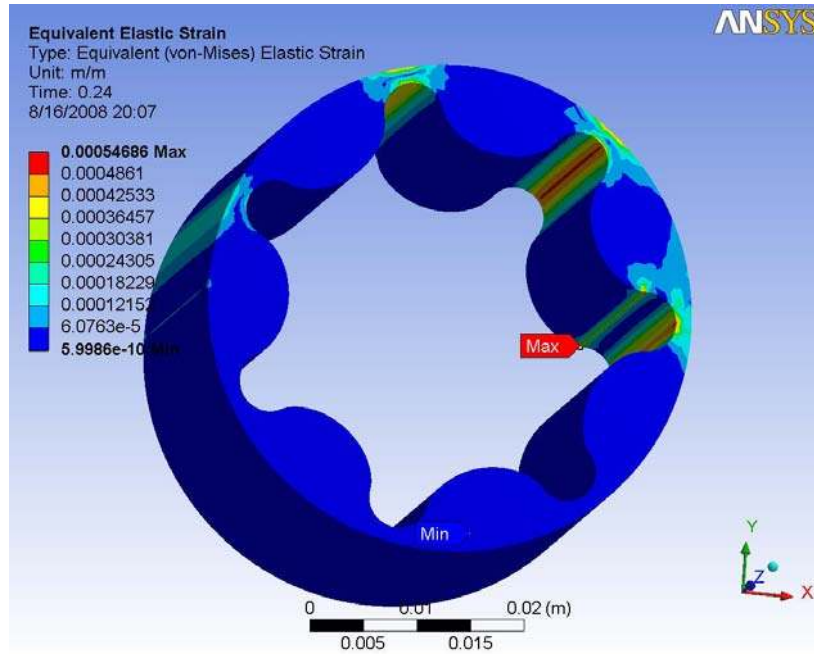
Şekil 8.22. Numune-7 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



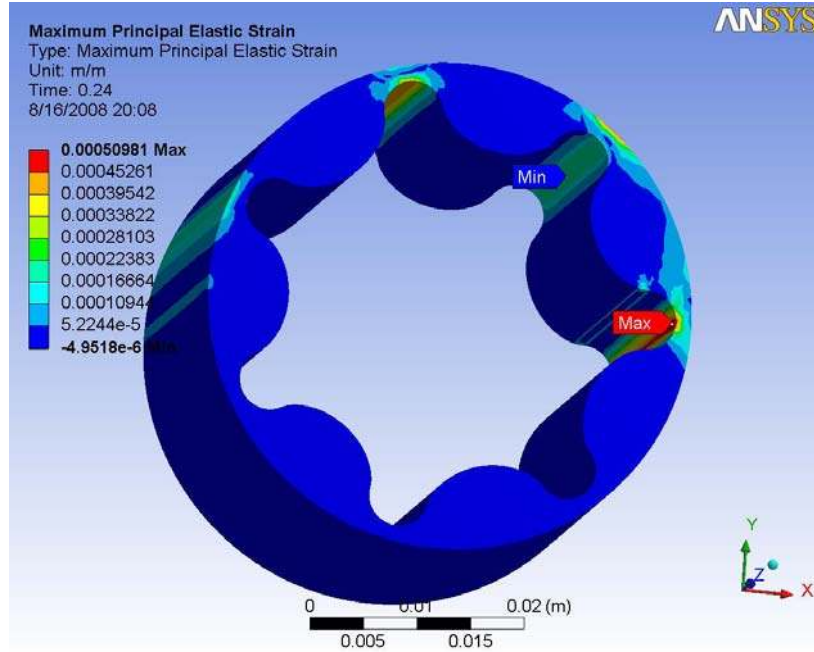
Şekil 8.23. Numune-7 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



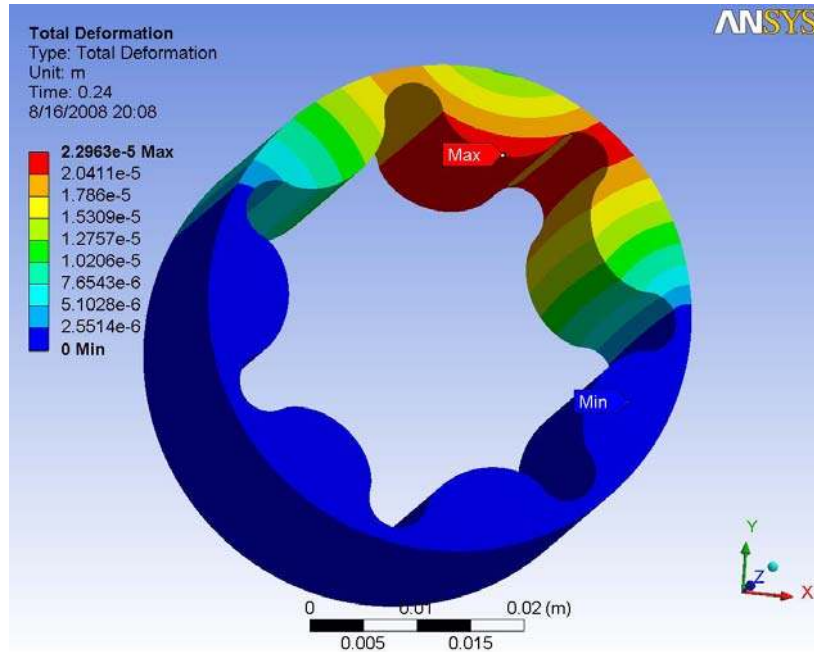
Şekil 8.24. Numune-7 toplam deformasyonu.



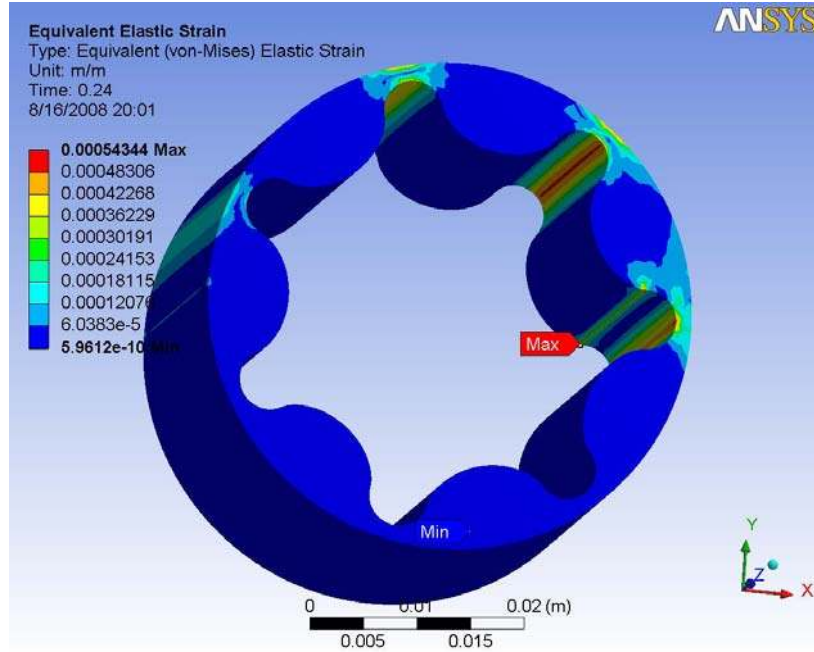
Şekil 8.25. Numune-8 von-Mises elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



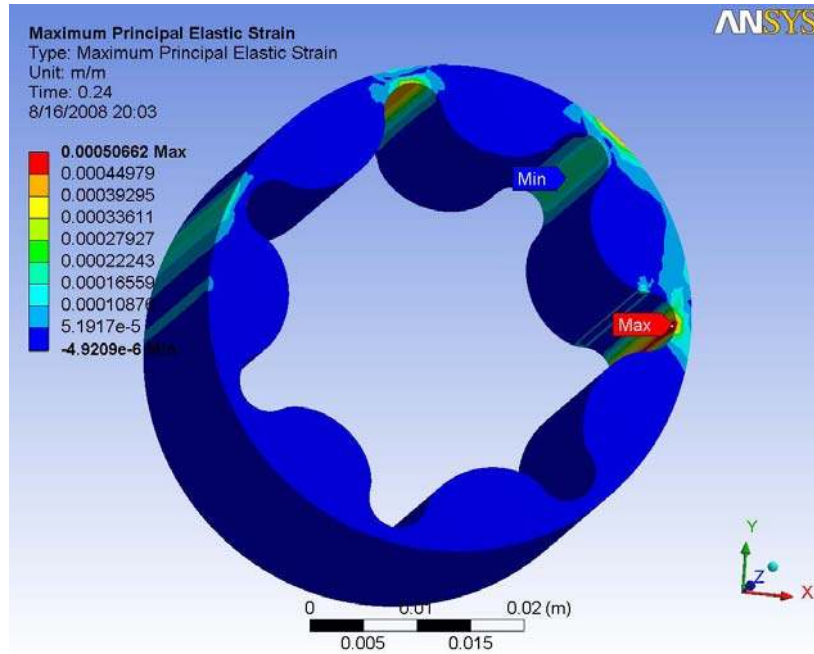
Şekil 8.26. Numune-8 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



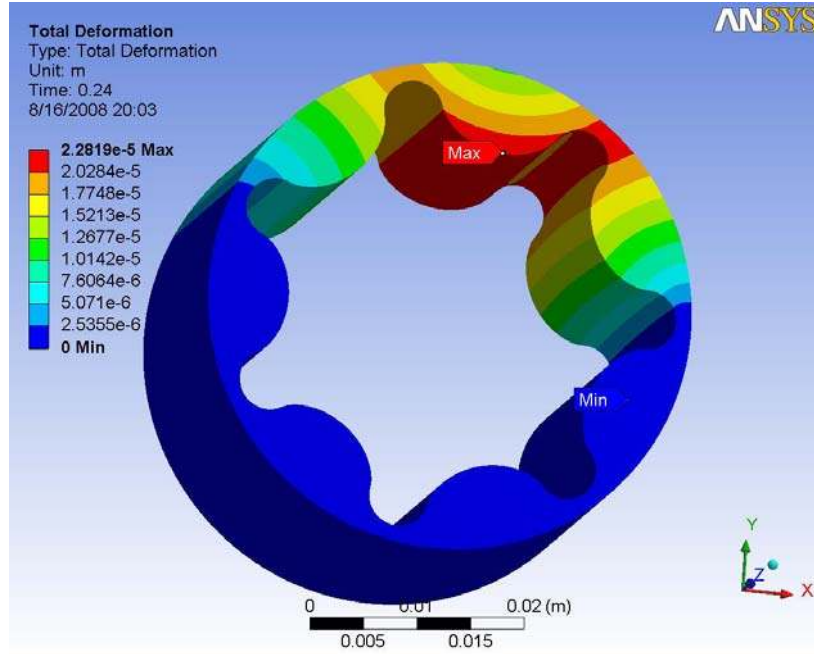
Şekil 8.27. Numune-8 toplam deformasyonu.



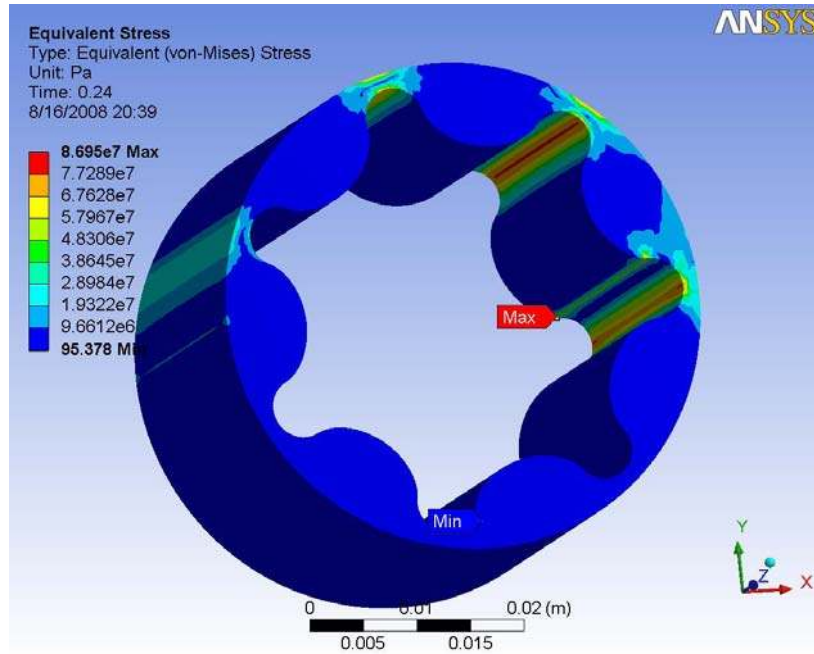
Şekil 8.28. Numune-9 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



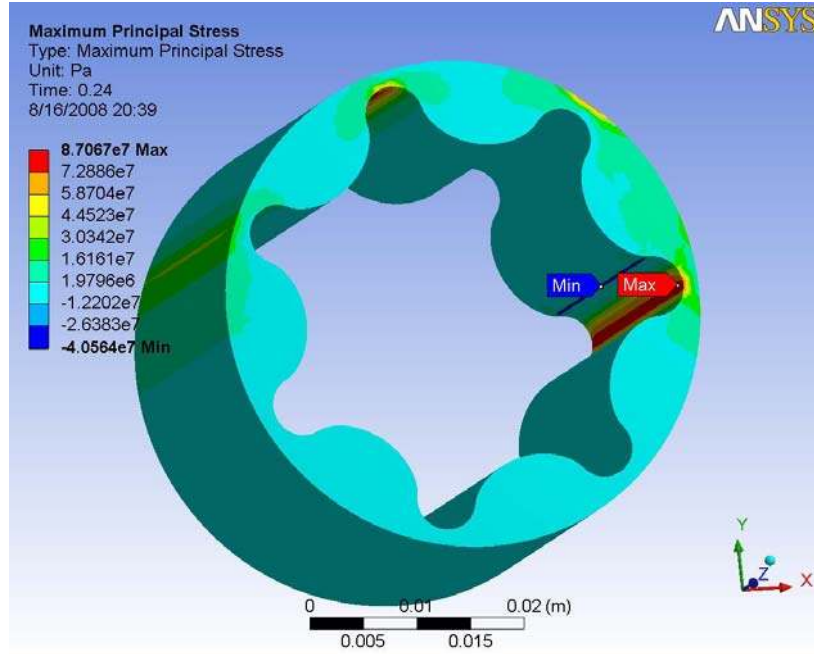
Şekil 8.29. Numune-9 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



Şekil 8.30. Numune-9 toplam deformasyonu.

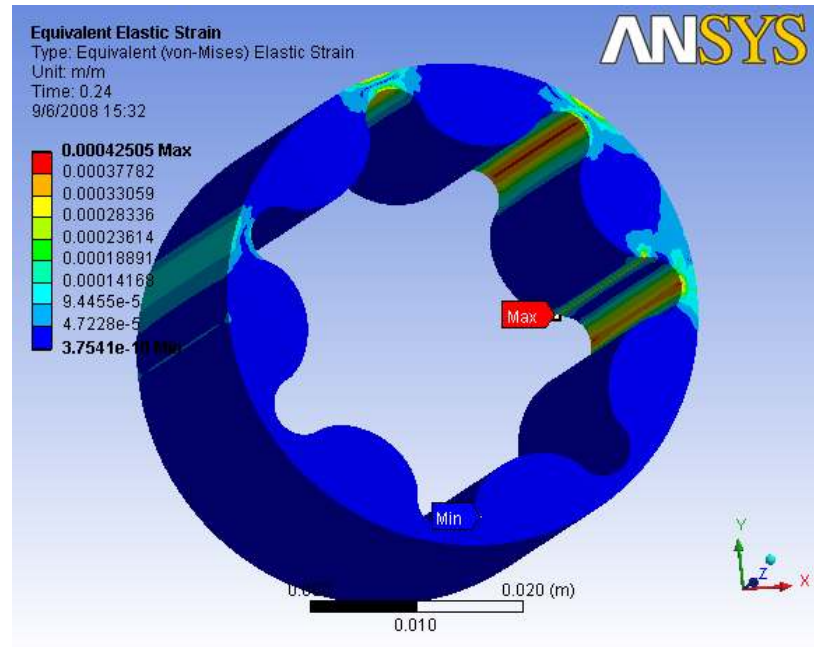


Şekil 8.31. Numune 1-9 von-Mises gerilme dağılımı.

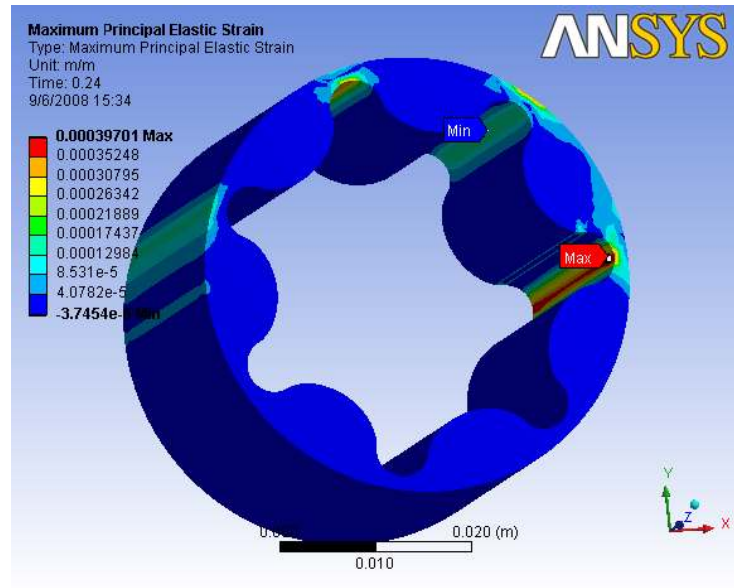


Şekil 8.32. Numune 1-9 maksimum gerilme dağılımı.

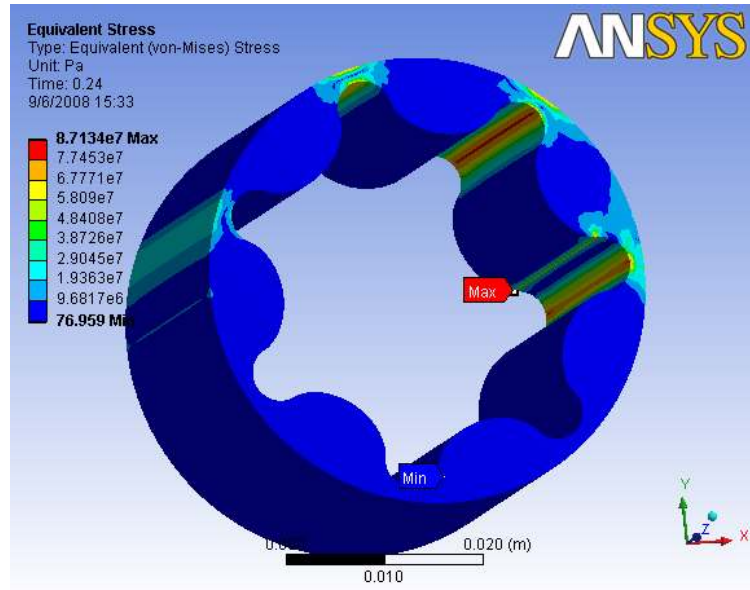
AISI 8620 için,



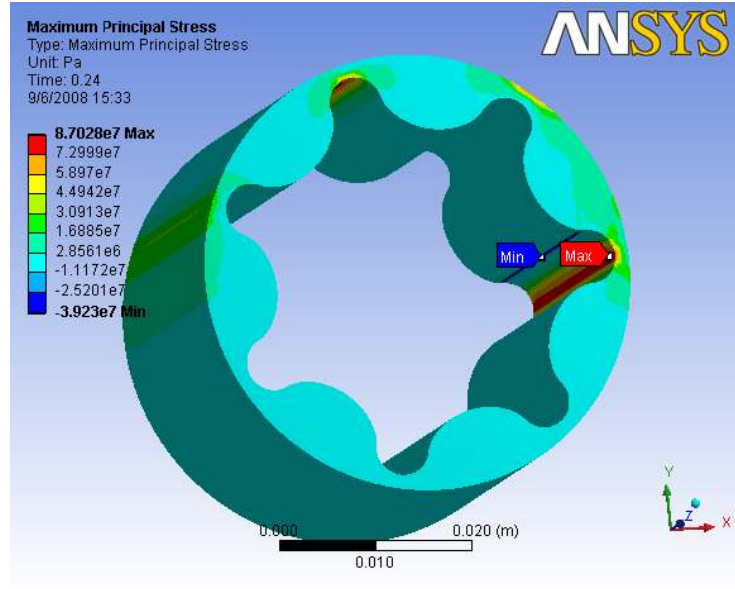
Şekil 8.33. AISI 8620 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



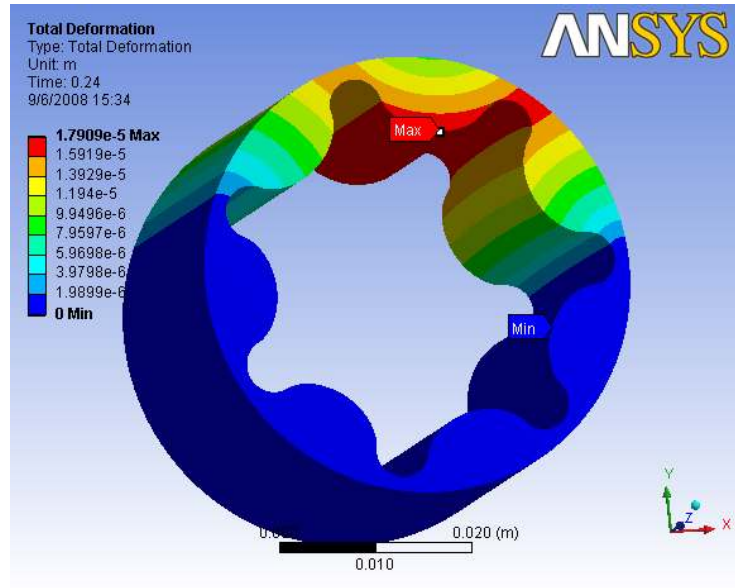
Şekil 8.34. AISI 8620 maksimum elastik birim şekil değıştirme dağılımı.



Şekil 8.35. AISI 8620 von-Mises gerilme dağılımı.

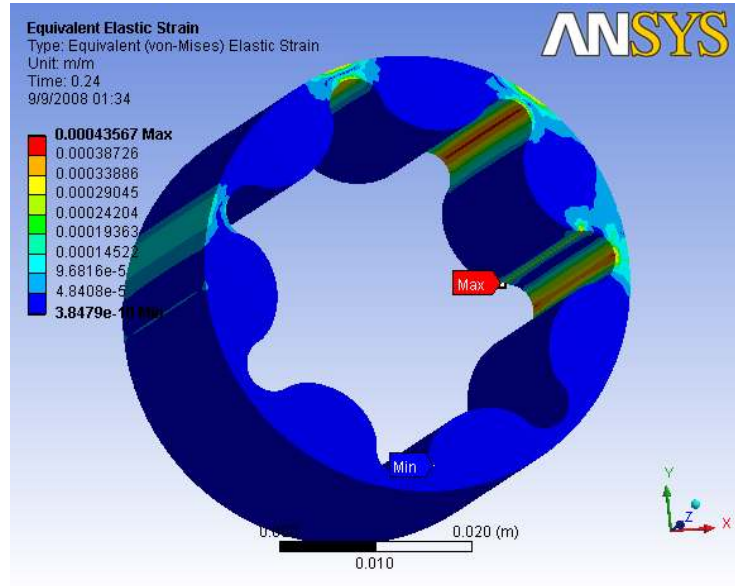


Şekil 8.36. AISI 8620 maksimum gerilme dağılımı.

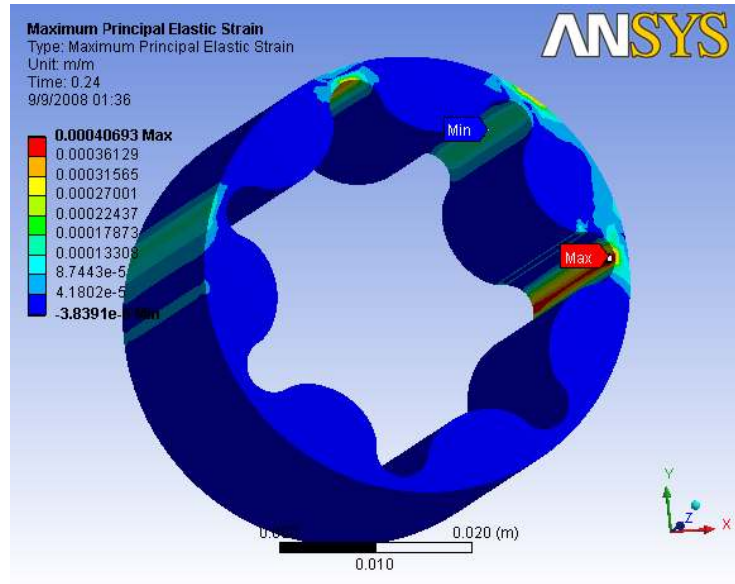


Şekil 8.37. AISI 8620 toplam deformasyonu.

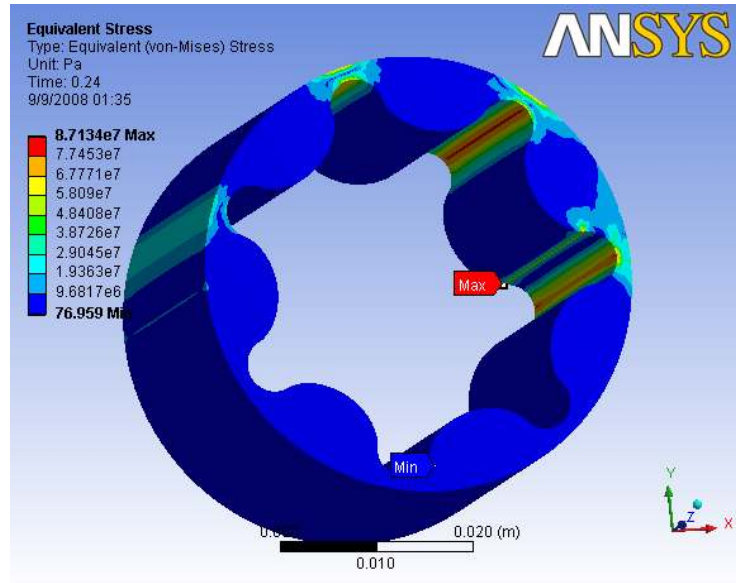
AISI 1064 için ise,



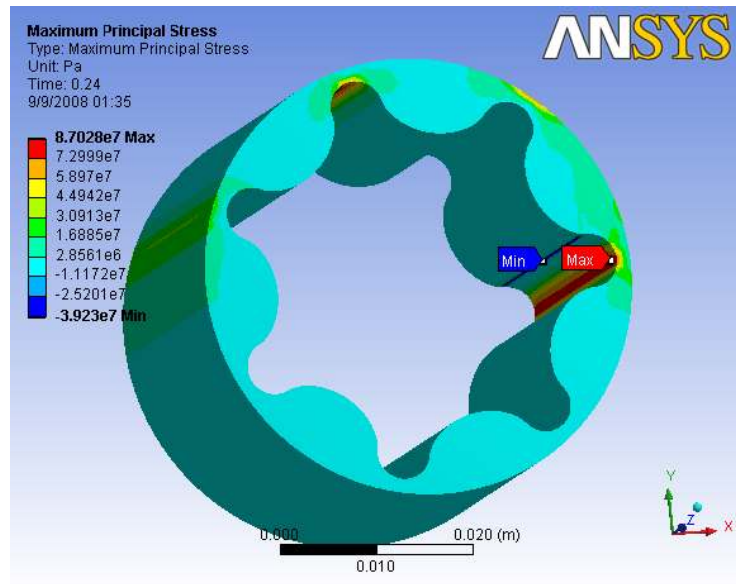
Şekil 8.38. AISI 1064 von-Mises elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



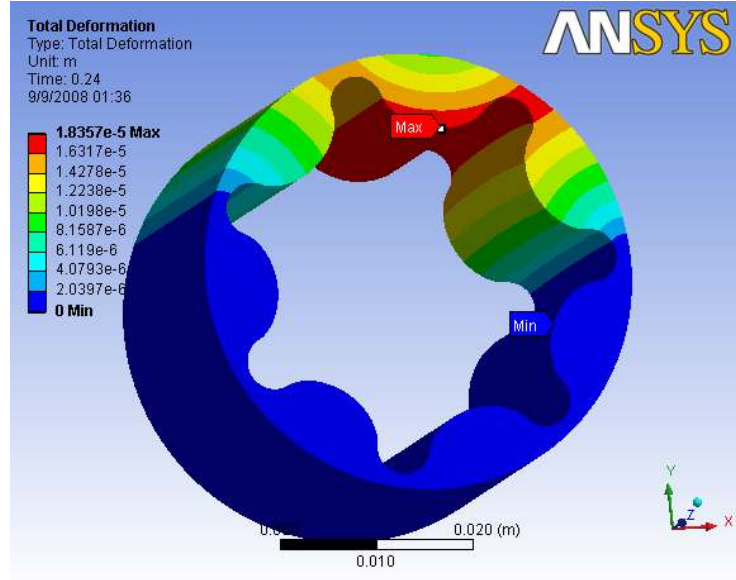
Şekil 8.39. AISI 1064 maksimum elastik birim şekil değiştirme dağılımı.



Şekil 8.40. AISI 1064 von-Mises gerilme dağılımı.



Şekil 8.41. AISI 1064 maksimum gerilme dağılımı.



Şekil 8.42. AISI 1064 toplam deformasyonu.

T/M malzeme ve çelikler karşılaştırıldığında, malzemenin nihai yoğunluğunun ve Young modülünün etkisi açıkça görülmektedir. Böylece, çeliklerde daha düşük birim şekil değiştirme ve hasar değerleri elde edilmiştir.

T/M malzeme kullanılan numuneler karşılaştırıldığında, yoğunluğu belirleyen parçacıklar arası ve parçacık içi gözeneklilik dikkatleri çekmektedir.

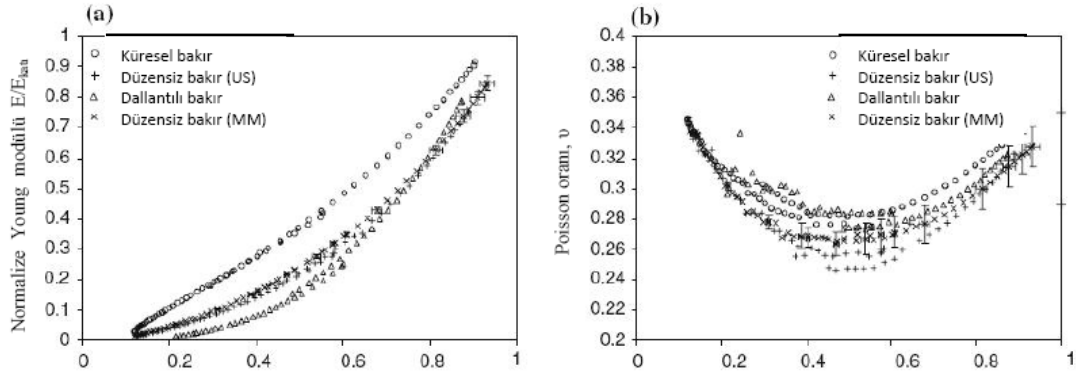
8.2. Tartışma

Üretici verileri kullanılarak ve analitik çalışma ile elde edilen sonuç, sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programı ile simüle edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırma amacıyla sunulmuştur.

Maksimum Hertz basıncına maruz kalan temas noktasından dişli gövdesine yayılan gerilme sonucu oluşan birim şekil değiştirme ve deformasyon, hataya sebep olan en önemli etkenlerdir. Bundan dolayı, sonuçlara bakıldığında görülen en büyük birim şekil değiştirme ve deformasyon (Şekil 8.1, 8.2 ve 8.3), numune-1 olarak adlandırılan en düşük sinterlenmiş yoğunluk ve en düşük sinterleme süresinde gerçekleşmiştir.

Sinterleme şartlarının yanı sıra, öncesindeki, metal tozunun sıkıştırılması işleminde bu çalışmada kullanılan verilerin oluşunu etkileyecek bulgular literatürde elde edilmiştir. Hentschel ve Page, sıkıştırma sırasında tozun elastik özelliklerini incelemişler, tüm tozlar için Young modülü monoton şekilde katı faza doğru artarken, gözenekliliğin sıfıra indiğini belirlemişlerdir. Farklı katı fazlara sahip tozların akma mekanizmaları (sünek ve gevrek), parçacık içi temas geometrisinde farklı gözeneklilik oluşumları üretmiştir. Parçacık şekli, Young modülünün oluşumunu etkilemiştir.[20]

Tüm tozlarda başlangıçta, azalan gözeneklilikle birlikte Poisson oranı da azalmıştır. Sıkıştırma aşamasının ortalarında katı faz özellikleri belirtmeye başladığında, gözeneklilik sıfıra yaklaşmıştır (Şekil 8.38). Yine parçacık şeklindeki değişiklikler ve katı faz akma mekanizması, gözeneklilikle birlikte Poisson oranının oluşumunu da etkilemiştir.



Şekil 8.43. Sıkıştırma sırasında parçacık şeklinin elastik modüle etkisi. (a) Normalize Young modülü. (b) Poisson oranı.[20]

9. GENEL SONUÇLAR

T/M malzemeden dişli üretimi sırasında tüm proseslerin denetim altında üretim yapıldığı farz edilirse; metal tozun homojen karıştırılması, içindeki yağ ve mum oranlarının belirlenmesi, kalıpta sıkıştırılması ve sinterleme işlemleri hatasız gerçekleştiğinde, dişli mukavemetini artırmak için sinterleme süresini ve yoğunluğu artırmak yeterli olacaktır. Sinterleme süresi

arttıkça metal tozu taneleri arasındaki boşluklar, tanelerin daha fazla erimesiyle azalacaktır ve mukavemete olumlu etki yapacaktır.

Ekonomik fayda düşünülerek; yoğunluğun artırılması daha fazla T/M malzemesi kullanmak ve sinterleme süresini uzatmak enerji tüketimini arttırmak anlamına geldiğinden, ürünün çalışma şartları göz önünde bulundurularak dizayn edilmesi ve gerçek çalışma şartlarında analiz yapıldıktan sonra üretilip, test edilmelidir.

T/M malzemelerinin ve özel diş profili eğrilerine sahip bu tür gerotor pompaların üretimi özel prosesler gerektirdiğinden konu üzerinde daha fazla çalışma yapılması ekonomik fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Zhang X.Q., Peng Y.H., Ruan X.Y., 2000. "Simulation and fracture prediction for sintered materials in upsetting by FEM," Journal of Materials Processing Technology, Vol:105: 253-257,
2. Niebel B.W., Draper A.B., Wysk R.A., 1989. "Modern Manufacturing Process Engineering," McGraw-Hill Book Company, New York,
3. Student Information, 2006. "Key Steps in PM Processing" APMI International, <http://www.mpif.org/apmi/doc4.htm>
4. Industrial Materials Institute, National Research Council Canada. "Powder Forming", 2005, www.imi.cnr-cnrc.gc.ca,
5. The Metal Powder Industries Federation (MPIF), "Introducing PM, Making Powders, 2008, <http://www.mpif.org/IntroPM/makepowder.asp?linkid=5>
6. "Metal Powder Industries Federation" Web Sitesi, "Student Information" Bölümü, 2008, http://www.mpif.org/apmi/index_frame.html,
7. Ersümer A.: "Toz Metalurjisi: Sert Metal Sinterleme,"İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1970,
8. Asthana R., Kumar A., Dahotre N.B., 2006. "Materials Science Manufacturing", Elsevier Academic Press, Boston,
9. KURT A.O., "Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme Ders Notları", Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak., 2006,
10. Mancò S., Nervegna N., Rundo M., Armenio G., Pachetti C., Trichilo R." Gerotor Lubricating Oil Pump For Ic Engines", SAE INTN'I FL98, 1998, San Francisco,
11. Marghitu D.B., 2001. "Mechanical Engineer's Handbook", Academic Press, San Diego, California,

12. Gamez-Montero P.J., Codina Macina E., "Fluid Dynamic Behaviour of an Internal Rotary Pump Generated by Trochoidal Profiles", Proc. of 1.st FPNI-PhD Symp., S: 33-47, 2000, Hamburg,
13. Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S., 2006, "Engineering Analysis with ANSYS Software", Butterworth-Heinemann, Burlington, Oxford,
14. Höganäs AB, 2006. "Typical Data, Distaloy AB" Iron and Steel Components for Sintered Components, s: 179, <http://www.hoganas.com/>,
15. Höganäs AB, 2006. "Distaloy AB + 0.5% C (various sintering temp.), Distaloy AB" Iron and Steel Components for Sintered Components, s: 185, <http://www.hoganas.com/>,
16. Gamez-Montero P.J., Castilla R., Khamashta M., Codina E., 2006. "Contact Problems of a Trochoidal-Gear Pump", International Journal of Mechanical Sciences, Vol: 48, S:1471–1480,
17. Paffoni B., Progri R., Gras R., 2004. "Teeth clearance effects upon pressure and film thickness in a trochoidal hydrostatic gear pump", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol: 218, Part G: J. Aerospace Engineering, S: 247-256
18. ASM Aerospace Specification Metals Inc., 2008. "ASM Material Data Sheet, AISI 8620", <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=M862AA>
19. Automation Creations, Inc., 2008. "MatWeb Material Property Data, AISI 1064", <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=6437bb6699f34da392ca59444b65ae7a&ckck=1>
20. Hentschel M. L., Page N.W., 2007. "Elastic properties of powders during compaction. Part 1: Pseudo-isotropic moduli", J. Mater Sci., Vol: 42, S:1261–1268.