

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE VİDA OVALAMA MERDANESİ
PROFİL TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Ertem AYGIN**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Program : MALZEME ve İMALAT

ŞUBAT 2005

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE VİDA OVALAMA MERDANESİ
PROFİL TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mak. Müh. Ertem AYGIN
(503021311)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Şubat 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2005**

**Tez Danışmanları : Doç. Dr. Haydar İVATYALI
Y. Doç. Dr. V. Emre ÖMÜRLÜ (Y.T.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Mehmet DEMİRKOL
Y. Doç. Dr. Mızafer ERTEN
Y. Doç. Dr. Mirat KAYAK (Y.T.Ü)**

ŞUBAT 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmaları sırasında bilgi birikimi ve tecrübesi ile bana yardımcı olan ve yol gösteren danışmanlarımda Doç. Dr. Haydar İVATYALI'ya ve Yrd. Doç. Dr. Vasfi Emre ÖMÜRLÜ'ye öncelikli olarak teşekkürü bir borç bilirim. Yardımları ve katkılarından dolayı Dr. Aydın KUNTAY'a, Yük. Mük. Müh. Ahmet KURT'a, Yük. Mük. Müh. Fahri COŞKUN'a, Mük. Müh. Mehmet Ali BİRTANE'ye ve tüm HİPAK A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca bana her zaman sonsuz güvenerek koşulsuz destek veren sevgili aileme teşekkür ederim.

Aralık 2004

Ertem AYGIN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Vı da Ovalama Prosesinin Tarihi ve Gelişimi	1
1.2. Tezin İçeriği	3
2. Vı DA OVALAMA TEKNOLOJİSİ	5
2.1. Giriş	5
2.2. Vı da Ovalama Yönteminin Avantajları	6
2.2.1. Fiziksel Özellikler	6
2.2.1.1 Çekme Dayanımı	6
2.2.1.2 Kesme Dayanımı	6
2.2.1.3 Yorulma Dayanımı	7
2.2.2. Boyutsal Hassaslık	8
2.2.2.1 Çap Hassaslığı	8
2.2.2.2 Dış Açısı ve Hat ve	9
2.2.2.3 Helisel Kaçıklık	9
2.2.2.4 Dairesellik	10
2.2.3. Tekrarlanabilirlik	10
2.2.4. Bitmiş Parça Yüzeyi	11
2.2.5. Malzeme Kazancı	12
2.2.6. Üretim Hızı ve Ekonomiklik	13
2.3. Vı da Ovalama Donanımı ve Takımları	14
2.3.1. Donanım	14
2.3.1.1 İleri-Geri Çalışan (Düz Takımlı) Tezgâhlar	14
2.3.1.2 Planet Takımlı Tezgâhlar	16
2.3.1.3 Silindirik Takımlı Tezgâhlar	17
2.3.2. Vı da Ovalama Takımları	20
2.3.2.1 Takım Ömrü	20
2.4. Vı da Ovalamada Proses Parametreleri	22
2.4.1. Malzeme Seçimi ve Vı da Geometrisinin Ovalama Yöntemi Üzerindeki Etkisi	22
2.4.2. Sertlik Değerinin Değişiminde İş Parçası Çapının Etkisi	26
2.4.3. Vı da Dış Profiliinin Ovalama Yöntemi Üzerindeki Etkisi	27
2.4.4. Vı da Ovalama Yönteminde Sürtünme Etkisi	29
2.4.5. Pekleşme Üstelinin Vı da Ovalama Yöntemine Etkisi	30
2.4.6. İş Parçası Çapının Vı da Ovalama Yöntemine Etkisi	32

3. UZUN VİDALARIN OVALAMA TEORİSİ	33
3.1. Planet Vda Ovalama Aparatı ile Ovalamanın Kinematik	34
3.2. Ovalama Prosesinin Modellenmesi	36
3.3. Profil Oğur na İşleminin Tersten Gerçekleştir me Prosedürü	38
3.3.1. $O_0 x_0 y_0 z_0$ Koordinat Sistemi nde Mırdane Üzerindeki Helisel Şekillendir me Yüzeyinin Parametrik Denklemi nin Hesabı	38
3.3.2. N_0 Normal Vektörünün Bileşenlerini Hesabı	39
3.3.3. Bağlı Hz Bileşenlerini Hesabı	39
3.3.4. Teğetsel Yüzeylerin Mısterek Pozisyonlarını Belirleyen Tasarım Parametrelerinin ve Kinematik Parametrelerini Hesabı	40
3.3.5. Ovalanan Dışların Eksenel Profillerini Hesabı	40
3.3.6. Ovalanarak Oğur ulmuş Vda Dışının Doğruluğunun Analizi	41
3.4. Direkt Ovalama Prosedürü	43
3.4.1. $O_1 x_1 y_1 z_1$ Koordinat Sistemi nde İş Parçası Helisel Düzlemi nin Parametrik Denklemi nin Kurul nası	43
3.4.2. N_1 Normal Vektörünün Parametrelerini Belirlenmesi	44
3.4.3. V_1 Bağlı Hız ının Parametrelerini Belirlenmesi	44
3.4.4. Teğetsel Yüzeylerin Mısterek Pozisyonlarını Belirleyen Tasarım Parametrelerini ve Kinematik Parametrelerini Belirlenmesi	45
3.4.5. Ovalama Mırdanesinin Eksenel Profili nin Belirlenmesi	45
3.4.6. Ovalama Sırasında Dışlar Üzerine Düşen Yüklerin Çözüm lenmesi	46
3.5. Ovalama Prosesinin Kuvvet Karakteristikleri	47
3.6. Radyal Kuvvetin Hesabı	51
3.7. Planet Ovalama Aparatı ile Ovalama Koşulları	52
4. AMAÇLAR VE YAKLAŞIM	54
4.1. Amaçlar	54
4.2. Yöntem	54
4.3. Sonlu Hemanlar Yöntemi ile Similasyon Yaklaşım	55
4.3.1. Düzlem Genleme Vda Ovalama Modellemesi nin Temelleri	55
4.3.2. Düzlem Genleme Modelinin Doğrulanması	57
4.3.3. Düzlem Genleme Modelinin Geliştiril mesi	59
4.3.4. Similasyonda Kullanılan Profil Yaklaşım	62
5. SİMÜLASYON SONUÇLARI	65
5.1. Similasyonlarda Profil Gelişimi	65
5.2. Birim Şekil Değıştir me Miktarları	68
5.3. Elde Edilen Profil Yüksekliklerini Karşılaştırılması	70
5.4. Similasyonlardan Elde Edilen Kuvvet Verilerini Değerlendirilmesi	72
5.5. Similasyon Sonrasında Oğur an Artık Gerilmeler	74
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	81

KI SALT MALAR

HRC	: Cskalası nda Rockwell sertlik derecesi
AI SI	: Amerikan Dem ir ve Çelik Enstitüsü
VSD	: Vickers Sertlik Değeri

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Vi daları n genel bitir me yüze yleri ni n karşı laştı rması	12
Tablo 2.2	Mâl ze me kazancı tabl osu	13
Tablo 2.3	Dene yleri n düzen len me sinde kulan ılan ko mbi nasyon lar	22
Tablo 2.4	Fark lı bat ma deri nli kleri nde el de edil en sertli k değ erleri ...	24
Tablo 3.1	Oval ayan profil in dön me sı rası nda geç ti ğ i nok ta koor di nat ları	38
Tablo 3.2	Plan et oval a ma apa rat ları ile tavs iye edil en oval a ma hız ları .	52
Tablo 3.3	Oval a ma t or ku M_g ' ni n teorik ve deneysel değ erleri	52
Tablo 4.1	Düz le m gen le me model inde kulan ılan te mel si mül asyon para met releri	62
Tablo 5.1	Si mül asyon lar da her bir tara ğ ın kade mel ere göre bat ma Deri nli kleri	65
Tablo 5.2	Si mül asyon lar son rası nda el de edil en di ş yük sekl ikl eri	71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Vıda ovalama işleminin basit gösterimi	5
Şekil 2.2 : Ovalanmış vıda ile talaşlı imal edilen vıdanın kesitleri	6
Şekil 2.3 : Ovalama ile imal edilmiş vıda dışı kesiti	7
Şekil 2.4 : Ovalanmış iş parçası çaplarının gösterimi	8
Şekil 2.5 : Dış açısının ve hatvenin gösterimi	9
Şekil 2.6 : Helisel kaçıklığın şematik gösterimi	10
Şekil 2.7 : Yuvarlaklığın şematik gösterimi	10
Şekil 2.8 : Ovalama yöntemi ile üretilen vıdalara örnekler	13
Şekil 2.9 : Düz ovalama takımı (Tarak)	15
Şekil 2.10 : İki tarak arasında ovalama işleminin şematik gösterimi	15
Şekil 2.11 : Planet vıda ovalama takımı	16
Şekil 2.12 : Planet takımının tezgâhlarının şematik gösterimi	17
Şekil 2.13 : İki merdaneli vıda ovalama tezgâhı	17
Şekil 2.14 : Üç merdaneli vıda ovalama tezgâhı	18
Şekil 2.15 : İki merdaneli silindirik ovalama tezgâhı	19
Şekil 2.16 : Üç merdaneli silindirik ovalama tezgâhı	19
Şekil 2.17 : Vıda ovalama yönteminde kullanılan silindirik takımın ara örnekler	20
Şekil 2.18 : 3/8 – 16 dış vıda için elde edilen dış yükseklikleri	23
Şekil 2.19 : 1/2 – 13 dış vıda için elde edilen dış yükseklikleri	23
Şekil 2.20 : 5/8 – 11 dış vıda için elde edilen dış yükseklikleri	24
Şekil 2.21 : 5/8 – 9 AISI 4037 numunesi için profil gelişimi	25
Şekil 2.22 : İş parçası çapı ile sertlik değerinin artışı arasındaki ilişki	26
Şekil 2.23 : Vıda dişlerinin geometrik şekilleri	27
Şekil 2.24 : 61 mm çapındaki iş parçasında inç başına 5 diş bulunduran ACME vıdası ovalandıktan sonra oluşan efektif genleşme alanları	28
Şekil 2.25 : 61 mm çapındaki iş parçasında inç başına 5 diş bulunduran standart vıda ovalandıktan sonra oluşan efektif genleşme alanları	28
Şekil 2.26 : Sürtünme değerlerinin efektif genleşme değerleri ve dış yüksekliği üzerindeki etkileri	29
Şekil 2.27 : Pekleşme üstelini efektif genleşme ve dış yüksekliği üzerindeki etkileri	31
Şekil 2.28 : Pekleşme üstelini değişimi ile vıda dışı profiliindeki değişimi	31
Şekil 3.1 : Planet vıda ovalama aparatı bileşenleri	33
Şekil 3.2 : Planet vıda ovalama aparatı	34

Şekil 3.3	: Hane vi da ovalama nı n ki ne matik şe naları	35
Şekil 3.4	: Ovalayan ve ovalanan dişi n ki ne matik şe nası	36
Şekil 3.5	: Te mas noktaları koor dinatları nı n belirlenmesinde kullanılan şe na	37
Şekil 3.6	: Ovalama merdanesi üzerindeki helisel şekillendirme yüzeyleri nı n para metrik denkle mi nı n belirlenmesinde kullanılan şe na	39
Şekil 3.7	: Ovalanmış dişi n gerçek ve teorik profilleri	41
Şekil 3.8	: V da ovalama proses parametrelerini n teorik vi da profili nı n naksi mu msapna oranları na etkisi	42
Şekil 3.9	: Parçanın Arşi met helisel yüzeylerine ait para metrik denkle mi n bul unması nda kullanılan şe na	44
Şekil 3.10	: Profiller (Hedef vi da profili, ovalama merdanesi profili)	46
Şekil 3.11	: Hane ovalama merdaneleri ile ovalama sırası nda ortaya çıkan kuvvetler	47
Şekil 3.12	: Hane vi da ovalamada merdaneleri n dönmesi ni n ayarlanması	48
Şekil 3.13	: Ovalama merdanesi ni n üzerindeki dişleri n batış şe nası	48
Şekil 3.14	: Te mas kuvvetleri ni n diyagram	49
Şekil 3.15	: V da ovalama proses parametrelerini n radyal kuvvet değerleri üzerindeki etkisi	51
Şekil 3.16	: Uzun vi daların üreti mşekli	53
Şekil 4.1	: Ovalanmış bir vi dada içyapıdaki tanecikleri n yönlenmesi	55
Şekil 4.2	: Ovalama sonrasında örnek iş parçası ndaki çizgileri n durumu	56
Şekil 4.3	: Sertlik ölçümleri sonucunda bulunan dağılı m	58
Şekil 4.4	: Sonlu elemanlar si mülasyonu sonucunda elde edilen sertlikler	58
Şekil 4.5	: Farklı batma derinliklerinde si mülasyonda elde edilen diş profilleri	59
Şekil 4.6	: Si mülasyonun modellenmesi nde başlangıç durumları	60
Şekil 4.7	: Şekillendirme dişlerine etki eden kuvvet değerleri	63
Şekil 4.8	: Dişleri n iş parçası na radyal batma şekli	63
Şekil 4.9	: Kalibrasyon aşaması nda gi derilmesi gereken küçük şekillendirme alanları	64
Şekil 5.1	: “Tasarım1” profili ile yapılan si mülasyonlarda profil gelişimi	66
Şekil 5.2	: “Tasarım2” profili ile yapılan si mülasyonlarda profil gelişimi	67
Şekil 5.3	: “Tasarım1” profili ile yapılan si mülasyonlarda profil gelişimi	68
Şekil 5.4	: “Tasarım1” si mülasyonu sonrasında elde edilen eşdeğer biri mşekil değıştir me dağılı m	69
Şekil 5.5	: “Tasarım2” si mülasyonu sonrasında elde edilen eşdeğer biri mşekil değıştir me dağılı m	69
Şekil 5.6	: “Tasarım3” si mülasyonu sonrasında elde edilen eşdeğer biri mşekil değıştir me dağılı m	70
Şekil 5.7	: Kullanılan tasarı mların profil dol durma oranları	71
Şekil 5.8	: Si mülasyonlar sırasında ol uşan hacim değışi mi	72
Şekil 5.9	: Dişlere etki eden ovalama kuvveti	73
Şekil 5.10	: Si mülasyonlar sırasında iş parçası üzerinde ol uşan en büyük eşdeğer geril me değerleri	73
Şekil 5.11	: Si mülasyonlarda iş parçası na etkiyen naksi mu m nor nal geril me değerleri	74
Şekil 5.12	: Ovalama si mülasyonu sonrasında diş profilinde ol uşan geril me dağılı m	75

Şekil 5.13 : Dış dâinde oluşan artık gerilme alanı	75
Şekil 6.1 : Sıvımlasyonların doğrulanması na yönelik olarak kullanılacak kalıp	78

SEMBOLLER

RA	Oval a $\bar{m}$ a sonrası parçanın sertlik değeri
RA	Oval a $\bar{m}$ a öncesi iş parçasının sertlik değeri
D	Oval a $\bar{m}$ a öncesi iş parçası çapı
m	Çizginin eğimi
A	Merkezler arası mesafe
d_1	Vi da diş di bi çapı
d_3	İş parçası çapı
d_2	Ovalanan dişin hat ve çapı
$d_{2,0}$	Oval a $\bar{m}$ a merdanelerinin hat ve çapı
d_{0i}	i numaralı oval a $\bar{m}$ a merdanesinin j numaralı dişinin dış çapı
d_{1i}	d_{0ij} çapındaki oval a $\bar{m}$ a merdanesi profili nden ovalanan vi da profili nin iç çapı
f	Temas alanlarının sürtünme katsayısı
f_{max}	Temas alanlarının maksimum sürtünme katsayısı
$i_{1,0}$	Oval a $\bar{m}$ a merdanesi ile iş parçasının çevresel hızlarının oranı
M	Oval a $\bar{m}$ a torku
m_1, m_2, m_3	m_1, m_2, m_3 matrislerinin türevleri
n	Vi da üzerindeki diş sayısı
n_0	Oval a $\bar{m}$ a merdanesi üzerindeki diş sayısı
O_{xyz}	Sabitlenmiş koordinat sistemi
$O_0 x_0 y_0 z_0$	Oval a $\bar{m}$ a merdanesi ile iliştilirilmiş koordinat sistemi
$O_1 x_1 y_1 z_1$	Koordinat sisteminin başlangıç pozisyonu
$O_1 x_1 y_1 z_1$	İş parçası ile iliştilirilmiş koordinat sistemi
P	Vi da hat vesi
P_0	Oval a $\bar{m}$ a merdanesi hat vesi
P_t	Oval a $\bar{m}$ a prosesi nin teğetsel kuvveti
P_r	Oval a $\bar{m}$ a prosesi nin radyal kuvveti
P_{ri}	Her bir oval a $\bar{m}$ a merdanesine etkiyen radyal kuvvet
P_s	Özgöl radyal kuvvet
P_w	Oval a $\bar{m}$ a gücü
$P_{s_{ij}}$	i numaralı oval a $\bar{m}$ a merdanesinin j numaralı dişi tarafından oluşturulan radyal kuvvet
S_1	Oval a $\bar{m}$ a merdanesinin bir dönüşüne karşılık iş parçasının eksenel ilerlemesi
S_1'	μ açısına bağlı olarak iş parçasının eksenel ilerlemesi
S_1''	$(\psi - \psi_0)$ farkına bağlı olarak iş parçasının eksenel ilerlemesi
$\vec{S}$	S_1 vektörünün türevi
$\vec{V}$	Bağıl hız vektörü
$x_0 y_0 z_0$	M_0 temas noktasının $O_1 x_1 y_1 z_1$ koordinat sistemindeki bileşenleri
$x_1 y_1 z_1$	M_k temas noktasının $O_0 x_0 y_0 z_0$ koordinat sistemindeki bileşenleri
Δ	Teorik profile kıyasla oval a $\bar{m}$ a merdanesi profilindeki sapma
$\Delta\psi$	ψ ve ψ_0 açıları arasındaki fark

Δr_0	Ovalayan dişinin radyal batma miktarı
Δr_i	i numaralı dişinin radyal batma miktarı
γ_0	Oz ₀ eksenini ile ovalama merdanesinin helisel yüzeyini oluşturan çizgi arasındaki açı
γ_1	Oz ₁ eksenini ile ovalama merdanesinin helisel yüzeyini oluşturan çizgi arasındaki açı
μ	Ovalama merdanesi ekseninin, iş parçası eksenine göre döndürülme açısı
ϕ_0	Ovalama merdanesi helisel yüzeyinin anlık açısı
ϕ_1	İş parçası helisel yüzeyinin anlık parametresi
ρ_0	Ovalama merdanesi helisel yüzeyinin anlık yarıçapı
ρ_1	İş parçası helisel yüzeyinin anlık parametresi
ϕ_0	Ovalama merdanesinin anlık dönme açısı
ϕ_1	İş parçasının anlık dönme açısı
σ_B	Ovalanacak malzemenin normal koşullardaki çekme dayanımı
σ_s	Ovalanacak malzemenin akma dayanımı
ψ	Ovalanacak vida profilinin helis açısı
ψ_0	Ovalama merdanesi üzerindeki profilin helis açısı
ψ_x	Ovalama sırasında deformasyonun derecesi
ψ_y	Kesitin bağıl büzülme miktarı
ω	Ovalanan iş parçasının açısal hızı
ω_0	Ovalama merdanesinin açısal hızı
σ	Gerçek gerilme miktarı
ε	Gerçek birimşekil değiştirme miktarı
b	Birimli z katsayı
x	Meyer endeksi

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE VİDA OVALAMA MERDANESİ PROFİL TASARIMI

ÖZET

Vi da ovalama işlemi tarihi yüz seneyi geçkin bir teknoloji dir. Bugünkü küresel rekabet ortamında sanayi ürünlerinin kalite beklentisinin sürekli artması sonucunda gerek tasarım gerekse üretim aşamasında eski veya yürürlükte olan ovalama yöntemlerinin gözden geçirilmesi, yeni takım profil yaklaşımları geliştirilmesi ve yeni malzeme, bilgisayar ve kontrol teknolojilerinin uygulanması zorunludur. Prosesin geliştirilmesi açısından kullanılan takımların profillerinin, takım ömrünü artırmak amacıyla, yeniden tasarlanması bu gelişimi hızlandıracaktır. Dolayısıyla, hesaplama metodolojisiinde yardımcı olabilecektüm modern ekipmanları kullanarak, kuvvet dağılımı, ovalama merdanesinin ana şekillendirme dişlerinde homojen hale getirilip maksimum yükün azaltılması ve toplam yükün dişlere eşit olarak dağıtılması ile takımın yorulma ömrünün artırılması mümkündür. Bu çalışmada, bu amaçla, mevcut ovalama merdanesi profil tasarımı ile, yeni analitik yöntemlere dayalı profil tasarımı ve alternatif bir tasarım marasında analitik ve sonlu elemanlar yöntemi tabanlı bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir.

Geleneksel vi da ovalama takımlarının tasarımlarında ovalama merdanesi ana şekillendirme kısmında bulunan son kademeye dişi üzerine, diğer dişlere oranla oldukça fazla kuvvet binmektedir. Bu durum ovalama takım dişlerinde kuvvetin homojen olmadığı anlamına gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, vi da ovalama merdanelerinin profil tasarımı geliştirerek uzun vidaalı millerin ovalanmasında daha uzun takım ömrü sağlamaktır. Ovalayan dişlere etkiyen kuvvetin homojen olarak dağılmasını sağlamak amacıyla, iki boyutlu kayma çizgisi alan metodu kullanılmış ve her bir ovalayan dişe etkiyen toplam kuvvet hesaplanmıştır. Endüstriyel tecrübeye ve analiz sonuçlarına dayanan yeni bir ovalama merdanesi profili üzerinde durulmuş ve ovalama merdanesi profil tasarımı, 4.233 mm (6diş/inç) sabit hat ve sahip uzun trapez vidaalı mili ovalayacak şekilde yenilenmiştir. Kullanılan yöntemin etkililiği, diş başına etkiyen toplam yük ve ovalama takım üzerindeki basınç dağılımları, düzlem genleşme varsayımı çerçevesinde elastik-plastik malzeme modeliyle iki boyutlu statik-kinematik sonlu elemanlar simülasyonlarıyla doğrulanmıştır.

DESIGN OF THREAD ROLLING DIES USING FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

Thread rolling is a process used for more than one hundred years. Because of global industrial competition, the quality expectations from the products are increasing steadily. Due to this condition, it is becoming more important to revise old or current thread rolling die profile designs and production procedures by using new methods, materials, and computer control technologies. It's possible to distribute the total thread rolling force equally to every single rolling thread homogeneously, consequently reducing the total force, and finally improving the total life of thread rolling dies by analytical and computerized numerical methods. In this study, a comparison is studied comparing conventional thread rolling die profile design with a thread rolling die profile design determined by a new analytical method and an alternative profile design by using analytical and finite element methods.

Conventional thread rolling tool profile designs result in concentration of relatively high loads on the last forming thread of the tool, meaning non-homogeneous pressure distribution over the forming surface. The goal of this study is to optimize the roller forming profiles used during the long screw thread rolling process for improved tool life. To obtain an approximately homogeneous distribution of loads over the forming roll threads, a 2-D slip-line field model for multiple indenters was employed to calculate the total load on each roller thread individually. Based on industrial experience and the analysis results, new thread-forming sequences and roll profiles were developed for forming long screws with single pitch trapezoidal (lead screw) thread with a pitch length of 4.233 mm. The effectiveness of these sequences was verified comparing individual load and pressure distributions over the roller profile calculated by finite element simulations using elastic-plastic material model and 2-D plane strain solid elements.

1. GİRİŞ

1.1. Vi da Ovalama Prosesi nin Tarihi ve Gelişimi

Vi da ovalama teknolojisinin yaygın olarak tanınması oldukça yeni bir gelişme olmasına rağmen, yöntemin kendisi yeni değildir. Kayıtlara bakılacak olursa, ilk olarak 19. yy. başlarında uygulanmaya başlanmıştır. ABD patent ofisinin kayıtları, bu yöntemin gelişimi için pek çok insanın çaba sarf ettiği ve yöntemin temellerinin yaklaşık yüz yıl önce bilindiğini göstermektedir. Yine de, yaklaşık olarak 1880 yılına kadar düzenli olarak kullanılmamış olup, 1940'ların başından itibaren kullanımı neredeye sadece vi da endüstrisi ile sınırlı bırakılarak kullanılmaya başlanmıştır [13].

Endüstrinin ovalama yöntemini kabul etmesindeki yavaşlığı açıklamak biraz zor bir durumdur. Bu durum büyük ihtimalle, daha eski işlemler olan broşlama ve honlama işlemlerinin geliştirilmesinin gecikmesine benzer şekilde, endüstrideki tutucu yaklaşımı yüzünden ortaya çıkmıştır. Buna ilaveten, ilk zamanlarda kaliteli vi da malzemelerinin ve mukavim malat takımlarının bulunmamasının da bu yavaş ilerlemede payı vardır.

Kabul edilmedir ki, ovalama yöntemiyle imal edilmiş ilk vidalar çok kalitesiz ürünlerdi. Ağırlıklı olarak kullanılan dövme demir ve Bessemer çeliğinden dolayı ürünler zayıf ve güvenilirmez durumdaydılar. Çalışma şartlarında kırılmaya yatkındılar ve ovalama sırasında da çatlaklar oluşabiliyordu. İş parçasını ve ovalama takımlarını kontrol etmekte zorluklardan dolayı çapta ve yuvarlaklıkta büyük değişkenlik gösteriyorlardı. Hassas vi da ovalama takım ve kalıplarının elde edilmesi için güçlüklere rağmen, dış formları ve hatveleri güvenilir değildi ve ovalama makineleri hassas ayarlama yapmaya olanak vermeyecek kadar esnek ve hafifti.

Ne yazık ki, bu yaşananlar sonrasında, endüstriyel piyasa, daha iyi kalitede ürünler elde ettikleri talaşlı işlenmiş vidaları birinci sınıf sayarak, ovalama yöntemi ile üretilmiş kalitesiz vidaları kaliteli olanlardan ayırt etmek için “ovalanmış vi da” etiketini vurdular. Bu noktadan sonra uzunca bir süre “ovalanmış vi da” teriminin

insanların aklında kalitesiz ve güvenilir olmayan ürünleri çağrıştırması da kaçınılmaz oldu. İlk zamanlarda karşılaşılan tüm bu olumsuzluklara rağmen, ovalama yöntemi üretimde kullanılmaya devam edildi. Mükemmel soğuk şekillendirme özelliklerine sahip yüksek dayanımlı açık fırın çeliklerinin geliştirilmesi ile birlikte zayıf profil ve çatlak hataları pratikte ortadan kaldırıldı. Ekstrüzyon işlemi ile iş parçasının boyutunda tel ve çubuk elde edilebilmesi 1920'li yıllarda geliştirildikten sonra, dış dişi ve dış üstü çapı değişkenlik göstermeyen ekonomik vida üretimine başlandı. Tel çekme ve ekstrüzyon kalıplarında, 1930'lu yıllarda, volfram karbürün kullanımı yaygınlaştıktan sonra iş parçası çaplarının ve daireselliklerinin dar toleranslar çerçevesinde üretilebilmesi mümkün kılındı.

Bu gelişmelerin akabinde, vida ovalama tezgâhları daha ağır, rijit ve daha dayanıklı yapılmaya, vida ovalama takımları vida kalitesi açısından kılavuzlarının hassasiyeti ile karşılaştırılabilecek kadar hassas üretilmeye ve kullanımtekniklerini sürekli geliştirilmesine başlandı.

Tüm bu gelişmelerinişiğında, ilki mal edilen vidalara atfedilmiş tüm kusurların üstesinden gelinerek, uygun malzemeler, aparatlar ve imalat teknikleri kullanılarak soğuk şekillendirmenin ürünlerin dayanımını artırdığı saptanmış, 1930'lu yılların sonlarına doğru, tüm vida imalat endüstrisi tarafından yüksek kaliteli vidaların üretiminde tercih edilen yöntem olarak kabul edilmiştir.

İlginç olan şudur ki, tüm bu çalışmalar devam ederken, imalatçılar ovalama yöntemi ile ürettikleri hassas vidaları "talaşlı imal edilmiş" vida olarak etiketlendirmeye devam ettiler. Bunun nedeni, ovalanmış vidaların kalitesizliğinin, bilgilendirilmiş alıcı ve mühendisler haricinde insanların aklına yerleşmiş olmasıdır. İkinci Dünya Savaşı ile birlikte, havacılık endüstrisi için üretilen vidalar, şüpheli bir tavır içinde olan insanlara ovalama işleminin gerçek değerini kesin olarak ispat etmiştir.

1940'lı yılların başında ticari olarak kullanılan tek ovalama tezgâhı tipi olan düz taraklı, ileri geri hareket ederek çalışan model, 1 inç çapına kadar olan vida ve civataların yüksek hızla imalatına göre geliştirilmiş olup, bunlar haricindeki parçaların ovalanmasında sınırlı olarak kullanılıyordu.

Hassas vidaların elde edilmesinde ve ovalama işleminin tüm bileşenlerde uygulanmasını kolaylaştırmada kolaylık sağlama amacıyla silindirik kalıplı (vals, merdane, top veya takım) tezgâhlar geliştirilmiştir. Bu tip tezgâhlar ovalanmış vida ve parça çeşitliliğini oldukça genişletmiştir.

Şu anda otomatik vida makinalarında ovalama işlemi, sorunsuz hassas vidaların yüksek miktarlarda üretiminde standart ekonomik yöntem olarak kabul edilmiştir. Bu kabulün yapılmasında, yeni vida ovalama takım kalıp ve aparatlarının geliştirilmesi de katkısı vardır.

Vida ovalama işlemi ve ovalama aparatları üzerindeki gelişmelerin henüz tamamen bittiği kabul edilemez. Bilakis, günümüzde, yöntem hakkında şimdiye kadar görülenden çok daha fazla çalışma sürdürülmektedir. Yeni tip makinalar ve aparatlar sürekli geliştirilmekte olup, yöntem her gün hızını, hassasiyetini, homojenliğini ve dayanıklılığını artıran yeni uygulamalarla imalat maliyetini düşürerek daha kaliteli ovalanmış parçalar üretilmeye devam edilmektedir.

1.2 Tezin İçeriği

Ovalama yöntemi ile vida üretiminde ovalama takım ve kalıplarının tasarımı en önemli aşamalardan biridir. Ovalama merdanesi üzerinde bulunan, şekillendirme yapacak profillerin her birine etki eden kuvvetin, eşitlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu işleme ait parametrelerin belirlenmesi, ilgili deneysel çalışmaların yapılması ve sürecin bilgisayar ortamında simüle edilmesi hesaplamaların endüstriyel bir hal alabilmesi için öncelikli olarak gerçekleştirilmesi gereken aşamalardır.

Bu çalışmanın amacı, literatürde daha önce bu konuda yapılan çalışmalar da referans alarak işlemlerde etkin parametreleri belirlemek ve simülasyon çalışmaları ile işlemin, tasarımın etkinliğini ve sınırlarını incelemektir. Bu simülasyonlardan elde edilen değerler daha önceden gerçekleştirilmiş çalışmalara ait verilerle karşılaştırılarak kontrollü bir geçerlilik araştırması gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu noktada işleme ait parametreler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Dış formunun etkisi,
- Sürtünme katsayısının etkisi,
- Pekleşme üstelini etkisi,
- Dış başına etki eden kuvvetin etkisi,
- Sıcaklık,
- Ovalama hızı,
- Malzeme.

Yukarıda belirtilen temel işlem parametreleri ve bunlara ek olarak özellikle ovalama yöntemi ile vida üretiminde geometriye, takım geometrisi ve özelliklerine, iş parçası geometrisi ve özelliklerine bağlı pek çok etken ürün özelliklerinin işlemden önce öngörülmesini zorlaştırır. İleriki bölümlerde, vida ovalama işleminde etkin parametreler ve imalat sürecinde hassasiyetin artırılmasına yönelik kullanılan deneyler ve sonuçları hakkında bilgiler bulunacaktır.

Bölüm 2’de vida ovalama teknolojisi ile ilgili bilgiler verilmiş, işletim yönleri ile tanıtılma çalışılmıştır. Ovalama yönteminin diğer rakip yöntemlerle karşılaştırması yapılarak avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Proses parametreleri açıklanarak tanıtılma çalışılmıştır.

Bölüm 3’te vida ovalama yönteminin analitik modellenmesi açıklanmıştır. Profil tasarımının geliştirilmesi amacı ile kullanılan hesaplamalar özetlenmiş ve şematik olarak gösterilmiştir.

Bölüm 4’te tez amaçları ve benimsenen yaklaşımdan söz edilmiştir. Simülasyonun aşamaları, parametrelerin yöntemin gerçekleştirilmesi üzerindeki etkisinin tespiti ve simülasyonların nasıl yapıldığı hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 5’te simülasyon çalışmasının sonuçları ortaya konmuştur. Ovalama merdanesi profil tasarımının dış başına düşen kuvvet, iş parçasına etkiyen kuvvet, işlemin sonunda kalıntı gerilme, ovalanan vidanın sertlik değerleri gibi ilgilenecek vidaların özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

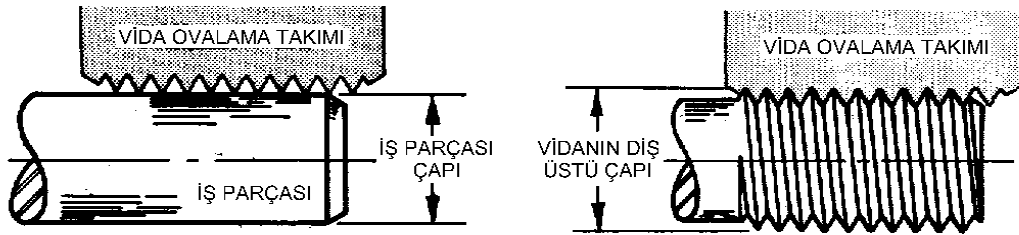
Bölüm 6’da gerek doküman, gerekse simülasyon çalışmaları sonucunda, vida ovalama merdanesi tasarımının nelere dikkat edilerek yapılması gerektiği konusunda ve yapılabilecek iyileştirme çalışmaları hakkında varılan sonuçlar ve öneriler belirtilmiştir.

2 Vİ DA OVALAMA TEKNOLOJİSİ

2.1 Giriş

Vı da ovalama işlemini neredeyse tamamen dış vı da dişlerine uygulanan bir soğuk şekillendirme yöntemidir. Soğuk şekillendirme olarak ifade edilmesinin en büyük nedeni ovalama işinin genellikle oda sıcaklığındaki iş parçaları üzerinde yapılmasıdır. Yine de bazı uygulamalarda iş parçasının ısıtılması daha avantajlı olabilir. Vı da ovalama yöntemi günümüzde birçok sanayi kol u tarafından düzgün, hassas ve mükemmel mekanik özellikleri olan vı daları ni malatında kabul edilmiş bir yöntemdir.

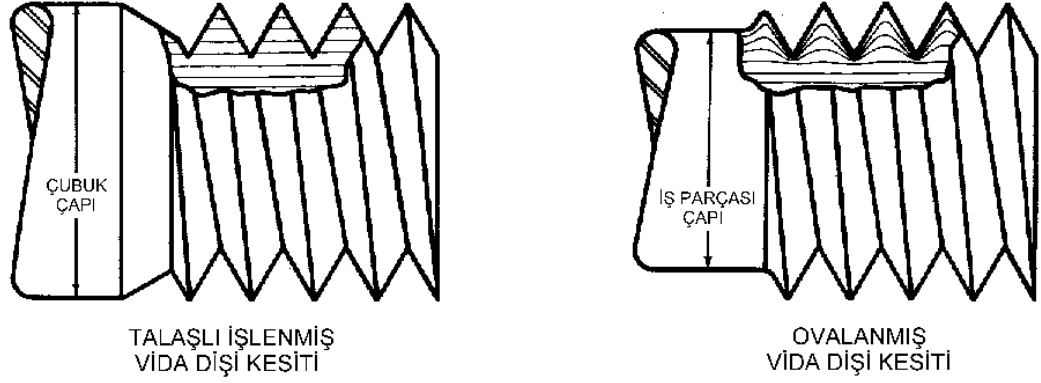
Vı daların ovalanmasında sertleştirilmiş soğuk iş çeliğinden yapılmış merdaneler kullanılır. Vı danın ovalanması, vı da ovalama merdanelerinin üzerinde bulunan profilleri, düz silindirik bir iş parçasının çevresi boyunca bastırılarak gerçekleştirilir. İş parçasının yüzeyi, merdanelerin yüzeylerinde dönerek ilerlediği süre içerisinde, vı da dişi formuna kavuşur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Vı da ovalama işleminin basit gösterimi [13].

Ovalama merdanelerinin çalışma yüzeyleri, imal edilecek vı da dişi profilini tersi şeklinde profile sahiptir. Ovalama merdaneleri iş parçasını ağızlarına dişleri ile yakalar ve döndürerek ilerletir. Bu ilerleme sırasında malzeme yi diş üstünü oluşturacak şekilde radyal olarak dışarı akmaya zorlar. İş parçasının çapı, oluşturulacak vı da diş üstü çapı ile diş dişi çapı arasında bir değere sahiptir.

Şekil 2.2’de talaşlı i malat yöntemi ve ovalama yöntemi ile i mal edilmiş vidaların bir karşılaştırması mevcuttur. Diğer vida i malat yöntemlerinden farklı olarak parçadan talaş kaldırılmaz ve dolayısıyla hiçbir malzeme kaybı olmaz.



Şekil 2.2 Ovalanmış vida ile talaşlı i mal edilen vidanın kesitleri [13].

2.2 Vida Ovalama Yöntemini n Avantajları

Ovalanmış vidalar gelişmiş mekanik özelliklere, yeterli boyutsal hassasiğe ve yüksek düzeyde yüzey kalitesine sahiptir. Hiçbir malzeme kaybı olmadan düzgün olarak yüksek miktarlarda üretilebilirler. Aşağıda açıklanacak altı avantaj ovalama yöntemi n uygulanmasında etkin olmuştur.

2.2.1 Fiziksel Özellikler

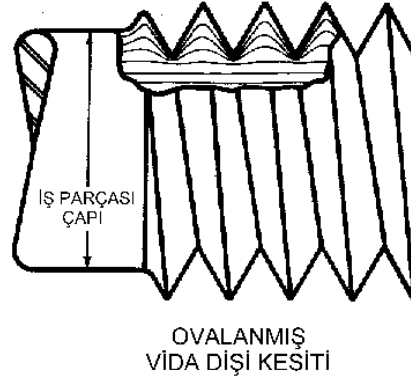
2.2.1.1 Çekme Dayanım

Yüzeyde meydana gelen soğuk şekillendirme iş parçası olarak kullanılan malzemeni n çekme dayanımını artırır. Parçalar üzerinde gerçekleştirilen statik çekme deneyleri malzemeni n çekme dayanımını n %10-30 arasında arttığını göstermektedir [13].

2.2.1.2 Kesme Dayanım

Ovalama yöntemi ile i mal edilen malzemelerin iç yapısındaki fiberler, diğer i malat yöntemlerinde olduğu gibi kesilerek zarara uğramaz (Şekil 2.2). İyi bir dövme işleminde gerçekleşene benzer olarak, vida profili boyunca uzanan kesintisiz çizgiler

olarak yeniden oluşturulurlar (Şekil 2.3). Dolayısıyla ovalanmış vidalar makaslamaya karşı daha dayanıklı olurlar [13].



Şekil 2.3. Ovalama ile üretilmiş vida dışı kesiti [13].

2.2.1.3 Yorulma Dayanımı

Vida ovalama yöntemi parçanın yorulma dayanımını birkaç şekilde iyileştirir. Temiz yüzeyli vida ovalama merdaneleri arasında yapılan ovalama işlemi sonucunda dişler ve diş sırtları parlatılmış düz bir yüzeye sahip olur ve yüzey çatlakları, pürüzler veya kesici takımları oluşmadığından kuvvetin odak noktası olarak yorulma hatalarına katkıda bulunacak başlangıç noktaları barındırmaz.

Önemli bir avantaj olarak vida ovalama yöntemi, özellikle diş kökleri boyunca, vida profili katmanlarında basma artık gerilmeleri bırakır. Bu gerilmeler, yorulma hatalarını oluşturabilecek çekme gerilmelerinin öncelikli olarak basma gerilmelerini aşmasına neden olarak yorulma dayanımını iyileştirir. Ayrıca diş köklerindeki pekleşmeye bağlı yaklaşık olarak %30 sertlik artışı parçaların yorulma dayanımlarını oldukça iyileştirir [13].

Diğer bir avantaj da vidalar kullanımları yerlerine takıldığında ortaya çıkar. Yeri ne uygun şekilde sıkılan bir vidanın, örneğin boyunca gevşemesi durumunda, gevşeyene kıyasla yorulma dayanımının daha yüksek olacağı bilinmektedir. Herhangi bir kesme yöntemi ile üretilmiş vidaların yüzeylerinde kısmi olarak ileride vida batarak gevşemesine sebep olabilecek yerler kalarak işletme koşulları altında vidanın gevşemesine neden olabilir. Ovalama yöntemi ile üretilen vidalar, işlem sırasında ütülenip parlatıldığından gevşemeye daha az yatkındır ve bu genellikle daha uzun yorulma ömrü sağlar [13].

Ovalanmış vidalar 260° C sıcaklığında birkaç saat tavlendiğinde yorulma dayanımından kaybetmezken, herhangi bir kesme işlemi ile imal edilen vidalar aynı koşullar altında yorulma dayanımlarının %25'ini kaybederler [13].

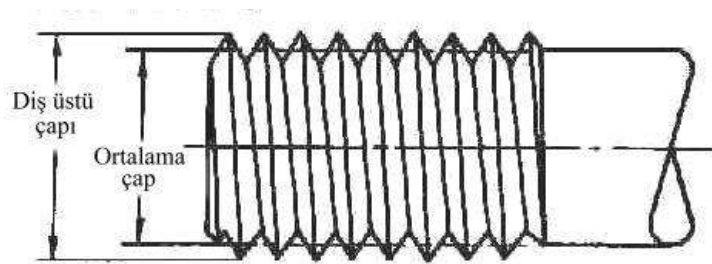
Tüm bu yukarıda anlatılanlardan yola çıkarak yorulma dayanımının, talaşlı imal edilen vidalara oranla ortalama olarak %50–75 arttığı saptanmıştır. Testler, ısıtılma işlemi gördükten sonra ovalanan Rockwell C36–40 sertlik değerleri arasındaki vidaların yorulma dayanımlarının, kesme yöntemi ile imal edilenlere oranla 5 ila 10 kat arasında daha fazla olduğunu göstermiştir [13].

2.2.2 Boyutsal Hassaslık

Hassas vidaların imalatı hat ve çapı, diş açısı, hat ve, kavis gibi konularda yakın kontrol uygulanarak elde edilebilir. Bunların ovalama yöntemi ile daha kolay bir şekilde sağlanabilmesinin birkaç nedeni vardır, ancak diğer bir önemli konu da bu hassasiyetin uzun süreler boyunca korunabilmesidir. Vida ovalama yönteminde başka bir yöntemle bu kadar kolay elde edilemeyecek yuvarlaklığın ve yalpanın kontrolü, ortalama bir operatörün kapasitesi dâhilindedir.

2.2.2.1 Çap Hassaslığı

Ovalama ile imal edilmiş bir vidada diş üstü, hat ve ve diş dişi çapları Şekil 2.4'te gösterildiği gibidir ve iş parçasının çapına, ovalama merdanelerinin diş profiline, kullanılan tezgâhın ayarlarına ve rijitliğine bağlıdır.



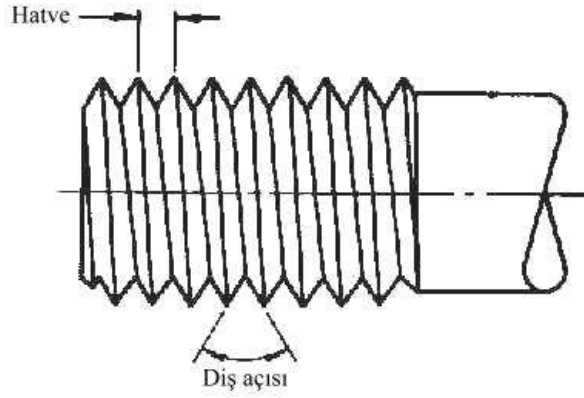
Şekil 2.4 Ovalanmış iş parçası çaplarının gösterimi [13].

Eğer iş parçası soğuk haddelenmiş veya çekilmiş ise veya tornalama, kabuk soyma, puntasız taşlama gibi metotlarla stok malzemenin yapılmışsa silindirik iş

parçalarının çaplarını dar tolerans aralıklarında tutmanın kolay ve ekonomik yolu karbür ovalama merdaneleri kullanmaktır. Şu anda kullanılan düz veya silindirik ovalama kalıpları istenen hassasiyet derecesine göre profillere sahip şekilde imal edilebiliyorlar. Ayrıca modern ovalama tezgâhları daha rijit ve kolay ayarlanabilir yapıdadırlar.

2.2.2.2 Diş Açısı ve Hatve

Diş açısının ve hatvenin hassasiyeti neredeyse tamamen kullanılan vida ovalama merdanesinin hassasiyetine bağlıdır. Çoğunlukla üzerindeki diş açısı ve hatve ovalanan iş parçasında aynen oluşturulmaktadır (Şekil 2.5).

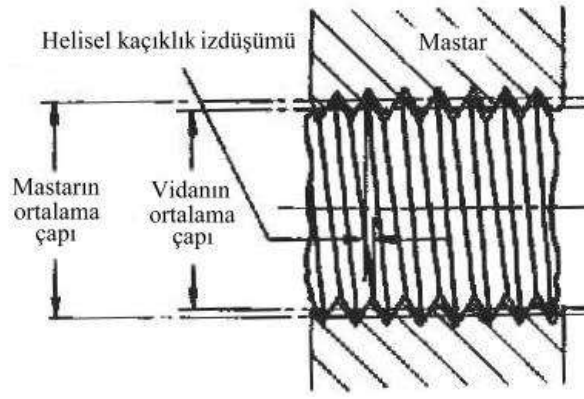


Şekil 2.5. Diş açısının ve hatvenin gösterimi [13].

Hatvenin hassasiyeti ovalanacak olan malzemeye ve merdanelerin ayarlarına gösterilen özen sayesinde artabilir. Sert ve tok malzemelerin bazılarında malzeme ovalandıktan sonra boylanmasına genişerek parça hatvesinin küçük bir miktar kısalmasına neden olabilir. Bu gibi durumlarda daha büyük hatveli ovalama merdaneleri yapılarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

2.2.2.3 Helisel Kaçıklık

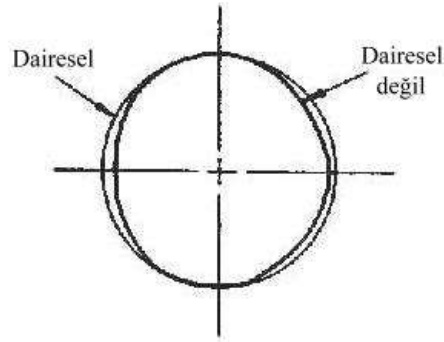
Helisel kaçıklığın kontrolü, helis açısı doğru ovalama merdaneleri kullanarak ve uygun eşleştirme yapılarak, parçanın doğru bir pozisyonda beslenmesi ile sağlanabilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Helisel kaçıklığın şematik gösterimi [13].

2.2.2.4 Dairesellik

Dairesellik özelliğinin hassasiyeti iş parçasının daireliliğine ve sertlik dağılımının homojen olmasına bağlıdır. Bunun yanı sıra, batma miktarına ve merdane üzerindeki basıncın kaldırılma şekline de bağlıdır. Ovalama merdaneleri basıncın uygulanmasını ve geri çekilmesini yavaşça ve homojen olarak sağlayabilecek şekilde tasarlanıp ayarlandıkları takdirde hassas toleranslar dâhilinde dairelilik sürekli sağanabilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Daireselliğin şematik gösterimi [13].

2.2.3 Tekrarlanabilirlik

Gerekli hassasiyet gösterildiği takdirde tüm vidalı malat yöntemleri ile son derece hassas vidaların üretilmesi mümkündür, ancak ovalama yöntemi orijinal ayarlamalarının hassasiyetini uzun süre, yüksek miktarda malat yaparken sabit tutma konusunda benzersizdir [13].

Vi da ovalama yönteminde, vi da ovalama merdanelerinin dış profili iş parçalarının üzerine sürekli olarak işlenirken, vi da dişi profili ovalama merdanelerinin ömürleri boyunca değişmez. Vi da ovalama merdaneleri diğer vi da i malat takımları ile aynı şekilde aşınmaz. Aşınma sadece keskin bir uçta odaklanmış olup, geniş bir yüzeye yayılmıştır ve ovalama işlemi diğer yöntemlere kıyasla düşük sürtünmeli bir yöntemdir. Bu sebeple vi da ovalama merdaneleri erozyona uğramaz ve yapışma, körelme gibi hatalar vermez. Bileme gibi bir ihtiyaç duyulmadığından bileme hatalarından korunmuş olur.

Vi da ovalama takımları profillerin aşınmasından veya dişlerin tamamen kırılmasından dolayı hasara uğrar. Her iki hata da merdaneler üzerinde anında saptanabilir ve hatalı parça üretimine izin vermeden anında değiştirilebilir.

Vi da ovalama merdanelerinde hasarı ilk aşamalarından itibaren sonra da uzun süreler boyunca kullanılmaya devam edilebildiği belirtilmelidir. Bu süreç boyunca aşınmış ve kırılmış profillerin eksik bıraktığı şekillendirmeyi merdane üzerindeki diğer kademeler oluşturup ütüleyerek eksiği giderilecektir.

Sonuç olarak iş parçası istenen ölçülerde olduğu sürece ovalanmış parçaların ölçüleri vi da ovalama merdaneleri ömürlerini tamamlamadığı sürece çok az değişkenlik gösterecektir. Bu birçok pahalı kontrol yöntemini gereksiz kıldığı gibi ovalama merdanelerinin kontrolünün izleyerek yapılabilmesi anlamına gelir.

2.2.4 Bitmiş Parça Yüzeyi

Soğuk şekillendirmede, elde edilen yüzey kalitesi, neredeyse kalıbın yüzey kalitesiyle aynıdır. Bu genel ifade ovalama yöntemi için de geçerli olup, ovalama yönteminde parçanın yüzey kalitesinin ovalama merdanesinin yüzey kalitesinden daha iyi olduğu belirtilmelidir [13]. Bu farkın oluşmasındaki etken, vi da i malatı sırasında hafif kaymasıyla oluşan ütüleme hareketinden kaynaklanmaktadır.

Özenle sabitlenmiş ve parlatılmış ovalama merdanelerinin kullanımı ve yüzey kalitesi iyi iş parçalarının kullanımıyla en iyi kalitede yüzey bitirme elde edilebilir. Ovalama merdaneleri kaymayı önlemek üzere kasten pürüzlendirilmiş olsalar bile bitirme yüzeyi kalitesi diğer vi da i malat yöntemleri ile rahatlıkla mücadele edebilir [13].

Tablo 2.1. Vidaların genel bitirme yüzeyleri karşılaştırması [13].

Vida Tipi	Pürüzlülük [μm]							
	0,00635	0,00317	0,00158	0,00079	0,00039	0,00019	0,00010	0,00005
Kılavuz ile üretilmiş								
Freze ile üretilmiş								
Özel olarak üretilmiş								
Ovalama ile üretilmiş								

Ovalama yöntemi ovalanan malzeme özelliklerinden bağımsız olarak iş üzerinde çoğunlukla aynı derecede bitirme özellikleri sergiler. Tamamen tavllanmış 1010 çeliği, 1112 veya 1335 gibi çelikler, 2330, 3140, 6150 gibi alaşımlı çelikler, R_C 35 değeri ne kadar sertleştirilmiş çelikler, çeşitli paslanmaz çelikler ve yüksek hız çeliği dâhil takım çelikleri ovalama sonrasında aynı yüzey kalitesine sahip olur ve birbirlerinden zorlukla ayırt edilebilir [13]. Benzer olarak birçok metal dışı malzeme de kesme özelliklerinin zorluklarından bağımsız olarak hassas yüzeye sahip olacak şekilde ovalanabilirler. Yaygın olarak kullanılan vida imalat yöntemlerinin bitirme yüzeyi karşılaştırması Tablo 2.1’de verilmiştir.

2.2.5 Malzeme Kazancı

İş parçaları kafa şişirme, ekstrüzyon, zımbalama gibi yöntemlerle imal edildiklerinde veya malzemenin en geniş çapı vida dişleri olduğu durumlarda vida ovalama yöntemi malzeme kazancı sağlar, çünkü bu işlemlerde talaş veya çapak oluşmaz. İş parçası bitirilmiş parça çapından daha küçük çapta hazırlanır ve diş tepeleri malzeme akışıyla sağlanır.

Malzeme kazancı oranları büyük çaplı vidalarda %15, küçük çaplı vidalarda %27’den başlayarak artış gösterir [13]. Zımbalama yöntemi ile iş parçasının hazırlandığı durumlarda zımbalamanın yapılacağı ham metal kalınlığı düşürülerek malzeme kazancı sağlanabilir. Standart vidalardan örnekler verilerek hesaplanan malzeme kazancı Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Malzeme kazancı tablosu [13].

Vi da Öçüsü [inç]	Malzeme Kazancı	Vi da Öçüsü [inç]	Malzeme Kazancı
8 – 32	% 24	$\frac{3}{4}$ – 10	% 16
$\frac{1}{4}$ – 20	% 25	1 – 8	% 18
$\frac{3}{8}$ – 16	% 27	$1\frac{1}{4}$ – 7	% 16
$\frac{1}{2}$ – 13	% 19	$1\frac{1}{2}$ – 6	% 16
$\frac{5}{8}$ – 11	% 19	2 – $4\frac{1}{2}$	% 15

2.2.6 Üretim Hızı ve Ekonomiklik

Vi da ovalama yöntemi uzun zamandan beri en hızlı vi da i malat yöntemi olarak kabul edilmiştir. Vi da ovalama tezgâhları elle beslenebildiği gibi, yarı otomatik veya tam otomatik besleme üniteleri ile birlikte de kullanılabilirler. Tam otomatik tezgâhların birkaç tanesi tek bir operatör tarafından kumanda edilebilir. Vi da ovalama yöntemi ile i malat yüksek miktarlarda üretilen madetlerde kendini ispatladığı kadar, düşük partili üretimlerde de kazançlar sağladığı belirtilmelidir.

Vi da ovalama merdaneleri bileme işlemi gerektirmez. Bu sebeple tezgâhların durma zamanı azaltıldığı gibi bileme ve tekrar ayarlama işçiliğinden de kurtulmuş olunur. Tekrarlanabilirlik özelliğinin yüksek olmasından dolayı da kontrol cihazları ve işçiliğini önemli derecede azaltır.



Şekil 2.8 Ovalama yöntemi ile üretilen vi dalara örnekler.

2.3 Vı da Ovalama Donanım ve Takımları

Vı da ovalama yöntemi için kullanılan donanım ve takımlar parçanın yapısına, vı da profili tipi ve özelliklerine, hedeflenen üretim adedine göre belirlenir. Ele beslenen tezgâhlarda, ayarlama yapmak basit ve hızlı olduğundan dolayı, yüksek miktarlı üretimlerin yanı sıra düşük miktarlı üretimler de ekonomik olarak gerçekleştirilebilir. Yapılan üretimdeki tekrarlanabilirlik oranı yüksek olduğundan yüksek maliyetli kontrol donanım gerektirmez.

Mümkün olduğu kadar yüksek verimli işlemler ve ovalama takımı ömrü elde edebilmek için uygun boyutlarda ve tipte takım kullanmak önemlidir. Isıtılmış iş parçalarının ovalanmasında büyük güçlü sertleştirilmiş donanımların kullanılması gerekmektedir.

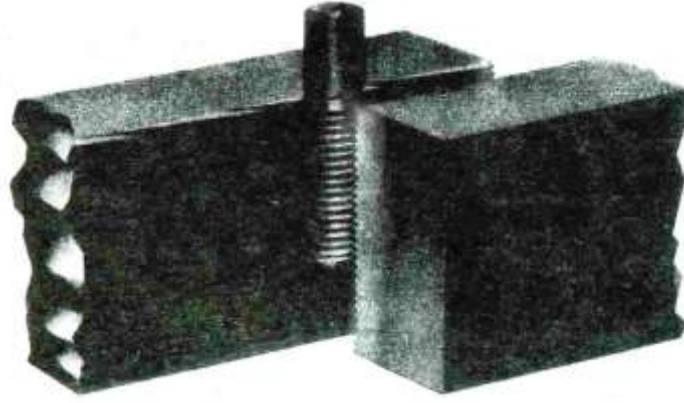
En yüksek ovalama takımı ömrü ve en iyi ovalama koşulları doğru takım hızı ve iş parçası için doğru dönme sayısı belirlenerek elde edilebilir. Bu, hassas yuvarlaklık ve boyut istendiğinde, özellikle sert metallerin ovalanmasında gereklidir. İş parçası dönme sayısının gereğinden fazla olması, bazı malzeme tiplerinde sertleşmeye neden olarak, ovalama takımı ömrünün düşmesini sağlar.

2.3.1. Donanım

Vı da ovalama tezgâhları düz (tarak) veya silindirik (vals, mardane) takımlar kullanır. Vı danın tüm boyu genellikle iç-besleme (in-feed) metodu ile oluşturulup parçanın diğer taraftan dışarı çıkması na izni verilmez. Silindirik takımlar kullanılarak uzun vı dalı millerin ovalanması ve başsız küçük parçaların ovalanması boyunca besleme (thru-feed) metodu ile gerçekleştirilebilir.

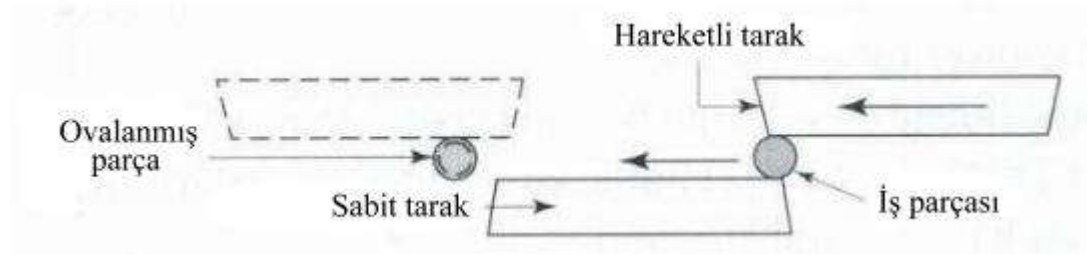
2.3.1.1 İleri- Geri Çalışan (Düz Takımlı) Tezgâhlar

İleri-geri çalışan tezgâhlarda kullanılan taraklar Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bu tezgâhlar birkaç boyutta üretilirler. Her bir tezgâhın ovalayabileceği vı da çapı aralığı sınırlıdır. Kullanabilecekleri takım boyu özeldir.



Şekil 2.9 Düz ovalama takımı (Tarak) [13].

İleri-geri çalışan tezgâhlarda iki tarak kullanılır; bunlardan biri sabit diğeri hareketlidir. Ovalama yüzeyleri karşılıklı olacak şekilde monte edilmişlerdir. Tezgâhın ileri stroğunda bir iş parçası üzerine vida dişi oluşturulur. İş parçası ovalanma esnasında aksel yönde fark edilecek kadar az bir şekil değişimine uğrar. Bitmiş parçanın çapı iş parçası çapı ve iki tarak arasında strok sonundaki mesafe ile kontrol edilir (Şekil 2.10)



Şekil 2.10 İki tarak arasında ovalama işleminin şematik gösterimi [13].

Bu sistemde bir vidanın ovalama sırasında attığı tur sayısı tarak uzunluğuna ve vida çapına bağlıdır. Batma oranı ise tarak şekline bağlıdır. Bu tip tezgâhlarda ovalanabilecek en büyük vida yaklaşık 25,4 mm (1 inç) çapındadır.

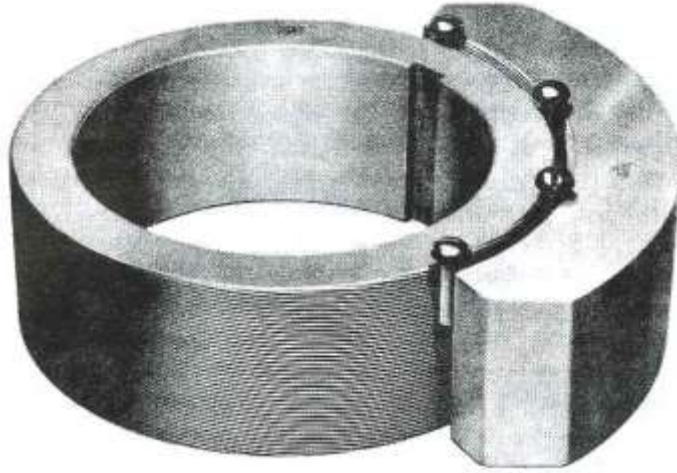
Batma miktarı genellikle tarağın başında, sonunda olduğundan çok daha büyüktür. İleri-geri çalışan tezgâhlarda çelik parçalar ovalanırken, maksimum çapa sahip uzun iş parçalarının tur sayısı, kısa parçalarının ihtiyaç duyduğu tur sayısından daha fazladır. Böyle durumlarda bir üst boyut aparatlar kullanan tezgâhlara geçmek tercih edilebilir.

Isıl işlem görmüş parçaların ovalanması sırasında, özellikle büyük çaptakilerde, oldukça fazla ısı üretilir. Bu ısının miktarını azaltmak için bu tip tezgâhlar yavaş

ovalama hızlarında çalıştırılırlar. Bol miktarda soğutma sıvısı kullanılarak taraqların ve iş parçasının sıcaklığı düşürülmesine çalışılır. Bu amaçla özel soğutulmuş soğutucu akışkanların kullanıldığı uygulamalar da vardır.

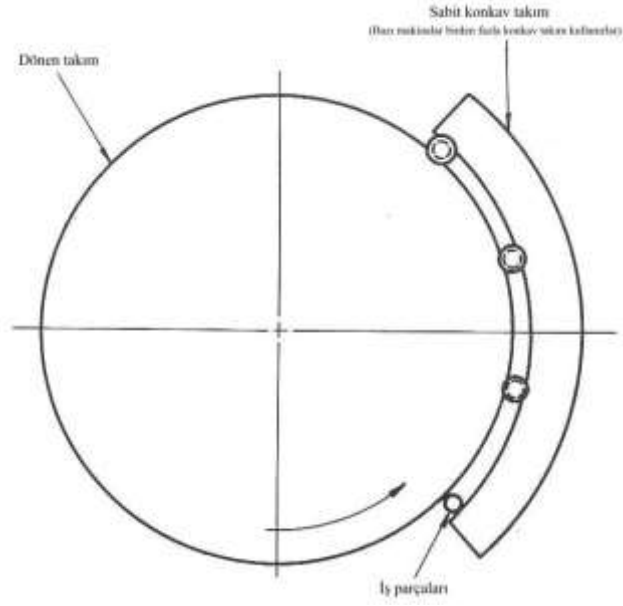
2.3.1.2 Planet Takımı Tezgâhları

Bu yeni geliştirilmiş tezgâhların bir eksen üzerine sabitlenmiş olarak dönen bir merkez takım ve Şekil 2.11’de gösterildiği gibi merkez takımın dışına yerleştirilmiş bir veya daha fazla sabit konkav takımları vardır. Konkav takımın başlangıç tarafı dönen takıma planet takım arasında giren iş parçasının her ikisine de hafifçe değeceği şekilde ayarlanmıştır. Konkav takımın bitiş tarafı dönen takımın daha yakın ayarlanarak aralarında yuvarlanan iş parçasının vida formunu kazanması sağlanmıştır. Başlangıçta yapılan ayarlara bağlı olarak planet takımlarda aynı anda bir ya da daha fazla vida ovalanabilir. Bu takımlarda da iş parçası fark edilene kadar az bir eksenel hareket yapar (Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Planet vida ovalama takımı [13].

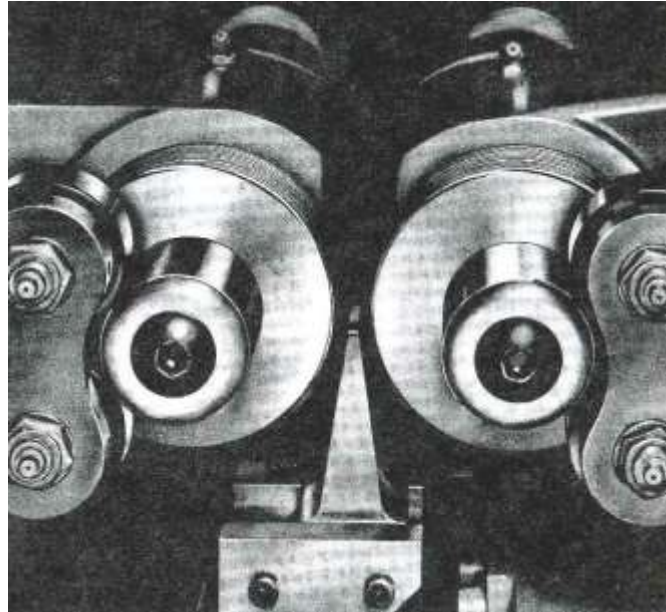
Bu tezgâhlar birkaç boyutta, üretililecekleri vida çapları limitli şekilde üretilirler. Her ölçüdeki tezgâhın özel bir konkav tarak uzunluğu mevcut olup, ovalama sırasında iş parçasının atacağı tur sayısı konkav takımın uzunluğuna bağlıdır. Farklı sertlikteki parçaları ovalayabilmek için hızlar istenildiği şekilde ayarlanabilir.



Şekil 2.12. Planet takımın tezgâhların şematik gösterimi [13].

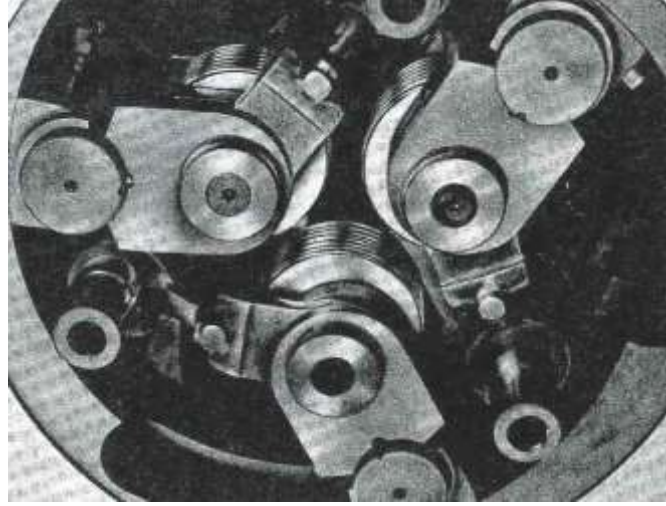
2.3.1.3 Silindirik Takım Tezgâhları

Silindirik takım tezgâhların endüstride yoğun olarak kullanılmalarının nedeni geniş bir hız ve besleme yelpazeleri olmasıdır. İç-besleme metodu ile birçok uygulama vardır ve bu işlemler sırasında parçanın eksenel hareketi fark edilmeyecek kadar azdır. Kalıpların silindirik olmasından dolayı iş parçasının atacağı tur sayısı konusunda ve merdanelerin batma miktarları konusunda hiçbir sınırlama yoktur.



Şekil 2.13. İki merdaneli vida ovalama tezgâhı [13].

Silindirik takımı vida ovalama tezgâhları Şekil 2.13 ve 2.14'te gösterildiği gibi iki veya üç merdane kullanabilecek şekilde üretilirler. Ovalayabilecekleri malzeme çapı 127 mm'ye kadar çıkabilir, parça uzunluğunda ise hiçbir kısıtlama yoktur. Bu açıdan uzun vidalarını malzemesinde özellikle tercih edilir.

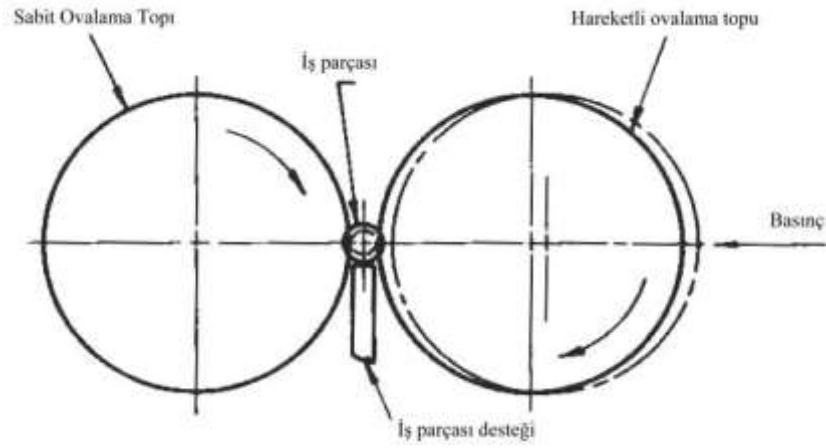


Şekil 2.14. Üç merdaneli vida ovalama tezgâhı [13].

İki ve üç merdaneli tezgâh modellerinin ikisi de iş parçasının aksel olarak beslendiği boyunca-besleme metodu ile kullanılmak üzere ayarlanabilir. Bu yöntemle hem küçük parçalar hem de boyları 6 m kadar uzun parçalar ovalanabilir. Üç silindirik tezgâhlar hem içi boş boruları hem de yuvarlak kutukleri işleyebilir.

Silindirik takımı tezgâhlarda merdanelerin iş parçasına batma miktarı iş parçasının turu başına merdane üzerindeki profile uygulanan kademelerle kontrol edilir. İş parçasının turu başına toplam batma miktarı tezgâh tipine, uygulanan yöntem ve malzemelerin sertlik değerlerine göre değişkenlik gösterir. Sert parçalara, borulara ve malzeme kesiti zayıf olan parçalara düşük şekillendirme pasoları uygulanır. Pekleşme özelliğine sahip malzemelere genelde daha büyük şekillendirme miktarları uygulanır. Hantal ve ağır malzemelerin ovalanması ise düşük hızlarda ve gerektiği takdirde destek veya kılavuzlama aparatları kullanılarak gerçekleştirilir.

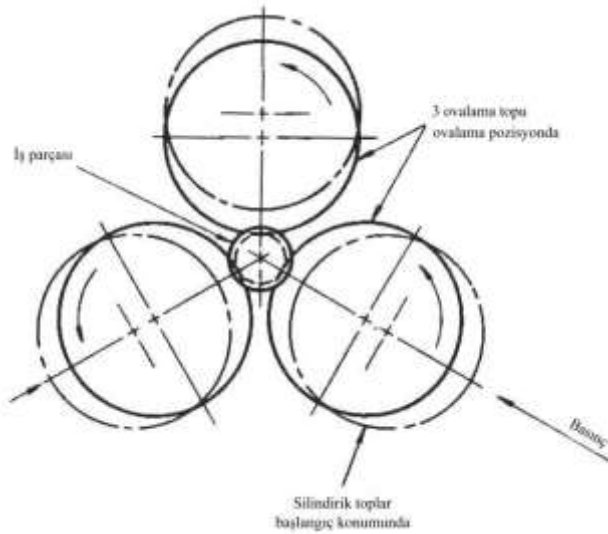
Ovalama hızı iş parçasının boyutuna, malzemesine, kullanılan aparatlara ve tipine bağlı olarak değişir. Sert malzemelerin ovalanmasında ovalama hızı artırılıp, batma miktarı düşürülerek yüksek üretim miktarlarına ulaşılabılır.



Şekil 2 15. İki merdaneli silindirik ovalama tezgâhı [13].

İki silindirik ovalama tezgâhları iki karşılıklı paralel eksen üzerine oturtulmuş ve da ovalama merdanelerine sahiptir. Ovalanacak olan iş parçası, iş parçası desteği ile desteklenir. Merdanelerin ikisi de aynı yönde döner. Bu tezgâhın şematik gösterimi Şekil 2 15'te gösterilmiştir.

İç-besleme metodunda merdanelerden birinin eksenı sabittir ve iş parçasını ovalamak için diğer merdane eksenini sabit olan merdane eksenine doğru ilerletmesi gerekir. Hareketli merdane, ovalama işi bittikten sonra, geri çekilerek parçanın çıkarılabilmesini sağlar. Ovalanmış parçanın çapı iş parçasının boyutları, merdaneler arasındaki mesafe ve iş parçasının merkezinin, merdanelerin merkezi ile ilişkisi tarafından kontrol edilir. Ovalama işlemi sırasında iş parçasının merkezi, parça çapı büyüdükçe, iş parçası desteğinden uzaklaşır.



Şekil 2 16. Üç merdaneli silindirik ovalama tezgâhı [13].

Üç silindirik ovalama tezgâhları yatay ve dikey tipte yapılırlar ve iş parçasının etrafına eşit açılarla yerleştirilirler (Şekil 2.16). Mordaneler birbirine paralel eksenler üzerine yerleştirilmiştir ve aynı yönde dönerler. İç-besleme metodu ile işlem yapılırken üç mordanede iş parçası eksenine doğru hareket eder ve iş bitiminde üçü birden geri çekilerek parçanın alınabilmesini sağlar. İmal edilen vidanın çapını iş parçasının boyutları ve mordaneler arasındaki mesafe belirler.

2.3.2 Vida Ovalama Takımları

Tekrarlanabilirlik oranı ve boyut hassasiyeti yüksek vidalar üretirken en uzun takım ömrünü elde etmenin ilk koşulu, takımın açısal hassasiyetinin ve tekrarlanabilirliğinin yüksek kalitede olmasıdır. Takımların üretileceği malzemenin kimyasal, metalürjik ve mekanik açıdan mukavim ve fiziksel yapısı uygun olması gerekmektedir. Takımlar üzerindeki vida profilleri ve yüzey işleme kalitesi talepleri karşılayacak şekilde olmalıdır.



Şekil 2.17. Vida ovalama yönteminde kullanılan silindirik takımlara örnekler [13].

2.3.2.1 Takım Ömrü

Ovalama takımının ömrü, takım üzerindeki profillerin ovalama işlemi sırasında meydana gelen karışıık zorlanmalar altında, olumsuz etkilenme oranı ile

belirlenir. Ovalama takımlarındaki hasar üretimin talepler doğrultusunda devam edemeyeceğine işaret ettiği zaman, ovalama takımları tezgâhtan indirilmeli, yenilenmeli veya tamir edilerek teknik şartname sine uygun hale getirilmelidir.

Ovalama yönteminde, ovalama takımları ilk hasar belirtilerini gösterdikten sonra da uzun süre üretimi devam edilebileceği gözden kaçırılmamalıdır. Takım üzerindeki hasarsız profiller hasara uğramış profillerin eksik bıraktığı yerleri doldurarak ve ütüleyerek diğerlerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırırlar.

Yüksek kaliteli ovalama takımlarının uygun kullanılması ile üretilen vida başına takım maliyeti azaltılabilir. Tek bir tip vida şekillendirme üzere ayarları yapılmış bir tezgâhta, kullanılan donanma bağlı olarak, iç-besleme metodu ile birkaç yüz bin parçadan, düz karbon çelikleri, bakır esaslı alaşımlar, bazı alüminyum malzeme çeşitleri gibi daha yumuşak malzemeler ovalanarak birkaç milyon parçaya kadar üretimi yapılabilir. Birkaç çeşit ayar yapısına izin veren takımlarda kullanılan ayarlamaların sayısı arttıkça takım ömrü de artırılabilir. Yumuşak malzemenin ovalanacak uzun vidalı miller aksel besleme metodu ile ovalandıklarında kilometrelerce uzunlukta iş üretilebilir. Kısa, kafasız parçalar aksel besleme metodu ile ovalandıklarında takım ömürleri bir miktar azalabilir. İş parçası malzemesi sertleştikçe de takım ömrü azalır.

Basit bir bakış açısıyla, vidaların ovalanması sırasında takım ömrünün artırılması için iki yol vardır. İlk olarak takım malzemesi içyapısal olarak yüksek kaliteli malzemenin yapılmış olması, boyut hassasiyeti yüksek olması ve iyi bir yüzey parkalığına sahip olmasıdır. Diğer yandan kullanılan takımın öngörülen takım ömrü potansiyeline erişip erişemediği kullanımları sırasında gösterilen özene bağlıdır. Bu sebeple tezgâh ayarlarını yapan kişi ve operatör maksimum takım ömrünün elde edilmesinde büyük bir rol oynar.

Daha detaylı bir bakış açısıyla takım ömrü, pek çok faktörün bir araya gelmesiyle belirlenir. Bunlardan en önemli olanları aşağıdakilerdir:

- Takımların tasarımı ve kalitesi
- Ovalanacak vidanın boyutu ve formu
- Ovalanacak iş parçası malzemesinin yapısı
- Üstünlük olacak vida dış üstlerinin dolurma derecesi
- İş parçalarının tasarımı ve hazırlanması
- Kullanılan donanımın tipi ve boyutları
- Takımların yerlerine montajı ve kullanımı

2.4 Vİ DA OVALAMADA PROSES PARAMETRELERİ

Vı da ovalama işleminde, dış profili oluşumunda malzemenin etkisi ve malzemenin plastik akışımı inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan pek azı vı da ovalama işlemindeki parametrelerin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu bölümde vı da ovalama yöntemi ne etki eden parametreler hakkında yayınlanan güncel makalelerden elde edilen bilgiler derlenerek özetlenmiştir.

2.4.1 Malzeme Seçimi ve Vı da Geometrisinin Ovalama İşlemi Üzerindeki Etkileri

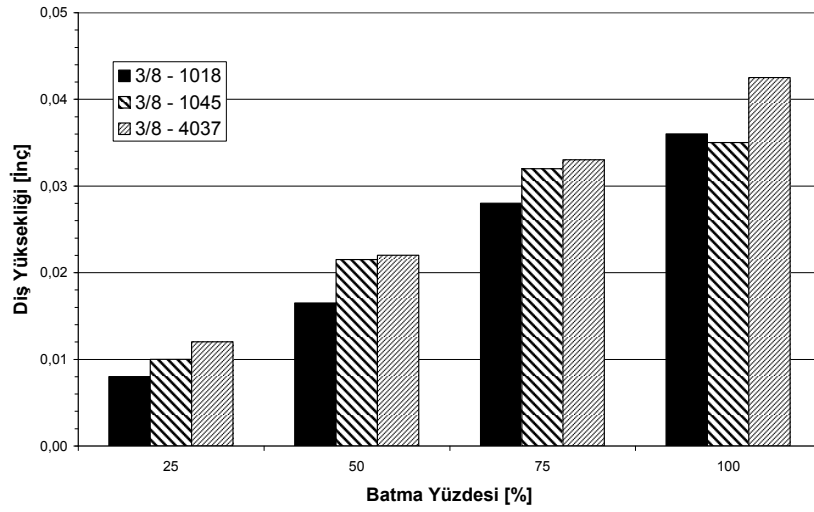
Malzeme cinsi, iş parçası çapı ve vı da hatvesi temel alınarak yapılan çalışmada bu parametrelerini mal edilen vı da dışı profiline etkilerinin yanı sıra, farklı batma miktarlarında vı da dışı profili üzerindeki etkileri de araştırılmıştır [10]. Bu bilgi oluşturulan profilin onaylanmasında faydalı olduğu gibi malzemenin akışı ile ilgili bilgi vermesi açısından da faydalıdır. Vı da imalat endüstrisinde, yaygın olarak işlenen malzemeler arasında, tonaj olarak ilk üç sırayı almaları nedeniyle AISI 1018, 1045 ve 4037 alaşımları numune olarak kullanılmıştır. Otomotiv endüstrisinde ve ticari olarak kullanılan vı daların çoğunluğu inç başına 10–20 diş içerdiğinden, 3/8 inç – 16 diş, 1/2 inç – 13 diş ve 5/8 inç – 11 diş boyutlarındaki vı dalar incelenmek üzere seçilmiştir. Vı da dışı profilinin oluşumunu aşamalar halinde inceleyebilmek üzere, her bir vı da- malzeme kombinasyonuna %25, 50, 75 ve 100 (tam derinlik) batılarak gerekli veriler elde edilmiştir. Deneyin düzenleniş sistematığı ile ilgili bilgiler aşağıdaki tabloda da görülmektedir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Deneylerin düzenlenmesinde kullanılan kombinasyonlar [10].

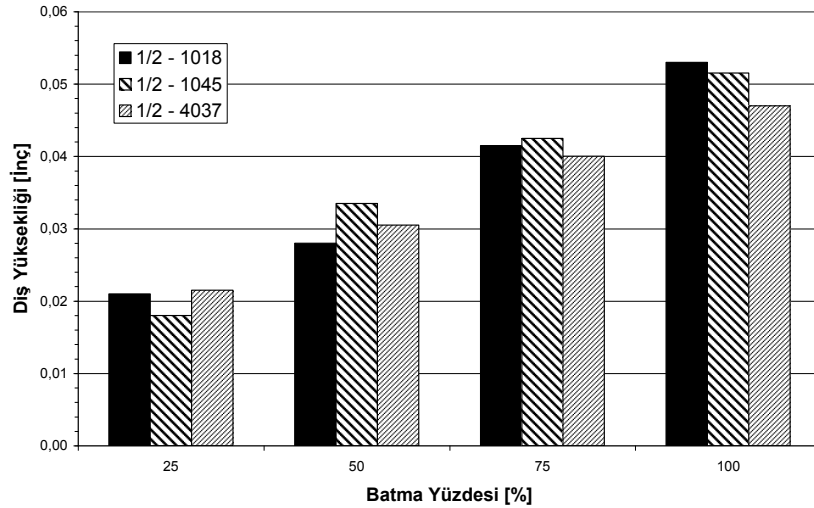
Malzeme	Vı da Çapı / Dış Sayısı	Batma Yüzdesi
AISI 1018	3/8 – 16	25
AISI 1045	1/2 – 13	50
AISI 4037	5/8 – 11	75 100

Deneylerden elde edilen sonuçları şu şekilde değerlendirebiliriz. Farklı batma miktarlarında her bir malzeme-vida eşleştirilmesi için elde edilen dış yükseklikleri Şekil 2.18, 2.19 ve 2.20’te verilmiştir.

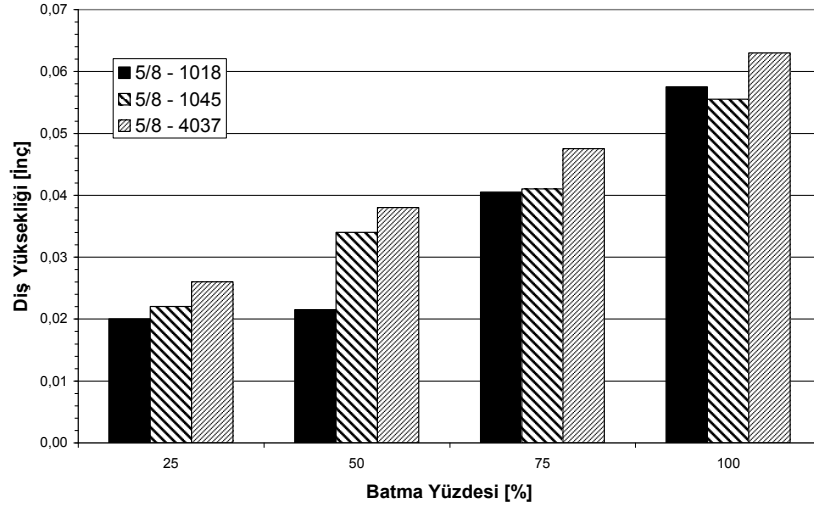
Temelde dış yüksekliği batma miktarı ile doğru orantılı olmasına rağmen, malzemenin kimyasal özellikleri ile de bağlantılı olduğu görülmüştür. Dış yüksekliği, AISI 4037 malzemeden ovalanan vidalarda, AISI 1018 ve 1045 malzemeden ovalananlardan daha hızlı gelişmiştir.



Şekil 2.18 3/8 – 16 dış vida için elde edilen dış yükseklikleri [10].



Şekil 2.19 1/2 – 13 dış vida için elde edilen dış yükseklikleri [10].



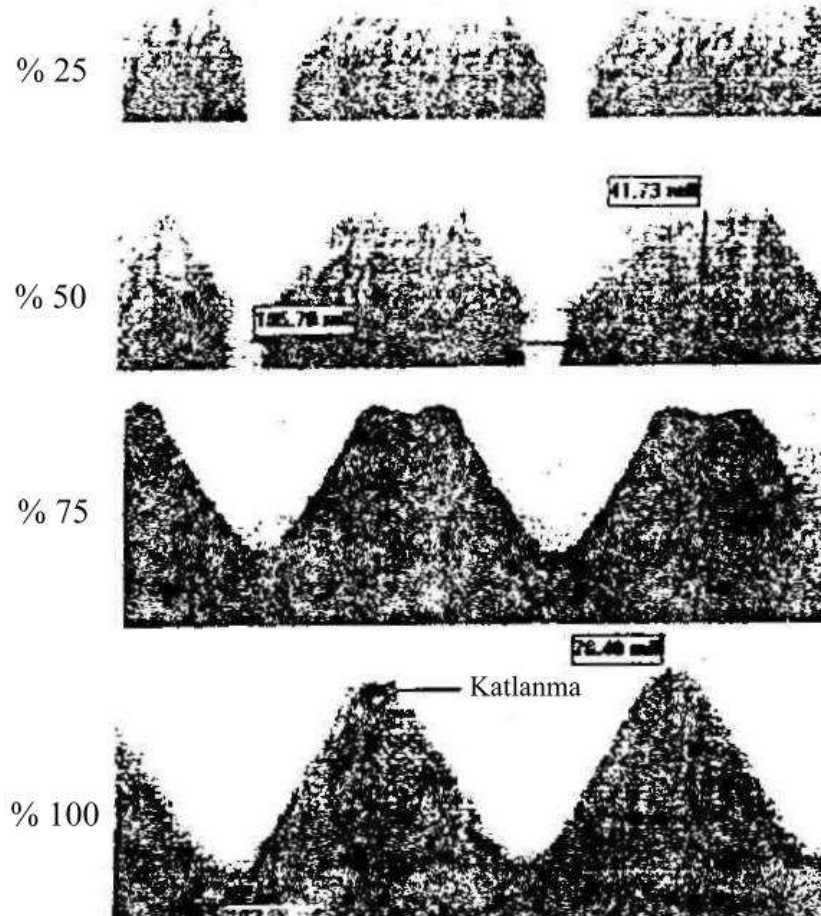
Şekil 2.20. 5/8 – 11 diş vıda için elde edilen diş yükseklikleri [10].

Deneylerde elde edilen diğer bir veri, her bir batma kademesinden sonra iş parçasının çeşitli yerlerinden elde edilen sertlik değerleridir. Ovalama işlemine başlamadan önce, her bir ölçüm noktasındaki sertliğin, batma miktarı arttıkça artacağı tahmin edilmiştir. Ancak ölçüm sonuçları bunu doğrulamıştır. Ölçümler, %25 batma derinliğinden sonra sertlik değerlerinin değişmediğini ve artan batma derinliğinden etkilenmediğini göstermiştir [10].

Tablo 2.4 Farklı batma derinliklerinde elde edilen sertlik değerleri [10].

	% 25	% 50	% 75	% 100	% 25	% 50	% 75	% 100	% 25	% 50	% 75	% 100
Al Si 1018	3/8" Vıda Çapı				1/2" Vıda Çapı				5/8" Vıda Çapı			
Diş di bi	62,8	62,5	62,4	62,9	61,0	63,3	62,2	62,2	63,4	64,3	63,7	63,9
Hat ve çapı	62,4	62,9	62,5	62,6	63,6	61,4	61,1	61,1	61,5	62,7	63,1	62,0
Diş üst ü	60,8	63,1	61,1	63,3	62,0	62,3	62,3	62,6	62,9	61,7	61,9	63,3
Al Si 1045	3/8" Vıda Çapı				1/2" Vıda Çapı				5/8" Vıda Çapı			
Diş di bi	63,5	65,6	65,9	64,8	64,5	65,3	66,1	64,1	64,4	66,1	65,8	65,9
Hat ve çapı	65,4	65,7	65,8	65,6	63,2	63,9	63,5	64,0	63,5	63,1	63,1	63,6
Diş üst ü	65,4	65,8	65,9	66,5	61,7	63,2	63,7	64,6	61,7	63,5	63,4	63,8
Al Si 4037	3/8" Vıda Çapı				1/2" Vıda Çapı				5/8" Vıda Çapı			
Diş di bi	61,8	60,6	59,9	60,9	61,1	62,0	62,2	61,7	63,0	63,6	64,5	63,7
Hat ve çapı	61,7	61,0	59,8	60,9	60,0	60,8	60,3	61,3	61,8	61,8	61,8	61,4
Diş üst ü	61,3	60,0	60,9	61,2	57,0	59,6	60,1	61,1	60,3	61,3	61,8	62,4

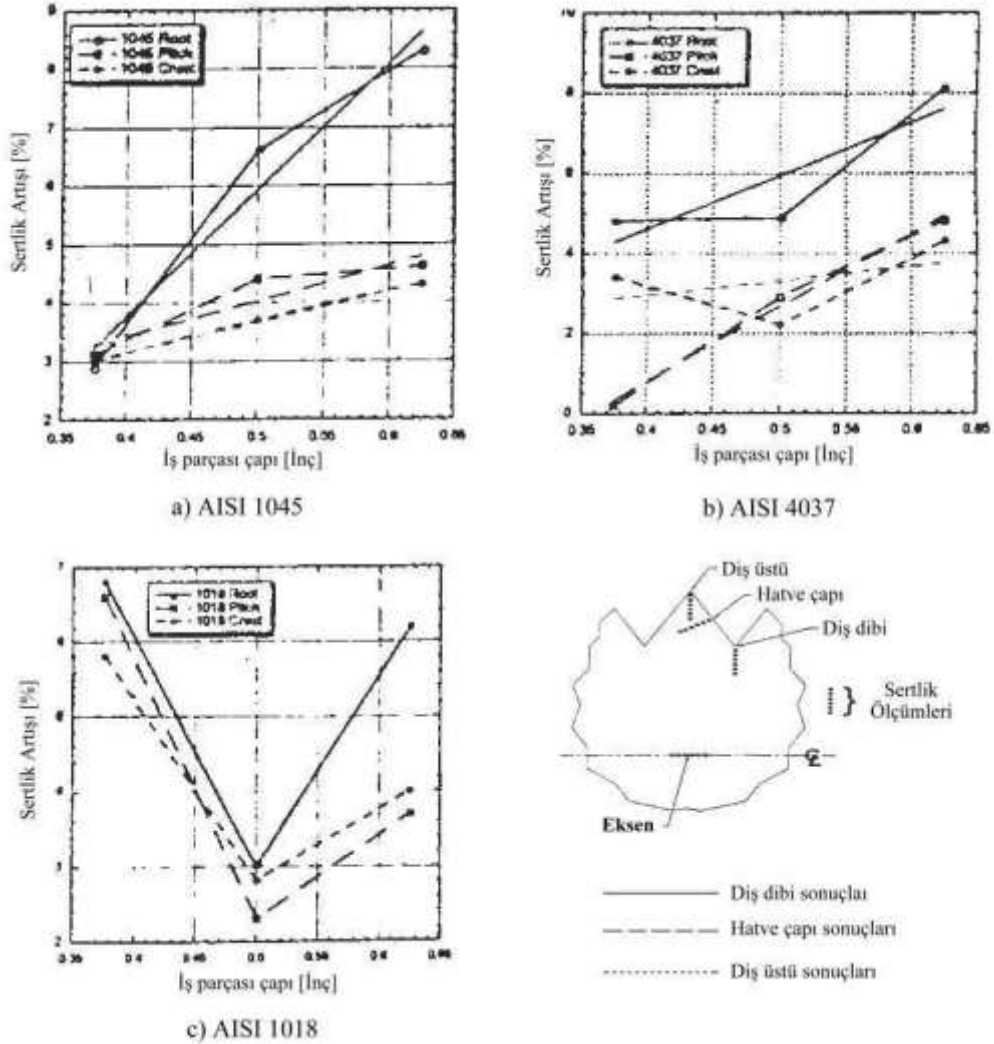
Nu mune ler üze ri nde ya pı lan göz le nler de di ş üst ünde ma l ze ne ni n kat lan na rak çiz gi ha ta sı ol u ştu ru ma ha li sa de ce 5/8 – 9 di ş AI SI 4037’ de gö rü l mü ş tür. Şe kil 2.21’ de 5/8 – 9 AI SI 4037 nu mu ne si ni n %25, 50, 75 ve 100 bat na se vi ye le ri nde pro fil ge li ş i ni gö rü l e bi l me k te dir. Şe kil 2.21 (d)’ de di ş üst ünde me y da na ge len kü çü k kat lan na ha ta sı gö rü l e bi l me k te dir. Şe kil de gö rü l dü ğü ü ze re, %25, 50, 75 bat na se vi ye le ri nde di ş üst ü kon kav bir şe kil de dir ve çiz gi ha ta sı na yol aç a ca cık mış i zi ni ni ver me k te dir. %100 bat na se vi ye si nde di ş üst ü kat lan na rak kon vek s bir şe kil al mış ve pro fi li ol u ştu ru mu ş tu r. Bu kat lan na ha di se si son lu ele man lar me to du ile ya pı lan ana li zler de ön ce den tes pit edil mi ş tir. Kat lan na ha di se si ma l ze ne ni n pek le ş me si ile ba ğ lı ka bul edil me si ne ra ğ men, ayn ı ma l ze ne den o va la nan 1/2 inç ve 3/8 inç ça pı nda ki nu mu ne ler de ve di ğ er tüm nu mu ne ler de kat lan na ha di se si ni n gö rü l me me si, çiz gi ha ta sı ol u şu mu nda ge o me tri k et ki ler in da ha ba sk ın bir rol o y na d ı ğ ı so nu cu na iş a re t et me k te dir.



Şe kil 2.21. 5/8 – 9 AI SI 4037 nu mu ne si i ç in pro fil ge li ş i ni [10];
(a) %25, (b) %50, (c) %75, (d) %100

2.4.2 Sertlik Değeri nin Değişimi nde İş Parçası Çap ının Etkisi

Serlik değeri üretilen vıdan ın kalitesini belirtmesi açısından önemlidir. Vıda boyutları ise belirli grupları si ngelemesi açısından önemlidir. Bu nedenlerden dolayı vıda çapı ve sertlik değeri arasında bir ilişki oluşturulması vıda mukavemetini ve takım ömrünü analiz etmede ve vıda ovalama takımlarının ayarlanması sırasında faydalı bir veri teşkil edecektir. Şekil 2.22’de belirlenen noktalarda ortalama sertlik değeri alınarak sertlik değeri nin yüzde artışı tablolar halinde verilmiştir. Üç şekilden de görülmektedir ki, en büyük sertlik artışı diş dibinde olmuş, en küçük artış da diş üstlerinde meydana gelmiştir. Diş hatvesindeki artış sürekli diğer iki bölgedeki artışın ortasında kalmıştır.



Şekil 2.22 İş parçası çapı ile sertlik değeri nin artışı arasındaki ilişki [10];
(a) AISI 1045, (b) AISI 4037, (c) AISI 1018

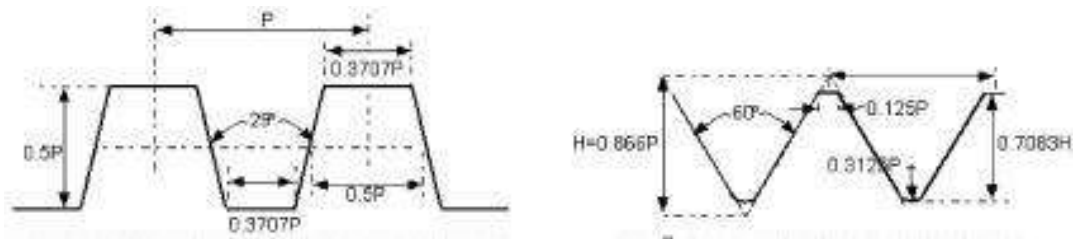
Metal şekillendirme de deformasyonun takım temas yüzeyi ile kalınlık / çap arasındaki oranla ilgili olduğu bilinmektedir (h/L). Bu noktadan yola çıkarak, vida profili büyüdükçe, malzeme akışı yüzeye yakın yerlerde yoğunlaşacağından, deformasyonun artacağı hipotezi öne sürülmüştür. h/L oranı düştükçe deformasyon alanları birbirleri ile etkileşecek ve iş parçasının merkezinde daha çok deformasyon oluşacaktır. Bu durum iş parçası merkezinde yapılan sertlik ölçümleri ile kanıtlanmıştır.

Şekil 2.22 (a) ve (b) temel alınarak AISI 1045 ve 4037 malzemeleri için aşağıdaki formda bir lineer model oluşturmak mümkündür. Bu ampirik denklem henüz tam olarak üzerindeki çalışmalar bitirilmemesine rağmen, diğer malzeme özelliklerinin ovalama yöntemi ile ilişkilendirilmesine bir platform oluşturma açısından faydalıdır [10]:

$$RA_f = RA + m * D \quad (2.1)$$

2.4.3 Vida Diş Profili'nin Ovalama Yöntemi Üzerindeki Etkisi

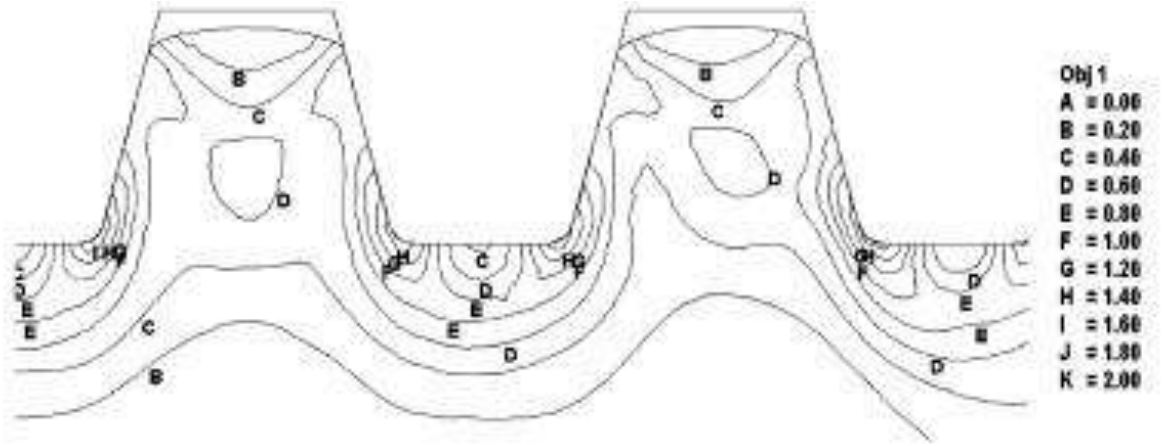
Vida diş profilinin vida ovalama yönteminde deformasyon üzerine etkisini araştırmak için 61 mm çapındaki, iç başına 5 dişli ACME ve standart vida profilleri kullanılarak AISI 1020 iş parçası ile yapılmış simülasyonlar kullanılmıştır. Diş diğindeki kaba geometriden dolayı ACME vidanın ovalanmasının, daha yüksek ovalama kuvvetleri ve malzeme akışına karşı daha yüksek dirençten dolayı, standart vidanın ovalanmasından daha zor olacağı düşünülmüştür. Ovalama yöntemi sırasında oluşan genleşme değerleri hakkında hali hazırda hazırlanmış çok az makale olduğundan ACME profilinin diş diğinde, diş diğ köşelerindeki kısıtlı malzeme akışından dolayı, belirgin bir şekilde daha büyük genleşme alanlarının oluşacağı varsayılmıştır. Seçilen iki diş tipinin geometrik özellikleri Şekil 2.23'te verilmiştir.



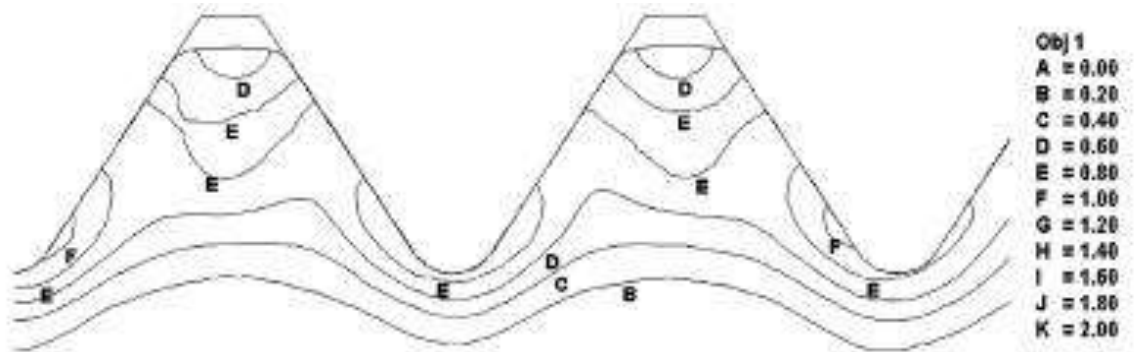
Şekil 2.23. Vida dişlerinin geometrik şekilleri: Trapez (sol da) ve Üçgen (sağ da) [5].

Her iki vida tipi için ovalama işleminin sonradan oluşan genleşme alanları Şekil 2.24 ve 2.25’de görülebilir. Standart tip vidada dişin iç kısmı daha çok genleşmeye maruz kalmasına rağmen diş diğindeki şekil değışi ni trapez tip vidada çok daha fazladır.

Daha önceden de öngöröldüğü gibi ACME vidanın köşeli geometrisi malzeme akışını zorlaştırmaktadır ve her iki köşesindeki efektif genleşme alanlarından bu açıkça görölmektedir. Trapez profilli ovalama takımının üzerindeki profil diş üstünün düz olması daha fazla batma işi ve pekleşme olmasını gerektirdiğinden, ACME vida tipinin ovalanmasında neden daha çok güç harcanması gerektiği sorusunun yanıtıdır.



Şekil 2.24. 61 mm çapındaki iş parçasında inç başına 5 diş bulunduran ACME vidası ovalandıktan sonradan oluşan efektif genleşme alanları [5].

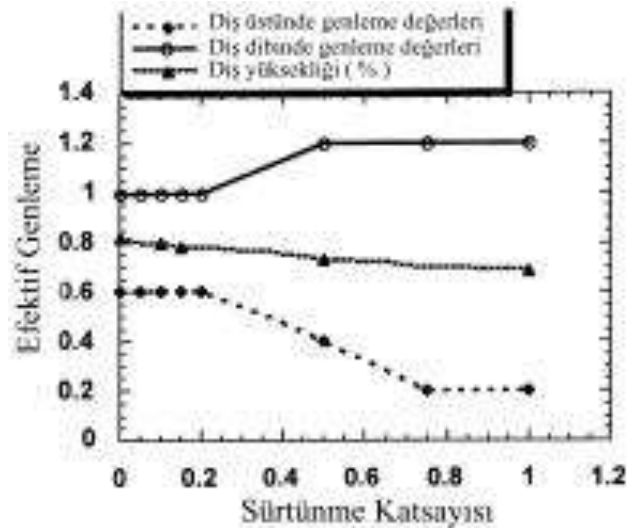


Şekil 2.25. 61 mm çapındaki iş parçasında inç başına 5 diş bulunduran standart vida ovalandıktan sonradan oluşan efektif genleşme alanları [5].

Her iki vida profilinde de en yüksek genleme değerleri (Standart vida da 0,8, ACME vida da 1,4) diş di bindeki kavis geometrileri etrafında oluşmuştur. Diş yanakları boyunca genleme değerleri her iki profil için de yaklaşık aynıdır ve 0,6 – 0,8 arasında değişmektedir. Diş üstündeki efektif genleme değerlerinde ise ACME tipi vidanın genleme değerinin (0,2), Standart vidadan (0,6) daha düşük bir değere sahip olduğunu görüyoruz [10]. Bunun nedeni ACME tipi vida geometrisinde diş üstünün daha geniş olmasıdır. Tüm bu değerlerden çıkarılan, aynı proses şartları altında, iki farklı vidanın mekanik özelliklerinde açık farklılıklar oluşacağı, ancak iş parçası boyunca değerlerin sabit kalacağıdır.

2.4.4 Vida Ovalama Yönteminde Sürtünmenin Etkisi

Sürtünme vida ovalama yönteminde ovalama gücünü etkileyen ve malzemenin şekillendirme özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. Sürtünme, ovalama sırasında harcanan kuvvetin önemli bir kısmını oluşturur ve toplam harcanan gücün %10 – 30'unu oluşturabilir. Yüksek sürtünme malzemenin akmasını güçleştirerek iş parçasının istenen profile şekillendirilmesini engelleyebilir. Sürtünmenin etkisini gözlemleyebilmek için Standart tipin ç başına 10 diş bulunduran vidanın 0,0 – 1,0 arası değişen sürtünme değerleri ile 61 mm çapında iş parçası üzerinde ovalama simülasyonları yapılmıştır. Toplam batma miktarı 1,27 mm olarak sınırlandırılmıştır.



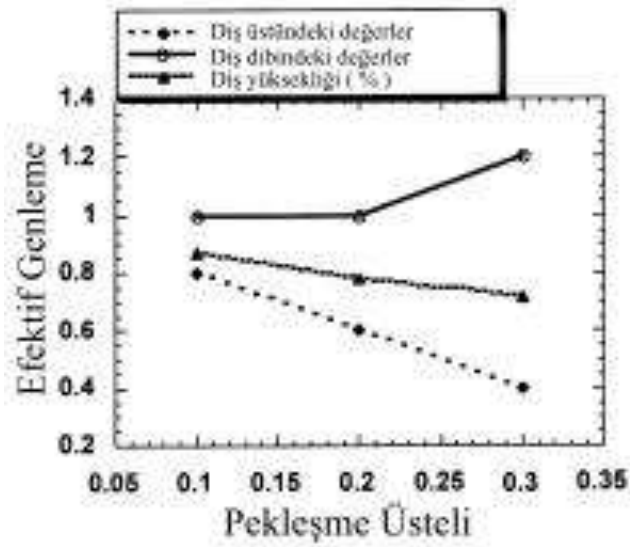
Şekil 2.26 Sürtünme değerlerinin efektif genleme değerleri ve diş yüksekliği üzerindeki etkileri [5].

Sürtünme değerlerinin ovalama yöntemindeki etkisi Şekil 2.26'da görülebilir. Soğuk şekillendirme işlemleri için de geçerli olan düşük sürtünme değerlerinde, malzeme akışı ve dış yüksekliği üzerinde, sürtünme faktörünün etkisi ihmal edilebilecek kadar küçük farklılıklar yaratmaktadır. Buna karşılık yüksek sürtünme değerlerinde (yetersiz yağlama koşulları) malzeme akışı büyük ölçüde etkilenmekte ve neticesinde dış yüksekliğini etkilemektedir. Simülasyon sonuçlarından elde edilen diğer bir veri, elde edilen nihai dış profili ve çizgi hatası oluşması konularında sürtünme katsayısının etkisinin ihmal edilebilecek kadar az olduğudur. Malzeme akışının az etkilendiği düşük sürtünme değerlerinde çizgi hatası oluşabileceği varsayılrsa da beklenen hata gerçekleşmemiştir.

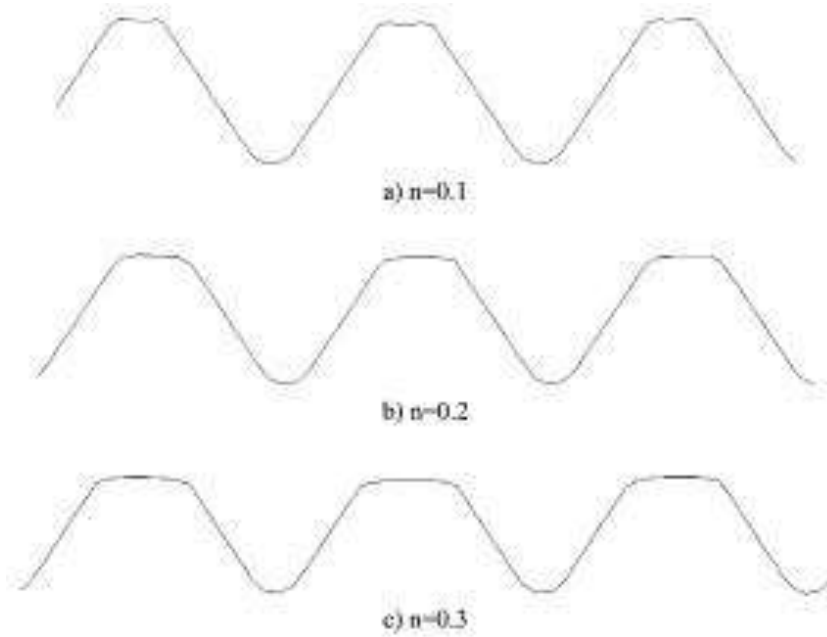
2.4.5. Pekleşme Üstelinin Vida Ovalama Yöntemine Etkisi

Takım tasarımı ve proses koşulları ile birlikte, malzemenin mekanik özelliklerinin vida profili oluşturulmasında etkisinin büyük olduğu bilinmektedir. Sert malzemelerin ve pekleşme üsteli büyük olan malzemelerin dış üstünde çizgi hatası oluşma ihtimalini engelledikleri bilinmektedir. Bu parametrelerin etkilerini inceleyebilmek için iki set simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlar için başına 10 diş bulunduran vidalarda, 51 mm çapta iş parçası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Toplam batma miktarı 1,27 mm olarak sınırlandırılmıştır. Birinci set simülasyonlar pekleşme üsteli sabit tutularak ($n=0,2$), $K=421$, 627 ve 834 MPa değerleri için gerçekleştirilmiştir. Bu değerler çerçevesinde yapılan simülasyonlar sonucunda, vida profilinde ve yüksekliğinde kayda değer bir farklılık bulunamış olup, sadece diş diplerinde ve dış üstlerinde ortaya çıkan efektif genleşme değerlerindeki çok küçük farklılıklara rastlanmıştır.

İlk set yapılan simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında pekleşme üsteli değişiminin dış üstü bölgelerinde elde edilen profil ve efektif genleşme değerleri üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. K değerini 627 MPa olarak sabit tuttuğumuzda ve n değerleri için 0,1, 0,2 ve 0,3 aldığımızda elde edilen dış yüksekliğinin %87'den %72'ye düştüğü görülmüştür [10]. Buradan, pekleşme özelliği yüksek olan malzemelerin ovalanmasının düşük olanların ovalanmasından daha zor olacağı ve aynı dış yüksekliğine ulaşabilmek için daha fazla batma oranlarında çalışılması gerektiği sonucu çıkmaktadır.



Şekil 2.27. Pekleşme üsteli nin efektif genleme ve diş yüksekliği üzerindeki etkileri [5].



Şekil 2.28 Pekleşme üsteli nin değişimi ile vida dişi profilindeki değişim [5].

Diş dibindeki efektif genleme değerleri, pekleşme üsteli nin değişiminden fazla etkilenmemiştir, fakat pekleşme üsteli değeri arttıkça diş üstlerinde değerler 0,8' den 0,4' e düşmüştür. Diğer bir ilginç gözlem pekleşme üsteli arttıkça diş üstündeki geometri nin konveksten konkava dönüşmesidir. Endüstriyel uygulamalarla da pekleşme üsteli nin çizgi hatası oluşumuna etkisi görülmüştür.

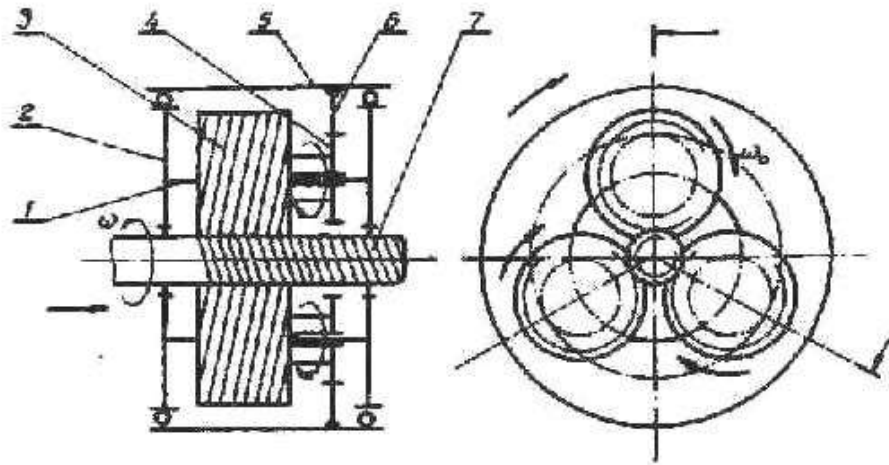
2.4.6 İş Parçası Çapının Vida Ovalama Yöntemine Etkisi

Yapılan bir çalışmada inç başına 10 diş bulunduran standart vidanın çeşitli iş parçası çaplarında ovalama simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İş parçaları 30,5 mm ile 61,0 mm çapları arasında seçilmiş ve batma miktarı 1,27 mm olarak sınırlandırılmıştır.

Simülasyonlar sonucunda diş dibinde, diş yanaklarında ve diş üstlerinde oluşan genleşme değerlerinde çok küçük değişiklikler görülmüştür. 30,5 ve 61,0 mm çaplarındaki iş parçalarında, simülasyonlar sonucunda oluşan efektif genleşme alanlarının aynı olduğu görülmüştür [10].

3 UZUN VİDALARIN OVALAMA TEORİSİ

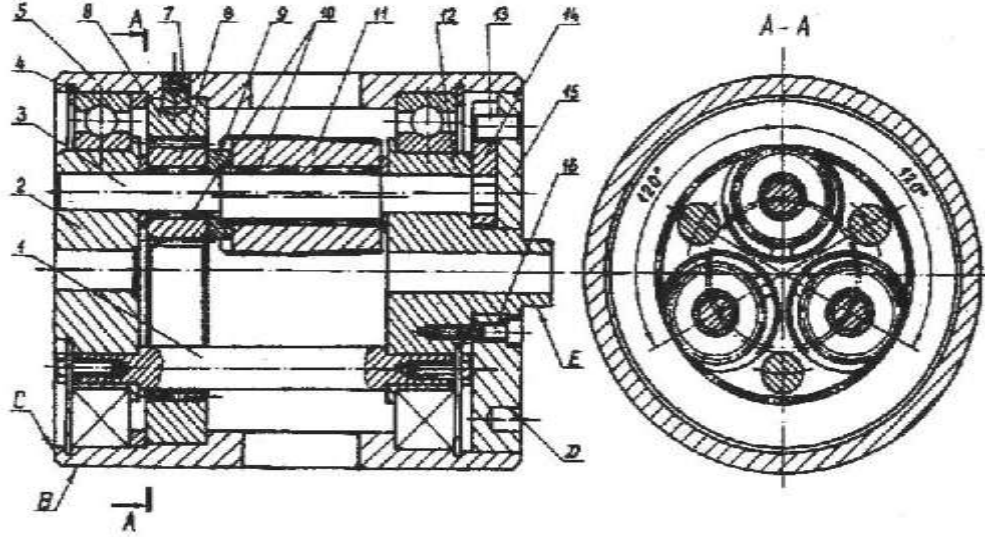
Uzun vidaların ovalanması genellikle özel vida ovalama aparatlarının kullanımıyla aşılanteknolojik bir problemdir. Bu vida ovalama aparatları iki veya üç merdaneli modellerden oluşup dairesel (ring tipi merdane) veya helisel vida ovalama profillerine sahiptir. Bu açıklanmaya çalışılan teori uzun vidaların genel ovalama makinelerinde veya herhangi ayrı bir ekipman kullanılarak çalışan makinelerde etkili bir şekilde ovalanabilmesi amacıyla yapılan araştırmalar ve geliştirmeler ile ilgili tecrübeleri içermektedir.



Şekil 3.1 Planet vida ovalama aparatı bileşenleri [2].

Uzun vidaların kararlı bir süreç içinde ovalanabilmesi için tasarlanan aparatın şematik gösterimi yukarıdaki gibidir. Bu şematik gösterimde: 1 – aks, 2 – taşıyıcı, 3 – merdaneler, 4 – dişli, 5 – muhafaza, 6 – bilezik ve 7 – iş parçasıdır. Ovalama işleminin gerçekleşebilmesi için üç merdanenin hareketinin senkronize olması gerekmektedir. Bu senkronizasyon, muhafaza sabitlendikten sonra taşıyıcıların döndürülmesi ile veya taşıyıcılar sabitlenip muhafazanın döndürülmesi ile sağlanmaktadır. Merdaneler helisel veya dairesel profillere sahiptir. Profillerin helisel olması durumunda merdanelerin eksenleri paralel olup, dairesel olmaları

durumunda belirli bir açı ile döndürülmesi gerekmektedir. İş parçası ilk önce merdanelerin arasına beslenir ve sonrasında ekstenel yönde kendisi dönerek ilerler. İş parçası ile beraber ovalama aparatı planet dişli mekanizması kinematik şeması ile gösterilebileceğinden, aparat planet vida ovalama aparatı olarak adlandırılabilir.



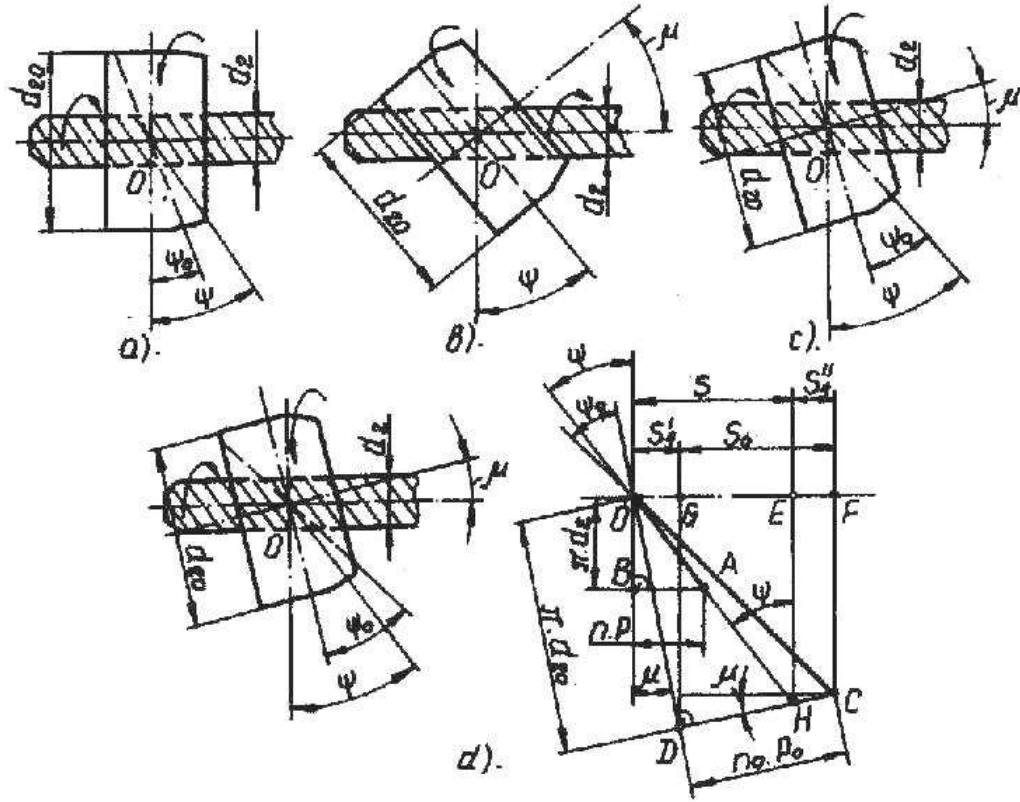
Şekil 3.2 Planet vida ovalama aparatı [2].

Çalışmaları çeşitli metrik ve trapez vidalar üzerinde uygulayabilmek için vida ovalama merdaneleri imal edilerek 3 metre uzunluğundaki iş parçalarının tüm boyunda vida profili oluşturulmuştur. Bu tip aparatlardan birinin tasarımı yukarıdaki şekildeki gibidir. Bu şekilde: 1 – aks, 2 – disk, 3 – egzantrik aks, 4 – rulman, 5 – muhafaza, 6 – dişli, 7 – piş, 8 – dişli, 9 – debriyaj, 10 – iğneli rulman, 11 – silindir, 12 – disk, 13 – piş, 14 – yata, 15 – ayarlanabilir disk, 16 – vida. Ayrıca şekil üzerinde B ve C aparat yerleştirme yüzeyleri, D aparat ayarlaması için vida deliği, E çift yönlü yüzeydir.

3.1 Planet Vida Ovalama Aparatı ile Ovalamanın Kinetiği

Planet vida ovalama aparatı ile gerçekleştirilen ovalama işlemi ekstenel besmeli bir ovalama işlemidir. Ekstenel ovalamaya örnek olabilecek çeşitli şemalar gösterilebilecek olmasına rağmen Şekil 3.3'te gösterilenler pratikte uygulanabilen şemalardır [2]. Bu şemaları anlamak vida ovalama teorisinin ilk basamağını

oluşturacağından bunları teker teker ele alalım Şekil 3.3(a)'da gösterilen şemadaki ovalama merdanesi, helisel profilli bir merdane'dir. Merdanelerin ve iş parçasının eksenleri paraleldir. Şekil 3.3(b)'de gösterilen şemadaki ovalama merdanesi ring tipi olup merdaneler iş parçası eksenine göre $\mu = \psi$ kadar döndürülmüştür. Şekil 3.3(c)'de gösterilen şemada ise helisel profilli merdaneler kullanılmış ve merdaneler iş parçası eksenine göre $\mu = \psi - \psi_0$ kadar döndürülmüştür. Bu üç şemanın analizinden sonra ortak bir kinematik şema oluşturulmuştur (Şekil 3.3(d)). Bu şemadaki vida ovalama merdaneleri helisel profilli vida ovalama merdaneleri'dir ve merdaneler iş parçası eksenine göre $\mu \neq (\psi - \psi_0)$ kadar döndürülmüştür. Helisel profilli merdanelere göre oluşturulan ayar şekli için bir yer değişimi planı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3.3(d)) ve tek bir ovalama merdanesi için iş parçasının S_1 yer değişimini belirleyen bir denklem ortaya konmuştur:



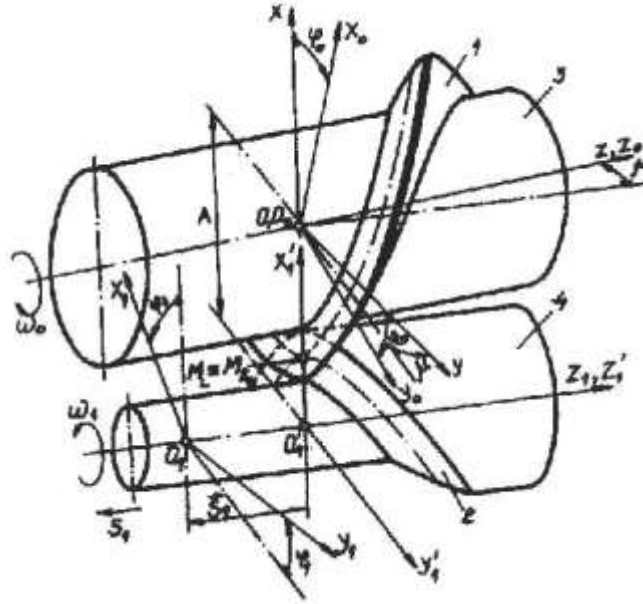
Şekil 3.3 Planet vida ovalama'nın kinematik şemaları [2].

$$S_1 = S_1' + S_1'' = \pi d_{2,0} \left[\frac{\cos(\mu)}{\cos(\psi - \mu)} - \tan(\psi_0) \cos(\mu) \right] \quad (3.1)$$

Bu denklemsayesinde herhangi bir şema için ovalama işleminin verimliliğini tayin etmek mümkündür. Bu aparat için maksimum verimlilik $\psi_0 = 0$ ve $\mu = \psi$ olduğu zaman elde edilmiştir. Bu durumda Şekil 3.3(b)'de gösterilen şekildedir.

3.2 Ovalama Prosesinin Modellenmesi

Şekil 3.3(d)'deki şemadan yola çıkılarak ovalama prosesinin araştırılması için bir matematik model geliştirilmiştir. Bu ovalama şeması, yüzeyi oluşturan dişleriyle (1), dişleri oluşturan yüzeyleriyle (2), ve bunlara bağlı koordinat sistemleri ile birlikte Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Ovalayan ve ovalanan dişin kinematik şeması [2].

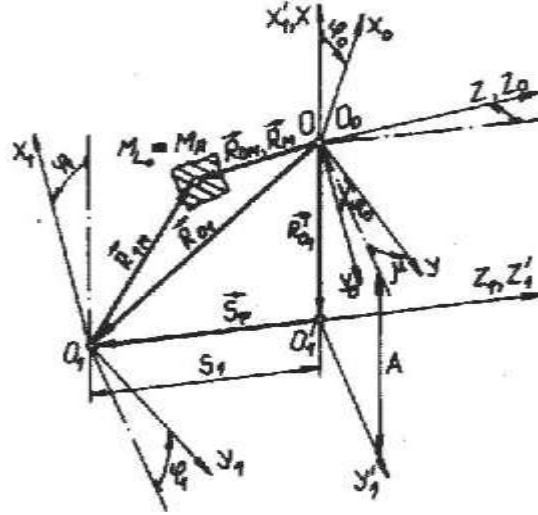
Birbirine bağlı olan ω_0 ve ω_1 açısal hızlarından ve eksenel ilerleme hızı S' ten yola çıkıldığında, her iki yüzeyin de ortak bir temas noktası olduğu sonucuna erişilir ($M_{R_0} = M_L$) ve bağlı hızlarının vektörünün ortak teğet yüzeylerinde uzandığı ile karşılaşılır. Bu noktanın sabit koordinat sistemindeki koordinatları aşağıdaki denklemlerle çözümlenerek belirlenebilir:

$$\begin{cases} \vec{R}(x, y, z) = 0 \\ \vec{N} \vec{V} = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Sistemdeki ilk denklem temas halindeki yüzeylerin denklemi ve ikincisi iki teğetsel yüzeyin temas durumunun matematiksel yorumudur. N vektörünün koordinat sistemindeki Oxyz bileşenleri aşağıdaki denklemsayesinde belirlenebilir:

$$\vec{N} = \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{bmatrix} = \frac{\partial \vec{R}}{\partial O} \times \frac{\partial \vec{R}}{\partial \rho} \quad (3.3)$$

$\vec{V}$ vektörünün koordinat sistemindeki bileşenleri ise teğetsel yüzeylerin Şekil 3.5'te şematik olarak gösterilen birleşiminden ortaya çıkan ortak denklemin türevi alınarak bulunabilir:



Şekil 3.5 Temas noktaları koordinatlarının belirlenmesinde kullanılan şema [2].

$$m_1 \vec{R}_{OM} = \vec{R}_{O_1} + \vec{S}_1 + m_3 m_1 \vec{R}_{1M} \quad (3.4)$$

Denklemler 3.2'deki denklemsistemi iki temel durumun çözümünde kullanılabilir: (i) şekillendiren yüzey verildiği takdirde ovalanan helisel yüzeyin bulunmasında (profil oluşturma prosesinin tersi); ve (ii) iş parçası yüzeyinin verilmesi halinde nominal ovalayan yüzeyin bulunmasında (direkt yöntem). Profil yaratma işleminin tersi, ovalama işleminin doğrulanmasında kullanılırken direkt yöntem aparat profilinin belirlenmesinde ve imalatında kullanılmıştır.

3.3 Profil Oluşturma İşlemi'nin Tersten Gerçekleştirme Prosedürü

Belirli bir düzlem üzerinde oluşturulan yüzeyin profili çoğunlukla işlemi tersten ele alarak belirlenir. Bu bakış açısından yola çıkarak, belirli bir profil için hesaplamalar, Bölüm 3.2'de belirtilen metotla aşağıdaki veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1 Ovalayan profilin dönme sırasında geçtiği nokta koordinatları [2].

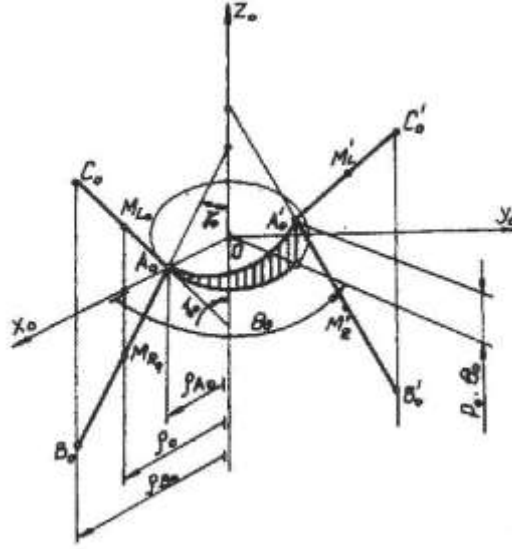
Nokta	Eksenel profil koordinatları	
	x_0	y_0
1	— 43,20196	— 0,12720
2	— 42,44213	0,19697
3	— 41,28600	0,45924
4	— 40,66839	0,61857
5	— 40,11389	0,74980

3.3.1. $O_0x_0y_0z_0$ Koordinat Sisteminde Merdane Üzerindeki Helisel Şekillendirme Yüzeyinin Parametrik Denkleminin Hesabı

Ovalama merdanesinin helisel şekillendirme yüzeyleri Arşimet helisel yüzeyleridir ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibi A_0B_0 ve A_0C_0 çizgilerinden oluşmaktadır. Dışinsetriktik yapısından dolayı, bundan sonraki hesaplamalarda A_0C_0 çizgisi ve $p_0 = p = P/2\pi$ helisel parametrelerinden oluşan, sağ helisel yüzey göz önünde bulundurulacaktır.

Bu helisel yüzeyin parametrik denklemi aşağıdaki denklem sayesinde belirlenmiştir:

$$\vec{R}_0(x_0y_0z_0) = \begin{vmatrix} x_0 = \rho_0 \cos(O_0) \\ y_0 = \rho_0 \sin(O_0) \\ z_0 = (\rho_0 - \rho_{A_0}) \cot g(\eta_0) + p_0 O_0 \\ \eta_0 = \frac{(\pi - \alpha_0)}{2} \end{vmatrix} \quad (35)$$



Şekil 3.6 Ovala ma merdanesi üzerindeki helisel şekillendirme yüzeylerin parametrik denklemini belirlemesinde kullanılan şekil [2].

3.3.2 $\vec{N}_0$ Normal Vektörünün Bileşenlerinin Hesabı

$\vec{N}_0$ normal vektörünün denklemi Denklem 4.5 göz önünde bulundurularak Denklem 3.3'ten aşağıdaki şekilde ortaya konmuştur:

$$\vec{N}_0 = \begin{cases} N_{x_0} = -p_0 \sin(O_0) + \rho_0 \cos(O_0) \cot g(\eta) \\ N_{y_0} = -p_0 \cos(O_0) - \rho_0 \sin(O_0) \cot g(\eta) \\ N_{z_0} = \rho_0 \end{cases} \quad (3.6)$$

3.3.3 Bağlı Hız Bileşenlerinin Hesabı

Denklem 3.4 m_2^{-1} ve m_3^{-1} ters matrisleri ile çarpıldıktan sonra $O_1 x_1 y_1 z_1$ koordinat sistemine aşağıdaki şekilde indirgenmiştir:

$$\vec{R}_{OM} = m_1^{-1} m_3^{-1} m_1 \vec{R}_{1M} - m_2^{-1} m_3^{-1} \vec{S}_1 - m_2^{-1} m_3^{-1} \vec{R}_{O_1} \quad (3.7)$$

Son olarak aşağıdaki hali almıştır:

$$\begin{aligned} \vec{V}_0 &= \frac{\partial \vec{R}_0}{\partial \varphi_0} = m_2^{-1} m_3^{-1} m_1 \vec{R}_{OM} - m_2^{-1} m_3^{-1} m_1 \vec{R}_{OM} \\ &\quad - m_2^{-1} m_3^{-1} \vec{S}_1 - m_2^{-1} m_3^{-1} \vec{S}_1 + m_2^{-1} m_3^{-1} \vec{R}_{O_1} \end{aligned} \quad (3.8)$$

3.3.4 Teğetsel Yüzeylerin Mişterek Pozisyonlarının Belirleyen Tasarım Parametrelerinin ve Kinematik Parametrelerin Hesabı

Bu parametreler şu şekildedir:

- (i) Ovala m m erdanesi nin ve iş parçası n n döndürülme eksenleri arasındaki en kısa mesafe:

$$A = (d_2 - d_{2,0}) / 2 \quad (3.9)$$

- (ii) Eksenlerin döndürülme açısı μ
 (iii) Eksenel besleme:

$$\vec{S}_1 = \begin{vmatrix} 0 \\ S_\varphi \sin(\mu) \\ -S_\varphi \cos(\mu) \end{vmatrix} \quad (3.10)$$

$$S_\varphi = \frac{S_1 \varphi_1}{2\pi}$$

- (iv) Ovala m m erdanesi ve iş parçası n n çevresel hızlarının redüksiyon oranı:

$$i_{1,0} = \pm d_{2,0} / (2A - d_{2,0}) \quad (3.11)$$

Eksi işareti dairesel dişli ovala m m erdaneleri içindir.

3.3.5 Ovalanan Dişlerin Eksenel Profillerinin Hesabı

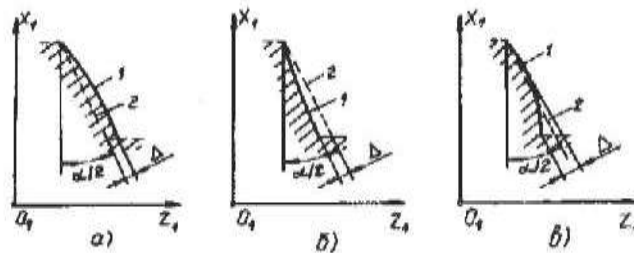
Ovalanan dişlerin eksenel profillerinin belirlenmesi Denklem 3.2'nin çözülmesi ile belirlenmiştir. Bu çözüme ulaşırken Denklem 3.5, 3.6, 3.8 ve 3.9 kullanılmış ve gerekli matematiksel dönüşümler gerçekleştirildikten sonra bir sonraki sayfadaki denkleme ulaşılmıştır.

$$\begin{aligned}
& \left[-y(i_{1,0} \cos(\mu) + 1) + z_0 i_{1,0} \sin(\mu) \cos(\varphi_0) + \right. \\
& \left. A i_{1,0} \cos(\mu) \sin(\varphi_0) + \mathcal{S}_1 i_{1,0} \sin(\mu) \sin(\varphi_0) \right] N_{x0} \\
& + \left[-x_0(i_{1,0} \cos(\mu) + 1) - z_0 i_{1,0} \sin(\mu) \sin(\varphi_0) + \right. \\
& \left. A i_{1,0} \cos(\mu) \cos(\varphi_0) + \mathcal{S}_1 i_{1,0} \sin(\mu) \cos(\varphi_0) \right] N_{y0} \\
& + \left[-x_0 i_{1,0} \sin(\mu) \cos(\varphi_0) + y_0 i_{1,0} \sin(\mu) \sin(\varphi_0) - \right. \\
& \left. A i_{1,0} \sin(\mu) + \mathcal{S}_1 i_{1,0} \cos(\mu) \right] \times \\
& N_{z0} = 0 \\
& x_1 = x_0 [\cos(\varphi_0) \cos(\varphi_1) - \cos(\mu) \sin(\varphi_0) \sin(\varphi_1)] \\
& \quad - y_0 [\sin(\varphi_0) \cos(\varphi_1) + \cos(\mu) \cos(\varphi_0) \sin(\varphi_1)] \\
& \quad + z_0 \sin(\mu) \sin(\varphi_1) - A \cos(\varphi_1) \\
& y_1 = x_0 [\cos(\varphi_0) \sin(\varphi_1) - \cos(\mu) \sin(\varphi_0) \cos(\varphi_1)] \\
& \quad - y_0 [\sin(\varphi_0) \sin(\varphi_1) - \cos(\mu) \cos(\varphi_0) \cos(\varphi_1)] \\
& \quad - z_0 \sin(\mu) \cos(\varphi_1) - A \sin(\varphi_1) \\
& z_1 = +x_0 \sin(\mu) \sin(\varphi_0) + y_0 \sin(\mu) \cos(\varphi_0) + z_0 \cos(\mu) + S_1 \\
& \varphi_1 = i_{1,0} \varphi_0
\end{aligned} \tag{3.12}$$

Eksenel profilin $O_1 x_1 z_1$ düzlemin üzerindeki koordinatları, $y_1 = 0$ iken Denklem 3.12'deki sistemin çözülmesi ile elde bulunmuştur.

3.3.6 Ovalanarak Oluşturulmuş Vida Dişinin Doğruluğunun Analizi

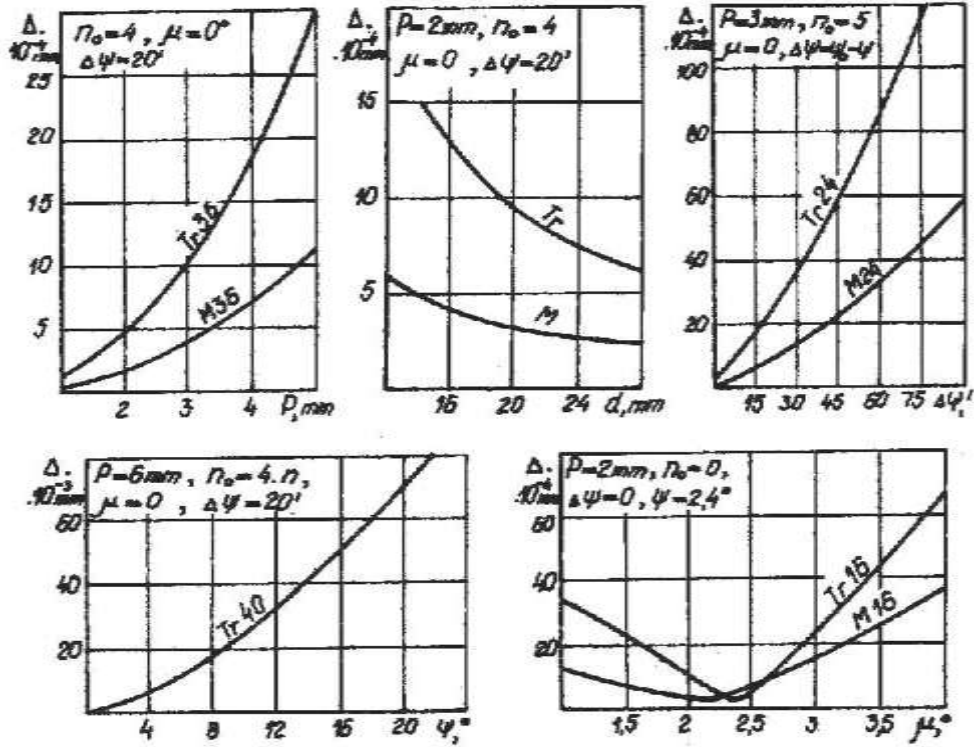
Matematiksel modelin temellerine dayanan bir bilgisayar programı hazırlanarak oluşturulan vida dişlerinin teorik doğruluğu hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Ovalanmış dişin gerçek (1) ve teorik (2) profilleri [2].

Şekil 3.7 de gösterildiği gibi, gerçek ve teorik olarak oluşturulan dişler arasındaki Δ mutlak sapma değeri bu amaç için kullanılmıştır. Gerçek profil, farklı ovalama şekillerine ve ovalama işleminin parametrik değerlerine bağlı olarak, konveks,

konkav ve konveks ile konkav kombinasyonu olan profillere (Sırasıyla Şekil 3.7(a), Şekil 3.7(b) ve Şekil 3.7(c)) sahiptir.



Şekil 3.8 Vi da ovalana proses parametrelerinin teorik vi da profilinin maksimum sapma oranlarına etkisi [2].

Yukarıdaki şekilde farklı parametrelerin Δ sapma değerlerine etkisi gösterilmiştir. Araştırma göstermiştir ki, eğer takım üzerindeki profiller, ovalanan vi da dişi boşluğundaki profilin aynalanmış görüntüsüne sahip ise ve buna ilave olarak, iki Arşimet helisel yüzeyinden oluşuyorsa, dairesel profilli merdanelerle ovalanan dişler Şekil 3.7(a)'daki profile sahip olurlar. Helisel profilli merdanelerle ovalanan dişlerin profili de Şekil 3.7(b) ve Şekil 3.7(c)'de gösterildiği gibi oluşmaktadır. Şekil 3.7(c)'de gösterilen profil, açılar $\varphi < 5^\circ$ ve $\psi > 15^\circ$ olduğu zaman elde edilmiştir [2]. Araştırma sonuçlarının analizi neticesinde aşağıdaki yorumlar ortaya çıkmıştır:

- (i) En doğru vi da dişi profili helisel vi da ovalana merdaneleri ile $\psi \neq \psi_0$ iken $\mu = (\psi_0 - \psi)$ açısı kadar döndürüldüğünde elde edilmiştir.

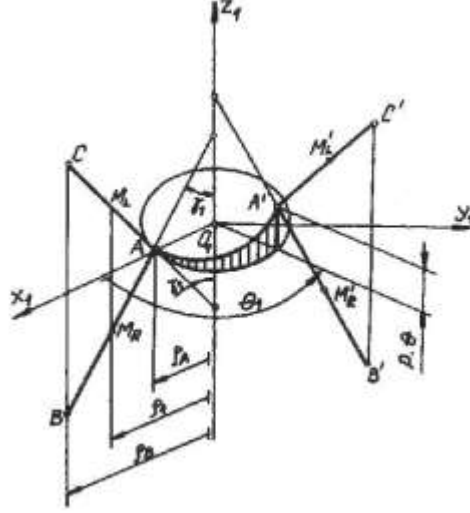
- (ii) Helisel vida ovalama merdaneleri kullanıldığında ($\psi_0 \neq 0$) ve ovalama merdaneleri paralel bağlanmışken ($\mu=0$), $\psi_0 < \psi$ olduğunda daha doğru profiller elde edilmiştir.
- (iii) Hat ve çapı tolerans sınırları içerisinde olmak şartıyla maksimum Δ sapmaları, $\alpha=30^\circ$ trapez profilli vidalar ovalanırken 60 - 70 açısal dakika farkı olduğunda ve $\alpha=60^\circ$ metrik vidalar ovalanırken 70 - 75 açısal dakika farkı olduğunda elde edilmiştir.
- (iv) Dairesel profilli ovalama merdaneleri ile ovalama yapılırken $\mu=\psi \pm 2^\circ$ olduğu takdirde maksimum Δ sapmaları hat ve çapı tolerans sınırları içerisinde olacaktır. Ancak açı $\mu=\psi \pm 20^\circ$ sınırından fazla olmamalıdır.
- (v) Dairesel profilli ovalama merdaneleri ile ovalama yaparken $\psi \geq 9^\circ 30'$ ayarlandığı takdirde hat ve çapı tolerans sınırları dışında Δ sapmaları ortaya çıkar. Bu durum helisel profilli merdanelerde $\psi \geq 7^\circ$ ve $\mu=0^\circ$ olduğunda, $\psi=9^\circ$ ve $\mu=(\psi_0 - \psi)$ olduğunda ortaya çıkar. Bu açılarda çalışılması gereken durumlarda ovalama merdanelerinin direkt ovalama prosedürü gereğince özel olarak tasarlanması gerekmektedir.

3.4 Direkt Ovalama Prosedürü

Vida ovalama merdanelerinin profilini belirleyen direkt ovalama prosedürünün çözülmesi aşağıdaki aşamalarda sırası ile anlatılmıştır.

3.4.1. $O_1x_1y_1z_1$ Koordinat Sisteminde İş parçası Helisel Düzleminin Parametrik Denkleminin Kurulması

Parça üzerindeki dişleri oluşturan Arşimet helisel yüzeyleri AB ve AC çizgilerinden ibarettir (Şekil 3.9). Sımetriden dolayı bundan sonraki işlemlerde sadece AB çizgisi ile oluşturulmuş sağ helisel yüzey kullanılacaktır. Bu durumda, bu yüzeyin parametrik denklemi aşağıdaki şekilde olacaktır:



Şekil 3.9 Parçanın Arşi met helisel yüzeylerine ait parametrik denklemin bulunmasında kullanılan şekil [2].

$$R_1(x_1, y_1, z_1) = \begin{cases} x_1 = \rho_1 \cos(O_1) \\ y_1 = \rho_1 \sin(O_1) \\ z_1 = (\rho_1 - \rho_A) \cot g(\eta) - pO_1 \\ \rho_A = d_1 / 2 \\ \eta_1 = \frac{(\pi - \alpha)}{2} \end{cases} \quad (3.13)$$

3.4.2 $\vec{N}_1$ Normal Vektörünün Parametrelerini Belirlenmesi

Normal vektörünün denklemleri, Denklem 3.13 göz önünde bulundurularak, Formül 3.3'ten aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$\vec{N}_1 = \begin{cases} N_{x1} = p \sin(O_1) - \rho_1 \cos(O_1) \cot g(\eta) \\ N_{y1} = -p \sin(O_1) - \rho_1 \sin(O_1) \cot g(\eta) \\ N_{z1} = \rho_1 \end{cases} \quad (3.14)$$

3.4.3 $\vec{V}_1$ Bağlı Hızın Parametrelerini Belirlenmesi

Denklem 3.4 ters matris m^{-1} ile çarpıldıktan sonra, $O_0x_0y_0z_0$ koordinat sistemine dönüştürülerek aşağıdaki forma kavuşmuştur:

$$\begin{aligned}
\vec{R}_{OM} &= m_1^{-1} m_3 m_2 \vec{R}_{01} + m_1^{-1} \vec{S}_1 + m_1^{-1} \vec{R}_{O_1} \\
V &= \frac{\partial \vec{R}_0}{\partial \varphi_1} = m_1^{-1} m_3 m_2 \vec{R}_{1M} + m_1^{-1} m_3^{-1} m_2 \vec{R}_{1M} + m_1^{-1} \vec{S}_1 \\
&\quad + m_1^{-1} + m_1^{-1} \vec{S}_1 + m_1^{-1} \vec{R}_{01}
\end{aligned} \tag{3.15}$$

3.4.4 Teğetsel Yüzeylerin Mışterek Pozisyonlarının Belirleyen Tasarım Parametrelerinin ve Kinematik Parametrelerin Belirlenmesi

Bu parametreler Bölüm 3.3.4’te verilenlerle paraleldir ve reduksiyon oranı hariç aynı yöntemlerle elde edilirler.

$$i_{0,1} = -i_{0,1} \tag{3.16}$$

3.4.5 Ovalama Mırdanesinin Eksenel Profili Belirlenmesi

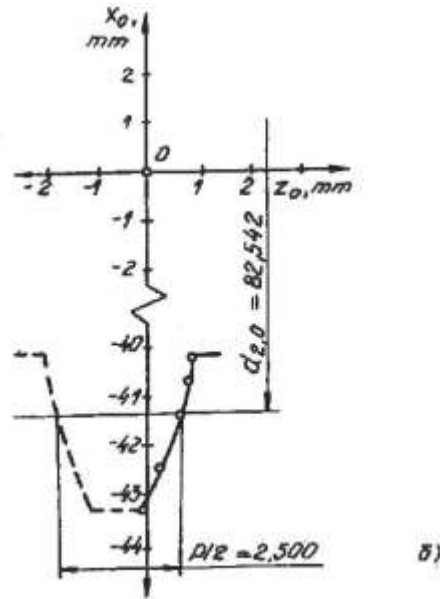
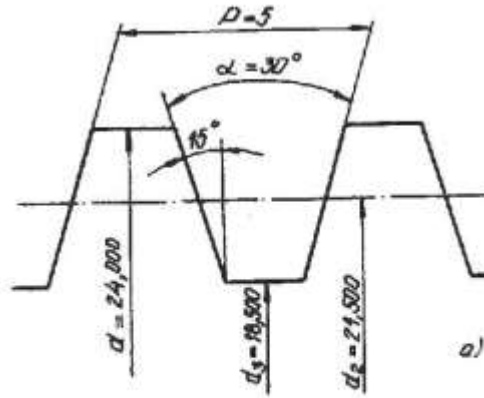
Ovalama mırdanesinin eksenel profil koordinatları, Denklem 3.9, 3.10, 3.11, 3.13, 3.14 ve 3.16’nın da yardımı ile yukarıdaki düzeltme de dikkate alınarak Denklem 3.2’deki sistemin çözülmesi ile belirlenir ve aşağıdaki forma kavuşur:

$$\begin{aligned}
&\left[\begin{aligned} &-y_1(i_{0,1} \cos(\mu) + 1) + z_1 i_{0,1} \sin(\mu) \cos(\varphi_1) \\ &+ A i_{0,1} \cos(\mu) \sin(\varphi_1) - S_1 i_{0,1} \sin(\mu) \sin(\varphi_1) \end{aligned} \right] N_{x1} \\
&+ \left[\begin{aligned} &-x_1(i_{1,0} \cos(\mu) + 1) + z_1 i_{0,1} \sin(\mu) \sin(\varphi_1) \\ &+ A i_{0,1} \cos(\mu) \cos(\varphi_0) - S_1 i_{0,1} \sin(\mu) \cos(\varphi_1) \end{aligned} \right] N_{y1} \\
&+ \left[\begin{aligned} &-x_1 i_{0,1} \sin(\mu) \cos(\varphi_1) - y_1 i_{0,1} \sin(\mu) \sin(\varphi_1) \\ &+ A i_{0,1} \sin(\mu) - S_1 \end{aligned} \right] \times \\
&N_{z1} = 0 \\
x_0 &= x_1 [\cos(\varphi_0) \cos(\varphi_1) - \cos(\mu) \sin(\varphi_0) \sin(\varphi_1)] \\
&\quad + y_1 [\sin(\varphi_0) \cos(\varphi_1) + \cos(\mu) \cos(\varphi_0) \sin(\varphi_1)] \\
&\quad + z_1 \sin(\mu) \sin(\varphi_0) - S_1 \sin(\mu) \sin(\varphi_0) - A \cos(\varphi_0) \\
y_0 &= -x_1 [\cos(\varphi_0) \sin(\varphi_1) + \cos(\mu) \sin(\varphi_0) \sin(\varphi_1)] \\
&\quad - y_1 [\sin(\varphi_0) \sin(\varphi_1) - \cos(\mu) \cos(\varphi_0) \cos(\varphi_1)] \\
&\quad + z_1 \sin(\mu) \cos(\varphi_0) - S_1 \sin(\mu) \cos(\varphi_0) + A \sin(\varphi_0) \\
z_0 &= x_1 \sin(\mu) \sin(\varphi_1) - y_1 \sin(\mu) \cos(\varphi_1) + z_1 \cos(\mu) - S_1 \cos(\mu) \\
\varphi_0 &= i_{0,1} \varphi_1
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Eksenel profilin $O_0x_0y_0$ düzlemindeki koordinatları, Denklem 3.17'deki sistem $y_0=0$ alınarak çözüldükten sonra elde edilebilir.

3.4.6 Ovalama Sırasında Dişler Üzerine Düşen Yüklere Çözümlemesi

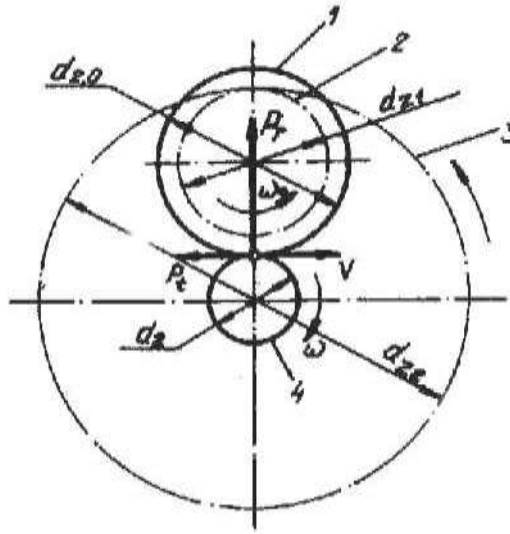
Şimdiye kadar açıklanan metod ve bilgisayar yazılım ile dört ağızlı Tr24 x 20(P5)-8e trapez vidasının ovalanmasında kullanılmak üzere vida ovalama merdanesinin profil belirlenmesine Şekil 3.10(a) da verilen parametreler doğrultusunda başlanmıştır. Profil çalışmasının bir sonucu olarak, profilin koordinatları x_0, y_0 belirlenmiştir (Şekil 3.10(b), Tablo 3.1).



Şekil 3.10. Profiller: a) ovalama neticesinde istenen vida profili, b) ovalama merdanesi [2].

3.5 Ovalama Prosesinin Kuvvet Karakteristikleri

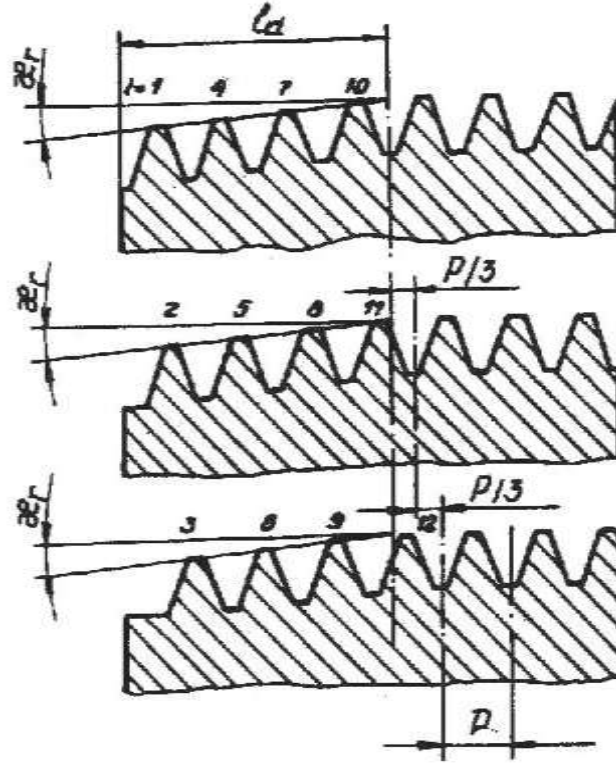
Uzun vidaların ovalanması sırasında, radyal P_r ve teğetsel P_t kuvvetleri, Şekil 3.11’de görülen yönlerde etki eder. Henüz ovalama işinin başlangıç anında, $\vec{S}$ vektörünün ters istikametine, eksenel bir kuvvet etki eder. Bu kuvvet deneysel olarak kanıtlanmış olup, aşağıdaki şekildedir:



Şekil 3.11. Planet ovalama merdaneleri ile ovalama sırasında ortaya çıkan kuvvetler [2].

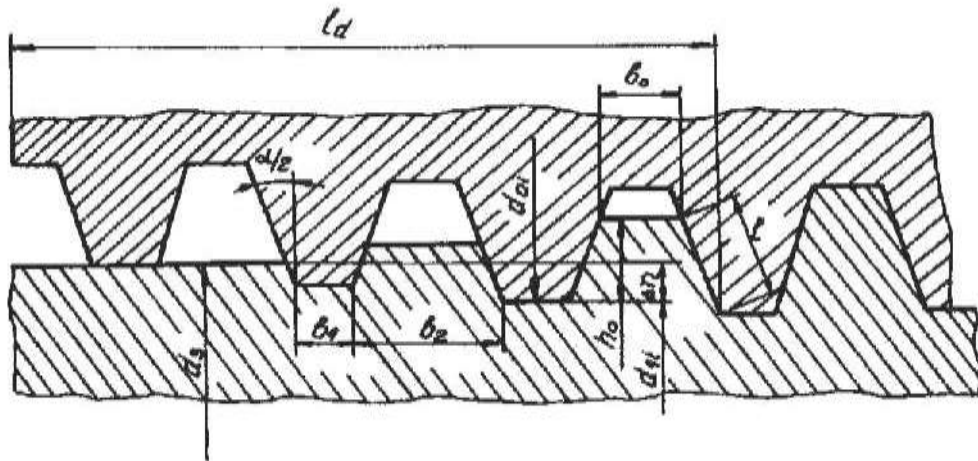
$$P_t = (0,15/0,18)P_r \quad (3.18)$$

Radyal kuvvetlerin belirlenmesi için çeşitli deneye dayalı denklemler önerilmiştir, ancak bunlar genel denklemler olmayıp sadece tek bir ovalama aparatı ile tek bir profil için yeterlidir. P_r radyal kuvvetinin belirlenmesi için bir matematiksel metod önerilmiştir. Bu model, ovalama prosesinin bir birim kalınlığında düz bir kalıbın batma işi yaptığı kabulü yapılarak, ovalama işi düzlem problemi ne indirgenerek oluşturulmuştur. Bu kabulün temeli, 6 mm’den büyük hatveye sahip vidaların ovalanma işi sırasındaki bağıl uzama miktarlarının %15’ten küçük olmasıdır [2].



Şekil 3 12 Planet vı da ovalama da merdaneler in dönmesi ni n ayarlanması [2].

Her bir planet ovalama takım Şekil 3 12’de gösterilen şekilde ayarlanmış z_R sayıda ovalama merdanesinden oluşmaktadır ve her bir merdane l_d uzunluğunda g sayısı kadar diş sahiptir. Sadece son diş tüm profili ile iş parçasıyla temas eder, diğer dişler sadece profillerinin bir kısmı ile aşağıdaki şekildeki gibi temasa girerler.



Şekil 3 13 Ovalama merdanesi ni n üzer in de ki diş ler in batış şeması [2].

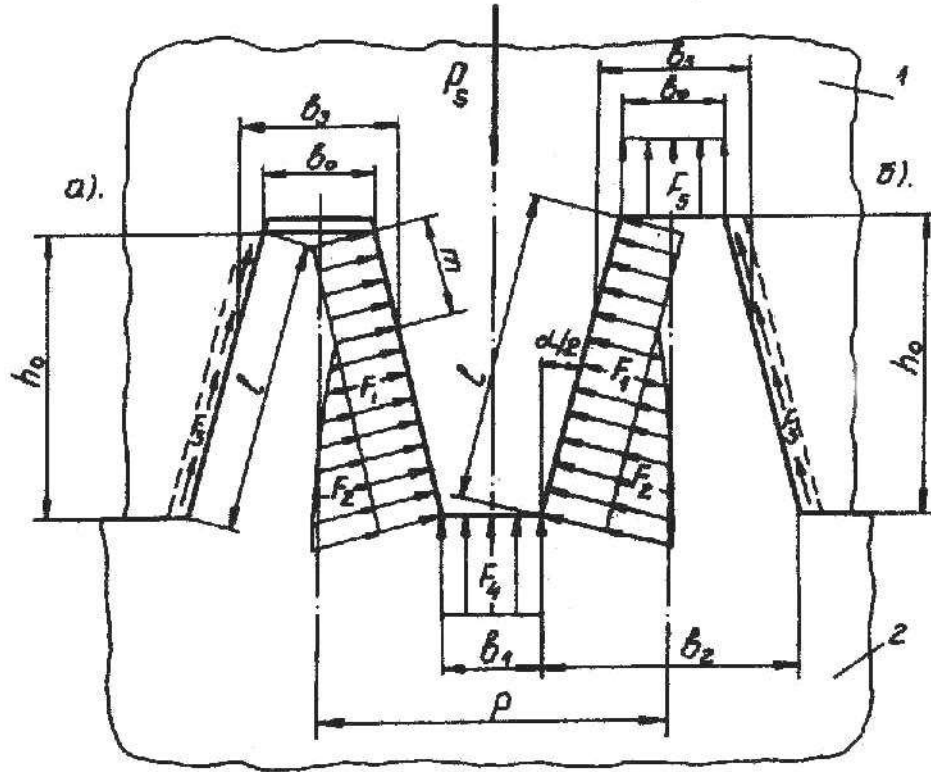
Her bir merdaneye etki eden radyal kuvvetler şu denklemlerle belirlenebilir:

$$P_{r_i} = \sum_{i=1}^{g_t} P_{s_i} \quad (3.19)$$

$$P_{s_i} = P_s C_s \quad (3.20)$$

$$C_s = \sqrt{\frac{d_{0i} d_{1i} h_0}{d_{0i} + d_{1i}}} \quad (3.21)$$

$$\Delta r = \frac{P \tan(\chi_r)}{Z_R} \quad (3.22)$$



Şekil 3.14 Tesis kuvvetlerinin dağılımı: (a) açık çevrim (b) kapalı çevrim
(1) kalıp (2) iş parçası [2].

Ovalama merdanesi üzerindeki her bir dişin özgül radyal kuvveti P_s , kalıp kalınlığı bir biri m olduğundan, deformasyon yönündeki kuvvet dağılımındaki alanların toplamına eşittir (Şekil 3.14). Buna göre:

$$P_s = 2F_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 2F_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 2F_3 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + F_4 + F_5 \quad (3.23)$$

Denklemin son üyesi, son şekillendirme dışının P_s değerinin belirlenmesi ile birlikte dahil edilebilir. Şekil 3.14'teki F_1 , F_2 , F_3 , F_4 ve F_5 alanları aşağıdaki denklemlerle belirlenebilir:

$$\begin{aligned} F_1 &= 2k \left(1 - \frac{\psi - 1}{f_{\max}} \right) \frac{h_0}{\cos(\alpha/2)} \\ F_2 &= \frac{2k}{\alpha} \left[b_2 \ln\left(\frac{b_2}{b_3}\right) - b_2 + b_3 \right] \\ F_3 &= \frac{k f h_0}{f_{\max} \cos(\alpha/2)} \\ F_4 &= 2k b_1 \left(1 + \pi - \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2\alpha} \ln\left(\frac{b_2}{b_3}\right) + \frac{\psi - 1 - 0.5\pi}{f_{\max}} f \right) \\ F_5 &= 2k b_0 \left(1 + \frac{\alpha}{2} - \frac{\psi - 1 - 0.5\pi}{f_{\max}} f \right) \\ k &= \frac{\sigma}{\sqrt{3}} \\ \sigma &= \frac{\sigma_B}{1 - \psi_y} \left(\frac{\psi_x}{\psi_y} \right)^{\psi_y / (1 - \psi_y)} \\ \psi_x &= \frac{2h_0 (1 - \sin(\alpha/2))}{b_1 \cos(\alpha/2) + 2h_0} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Küçük bağıl kısalma değerleri daha büyük α_s ve σ_B değerleri ile ilişkili olduğundan, $\alpha_s = 230..650$ MPa ve $\sigma_B = 400..900$ MPa değer aralığındaki malzemeler için $\psi = 0,2..0,05$ değerleri arasında alınabilir. Sürtünme katsayısı, sertlik değeri HB=150..200 arasında olan malzemeler için, soğutma sıvısı kullanılarak 5,5..45 m/dak hızları arasında işlem yapıldığında, $f = 0,095..0,065$ aralığında alınabilir. Daha küçük f değerleri daha büyük V ve HB değerleri olması halinde kullanılabilir. Maksimum sürtünme katsayısı $f_{\max} = 1/((2+\pi/4) + (\alpha/2))$ kadardır. Serbest yüzeyin genişliği olan b_0 ve yüksekliği olan h_0 aşağıdaki denklemler ile belirlenebilir:

$$\Delta r_i = i \Delta r$$

$$h_0 = \frac{P - b_1 \pm \sqrt{(P - b_1)^2 - 4P \Delta r_i \tan(\alpha/2)}}{2 \tan(\alpha/2)}$$

$$b_0 = P - 2h_0 \tan(\alpha/2) - b_1$$

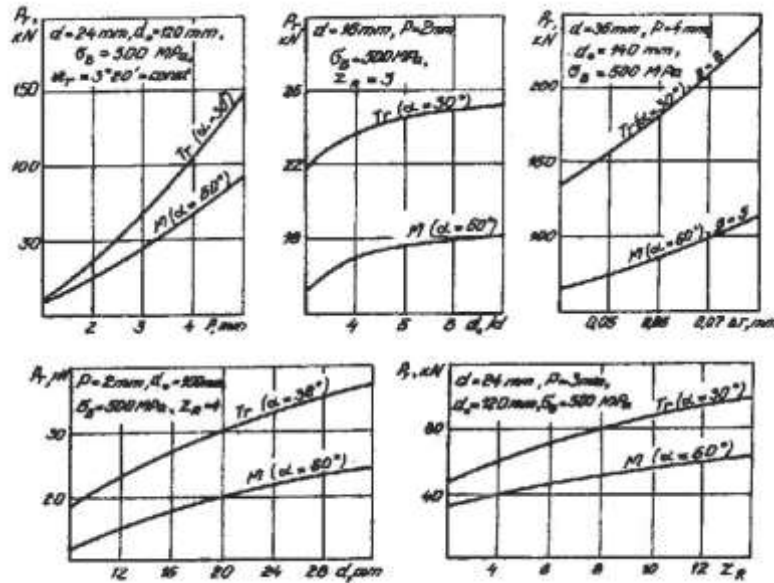
$$b_3 = b_0 \left[1 + \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right]$$
(3.25)

Denkle m3. 25'in pozitif kökü h_0 olarak bul unur. Diğer para metreler - 1, m b_1 , b_2 , b_3 , Δr_i - Şekil 3. 13'te gösteril miştir ve oval anan vi da dişi nin profil para metreleri uyarınca belirlenirler [2].

Şekillendiren parçalardaki ve oval anan iş parçası ile oval anma merdanesinin temas yüzeylerinin arasındaki farklılıklardan dolayı, verilen denkle mlerle farklı P_r değerleri bul unur. Bu yüzden, en büyük P_r değeri, P_r radyal kuvveti olarak alınır.

3.6 Radyal Kuvvetin Hesabı

Radyal kuvvetin değişimi üzerinde oval anan dişlerin temel parametrelerinin etkisi matematiksel modelin temellerine bağlı kalınarak geliştirilen bilgisayar yazılım ile araştırılmıştır. Sonuçlar şekildedir (Şekil 3. 15):



Şekil 3. 15. Vi da oval anma proses parametrelerinin radyal kuvvet değerleri üzerindeki etkisi [2].

3.7. Planet Ovalama Aparatları ile Ovalama Koşulları

Planet ovalama aparatı kullanılarak ovalanan uzun vidaların ovalama koşulları, ovalama hızı V ile (ovalama merdanelerinin veya iş parçasının çevresel ilerleme hızı; Şekil 3.11), ovalama torku M_B 'nin maksimum değeri ile ve ovalama kuvveti P_W ile belirlenir. Metrik ve trapez vidaların önerilen ovalama hızı aralığı Tablo 3.2'de verilmiştir.

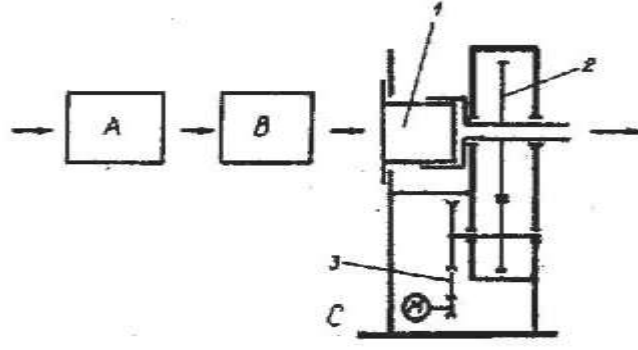
Tablo 3.2 Planet ovalama aparatları ile tavsiye edilen ovalama hızları [2].

Nominal çap, d (mm)	Ovalama hızı, V (m/dak)	
	Metrik vida	Trapez vida
3 - 5	10 - 15	—
6 - 10	20 - 30	15 - 20
12 - 20	35 - 40	20 - 30
20 den büyük	40 - 50	30 - 40

Küçük çaplı vidaların ovalama hızları, uzun shaftların stabilitesinin düşük olmasından dolayı, daha yavaştır. M_B değerinin maksimum deneysel ve teorik değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Şunu belirtmek önemlidir ki, Tablo 3.3'te gösterilen değerler seçilen planet aparatı tasarımına ve iş parçası malzemesine bağlıdır. Ovalama hızı ve torkunun yanı sıra, aparatın karakteristik özelliklerini de bildikten sonra ovalama gücünü bulmak hiçte zor değildir (Şekil 3.11).

Tablo 3.3 Ovalama torku M_B 'nin teorik ve deneysel değerleri [2].

Vida	Merdane türü	M_B (nm)		Sapma (%)
		Öçülen	Hesaplanan	
M6 x 1	Dairesel profilli	16,4	15,8	3,8
M8 x 1.25		32,8	36,3	10,6
M12 x 1.75		86,5	98,2	13,5
M12 x 1.75	Helisel profilli	152,4	165,6	8,7
Tr 12 x 3		374,3	416,7	11,3
Tr 18 x 4		1278,5	1453,3	13,7



Şekil 3 16 Uzun vidaların üretiliş şekli: A düzeltici ekipman; B kesme ekipman; C ovalama ekipmanı; 1, ovalama aparatı; 2, redüksiyon dişlisi; 3, kayış; M motor [2].

4 AMAÇLAR VE YAKLAŞIM

4.1 Amaçlar

Bu çalışmanın amacı vida ovalama merdanelerinin profil optimizasyonunu gerçekleştirerek dişlerdeki aşınma ve kırılmaların daha uzun bir çalışma süresine yayılmasını sağlamak ve böylece proses verimliliğinin artırılarak işlemin ekonomikliğini sağlamaktır.

Araştırmada temel amaç;

- Vida ovalama merdanelerinin daha uzun süre çalışabilmeleri için, vida ovalama işlemi sırasında işlemi gerçekleştiren dişlere etki eden kuvvetlerin ve basıncın mümkün olduğunca homojen dağılmasını sağlayacak biçimde profil optimizasyonudur
- İkincil amaç ise;
- Yöntemin daha verimli kullanılabilirliğini sağlayarak daha ekonomik bir hal almasını sağlamaktır.

4.2 Yöntem

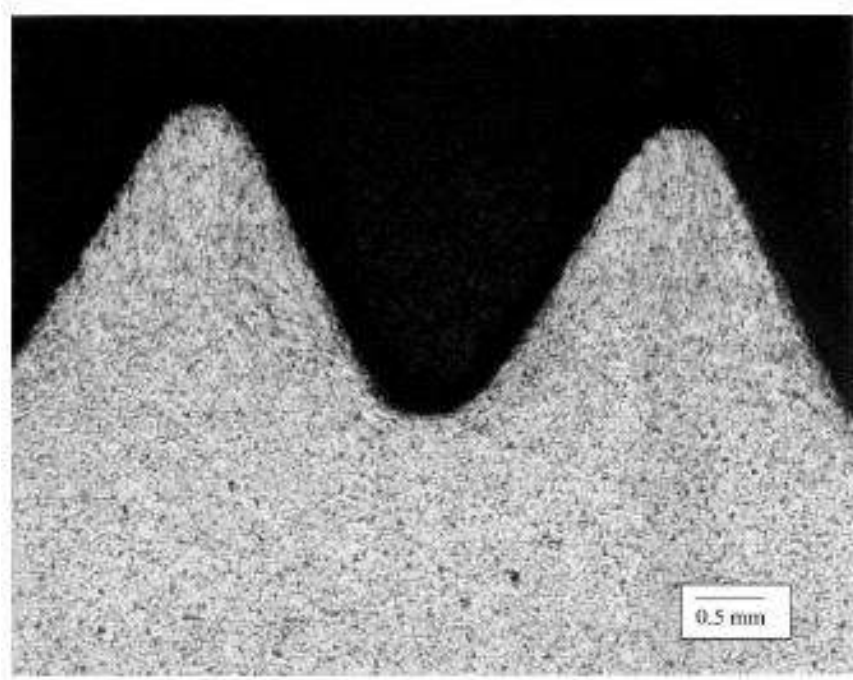
Ovalama merdanesi üzerindeki her bir dişe etkiyen kuvveti bulmak amacıyla düzlem genleme (plain strain) kayma-çizgisi alan (slip-line field) modeli uygulanmıştır. Endüstriyel kullanıma yaygın olan modelin analizi yapıldığında kuvvet dağılımının yeterli derecede iyi olduğu görülmüştür. Endüstriyel tecrübe ve literatürde önerilen modeller incelenerek yeni bir vida ovalama merdanesi profili önerilmiştir. Tasarımların defalarca incelenmesi ve denenmesi neticesinde kullanımda fayda olabilecek tasarımlar seçilmiştir. Optimize edilen profilin doğrulanması amacıyla iki boyutlu düzlem genleme ve elastik – plastik malzeme modeli kullanılarak sonuç elemanları simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Yöntemsabit

hat veli, 4,233 mm (6 diş/inç) hat veya sahip derin trapez (ACME) vidaların şekillendirilmesinde uygulanmıştır.

4.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyon Yaklaşımı

4.3.1 Düzlem Genleşme Vida Ovalama Modellemesinin Temelleri

Sertlik değeri 35 HRC değerinden büyük olan çok sert metaller dışında, vida ovalama işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Vida ovalama yönteminde deformasyon, üç boyutlu bir olgudur. Üç boyutlu simülasyonların kullanımı yavaş yavaş artsa da zaman sınırlamaları ve gerektirdiği bilgisayar yatırımları açısından ele alındığında endüstriyel anlamda kullanılması her zaman kârlı değildir. Üç boyutlu simülasyonların süreleri oldukça uzun olduğundan kapsamlı parametrik çalışmalarda sıkıntı yaratmaktadır. İki boyutlu modelde iş parçasının dönme hareketinin modellenmesi bir eksi olarak görülse de boylamasına düzlemde oluşan malzeme akışı ve vida dişi üstü ve dibine etki eden parametrelerin analizi açısından faydalı ve yol gösterici bilgiler sunmaktadır.



Şekil 4.1. Ovalanmış bir vidada içyapıdaki taneciklerin yönelmesi [5].

Vida ovalama sırasında oluşan deformasyon, kalıp-iş parçası arayüzünde küçük temas alanları ve bununla mukayese edildiğinde geniş iş parçalarıyla karakterize edilen, bir dişi birim batma prosesi olarak kabul edilebilir. Tek bir dişin temas uzunluğu iş parçası çapıyla kıyaslandığında küçük olduğundan deformasyon homojen değildir ve çoğunlukla ovalayan dişlere bitişik yüzeylerde meydana gelir. Şekil 4.1 incelendiğinde malzemenin iç yapısındaki taneciklerin yönelmesinden bu durum kolayca seçilebilmektedir [5]. Deformasyon bölgesi ile bitişik olan malzemenin dairesel yönde karşı koyma etkisi düşünüldüğünde, iş parçasının enine yönündeki malzeme akışının ihmal edilebileceği sonucu çıkar. Düzlem genleşme modelleri için kartezyen koordinat sistemi daha yaygın olarak kullanılsa da plastik genleşmeler silindirik koordinat sisteminde de gösterilebilir. Bunun için yapılan kabuller ϵ_r , ϵ_θ ve ϵ_z 'nin sırasıyla radyal, dairesel ve boylamasına eksenlerdeki genleşmeler olduğudur. Dairesel genleşmenin ihmal edilebileceği ($\epsilon_\theta \approx 0$) ve hacmin sabitliğinden ($\epsilon_z = -\epsilon_r$) yola çıkarak deformasyonun aslında düzlem genleşme şeklinde olduğu kabul edilebilir [5].



Şekil 4.2 Ovalama sonrasında örnek iş parçasındaki çizgilerin durumu [1].

Düzlem genleşme kabulünün doğru olup olmadığını görmek üzere AISI 1018 iş parçası kullanılarak bir ovalama deneyi yapılmıştır [1]. Ovalama işleminden önce iş

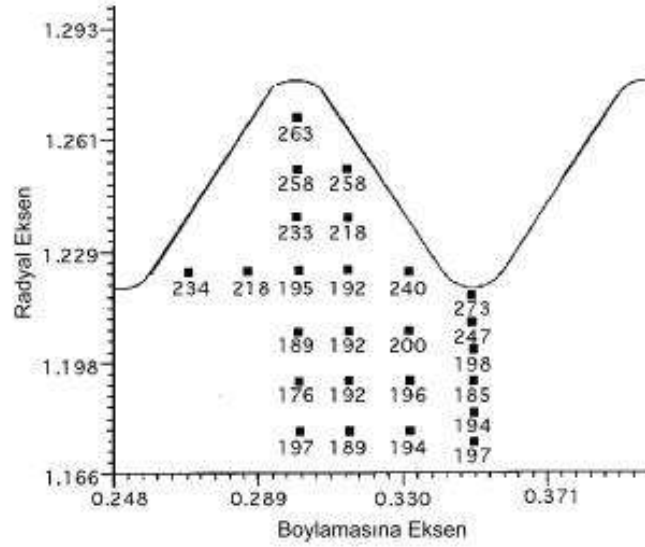
parçası yüzeyine (L=609,6 mm D=23,8 mm) aksel yönde eşit aralıklarla (90°) dört adet çizgi çizilmiştir. İnç başına 5 diş bulunduran standart vida profiline iç-besleme metodu ile uzunluğunun yarısına kadar ovalanmıştır. Ovalanan iş parçasının incelenmesi sonucunda, işleme başlanmadan önce çizilen çizgilerde hiçbir sapma kaynağı olmadığı ve çizgilerin düz kaldığı görülmüştür (Şekil 4.2). İş parçasının ovalanan kısmında yapılan gözlemlerde çizgilerin vida profilini, çizgi genişliğinde çok küçük bir daralma ile takip ettiği görülmüştür. Vida ovalama yönteminde deformasyonun düzlem genleşme modeli ile oldukça iyi modellenebileceği görülmüştür.

4.3.2 Düzlem Genleşme Modelinin Doğrulanması

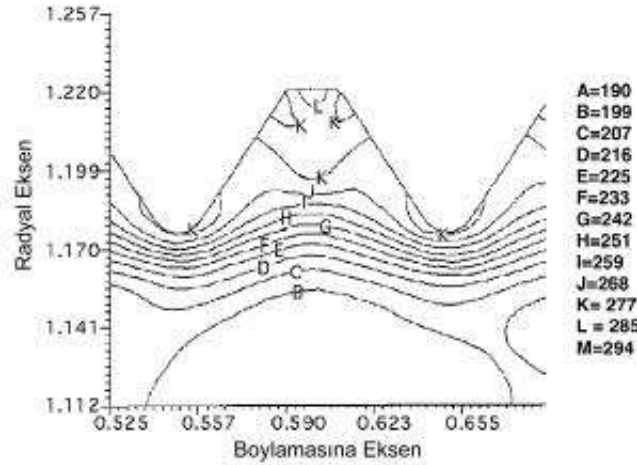
Vida ovalama modelinin doğrulanmasındaki zorluklardan biri deformasyonun homojen olmasıdır. Deformasyon büyük oranda yüzeyde ve dişlerin iç katmanlarında yoğunlaşır ve genleşme değerlerinin hassas okunmasını güçleştirir. Yinede bu değerleri, mikro sertlik değerlerini kullanarak dolaylı yoldan hesaplamak mümkündür. Mikro sertlik değerleri ovalanmış ve daha sonra küçük alanlara bölünmüş bir vidadan elde edilebilir. Daha sonra önceden yapılmış çalışmalarda belirtildiği şekilde genleşme değerleri ile aralarında bir ilişki kurulabilir. Gerilme-genleşme değerleri bir kuvvet yasası ile belirlenebilen bir malzemenin mikro sertlik ve efektif genleşme değeri arasındaki ilişki aşağıdaki şekildedir [5]:

$$DPH = b\epsilon^x \quad (4.1)$$

Ovalanmış bir numuneden alınan değerler aynı malzemenin simülasyon sonucunda elde edilen sertlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.3 ve 4.4 incelendiğinde sertlik ölçümleriyle ve simülasyonlar neticesinde bulunan benzer sertlik değerleri dağılımı görülebilir. Şekillerden görülebildiği gibi en yüksek sertlik değerleri diş diplerinde ve diş üstünde bulunmaktadır. Deneysel ölçümler ve simülasyon neticeleri arasındaki fark diş dibinde ve diş üstünde %8, dişin iç kısmında %12'dir. Bu farklılıklar düzlem genleşme modelinin tam olarak oturtulamasından kaynaklanma birlikte iki boyutlu düzlem genleşme modelinin vida ovalamada oluşan deformasyonu modelleme konusunda yeterli bir yaklaşım sağlayabileceğini göstermektedir.

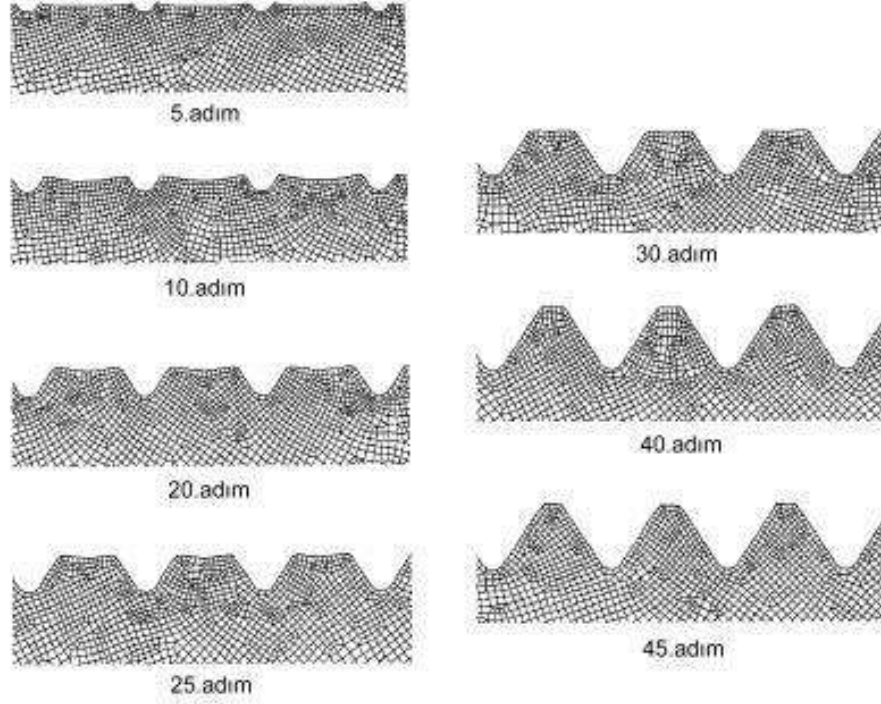


Şekil 4.3 Sertlik ölçümleri sonucunda bulunan dağılım [1].



Şekil 4.4 Sonlu elemanlar simülasyonu sonucunda elde edilen sertlik dağılımı [1].

Dğer bir gözlem yapılan simülasyonlarda malzeme akışının vida ovalama yönteminde karşılaşılanlarla yüksek bir benzerlik göstermesidir. Simülasyonlar sırasında kalıp iş parçasına battıkça malzeme kalıp dişi üzerinde tırmanmaya başlamaktadır. Deformasyonun bu aşamasında her iki kenarda tırmanan malzeme arasında komşuluk ilişkisi bulunmadığından bağımsız bir şekilde tırmanarak iş parçasının diş üstünde konkav bir şekil oluştururlar. İş parçası oluşturulacak vida profilinin toplam yüksekliğine yaklaştığında komşu kenarlar arasında komşuluk ilişkisi başlar ve diş üstünün düzleştiği görülür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Farklı batma derinliklerinde si milasyonda elde edilen dış profilleri [1].

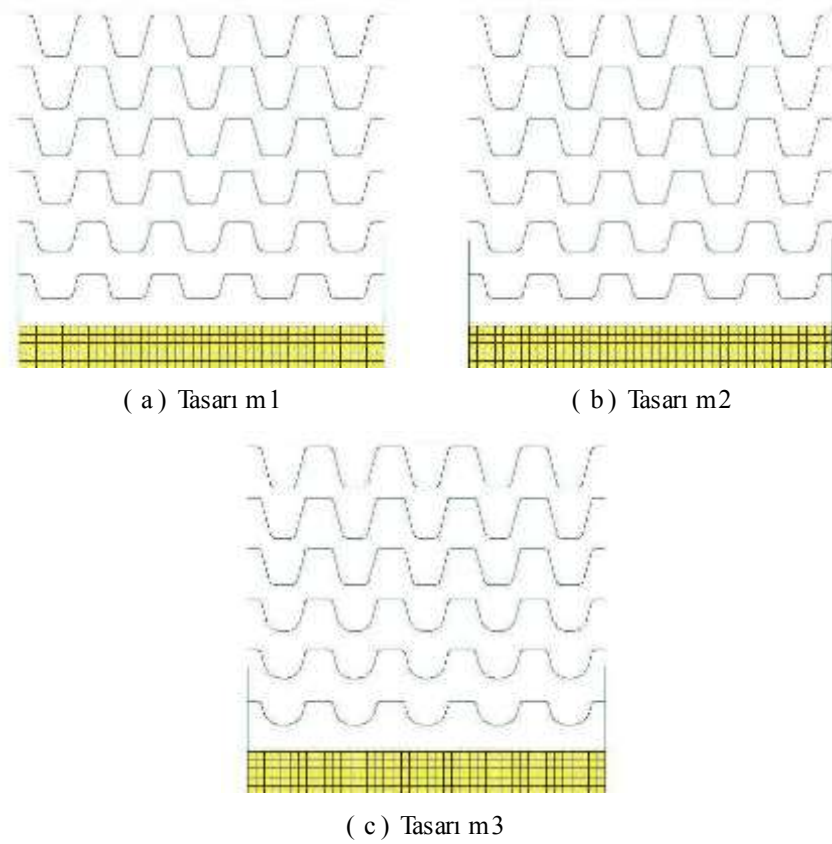
4.3.3 Düzlem Genleme Modelinin Geliştirilmesi

Teorik değerlendirmeler ve vida ovalama deneyine dayanarak vida ovalama yöntemi düzlem genleme metodu ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi si milasyonları geliştirilmiş Lagrange modeli kullanan MSC Superform 2004 programında, Windows XP Service Pack 2 işletim sistemine sahip P4 3,0 GHz işlemcili kişisel bilgisayarda çalıştırılmıştır. Si milasyonlarda elemanın yapısının yeniden düzenlenmesi özelliği kullanıp (remeshing), iş parçası elastik-plastik olarak modellenmiştir.

Düzlem genleme modelinde kullanılan yaklaşım vida dişlerinin boylamasına eksen yönünde iş parçası yüzeyinin battığı yönündedir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak her bir ovalama merdanesi profili paralel dizilmiş bir dizi ovalama dişinden oluşacak şekilde tasarlanabilir. Ovalama dişlerinin hatvesi ve geometrisi ovalanacak vidanın profiline uygun olarak tasarlanmıştır. Si milasyonda ovalanacak olan dış profili 4,233 mm hatveli ACME tipi vidadır. İş parçası olarak 50 mm çapında ve 21,165 mm uzunluğunda AISI 1045 malzeme seçilmiştir. Ovalama takımlarının iş parçasının her iki tarafında simetrik olduğu ve deformasyonun iş parçası eksenine göre simetrik olduğu göz önünde bulundurularak iş parçasının sadece yarısı modellenmiştir.

Silnetrik doldurmanın sağlanması ve iş parçasının aksel yönde uzamasını engellenmek amacıyla (bu yönde hareketin ihmal edilebileceği Bölüm 4.3.1’de tartışılmıştır) iş parçası yan yüzeylerine birer adet dikey, sürtünmesiz rijit yüzey sabitlenmiştir. Parça merkezinde yırtılmalara yol açmaması için iş parçasının alt kısmında bulunan düğüm noktalarının dikey yönde hareketleri kısıtlanmıştır.

Şekil 4.6’da Tasarım 1, endüstriyel koşullarda en çok başvurulana vida ovalama takımı tasarımıdır. Tasarım 2, Sokolov’un önerdiği metodun Ivanov tarafından doğrulanmış hali ile hesaplanan profillerdir. Tasarım 3, değerlendirme sonucunda seçilmiş, faydalı olabileceği ve karşılaştırılabilecek veriler sunabileceği düşünülen profildir. Her üç modelde de iş parçası homojen olarak 8300 dört düğüm noktalı, neredeyse dikdörtgen eleman ile örülmüştür. Malzeme modeli olarak elastik-plastik model seçildiğinden gerilmeler ve genleşmeler hesaplanırken malzeme yüksekliği göz önüne alınır. Bu sebeple, yeniden eleman yapılandırma (remeshing) işleminin zaman kaybının önlenmesi amacıyla, elemanlar homojen olarak modellenmiştir. Profilin dış üstündeki küçük yarıçaplar göz önünde bulundurularak elemanların kenar genişliği yaklaşık 0,25 mm olarak modellenmiştir.



Şekil 4.6 Silindirik dolgu modellemesinde başlangıç durumları:
a) Tasarım 1, b) Tasarım 2, c) Tasarım 3.

Vi da ovalama yöntemi genel haliyle ortam sıcaklığında gerçekleştirilen bir soğuk şekillendirme işlemi olduğundan, yöntemdefor masyon sırasında ortaya çıkan ısı ihmal edilerek izotermal koşullar altında modellenmiştir. Defor masyon sırasında plastik şekil değişimi, elastik şekil değişimi üzerinde baskındır. Buna rağmen, programın elastik-plastik malzeme modelini çözmedeki başarısı ve zaman açısından önemli bir uzama meydana geldiğinden malzeme modeli elastik-plastik alınmıştır. AISI 1045 malzemesi, test sonuçlarından elde edilen neticelerle [16] aşağıdaki formüldeki gibi modellenmiştir:

$$\sigma = 524,75e^{0.18} \quad (4.2)$$

Her bir dişin genleme alanlarında görülen benzerlikten dolayı ovalama takımında belirli sayıda diş kullanılmasına karar verilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalardan örnek alınarak [1], ovalama takım 5 dişten ibaret olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada 4 veya daha az diş kullanıldığına genleme alanlarına belirgin farklılıklar olduğu görülmüştür. 5 veya daha fazla diş kullanıldığında her bir diş için aynı genleme alanlarına ulaşılmıştır. Bilgisayarda çözümleme süresi artan diş sayısı ile orantılı olarak arttığından 5 diş ile simülasyonların yapılması kararı na ulaşılmıştır.

Simülasyonlar maksimum dalma miktarı belirlenerek kontrol edilmiştir. Küçük zaman aralıkları ve dalma miktarlarının simülasyonun yakınsama hızını ve doğruluğunu artırdığı görülmüştür. Vi da ovalama simülasyonlarında 0,001 sn/ adı milerle hızının seçilmesi düzlemgenleme modeli için uygun bir hızdır [1]. Yapılan simülasyonlarda 0,0003 sn/ adı milerle hızlarına kadar hassas hızlara düşülmesini sağlayabilmek için adı m aralıkları genleme yakınsamasının ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde serbest bırakılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalarda profilin tamolarak doldurulması için gereken basınç yüksek olduğundan ve pratikte tamdoldurma durumuyla nadiren karşılaşıldığından simülasyonlar toplam derinliğinin %71'ine kadar yapılmıştır. Bu çalışmada simülasyonlar malzemenin radyal akışını tanımlayabilmesi ve son kademede dişlere etki eden kuvvetin görülebilmesi amacıyla ile toplam derinliğe kadar yapılmıştır. Kullanılan simülasyon parametreleri aşağıdaki tablodan takip edilebilir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Düzlem genleşme modelinde kullanılan temel simülasyon parametreleri.

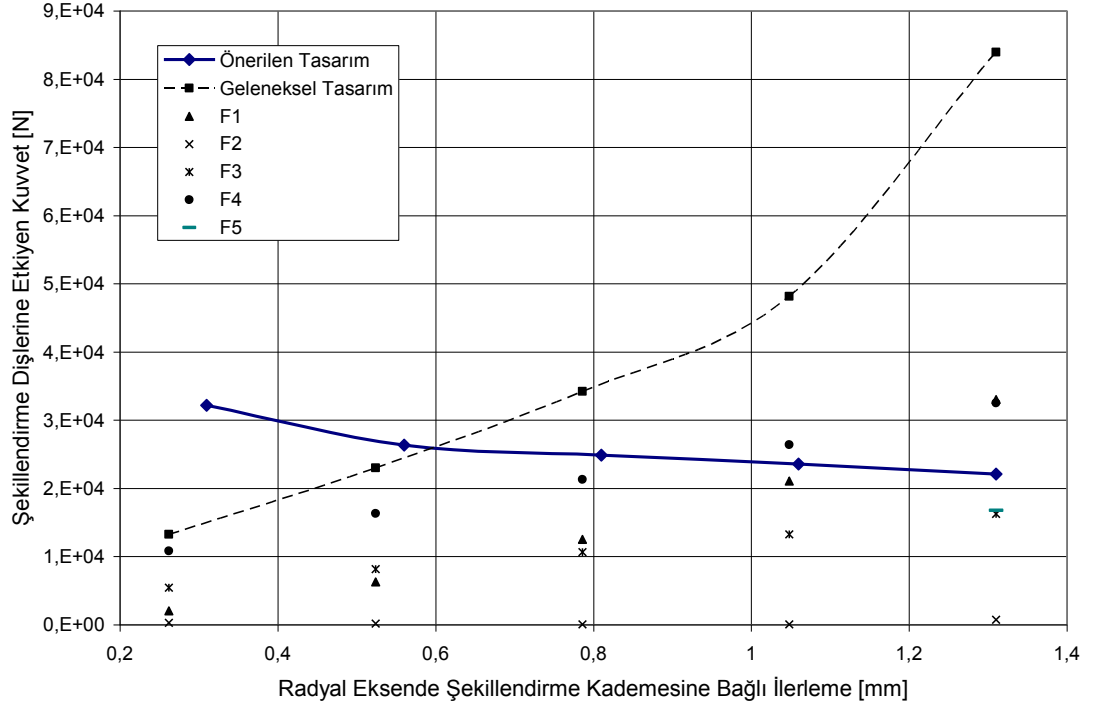
Parametre	İş parçası	Takım
Malzeme modeli	Elastik-plastik, pekleşebilen	Rijit
Boyutları	Uzunluk = 21,165 mm Yükseklik = 25 mm	ACME vida (trapez) P = 4,233 mm
Malzeme	Al-Si 1045	—
Sıcaklık	20° C	—
Sürtünme katsayısı	0,08	0,08
Hareket	Statik	Sabit hız, 50 mm/sn

4.3.4 Simülasyonda Kullanılan Profil Yaklaşımı

Ovalama merdanelerinin son dişlerinde kırılmaların diğer dişlere oranla daha erken başlaması geleneksel vida ovalama merdaneleri kullanımda sıkça rastlanan bir durumdur. Geleneksel yöntemde imal edilen merdanelerde ovalayan dişlerin temas yüzeyi arttıkça ovalayan dişlere etki eden kuvvet üstel olarak artmaktadır. Bu sebeple en yüksek kuvvet ovalama dişlerinin sonuncusuna etki olduğundan ovalama merdanelerindeki hasar durumu rahatça anlaşılabilir değildir. Bu durum hesaplamalarla ve simülasyonlarla doğrulanabilir değildir.

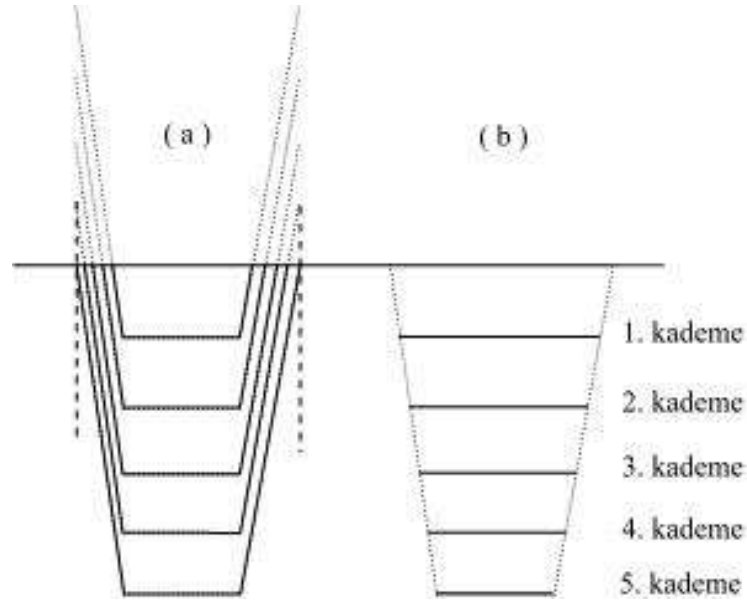
Ovalama yönteminde ovalayan dişlerin yaklaşık yarısı iş parçası ile teması görmektedir. Malzeme akışının sağlanabilmesi için dişler arasında boşluk bırakılmalıdır. Bu sebeple dişlerin batma miktarı dikkatlice hesaplanmalıdır. Ovalayan dişlerin arasına radyal olarak giren malzeme miktarı, iş parçasına batan ovalama dişlerinin kesit alanına eşit olacaktır.

Vida ovalama işleminde geleneksel olarak kullanılan vida ovalama merdanesi profilinde ve analitik yöntemle bağlı olarak tasarlanan vida ovalama merdanesi profilinde, ana şekillendirme kısmında bulunan her bir şekillendirme dişine etki eden kuvvetler hesaplanarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.7). Radyal yönde etki eden kuvvet (F₄) lineer olarak artarken, diş yanaklarına etki eden kuvvet (F₁) artışı ilk kademede etkiyen kuvvete oranla büyük bir artış göstermektedir. Ovalama merdanesi profil tasarımı, yanıl kuvveti azaltmak amacıyla, yanıl yüzey sürtünme kuvvetini azaltacak şekilde yeniden tasarlamak aşınmayı azaltacaktır.



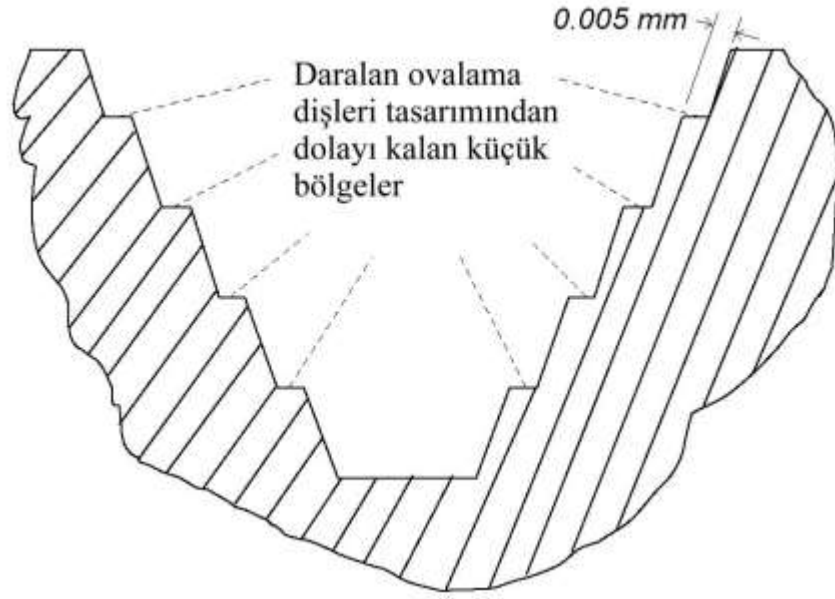
Şekil 4.7 Şekillendirme dışlarına etki eden kuvvet değerleri.

Şekil 4.8'de görülen profil tasarımı yaklaşımında, ovalama dışlarının bıraktığı küçük, şekillendirilmemiş kısımları kalibrasyon dışlarının üst üste yerleştirilerek düzleyeceği ve bunu gerçekleştirmek için çok az bir güce ihtiyaç duyulacağı öngörülmüştür. Sonuçta kalibrasyon dışları, ovalanacak vida profilinin tam olarak negatif şeklindedir.



Şekil 4.8 Dışların iş parçasına radyal batma şekli: a) Geleneksel, b) Önerilen

Önerilen profil tasarım her bir kademede bağımsız şekillendirme yapabilmeye odaklanmıştır. Bu sebeple radyal kuvvet şekillendirme açmasını tümüne eşit olarak dağıtmış ve diş başına etkiyen toplam kuvvet azaltılmıştır. Şekillendirme ovalanacak vida profilinin diş kökünden başlayarak üst kısımlarına doğru devam eder. Her bir diş profili genişliği bir öncekinden belirli bir oranda daraltıldığından şekillendiren diş yanal kuvvetler açısından bir öncekinden bağımsız kalacaktır. Daralma miktarı endüstriyel tecrübeler esas alınarak 0,005-0,01 mm aralığında seçilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Kalibrasyon aşamasında giderilmesi gereken küçük şekillendirme alanları.

5 Sİ MÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

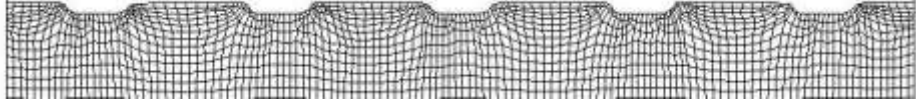
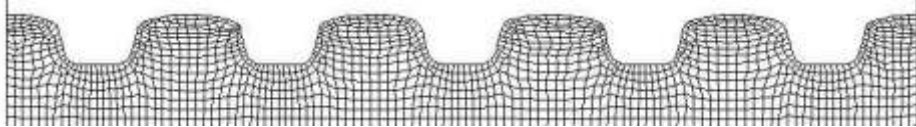
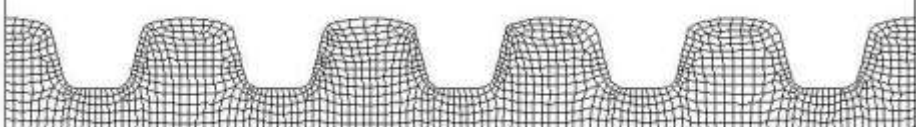
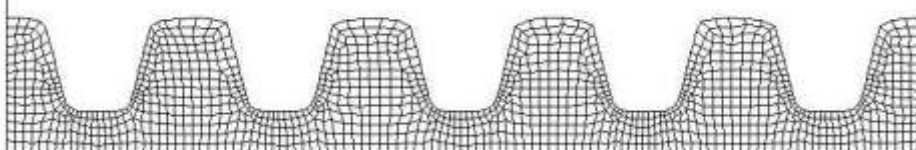
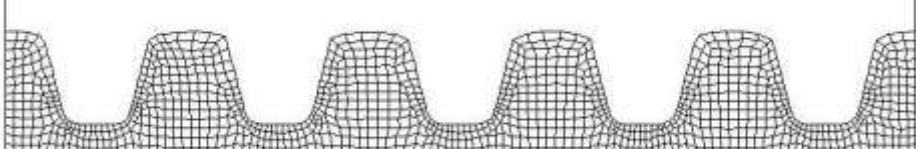
5.1 Si mülasyonlarda Profil Gelişimi

Si mülasyonlarda kullanılan 3 farklı tarak tasarının her bir kademesindeki batma işlemi bittikten sonra meydana gelen profil gelişimi Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te görülebilir. Burada Tasarım 1 geleneksel olarak kullanılan, Tasarım 2 Ivanov'un yöntemi ile hesaplanan ve Tasarım 3 faydalı olabileceği hesaplanan tasarımlardır. Kademelerin batma derinlikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Geleneksel yöntemde batma derinlikleri eşit olarak dağıtılmaktadır. Yeni geliştirilen profilde, toplam kuvveti homojen dağıtmak üzere batma derinlikleri yeniden hesaplanmıştır.

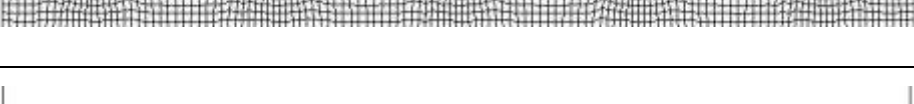
Şekillerden görüldüğü gibi malzeme oldukça başarılı bir şekilde modellenmiştir. Kademelerin gelişimi sırasında dişler arasındaki boşluk ilişkisi ilk kademeden son kademeye kadar bozulmamış, eleman yapısı sürekli sınırlarını korumuştur. Hem si mülasyonların duyarlılığının takibi açısından, hem de faydalı olabileceği düşünüldüğünden hesaplanarak si mülasyonları yapılan Tasarım 3'ün de profil gelişimi açısından oldukça başarılı olduğu rahatlıkla gözlemlenebilir.

Tablo 5.1 Si mülasyonlarda her bir tarağın kademelere göre batma derinlikleri.

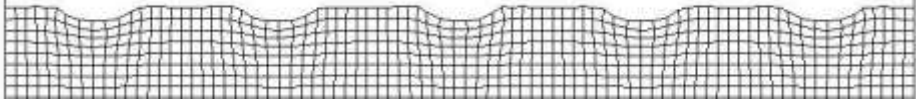
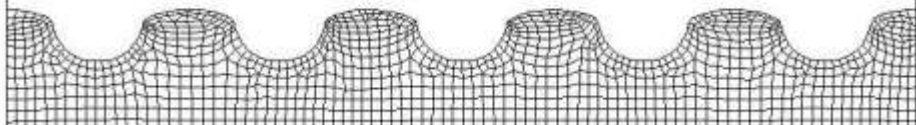
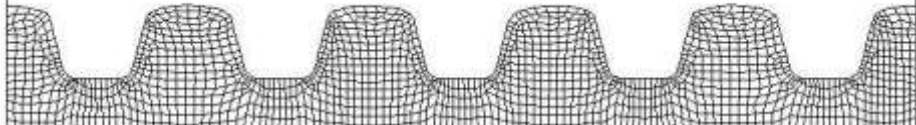
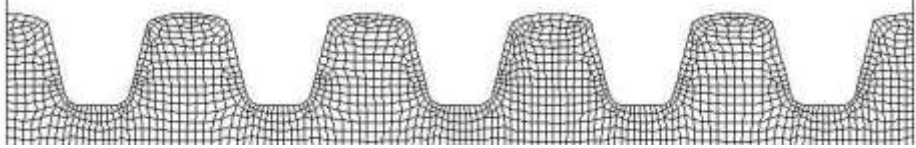
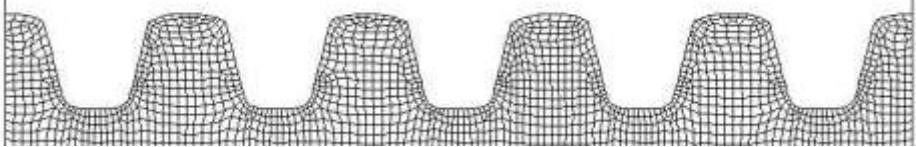
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4	Kademe 5	Kademe 6
Tasarım 1	0,262	0,524	0,786	1,048	1,310	1,310
Tasarım 2	0,310	0,560	0,810	1,060	1,310	1,310
Tasarım 3	0,310	0,560	0,810	1,060	1,310	1,310

	Ka de me 1
	Ka de me 2
	Ka de me 3
	Ka de me 4
	Ka de me 5
	Ka de me 6

Şekil 5.1. “Tasarı m1” tarağı ile yapılan si mül asyonda p r of il ge li ş i m i

	Ka de me 1
	Ka de me 2
	Ka de me 3
	Ka de me 4
	Ka de me 5
	Ka de me 6

Şekil 5.2 “Tasarı m2” tarağı ile yapılan si mül asyonda profil geliş i m i.

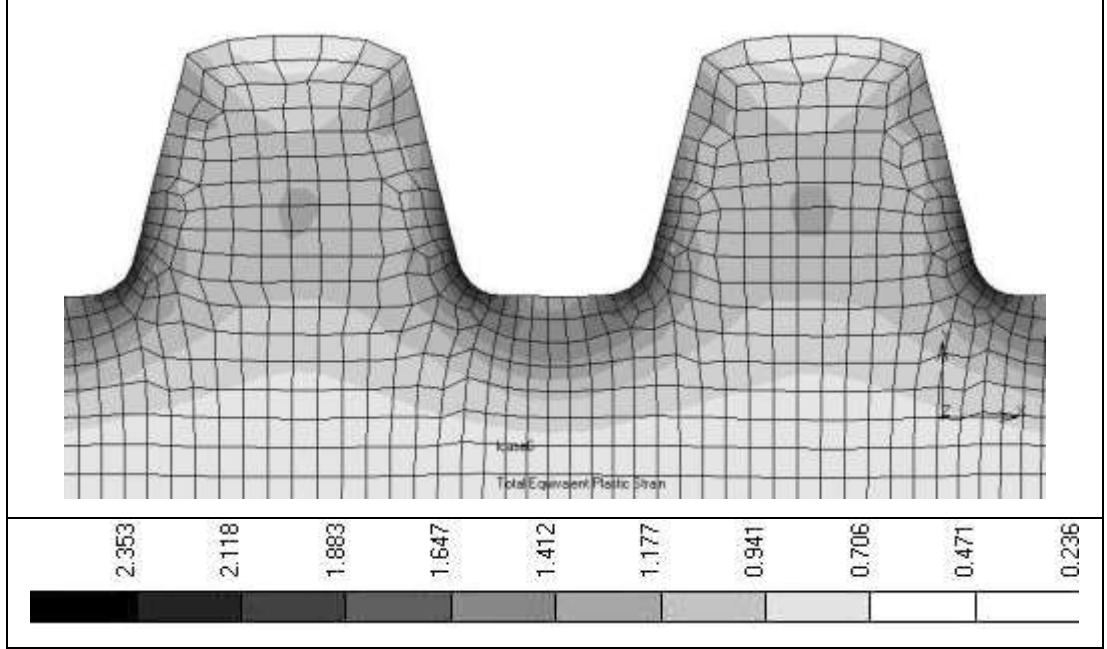
	Ka de me 1
	Ka de me 2
	Ka de me 3
	Ka de me 4
	Ka de me 5
	Ka de me 6

Şekil 5.3 “Tasarı m3” tarağı ile yapılan si mül asyonda profil geliş i ni.

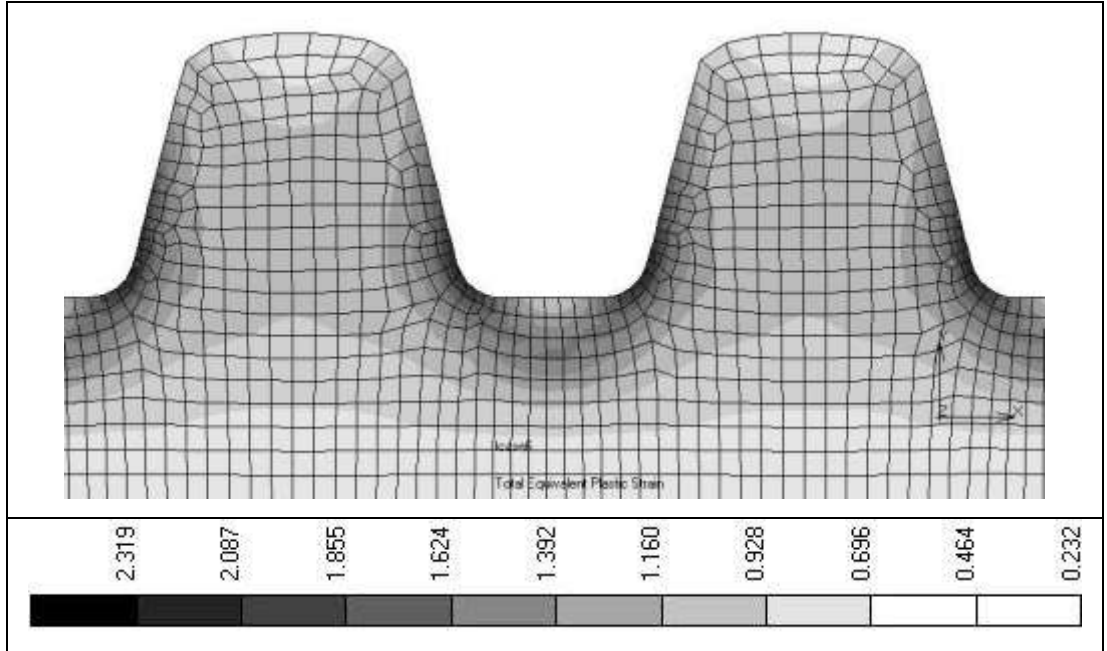
5.2 Bir i mŞekil Değ iştir ne M kt arları

Si mül asyonlar sonrasında he m mal ze ne ni n davranış ı ni n incelen me si açı sından, he m de daha önce yapı lmış çalış malarla karşı laşt ır mak açı sından bir i mş ekil değ iştir ne verileri toplan mıştır. Bu böl ümde verilen şek illerde, iş parças ı ni n tam ortasına denk gelen, ko nş uluk ilişk isi en kuvvetli iki vida dişi yak ından gösteril mıştır. Si netrinin ve genle me alanları ni n dü zgü nlüğü di kkat çekici dir ve

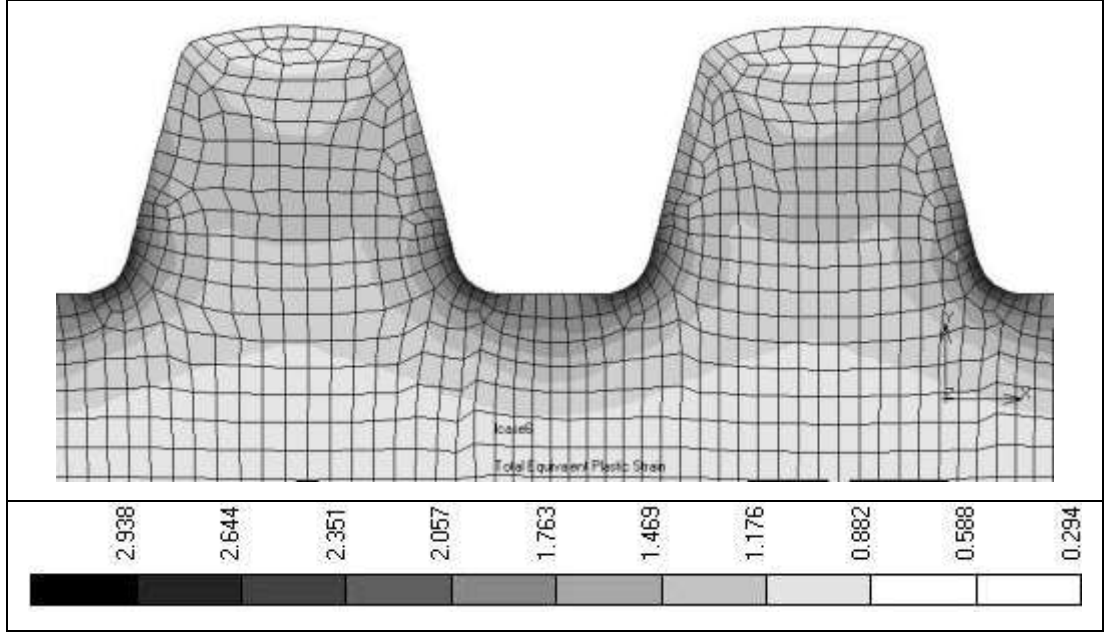
önceki çalışmalarla büyük benzerlik göstermektedir. En yüksek genleşme değerlerinin iş parçasının dış diplerinde, en az değerlerinin dış üstünde ve malzemenin içi kısmında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4 “Tasarım 1” si mülasyonu sonrasında elde edilen eşdeğer birim şekil değiştirme dağılımı



Şekil 5.5 “Tasarım 2” si mülasyonu sonrasında elde edilen eşdeğer birim şekil değiştirme dağılımı



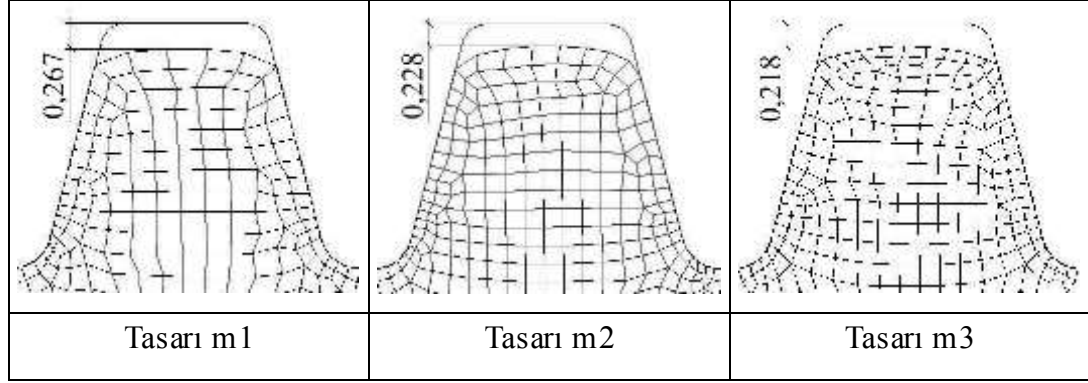
Şekil 5.6 “Tasarım 3” si mülasyonu sonrasında elde edilen eşdeğer birim şekil değiştirme dağılımı

Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6 dikkatle incelendiğinde Tasarım 3 ile gerçekleştirilen si mülasyon sonrasında oluşan birim şekil değiştirme değerlerinin diğer iki tasarımdan yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Tasarım 3’te kullanılan ovala malviyelerinin dış üstündeki yarıçaplarının 0,4 mm’den 1,0 mm’ye çıkarılmış olmasıdır. Yarıçapın daha büyük olması, batma işleminin en başından başlayarak malzemenin daha fazla yer değiştirmesini sağlamaktadır. Buradan si mülasyonun profil değişikliklerine duyarlı olduğu da görülmektedir.

5.3 Elde Edilen Profil Yüksekliklerinin Karşılaştırılması

Yapılan si mülasyonların hiçbirinde hedeflenen profile %100 ulaşılamamıştır. Si mülasyonların geliştirilmesi aşamasında yapılan ilk çalışmalar da profili tam olarak dolduran çalışmalar yapılmış, ancak batma derinlikleri ve malzemenin radyal akışı konularında si mülasyonlar başarılı olamamışlardır. Si mülasyonların son kademesinde (ütüleme) ulaşılan en yüksek doldurma oranları Şekil 5.7’de görülebilir. Hedeflenen 4,233 mm hatveli trapez vida profilinin yüksekliği 2,4 mm’dir. Bu değere en yakın yükseklik Tasarım 3 profili ile elde edilmiştir. Pratikte de vida profil yüksekliğinin tam olarak doldurulması nadiren görülen bir durumdur. Bu şekilde

ovalama yapabilmek için uzun süren ayarlamalar yapılması gerekmektedir. Daha önce yapılmış çalışmalarda simülasyonlar toplam dış yüksekliğinin $\frac{3}{4}$ lük kısmına kadar çalıştırılmıştır. Simülasyonlar sonrasında tasarılardan elde edilen maksimum yükseklikler Tablo 5.2’de verilmiştir.

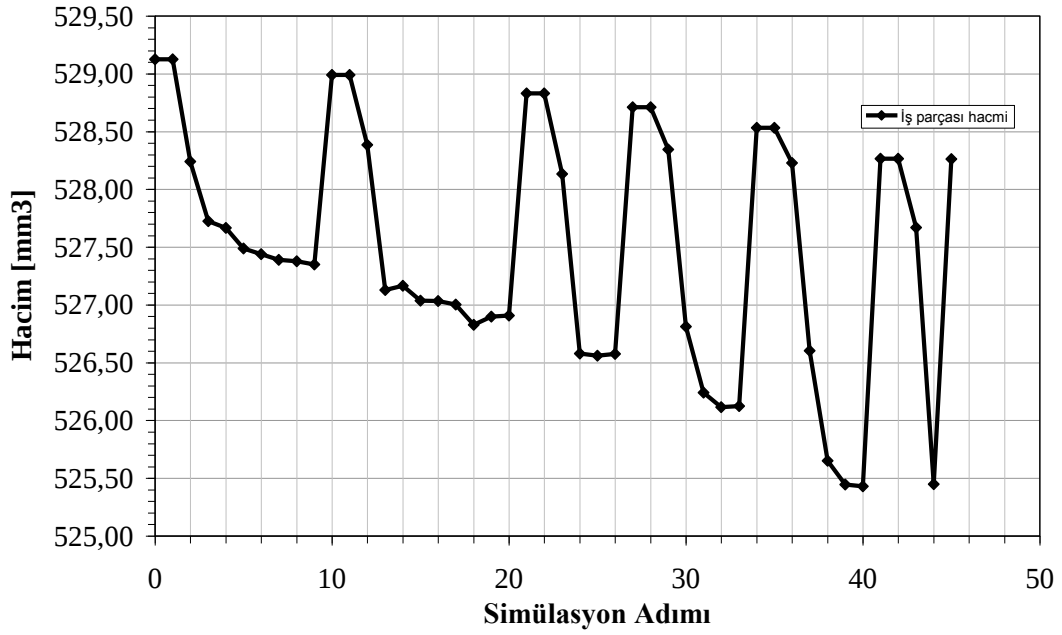


Şekil 5.7. Kullanılan tasarılarda profil doldurma oranları.

Tablo 5.2 Simülasyonlar sonrasında elde edilen dış yükseklikleri.

Tasarı m No.	Maksimum Dış Yüksekliği
Tasarı m1	2,133 mm
Tasarı m2	2,172 mm
Tasarı m3	2,182 mm

Hedeflenen dış yüksekliğine ulaşılamamasının nedeni simülasyonlarda yakınsama yapılırken karşılaşılan hacim kaybı olabilir. Simülasyonların hassas bir şekilde yapılabilmesi için Tasarı m1 simülasyonu 11662 eleman, Tasarı m2 simülasyonu 16332 eleman ve Tasarı m3 simülasyonu 12914 elemanla gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar sırasında kaybedilen hacim miktarı yaklaşık olarak başlangıç hacminin 0,0015’i kadardır. Hacim kayıpları Tasarı m1’deki Şekil 5.8’de görülebilir. Diğer simülasyonlardan elde edilen hacim değişimi miktarı da kabaca Tasarı m1’deki kadardır. Sadece simülasyonların adımsayısı farklıdır.



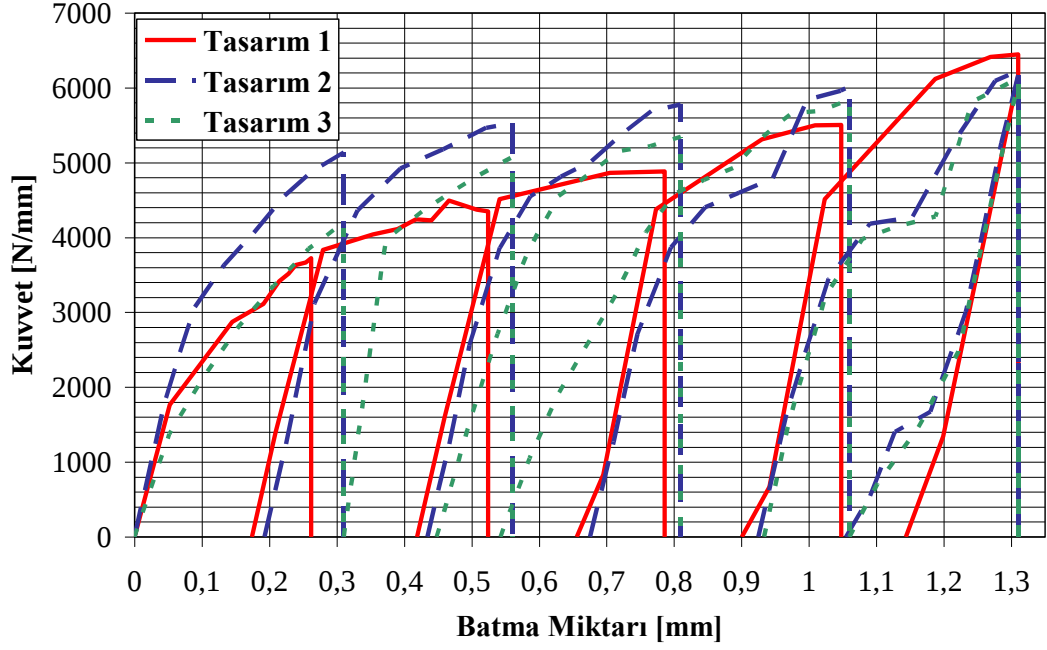
Şekil 5.8 Si mül asyonl ar sırası nda ol uş an hacim değ iş i m i.

5.4 Si mül asyonl ardan H de Edilen Kuvvet Verilerini n Değerlendirilmesi

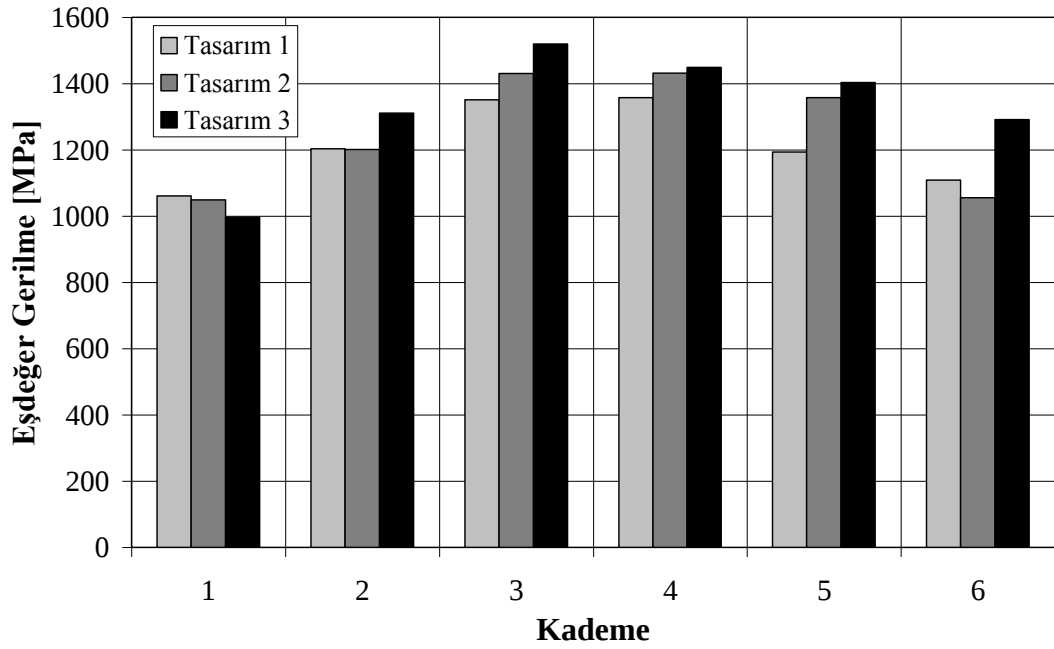
Si mül asyonl ar sonrasında üç farklı kuvvet verisi toplanmıştır. Bunlardan ilki oval ana merdanesi üzerindeki dişlerden her birine etki eden kuvvettir.

Tüm tasarımlarda önceden öngörüldüğü gibi en büyük kuvvetin son dişe etki ettiği görülmektedir. Son kademeye etki eden en küçük kuvvet değeri Tasarım 3'tedir. En büyük kuvvet değeri ise Tasarım 1'de görülmektedir. Tasarım 3'teki en yüksek kuvvet, Tasarım 2'deki en yüksek kuvvetin %3,9'una eşittir. Tasarım 2'deki en yüksek kuvvet ise Tasarım 1'deki en yüksek kuvvetin %4,4'üne eşittir. Her iki profil tasarımında da kuvvet düşüşü sağlanmıştır. Ancak kuvvetin homojen olarak dağıtılması konusunda en iyi sonucu Tasarım 2 vermiştir. İlk dişe gelen yük ile son dişe gelen yük karşılaştırıldığında en büyük fark Tasarım 1'de görülmektedir. Tasarım 2'de ütüleme kademesine (6. Kade me) bir miktar şekillendirilmiş alan bırakıldığı Bölüm 4'te açıklanmıştır. Ütüleme kademesine etki eden kuvvetlere bakıldığında Tasarım 1'in ütüleme kademesine etki eden kuvvet, Tasarım 2'nin ütüleme kademesine etki eden kuvvetin %9,9'una eşittir.

İkinci kuvvet verisi olarak iş parçasına etki eden eşdeğer gerilmeler dikkate alınmıştır. Eşdeğer gerilme değerlerindeki dağılım aşağıdaki şekildedir.

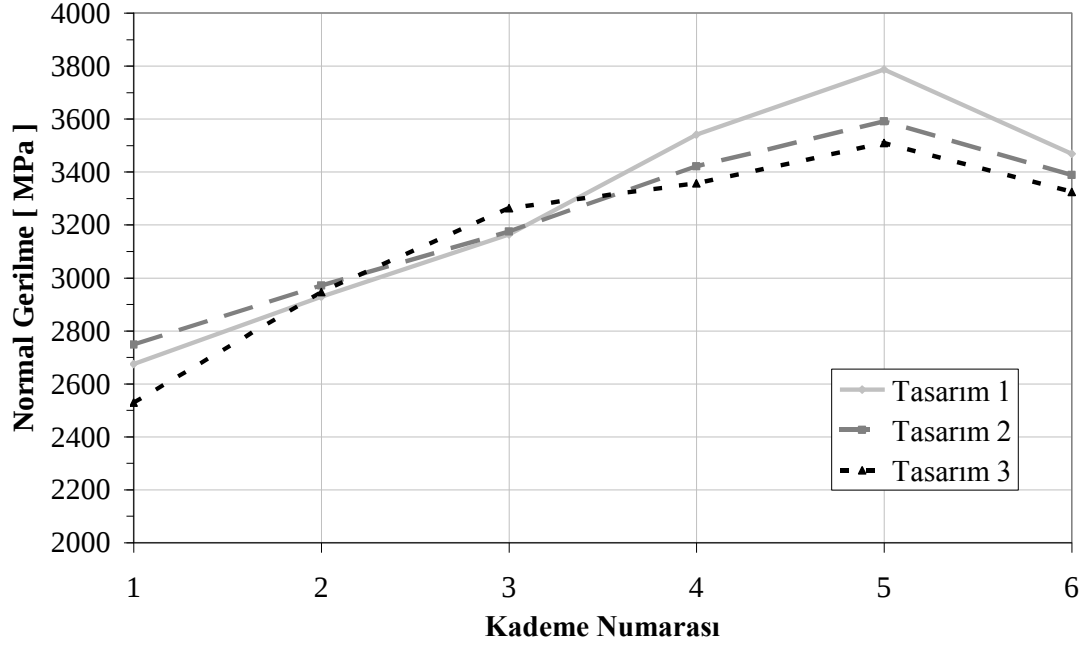


Şekil 5.9 Dişlere etki eden ovalama kuvveti.



Şekil 5.10 Sıfırlama sırasında iş parçası üzerinde oluşan en büyük eşdeğer gerilme değerleri.

Sıfırlamalardan toplanan üçüncü kuvvet verisi iş parçasına etki eden maksimum normal gerilme değerleridir. Maksimum normal gerilme değerleri tasarımların her bir dişinin ovalama işi yaptığı ve üstüne etkiyen ovalama kuvvetinden kurtulmadan hemen önce toplanan kuvvet değerleridir.



Şekil 5.11. Sımilasyonlarda iş parçasına etkiyen maksimum normal gerilme değerleri.

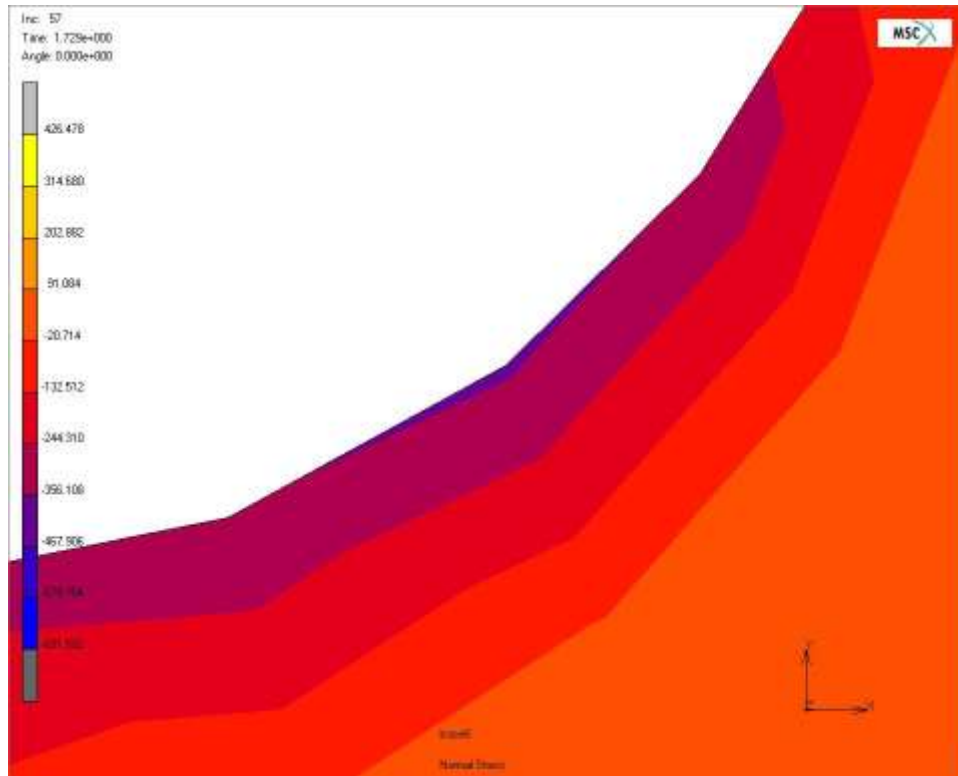
Şekil 5.11’den de görüldüğü gibi maksimum normal gerilme değeri Tasarım 1 takımının ovalanması sırasında elde edilmiştir. Maksimum gerilme eğeriinin en yüksek olduğu kade en son ovalama dişinin bulunduğu 5. kade nedir. En düşük değeri Tasarım 3 ile elde edilirken, Şekil 5.9’daki ne benzer olarak en homojen kuvvet dağılımı Tasarım 2’de görülmektedir. Tasarım 2’deki maksimum normal gerilme değeri Tasarım 1’de elde edilen maksimum normal gerilme değerinin %4,8’idir. Tasarım 3’deki maksimum gerilme değeri ise Tasarım 1’de elde edilen değerinin %2,6’sına eşittir. Sımilasyon sonuçları her iki tasarımın da geleneksel olarak kullanılan Tasarım 1’den daha başarılı olduğunu göstermektedir.

5.5 Sımilasyon Sonrasında Oluşan Artık Gerilmeler

Vida ovalama teknolojisinin tanıtımında belirtildiği gibi, vida ovalama yönteminin avantajlarından biri, işlem sonrasında dış diplerinde basma artık gerilmeleri kalmasıdır. Bu gerilmeler işletme koşulları altında vidanın yorulma ömrünü artırıcı yönde etki etmektedir. Sımilasyonlar sonrasında, tüm ovalama merdanesi profil yaklaşımlarında, dış diplerinde artık gerilmeler oluşmuştur (Şekil 5.12 ve 5.13).



Şekil 5.12 Ovala m a s i m ũ l a s y o n u s o n r a s ı n d a d ı ŝ p r o f i l i n d e o l u ŝ a n g e r i l n e d a ğ l ı m .



Şekil 5.13 D i ŝ d i b i n d e o l u ŝ a n a r t ı k g e r i l n e a l a n .

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Vi da ovalama merdanelerinde yaşanan sorunlardan biri, şekillendirme dişlerinin sonuncusunda meydana gelen, diğer dişlere oranla daha erken kırılma olayıdır. Günümüzde vi da ovalama merdaneleri tasarımı da hala geleneksel yöntemlerin kullanılması bunun başlıca sebeplerinden biridir. Bu çalışma ile takım ömrünü uzatacak yeni bir profil tasarımı geliştirilmesi hedeflenmiş, bu tasarımın geçerliliğinin sağlanması için ise analitik ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılmıştır. Tasarımın iyileştirilmesi üretilen vidanın kalitesine yansıyacağı gibi, ovalama takımlarının ömrünü uzatarak önemli bir fayda sağlayacaktır.

Ovalama merdaneleri tasarımı için iyileştirilmesi ne yönelik olarak yapılan bu çalışmada 4,233 mm (6 diş/inç) sabit hatveli, 50 mm çapında derin trapez vi da iş parçası olarak seçilmiştir. İş parçası malzemesi olarak AISI 1045 çelik kullanılmıştır. Malzeme düzlemgenleme modeli ile modellenmiş ve geleneksel kullanılan merdane profilinin yanı sıra çeşitli yeni profil yaklaşımları çalıştırılmıştır.

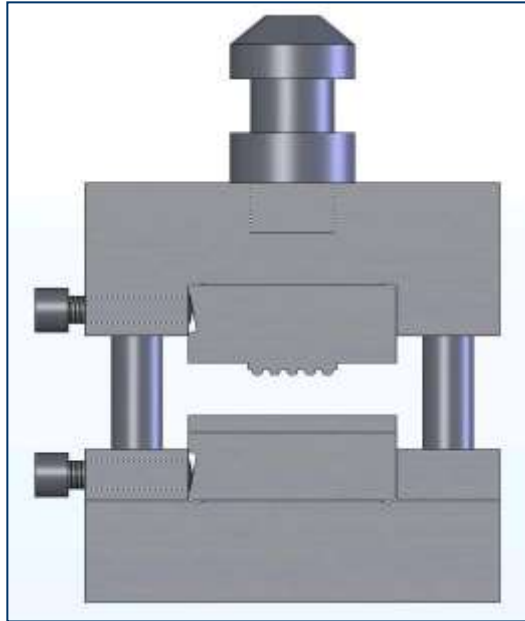
Literatürde tasarımı ve gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda geleneksel vi da ovalama merdanesi profil tasarımı geliştirilebileceği açıkça görülmektedir. Profil tasarımı genel veya özel işlere göre yeniden gözden geçirilip çağdaş hesaplama yöntemleri ve bilgisayar teknolojisi kullanarak geliştirilebileceği hem verilen örneklerde, hem de çalışmanın kendisinde analizlerle anlatılmıştır. Yapılan simülasyon sonuçları şimdi den olumlu neticeler vermekle birlikte hala geliştirilmeye açıktır. Deneysel çalışmalarla ve çeşitli malzemelerle desteklenen, birden fazla vi da profili için uygulanan çalışmalarla daha sağlıklı veriler elde edilip daha büyük kazançlar sağlanabilir. Sonuçlarda da belirtildiği gibi Tasarım2 ve 3, Tasarım1'e oranla ortalama %10 daha az kuvvet etkisinde kalmaktadır. Bunun ovalama takımı ömrü üzerine olumlu yansıyacağı kaçınılmazdır. Simülasyonlarda eleman ağının yeniden oluşturulması işlemi (*remeshing*) daha hassas hale getirilerek, yakınsamalar sırasında meydana gelen hacim kaybı engellenebilir ve iş parçasının vi da profilini tam olarak doldurması sağlanabilir. Ovalanan iş parçasının sahip olduğu profil simülasyonlarla tam doldurulduğunda elde edilen veriler, gerçek

sertlik ve hassas kuvvet ölçümü sonuçları ile orantılı olarak kalibre edildiğinde, ortaya gerçeğe yakın si mülasyonlar çıkacak ve gerek tasarım zamanı azaltılıp gerekse takım ömrünü artırılabilir. Vida ovalama yönteminin MSC Superform 2004'ün yanı sıra bir diğer programla da si müle edilmesi sayesinde, matematiksel modellemadaki yaklaşım bir kez daha teyit edilebilir. Si mülasyonlardan elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Si mülasyonlarda profil gelişimi oldukça hassas ilerlemektedir. Malzemeyi oluşturan elemanların si metrik pozisyonu, rijit taraftan iş parçasına etkiyen kuvvetin homojen olarak dağıldığını göstermektedir.
- Oluşturulan vida profilinin dış diğindeki yarıçapların şeklen kusursuz olması, ovalama merdanesinin malzemeyle ilk battığı andan itibaren yeniden eleman ağı oluşturulması işleminin sorunsuz ilerlediğini göstermektedir.
- Tasarım 1 ve 2'nin hedef vida profilleri aynı olsa da ovalama yaklaşımları farklıdır. Tasarım 1 batma işleminde her kademenin derinliğini eşit tutarken, Tasarım 2 farklı bir yaklaşımla batmaktadır. Batma yüksekliğinin farklılık göstermesi tamamen toplam kuvvetin tüm şekillendirme dışlarına eşit olarak dağıtılmasına yöneliktir. Burada ilginç olan her iki profille ovalama si mülasyonları sonrasında toplam eşdeğer bir mışekil değıştirme miktarlarının çok yakın olmasıdır.
- Tasarım 3'ün si mülasyonu sonucunda elde edilen genleme değerleri dağılımı Tasarım 1 ve 2'den farklıdır. Tasarım 3'te daha yüksek genleme değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi muhtemelen, malzeme akışını kolaylaştırmak üzere, dış üstündeki yarıçapların diğer iki profilten 2,5 kat büyük olmasıdır.
- Si mülasyonların hiçbirinde toplam hedeflenen profil yüksekliğine ulaşılamıştır. Bunun çeşitli nedenleri olabilir. Toplam batma miktarları hassas hacim hesaplamaları ile yapılmış olup, neticenin %100 doldurma yani 2,4 mm olması beklenmektedir. Ancak sonuçlar en çok 2,182 mm'ye işaret etmektedir.
- 2,4 mm toplam dış yüksekliğine ulaşmak amacıyla ile si mülasyonlar zorlandığında, tam doldurmanın 1,55 batma derinliğinden sonra sağlanmaya başlanmıştır.
- Si mülasyonlardan elde edilen iş parçası hacmi – si mülasyon adı m verilerinden, si mülasyon sırasında malzeme hacminde ilk hacme oranla 0,0015 kayıp verildiği saptanmıştır.

- Simülasyonlar neticesinde üç tasarım yaklaşımı için her bir şekillendirme dişi ne etkiyen kuvvet bulunmuştur. En yüksek kuvvetler son şekillendirme kademesi olan 5. kademeye etki etmiştir. Kade me 5 kuvvetleri karşılaştırıldığında en yüksek kuvvetin geleneksel tasarımı a ait olduğu görülmüştür. En düşük kuvvet Tasarım 3'e ait olurken, en homojen kuvvet dağılımı tasarım 2 tarafından sağlanmıştır.
- İş parçasına etki eden eşdeğer gerilimler değerlendirilmiş ve gerilme değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.
- İş parçasına etki eden maksimum gerilmeleri incelenmiş, bu inceleme sonucunda kuvvet dağılımı neticelerini aynı sı ile karşılaştırılmıştır.

Simülasyonların doğrulanması önceki bölümlerde oldukça detaylı tartışılmıştır. Ancak araştırmanın daha detaylı ele alınabilmesi amacı ile deneysel çalışmalara devam edilmesi düşünülmüştür. “Tasarım 2” tasarım yaklaşımının profil geometrisinde 5 adet tarak i mal edilmiş olup, simülasyonların benzeri şekilde deney yapabilmek üzere bunlara uygun kalıplar tasarlanmış ve i mal edilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Simülasyonların doğrulanması na yönelik olarak kullanılacak kalıp

Ayrıca simülasyonlarda karşılaşılan iş parçasındaki hacim kaybının yakınsamalaradaki hatalardan, dolayısı ile eleman dağılımının yeniden oluşturulması sırasında olduğu düşünülmüştür. Bu ayrımı nın daha başarılı bir şekilde, minimum iş parçası hacmi elde edilme ye çalışılacak, simülasyonlar Fortran yardımcı dosyaları ile eşleştirilerek çalıştırılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Domblesky, J. P. and Feng F., 2003. Two-dimensional and three-dimensional finite element models of external thread rolling, *Proc Instn Mech Engrs*, Vol 216 Part B 507-517.
- [2] Ivanov, V., 1998. Rolling of long screws, *J. of Materials Processing Technology*, Vol 82, 1-12.
- [3] Ruka, T., 2001. Thread Rolling on CNC Machine Shop Guide Web Archive, March 2003.
- [4] Gagg, C R, 2001. Premature failure of thread rolling dies: material selection, hardness criteria and case studies, *Engineering Failure Analysis*, Vol 8, 87-105.
- [5] Domblesky, J. P. and Feng F., 2002. A parametric study of process parameters in external thread rolling, *J. of Materials Processing Technology*, Vol 121, 341-349.
- [6] Sokolov, V., 1958. About the determination of the deforming forces during thread rolling of trapezoidal threads (*in Russian*), *Vestnik Mashinostroyeniya*, 9-38, 29-33.
- [7] Parer, Z., Gontarz, A. And Wronski, W., 2003. New method of thread rolling, *Proc. Of the Int. Conf. On AMPT 2003, Dublin, Ireland*, 1093-1096.
- [8] *Isinüz*, 1972. Beanspruchungsgerechtes Gestalten von Trapezgewindewalzenrollen für Gewinderollköpfe, *Fertigungstechnik und Betrieb*, 22, 487-490.
- [9] Yoshimoto, I., 1960. Analysis of rolling pressure and rolling power for the thread rolling attachment with two rolls, *Bulletin of Tokyo Inst. of Tech.*, No. 40, 49-56.

- [10] Dotson, J. L., Henrey, C R and Domblesky, J. P., 2002. Experimental investigation of external thread rolling. *Wire Journal International*, November 2002, 64-68.
- [11] Ifergane, S., Eliaz, N., Stern, N., Kogan, E., Shemesh, G., Sheinkopf, H., Eliezer, D., 2000. The effect of manufacturing processes on the fatigue lifetime of aeronautical bolts, *Engineering Failure Analysis*, 8, 227-235.
- [12] Reddy, J. N., 1993. *An introduction to the finite element method (2nd Edition)*, McGraw Hill, Inc.
- [13] Reed Rolled Thread Die Co., 1985. *Thread and form rolling*. Reed Division of Quamco, Inc.
- [14] Hosford, W.F. and Caddell, R.M., 1993. *Metal forming: mechanics and metallurgy (2nd Edition)*, PTR Prentice Hall.
- [15] Kobayashi, S., Oh, S. and Altan, T., 1989. *Metal forming and the finite element method*, Oxford University Press.
- [16] Nobre, J. P., Dias, A. M. and Kornmier, M., 2004. An empirical methodology to estimate a local yield stress in work-hardened surface layers, *Society for Experimental Mechanics*, Vol. 44 No. 1, 76-84.

ÖZGEÇMİŞ

Ertem AYGIN 02.04.1978 tarihinde Kırklareli’nde doğdu. 1995 yılında lise öğrenimini Kırklareli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Temmuz 2002’de Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinden Makina Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Lisans eğitimi sırasında Atölye - Organizasyon stajını Pacific E N G, Bangkok’ta yaptı. İlk mühendislik tecrübesini Antalya Veneks Müh. ve Ltd. Şti.’de tesisat proje mühendisi olarak yaşadı. 2002 Eylül’de İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ne yüksek lisans öğrencisi olarak kabul edilmesinden bir sene sonra başladığı Hpak A.Ş.’de halen Ar-Ge mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.