

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CİDAR EZMELİ SIVAMA YÖNTEMİNDE ŞEKİLLENDİRİCİ MAKARA SAYISININ  
ALTI ADEDE ÇIKARILMASININ İŞLEM KARAKTERİSTİKLERİ İLE PARÇA  
KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**CEM DENİZHAN BİRO**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. MEHMET EMİN YURCİ**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CİDAR EZMELİ SIVAMA YÖNTEMİNDE ŞEKİLLENDİRİCİ MAKARA SAYISININ  
ALTI ADEDE ÇIKARILMASININ İŞLEM KARAKTERİSTİKLERİ İLE PARÇA  
KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**CEM DENİZHAN BİRO**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. MEHMET EMİN YURCI**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CİDAR EZMELİ SIVAMA YÖNTEMİNDE ŞEKİLLENDİRİCİ MAKARA SAYISININ  
ALTI ADEDE ÇIKARILMASININ İŞLEM KARAKTERİSTİKLERİ İLE PARÇA  
KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Cem Denizhan BİRO tarafından hazırlanan tez çalışması 16.03.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Mehmet Emin YURCİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Mehmet Emin YURCİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Erhan Altan  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ  
Yıldız Teknik Üniversitesi



## ÖNSÖZ

---

Yapılan bu çalışmada, cidar ezmeli sıvama yönteminde kullanılmakta olan, şekillendirici makaraların sayısının arttırılmasının etkileri araştırılmıştır. Tez çalışmaları sırasında, işlem karakteristiklerinin, REPKON A.Ş. firmasında tasarım ve imalatı gerçekleştirilen altı makaralı bir makine üzerinde uygulamalı olarak irdelenmesi sağlanmıştır.

Cidar ezmeli sıvama yönteminin, detaylı bir şekilde anlaşılabilmesi için sıvamanın tarihçesi, standart sıvama ve yatırmalı sıvama yöntemi ile ilgili detaylı bilgiler de verilmiştir. Yapılan teorik çalışmalar, deneysel çalışmalarla desteklenmiştir.

2003 yılından bu yana mensubu olmaktan gurur duyduğum, Repkon A.Ş'ye ve tüm çalışanlarına, yapmış olduğum bu çalışma sırasında verdikleri sınırsız destekten ve imkânlardan ötürü teşekkür etmek istiyorum.

Tezimin hazırlanmasında, çalışmalarımı yönlendirip katkılarda bulunan ve beni sürekli olarak olumlu yönde motive eden, danışman hocam Prof. Mehmet Emin YURCİ'ye destekleri için ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarımda ailemin desteği çok büyüktür. Hazırlamış olduğum bu tez babam Mehmet Kemal BİRO'ya adanmıştır.

Nisan, 2011

Cem Denizhan BİRO

## İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....  | vi    |
| KISALTMA LİSTESİ.....   | vii   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | viii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....   | xi    |
| ÖZET .....  | xii   |
| ABSTRACT.....   | xiv   |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ.....  | 1     |
| 1.1 Literatür Özeti .....                                       | 1     |
| 1.2 Tezin Amacı .....   | 1     |
| 1.3 Bulgular .....  | 2     |
| BÖLÜM 2 SIVAMANIN TANIMI ve TARİHSEL GELİŞİMİ. ....             | 3     |
| 2.1 Sıvamanın Tanımı .....                                      | 3     |
| 2.2 Sıvamanın Tarihsel Gelişimi.....                            | 3     |
| BÖLÜM 3 SIVAMANIN TANIMI ve TARİHSEL GELİŞİMİ. ....             | 10    |
| 3.1 Standart Sıvama .....                                       | 10    |
| 3.2 Yatırmalı Sıvama .....                                      | 15    |
| 3.3 Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi .....                           | 21    |
| 3.3.1 Cidar Ezmeli Sıvama Tezgâhlarının Genel Özellikleri ..... | 23    |
| 3.3.1.1 Ana Gövde.....  | 24    |
| 3.3.1.2 Fener Mili Kutusu ve Kalıp Sistemi.....                 | 24    |
| 3.3.1.3 Şekillendirici Makara Tutucu Gövde .....                | 24    |
| 3.3.1.4 Karşı Baskı Sistemi.....                                | 26    |
| 3.3.1.5 Parça Soğutma Sistemi.....                              | 27    |
| 3.3.2 Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemleri .....                      | 28    |
| 3.3.2.1 İleriye Doğru Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi.....          | 28    |

|                                      |  |           |
|--------------------------------------|--|-----------|
| 3.3.2.2                              | Geriye Doğru Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi .....   | 31        |
| 3.3.2.3                              | Yüzer Mandrele Sahip Cidar Ezmeli Sıvama Prosesi .....   | 32        |
| 3.3.3                                | Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Avantajları .....   | 36        |
| 3.3.3.1                              | Ekonomik avantajlar.....   | 36        |
| 3.3.3.1.1                            | Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Uygulama Örnekleri .....  | 37        |
| 3.3.3.1.1.1                          | Havacılık Endüstrisi için Motor Gövde İmalatı .....  | 37        |
| 3.3.3.1.1.2                          | Otomotiv Sanayi için Şaft İmalatı .....  | 38        |
| 3.3.3.1.1.3                          | Otomotiv Sanayi için Alüminyum Jant İmalatı .....  | 40        |
| 3.3.3.1.1.4                          | Aydınlatma Direklerinin İmalatı için Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Kullanımı .....                | 41        |
| 3.3.3.2                              | Ölçüsel Avantajlar .....   | 44        |
| 3.3.3.3                              | Malzeme Yönünden Avantajlar.....   | 46        |
| 3.3.3.4                              | Metalürjik Avantajlar .....  | 47        |
| 3.3.4                                | Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Kullanım Alanları .....   | 49        |
| 3.3.5                                | Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde FEM Uygulamaları.....   | 51        |
| <b>BÖLÜM 4 DENEYSEL VERİLER.....</b> |  | <b>56</b> |
| 4.1                                  | Hazırlanan DeneY Sisteminin Özellikleri.....   | 56        |
| 4.2                                  | Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Arttırılmasının Avantajları .....   | 60        |
| 4.3                                  | Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Arttırılmasının Dezavantajları..... | 61        |
| 4.4                                  | Kullanılan DeneY Kalıbı Özellikleri .....  | 62        |
| 4.5                                  | DeneY Sırasında Kullanılan Şekillendirici Makara Özellikleri.....                                  | 62        |
| 4.6                                  | Kullanılan DeneY Ön Form Malzemesi Özellikleri .....   | 64        |
| 4.7                                  | Üç Adet Şekillendirici Makara Kullanılarak Yapılan Denemeler .....                                 | 66        |
| 4.8                                  | Altı Adet Şekillendirici Makara Kullanılarak Yapılan Denemeler.....                                | 68        |
| 4.9                                  | Yüzer Mandrel Sistemine Sahip Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi Kullanılarak Yapılan Denemeler .....     | 70        |
| 4.10                                 | Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi .....  | 70        |
| <b>SONUÇ.....</b>                    |  | <b>72</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                |  | <b>73</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                |  | <b>74</b> |

## SİMGE LİSTESİ

---

|          |  |
|----------|--|
| $S_0$    | İşlenmemiş düz plaka biçimli malzeme cidar kalınlığı         |
| $S_1`$   | İşlenmemiş ön formlu malzeme cidar kalınlığı                 |
| $S_{10}$ | İşlenmiş iş parçası malzeme cidar kalınlığı                  |
| $S_1`$   | İşlenmiş ara malzeme cidar kalınlığı                         |
| $L_1$    | Sıvama sonunda elde edilen toplam parça uzunluğu             |
| $L_0$    | Sıvamaya başlanacak noktadan itibaren iş parçasının uzunluğu |
| $L`_0$   | Sıvanmayan kısmın uzunluğu                                   |
| $S_0$    | İş parçasının başlangıç cidar kalınlığı                      |
| $S_1$    | İş parçasının işlem sonrası cidar kalınlığı                  |
| $d_i$    | İş parçasının iç çapı  |
| $\gamma$ | Şekillendirici makara giriş açısı                            |
| $\delta$ | Şekillendirici makara çıkış açısı                            |
| $r$      | Şekillendirici makara uç yarıçapı                            |
| $v:$     | İlerleme hızı  |
| $F_A$    | Eksenel kuvvet   |
| $F_R$    | Radyal kuvvet  |
| $F_T$    | Teğetsel kuvvet  |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|    |          |
|----|----------|
| yy | Yüzyıl   |
| kW | Kilowatt |

## ŞEKİL LİSTESİ

|            | Sayfa  |
|------------|--|
| Şekil 2.1  | El ile yapılan sıvama işlemini gösteren bir illüstrasyon..... 4  |
| Şekil 2.2  | Sıvama tezgahlarında takım destek düzenekleri ..... 6  |
| Şekil 2.3  | Elektrik tahrikli bir sıvama makinesi ve şekillendirici takım için el çarkı düzeniği ..... 6   |
| Şekil 2.4  | Şekillendirici makarası hidrolik sistem ile tahrik edilen sıvama tezgahı ..... 7   |
| Şekil 2.5  | Şekillendirici makara grubunun kontrolü için şablon kopya sistemi kullanılan bir tezgahın şematik gösterimi..... 7   |
| Şekil 2.6  | Taklit sistemli bir sıvama tezgahında şekillendirici makara grubun hareketlerinin sisteme tanıtılması amacıyla operatörün prototip bir parça işlemesi..... 8 |
| Şekil 3.1  | Standart sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parça formları..... 10  |
| Şekil 3.2  | DIN 8582 ve DIN 8584'e göre standart sıvama ..... 11   |
| Şekil 3.3  | Standart sıvama tezgahının şematik gösterimi..... 12   |
| Şekil 3.4  | Şekillendirici makara ilerlemesinin farklı yönleri için iş bölgesinde oluşan gerilme dağılımları ..... 13  |
| Şekil 3.5  | Bölgesel ısıtma kullanarak yapılan bir sıvama işlemi ..... 14  |
| Şekil 3.6  | Sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parçalar ..... 14  |
| Şekil 3.7  | Tek makaralı yatırmalı sıvama prosesinin ana prensibi ..... 15   |
| Şekil 3.8  | DIN 8582 ve DIN 8584'e göre yatırmalı sıvama ..... 16  |
| Şekil 3.9  | Yatırmalı sıvama şematik gösterim ..... 16   |
| Şekil 3.10 | Yatırmalı sıvama operasyonu için paralellogram uygulaması..... 17  |
| Şekil 3.11 | İki adet şekillendirici makaraya sahip yatırmalı sıvama tezgâhı ..... 19   |
| Şekil 3.12 | Yatırmalı sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parça formlarının şematik gösterimi ..... 19   |
| Şekil 3.13 | Yatırmalı sıvama yöntemi ile imal edilen parçalar ..... 20   |
| Şekil 3.14 | Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile imal edilen çeşitli iş parçaları. İşlem öncesi ön formu ve bitmiş parçalar ..... 22  |
| Şekil 3.15 | Cidar ezmeli sıvama tezgâhın genel yerleşimi ..... 23  |
| Şekil 3.16 | Makaralı bir tezgâh için, şekillendirici makara tutucu gövde ve üzerindeki hareketli makara grupları..... 25   |
| Şekil 3.17 | Cidar ezmeli sıvama tezgâhlarında, şekillendirici makaraların yerleşimleri. .... 26  |
| Şekil 3.18 | Cidar ezmeli sıvama tezgâhlarında, parça soğutma sistemi ..... 27  |
| Şekil 3.19 | İleri doğru cidar ezmeli sıvama prosesinin prensibi..... 28  |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Şekil 3.20 | İleri doğru cidar ezmeli sıvama prosesinde çeşitli parametreler.....  | 29 |
| Şekil 3.21 | Geriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesinin prensibi .....  | 31 |
| Şekil 3.22 | Şekillendirme sırasında malzemenin teğetsel yöndeki hareketini gösteren bir illüstrasyon.....   | 33 |
| Şekil 3.23 | Geriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesinde malzemenin aksiyal ve radyal doğrultudaki hareketi gösteren illüstrasyon.....                       | 33 |
| Şekil 3.24 | Yüzer mandrele sahip cidar ezmeli sıvama prosesi .....  | 35 |
| Şekil 3.25 | Aynı parçanın üretimi için çeşitli üretim metotları .....   | 38 |
| Şekil 3.26 | İmal edilecek olan otomotiv parçasının kesit detayı .....   | 38 |
| Şekil 3.27 | Parçanın üretimi için klasik üretim metodu kullanılması durumunda iş akış şeması .....  | 39 |
| Şekil 3.28 | Parçanın üretimi için cidar ezmeli sıvama metodu kullanılması durumunda iş akış şeması.....   | 39 |
| Şekil 3.29 | Alüminyum jant imalatında cidar ezmeli sıvama yönteminin kullanımı.....   | 41 |
| Şekil 3.30 | Direk imalatında ağırlık optimizasyonu amacıyla yapılan tasarım kesit detayı  | 41 |
| Şekil 3.31 | İç yüzeyi düz ve sabit cidar kalınlığına sahip bir konik direk modeli.....  | 42 |
| Şekil 3.32 | Konik direk modelinin sınır şartları ve yük durumu .....  | 43 |
| Şekil 3.33 | İç yüzeyi düz ve sabit kesit kalınlığı olan bir konik direk modeli.....   | 43 |
| Şekil 3.34 | İç yüzeyi kaburgalı ve değişken cidar kalınlığına sahip bir konik direk modeli .  | 44 |
| Şekil 3.35 | İç yüzeyi kaburgalı ve değişken cidar kalınlığına sahip bir konik direk model sonuçları.....  | 44 |
| Şekil 3.36 | Çeşitli malzemelerin redüksiyon oranına bağlı çekme dayanım değişimleri....   | 46 |
| Şekil 3.37 | Üç makaralı bir cidar ezmeli sıvama prosesinde başlangıç malzemesinin tane yapısı ile bitmiş iş parçasının tane yapısı arasındaki farklar ..... | 47 |
| Şekil 3.38 | Ektrüzyon malzemesinin ve cidar ezmeli sıvama metodu ile elde edilmiş malzemenin tane yapısı .....  | 48 |
| Şekil 3.39 | Havacılık sanayinde kullanılan bazı parçalar .....  | 50 |
| Şekil 3.40 | Askeri sanayide kullanılan bazı parçalar .....  | 50 |
| Şekil 3.41 | Kamyon jantı imalatında, cidar ezmeli sıvamanın proses aşamaları .....  | 51 |
| Şekil 3.42 | FEM için kullanılan model .....   | 52 |
| Şekil 3.43 | Deney sistemi için kullanılan ekipmanın gösterimi.....  | 52 |
| Şekil 3.44 | Yapılan analiz sonuçları ile deneysel sonuçların aksiyal ve radyal doğrultuda karşılaştırılması .....   | 54 |
| Şekil 3.45 | Yapılan analiz sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması .....  | 54 |
| Şekil 3.46 | Malzemenin, $\Phi$ -z düzlemindeki değişim durumu için yapılan analiz sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması.....                  | 55 |
| Şekil 4.1  | Klasik tasarıma sahip üç makaralı cidar ezmeli sıvama tezgahı.....  | 57 |
| Şekil 4.2  | Geliştirilen altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgahı.....   | 57 |
| Şekil 4.3  | Altı makaralı sıvama tezgahı maksimum ve minimum parça çapları şematik gösterim .....   | 58 |
| Şekil 4.4  | Altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgahında üç makara kullanımı .....  | 58 |
| Şekil 4.5  | Üç makaralı tezgahlarda karşılaşılan poligonal etki problemi ve altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgahı .....                                 | 61 |
| Şekil 4.6  | Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara ölçülerinin sembolik gösterimi .....   | 62 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Şekil 4.7 | Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara ile kalıp arasındaki mesafe ayarları ..... | 63 |
|-----------|---|----|

## ÇİZELGE LİSTESİ

|             | Sayfa   |
|-------------|---|
| Çizelge 3.1 | Standart sıvama ile yatırmalı sıvama arasındaki farklar ..... 18  |
| Çizelge 3.2 | Yatırmalı sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar için ulaşılabilir bitmiş parça toleransları ..... 21                         |
| Çizelge 3.3 | Parçanın üretimi için her iki yöntem için maliyet analizi ..... 40  |
| Çizelge 3.4 | Alüminyum jant imalatında her iki yöntem için maliyet analizi..... 41   |
| Çizelge 3.5 | Modelin sahip olduğu geometrik özellikler..... 42   |
| Çizelge 3.6 | Cidar ezmeli sıvama ile üretilebilir parça toleransları..... 45   |
| Çizelge 3.6 | AA 6063 malzeme özellikleri ..... 53  |
| Çizelge 3.7 | Deney sırasında kullanılan parametreler ..... 53  |
| Çizelge 4.1 | Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara özellikleri ..... 63   |
| Çizelge 4.2 | Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara özellikleri ..... 64   |
| Çizelge 4.3 | Deney sırasında kullanılan St-37-2 malzemenin geometrik özellikleri ..... 65  |
| Çizelge 4.4 | Yalnızca üç adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler..... 66                    |
| Çizelge 4.5 | Üç adet şekillendirici makara ile şekillendirilen St-37-2 malzemenin geometrik özellikleri..... 67                                      |
| Çizelge 4.6 | Altı adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler ..... 68                          |
| Çizelge 4.7 | Altı adet şekillendirici makara ile şekillendirilen St-37-2 malzemenin geometrik özellikleri..... 69                                    |
| Çizelge 4.8 | Altı adet şekillendirici makara ve yüzer mandrel sistemi kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler ..... 70 |

---

**CİDAR EZMELİ SIVAMA YÖNTEMİNDE ŞEKİLLENDİRİCİ MAKARA  
SAYISININ ALTI ADEDE ÇIKARILMASININ İŞLEM KARAKTERİSTİKLERİ  
İLE PARÇA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Cem Denizhan Biro

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Mehmet Emin YURCI

Cidar ezmeli sıvama yöntemi, boru formundaki dönel profilli parçaların şekillendirilmesi için kullanılan talaşsız şekil verme yöntemlerinden birisidir. Çok daha yaygın ve eski bir yöntem olan sıvamada kalınlığın sabit kaldığı varsayımı ile düzlemsel şekillendirme uygulanırken, bu yöntemde söz konusu operasyonlara cidar ezmeleri de dahil edilmektedir.

Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile yüksek hassasiyete sahip parçalar (geometrik toleranslar vb.) üzerlerinden talaş kaldırılmadan imal edilebilmektedir. Malzeme üzerinden talaş kaldırmadan şekillendirme yapmak; üretim maliyetlerini önemli miktarda azaltmaktadır. Ayrıca üretilen parçaların sahip olduğu yüksek mekanik dayanım özellikleri sayesinde, diğer yöntemlerle imal edilmiş parçalara kıyasla, daha hafif tasarımlar yapmak mümkün olmaktadır.

Yöntem sahip olduğu bu gibi avantajlar sayesinde imalat sanayinde giderek artan bir uygulama talebine sahiptir.

Yöntemin en belirgin dezavantajı ise şekillendirme hızının yavaş olmasıdır. Şekillendirme hızının daha yüksek değerlere çıkartılabildiği takdirde cidar ezmeli sıvama yöntemiyle imalat yapan firma sayısının çok daha fazla olacağı tahmin edilmektedir.

Bugüne kadar imal edilen, cidar ezmeli sıvama makinelerinin tamamı, üç adet şekillendirici makaraya sahiptir. Bu makinelerde şekillendirici makaralar merkezi boru eksenine göre 120°'lik açisal pozisyonlar ile yerleştirilmiştir. Deneyler sırasında

kullanılmak üzere tasarım ve imalatı yapılan makinede ise şekillendirici makaralar merkez eksene 60'şar derecelik açısız pozisyonlar ile konumlandırılmıştır. Tez çalışmaları sırasında şekillendirici makaraların sayısı altı adede çıkarılmak suretiyle oluşan çeşitli işlem parametreleri incelenmiştir.

Cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının altı adede çıkarılmasının işlem karakteristikleri ve parça kalitesi üzerinde önemli etkileri olmaktadır. Bunlardan en önemlisi parçanın makine çevrim sürelerinde görülmektedir. Bunun yanısıra yapılan bu çalışma ile birlikte makara sayısını arttırmanın bitmiş parça kalitesi üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıvama, standart sıvama, cidar ezmeli sıvama

**EFFECTS OF INCREASING THE NUMBER OF FORMING ROLLERS TO SIX  
ON PROCESS PARAMETERS AND FLOWFORMED PART QUALITY IN  
FLOWFORMING PROCESS**

Cem Denizhan BİRO

Department of Mechanical Engineering  
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Mehmet Emin YURCI

Flowforming technology is a cost-effective solution to produce hollow metal components. Flowforming is a viable alternative to traditional machining, deep drawing, and standard spinning. Across the spectrum of manufacturing industries, flowforming provides seamless, single-piece cylindrical, conical and contoured components that answer the design needs for thin walls, increased tensile strength, dimensional accuracy, improved grain structure, and better surface finish. Moreover, flowforming saves money by reducing assembly costs with fewer parts, by using less material, by reducing or eliminating welding, finishing and testing costs, and by reducing the number of component parts to outsource and keep on hand.

Despite all the advantages, the flowforming process requires more forming time compared to the other metal forming processes. Because of this speed limitation, only a small number of companies prefer flowforming for their production.

Usually the flowforming machines have three forming rollers which are positioned with 120° angle to each other through the main spindle axis. A new generation of flowforming machine is developed with this study. This new generation of flowforming machine has 6 forming rollers positioned with 60° angle in relation to each other through the main spindle axis. In this study, the effects of this application on various process parameters have been analyzed.

Increasing the number of forming rollers has significant impact on process parameters and flowformed part quality. During the experimental trials, largest effect observed has been the shortening of the forming cycle time. In addition, an evaluation of

flowformed part quality has been carried out and the results of this work is given in this study.

**Key words:** Spinning, flowforming

#### 1.1 Literatür özeti

Cidar ezmeli sıvama yöntemi, plaka veya ön formlu malzemelerden, soğuk proses kullanarak, içi boş aksenal simetrik parçalar (çoğunlukla boru biçimli silindirik malzemeler) imal etmek için kullanılan bir yöntemdir.

İçi boş silindirik parçaların üretiminde, cidar ezmeli sıvama yönteminin tercih edilmesi ile talaşlı imalat, derin çekme, ekstrüzyon v.b yöntemlere kıyasla önemli avantajlar elde edilmektedir.

#### 1.2 Tezin Amacı

Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile düşük ölçüsel toleranslara ve yüksek dayanım değerlerine sahip parçalar imal edilmektedir. Yöntemin en büyük dezavantajı parça şekillendirme hızının yavaş olmasıdır. Makine çevrim zamanları uzun olduğu için sanayide cidar ezmeli sıvama yöntemini tercih eden firmaların sayısı oldukça azdır. Günümüzde cidar ezmeli sıvama yöntemi, düşük ölçüsel toleranslara, parça kalitesine önem veren ve çok yüksek üretim adetleri beklentisine sahip olmayan sektörler tarafından tercih edilmektedir. Bunların başında çeşitli uçak parçası imalatçıları, askeriye tekniği ve nükleer sanayi için parçalar üreten firmalar gelmektedir. Bu tip firmalar için birinci derecede önemli olan parçanın istenilen kalitede üretilmesidir. Bu firmalar için makine çevrim süreleri ikinci planda değerlendirilmektedir.

Sağladığı üstün avantajlar nedeniyle, seri üretim yapan firmaların cidar ezmeli sıvamaya olan ilgileri her geçen gün artmaktadır. Konuya ilgi duyan firmaların en büyük beklentisi ise makine çevrim zamanlarının hızlandırılmasıdır. Günümüzde cidar ezmeli sıvama tezgâhları konusunda neredeyse standart bir makine konfigürasyonu haline gelmiş olan üç adet şekillendirici makaraya sahip tezgâhlar, çeşitli firmaların bu yöndeki beklentilerini tam olarak karşılayamamaktadırlar.

Sanayide cidar ezmeli sıvama yönteminin kullanımının yaygınlaşması için imalat hızının artırılması gereklidir. Bu noktadan hareket yapılan bu çalışma ile cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının altı adede çıkarılmasının işlem karakteristikleri ile parça kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

### **1.3 Bulgular**

Cidar ezmeli sıvama yönteminde parça üretim adetlerinin artırılması için yapılması gerekenlerden bir tanesi şekillendirici makara sayısının artırılmasıdır. Makara sayısının artırılmasının parça kalitesi üzerinde de olumlu etkisi olacaktır.

Cidar ezmeli sıvama tezgâhlarında şekillendirici makara adedinin artırılması için alışılmışın dışında yepyeni bir tezgâh tasarım konseptine ihtiyaç vardır. Bu çalışma ile birlikte bir Türk firması olan REPKON A.Ş tarafından dünyada ilk kez altı adet şekillendirici makaraya sahip sıvama tezgâhı imal edilmiştir. Üretilen bu tezgâh deneyler için de kullanılmıştır.

### SIVAMANIN TANIMI ve TARİHSEL GELİŞİMİ

#### 2.1 Sıvamanın Tanımı

Sıvama, sac veya boru biçimli malzemelerin, kendi eksenleri etrafında döndürülürken, çeşitli takımlar ile uygulanan radyal ve/veya aksenal yönde kuvvetler neticesinde şekillendirilmesidir. Sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar, dönme eksenine göre simetrikler; örneğin dairesel kesilmiş plakalar, borular v.b. geometridedirler.

Sıvama, bu tanıma uygun olan fakat birbirinden farklı birçok yöntemi kapsar. İşlem esnasında, sıvama tipine göre, malzeme belirli bir kalıbın üzerine sıvanarak şekillendirilebileceği gibi, belirli bir kalıp geometrisi olmadan, boşlukta da şekillendirilebilir. Şekillendirme, işlemin gereklerine göre soğuk veya sıcak proses şeklinde yapılır.

Sıvama ile imalatta, talaş kaldırılmaması ve imalat hızının yüksek olması, sıvamayı cazip kılan temel etmenlerdir (Gün[2]).

#### 2.2 Sıvamanın Tarihsel Gelişimi

Metal sıvama teknolojisinin kökenleri, tarihin derinliklerinde kaybolmaktadır. Her ne kadar, metal malzemeleri şekillendirmek için bu tekniğin kullanıldığına dair ilk kanıtlar orta çağdan kalmış olsa da, büyük olasılıkla, antik Mısırlıların çömlek imalatında kullandıkları tekerlekler bu tekniğin temelini oluşturmuştur. Yapılan çeşitli kazılarda, metal kapların, sıvanmasında kullanılan çeşitli tahta parçaları bulunmuştur (Packham [1]).

Sıvama yönteminin, 10 yüzyılda Çin’de kullanıldığına dair kanıtlar mevcuttur. 3.Edward döneminde (14. yy) İngiltere’ye geldiği bilinmektedir. 19. yüzyılda ise Amerika’da kullanılmaya başlanmıştır.

Şekil 2.1 gösterildiği gibi, eski zamanlarda, metal sıvama işlemi tahta bir sıvama tornası üzerinde bir aparat (çubuk) yardımıyla sağlanırdı. Malzemeyi şekillendirmek için gerekli dönme hareketi ise, genellikle ayrı bir kişi tarafından elle tahrik edilen ve göreceli olarak çok büyük ebatlarda bir çark mekanizması tarafından sağlanırdı (Dean vd. [3]).



Şekil 2.1 El ile yapılan sıvama işlemini gösteren bir illüstrasyon (Dean vd. [3]).

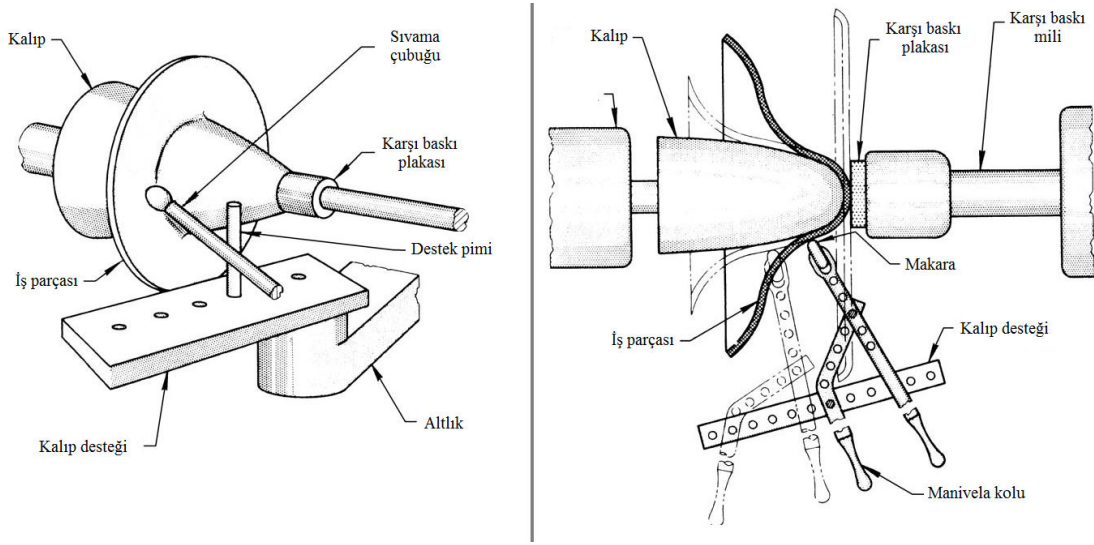
Günümüzde kullanılan en düşük özelliklere sahip sıvama tezgâhının bile en az 1,5 kW elektrik motor gücüne sahip olduğu dikkate alınırsa, yukarıda anlatılan sistemin şekillendirme kabiliyetleri oldukça düşüktür. Bahsedilen çubuklu mekanizma ile yalnızca, çok ince ve yumuşak metal malzemeler sıvanabilirdi. Çeşitli dezavantajlarına rağmen, bu yöntem, döküm ve dövmeyle nazaran önemli avantajlar getirmiştir (Packham [1]).

Zaman içinde, fener milini döndürmek için hem su gücünden hem de buhar gücünden yararlanılmıştır. Buna rağmen, düz plaka şeklinde ki malzemeyi, yuvarlak içi boş iş parçasına dönüştürmek için gerekli şekillendirme hareketi için hala insan gücü kullanılmaktadır.

20. yüzyıl başlarında, sıvama işlemi, bir bilimden daha çok bir sanatkâr seviyesindeydi. Sıvama işleminin başarısında, şekillendirme işlemini yapan kişinin kabiliyetinin ve yeteneklerinin çok büyük bir önemi vardı. Sonuç olarak sıvama yöntemi, bu sanatkârlar tarafından, genellikle eve ait gereçler, çorba kabı, pişirme kapları gibi tekrarlanabilirliğin ve ölçüsel toleransların çok önemli olmadığı parçaların imalatında, basit bir torna tezgâhı benzeri tezgâhlarda kullanılmaya başlandı. Yapılan operasyon her ne kadar kalifiye bir tecrübeli çalışan gerektirse de, ortaya çıkan bu maliyet artışı, düşük kalıp maliyetleri ile dengelenmişti (Dean vd. [3]).

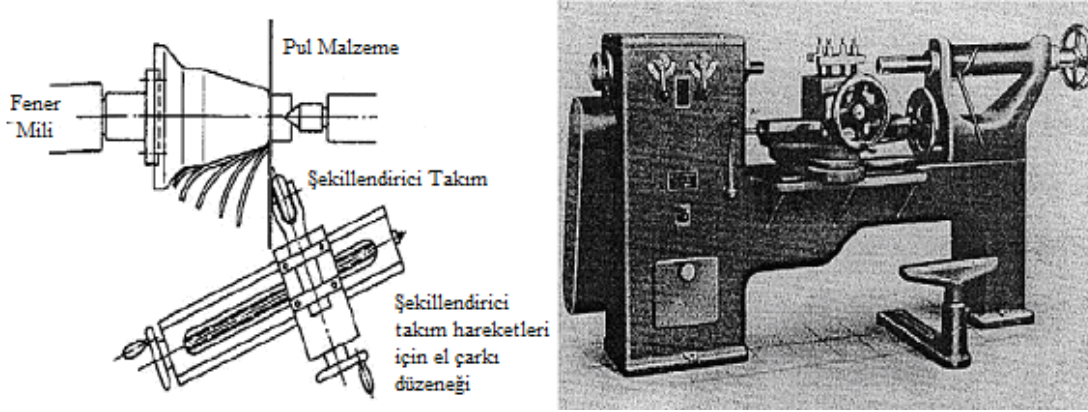
Fener milinin tahriki için, elektrik motorlarının kullanılmasıyla, el kontrollü sıvama tezgâhlarının kapasitesi, sıvama operatörünün gücüyle kısıtlanmıştır. Bir sonraki adımda sıvamacı, çeşitli yardımcı güç ekipmanları ile desteklenerek, şekillendirilebilir ürün çeşitliliği arttırılmıştır.

Fener mili tahriki için elektrik gücü kullanan ilk sıvama makinesi 1930'lu yıllarda imal edildi. Bu makinede, dönen iş parçası genellikle çelikten yapılan bir çubuk yardımıyla şekillendirilmekteydi. Sıvamacının hareket kabiliyetini arttırmak ve maksimum güçle çalışmasını sağlamak amacıyla şekillendirici takım, "takım desteği" (T-rest) adı verilen bir platformdan destek alınarak kullanılmaktaydı. Şekil 2.2'de gösterilen kalıp desteği üretilen parçanın özelliklerine göre farklı bir pozisyona bağlanabilir ve yüksekliği ile açısı ayarlanabilirdi. Büyük çaplı malzemelerde eteklerde ki kırışmayı önlemek için, parçanın etek kısmını destekleyen ilave bir arka destek mekanizması da kullanılmaktaydı.



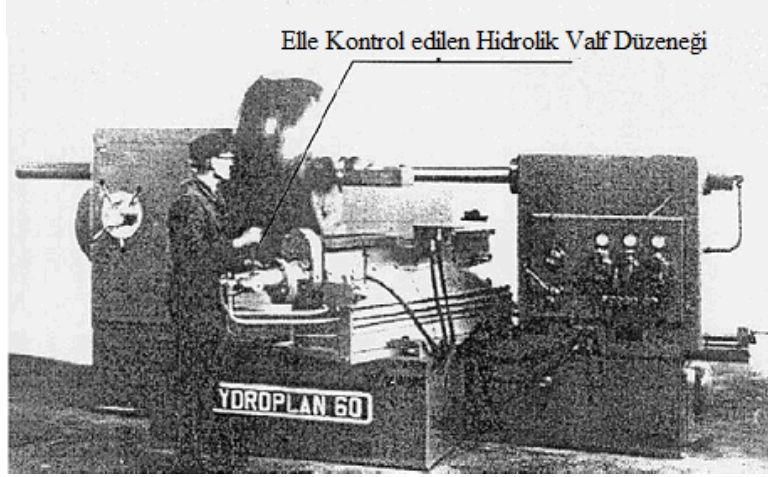
Şekil 2.2 Sıvama tezgahlarında takım destek düzenekleri (Bewlay [4]).

Şekillendirici takımın hareketi için el çarkına bağlanmış vidalı miller de kullanılmıştır. Fakat bu sistemler işlem sırasında gerekli hızları yeterince sağlayamadıkları için olumlu neticeler vermemişlerdir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Elektrik tahrikli bir sıvama makinesi ve şekillendirici takım için el çarkı düzeneği (Dean vd. [3]).

Sıvama teknolojisi alanındaki gerçek gelişme, şekillendirici takım yerine şekillendirici makaraların kullanılması ve bu makaranın hidrolik güç kullanılarak tahrik edilmesiyle ortaya çıkmıştır (Packham [1]). 1945 yılında, hidrolik güç tahrikli ilk tezgâh üretilmiştir. Bu tezgâhta operatör, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, bir el kumandalı valf yardımıyla şekillendirici makara sistemini kontrol etmekteydi (Dean vd. [3]).

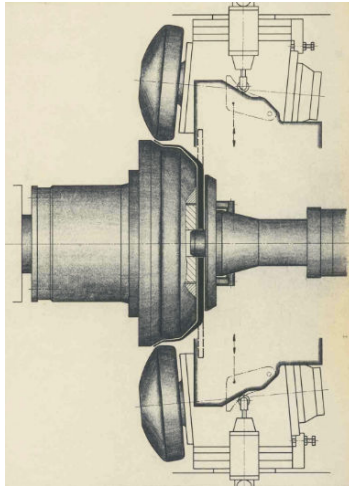


Şekil 2.4 Şekillendirici makarası hidrolik sistem ile tahrik edilen sıvama tezgahı (Dean vd. [3]).

Geliştirilen hidrolik tezgâhlar sayesinde, eski sistemlere göre daha kalın ve daha yüksek mukavemetli malzemeler şekillendirilebilmiştir. Ayrıca hidrolik tahrikli tezgâhlar, “yatırmalı sıvama” ve “cidar ezmeli sıvama” gibi daha yeni teknolojilerin geliştirilmesine imkân sağlamıştır (Packham [1]).

Bütün bu geliştirmelere rağmen operatör tarafından manuel olarak kontrol edilen bu tezgâhlar da üretilen her bir parçanın başarısı, halen operatörün kabiliyetlerine ve dikkatine bağlıdır. Diğer bir deyişle, insan faktörü halen devrededir.

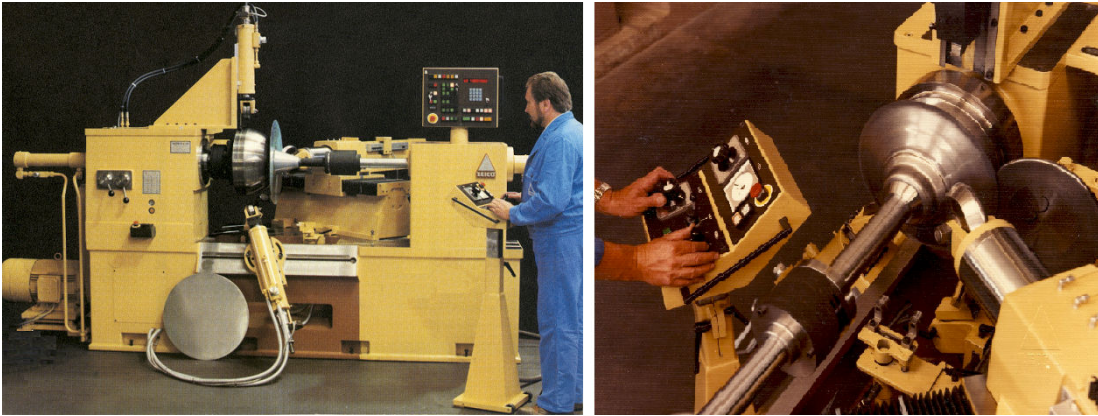
Yüksek tekrarlanabilirlik için ihtiyaç duyulan çözüm, şablon sistemi ve hidrolik kopya sistemi ile gelmiştir. Bu sistem makinelerle çok büyük bir esneklik kazandırmıştır.



Şekil 2.5 Şekillendirici makara grubunun kontrolü için şablon kopya sistemi kullanılan bir tezgahın şematik gösterimi (Leico [5]).

Kopya plakasının çalışma prensibi, standart ev anahtarlarının kopyalanmasına benzetilebilir. Bu işlemde hidrolik bir valf grubuna bağlı olan küçük bir kol, bir plaka üzerine işlenmiş profili takip ederken, rölelere bağlı hidrolik silindirler, bu kolun hareketlerine bağlı olarak iş parçasını şekillendirirler. Örnek bir kopya plakası ve kopya başlığı Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Bir ürünün profili için genel hatlarıyla hazırlanan kopya plakası, ürünün tam şekli hassas olarak elde edilene kadar, çeşitli denemelerle tekrar tekrar işlenerek seri üretime hazır hale getirilirdi. Bu nedenle kopya sistemli tezgâhlarda optimizasyon işlemi uzun ve zorlu bir süreçti. Ayrıca hazırlanan kopya plakası, yalnızca bir ürün tipi için kullanılabilirdi.

Kopya plakaları ile çalışan sıvama makineleri 1970'li yılların sonlarına kadar imal edilmişlerdir. Bugün halen bu makinelerden faal olanlarını görmek mümkündür. Gelişen teknoloji ile birlikte, 1970-1980'li yıllarda elektronik kontrol sistemleri ile çalışan sıvama makineleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu ilk elektronik kontrol sistemleri daha çok taklit sistemleri olarak bilinirler.



Şekil 2.6 Taklit sistemli bir sıvama tezgahında şekillendirici makara grubun hareketlerinin sisteme tanıtılması amacıyla operatörün prototip bir parça işlemesi (Leico [5]).

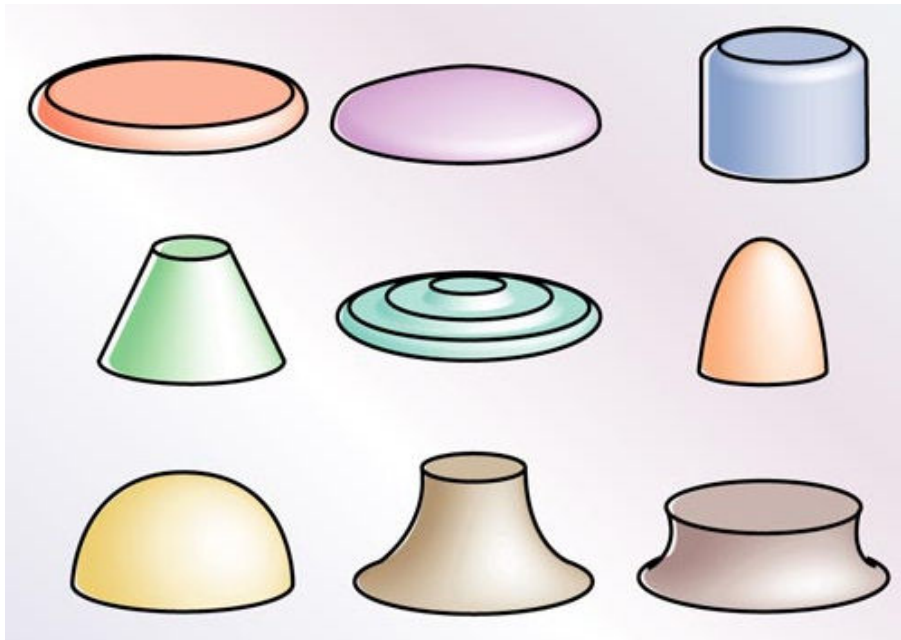
Şekil 2.6'da bir örneği görülen taklit sistemli bir sıvama tezgahında, şekillendirici makara grubun hareketlerinin sisteme tanıtılması amacıyla, sıvama konusunda tecrübeli bir operatör makarayı elle kumanda ederek, prototip bir parça işler. Bu esnada elektronik kontrol sistemi, operatörün makine üzerinde yaptığı bütün hareketleri hafızasına kaydeder. Bu hareketler seri üretim esnasında da sistem tarafından aynen taklit edilerek istenen ürün imal edilirdi.

Kopya plakası ve taklit sistemleri ile çalışan sıvama makinelerinin yerini 1990'lı yıllarda ortaya çıkan NC kontrollü ve daha sonra da CNC kontrollü sıvama makineleri almıştır. Günümüzde imal edilen hemen hemen tüm endüstriyel sıvama makineleri CNC kontrollüdür. Bu sayede parça daha işlenmeden rölelerin hareketleri belirlenmekte, G-kodları kontrol sistemine tanımlanmakta ve tezgâhın hareketleri sanal olarak simüle edilebilmektedir. Eldeki veriler kolaylıkla kayıt altına alınmakta, kopyalanmakta ve hatta internet üzerinden uzaktan erişimle makinelerin ayarları ve ürün programları dünyanın herhangi bir yerinden değiştirilebilmektedir (Gün[2]).

### SIVAMA YÖNTEMLERİ

#### 3.1 Standart Sivama

Standart sivama, düz pul (genellikle yuvarlak forma sahip) veya ön formu (konik, konkav vb.) malzemeden, döner yönde simetrik, içi boş parçaları şekillendirmek için kullanılan bir tekniktir. Şekil 3.1’te standart sivama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parça formları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Standart sivama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parça formları (Bewlay [8]).

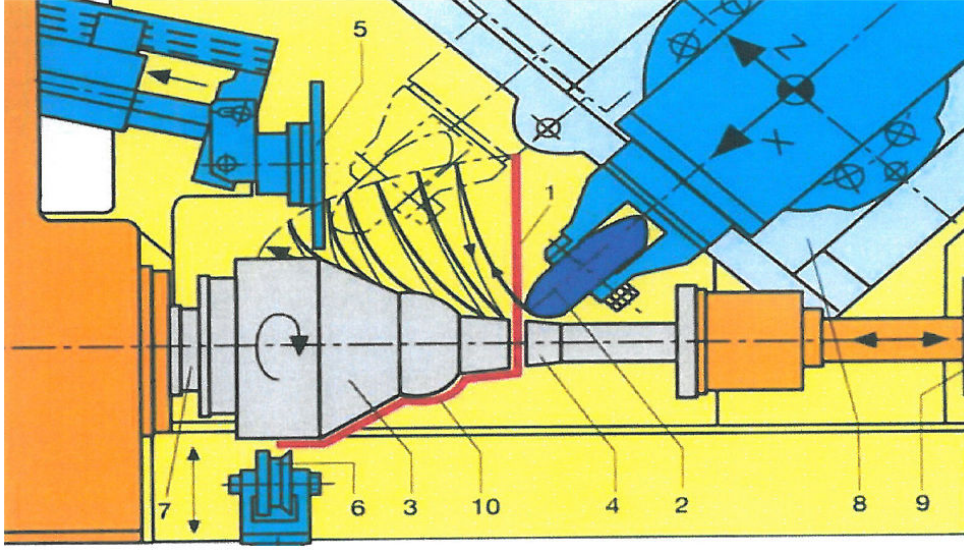
Başlangıç malzemesi, genellikle yuvarlak forma sahip plaka (pul) biçimli malzemelerdir. Düz pul, sıvama kalıbı ile karşı baskı grubuna rulmanlı bir yapı ile bağlanmış olan karşı baskı plakası arasında sıkıştırılır. Fener mili tahrik edilirken; şekillendirici makaralar, radyal ve/veya aksel doğrultuda hareketler yaparak parçayı şekillendirirler. Gerçekleşen bir dizi stroktan sonra iş parçası dönen sıvama kalıbının üzerine sıvanır. İşlem çok pasoda gerçekleşen bir işlemdir. Her bir pasoda malzeme, kalıba bir miktar daha yatırılmaktadır (Packham [1]).

Şekil 3.2’de DIN 8582 ve DIN 8584’e göre standart sıvamada başlangıç ve bitiş malzemesinin sahip olduğu geometrik özellikler gösterilmiştir.

| Standart   | Standart Sıvama | Başlangıç Malzemesi | Et Kalınlığı                   |
|--|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| Compression forming<br>DIN 8582<br>Tension forming<br>DIN 8584, T4 |                 |                     | Yaklaşık olarak<br>$S_1 = S_0$ |

Şekil 3.2 DIN 8582 ve DIN 8584’e göre standart sıvama (Runge [6]).

Teorik olarak, işlem sırasında malzeme kalınlığı korunmaktadır. Bitmiş parçanın yüzey alanı, başlangıç malzemesinin alanı ile aynıdır, cidar kalınlığı ise çok küçük değişimler göstermektedir (Packham [1]). Yapılan deneysel çalışmalarda, standart sıvama işleminde rol oynayan parametrelere ve özellikle iş parçasının malzemesine bağlı olarak cidar kalınlığında küçük de olsa bir miktar azalma gözlemlenmiştir. İş parçasından istenen hassasiyete de bağlı olarak, kaba toleranslara sahip iş parçaları için maksimum %30’luk bir cidar kalınlığı azalması, standart sıvama prosesi için normal kabul edilir.



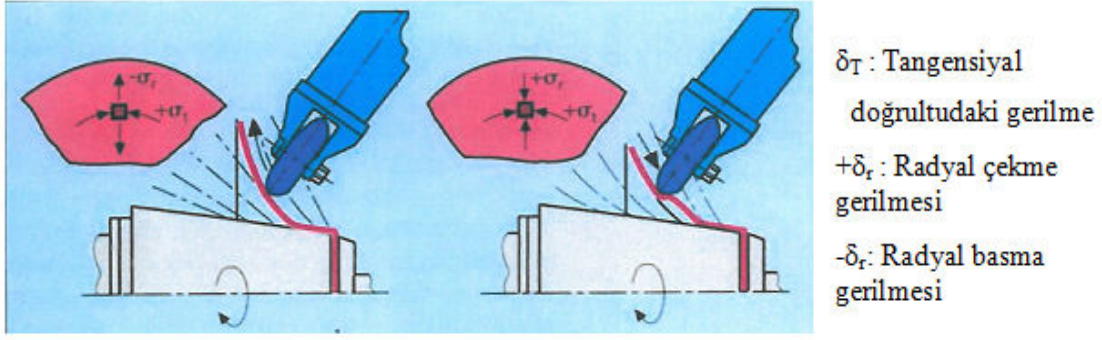
|                       |                       |                  |                       |
|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| 1. Düz pul            | 2. Sıvama makarası    | 3. Sıvama kalıbı | 4. Karsı baskı kafası |
| 5. Pul destek aparatı | 6. Etek kesme aparatı | 7. Fener mili    | 8. Çapraz kızak       |
| 9. Karsı baskı grubu  | 10. Sıvanmış malzeme  |                  |                       |

Şekil 3.3 Standart sıvama tezgahının şematik gösterimi (Runge [6]).

Şekil 3.3'te standart sıvama tezgahının şematik gösterimi yer almaktadır. Klasik sıvama için kullanılan tezgâhlarda, torna tezgâhlarına benzer şekilde; ana gövde (makine yatağı), ana fener mili, tahrik sistemi, karşı baskı grubu ve takım desteği yer alır. Fener milinin üzerine, normal tornalardaki sıkma çenesinin yerine, üretilecek parçanın iç konturuna sahip sıvama kalıbı bağlanmıştır (Packham [1]).

Bunlara ilave olarak, şekillendirme sırasında, malzemenin kırışmaması için fener mili tarafında konumlandırılmış olan pul destek aparatı kullanılabilir.

Sıvama prosesi esnasında; rölenin iş parçasına temas ettiği noktada lokal plastik deformasyon bölgesi oluşur. Bu lokal deformasyon bölgesinin avantajı sıvama esnasında ihtiyaç duyulan kuvvet ihtiyacının geleneksel presleme operasyonu ile kıyaslandığında çok daha az olmasıdır. Bu sebeple sıvamada kullanılan ekipmanlar ve kalıplar çok daha küçüktür.



Şekil 3.4 Şekillendirici makara ilerlemesinin farklı yönleri için iş bölgesinde oluşan gerilme dağılımları (Runge [6]).

Şekil 3.4'te şekillendirici makara ilerlemesinin farklı yönleri için iş bölgesinde oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu bölgede basma ve çekme kuvvetleri birbirine eklenir ve böylece iş parçasının cidar kalınlığı şekillendirme esnasında sabit kalır.

Makaranın ileri doğru hareketi sırasında çapsal doğrultuda gerilmeler ve teğetsel doğrultuda basma gerilmeleri oluşur. Gerilme sıvama kalıbı doğrultusunda bir akış üretmekte ve incelmeye yol açmaktadır ki, bu basma gerilmelerinin yol açtığı kalınlaşma etkisini dengeler.

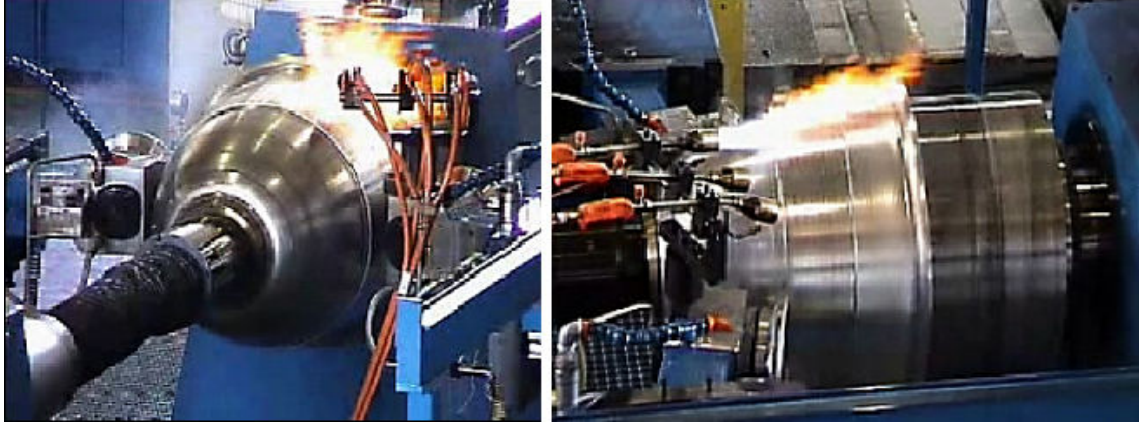
Makara, geriye giderken merkeze doğru bir hareket de yaparsa; rölenin önünde metal artışı olur. Bu da makara ve kalıp arasında; teğetsel doğrultuda ve yarıçapsal doğrultuda basma gerilmelerinin oluşmasına yol açar. Bu sıkıştırma streslerinin bir sunucu olarak malzeme kalıp doğrultusuna yer değiştirir.

Standart sıvama yöntemi kullanılarak çeşitli aydınlatma reflektörleri, gaz tüpleri, fren diskleri vb. parçalar imal edilebilir.

Kullanılan malzemeler, saç metal plakalar, alaşımsız veya düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, ısıya dayanıklı malzemeler, demir dışı metaller v.b. oldukça çeşitlidir. Bazı malzemeleri şekillendirirken, bir ara tavlama işlemi gerekebilir. Bazı uygulamalarda ise bölgesel ısıtma işlemi ile şekillendirme gerçekleştirilebilir (Runge [6]).

Bölgesel ısıtma işlemi, malzemenin ve verilmek istenilen formun özelliklerine göre şekillendirme işlemi başlamadan ön ısıtma tarzında olabileceği gibi, şekillendirme işleminin herhangi bir aşamasında da olabilir. Gerekli durumlarda tezgâhın bir tarafında makara yardımıyla şekillendirme yapılırken, diğer tarafında ise ısıtma işlemi kesintisiz

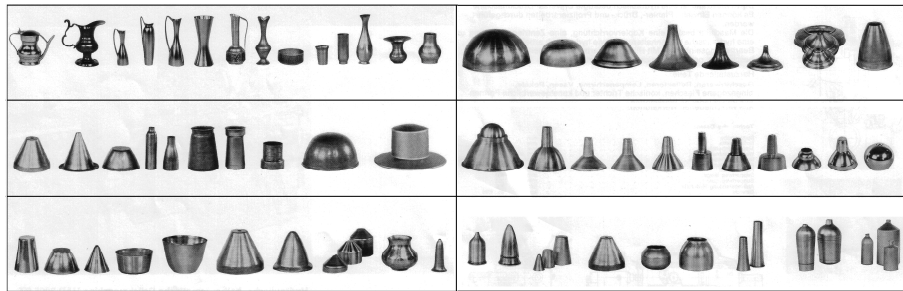
olarak devam edebilir. Şekil 3.5'te detay fotoğrafı gösterilen sıvama tezgahında, hem şekillendirme hem de bölgesel ısıtma işlemi aynı anda yapılmaktadır.



Şekil 3.5 Bölgesel ısıtma kullanarak yapılan bir sıvama işlemi (Denn [7]).

Standart sıvama ile 10 mm ile 5000mm çap aralığında ve 0,5 mm'den 30 mm'ye kadar cidar kalınlığına sahip malzemeler şekillendirilebilir.

Standart sıvama ile elde edilen tolerans değerleri sınırlıdır. Örneğin, yapılan çeşitli uygulamalarda, 500 mm çapa kadar olan parçaların cidar kalınlığı için  $\pm 0,1$  mm tolerans değeri elde edilmiştir. Üretilen parçanın çapı ve kalınlığı arttıkça, üretilebilir tolerans aralığı artmaktadır. Gerçekleştirilen bir uygulamada, bir sıvı tankının ön ve arka kısmına kaynatılmak amacıyla üretilmiş olan, 3000 mm çapa ve 10 mm kalınlığa sahip parçada,  $\pm 0,4$  mm cidar kalınlığı tolerans aralığı elde edilmiştir. Bu parçaların eş eksenliği ve doğrusallığı içinde benzer değerler gözlemlenmiştir. Genellikle standart sıvama ile imal edilen parçalar geniş tolerans aralığının kabul edildiği yerlerde, herhangi ilave bir işlem yapılmadan, nihai parça olarak kullanılırlar. Eğer hassas parça toleransları isteniyorsa, standart sıvamanın ardından çeşitli ilave şekillendirme proseslerinin yapılması gereklidir (Runge [6]).



Şekil 3.6 Sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parçalar (Leico [5]).

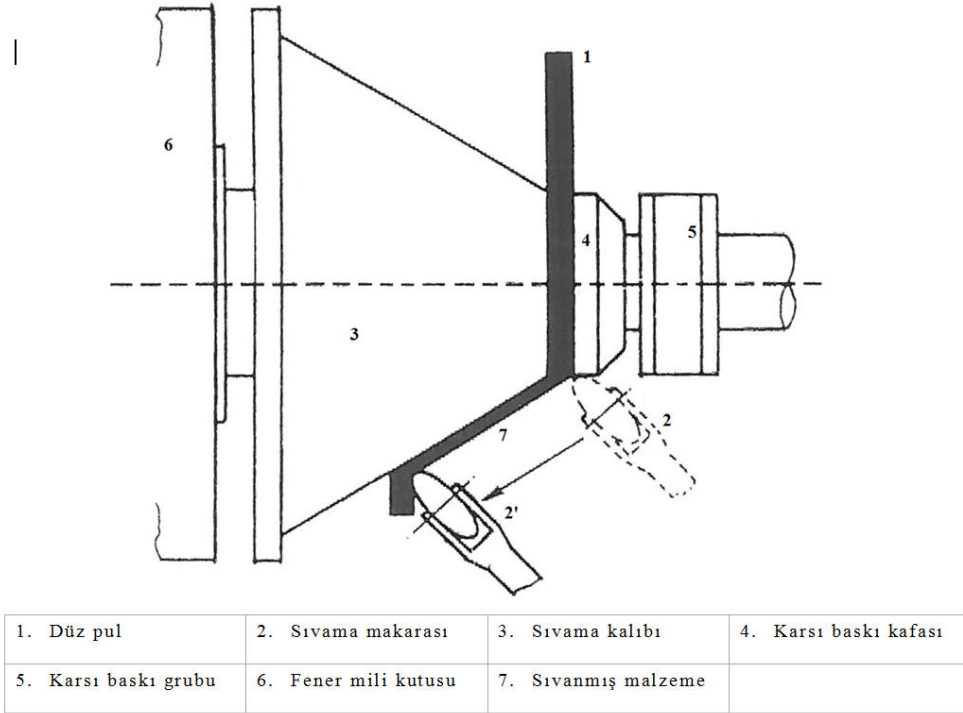
### 3.2 Yatırmalı Sıvama

Yatırmalı sıvama, standart sıvamaya oldukça benzer bir sıvama tekniğidir. Sıvama prosesinde, hidrolik ekipmanların kullanılmasıyla beraber, ilk olarak İsviçre’de ortaya çıkmıştır (Dean vd. [3]).

Yatırmalı sıvama, içi boş, 8° ila 80° derecelik bir açıya sahip, konik veya konveks parçaların imalatı için sıvamadan türetilmiş bir yöntemdir (Packham [1]).

Başlangıç malzemesi, pul ya da derin çekilmiş bir kap şeklinde ön formlu malzeme olabilir. Bu malzeme kalıp üzerine tutturulur. Şekillendirici makaralar, radyal ve aksel doğrultuda hareket ederek kalıbın sahip olduğu formu, önceden hesaplanmış bir aralık mesafesinde takip ederler. Böylelikle iş parçası, makaraların önünde uzatılır ve ütülür. Birçok uygulamada final şekle ulaşmak için tek bir paso yeterlidir. Birden fazla paso ihtiyacı varsa, her paso öncesinde sıvama kalıbın değiştirilmesi gereklidir.

Şekil 3.7’de Yatırmalı sıvama prosesinin ana prensibi, şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Tek makaralı yatırmalı sıvama prosesinin ana prensibi (Packham [1]).

Yatırmalı sıvama sırasında, kuvvet röle ile şekil değiştiren malzeme arasındaki temas noktasına uygulanmaktadır. Bu prosesin belirgin özelliği herhangi bir an için malzemenin küçük bir alanına/bölgesine şekillendirme kuvvetlerinin etkimesidir, malzemenin geri

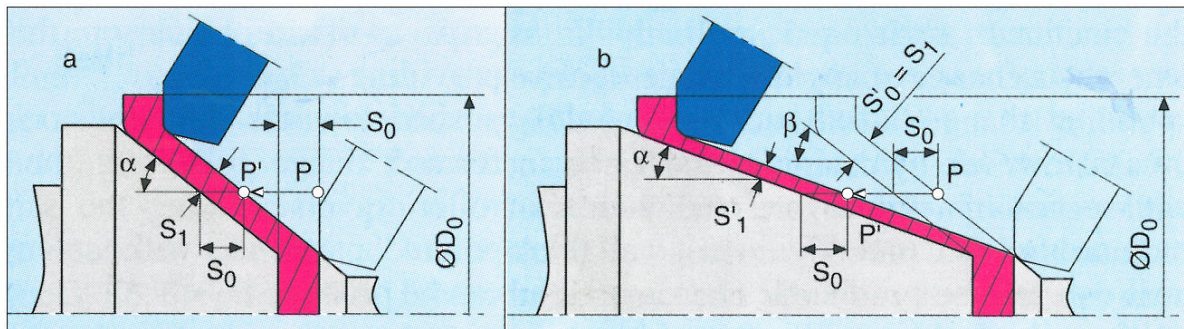
kalını, şekil değiştirmeden eski formunu korumaktadır. Bunun pratik uygulamada ki avantajı, verilen kalınlık için ihtiyaç duyulan şekil değiştirme enerjisinde ortaya çıkmaktadır. Yatırmalı sıvama için ihtiyaç duyulan şekil değiştirme enerjisi diğer birçok yöntemle kıyasla önemli oranda düşüktür (Packham [1]).

Şekil 3.8’de DIN 8582 ve DIN 8583’e göre yatırmalı sıvamada başlangıç ve bitiş malzemesinin sahip olduğu geometrik özellikler gösterilmiştir.

| Standart                 | Yatırmalı Sıvama | Başlangıç Malzemesi | Et Kalınlığı  |
|--------------------------|------------------|---------------------|---|
| Flow forming<br>DIN 8582 |                  |                     | taban ve uç kısımda<br>(şekillendirilmemiş<br>bölge)<br>$S = S_0$             |
| Spinning<br>DIN 8583, T2 |                  |                     | Şekillendirilmiş<br>bölge için:<br>$S_1 = S_0 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ |

Şekil 3.8 DIN 8582 ve DIN 8584’e göre yatırmalı sıvama (Runge [6]).

Yatırmalı sıvama da, standart sıvamanın aksine cidar kalınlığında belirgin bir değişim olur, bu değişim miktarı ön form pul malzemesinin cidar kalınlığına ve final formun makine eksenine arasında açı değerine bağlıdır.



Şekil 3.9 Yatırmalı sıvama şematik gösterim (Runge [6]).

Yatırmalı sıvama prosesinde, işlem parametrelerine bakılacak olursa; özetle, sıvanan bölgenin cidar kalınlığı (  $S_1, S_1'$  ), işlenmemiş parçanın cidar kalınlığının (  $S_0, S_0'$  ) işlenmemiş parçanın kesit açısının (  $\beta$  ) ve kalıbın kesit açısının (  $\alpha$  ) bir fonksiyonudur (Şekil 3.9).

$$S_1 = S_0 \cdot \sin \alpha \quad (3.1)$$

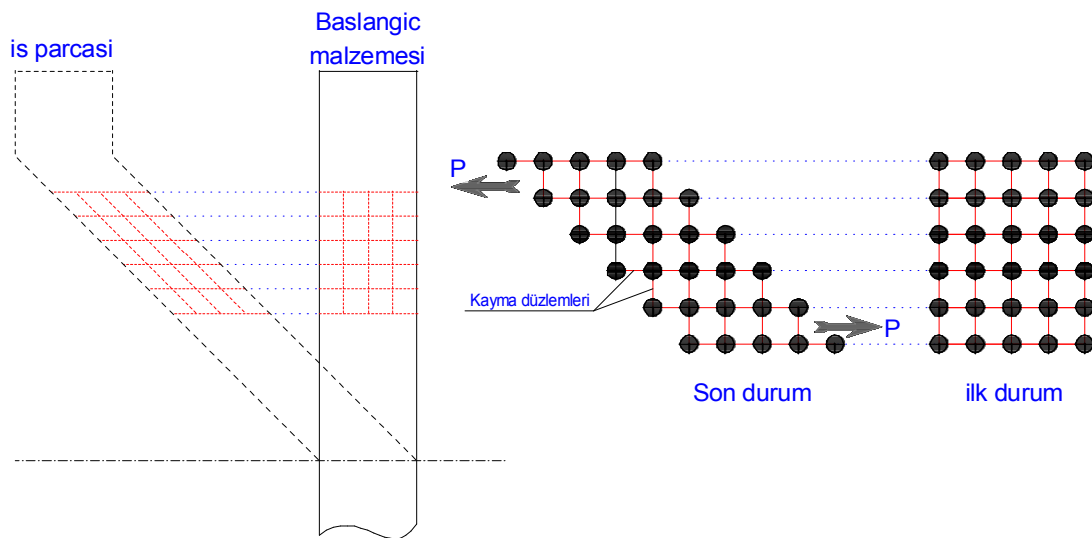
Alternatif olarak işlem, bir ön form verilmiş malzemelerden de yapılabilir. Bu durumda formülde ön formun ve nihai formun sahip olduğu açılarının ilişkisinin de irdelenmesi gerekir (Runge [6]).

$$S'_1 = S_0 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (3.2)$$

Bu formüllerin ortaya koyduğu gibi, yatırmalı sıvama prosesinde, elde edilecek parçanın cidar kalınlığı, işlenmemiş parçadan, bağımsız olarak kontrol edilememektedir.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, yatırmalı sıvama işleminin kalınlık ve parça toleransları açısından başarısı, işlenmemiş parçanın sahip olduğu nitelikler ile doğrudan ilişkilidir. Yatırmalı sıvama işlemi, yapısı gereği, malzemedeki kusurları düzeltememektedir.

Parça üzerinde, Şekil 3.10'daki gibi dikdörtgen bir kesit düzlemi alınır, yatırmalı sıvama operasyonu bir paralellogramda ele alınabilir (Packham [1]).

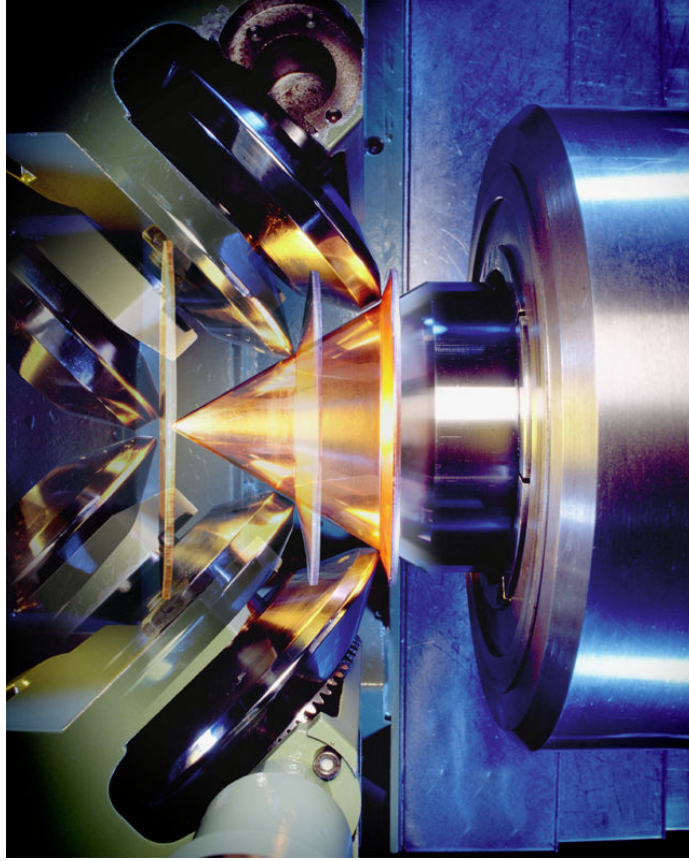


Şekil 3.10 Yatırmalı sıvama operasyonu için paralellogram uygulaması (Packham [1]).

Başlangıç malzemesi, kalın cidarlı, yuvarlak ya da kare şeklinde pullar veya ön form verilmiş parçalar olabilir. Kalın cidarlı plakalar için genellikle, 180° açı ile karşılıklı yerleştirilmiş 2 adet şekillendirici makaraya sahip tezgâhlar kullanılır. Bu tip tezgâhlarda, şekillendirme sırasında kalıp üzerinde oluşan kuvvetler karşılıklı makaralar ile dengelendiği için, daha düşük tolerans aralığına sahip parçaların üretilmesi mümkündür.

Çizelge 3.1 Standart sıvama ile yatırmalı sıvama arasındaki farklar (Runge [6]).

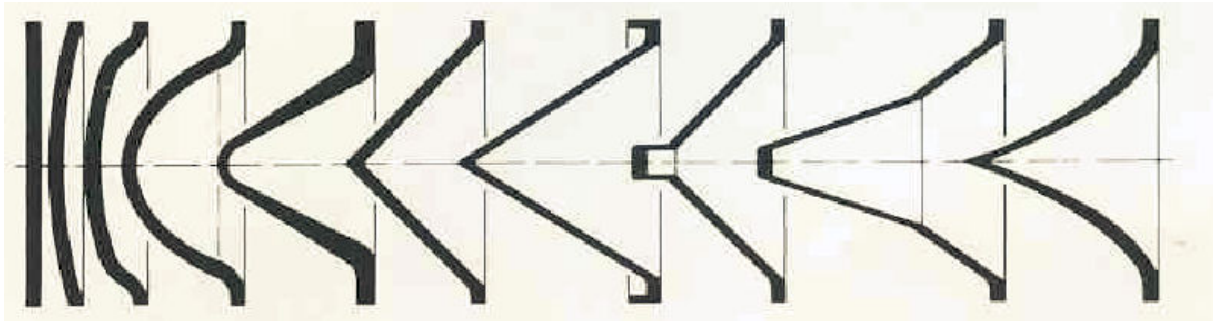
| STANDART SIVAMA(Şekil 3.2)   | YATIRMALI SIVAMA (Şekil 3.8)  |
|--|---|
| Makaranın birden fazla radyal ve aksenal yönde hareketi ile çok pasoda şekillendirme işlemi. | Genellikle tek pasoda şekillendirme işlemi.   |
| $S_1 = S_0$  | $S_1 = S_0 \sin \alpha$<br>$S'_1 = S_0 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  |
| Başlangıç malzemesi ve bitmiş parçanın cidar kalınlıkları aynıdır.                           | Bitmiş parçanın cidar kalınlığı, başlangıç malzemesinin cidar kalınlığına ve bitmiş parçanın açısına bağlı olarak değişim gösterir. |
| $A_1 = A_0$  | $A_1 > A_0$   |
| Başlangıç ve bitmiş parça yüzey alanları aynıdır   | Bitmiş parça yüzey alanı daha büyüktür.   |
| $D_0 > D_1$  | $D_0 = D_1$   |
| Başlangıç malzemesinin çapı, bitmiş parçanın çapından büyüktür.                              | Başlangıç ve bitmiş parça dış çapı aynıdır.   |



Şekil 3.11 İki adet şekillendirici makaraya sahip yatırmalı sıvama tezgâhı (Leico [5]).

Şekil 3.11’de iki adet şekillendirici makaraya sahip yatırmalı sıvama tezgâhında, bakır koni parçası imal edilirken değişik zamanlarda çekilen görüntüler, tek bir resim üzerinde bir arada gösterilmiştir.

Şekil 3.12’de ve 3.13’te örnekleri gösterildiği gibi, bitmiş parçanın şekli düz koni, konkav, konveks yapıda geometriler veya bunların birleşimi olabilir.



Şekil 3.12 Yatırmalı sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parça formlarının şematik gösterimi (Leico [5]).



Şekil 3.13 Yatırmalı sıvama yöntemi ile imal edilen parçalar (Leico [5]).

Daha önce de belirtildiği gibi bu işlem  $8^\circ$  ile  $80^\circ$  arası açılarda yapılabilir. Ancak, tek paso ile işlem yapılacaksa, minimum açı değeri yaklaşık  $13^\circ$ 'dir.  $8^\circ$  ile  $13^\circ$  derece açı arasındaki parçalar için 2 pasolu bir operasyon gereklidir (Packham [1]).

Yatırmalı sıvama yönteminin avantajları:

- Düşük kalıp maliyeti
- Yakın ölçüsel hassasiyet
- Yüksek üretim adetleri
- Malzeme tasarrufu (talaş kaldırma işlemi yok)
- Parçalarda pekleşme
- Üretim sırasındaki farklı parça için ayar işleminin hızlı ve kolay olması
- Yarı kalifiye elemanla kontrol edilebilecek kadar kolay tezgâh kontrolü

Yatırmalı sıvama yöntemi ile standart sıvamada olduğu gibi, plastik olarak şekillendirilebilen tüm metal malzemeler sıvanabilmektedir. Sıvama sonucunda elde edilecek yüzey kalitesi, iş parçası malzemesine, rölenin ilerleme hızına, iş parçasının dönme hızına, vb. parametrelere bağlı olarak değişir.

Yatırmalı sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar için ulaşılabilir bitmiş parça toleransları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Yatırmalı sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar için ulaşılabilir bitmiş parça toleransları (Runge [6]).

| İş parçası referans ölçüleri   |                           | Ulaşılabilir bitmiş parça toleransları |                        |
|--|---------------------------|--|------------------------|
| Koni yüksekliği  | 50 ila 300mm              | Et kalınlığı (uzunlamasına)            | $\pm 0,03\text{mm}$    |
| Açık taraftaki çap   | 40 ila 300mm              | Et kalınlığı (çevresel)                | $\pm 0,02\text{mm}^*$  |
| Çıkış açısı  | $25^\circ$ ila $50^\circ$ | Ovalite (Disk pul)                     | $\leq 0,04\text{mm}^*$ |
| Et kalınlığı   | 2 ila 10mm                | Ovalite (Kare pul)                     | $< 0,08\text{mm}$      |
| Başlangıç malzemesi et kalınlığı   | 5 ila 13mm                | Açı                                    | $\pm 0,05^\circ$       |
| Malzeme  | Cu (%99,9)                | Yüzey kalitesi (ortalama)              | $\leq 0,4\mu\text{m}$  |
| * Başlangıç malzemesinin sahip olduğu özelliklere bağlı olarak daha düşük değerler elde edilebilir |                           |  |                        |

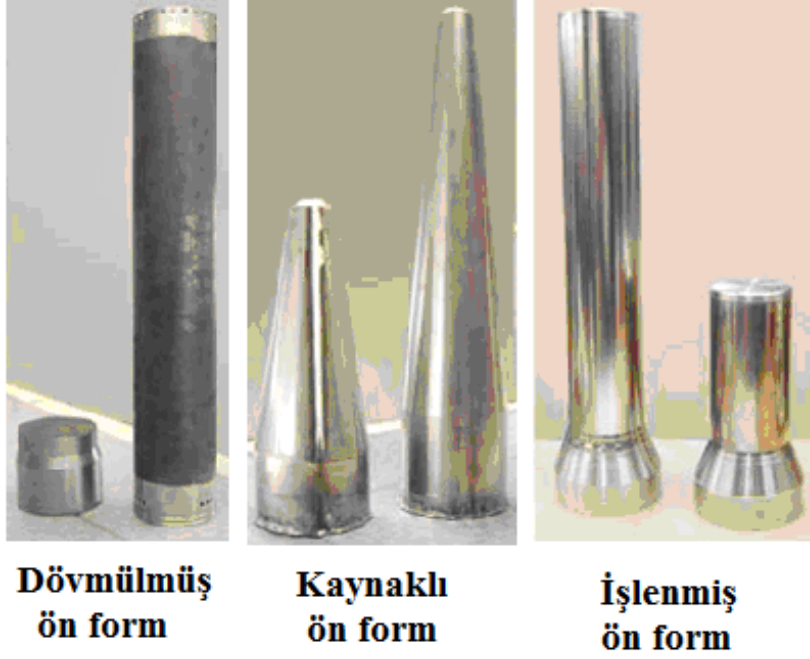
Savunma ve uzay sanayilerinde bu yöntemin kullanımına sıklıkla rastlanır. Roketlere ait çeşitli parçalar, zırh delici “H.E.A.T.” mermilerine ait konik başlıklar bu yöntemle imal edilebilmektedirler (Gün[2]).

### 3.3 Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi

Cidar ezmeli sıvama yöntemi, plaka veya ön formlu malzemelerden, soğuk proses kullanarak, içi boş aksenal simetrik parçalar (çoğunlukla boru biçimli silindirik malzemeler) imal etmek için kullanılan bir yöntemdir (Pmf [8]).

Proses esnasında iş parçası, talaş kaldırmadan şekillendirilmektedir. Ön formlu başlangıç malzemesinin cidar kalınlığını incelttilerek, boyunun uzatılmasını sağlamaktadır. Ön formlu malzeme preslenmiş, dövülmüş, ekstrüde edilmiş ya da tornalanmış olabilir (Şekil 3.14).

İşlem sırasında, giriş malzemesi özelliklerine bağlı olarak cidar kalınlığında %95'e kadar varan bir redüksiyon yapılabilir (Packham [1]).



Şekil 3.14 Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile imal edilen çeşitli iş parçaları. İşlem öncesi ön formulu ve bitmiş parçalar (Pmf [8]).

Yöntem, boyun çapa oranının yüksek olduğu, ince cidarlı parçaların imalatı için idealdir. Genellikle, ölçüsel olarak hassas, yüksek dayanımlı, ince cidarlı silindirik parçaların imalatı için tercih edilir. Bu proses ile, ekstrem ölçüde düz ve eş eksenli parçaları, çapsal ölçüler ve cidar kalınlığı anlamında çok dar toleranslar dahilinde şekillendirmek mümkündür (Fonte [10]).

Cidar ezmeli sıvama yönteminin 3 temel tipi mevcuttur:

- İleriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesi
- Geriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesi
- Yüzer mandrele sahip cidar ezmeli sıvama prosesi

Bahsedilen tekniklerden ileri ve geriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemleri, uzun yıllardır bilinen ve bu konu ile ilgili bütün kaynaklarda (literatürde) adı geçen ve açıklanan iki yöntemdir.

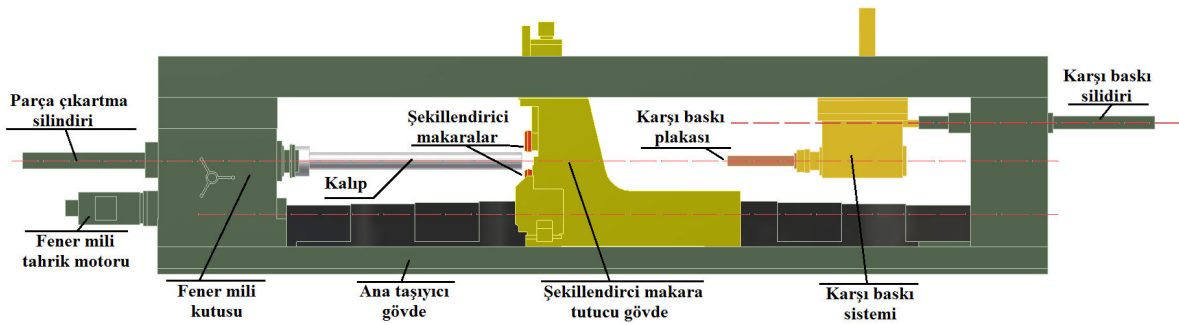
Bu tekniklere ilave olarak, yapılan bu çalışmayla beraber yeni bir cidar ezmeli sıvama yöntemi geliştirilmiştir. Bu teknik “yüzer mandrele sahip cidar ezmeli sıvama prosesi” olarak tanımlanmıştır. Bu proses detayları REPKON A.Ş tarafından patent koruması altına alınmıştır.

Her üç tip proses, için de fener mili tarafından döndürülen, ön formlu malzemenin, iç çapı bir kalıp düzeneği tarafından desteklenirken, şekillendirici makaraların malzemenin dış çapına baskı uygulayarak, iş parçanın cidar kalınlığını inceltmesi ve başlangıç malzemesinin boyunu uzatması esastır.

Detaylara girildiği zaman her tip, farklı karakteristik özellikler gösterdiği için ayrı ayrı açıklanacaktır. Ancak bu aşamaya geçmeden önce, cidar ezmeli sıvama tezgahlarının genel konstrüksiyon özellikleri tanıtılacaktır. Burada amaç, cidar ezmeli sıvama prosesi sırasında kullanılan makine bileşenlerinin herkes tarafından anlaşılır hale getirilmesidir.

### 3.3.1 Cidar Ezmeli Sıvama Tezgâhlarının Genel Özellikleri

Dünyada, cidar ezmeli sıvama tezgâhlarını üreten firmaların sayısı sınırlıdır. Bunun en önemli sebebi tezgâhtan beklenen rijitlik ve toleranslardır. Değişik firmalar tarafından üretilen tezgâhlar incelendiği, tasarımlarının birbirine çok fazla benzediği görülmektedir. Şekil 3.15'te bu tip bir dizayna sahip tezgâhın genel yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Cidar ezmeli sıvama tezgâhının genel yerleşimi

Tezgâhı, ana parçalar olarak alt gruplar halinde listelersek:

- Ana gövde
- Fener mili kutusu ve kalıp
- Şekillendirici makara tutucu gövde

- Karşı baskı sistemi
- Parça soğutma sistemi
- Elektrik ve elektronik kontrol sistemi
- Hidrolik kontrol sistemi

### **3.3.1.1 Ana Gövde**

Tezgâhın en büyük parçası ve temel organıdır. Makinenin bütün parçalarını üzerinde taşır. Gövdenin üst yüzeyinde hareketli grupların sağlıklı çalışmasını sağlayan yataklar bulunur. Genellikle, kaynak konstrüksiyon veya döküm yöntemi ile imal edilir.

### **3.3.1.2 Fener Mili Kutusu ve Kalıp Sistemi**

Şekil 3.15'te gösterilen tezgâhın sol tarafında yer alan, gövde üzerine sabitlenmiş; içinde çeşitli rulmanlar ile yataklanmış fener milinin bulunduğu kısımdır. Birçok modelde, devir hız ayarı yapılan dişli çark düzeni de burada yer alır. Kutunun dışında bulunan devir ayar kolları, devir sayılarını gösteren şemadaki konumlara getirilerek devir sayısı ayarlanır. Kolların kullanımıyla kutu içindeki dişliler uygun konumları alarak gereken hızları üretirler.

Fener milinin ön kısmı, çeşitli kalıpların bağlanabilmesi amacıyla, özel bir formda üretilip (genellikle DIN 55027 normuna uygun) sertleştirilmiştir.

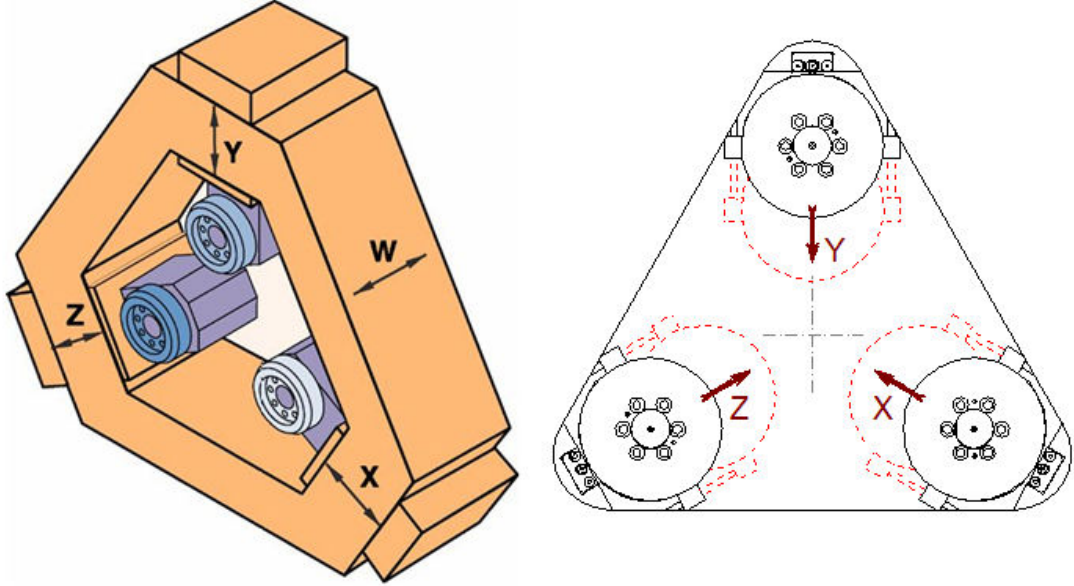
Kalıp, fener mili üzerine bağlanmış dolu bir mil veya kalın cidarlı boru biçimli parçadır. Genellikle, malzeme olarak, komple sertleştirilmiş soğuk iş takım çelikleri kullanılır. Çapı ve boyu, üretilecek olan parçanın özelliklerine ve cidar ezmeli sıvama yönteminin tipine göre değişiklik gösterir.

### **3.3.1.3 Şekillendirici Makara Tutucu Gövde**

Tezgâhın gövdesi üzerinde, aksenal doğrultuda kızaklar boyunca hareket eden bölümdür. Aksenal hareket için gerekli olan güç bir hidrolik silindir veya bir vidalı mil sistemi kullanılarak oluşturulur.

Tutucu gövde üzerinde, iki ya da daha fazla şekillendirici makara bulunur. Her bir makara, diğerlerinden bağımsız olarak merkez eksene yaklaşma veya uzaklaşma (şekil 3.16'da

X,Y ve Z oklarıyla gösterilen doğrultuda hareket etme) özelliğine sahiptir. Şekil 3.16’da üç makaralı bir tezgâh için, şekillendirici makara tutucu gövde ve üzerindeki hareketli makara grupları gösterilmiştir.

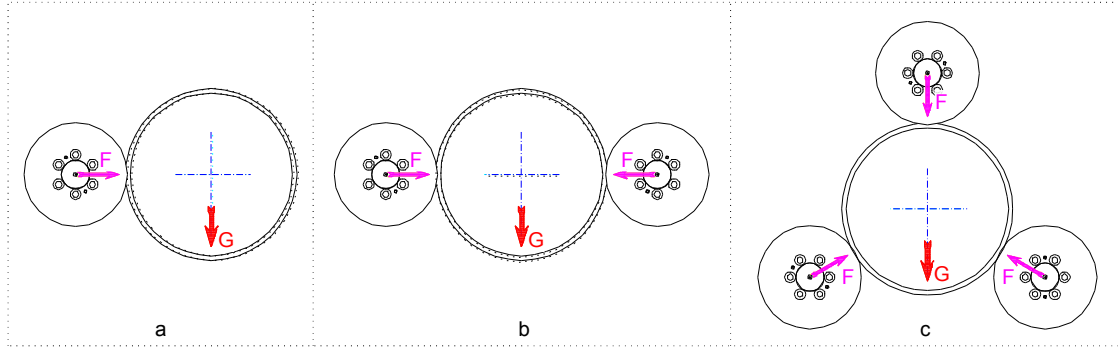


Şekil 3.16 Üç makaralı bir tezgâh için, şekillendirici makara tutucu gövde ve üzerindeki hareketli makara grupları (Dynamic [9]).

Şekil 3.16’deki resimde, “X” , “Y” , “Z” okları ile gösterilen eksenler makaraların merkez eksen doğrultusundaki hareketleridir. Her bir makara, CNC kontrol sistemi tarafından bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Bu makaraların makine uzunlamasına (eksenel doğrultudaki) hareketleri “W” ise birlikte. Çünkü bütün makaralar aynı tutucu gövdeye bağlanmışlardır.

Genellikle, şekillendirici makaralar, dönme yönünde avaradırlar. Bazı uygulamalarda, makaranın arkasına takılan bir hidrolik motor yardımıyla, makaralar döndürülebilir. Burada amaç makaranın, dönen iş parçasına temas etmeden önce, iş parçasının hızına yakın bir hızda dönmesini sağlamaktır. Böylelikle makaranın, dönen iş parçasına temas ettiği anda oluşan bir takım (makaraların çabuk aşınması, iş parçası yüzeyinde oluşan sorunlar v.b.) olumsuzluklar minimize edilir.

Şekillendirme yapılan tezgâhın özelliklerine göre, işlem bir veya daha fazla makara ile yapılabilir. Günümüzde silindirik uzun parçaların şekillendirilmesi için, genellikle üç makaralı tezgâhlar tercih edilmektedir. Üç makaralı tezgâhların avantajı, Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Cidar ezmeli sıvama tezgâhlarında, şekillendirici makaraların yerleşimleri.

Şematik gösterimden de anlaşılacağı üzere, bir veya iki adet şekillendirici makaraya sahip tezgâhlarda, şekillendirme sırasında ortaya çıkan kuvvetler, yerçekiminin (G) de etkisiyle, kalıbın merkez eksenini, makine dönme ekseninde tutmakta yetersiz kalmaktadır. Buna karşın üç makaralı tezgâhlarda ise,  $120^\circ$  derecelik açılarla yerleştirilmiş olan makaralar, yerçekimin yarattığı olumsuzlukları da gidererek, kalıbın tam makine ekseninde dönmesine yardımcı olurlar. Bu nedenle, üç makaralı tezgâhlarda üretilen parçalar için, daha dar bir tolerans aralığı elde edilir.

Yukarıdaki açıklamalara ilave olarak, belirtmek gerekir ki, altı makaraya sahip cidar ezmeli sıvama tezgâhı, dünyada ilk defa, bir Türk firması olan REPKON A.Ş tarafından üretilmiştir. Bu tezgâh ve bu sistemin avantajları ile ilgili daha detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır.

#### 3.3.1.4 Karşı Baskı Sistemi

Şekil 3.15'te gösterilen tezgâhın, sağ tarafında gövde üzerinde yataklanmış olan, aksel doğrultuda hareketli gruptur. Aksel hareket mekanizması için, genellikle hidrolik silindir kullanılır.

Karşı baskı kutusunun içinde çeşitli rulmanlar ile yataklanmış karşı baskı mili bulunur. Karşı punta mili, genellikle avaradır, bazı özel uygulamalarda bir motorla vasıtasıyla tahrik edilmiş tipte olanları da vardır.

Karşı baskı sisteminin iki ana görevi vardır:

- İleri doğru cidar ezmeli sıvama yönteminde, ön formulu başlangıç parçasının taban yüzeyini, kalıp üzerine bastırarak, aksiyal doğrultuda ve dönme yönünde sabitlemek.

Bu sayede motorundan ana fener mili üzerine gelen dönme kuvveti kalıp üzerinden iş parçasına aktarılır.

- Taban yüzeyi yarı açık parçalarda, karşı baskı plakasının ucundaki bir merkezletme pimi, kalıbın içine yerleştirilerek, parçanın makine ekseninde dönmesi teminat altına alınır. Bu sayede işlenen parça daha hassas toleranslar ile şekillendirilebilir.

### 3.3.1.5 Parça Soğutma Sistemi

Cidar ezmeli sıvama yöntemi, soğuk proses kullanılarak gerçekleştirilen bir şekillendirme yöntemidir. Ancak, şekillendirme sırasında ortaya çıkan yüksek basınç ve şekillendirme kuvvetleri sebebiyle, işlem sırasında iş parçası ısınmaktadır. Ortaya çıkan ısınma etkisi, prosesi olumsuz etkilemektedir.

Parçanın daha az ısınması ve ısınan parçanın en kısa sürede soğutulması amacıyla, şekillendirme prosesi önceden soğutulmuş bir soğutma sıvısının altında gerçekleşmektedir. Bu sayede malzemenin çalışma sıcaklığı, sürekli rekristalizasyon sıcaklığının altında kalmaktadır. Bu soğuk çalışma, malzemenin dayanım ve sertlik değerlerini arttırmaktadır. Ayrıca bu yöntem, sıcak proseslere nazaran çok daha iyi bir ölçüsel hassasiyette sağlanmaktadır (Fonte [10]).



Şekil 3.18 Cidar ezmeli sıvama tezgâhlarında, parça soğutma sistemi (Pmf [8]).

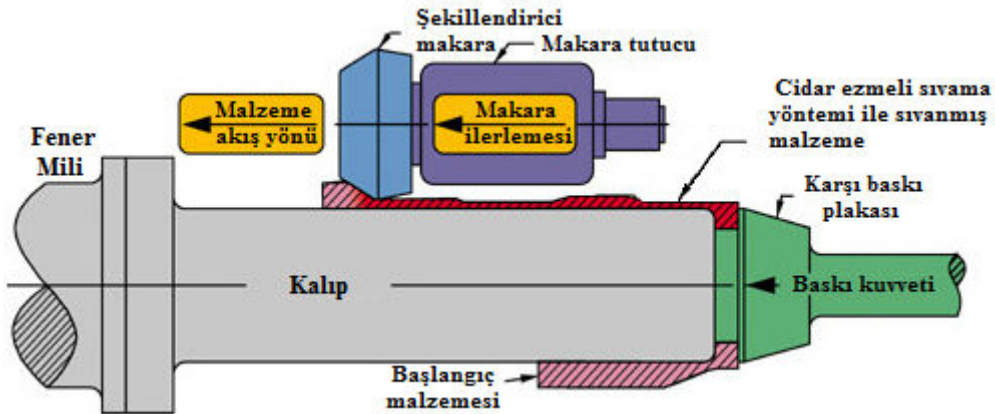
Yapılan işlemin özelliklerine göre, 200 ila 1000 litre/dakika arasında değişen miktarlarda soğutma sıvısı makaraların olduğu bölgeye pompalanmaktadır. Sistem kapalı çevrim

esasına göre çalışır. Bir tank içerisindeki soğutma sıvısı, eşanjörde soğutularak, şekillendirme bölgesine pompalanır. Makinenin alt kısmında toplanan sıvı başka bir pompa yardımıyla bir bant filtre üzerinden tekrar tanka geri pompalanır (bazı uygulamalarda bant filtre ve tank, tezgâhın altına yerleştirilerek yerçekimi etkisinden faydalanılır).

### 3.3.2 Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemleri

#### 3.3.2.1 İleriye Doğru Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi

İleriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemi, bir ucu açık diğer ucu ise kısmen ya da tamamen kapalı boru biçimindeki, silindirik ön formlu malzemelerin şekillendirilmesi için uygulanan bir yöntemdir. İşlem sırasında, malzemenin akış yönü, fener miline yakınlığa doğrultusundadır. Bu nedenle, ileriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemi olarak adlandırılır.

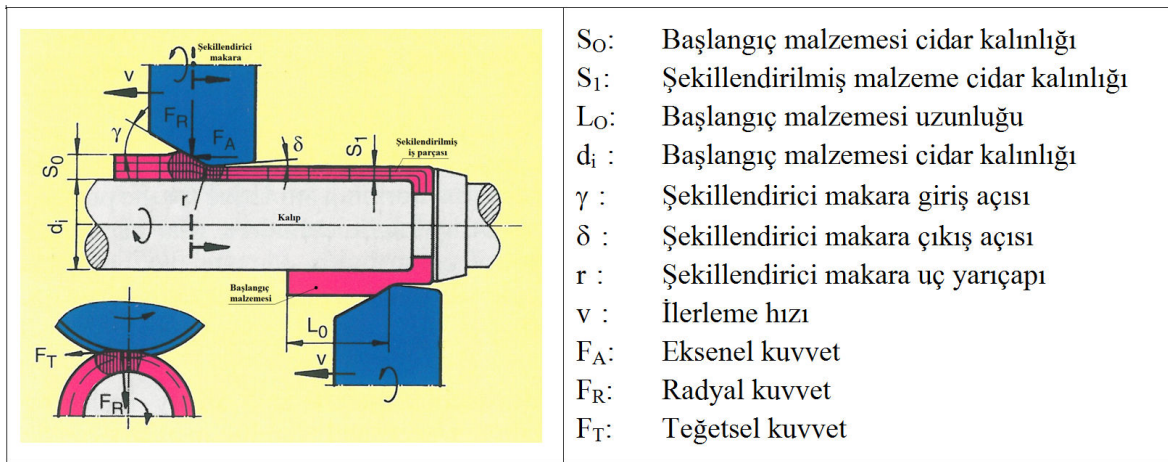


Şekil 3.19 İleri doğru cidar ezmeli sıvama prosesinin prensibi (Dynamic [9]).

Şekil 3.19'da ileri doğru cidar ezmeli sıvama prosesinin prensibi gösterilmiştir. Bir ucu açık, diğer ucu ise kısmen ya da tam kapalı başlangıç malzemesi (örn. kova şeklindeki boru parçası), fener miline bağlanmış olan kalıbın üzerine geçirilir. Burada kalıp dış çapı ile boru malzemenin iç çapı arasında küçük bir geçme toleransı vardır. Parça, karşı baskı plakası yardımıyla, etek bölgesinden kalıba doğru bastırılır. Bu sıkıştırma işleminde esas amaç, ana fener mili motorundan gelen tork gücünün kalıp üzerinden geçerek iş parçasına aktarılmasıdır. Fener mili ve buna bağlı olan iş parçası döndürülmeye başlanır. Ardından şekillendirici makaralar, kalıp ile makara arasında önceden belirlenen bir boşluk kalacak

şekilde, radyal yönde (iş parçasının merkez eksenine doğru, kapanma yönünde) hareket ederler. Makaraların malzeme ile temasının ardından, şekillendirici makara tutucu gövde aksenal yönde hareket ederek malzemenin boyunun (kesit kalınlığını incelterek) fener miline doğru uzamasını sağlarlar.

İş parçasının kalınlığı, işlem sırasında makara ile kalıp arasındaki boşluk miktarı tarafından belirlenir. Bu mesafe işlem sırasında değiştirilebilir. Bu sayede malzemenin dış yüzeyi üzerinde çeşitli geometriler elde edilebilir. Kalıp ile makara arasında ki boşluk artarsa malzeme üzerindeki redüksiyon oranı ve malzemenin uzama miktarı azalır.



Şekil 3.20 İleri doğru cidar ezmeli sıvama prosesinde çeşitli parametreler (Runge [6]).

Şekil 3.20’de ileri doğru cidar ezmeli sıvama prosesinde çeşitli parametreler gösterilmiştir. İşlenecek olan parça, kalıba aksenal doğrultuda ve dönme yönünde sabitlenmiştir ve fener mili ile beraber döndürülmektedir. Şekillendirme işlemi sırasında, iş parçasına makaralar tarafından radyal ( $F_R$ ) ve aksenal yönde ( $F_A$ ) kuvvet uygulanır. Aynı zamanda makaralar, fener mili grubuna doğru aksenal yönde bir “V” hızı ile ilerler. Sıvama işlemi, makaralar ile parçanın birbirine temas ettikleri noktanın altında oluşan, bir basınç bölgesinde malzemenin plastik şekil değiştirmesi ile sağlanır. Bu bölgede malzeme incilir ve akar. Bu esnada, inceltile bölgedeki malzemenin hacmi ile doğru orantılı olarak iş parçasının uzunluğu ( $L_0$ ) artar. Cidar ezmeli sıvamada karakteristik olarak, rölelerin önünde bir malzeme dalgası oluşur ve röleler ile birlikte ilerler. Bu dalganın geometrisi ve büyüklüğü proses mühendisleri açısından işlemin doğruluğu ile ilgili önemli birer parametredir.

Ayrıca röle ile malzemenin temas ettiği noktada, iş parçası üzerinde teğetsel bir malzeme akışı da oluşur. Bu teğetsel malzeme akışının minimum olması istenir; zira bu malzeme akışı iş parçasının iç çapının artmasına sebep olan bir etkidir (Gün[2]).

İdeal şartlar altında ve iş parçası boyunca sabit bir cidar kalınlığı elde edilecek şekilde yapılan bir sıvama işleminde, malzemenin hacminin değişmemesi gerektiği de göz önünde bulundurularak, iş parçasının sıvama sonundaki uzunluğu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$L_1 = L_0 \frac{S'_0(d_i + S'_0)}{S'_1(d_i + S'_1)} + L'_0 \quad (3.3)$$

Formülde:

- $L_1$  : Sıvama sonunda elde edilen toplam parça uzunluğu,  
 $L_0$  : Sıvamaya başlanacak noktadan itibaren iş parçasının uzunluğu,  
 $L'_0$  : Sıvanmayan kısmın uzunluğu,  
 $S_0$  : İş parçasının başlangıç cidar kalınlığı,  
 $S_1$  : İş parçasının işlem sonrası cidar kalınlığı,  
 $d_i$  : İş parçasının iç çapı,

değerini ifade etmektedir (Packham [1]).

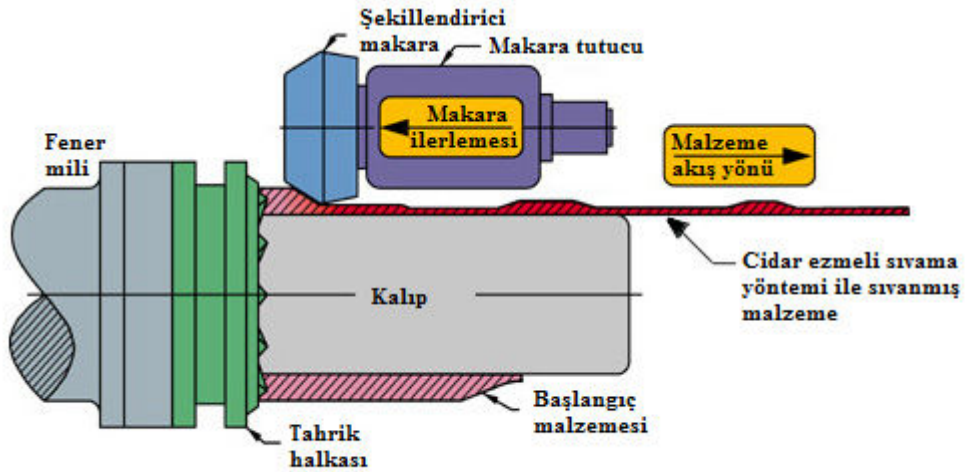
İleriye doğru cidar ezmeli sıvama yönteminin avantajları:

- Bitmiş parça üzerinde daha dar bir tolerans aralığı elde edilebilir.
- Daha yüksek şekillendirme hızlarına ulaşılabilir.
- Daha az şekillendirme kuvvetleri gereklidir.
- İç yüzey üzerinde bir takım kademeler / formlar yapılabilir (belli form ve limitler dahilinde)

Yöntemin en büyük dezavantajı ise; üretilebilir parça boyunun limitli oluşudur. Bitmiş parça boyu, makine aksenal hareket mesafesi ve kalıp uzunluğu ile sınırlıdır.

### 3.3.2.2 Geriye Doğru Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi

Geriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemi, her iki ucu da tamamen açık boru biçimindeki silindirik ön formlu malzemelerin şekillendirilmesi için uygulanan bir yöntemdir. İşlem sırasında, malzemenin akış yönü, fener milinden uzaklaşma doğrultusundadır. Bu nedenle, geriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemi olarak adlandırılır.



Şekil 3.21 Geriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesinin prensibi (Dynamic [9]).

Şekil 3.21’de geriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesinin prensibi gösterilmiştir. Her iki ucu açık başlangıç malzemesi, fener miline bağlanmış olan kalıbın üzerine geçirilir ve kalıbın üstünde bulunan tahrik halkasına bastırılır. Tahrik halkası, fener mili motorundan gelen dönme kuvvetini, üzerindeki tırnaklar vasıtasıyla iş parçasına aktarmak üzere özel olarak tasarlanmıştır. Parça tırnakların üzerine geçirildikten sonra, döndürülmeye başlanır. Şekillendirici makaraların radyal, aksel ve teğetsel doğrultuda oluşturduğu kuvvetler ile malzemenin cidar kalınlığı ezilir. Malzeme fener mili tarafında, tahrik halkasına dayandığı için bu doğrultuda uzayamaz. Makaraların etkisiyle, plastik şekil değiştirmiş olan malzeme, uzayabileceği tek yön olan geriye doğru uzamaya başlar.

İş parçasının, kalınlığı işlem sırasında makara ile kalıp arasındaki boşluk miktarı tarafından belirlenir. Bu mesafe işlem sırasında değiştirilebilir. Bu sayede malzemenin dış yüzeyi üzerinde çeşitli geometriler elde edilebilir.

Geriye doğru cidar ezmeli sıvama yönteminin avantajları:

- Daha uzun parçaların imalatı için uygundur.
- Daha yüksek soğuk pekleşme etkisi görülür.
- Daha kısa kalıp boyuyla, daha ekonomiktir.

Yöntemin en büyük dezavantajı ise; ulaşılabilir parça tolerans aralığının daha geniş olmasıdır.

### **3.3.2.3 Yüzer Mandrele Sahip Cidar Ezmeli Sıvama Prosesi**

Yüzer mandrele sahip cidar ezmeli sıvama prosesi bu çalışma ile geliştirilmiş olan bir sıvama prosesidir. Bugüne kadar, cidar ezmeli sıvama alanında hem makine imalatçıları hem de parça bazlı üretim yapan firmalarda, mühendislerin kullandığı iki tip üretim yöntemi vardır. Bunlar:

- İleriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesi
- Geriye doğru cidar ezmeli sıvama prosesi

Her iki şekillendirme yönteminde de iş parçası fener miline bağlanmış olan bir kalıp üzerinden tahrik edilmektedir. Bu durum şekillendirme prosesi sırasında bir takım sıkıntılara yol açmaktadır. Bu sıkıntıları daha iyi anlayabilmek için şekillendirme sırasındaki malzeme davranışlarının incelenmesi gereklidir.

Şekillendirme sırasında malzeme, üç temel yönde hareket etmektedir.

- Aksiyal doğrultuda
- Radyal doğrultuda
- Teğetsel doğrultuda

Malzemenin cidar kalınlığı incelendiği ve boyu uzadığı için radyal ve aksiyal doğrultuda bir hareketi söz konusudur. Bunlara ilave olarak, şekillendirme sırasında malzemenin teğetsel düzlemde de (burulmaya benzeyen) bir hareketi söz konusudur.



$$V_{\text{şekillendirilmiş malzeme}} > V_{\text{fener mili}} = V_{\text{ön formlu iş parçası}} = V_{\text{kalıp}}$$

Malzemenin, kalıp üzerindeki aksiyal ve teğetsek hareketi çok büyük kuvvetler altında gerçekleşmektedir. Ortaya çıkan sürtünme etkisiyle, şekillendirme işleminde, tezgâha verilen aksiyal hareket kuvvetinin büyük bir bölümü burada ısı enerjisine dönüşmektedir.

Cidar ezmeli sıvama prosesinin de, malzemenin ısınması kesinlikle istenmeyen bir durumdur. Bunun iki ana sebebi vardır.

Birincisi, malzemenin ısınması, şekillendirme prosesinden beklenen tolerans hassasiyetlerini etkilemektedir. Şekillendirme sırasında, malzemenin aşırı değerlerde ısınması, bitmiş parça için tolerans aralığının genişlemesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

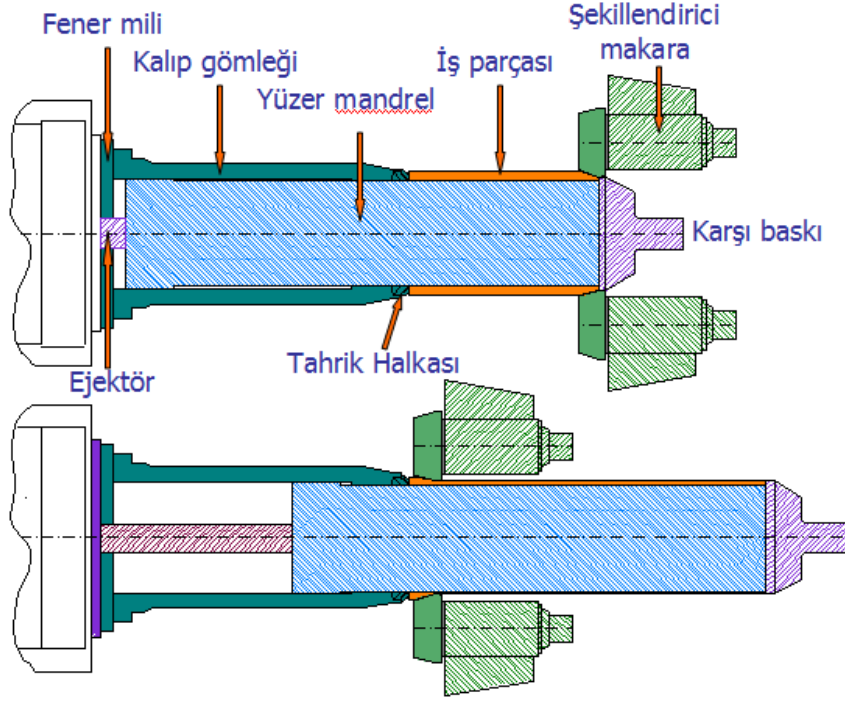
Buna ilave olarak, şekillendirme sırasında malzemenin ısınması ile iş parçasının iç çap değerinde bir artış meydana gelir. Kalıp üzerinde ilerleyen iş parçası zamanla soğuyarak, kalıp üzerine sıkı bir biçimde tutunur. Bu durumda, şekillendirme prosesi başarıyla bitmiş olsa bile, bitmiş iş parçası kalıptan çıkartılamaz. Malzemeyi çıkartmak için çok büyük kuvvetler gereklidir. Malzemenin kalıptan çıkartılması için ilave bir şekillendirme pasosu (daha düşük ilerleme hızlarında) yapılır ve böyle durumda üretilen iş parçası kullanılamaz hale gelir.

Malzemenin kalıp üzerindeki izafi hareketinin yarattığı ısınma problemi, cidar ezmeli sıvama proseslerinin hızlanma konusunda karşılaştığı en büyük engellerden birisidir.

Geliştirilen altı adet şekillendirici makaraya sahip tezgâh, poligonal etkinin yol açtığı sıkıntıları ortadan kaldırarak proseste önemli ölçüde iyileşmeler sağlamıştır.

Ancak malzemenin ısınmasından kaynaklanan sıkıntılar sebebiyle, ulaşılabilir şekillendirme hızları halen kısıtlıdır. Daha da iyi bir takım sonuçlar elde edebilmek için farklı bir şekillendirme prosesine ihtiyaç vardır.

Bu sorunu aşmak için geliştirilen yeni şekillendirme tekniğinin detayları Şekil 3.24'te verilmiştir.



Şekil 3.24 Yüzer mandrelle sahip cidar ezmeli sıvama prosesi (Repkon [11]).

Prosesin, bilinen tekniklerden en temel farkı, kalıp sisteminin fener miline bağlı olmamasıdır. Kalıp, yalnızca makine üzerinde fener mili eksenine yataklanmıştır. Aksiyal doğrultuda ve dönme yönünde avaradır. Kalıbın bir bölümü, fener miline bağlanmış olan bir gömlek içinde yer almaktadır. Malzeme bu gömlek vasıtasıyla, direk olarak fener milinden tahrik edilmektedir. Şekillendirme işlemi sırasında malzemenin aksiyal yönde uzaması kadar kalıp içerden dışarıya doğru beslenmektedir. Kalıp dönme yönünde de avara olduğu için malzemenin teğetsel yöndeki hareketlerine de uyum sağlamaktadır. Geliştirilen bu teknik ile malzeme ve kalıp arasındaki aksiyal ve teğetsel doğrultuda oluşan izafi hareket ortadan kaldırılmıştır. Dolayısıyla bu hareketlerden kaynaklanan, malzemenin ısınma problemleri de ortadan kaldırılmıştır.

Geliştirilen sistem, cidar ezmeli sıvama şekillendirme teknolojisi alanında devrimsel niteliktedir. Bu teknik ile altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgâhı birbirini tamamlamaktadır. Bu iki özelliğe sahip tezgâh, rakiplerine oranla 3-4 kat şekillendirme hızlarına ulaşmaktadır.

Yüzer mandrele sahip cidar ezmeli sıvama yönteminin avantajları:

- Bitmiş parça üzerinde daha dar bir tolerans aralığı elde edilebilir.
- Çok yüksek şekillendirme hızlarına ulaşılabilir.
- Daha az şekillendirme kuvvetleri gereklidir.
- İç yüzey üzerinde bir takım kademeler / formlar yapılabilir (belli form ve limitler dahilinde).

Yöntemin en büyük dezavantajı ise; üretilebilir parça boyunun limitli oluşudur. Bitmiş parça boyu, makine aksenal hareket mesafesi ve kalıp ve gömlek parçasının uzunluğu ile sınırlıdır.

### **3.3.3 Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Avantajları**

Cidar ezmeli sıvama yönteminin avantajları ekonomik faydalar, ölçüsel, malzemesel ve mekanik özellikler açısından avantajlar olarak incelenecektir.

#### **3.3.3.1 Ekonomik avantajlar**

Cidar ezmeli sıvama, talaş kaldırmaksızın, yüksek dayanımlı malzemelerin, yüksek ölçüsel hassasiyetlerle şekillendirildiği bir yöntemdir. Bu teknoloji pek çok açıdan ekonomik faydalar getirir:

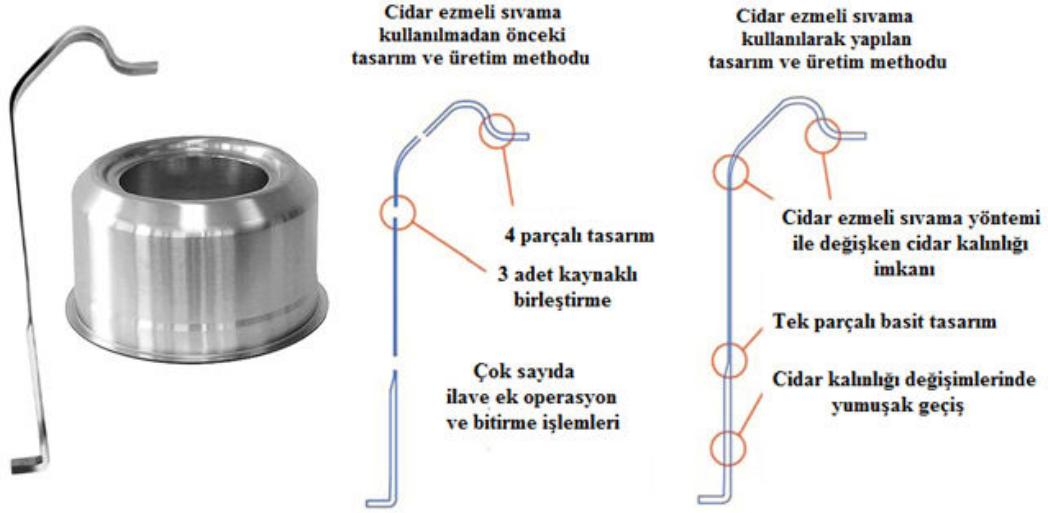
- Başlangıç malzemesi, talaş kaldırmadan şekillendirilmektedir. Bu durum üretim maliyetlerinde ciddi avantajlar sağlamaktadır.
- Kısa ve kalın cidarlı ön formlu malzeme ile başlamak ve bu parçayı orijinal uzunluğunun 4 katına kadar çıkartmak (yaklaşık %75 cidar kalınlığı redüksiyonu), diğer işleme yöntemlerine göre atıl malzeme miktarını azaltır.
- Cidar ezmeli sıvama yöntemi, final net şekli elde etmeye yönelik bir prosestir; ilave ikinci bir proses ihtiyacını çoğunlukla ortadan kaldırmaktadır.
- Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile dikişsiz parçalar elde edilebilir ve bu sayede kaynak dikişi ve ilave karmaşık kaynak dikişi test maliyetleri azaltılır.

- Flanş, yarı yada komple kapalı dip şeklindeki geometriler sıvanmış gövdeye entegre olabilir, bu sayede silindirik gövdeye flanş yada dip formu kaynatmanın maliyeti ve bu bölgelerin işleme maliyetleri azalır (Şekil 3.25).
- Sertleştirilmiş ön formlu malzemelerden, soğuk çalışma sayesinde ortalama 40(Rockwell C ölçütü) sertlik elde edilebilir. Bu sayede genellikle ilave bir sertleştirme prosesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle, ısıl işlem fırını ve takım maliyetleri ile ısıl işlem sebebiyle ortaya çıkan çarpılmaları düzeltmek ile ilgili maliyetlerde azalır. Bilindiği gibi, ince cidarlı malzemelerin ısıl işleminde çeşitli sıkıntılar oluşmaktadır (Fonte [10]).
- Cidar ezmeli sıvama tezgâhları, sahip oldukları büyük boyutlarına rağmen genellikle tek bir operatör tarafından kontrol edilebilirler. Bu durum çalışan maliyetlerini ciddi oranda azaltmaktadır.
- Diğer birçok üretim metoduna göre, daha basit ve az maliyetli bir kalıp sistemi vardır ve kalıp ömürleri uzundur. Burada, şekillendirme sırasındaki ayarların ve hazırlıkların doğru yapılmış olmasının ve kalıbın doğru kriterlere göre üretilmiş olmasının sözü edilen kalıp ömrü üzerinde çok büyük etkisi vardır.

### **3.3.3.1.1 Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Uygulama Örnekleri**

#### **3.3.3.1.1.1 Havacılık Endüstrisi için Motor Gövde İmalatı**

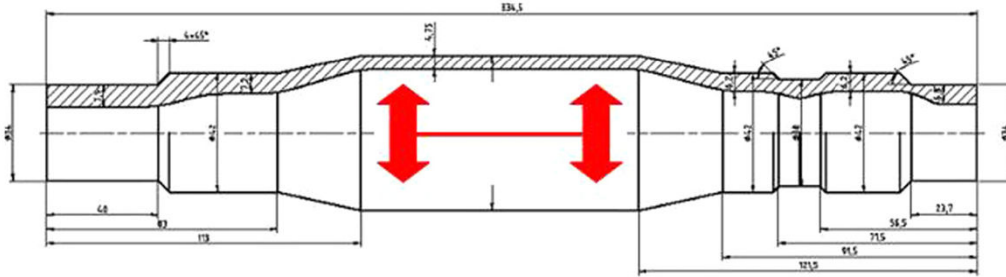
Şekil 3.25'te uçak motorları için üretilen bir parçanın imalatı için çeşitli üretim metodları şematik olarak gösterilmiştir. Resimde gösterilen parça klasik üretim yöntemleri ile 4 ayrı parçadan kaynaklı birleştirme (3 ayrı kaynak bölgesi vardır) ile imal edilirken, sıvama yöntemleri ile tek parçadan imal edilmektedir.



Şekil 3.25 Aynı parçanın üretimi için çeşitli üretim metodları (Pmf [8]).

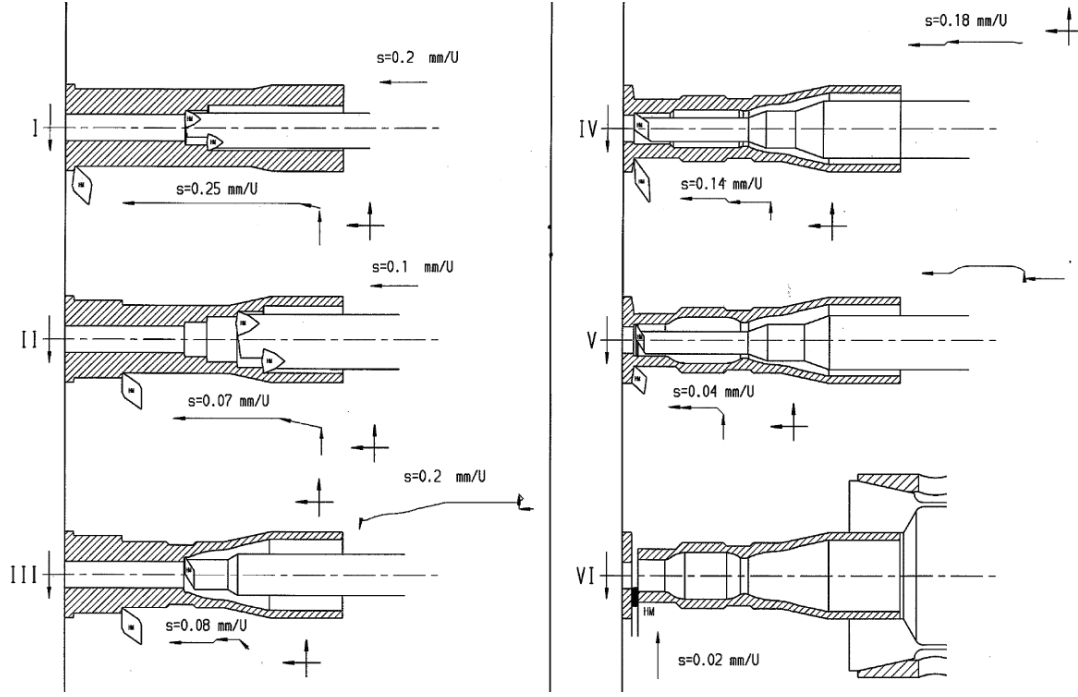
### 3.3.3.1.1.2 Otomotiv Sanayi için Şaft İmalatı

Şekil 3.26'da otomotiv endüstrisinde kullanılan bir şaftın kesit detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.26 İmal edilecek olan otomotiv parçasının kesit detayı (Cominotti [12]).

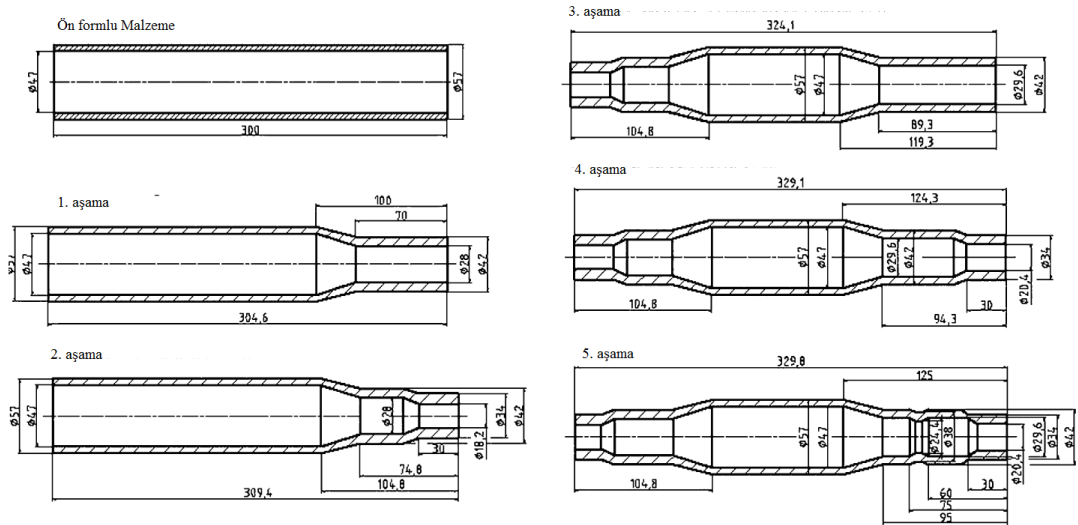
Bu parçanın klasik yöntemler ile imalatı için Şekil 3.27'de bir akış şeması verilmiştir. Sahip olduğu karmaşık yapı nedeniyle, iş parçası iki ayrı ön formdan işlenerek daha sonra birbirine kaynatılmaktadır.



Şekil 3.27 Parçanın üretimi için klasik üretim metodu kullanılması durumunda iş akış şeması (Cominotti [12]).

Aynı parçanın üretimi için cidar ezmeli sıvama metodunun akış şeması Şekil 3.28'de verilmiştir. Bu yöntem ile şaft tek bir parçadan imal edilebilmektedir.

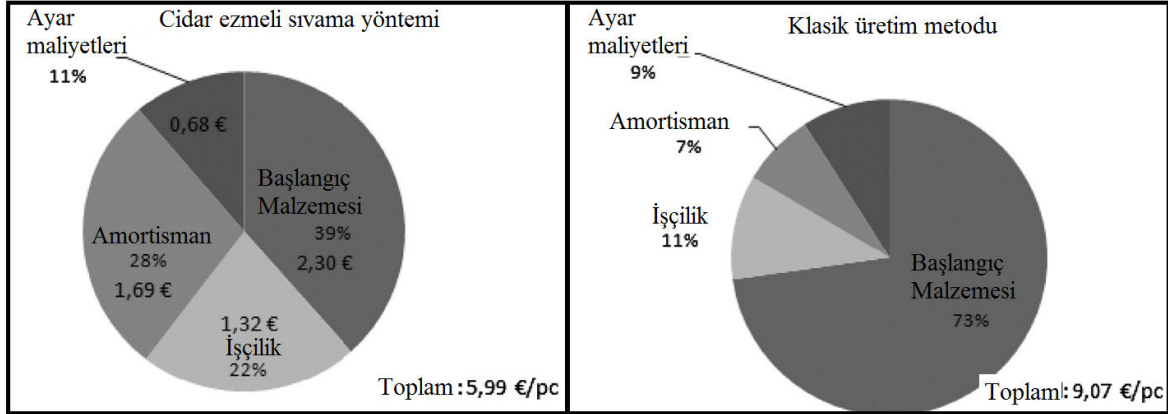
Bu uygulamada, cidar ezmeli sıvama yönteminin kullanımı ile kaynak dikişi ve karmaşık kaynak dikişi test maliyetleri ortadan kalkarken, üretilen parça kalitesi üst seviyeye çıkartılmaktadır.



Şekil 3.28 Parçanın üretimi için cidar ezmeli sıvama metodu kullanılması durumunda iş akış şeması (Cominotti [12]).

Bu parça için her iki yöntemin karşılaştırması Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre, parça kalitesindeki iyileşmelerin yanında, her bir parça başına yaklaşık %40 oranında bir maliyet azalması gözlemlenmektedir (Cominotti [12]).

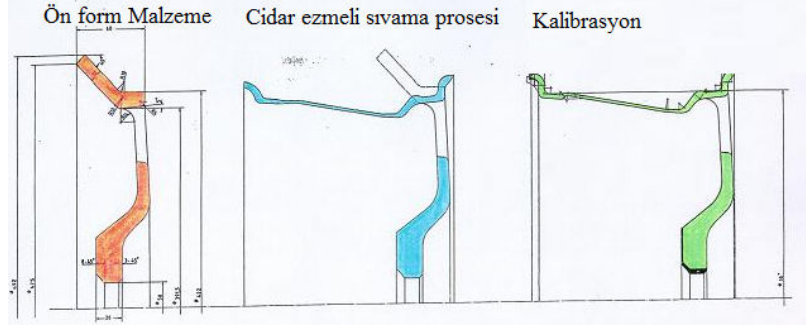
Çizelge 3.3 Parçanın üretimi için her iki yöntem için maliyet analizi (Cominotti [12]).



### 3.3.3.1.1.3 Otomotiv Sanayi için Alüminyum Jant İmalatı

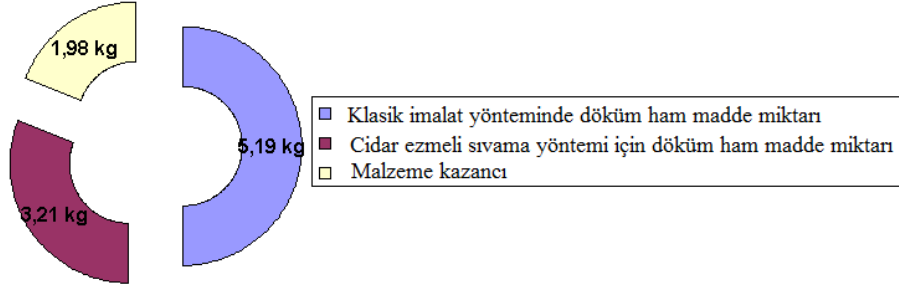
Alüminyum jant imalatında, cidar ezmeli sıvama yönteminin kullanımı çok önemli avantajlar getirmektedir. Cidar ezmeli sıvama yönteminin, getirdiği soğuk pekleşme etkisi ile mühendisler aynı dayanım değerlerine sahip daha hafif jantlar tasarlamaktadırlar. Ayrıca, konu üretim maliyetleri açısından değerlendirilirse, klasik uygulamada alüminyum çeşitli işleme payları bırakılarak dökülmekte ve ardından hem iç hem de dış konturdan talaş kaldırmak suretiyle işlenmektedir. Bu durum ham malzeme ve enerji ihtiyacını önemli ölçüde arttırmaktadır. Alüminyum jant üretimi için cidar ezmeli sıvama metodu kullanılırsa parçanın son ağırlığına yakın bir miktardaki bir döküm ön form hazırlamak yeterli olmaktadır. Şekil 3.29'da bu uygulama şekilsel olarak gösterilmiştir.

Klasik yöntem ile imalatta 5.19 kg ham malzeme gerekirken aynı jant geometrisi için cidar ezmeli sıvama yönteminde sadece 3.21 kg ağırlığa sahip bir ham malzeme yeterli olmaktadır (Çizelge 3.4) (Leico [5]).



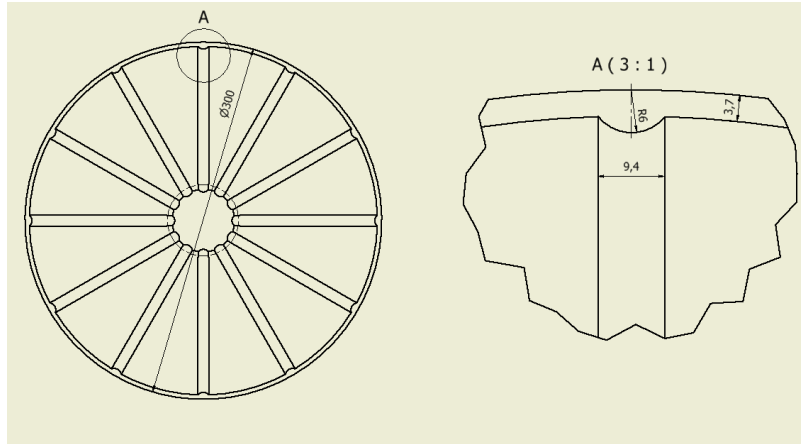
Şekil 3.29 Alüminyum jant imalatında cidar ezmeli sıvama yönteminin kullanımı (Leico [5]).

Çizelge 3.4 Alüminyum jant imalatında her iki yöntem için maliyet analizi (Leico [5]).



### 3.3.3.1.1.4 Aydınlatma Direklerinin İmalatı için Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Kullanımı

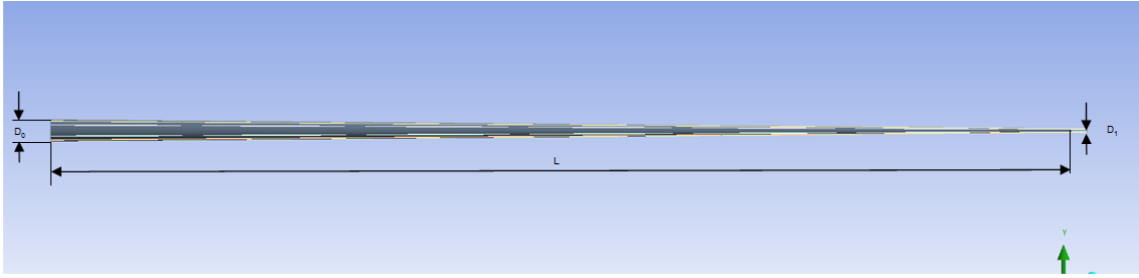
Alüminyum veya çelik malzemeden aydınlatma direği imalatı için cidar ezmeli sıvama yöntemini kullanımı düşünülmektedir. Direk tasarımında ağırlık optimizasyonu yapabilmek için direğin iç formuna yarım daire biçimli (kaburga benzeri) çıkıntılar yapılması öngörülmektedir. Şekil 3.30'da yapılması düşünülen direğin kesit detayları yer almaktadır.



Şekil 3.30 Direk imalatında ağırlık optimizasyonu amacıyla yapılan tasarım kesit detayı

Günümüzde sıklıkla kullanılan klasik imalat yöntemleri ile konik direğin iç yüzeyinde bu gibi çıkıntılı formlar verilememektedir. Gerçekleştirilmekte olan yeni bir proses çalışması ile, bu özelliklere sahip bir direğin, cidar ezmeli sıvama yöntemi kullanılarak elde edilmesi mümkün hale gelmiştir.

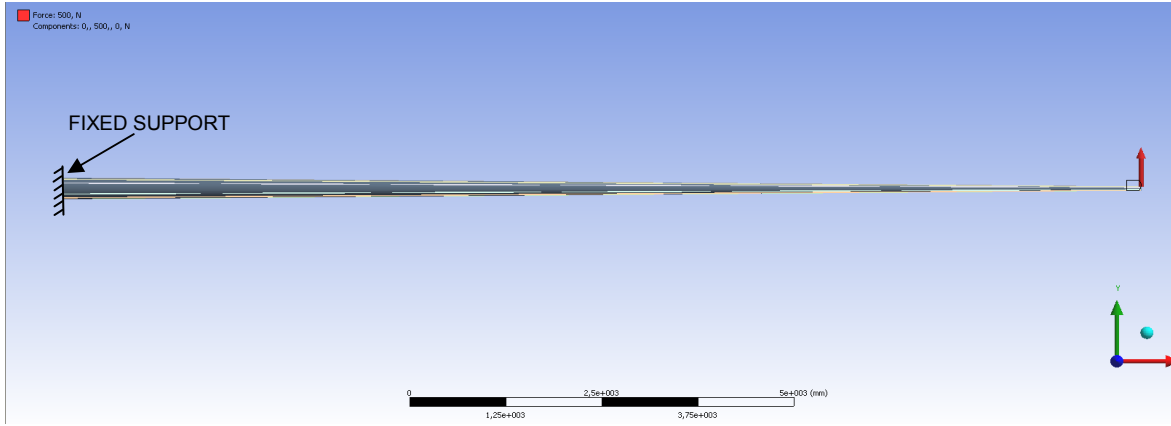
Bu tasarımın yaratacağı avantajları belirlemek için çeşitli FEM analizleri yapılmıştır. Bu çalışma ile öncelikle iç yüzeyi düz ve sabit kalınlığına sahip bir konik direk modellenmiştir (Şekil 3.31)



Şekil 3.31 İç yüzeyi düz ve sabit cidar kalınlığına sahip bir konik direk modeli

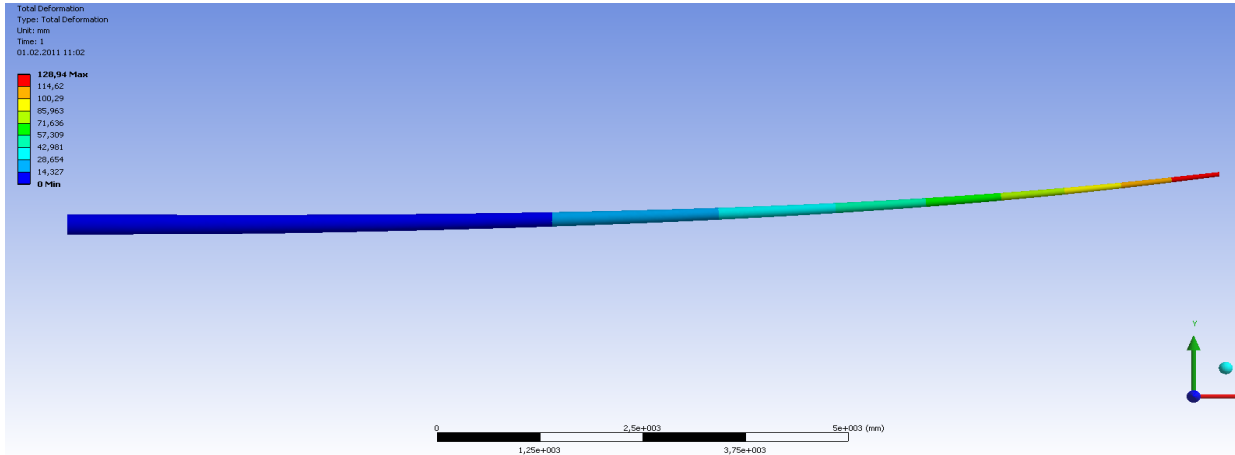
Çizelge 3.5 Modelin sahip olduğu geometrik özellikler

| <b>Konik Direk</b>    |    |       |
|-----------------------|----|-------|
| $D_0$ (Taban çapı)    | mm | 300   |
| $D_1$ (uç bölge çapı) | mm | 60    |
| Et kalınlığı          | mm | 5.2   |
| Uzunluk               | mm | 14000 |
| Ağırlık               | kg | 319.7 |



Şekil 3.32 Konik direk modelinin sınır şartları ve yük durumu

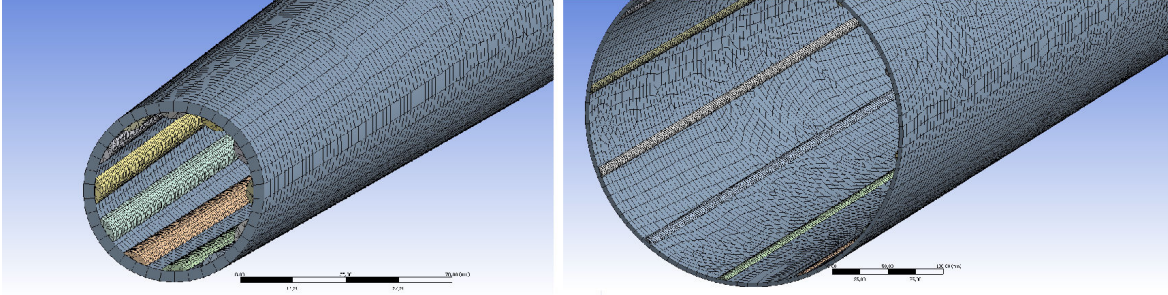
Oluşturulan bu model taban alanından sabitlenecek şekilde sınırlandırılmış ve üzerine en uç noktasından (en küçük çaplı bölge) 50 kg'lık bir kuvvet uygulamıştır (Şekil 3.32) Elde edilen sonuçlar Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Buna göre, 14 metrelik bir direk için en uç bölgede oluşan deformasyon miktarı 128 mm olarak bulunmuştur.



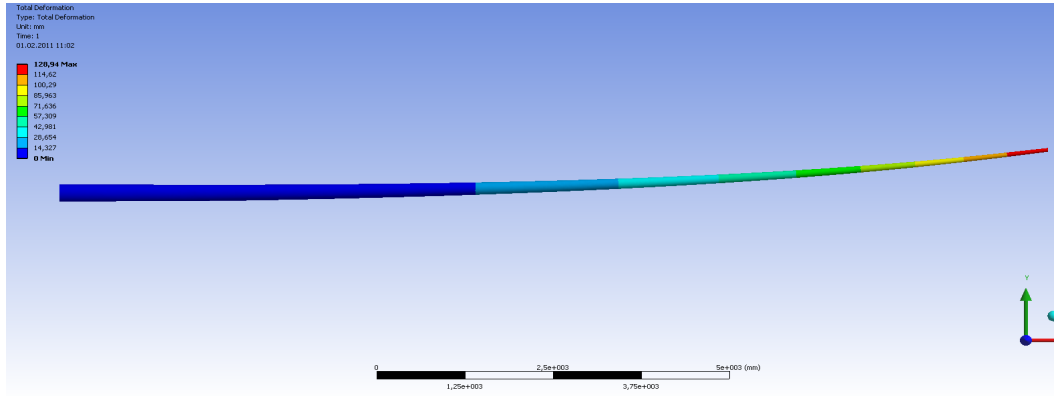
Şekil 3.33 İç yüzeyi düz ve sabit kesit kalınlığı olan bir konik direk modeli

Bu çalışmanın devamında, dış ebatları aynı kalmak koşulu ile, iç yüzeyi çıkıntı şeklindeki formlar ile desteklenmiş (kaburgalı yapı) ve boyda değişken cidar kalınlığına sahip bir konik direk daha modellenmiştir.

Bu model için oluşturulan mesh formları Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.34 İç yüzeyi kaburgalı ve değişken cidar kalınlığına sahip bir konik direk modeli oluşturulan yeni model üzerine de, en uç bölgesinden etkiyecek şekilde 50 kg'lık bir kuvvet uygulanmıştır. Modelin cidar kalınlıkları, ilk model ile aynı sınır şartlarını verecek şekilde (14 metre direk boyunda 128 mm deformasyon oluşumu) optimize edilmiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35 İç yüzeyi kaburgalı ve değişken cidar kalınlığına sahip bir konik direk model sonuçları

Ortaya çıkan yeni modelin ortalama cidar kalınlığı 3.7 mm ve ağırlığı 243.4 kg olarak hesaplanmıştır. Buna göre, benzer deformasyon karakteristiklerine sahip yeni direk tasarımıyla yaklaşık olarak 76.9 kg malzeme tasarrufu yapılmıştır.

### 3.3.3.2 Ölçüsel Avantajlar

Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile elde edilen ölçüsel hassasiyetler, diğer yöntemlerde genellikle pek görülmezler. CNC kontrol sistemleri sayesinde parçadan parçaya tekrarlanabilirlik özelliği çok yüksek seviyededir. Çizelge 3.6'da cidar ezmeli sıvama ile üretilebilir parça toleransları gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Cidar ezmeli sıvama ile üretilebilir parça toleransları (Runge [6]).

|   |                          |        |         |        |
|---|--------------------------|--------|---------|--------|
| İç çap  | mm                       | ≤ 100  | ≤ 250   | ≤ 400  |
| Final cidar kalınlığı   | mm                       | ≤ 2    | ≤ 3     | ≤ 4    |
|   | Ulaşılabilir toleranslar |        |         |        |
| Ovalite   | mm                       | ≤ 0.1  | ≤ 0.2   | ≤ 0.3  |
| Düzlemsellik – (1000mm için)  | mm                       | ≤ 0.1  | ≤ 0.15  | ≤ 0.2  |
| Çevresel cidar kalınlığı  | mm                       | ± 0.02 | ± 0.025 | ± 0.04 |
| Uzunlamasına cidar kalınlığı  | mm                       | ± 0.02 | ± 0.03  | ± 0.04 |
| Dış yüzey kalitesi  | µm                       | ≤ 0.4* | ≤ 0.5*  | ≤ 0.6* |
| İç yüzey kalitesi   | µm                       | ≤ 0.1  | ≤ 0.1   | ≤ 0.15 |
| * Belirtilen değerler, diğer ölçüsel toleranslarda ki serbestlik durumuna göre, daha düşük yapılabilir. |                          |        |         |        |

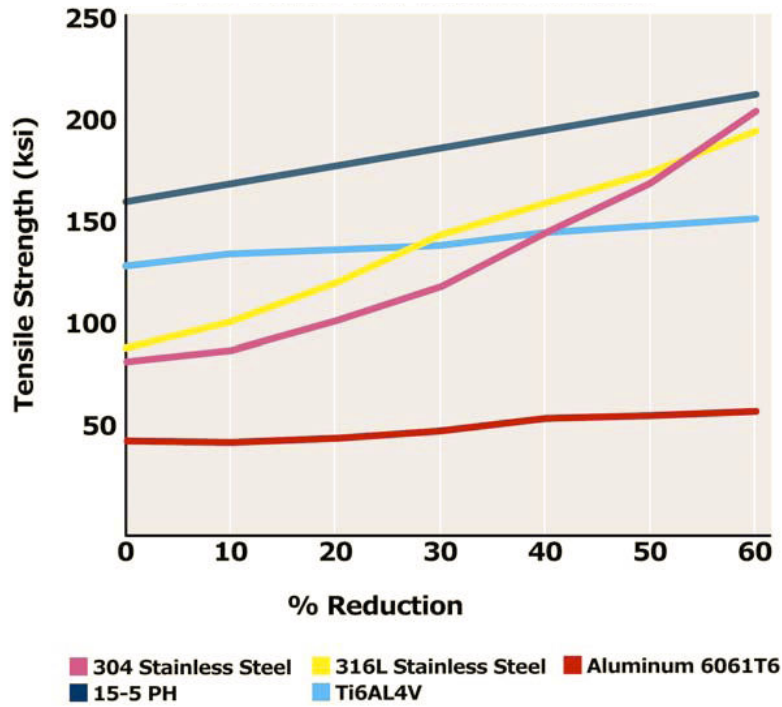
- Hassas ölçülerde imalat sayesinde, tornalama, taşlama, honlama gibi devam proseslerine ihtiyaç kalmaz.
- Değişken cidar kalınlığına sahip, ince cidarlı parçaların, çaptan bağımsız olarak şekillendirilmesine uygundur. İnce cidarlı malzemelerin talaşlı işlenmesi sırasında karşılaşılan bir takım deformasyonlarla karşılaşmaz.
- Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile şekillendirilmiş parçalar, ekstrem ölçülerde, yuvarlaklığa, doğrusallığa ve eşekselliğe sahip olması nedeniyle genellikle ilave bir düzleştirme ve balanslama işlemine gerek kalmamaktadır.

- İç yüzünde elde edilen, çok pürüzsüz yüzey kaliteleri elde edilmesi sebebiyle, genellikle ilave bir honlama işlemine gerek kalmamaktadır. Parçanın iç yüzey kalitesi, kalıbın dış yüzey pürüzlülüğü, geçme boşluğu gibi bir takım parametrelere bağlıdır.
- Önceden sertleştirilmiş metal malzemeler, final şekle ve mekanik özelliklere sıvandığı için, bir takım şekilsel bozulmalara yol açan, ısı işlemlere gerek kalmaz (Fonte [10]).

### 3.3.3.3 Malzeme Yönünden Avantajlar

Cidar ezmeli sıvama yöntemi, malzemenin akma dayanımını ve çekme dayanımını artırır. Şekil 3.36'da çeşitli malzemelerin redüksiyon oranına bağlı çekme dayanım değişimleri gösterilmiştir.

Tasarımcılar, genellikle daha ince cidarlı tasarımlar yapabilmek için, soğuk işlenmiş yüksek seviyedeki mekanik özelliklere sahip parçaları tercih ederler.



Şekil 3.36 Çeşitli malzemelerin redüksiyon oranına bağlı çekme dayanım değişimleri (Pmf [8]).

Bazı mühendisler ise, mikro yapıdaki gerilmeleri gidermek için, gerilim gidermesi yapılmış veya tavlanmış cidar ezmeli sıvama parçalarını tercih ederler. Bu komponentler, ısı işlem görmüş ya da çekme gerilmesi, sertlik veya süneklik gibi değerlerin değişmesi için dinlendirilmiş (yaşlandırılmış) olabilir. En uygun mekanik özellikler genellikle soğuk cidar

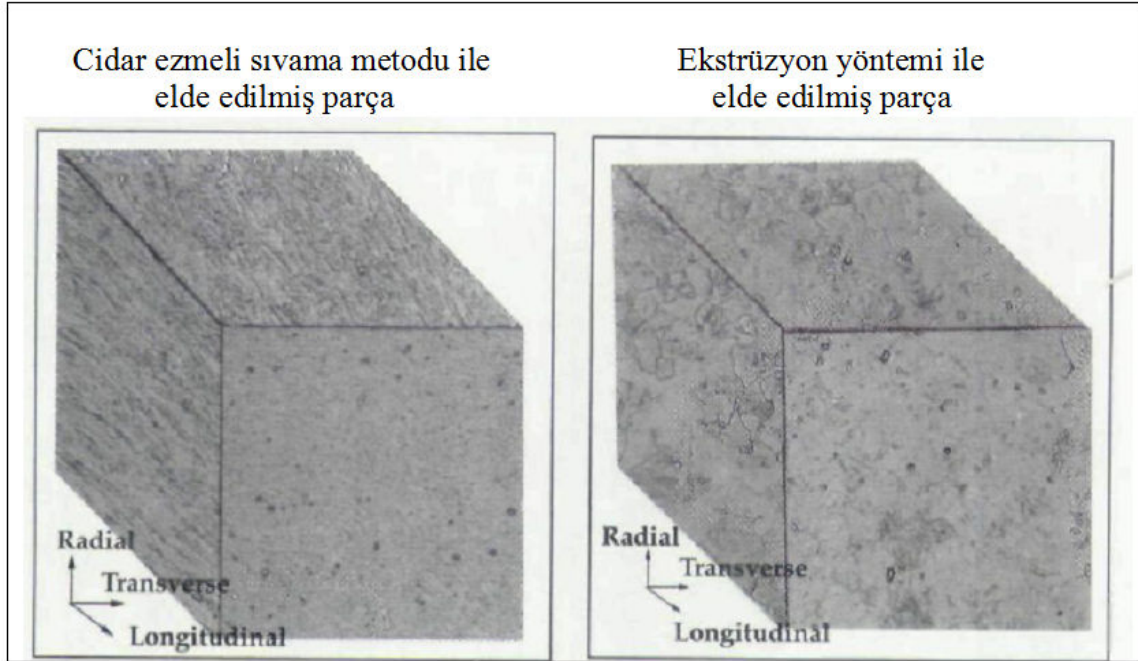


Bu etkiyi daha iyi değerlendirmek için, Massachusetts Materials Research Inc. of West Boylston ve Lambda Research of Cincinnati işbirliği ile, bir test yapılmıştır. Bu test ile iki farklı yöntem ile elde edilmiş test boru malzemesi(soğuk çalışılmış cidar ezmeli sıvama yöntemi ile imal edilmiş bir parça ve sıcak çalışılmış ekstrüzyonlu parça) karşılaştırılmıştır. Malzeme olarak, cidar ezmeli sıvama uygulamalarında sıklıkla kullanılan, Titanium Commercially Pure Grade 2(Ti CP2) seçilmiştir.

Mikro yapıdaki tane yapısı örnekleri üç dizilim boyunca, kesitlerde ki metalografik özellikleri incelenmiştir.

- Uzunlamasına (borunun boyuna paralel)
- Çapraz (borunun genişliğine çaprazlama)
- Radyal (borunun yüzeyine dik)

Mikro yapı, kesit düzlemleri, asitle 500 kere büyütülerek, fotoğraflanmıştır. Her bir dizilimde çekilen mikro fotoğraflar, tanenin 3 boyutlu yapısını ortaya koyacak şekilde kombine edilmiştir. Ekstrüzyon malzemesinin ve cidar ezmeli sıvama metodu ile elde edilmiş malzemenin tane yapısı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38 Ekstrüzyon malzemesinin ve cidar ezmeli sıvama metodu ile elde edilmiş malzemenin tane yapısı (Fonte [10]).

Cidar ezmeli sıvama yapılmış malzemenin mikro yapısı, ekstrüzyon yapılmışa göre ciddi şekilde değişmiştir. Cidar ezmeli sıvama ile taneler uzamış ve uzamış yassı şekiller oluşturacak şekilde düzleşmiştir. Çapraz dizilimde ki tane yapısı çok incedir, ortalama tane büyüklüğü 2,5 mikron veya ASTN no-14 mertebelerindedir. Ekstrüzyonlu malzemenin mikro yapısı eşeksenli ve belirgin şekilde daha büyüktür, ortalama tane büyüklüğü 9,5 mikron veya ASTN no-9 mertebelerindedir.

Ayrıca yapılan krisallografik doku analizinin sonuçları incelendiğinde, titanyumda 2 farklı proseste çok belirgin farklar olduğunu gözlemlenmektedir. Cidar ezmeli sıvanmış malzemenin genel dokusu, radyal dizilim tabanlı düzlemlerde kapalı-kutu altıgen (HTP) kristal yapıdadır. Radyal doku, hem uzunlamasına hem de çapraz dizilimde, çift yönlü dayanımı arttırmaktadır. Doku ile dayanım ve mekanik özellikler arttığından, cidar ezmeli sıvanmış malzemedeki doku yapısı daha kuvvetli komponentler sonucunu doğurur. (Fonte [10]).

### 3.3.4 Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminin Kullanım Alanları

Endüstriyel uygulamalarda, tek bağlamada, çeşitli sıvama tiplerinin beraber kullanıldığı işlemlere sıklıkla rastlanır.

Örneğin düz bir puldan, önce standart sıvama ile kap seklinde bir parça elde edip, ardından aynı bağlamada cidar ezmeli bir sıvama prosesi gerçekleştirilebilir. Bu durum, sıvama yöntemlerinin sanayide ki kullanım alanını oldukça genişletmiştir.

En basit boru tasarımlarından, en sofistike bir takım uygulamalara kadar sanayinin bir çok ihtiyacında cidar ezmeli sıvama yöntemleri kullanılmaktadır.

Cidar ezmeli sıvama yöntemi kullanarak parça imalatı yapan sektörlerden belli başlıları:

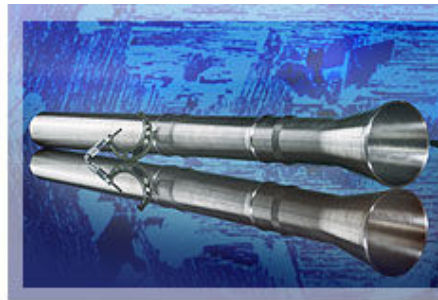
- **Nükleer sanayi:** Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile elde edilen çok dar ölçüsel toleranslara sahip borular, nükleer sanayide kullanılmaktadır. Ayrıca nükleer atık saklama kapları da bu metotla üretilmektedir.
- **Havacılık sanayi:** Bugün birçok uçak ve helikopter üreticisi firma, hem ölçüsel ve yüzeysel hassasiyetler hem de mukavemet avantajları sebebiyle, cidar ezmeli sıvanmış komponentleri tercih etmektedir. Bu komponentler sayesinde daha hafif ama mukavim

parça tasarımları yapmak mümkündür. Bugün özellikle, jet motorlarının türbinleri, uydu roket burunları gibi birçok parça bu metotla üretilmektedir. İç yüzey kalitesinin çok iyi olması sebebiyle uçaklarda kullanılan hidrolik silindirlerin gömleklerinin imalatı için de genellikle cidar ezmeli sıvama tezgâhları tercih edilmektedir. Şekil 3.39'da havacılık sanayinde kullanılan bazı parçalara ait örnekler gösterilmiştir.



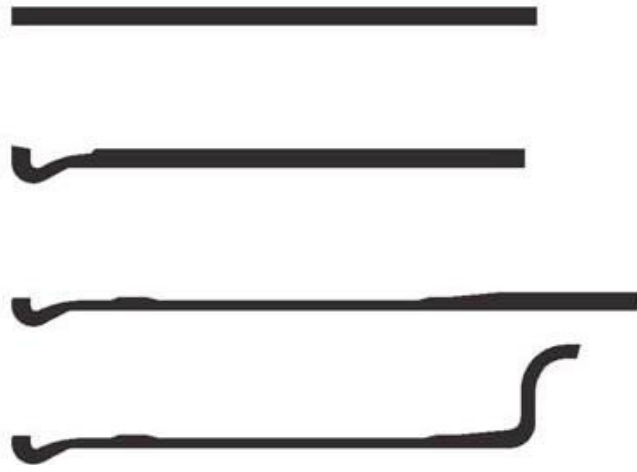
Şekil 3.39 Havacılık sanayinde kullanılan bazı parçalar (Pmf [8]).

- **Askeri sanayi:** Üretilen parçaların hafif, doğrusallık ve balans değerinin çok yüksek olması sebebiyle, özellikle roket gövdelerinin imalatına da çok geniş bir kullanıma sahiptir. Bilindiği kadarıyla, ülkemizde uzun parça sıvama tezgâhları vardır. Alman menşeli olan bu tezgâhlar çeşitli roket gövdelerinin imalatı için kullanılmaktadır. Şekil 3.40'ta askeri sanayide kullanılan bazı parçalara ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.40 Askeri sanayide kullanılan bazı parçalar (Dynamic [9]).

- **Otomotiv sanayi:** Otomotiv sanayinde kullanılan parçaların imalatında, cidar ezmeli sıvama yönteminin payı giderek artmaktadır. Bunun en önemli sebebi, prosesin getirdiği ekonomik faydalar ve daha hafif ve mukavemetli parça tasarlama imkânıdır. Bugün özellikle, kamyon jantlarının ve alüminyum jantların üretiminde; otomatik dişli kutularının transmisyon dişlilerinde, direksiyon millerinde cidar ezmeli sıvama yöntemi tercih edilmektedir. Şekil 3.41’de kamyon jantlarının imalatında cidar ezmeli sıvama metodunun imalat aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.41 Kamyon jantı imalatında, cidar ezmeli sıvamanın proses aşamaları (Repkon [11]).

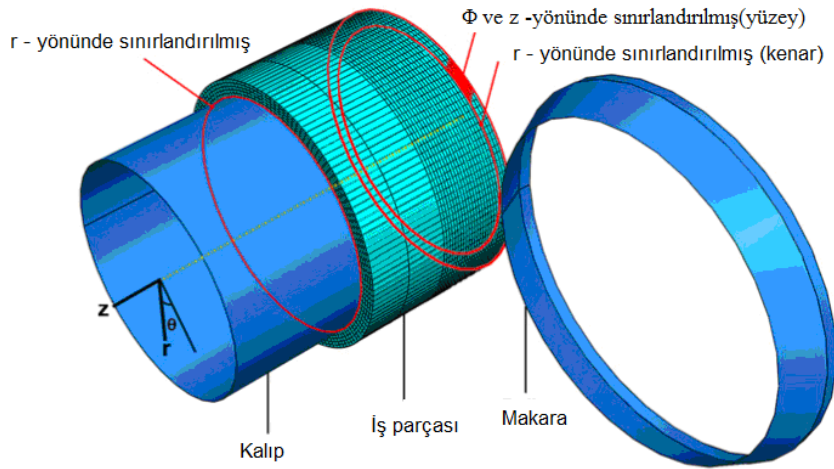
- **Petrol ve kimya sanayinde:** Çeşitli petrol sondaj borularının imalatında cidar ezmeli sıvama yöntemi tercih edilmektedir.

### 3.3.5 Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde FEM Uygulamaları

Günümüzde, özellikle cidar ezmeli sıvama prosesinde, fener mili için toplam güç ihtiyacı, ihtiyaç duyulan şekillendirici kuvvetlerin büyüklüğü üzerinde ve şekillendirici makaranın geometrik yapısının ve diğer proses parametrelerinin cidar ezmeli sıvama prosesine olan etkileri konularında detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Proses sırasındaki çeşitli parametrelerin optimizasyonu için FEM yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

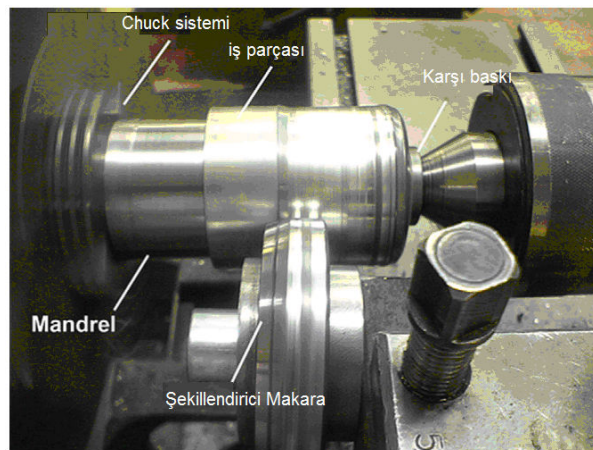
Cidar ezmeli sıvama prosesinin modellenmesi ve simule edilmesi oldukça zordur, çünkü doğrusal olmayan yapısı vardır ve proses sırasında iş parçasıyla beraber hem kalıp hem de

makaralar döner haldedir. Proses süresince, takım ve iş parçasının bağlantı ve sınır koşulları sürekli değişmektedir. Kontak bağlantılarının sürekliliği ve her bir elemanın etkileşimde olduğu komşu elemana nodal kuvvetleri kesintisiz ve düzgün iletebilmesi için çok sağlıklı bir meshleme prosesine ihtiyaç vardır. İş parçasının dönüşü sırasında hesaplamada yapılacak olan bir hata, bitmiş parça hacminde önemli değişikliklere ve çeşitli sapmalara yol açacaktır (Wong, vd. [13]). Mohebbi ve Akbarzadeh tarafından abaqus/explicit ile hazırlanan, bir cidar ezmeli sıvama modeli Şekil 3.42’de gösterilmiştir.



Şekil 3.42 FEM için kullanılan model (Wong, vd. [13]).

Yapılan proses denemeleri, bir torna tezgahı üzerine tek bir şekillendirici makara adapte edilerek yapılmıştır (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 Deney sistemi için kullanılan ekipmanın gösterimi (Wong, vd. [13]).

Kullanılan malzeme AA 6063’dir. Malzemeye ait çeşitli detaylar Çizelge 3.7’de verilmiştir. Deney sırasında kullanılan parametrelerde Çizelge 3.7de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 AA 6063 malzeme özellikleri (Wong, vd. [13]).

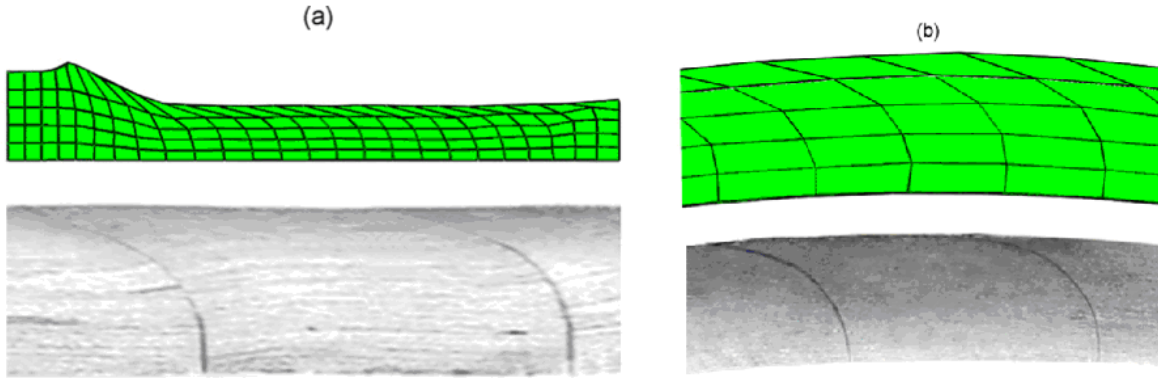
| Element | Cu    | Zn  | Si   | Mn    | Mg   | Fe  |
|---------|-------|-----|------|-------|------|-----|
| wt.%    | 0.069 | 0.1 | 0.34 | 0.013 | 0.42 | 0.1 |

Modelde, iş parçası uzunluğu hariç bütün ölçüler deney koşullarına uygun olarak yapılmıştır. Elastiklik modülü 70 GPa ve Poisson's oranı 0.33'tür Borunun bir tarafı kaba taneli yapıda, makara ile temasta olan kısmı ise ince taneli yapıda meshlenmiştir. Şekil 3.36'da gösterilen modelde yaklaşık olarak 20.000 adet eleman vardır. Analizler sırasında kolaylık olması açısından, kalıp-malzeme ve malzeme-makara arasındaki düzlemler, sürtünmesiz nitelikteki düzlemler olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 3.7 Deney sırasında kullanılan parametreler (Wong, vd. [13]).

| İş Parçası                        |        |     |
|-----------------------------------|--------|-----|
| İç çap                            | mm     | 35  |
| Et kalınlığı                      | mm     | 2.5 |
| Ön form uzunluğu                  | mm     | 50  |
| Makara                            |        |     |
| Çap                               | mm     | 54  |
| Dalma açısı                       | °      | 25  |
| Çıkış açısı                       | °      | 5   |
| Cidar ezmeli sıvama parametreleri |        |     |
| İlerleme hızı                     | mm/rev | 0.1 |
| Redüksiyon                        | %      | 40  |
| Devir                             | rpm    | 30  |

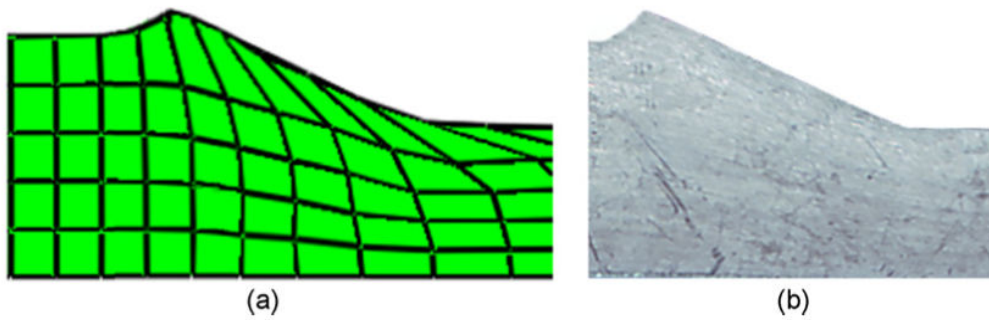
Yapılan bu çalışmayla, aksiyal ve radyal doğrultuda ortaya çıkan sonuçlar Şekil 3.44'te gösterilmiştir.



Şekil 3.44 Yapılan analiz sonuçları ile deneysel sonuçların aksiyal ve radyal doğrultuda karşılaştırılması (Wong, vd. [13]).

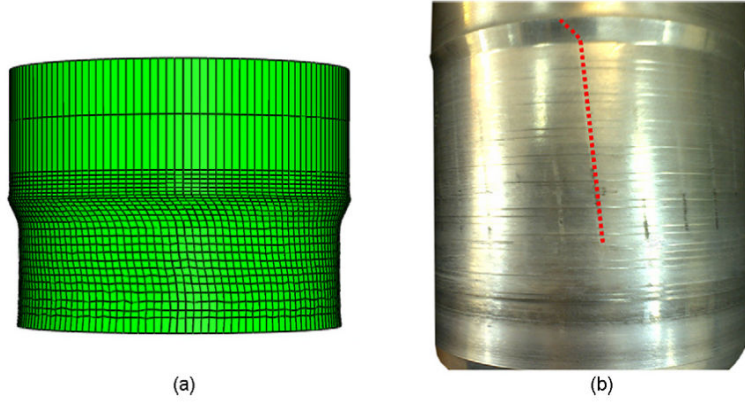
Resimde görüldüğü gibi analiz sonuçları ile deneysel değerler oldukça uyumludur. Burada, kesme gerilmelerini yalnızca aksiyal doğrultuda değil, aynı zamanda radyal düzlemde de yer aldığı gözlemlenmiştir. Özellikle dış yüzeydeki, yapıda önemli değişimler meydana gelmektedir.

İşlem sırasında gözlemlenen, makara önünde oluşan malzeme yığılması (dalga) etkisi üzerinde de çalışılmıştır. Şekil 3.45'te cidar ezmeli sıvama prosesinde, şekillendirici makara önünde oluşan dalga formunun sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.45 Yapılan analiz sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Wong vd. [13]).

Ayrıca, yapılan bu çalışmada malzemenin tangensiyal yöndeki deformasyonuda net bir şekilde ortaya konmuştur. Şekil 3.46'da malzemenin  $\Phi$ -z düzlemindeki değişim durumu gösterilmektedir. Resimde önceden açılmış olan çeşitli izlerin tangensiyal yöndeki hareketi net bir şekilde gözlemlenmektedir (Wong, vd. [13]).



Şekil 3.46 Malzemenin,  $\Phi$ -z düzlemindeki değişim durumu için yapılan analiz sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Wong, vd. [13]).

Yapılan bu çalışmalar ile bir cidar ezmeli sıvama prosesi simüle edilmeye çalışılmıştır. Bu analiz için şekillendirilmesi nispeten daha kolay olan AA 6063 malzeme seçilmiştir. Hesaplamalarda kolaylık olması için tek bir şekillendirici makara kullanılmıştır. Benzer şekilde hesaplama parametrelerini ve işlem zamanlamalarını optimize etmek için kalıp-malzeme ve malzeme-makara arasındaki yapılar sürtünmesiz düzlemler olarak kabul edilmiştir. Burada çıkan sonuçlar, deneysel uygulamalar ile oldukça uyumludur.

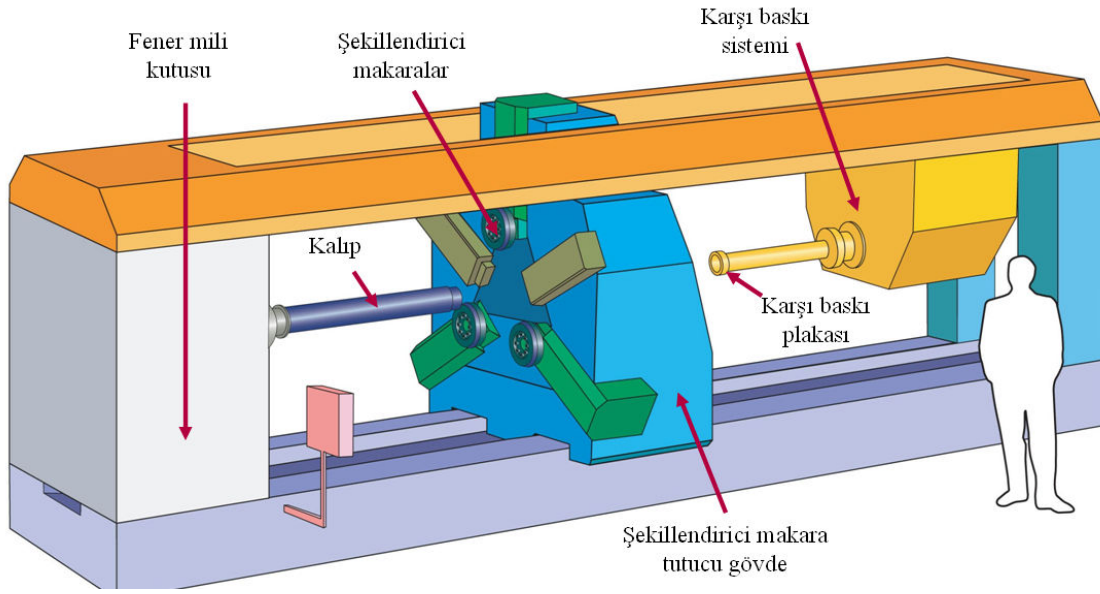
Günümüzde cidar ezmeli sıvama prosesinde, FEM analiz çözümleri kullanılarak optimizasyon çalışmaları konusunda, çeşitli araştırmalar artarak devam etmektedir. Henüz bu konuda diğer klasik şekillendirme proseslerinde olduğu gibi hazır modüller (paket çözümler) oluşturulamamıştır. Ancak gelişen bilgisayar kapasiteleri ve kullanıcı dostu ara yüzlere sahip programlar sayesinde bu konunun daha gelişmesi öngörülmektedir.

### DENEYSEL VERİLER

#### 4.1 Hazırlanan Deney Sisteminin Özellikleri

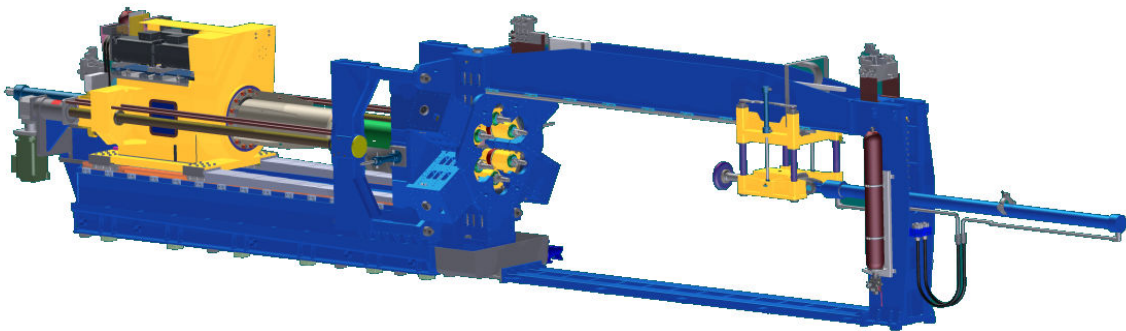
Bu çalışmada cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının altı adede çıkarılmasının işlem karakteristikleri ile parça kalitesi üzerindeki etkileri incelenecektir.

Dünyada, cidar ezmeli sıvama tezgâhlarını üreten firmaların sayısı sınırlıdır. Ve değişik firmalar tarafından üretilen tezgâhlar incelendiği, tasarımlarının birbirine çok fazla benzediği görülmektedir. Hemen hemen hepsinde, fener mili kutusu sabit, makara tutucu gövde ve karşı baskı sistemi ise aksel yönde hareketlidir (Şekil 4.1). Bu konsept ile inşa edilen tezgâhlarda şekillendirici makara sayısını arttırmak mümkün değildir. Çünkü makara taşıyıcı blok, gövde üzerinde aksel yönde hareketlidir ve bu blok üzerinde alt kısma konulması muhtemel ilave bir makara grubu gövdenin boylu boyunca yarılmaya anlamına gelir. Bu durum ana gövdenin mukavemetlerini çok olumsuz etkileyeceği için bu tipte bir tezgâh bugüne kadar üretilmemiştir.



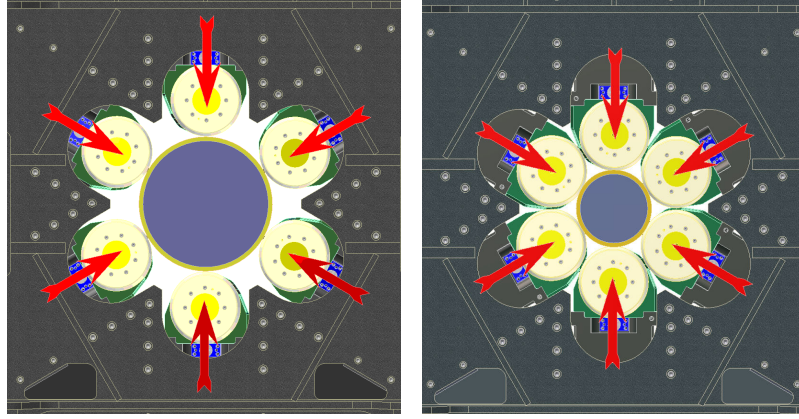
Şekil 4.1 Klasik tasarıma sahip 3 makaralı cidar ezmeli sıvama tezgâhı (Dynamic [9]).

Uzun iş parçalarının imalatı için, altı adet şekillendirici makaraya sahip cidar ezmeli sıvama tezgâhı, dünyada ilk kez bir Türk firması olan REPKON A.Ş tarafından imal edilmiştir. Geliştirilen tezgâh konsepti rakiplerinden oldukça farklıdır. Şekil 4.2’de detayı gösterilen tezgah konseptinde; makara tutucu gövde makinenin ana gövdesi üzerine sabitlenmiştir. Buna karşın fener mili kutusu ise aksel doğrultuda hareketlidir. Getirilen bu yenilik ile makara tutucu gövdenin alt kısmına ilave bir şekillendirici makara etmek mümkün olmuştur. Kuvvetlerin eşit dağılması ve şekillendirme etkisinin aynı için olması için makara tutucu gövde üzerine 60°’şar derecelik açı ile konumlandırılmış altı adet makara yerleştirilmiştir.



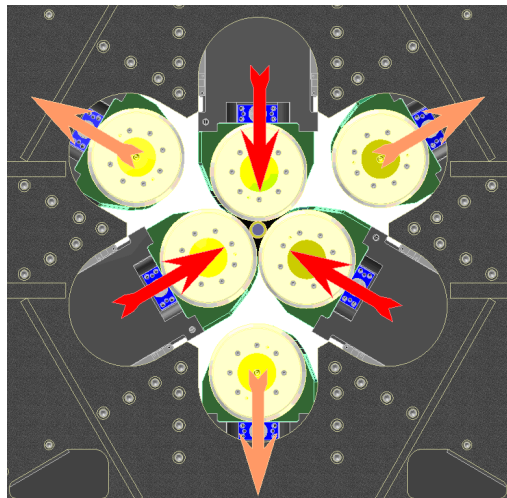
Şekil 4.2 Geliştirilen altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgâhı

Altı adet şekillendirici makaraya sahip tezgâhın en büyük dezavantajı şekillendirilebilir en küçük iş parçasının limitli oluşudur. Tezgâhta, makaraların birbirine çarpmadan merkeze doğru en yakın konumdaki pozisyonları şekillendirilebilir minimum parça dış çapını belirlemektedir. Şekil 4.3'te bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Altı makaralı sıvama tezgâhı maksimum ve minimum parça çapları şematik gösterim

Her bir makaraların merkez eksen doğrultusundaki hareketi, CNC kontrol sistemi tarafından bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Geliştirilen tezgâh, bu durumun avantajından yararlanmaktadır. Tezgâh altı makaranın izin verdiği kadar küçük çapları, yalnızca üç adet şekillendirici makara kullanarak şekillendirme imkânına sahiptir. Bu durumda tezgâh muadil tezgâhların şekillendirme kabiliyetlerini aynen sağlamaktadır. Şekil 4.4'te  $\varnothing 220\text{mm}$ 'nin altındaki çaplar için yalnızca üç adet şekillendirici makara kullanım özelliği gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgâhında üç makara kullanımı

Özetle geliştirilen tezgâh, ihtiyaç duyulması halinde, muadil tezgâhların şekillendirme kabiliyetlerini bire bir sağlamaktadır. Bu durum pazarlama faaliyetleri sırasında ortaya çıkması muhtemel bir takım eleştirileri bütünüyle ortadan kaldırmaktadır.

Kullanılan deney sisteminin genel teknik özellikleri:

|   |            |                |
|---|------------|----------------|
| <b>İş parçası dış çapı</b>                      | maks. mm : | 450            |
|   | min. mm :  | 55             |
| <b>İş parçası uzunluğu</b>                      |            |                |
| İleriye doğru cidar ezmeli sıvama metodu        | maks. mm : | 3000           |
| Geriye doğru cidar ezmeli sıvama metodu         | maks. mm : | 6000           |
| Ön formlu malzeme cidar kalınlığı(çelik için)   | maks. mm : | 18             |
| <b>Fener mili</b>                               |            |                |
| Toplam fener mili motor gücü (4 x118 kW)        | kW :       | 472            |
| Fener mili dönme hızı (sonsuz kademe)           | devir :    | 20-830         |
| Fener mili kalıp bağlantı büyüklüğü - DIN 55027 | size :     | 20             |
| <b>Eksenel hareket</b>                          |            |                |
| Eksenel hareket kuvveti (S3-60%)                | kN :       | 800            |
| Eksenel hareket hızı (tam güçte)                | m/dak :    | 0-4            |
| Eksenel hareket mesafesi (W-eksen hareketi)     | mm :       | 3200           |
| <b>Şekillendirici makaralar</b>                 |            |                |
| Makara sayısı                                   | adet :     | 6              |
| Tahrik metodu                                   |            | servo-hidrolik |
| Radyal şekillendirme kuvveti maks.              | kN :       | 400            |
| Makara eksenel pozisyon kaçıklık ayarı          | maks. mm : | 20             |
| Radyal hareket mesafesi                         | maks. mm : | 275            |

### **Karşı baskı sistemi**

|                                      |       |   |      |
|--------------------------------------|-------|---|------|
| Karşı baskı plakası hareket mesafesi | mm    | : | 4100 |
| Hidrolik silindir hareket hızı       | m/dak | : | 0-15 |
| Karşı baskı kuvveti                  | kN    | : | 150  |

### **Soğutma sistemi**

|                       |       |   |      |
|-----------------------|-------|---|------|
| Soğutma sıvısı debisi | l/dak | : | 500  |
| Tank kapasitesi       | litre | : | 4000 |

### **Hidrolik sistem**

|                        |       |   |      |
|------------------------|-------|---|------|
| Tank kapasitesi        | litre | : | 1200 |
| Sistem çalışma basıncı | bar   | : | 200  |

## **4.2 Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Arttırılmasının Avantajları**

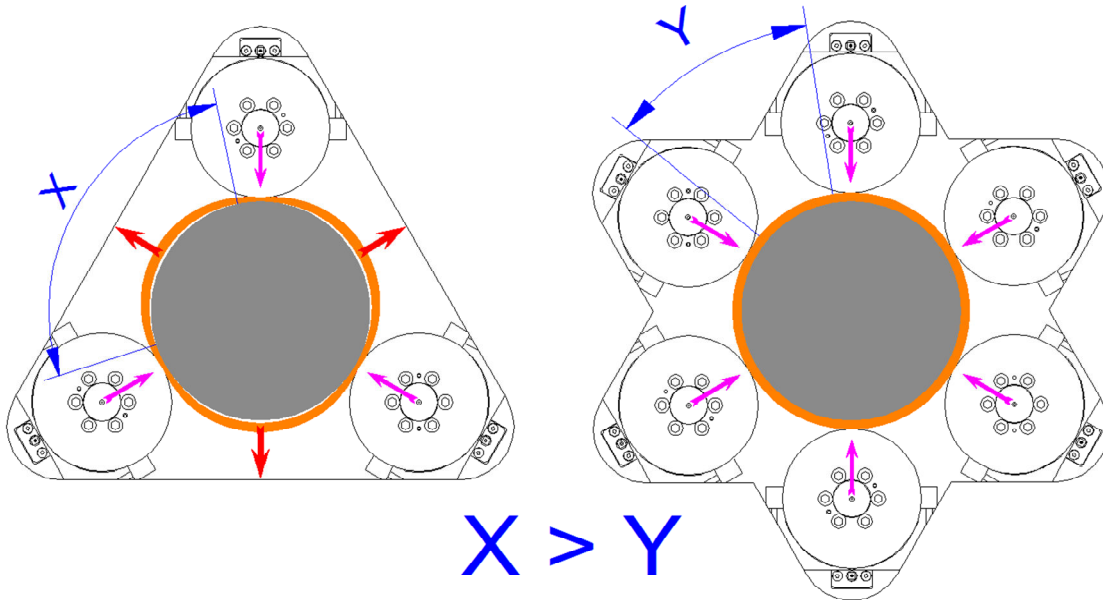
**Daha düşük çevrim zamanı:** Sanayide, cidar ezmeli sıvama prosesinin kullanım oranı düşük kalmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi, parça üretim hızının düşük olmasıdır. Bu nedenle cidar ezmeli sıvama yöntemi, üretim toleranslarına, parça kalitesine önem veren ve çok yüksek üretim adetleri beklentisine sahip olmayan sektörler tarafından kullanılmaktadır.

Bunların başında çeşitli uçak parçası imalatçıları, askeriye tekniği ve nükleer sanayi için parçalar üreten firmalar gelmektedir. Bu tip firmalar için önemli olan istenilen kalitede parça üretmektir. Buna karşın, sağladığı üstün avantajlar nedeniyle, seri üretim yapan firmaların cidar ezmeli sıvamaya olan ilgileri her geçen gün artmaktadır. Bu firmaların en büyük beklentisi çevrim zamanlarının azaltılmasıdır. Bu noktada üç adet şekillendirici makaraya sahip tezgâhlar, çeşitli boru imalatçısı firmaların beklentilerini tam olarak karşılayamamaktadırlar.

DeneySEL verilerden de anlaşılacağı üzere altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgahı, parça üretim adetlerini ciddi oranda artırmaktadır.

Daha düşük toleranslara sahip parça imalatı: Üç adet makaraya sistemlerde makaralar arasındaki mesafe büyüktür. Şekillendirme sırasında, iş parçası makaraların altında kalıba doğru bastırılarak, ezilmektedir. İki makara arasındaki boş bölgede ise malzeme kalıptan ayrılmakta ve malzemenin formunu bozmaktadır. Poligonal etki olarak isimlendirilen bu sorun hem üretilen parça kalitesini bozmakta hem de tezgâhın yüksek hızlara ulaşmasına engel olmaktadır. Şekil 4.5'te detayı gösterildiği gibi altı makaralı tezgâhlarda bu sorun minimize edilmiştir.

Elde edilen deneysel verilerden de anlaşılacağı üzere altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgâhı, parça kalitesini ciddi oranda artırmaktadır.



Şekil 4.5 Üç makaralı tezgâhlarda karşılaşılan poligonal etki problemi ve altı makaralı cidar ezmeli sıvama tezgâhı

### 4.3 Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Arttırılmasının Dezavantajları

**Daha yüksek tahrik gücü ihtiyacı:** Şekillendirme sırasında her bir makara malzeme üzerinde plastik deformasyon etkisi yaratır. Şekillendirici makara sayısının artması ile malzemeyi şekillendirmek ihtiyaç duyulan tork ihtiyacı artacaktır.

Ayrıca poligonal etkinin azalması ile birlikte yüksek ilerleme hızlarında şekillendirme yapılsa bile sistemin vibrasyon eğilimi azaltılmıştır. Daha yüksek ilerleme hızlarına çıkmak için de aksenal yönde daha yüksek tahrik gücü ihtiyacı vardır.

#### 4.4 Kullanılan Deney Kalıbı Özellikleri

Denemeler geriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Kullanılan kalıp malzemesi 1.2379 kalite soğuk iş takım çeliğidir. Kalıbın tamamı, vakum fırınında  $62\pm 2$  HRC sertlik değerine serleştirilmiştir. Sertleştirme işlemi, malzemenin çarpılmasını asgaride tutmak için dik olarak yapılmıştır.

Kalıbın yüzeyi, çift punta arasında taşlanarak yüzey kalitesi  $R0,2 \mu\text{m}$  değerine getirilmiştir.

#### 4.5 Deney Sırasında Kullanılan Şekillendirici Makara Özellikleri

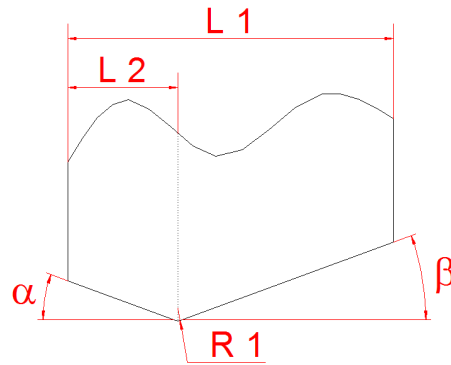
Denemeler geriye doğru cidar ezmeli sıvama yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Kullanılan kalıp malzemesi 1.2379 kalite soğuk iş takım çeliğidir. Kalıbın tamamı, vakum fırınında  $62\pm 2$  HRC sertlik değerine serleştirilmiştir. Sertleştirme işlemi, malzemenin çarpılmasını asgaride tutmak için dik olarak yapılmıştır.

Kalıbın yüzeyi, çift punta arasında taşlanarak yüzey kalitesi  $R0,2 \mu\text{m}$  değerine getirilmiştir.

Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara özellikleri

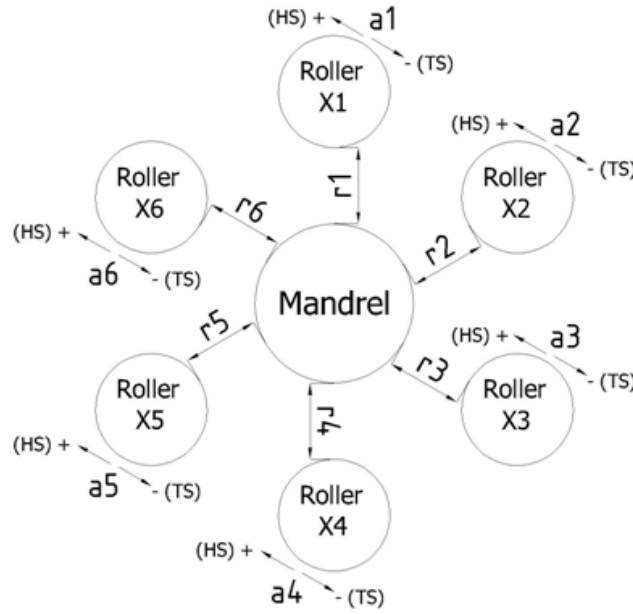
Kullanılan makaralar, 1.2379 kalite soğuk iş takım çeliğinden imal edilmişlerdir. Makaranın tamamı, vakum fırınında  $62\pm 2$  HRC sertlik değerine serleştirilmiştir. Şekillendirici makaraların sahip olduğu geometrik özellikler Şekil 4.6 da ve Çizelge 4.1'te gösterilmiştir. altı adet makaranın tamamı aynı geometrik formda üretilmiştir.



Şekil 4.6 Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara ölçülerinin sembolik gösterimi

Çizelge 4.1 Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara özellikleri

|                                | $\emptyset$ | $\alpha$ | $\beta$ | R1 | L1 | L2 |
|--------------------------------|-------------|----------|---------|----|----|----|
|                                | mm          | °        | °       | mm | mm | mm |
| Şekillendirici makara ölçüleri | 220         | 8°       | 5°      | 3  | 80 | 54 |



Şekil 4.7 Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara ile kalıp arasındaki mesafe ayarları(HS fener mili yönünü, TS ise karşı punta yönünü göstermektedir.)

Çizelge 4.2’de gösterildiği gibi şekillendirici makaraların tamamı aynı radyal mesafeye ayarlanmıştır. Bu durumda 8 mm nominal cidar kalınlığındaki bir malzeme için işlem sırasında % 40 mertebelerinde bir redüksiyon uygulanmaktadır.

Ayrıca makaraların birbirlerine göre aksel yönde aynı düzlemde olacak şekilde konumlandırılmışlardır.

Çizelge 4.2 Deney sırasında kullanılan şekillendirici makara özellikleri

| Makara no | Radyal mesafe ayarı (r) | Eksenel kaçıklık ayarı (a) |
|-----------|-------------------------|----------------------------|
|           | mm                      | mm                         |
| 1         | 4.8                     | 0                          |
| 2         | 4.8                     | 0                          |
| 3         | 4.8                     | 0                          |
| 4         | 4.8                     | 0                          |
| 5         | 4.8                     | 0                          |
| 6         | 4.8                     | 0                          |

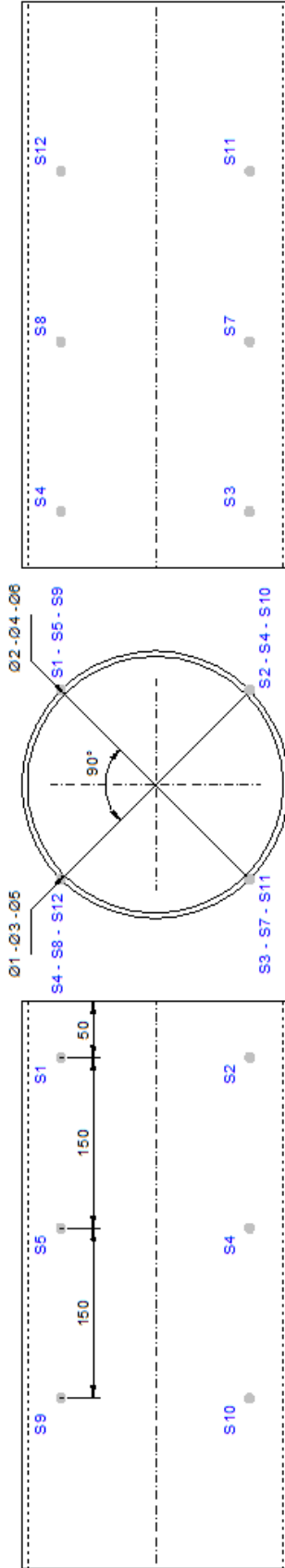
#### 4.6 Kullanılan Deney Ön Form Malzemesi Özellikleri

Deney sırasına St 37-2 malzeme kullanılmıştır. Malzemenin sahip olduğu geometrik özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Yapılan deneyler sırasında kullanılan St 37-2 malzeme tedarikçiden alındığı şekilde kullanılmıştır. Diğer bir deyişle alınan borular deney öncesinde herhangi bir ön hazırlık işleminden geçirilmemiştir.

Cidar ezmeli sıvama yöntemi ile hassas parça imalatı yapan firmalar genellikle tedarik ettikleri malzemeleri detaylı ön hazırlık işlemlerinden (hem iç hem dış tornalama, honlama, taşlama vb.) geçirerek, bitmiş ürünün hassasiyetlerini arttırmaktadırlar. Yapılan deneyler sırasında bu işlemlerin yapılmamış olmasından dolayı çıkan ürünlerin tolerans aralığı daha önce Çizelge 3.3'te belirtilen aralıklardan daha geniş olacaktır.

Çizelge 4.3 Deney sırasında kullanılan St-37-2 malzemenin geometrik özellikleri



| Parça No | Dış Çap         |                 |                 |                 |                 |                 | Cidar Kalınlığı |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | Uzunluk | Doğrusallık |              |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-------------|--------------|
|          | $\varnothing_1$ | $\varnothing_2$ | $\varnothing_3$ | $\varnothing_4$ | $\varnothing_5$ | $\varnothing_6$ | S <sub>1</sub>  | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> | S <sub>8</sub> | S <sub>9</sub> | S <sub>10</sub> | S <sub>11</sub> | S <sub>12</sub> |         |             | mm           |
| 1        | 356,16          | 356,25          | 356,11          | 356,30          | 356,41          | 356,24          | 8,36            | 8,25           | 8,39           | 8,20           | 8,24           | 8,35           | 8,41           | 8,28           | 8,31           | 8,30            | 8,38            | 8,30            | 8,30    | 650         | 1300mm için  |
| 2        | 356,21          | 356,28          | 356,18          | 356,10          | 356,13          | 356,31          | 8,20            | 8,22           | 8,28           | 8,35           | 8,17           | 8,14           | 8,19           | 8,28           | 8,21           | 8,26            | 8,32            | 8,20            | 8,20    | 650         | Min:0,35 mm  |
| 3        | 356,15          | 356,10          | 356,29          | 356,20          | 356,17          | 356,22          | 8,15            | 8,18           | 8,24           | 8,23           | 8,16           | 8,19           | 8,21           | 8,25           | 8,18           | 8,32            | 8,24            | 8,33            | 8,33    | 650         | Maks:1,35 mm |
| 4        | 356,20          | 356,24          | 356,17          | 356,13          | 356,32          | 356,21          | 8,25            | 8,17           | 8,23           | 8,25           | 8,14           | 8,17           | 8,20           | 8,19           | 8,32           | 8,24            | 8,21            | 8,22            | 8,22    | 650         |              |

#### 4.7 Üç Adet Şekillendirici Makara Kullanılarak Yapılan Denemeler

Yalnızca üç adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

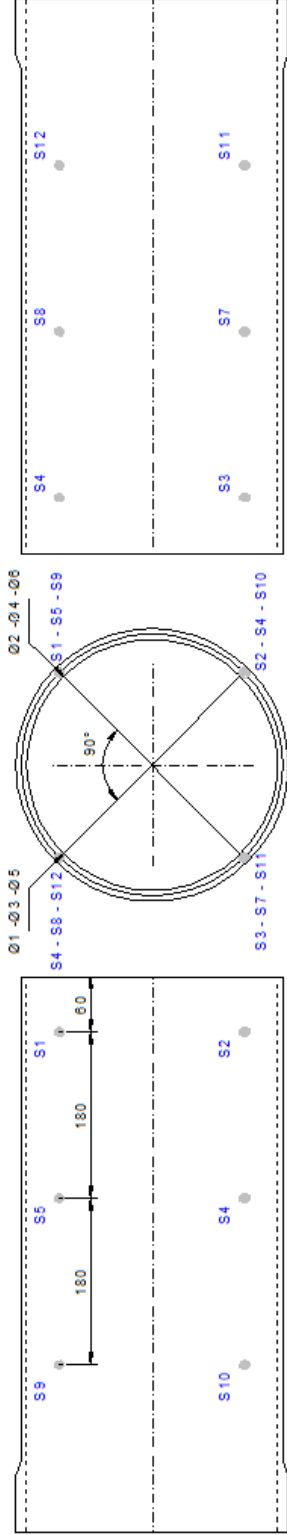
Çizelge 4.4 Yalnızca üç adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler

| Parça no | Makara sayısı | İlerleme hızı | Fener mili devri | Motor torku | Eksenel hareket torku |
|----------|---------------|---------------|------------------|-------------|-----------------------|
|          | adet          | mm/dakika     | Devir/dakika     | Nm          | Nm                    |
| 1        | 3             | 250           | 120              | 595         | 111                   |
| 2        | 3             | 250           | 120              | 580         | 115                   |

Özetle, ön formlu malzemenin 500 mm uzunluğundaki bölgesi üzerinde cidar ezmeli sıvama işlemi yapılmıştır. Makaralar malzeme üzerinde %40 redüksiyon yapacak şekilde ayarlanmıştır. İşlem sırasında ilerleme hızı 250 mm/dak'dır.

Deney numunelerinin geometrik özellikleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Üç adet şekillendirici makara ile şekillendirilen St-37-2 malzemenin geometrik özellikleri



| Parga No | Dış Çap        |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | Cidar Kalınlığı |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | Uzunluk | Yüzey kalitesi | Doğrusallık |      |      |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|----------------|-------------|------|------|
|          | mm             |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | mm              |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |         |                |             |      |      |
|          | Ø <sub>1</sub> | Ø <sub>2</sub> | Ø <sub>3</sub> | Ø <sub>4</sub> | Ø <sub>5</sub> | Ø <sub>6</sub> | Ø <sub>7</sub> | Ø <sub>8</sub> | Ø <sub>9</sub> | Ø <sub>10</sub> | Ø <sub>11</sub> | Ø <sub>12</sub> | S <sub>1</sub>  | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> | S <sub>8</sub> | S <sub>9</sub> | S <sub>10</sub> | S <sub>11</sub> | S <sub>12</sub> | mm      | Ra-µm          | φ#          |      |      |
| 1        | 348,10         | 348,26         | 348,20         | 348,25         | 348,11         | 348,30         | 348,11         | 348,25         | 348,20         | 348,25          | 348,11          | 348,30          | 4,65            | 4,80           | 4,88           | 4,75           | 4,70           | 4,82           | 4,82           | 4,90           | 4,79           | 4,73            | 4,85            | 4,86            | 4,78    | 843            | 3,38        | 6,41 | 0,26 |
| 2        | 348,91         | 348,75         | 348,85         | 348,80         | 349,01         | 348,73         | 348,80         | 4,89           | 4,74           | 4,82            | 4,83            | 4,92            | 4,83            | 4,79           | 4,69           | 4,79           | 4,78           | 4,80           | 4,80           | 4,68           | 4,80           | 4,80            | 4,80            | 4,68            | 4,72    | 851            | 3,43        | 6,50 | 0,29 |

#### 4.8 Altı Adet Şekillendirici Makara Kullanılarak Yapılan Denemeler

Altı adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler Çizelge 4.6’te gösterilmiştir.

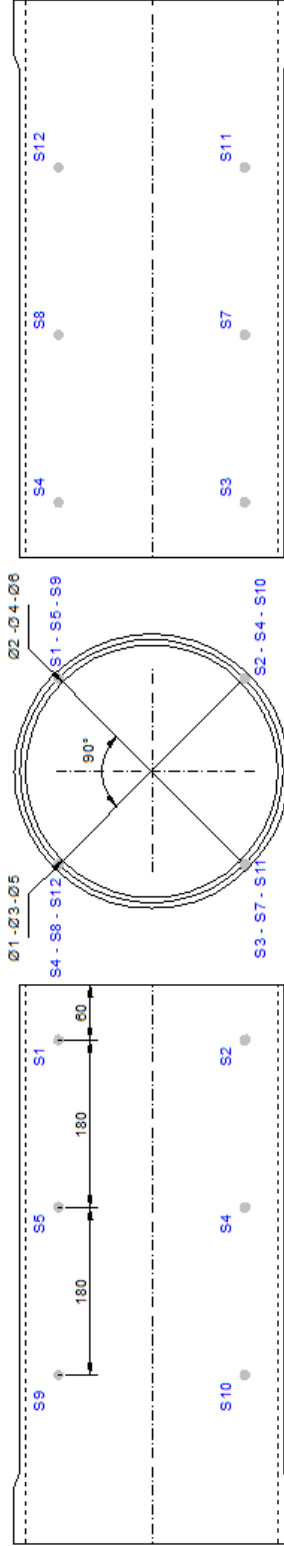
Çizelge 4.6 Altı adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler

| Parça no | Makara sayısı | İlerleme hızı | Fener mili devri | Motor torku | Eksenel hareket torku |
|----------|---------------|---------------|------------------|-------------|-----------------------|
|          | adet          | mm/dakika     | Devir/dakika     | Nm          | Nm                    |
| 3        | 6             | 450           | 200              | 745         | 145                   |
| 4        | 6             | 450           | 200              | 752         | 151                   |

Özetle, ön formlu malzemenin 500 mm uzunluğundaki bölgesi üzerinde cidar ezmeli sıvama işlemi yapılmıştır. Makaralar malzeme üzerinde %40 redüksiyon yapacak şekilde ayarlanmıştır. İşlem sırasında ilerleme hızı 450 mm/dak’dır.

Deney numunelerinin geometrik özellikleri Çizelge 4.7’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Altı adet şekillendirici makara ile şekillendirilen St-37-2 malzemenin geometrik özellikleri



| Parga No | Dış Çap        |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | Cidar Kalınlığı |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | Uzunluk | Yüzey kalitesi | Doğrusallık |      |      |      |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|----------------|-------------|------|------|------|
|          | mm             |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 | mm              |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |         |                |             |      |      |      |
|          | Ø <sub>1</sub> | Ø <sub>2</sub> | Ø <sub>3</sub> | Ø <sub>4</sub> | Ø <sub>5</sub> | Ø <sub>6</sub> | Ø <sub>7</sub> | Ø <sub>8</sub> | Ø <sub>9</sub> | Ø <sub>10</sub> | Ø <sub>11</sub> | Ø <sub>12</sub> | S <sub>1</sub>  | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> | S <sub>6</sub> | S <sub>7</sub> | S <sub>8</sub> | S <sub>9</sub> | S <sub>10</sub> | S <sub>11</sub> | S <sub>12</sub> |         |                |             |      |      |      |
| 3        | 348,86         | 348,82         | 348,84         | 348,86         | 348,84         | 348,80         | 348,80         | 348,80         | 348,80         | 348,80          | 348,80          | 348,80          | 4,77            | 4,86           | 4,90           | 4,88           | 4,82           | 4,82           | 4,89           | 4,90           | 4,85           | 4,80            | 4,82            | 4,82            | 4,89    | 4,83           | 852         | 3,34 | 6,00 | 0,15 |
| 4        | 348,91         | 348,88         | 348,85         | 348,89         | 348,89         | 348,81         | 348,81         | 348,81         | 348,81         | 348,81          | 348,81          | 348,81          | 4,82            | 4,85           | 4,77           | 4,83           | 4,86           | 4,86           | 4,79           | 4,86           | 4,82           | 4,82            | 4,84            | 4,89            | 4,86    | 854            | 3,30        | 5,80 | 0,12 |      |

#### 4.9 Yüzer Mandrel Sistemine Sahip Cidar Ezmeli Sıvama Yöntemi Kullanılarak Yapılan Denemeler (Altı adet şekillendirici makara kullanılmıştır)

Altı adet şekillendirici makara ve yüzer mandrel sistemi kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler Çizelge 4.8’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Altı adet şekillendirici makara ve yüzer mandrel sistemi kullanılarak yapılan denemelerde işlem sırasında ölçülen parametreler

| Parça no | Makara sayısı | İlerleme hızı | Fener mili devri | Motor torku | Eksenel hareket torku |
|----------|---------------|---------------|------------------|-------------|-----------------------|
|          | adet          | mm/dakika     | Devir/dakika     | Nm          | Nm                    |
| 5        | 6             | 1200          | 250              | 1200        | 78                    |
| 6        | 6             | 1200          | 250              | 1155        | 72                    |

Özetle, ön formlu malzemenin 500 mm uzunluğundaki bölgesi üzerinde cidar ezmeli sıvama işlemi yapılmıştır. Makaralar malzeme üzerinde %40 redüksiyon yapacak şekilde ayarlanmıştır. İşlem sırasında ilerleme hızı 1200 mm/dak’dır.

#### 4.10 Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Deneysel sonuçlara göre, üç adet şekillendirici makara ile gerçekleştirilen denemeler sırasında, daha yüksek ilerleme hızlarına çıkılmak istendiğinde makine rezonansa girmektedir. Bu durum poligonal etkinin yarattığı sorunları açıkça ortaya koymaktadır. Cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının artırılması, poligonal etkiyi minimize ederek, ilerleme hızının daha yüksek değerlere artırılmasına imkân vermiştir. Bu hız değeri üç adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan deneylerde 250 mm/dakika mertebelerinde iken altı adet şekillendirici makara kullanılarak yapılan deneylerde bu değer 450 mm/dakika olarak ölçülmüştür. Bu durum makine çevrim zamanlarının yaklaşık olarak % 48 oranında kısılması demektir.

Yapılan deneylerde, altı adet şekillendirici makara kullanılması ile birlikte, prosese devam edebilmek için gerekli toplam tork ihtiyacının (fener miline aktarılan motor gücünün) arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, proses sırasında aksenal yönde ilerleme hareketini sağlayan motorların da daha fazla yüklendikleri görülmüştür. Bu durum deney öncesi, teorik beklentileri doğrular niteliktedir.

Makara sayısının artırılmasının, geometrik parça kalitesi üzerindeki iyileştirme etkileri de Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.7’de görülmektedir. Bu çizelgelerden de anlaşılacağı gibi, yalnızca üç adet makara kullanılarak yapılan denemelerde et kalınlığı değişimi yaklaşık  $\pm 0,20$  mm mertebelerinde olmuştur. Altı adet makara ile yapılan denemelerde ise  $\pm 0,10$  mm değerleri elde edilmektedir.

Üç makara kullanılarak yapılan denemelerde iç yüzey kalitesi ortalama  $3.4 \mu\text{m}$  ve dış yüzey kalitesi  $6.45 \mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Altı adet şekillendirici makaralı kullanılarak yapılan denemeler de ise iç yüzey kalitesi ortalama  $3.32 \mu\text{m}$  ve dış yüzey kalitesi  $5.90 \mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Buna göre yaklaşık olarak %10 ila 15 arasında bir iyileşme vardır.

Geliştirilen yeni şekillendirme tekniği altı adet şekillendirici makara kullanımıyla ortaya çıkan iyileştirmelerin tamamlayıcısı durumundadır. Her iki özelliğe sahip olan deney tezgâhında  $1200 \text{ mm/dak}$  gibi çok yüksek şekillendirme hızlarına ulaşılmıştır. Mevcut klasik cidar ezmeli sıvama metotları kullanarak, üç adet şekillendirme makarasına sahip tezgâhlarda bu hızlara ulaşmak mümkün değildir. Yapılan deneysel çalışmalarda bu sonucu desteklemektedirler.

## BÖLÜM 5

---

### SONUÇ

Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar neticesinde cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının arttırılmasının işlem parametreleri ve parça kalitesi üzerinde çok olumlu sonuçlar verdiği net bir şekilde ortaya konulmuştur. Şekillendirici makara sayısının arttırılması ile hem daha hızlı parça imalatı sağlanmakta ve hem de nihai parçanın kalitesi yükseltilmiş olmaktadır.

Deneyle sırasında ortaya çıkan ilave güç ihtiyacı bir dezavantaj gibi görülse de, bu durum birim zamandaki üretim adedinin artışı ve parça hassasiyetinin yükselmesi gibi avantajların yanında çok önemsiz kalmaktadır.

Tez sırasında tasarlanıp imalatı yapılan ve deneyle için de kullanılmış olan tezgâh dünyada ilk olarak lanse edilen altı makaralı ve cidar ezmeli bir sıvama tezgâhıdır. Dolayısıyla, gerçekleştirilen bu çalışma da bu konunun irdelendiği bir ilk tez olma özelliğini taşımaktadır. Önümüzdeki süreçte konu ile ilgili daha detaylı çalışmalar sürdürülecektir.

Değerlendirmelerimize göre, önümüzdeki yıllarda uzun silindirik parçaların imalatı için talep edilecek olan tezgâhların büyük çoğunluğunun üç adetten fazla sayıda (yerine göre dört veya altı) adet şekillendirici makaraya sahip olması beklenmektedir. Buna ilaveten, bu proje için bir ön çalışma özelliği gösteren yüzer mandrelli cidar ezme tekniği, altı adet şekillendirici makaranın yarattığı bu avantajları daha da üst seviyelere taşımıştır. Bu iki sistem sayesinde cidar ezmeli sıvama prosesi artık yavaş bir proses olmaktan çıkmıştır. Bu durum cidar ezmeli sıvama tezgâhlarının kullanım alanlarını çok daha önemli boyutlara taşıyacağını göstermektedir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Packham, C., (1976). Metal spinning and shear forming, First Edition, Leifeld Co., Ahlen.
- [2] Gün, B., (2008). Sivama, Maccdor, İstanbul.
- [3] Dean T., Wong C., Lin J., (2005). "Effects of roller path and geometry on the flow forming of solid cylindrical components", Journal of Materials Processing Technology, 167: 344-353.
- [4] Bewlay, B., (2006). "Spinning", ASM Handbook, Volume 14B: 368-374.
- [5] Leico, <http://www.leifeldms.de>, 2 Ocak 2011.
- [6] Runge, M., (1994). Spinning and Flow Forming, First Edition, Verlag Moderne Industrie, Landsberg.
- [7] Denn, <http://www.denn.es>, 2 Ocak 2011.
- [8] PMF, <http://www.pmfind.com>, 2 Ocak 2011.
- [9] Dynamic, <http://www.flowform.com>, 2 Ocak 2011.
- [10] Fonte, M., (2005). "Flow Forming cylindrical components", Advanced materials & processes, September: 59-61.
- [11] Repkon, <http://www.repkon.com.tr>, 2 Ocak 2011.
- [12] Cominotti R., (2008). "Near net shape technology: An innovative opportunity for the automotive industry", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24:722-727.
- [13] Wong, C., Dean, T., Lin, J., (2003). "A review of spinning, shear forming and flow forming processes", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43: 1419-1435.
- [14] Rao M.L., (2010). "Study on Influence of the Critical Mechanical Parameters on Tube Flow Forming Process", IE(I) Journal-PR, 90: 24-27.
- [15] Ramana, M., Rao, M., Rao, T., Rao, P., (2008). "Study on the Influence of Flow Forming Parameters of Maraging Steel Tubes", IE(I) Journal-PR, 89: 10-13.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Cem Denizhan BİRO  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 20-02-1978 / BOLU  
**Yabancı Dili:** İngilizce  
**E-posta:** cembiro@repkonltd.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan   | Okul/Üniversite          | Mezuniyet Yılı |
|--------|--------|--------------------------|----------------|
| Lisans | Makine | Y.T.Ü                    | 2001           |
| Lise   |        | Nişantaşı Anadolu Lisesi | 1995           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl         | Firma/Kurum                     | Görevi          |
|-------------|---------------------------------|-----------------|
| 2003- Halen | Repkon Makine ve Kalıp San. A.Ş | Konsept Tasarım |