

Türk Genel Maksatlı Helikopterinde Kullanılan “Push Rod” Parçaları için İmalat Yöntemi
Geliştirilmesi ve Oluşan Mikro Çatlak Oluşumunun Engellenmesi

Birkan Konagar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Haziran 2020

Developing Manufacturing Method for “Push Rod” Parts Used in Turkish Utility
Helicopters and Preventing Micro Cracks

Birkan Konagar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Aviation Science And Technologies

Jun 2020

Türk Genel Maksatlı Helikopterinde Kullanılan “Push Rod” Parçaları için İmalat Yöntemi
Geliştirilmesi ve Oluşan Mikro Çatlak Oluşumunun Engellenmesi

Birkan Konagar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Melih Cemal Kuşan

Haziran 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Melih Cemal KUŞHAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “ Türk Genel Maksatlı Helikopterinde Kullanılan “Push Rod” Parçaları için İmalat Yöntemi Geliştirilmesi ve Oluşan Mikro Çatlak Oluşumunun Engellenmesi” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.27/08/2020

Birkan KONAGAR

İmza

ÖZET

Türk Genel Maksatlı Helikopterinde kullanılan “Push Rod” parçalarının gövde kısmında kullanılan EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyum alaşımı boru için verilen teknik resim gerekliliklerini sağlayabilmek için uygulanan bu proje; üretim geliştirme çalışması yapılan şişirme prosesi, sıvama prosesi ve bu proseslerin sonucunda oluşan mikro çatlakların önlenmesi konularını kapsamaktadır.

Şişirme işlemi, dünyada genellikle çelik borularda kullanılmaktadır. Ülkemizde ise yaygın bir proses değildir. Yaygın olmayan bu imalat yönteminin geliştirilmesi ve bu yöntemin yerini alabileceği birçok uzun ve masraflı akış şekillendirme gibi proseslerin kısaltılmasının ülkemizdeki endüstriye katma değeri muazzam öneme sahiptir.

İmalat endüstrisinin hızlı gelişmesiyle birlikte, sıvama teknolojisi, malzeme tasarrufu, tedarik süresinin azaltılması ve ürün kalitesinin arttırılması gibi avantajları nedeniyle otomobil, havacılık ve havacılık endüstrilerinde giderek daha yaygın bir şekilde uygulanmaktadır.

Bu çalışmada boru şişirme, sıvama prosesleri ve bunların birbirlerine olan etkileri incelenmiştir. Deneysel yöntemlerle bu iki proses birlikte uygulanmış ve ortaya çıkan mikro çatlak sorunları incelenmiştir. Isıl işlem uygulamalarının bu prosesler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: “Push rod”, Boru şişirme, Sıvama, Mikro çatlak

SUMMARY

This project has been implemented in order to meet the technical drawing requirements for EN AW-2024 (AlCu4Mg1) aluminum alloy tube used in the body part of the "Push Rod" parts used in the Turkish Utility Helicopter; It covers the P&D work for tube upsetting process, swaging process and prevention of micro cracks resulting from these processes.

Upsetting process is generally used in steel tubes in the world. It is not a common process in our country. The value added of the development of this uncommon manufacturing method and the shortening of many long and costly flow-forming processes that this method can replace, has an enormous importance to the industry in our country.

With the rapid development of the manufacturing industry, swaging technology is being used more and more widely in the automobile, aviation and aviation industries due to its advantages, such as material savings, reduced supply time and improved product quality.

In this study, tube upsetting process, swaging processes and their effects on each other were examined. These two processes were applied together with experimental methods and microcrack problems arising were investigated. The effects of heat treatment applications on these processes were investigated.

Key Words: "Push rod", Tube upsetting, swaging, mikro cracks

TEŞEKKÜR

Bu çalışma yerli helikopter projemiz olan Türk Genel Maksatlı Helikopter'inin en büyük yüklenicilerden olan ALP HAVACILIK tarafından kendi iş yükünü artırarak, helikopterin yerli üretilen kısmını büyötmek amaçlı yapılmıştır.

Bu çalışmanın yapısı ve önemi gereği ALP HAVACILIK'a ve ölkemize katma değerinin çok büyük olduğunu düşünüyorum. Bu süreçte çalışmalarında başta Doc. Dr. Melih Cemal KUŞHAN olmak üzere yardımcı dokunan Mühendislik Müdürü Halime BİLGİNKIRAN (ALP HAVACILIK), İmalat Müdürü Mustafa AKGÖL'e (ALP HAVACILIK) çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|------|
| ÖZET | vi |
| SUMMARY | vii |
| TEŞEKKÜR | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiv |
| 1. GİRİŞ VE AMAÇ | 1 |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 5 |
| 2.1 Havacılık Endüstrisinde Alüminyum Kullanımı ve EN AW-2024 (AlCu4Mg1) | 5 |
| 2.2 Boru Şişirme Prosesi | 11 |
| 2.2.1 Boru şişirme proses limitleri | 14 |
| 2.2.1 Sekans tasarım prosedürleri | 16 |
| 2.2.1.1 <u>Prosedür 1</u> | 16 |
| 2.2.1.2 <u>Prosedür 2</u> | 20 |
| 2.2.2 Boru şişirme kalıp tasarımı | 24 |
| 2.3 Boru Sıvama İşlemi (Döner Dövme İşlemi)..... | 26 |
| 2.3.1 Sıvama metotları | 30 |
| 2.3.1.1 <u>Beslemeli sıvama metodu</u> | 30 |
| 2.3.1.2 <u>Girintili boşaltma sıvama metodu</u> | 31 |
| 2.3.1.3 <u>Malafasız sıvama metodu</u> | 31 |
| 2.3.1.4 <u>Malafalı sıvama metodu</u> | 32 |
| 2.3.1.5 <u>Sıcak sıvama metodu</u> | 32 |
| 2.3.1.6 <u>Sisirmeli sıvama metodu</u> | 32 |
| 2.4 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanabilir Isıl İşlemler..... | 33 |
| 2.4.1 Kondisyonlar | 34 |
| 2.4.1.1 <u>Tanımları</u> | 34 |
| 2.4.2 Isıl İşlem Süreci: | 37 |
| 2.4.2.1 <u>Tavlama</u> | 38 |
| 2.4.2.2 <u>Cözeltili ısıtma işlemi</u> | 38 |

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

| | |
|--|----|
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 40 |
| 3.1 Şişirmeli Sıvama Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma..... | 41 |
| 3.2 Boru Ucu Şişirme Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma | 43 |
| 3.3 Malafasız Beslemeli Sıvama Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma | 49 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 50 |
| 4.1 Boru Ucu Şişirme Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma Deneyi..... | 50 |
| 4.2 Malafasız Beslemeli Sıvama Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma Deneyi..... | 53 |
| 4.3 Şişirme ve Sıvama İşlemleri Sonrası Mikro Çatlak Oluşumu ve Önlenmesi..... | 58 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 62 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 63 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 1.1 Helikopterdeki kısmi push rod bağlantıları şematığı | 1 |
| 1.2 “Push rod” montajı “Gövde-Clevis” malzemeleri ve bağlantı konfigürasyonu | 2 |
| 1.3 Montaj edilmiş “Push Rod” gövde ve insert parçalarının montaj edilen kısmının kesiti | 3 |
| 1.4 Alüminyum gövdede olan “Clevis” tırtıklarından kaynaklanan deformasyon | 3 |
| 1.5 EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum gövdedeki kulak yapısı | 3 |
| 2.1 Wright kardeşlerin ilk uçağı “Wright Flyer” | 5 |
| 2.2 “The Junkers J 1” tek kanatlı uçak | 6 |
| 2.3 “Concorde” | 8 |
| 2.4 Tüp şişirme çeşitleri | 12 |
| 2.5 Dışsal şişirme işleminde duvar kalınlığı değişimi | 14 |
| 2.6 İçsel şişirme sırasında duvar kalınlığı değişimi | 15 |
| 2.7 Eş zamanlı içsel ve dışsal şişirme sırasında duvar kalınlığı değişimi | 15 |
| 2.8 Şişirilmiş bölge boyunca hacim sabitliği ve ara aşamalar için şekil tasarımı | 18 |
| 2.9 Eş zamanlı dışsal ve içsel şişirme için dış ve iç profil sınırlarının belirlenmesi | 19 |
| 2.10 Ara aşamaların geometrisinin belirlenmesi | 20 |
| 2.11 Başlık kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar | 24 |
| 2.12 Tutucu ve başlık kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar | 25 |
| 2.13 Flaşsız şişirme işlemi için tutucu kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar | 25 |
| 2.14 Flaşlı şişirme işlemi için tutucu kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar | 25 |
| 2.15 Sıvamanın iki varyasyonu: (a) içeri besleme ve (b) girintili boşaltma | 27 |
| 2.16 Bir sıvama makinesi şematik diyagramı | 28 |
| 2.17 Beslemeli sıvama örneği | 30 |
| 2.18 Girintili boşaltma (dalma) sıvama örneği | 31 |
| 2.19 Malafalı sıvama örneği | 32 |
| 2.20 Şişirmeli sıvama örneği | 33 |
| 3.1 “Push Rod” parça resmi | 40 |
| 3.2 Üretim geliştirmesine sebep olan ölçü gereklilikleri | 41 |
| 3.3 Kullanılan sıvama tezgahı | 42 |
| 3.4 Sıvamayla şişirme için kullanılan kalıp | 42 |
| 3.5 Tutucu fikstür | 43 |
| 3.6 Şişirme kalıbı | 44 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.7 Malafa | 44 |
| 3.8 Tutucu fikstürün bağlama bölgesinin belirlenmesi | 45 |
| 3.9 Boru yüzeylerine kuru film yağlayıcı uygulanması | 46 |
| 3.10 Şişirme kalıbının kuru film uygulaması | 46 |
| 3.11 Malafanın kuru film uygulaması | 46 |
| 3.12 Şişirme işlemi için platform oluşturulması | 47 |
| 3.13 Şişirme uygulaması | 48 |
| 3.14 Şişirme işlemi sonrası kurulumun durumu | 48 |
| 4.1 Şişirme işlemi sonra çalışma borusunun durumu | 52 |
| 4.2 Şişirme işlemi sonrası borunun dış yüzeyi | 52 |
| 4.3 Başarısız şişirme denemesinde görülen şekilsel hatalar | 53 |
| 4.4 Sıvama hesabı | 54 |
| 4.5 Sıvama işlemi için yaptırılan kalıp | 55 |
| 4.6 Sıvama sonrası çap düşümü | 55 |
| 4.7 Yarık açma operasyonu sonrasında görünüş | 56 |
| 4.8 Hidrolik preste kulak açma operasyonu | 56 |
| 4.9 Kulak açma operasyonu sonrası parçalarda görünüm | 57 |
| 4.10 Talaşlı İmalat ile Kulakların Formunun İşlenmesi | 57 |
| 4.11 Tamamen oluşturulan kulak geometrisi | 58 |
| 4.12 Floresan penetrant muayenesinde görülen mikro çatlaklar | 58 |
| 4.13 Boru ucu şişirildikten sonra boru iç yüzey görünüşü | 59 |
| 4.14 Derin çatlak kontrolü esnasında çatlak gözlenmesi | 60 |
| 4.15 Çatlak kontrolü esnasında yüzeysel çatlak gözlenmesi | 60 |
| 4.16 Mikro çatlakların önlenmesi sonrası floresan penetrant muayenesi | 61 |
| 4.17 ALP HAVACILIK T-70 Dinamik Komponentleri ve İniş Takımları İlk Ürün Teslim Töreni “Push Rod” Parçaları | 61 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1 Gelişmiş Dövme Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri ve Mekanik Performans Değerlendirmesi | 10 |
| 2.2 EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum alaşımı kimyasal bileşeni | 11 |
| 2.3 EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum mekanik özellikleri | 11 |
| 2.4 Önerilen ölçü değişim oranları | 14 |
| 2.5 Isıl işlem uygulanabilir olan ve olmayan alaşımlar | 33 |
| 2.6 Temel kondisyon tanımları | 35 |
| 2.7 Gerilmiş sertleştirilmiş dövme alüminyum ve alüminyum alaşımları için temper tanımlama sistemi | 36 |
| 2.8 “T” kondisyonunun çeşitleri | 37 |
| 4.1 Sıcaklık ve basınç parametrelerin belirlenmesi için yapılan deneyler | 50 |
| 4.2 Yapılan şişirme deneyleri..... | 51 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

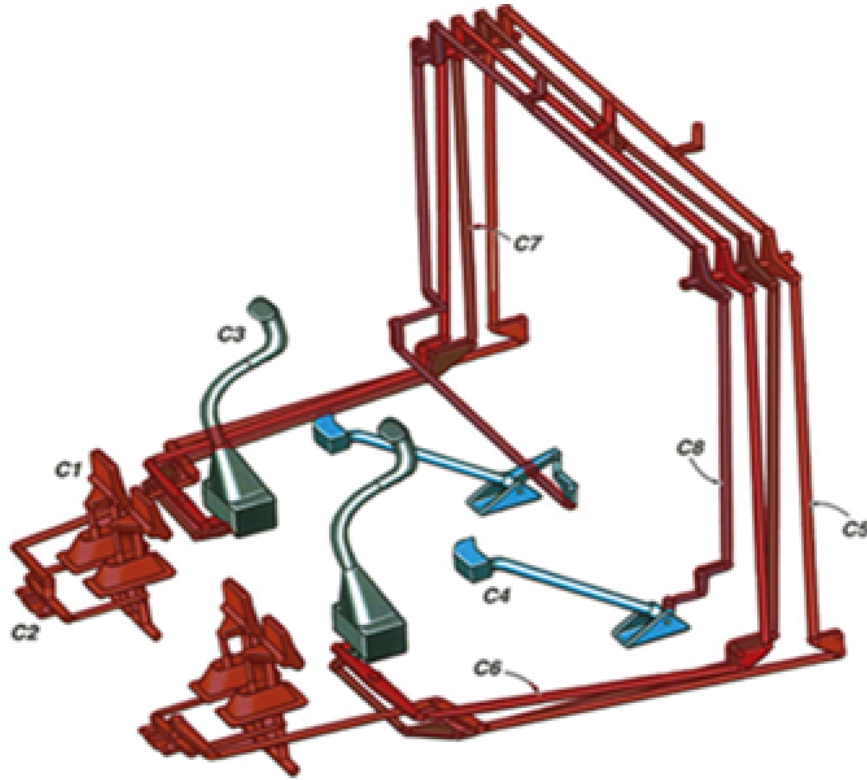
| | |
|-------------|---|
| WTR_{max} | Maksimum Duvar Kalınlığı Oranı |
| WTR_o | Genel Duvar Kalınlığı Oranı |
| WTR_a | İzin Verilen Duvar Kalınlığı Oranı |
| WTR_e | Dengelenmiş Duvar kalınlığı oranı |
| WTR | Duvar Kalınlığı Oranı |
| t | Duvar Kalınlığı |
| t_{max} | Şişirilecek Bölgede Maksimum Duvar Kalınlığı |
| n_t | Teorik İşlem Sayısı |
| IL_i | İç Profili İçin Sınır |
| OL_i | Dış Profili İçin Sınır |
| d_o | Tüpün İlk İç Çapı |
| d_u | Şişirilen İç Çap |
| D_o | Tüpün İlk Dış Çapı |
| D_u | Şişirilen Dış Çap |
| U_r | Dış Çaptaki Artışın İç çaptaki Azalmaya Oranı |
| L_u | Şişirme Bölgesi Uzunluğu |
| L_o | Şişirme Öncesi Uzunluk |
| F | Eşdeğer Çap |
| R_d | İç Limit |
| K | K Faktörü |
| F_1 | Sınır Değeri |

Kısaltmalar

| | |
|------|--|
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| ASM | American Material Standards |

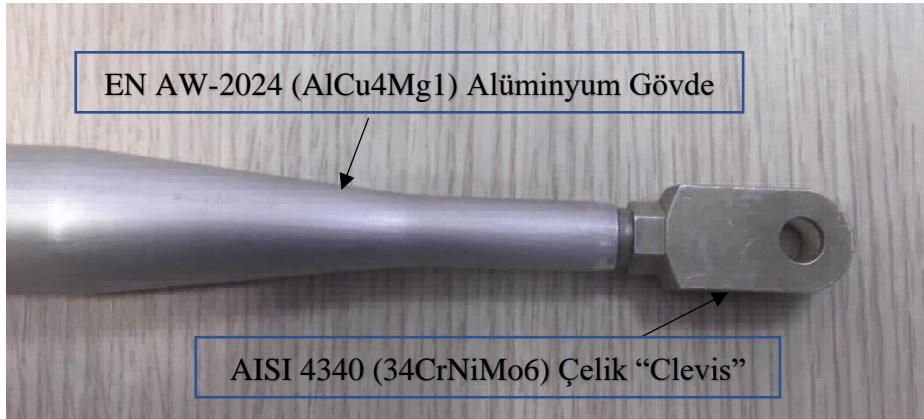
1. GİRİŞ VE AMAÇ

Helikopterlerde uçuş yönünü belirlemek için uygulanan uçuş kontrol komutlarını mekanik olarak ilgili bölüme kadar aktaran itki çubuklarına “Push Rod” denir. Bu çalışmada anlatılan itki çubuklarına havacılık jargonunda bahsi geçtiği gibi “Push Rod” olarak bahsedilmiştir. “Push Rod” teriminin yanı sıra jargonda geçtiği şekilde parçaların “Insert” ve “Clevis” gibi özel isimleri kullanılmıştır. “Push Rod” parçaları pilot mahallinden, pilotun uçuş kontrol komutlarını mekanik olarak ileterek helikopterin palelerinin açısını ve yönünü ayarlamak için kullanılırlar (Şekil 1.1). Genel olarak bu parçalar helikopterlerde uçuş emniyet sınıfında değerlendirilirler. Bu amaçla kullanılan havacılık standartlarına uygun alüminyum alaşımları ve çelikler kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 Helikopterdeki kısmi push rod bağlantıları şematığı

“Push Rod” parçalarının ana bağlantılarını oluşturabilmek için alüminyum alaşımdan yapılmış boru şeklinde bir gövde ve “Insert” ya da “Clevis” adı verilen iki parça kullanılmaktadır (Şekil 1.2). Gövdenin içine dış çekilip iç ve dış çapında dış olan insert bu gövdenin içine montajı gerçekleştirildikten sonra bağlantı noktalarından boru sıvama işlemi yapılmaktadır. “Clevis” veya “Insert” gövdeye öncelikle dişler sayesinde monte edilir daha sonra diş bitiminden sonra başlayan tırtık kısmı gövdenin üzerinden sıvanarak montaj kalıcı hale getirilir (Şekil 1.3). Bu tırtıklar Şekil 1.4’de kırmızı daire içerisinde gösterildiği gibi alüminyum olan gövdenin deforme olmasına sebep olur bu sayede “Clevis” veya “Insert” bağlantısının çözülmesi engellenir. Montaj gerekliliği olarak mevcut tasarıma göre bu işlem gerçekleştirildikten sonra belirtilen değerlerde tork test yapılır ve herhangi bir gevşeme ve dönme gözlenmezse montaj tamamlanmış demektir. Bilgi güvenliğinden dolayı resimlerde belirtilen değerler ve ölçüler paylaşılmayacaktır.



Şekil 1.2 “Push rod” montajı “Gövde-Clevis” malzemeleri ve bağlantı konfigürasyonu

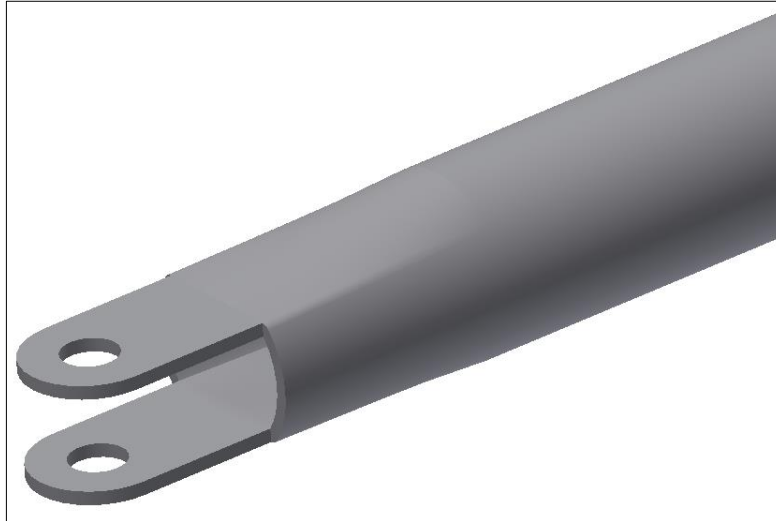
Montajın gerçekleşmesi gövdenin deformasyonuna bağlıdır. Gövdenin kalıcı olarak deformasyona uğramasından dolayı montaj edilen bu parçalar ayrılıp tekrar birleştirilemez. Parçaların montajı kalıcıdır ve bundan dolayı “Push Rod” parçalarının ömrü dolduğunda onarılamaz yerine yeni parçalar kullanılmalıdır.



Şekil 1.3 Montaj edilmiş “Push Rod” gövde ve insert parçalarının montaj edilen kısmının kesiti



Şekil 1.4 Alüminyum gövdede olan “Clevis” tırtıklarından kaynaklanan deformasyon



Şekil 1.5 EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum gövdedeki kulak yapısı

Gövdenin diğer ucu Şekil 1.5’de görüldüğü gibi kulak yapıya sahiptir ve borunun ham malzeme halindeki kalınlığından yaklaşık 2,5 kat daha kalın olması gerekmektedir. Gövdenin kulak yapıdaki uç kısmı temel olarak CNC işleme ve saç şekillendirme yöntemleriyle oluşturulacaktır fakat bunlardan önce gövdenin uç kısmının kalınlığı arttırılmalıdır.

Boru uç kalınlaştırması dünyada bilinen akış şekillendirme, sıvama ve şişirme gibi çeşitli yöntemler vardır. Kullandığımız ham malzeme EN AW-2024 (AlCu4Mg1) ASTM B210 dikişsiz çekilmiş borudur. Bu alüminyum alaşımının içindeki bulunan %3.8 – 4.9 bakır’dan dolayı malzemenin soğuk şekillenmesi plastik deformasyon oranına bağlı olarak çatlaklara sebep olmaktadır. Çok sık aralıklarla kademeli olarak malzemeyi tavlama malzemenin kalınlığının 2 katından fazlasına çıkarılması çok zor ve masraflı olacağı için kullanılacak en uygun üretim yöntemi şişirmedir.

Şişirme işlemi, dünyada genellikle çelik borularda kullanılmaktadır. Ülkemizde ise yaygın bir proses değildir. Yaygın olmayan bu imalat yönteminin geliştirilmesi ve bu yöntemin yerini alabileceği birçok uzun ve masraflı akış şekillendirme gibi proseslerin kısaltılmasının ülkemizdeki endüstriye katma değeri muazzam öneme sahip olacaktır.

Bu çalışmanın amacı EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyum borular için şişirme üretim yönteminin geliştirilmesi ve daha sonra şişirilen bölgenin kalınlığını gerekli kalınlığa getirilmesi ve şişirilen bölgeye uygulanan sıvama işlemlerinin neden olduğu mikro çatlakların önlenmesidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Havacılık Endüstrisinde Alüminyum Kullanımı ve EN AW-2024 (AlCu4Mg1)

17 Aralık 1903'te Wright kardeşler tarafından, dünyanın ilk insan uçuşunu uçakları olan “Wright Flyer” (Şekil 2.1) ile yapılmıştır (Anderson, 2004). O zamanlar, otomobil motorları çok ağır ve kalkış için yeterli güç sağlamamaktaydılar, bu yüzden Wright kardeşler, silindir bloğu ve diğer parçaların alüminyumdan yapıldığı özel bir motor yapmıştır (Joseph, 2019).

Alüminyum yaygın olarak bulunmadığı ve çok pahalı olduğu için, uçağın kendisi bir Sitka ladininden ve tuvalle kaplanmış bambu çerçeveden yapılmıştır. Düzlemin düşük hava hızları ve sınırlı kaldırma kabiliyeti nedeniyle, çerçeveyi son derece hafif tutmak gerekmekteydi ve ahşap, uçabilecek kadar hafif, ancak gerekli yükü taşıyabilecek kadar güçlü olan tek malzeme idi. Alüminyum kullanımının daha yaygınlaşması sonraki on yıl boyunca sürmüştür (Anonim, 2016).



Şekil 2.1 Wright kardeşlerin ilk uçağı “Wright Flyer” (WSU, 2016)

Ahşap uçaklar havacılığın ilk günlerinde damgasını vurmuştu, ancak I. Dünya Savaşı sırasında hafif alüminyum havacılık endüstrisi için temel bileşen olarak ahşabın yerini almaya başlamıştır (Anonim, 2016).

1915'te Alman uçak tasarımcısı Hugo Junkers, dünyanın ilk tam metal uçağını yapmıştır; “Junkers J 1” (Şekil 2.2) tek kanatlı uçak (Lepage, 2019). Gövdesi bakır, magnezyum ve manganez içeren bir alüminyum alaşımdan yapılmıştır (Anonim, 2016).



Şekil 2.2 “The Junkers J 1” tek kanatlı uçak (Smithsonian National Air and Space Museum, 2016)

Dünya Savaşı ve II. Dünya Savaşı arasındaki dönem, Havacılığın Altın Çağı olarak tanınmaktadır (Bleakley, 2011).

1920'lerde, Amerikalılar ve Avrupalılar uçak yarışında yarışarak tasarım ve performansta yeniliklere yol açmışlardır. Çift-kanatlılar daha akıcı tek-kanatlarla değiştirilmiş ve alüminyum alaşımlarının kullanılmaya başlamasıyla metal çerçevelere geçilmiştir (Joseph, 2019).

1925 yılında, Ford Motor Co. Havayoluna girmiştir. Henry Ford, oluklu alüminyum kullanan üç motorlu, tamamen metal bir uçak olan 4-AT'yi tasarlamıştır. “The Tin Goose” olarak adlandırılan bu uçak, yolcular ve havayolu işletmecileri tarafından anında kullanılmaya başlamıştır (Gibbs-Smith, 1974).

1930'ların ortalarına gelindiğinde, sıkıca kapatılmış çok sayıda motorla, iniş takımlarını geri çeken, değişken adımlı pervaneleri ve gerilmiş deri alüminyum konstrüksiyonu ile yeni ve aerodinamik bir uçak şekli ortaya çıkmıştır (Anonim, 2016).

II. Dünya Savaşı sırasında, alüminyum üretiminin artmasına neden olan birçok askeri uygulama için özellikle de uçak çerçevelerinin inşası için alüminyum gerekmiştir (Boyne, 2003).

Alüminyuma olan talep o kadar büyüktü ki, 1942'de WOR-NYC, Amerikalıları savaş çabalarında hurda alüminyuma katkıda bulunmaya teşvik etmek için “Savunma için Alüminyum” adlı bir radyo programı yayınlamıştır. Alüminyum geri dönüşümü teşvik edilmiş ve “Tinfoil Drives” alüminyum folyo topları karşılığında ücretsiz sinema bileti teklif edilmiştir (Anonim, 2016).

ABD, Temmuz 1940 ila Ağustos 1945 arasındaki dönemde şaşırtıcı 296.000 uçak üretmiştir (Saxe, 2006). Yarısından fazlası ağırlıklı olarak alüminyumdan yapılmıştır. ABD uzay endüstrisi, Amerikan ordusunun ve İngiltere de dahil olmak üzere Amerikan müttefiklerinin ihtiyaçlarını karşılayabilmişlerdir. 1944'teki zirvesinde, Amerikan uçak tesisleri her saat 11 uçak üretebilmekteydi. Savaşın sonunda, Amerika dünyadaki en güçlü hava kuvvetlerine sahipti (Blue ve Naden, 1993).

Savaşın sona ermesinden bu yana alüminyum, uçak imalatının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Alüminyum alaşımlarının bileşenleri gelişmiş olsa da, alüminyumun avantajları aynı kalmıştır. Alüminyum, tasarımcıların mümkün olduğunca hafif, ağır yükleri taşıyabilecek, en az miktarda yakıt kullanan ve paslanmaya karşı dayanıklı uçak inşa etmelerini sağlamaktadır (Anonim, 2016).

Modern uçak imalatında her yerde alüminyum kullanılmaktadır. 27 yıldır ses hızının iki katından fazla hızda yolcuları uçuran “Concorde” (Şekil 2.3), alüminyum gövdeden inşa edilmiştir (National Air and Space Museum ve Linden 2011).



Şekil 2.3 “Concorde” (Anonim, 2016)

Kitleler için hava seyahatini gerçeğe dönüştüren en çok satan jet ticari uçağı olan Boeing 737, %80 alüminyumdur (Anonim, 2016).

Bugünün uçaklarının, gövde, kanat panelleri, dümen, egzoz boruları, kapı ve zeminler, koltuklar, motor türbinleri ve kokpit elemanları kısımlarında alüminyum kullanılmaktadır (Anonim, 2016).

Alüminyum, sadece uçaklarda değil, azami kuvvetle birleştirilmiş düşük ağırlığın daha da gerekli olduğu uzay gemilerinde paha biçilmezdir. 1957'de Sovyetler Birliği ilk uydusu olan, bir alüminyum alaşımından yapılan Sputnik 1'i başlatmıştır (NASA, 2011).

Tüm modern uzay araçları %50 ila %90 alüminyum alaşımından oluşmaktadır. Apollo uzay gemisinde, Skylab uzay istasyonunda, Uzay Mekiklerinde ve Uluslararası Uzay İstasyonunda alüminyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır (Calle, 2009).

Şu anda geliştirilmekte olan Orion uzay aracı asteroitler ve Mars'ın insan tarafından keşfedilmesine izin vermek için tasarlanmıştır. Üretici Lockheed Martin tarafından, Orion'un ana yapısal bileşenleri için alüminyum lityum alaşımı seçilmiştir. (Adams, 2016).

Günümüzdeki uçak endüstrisi, hammadde tedarikçilerinden yüksek destek talep etmektedir. Bir yandan mevcut uçak versiyonları için düşük maliyetli malzemeler beklerken, diğer yandan gelecek yüzyıla ait kitlesel hava taşımacılığının zorluklarıyla yüzleşmek için yeni yaklaşımlar ve ileri malzemeler istenmektedir (Kaushik, Y. 2015).

Motorlu uçuşun ilk gününden beri, uçak tasarımcıları ağırlığı en aza indirmeye çalışmaktadırlar. 1903'ten günümüze kadar mutlak minimum ağırlık ve mukavemet/ağırlık oranı, malzeme seçiminde öncelikli konulardır (Kaushik, Y. 2015).

Yeni nesil uçakların geliştirilmesinde, dikkate alınan önemli özellikler; daha hafif, daha sert ve daha güçlü, daha az yorulmaya duyarlı, uçak gövdeleri ve motorlar için malzemelerinde zarara karşı daha fazla toleranslı olmalarıdır (Kaushik, Y. 2015).

Hava-uzay malzemeleri, ucuz ve imal edilmesi kolayken, yapısal ve aerodinamik yükleri taşımalıdır. Hava taşıtı malzemesi, yüksek yükler, donma ve yüksek sıcaklıklar, yıldırım düşmeleri ve çarpma etkisi ve jet yakıtı, yağlayıcılar gibi potansiyel olarak aşındırıcı sıvılara maruz kalma gibi olumsuz koşullar altında çalışırken çatlamamalı, paslanmamalı, oksitlenmemeli veya diğer zarar biçimlerine maruz kalmamalıdır. Yüksek mekanik özelliklere ve uzun süreli dayanıklılığa ek olarak, malzemelerin ağırlık olarak daha hafif olması şarttır. Hafif malzemeler kullanarak ağırlıktaki tasarruf yapısal olarak verimlidir ve daha az yakıt yanması, daha geniş menzil ve hız ve daha küçük motor gereksinimleri ile sonuçlanır. Artan yakıt maliyetleri ve daha yüksek performans gereklilikleri, mukavemet/ağırlık oranlarıyla öne çıkan alternatif malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur (Kaushik, Y. 2015).

Yüksek mukavemet ağırlık oranına sahip alüminyum, kritik ağırlık uygulamalarında alüminyum alaşımlarının seçimini kolaylaştırmaktadır. Alüminyum alaşımları sigorta haneleri, kanatlar ve ticari havayollarının ve askeri kargoların destek yapıları için ana malzeme seçilmiştir. Performans özellikleri, üretim maliyeti, tasarım deneyimi ve iyi bilinen üretim teknikleri, alüminyum alaşımlarının gelecekteki uçaklar için önemli miktarlarda sürekli kullanımı için birkaç nedendir. İlk süper plastik alüminyum uçak parçaları AA 2004 alüminyum alaşımından yapılmıştır ve üretilen parçalar koltuk ejektör bileşenleridir (Kaushik, Y. 2015).

Mekanik performans potansiyeli, uçak yapısal uygulamaları için ilgili geleneksel alaşımlarla karşılaştırılmış ve kalite endeksleri içererek mekanik performans potansiyeli

temelinde sıralama yapılmıştır. Bu gelişmiş alaşımlar şu anda uçak yapısal uygulamaları için kullanılmaktadır (Kaushik, Y. 2015).

2xxx serisi (2024 ve 2091), 6xxx serisi (6013), 7xxx serisi (7050, 7075 ve 7175) ve 8xxx serisi (8090) 'den yapılan alaşımlar birinci grupta tutulmuştur. İkinci grup, uçak endüstrisi için yeni geliştirilen işlenmiş alüminyum alaşımlarını içermektedir; 2024, 2024 HP (Yüksek saflıkta), Al-Mg-Li (Çıplak - B), Al Mg-Li (Gerilmiş form - SF), Al-Mg-Sc (Çıplak - B), Al-Mg-Sc (Soğuk - CF). Bu alaşımlar mekanik özellikleri ile birlikte Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Çizelge 2.1'de, numuneler hem uzunlamasına (L) hem de uzunlamasına enine (LT) yönlerde kesilerek veriler üretilmiştir (Kaushik, Y. 2015).

Çizelge 2.1 Gelişmiş Dövme Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri ve Mekanik Performans Değerlendirmesi (Kaushik, Y. 2015)

| AL ALAŞIMLARI | R _p (Mpa) | R _m (Mpa) | A ₁ (%) | W (MJ/m ³) | ρ (g/cm ³) | Q ₀ (Mpa) | K ₀ (-) | Q ₀ (MPa) | St. Dev. Q ₀ (MPa) | Q ₀ (J/g) | Q ₀ (J/g) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2024 T3 L | 338 | 457 | 22.5 | 94.4 | 2.77 | 1281 | 1.98 | 2538.8 | 39.8 | 462.6 | 916.5 |
| 2024 T3 LT | 299 | 446 | 21.2 | 87.1 | 2.77 | 1169 | 1.99 | 2322.1 | 31.6 | 422.3 | 838.2 |
| 2024 T3 HP L | 359 | 460 | 23.1 | 97.4 | 2.77 | 1332 | 1.89 | 2512.6 | 224.5 | 480.9 | 905.3 |
| 2024 T3 HP LT | 313 | 450 | 22.4 | 92.7 | 2.77 | 1240 | 1.91 | 2374.1 | 158.1 | 447.6 | 856.1 |
| Al-Mg-Li-B L | 363 | 486 | 6.5 | 30.4 | 2.71 | 667 | 1.96 | 1308.2 | 14.5 | 246.1 | 482.7 |
| Al-Mg-Li-B LT | 322 | 486 | 11.9 | 53.7 | 2.71 | 859 | 1.97 | 1697.6 | 31.2 | 317.2 | 626.4 |
| Al-Mg-Li-SF L | 359 | 485 | 6.6 | 30.9 | 2.71 | 667 | 1.95 | 1301.7 | 70.4 | 246.5 | 479.9 |
| Al-Mg-Li-SF LT | 327 | 491 | 12.2 | 55.6 | 2.71 | 883 | 1.96 | 1739.1 | 65.9 | 326.1 | 641.5 |
| Al-Mg-Sc-B L | 273 | 393 | 12.2 | 43.9 | 2.73 | 711 | 1.93 | 1378.9 | 94.3 | 260.7 | 504.5 |
| Al-Mg-Sc-CF L | 282 | 401 | 13.1 | 48.6 | 2.73 | 768 | 1.97 | 1518.9 | 27.4 | 281.6 | 556.3 |
| Al-Mg-Sc-CF LT | 280 | 391 | 18.8 | 69.1 | 2.73 | 971 | 1.97 | 1911.6 | 70.3 | 355.6 | 700.1 |

EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyum alaşımı, birincil alaşım elementi olarak bakır içeren bir alüminyum alaşımıdır. Yüksek mukavemet / ağırlık oranının yanı sıra, iyi yorulma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılır. Ortalama işlenebilirliğe sahiptir. Zayıf korozyon direncinden dolayı, koruma için genellikle alüminyum veya Al-1Zn ile kaplanır, ancak bu, yorulma direncini azaltabilir. Daha eski terminoloji sistemlerinde 2XXX serisi alaşımlar duralumin olarak bilinmekte ve bu alaşım 24ST olarak adlandırılmıştı (Kaushik, Y. 2015).

EN AW-2024 (AlCu4Mg1) genel olarak ekstrüzyona tabi tutulur ve ayrıca alclad levha ve levha formlarında da bulunmaktadır (Baumeister, T., Avallone, E., 1978). EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum alaşımının kimyasal bileşeni Çizelge 2.2’de, mekanik özellikleri Çizelge 2.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum alaşımı kimyasal bileşeni (ASM, 2017)

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti | Diğerleri - tekil | Diğerleri - Hepsi | Al |
|------|------|------|-------------|--------------|-------------|------|------|------|----------------------|----------------------|-------|
| 2024 | 0.50 | 0.50 | 3.8- 4.9 | 0.30- 0.9 | 1.2- 1.8 | 0.10 | 0.25 | 0.15 | 0.05 | 0.15 | Kalan |

Çizelge 2.3 EN AW-2024 (AlCu4Mg1) Alüminyum mekanik özellikleri (Anonim, 2015)

| Alaşım-Kondisyon | Çekme Mukavemeti (MPa) | Akma Mukavemeti (MPa) | Uzama (%) |
|------------------|---------------------------|--------------------------|--------------|
| 2024-O | 117 | 76 | 18 |
| 2024-T3 | 483 | 345 | 16 |
| 2024-T4 | 469 | 324 | 20 |

Maksimum şekillendirilebilirlik için tavllanmış kondisyonda yani EN AW-2024 (AlCu4Mg1) “O” kondisyonunda kullanılmalıdır. Oluşturulan parçalar daha sonra ısıl işleme tabi tutularak yüksek mukavemet özelliği kazandırılır.

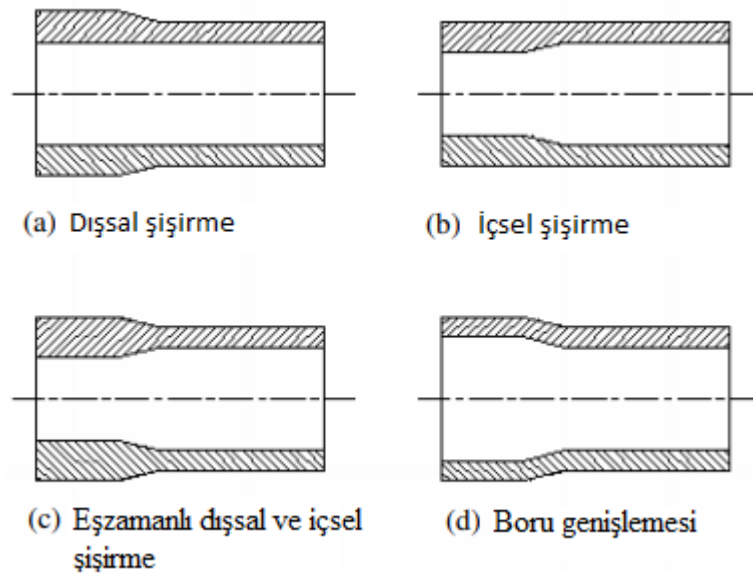
2.2 Boru Şişirme Prosesi

Genel olarak, tüplere vida açma işleminden önce, duvar kalınlığını arttırmak için her bir uca sıcak bir dövme işlemi uygulanmaktadır. Bu şişirme işlemi borunun boru boyunca tutarlı bir güç tutmasını sağlar ve ek duvar kalınlığı, dış açma için gereklidir (Tüzün, 2004).

Tüp şişirmenin en basit tanımı tüpün bir şişirme işleminde başlangıç stoku olarak kullanılmasıdır. Birçok uygulamada, özellikle dövülmüş delik gerektiren uzun dövme için şişirme stokları olarak dikişsiz boru kullanılması arzu edilir ve pratiktir. Stok olarak tüp kullanımı, ağırlığı ve işlem sayısını azaltmaktadır. Şekil 2.4'de gösterildiği gibi dört tipte tüp şişirmesi vardır (Karavelioğlu, 1987). Bunlar;

1. Dışsal şişirme: İç çap sabitken tüpün dış çapı artar.
2. İçsel Şişirme: Dış çap sabitken borunun iç çapı azalır.
3. Eşzamanlı dışsal ve içsel şişirme: iç çap azalırken borunun dış çapı artar.
4. Boru genişlemesi: duvar kalınlığı sabit kalırken, borunun dış çapı artar.

Boru şişirme işleminde sert uzunluk ve borunun et kalınlığında elde edilebilir artış büyük işlem kısıtlamalarıdır. Şişirilmiş uzunluk sadece kalıpların uygun şekilde tasarlanması ve ısıtılmış uzunlukların hassas kontrolü ile kontrol edilebilir. Bu nedenle, sıcaklığın ve ısıtılan uzunluğun yakın kontrolünü sağlayan bir ısıtma tekniği kullanılmalıdır. Yığılma sırasında burkulmamayı sağlamak için, bir tüpün duvar kalınlığındaki izin verilen artışla ilgili sekans tasarım kuralları dikkatlice izlenmelidir. Tüp şişirme işleminin sınırlandırılması uygulanarak, büyük malzeme tasarrufu ve geliştirilmiş ürünler elde edilebilir (Tüzün, 2004).



Şekil 2.4 Tüp şişirme çeşitleri (Tüzün, 2004)

Bu çalışmada içsel tüp şişirme çeşidi kullanılacaktır.

Neredeyse tüm tüp şişirme işlemlerinde, ilk önce şişirme sonrası oluşacak parça tasarlanmıştır. İlk iş parçasının boyutları belirlenir. Daha sonra, kıvrılma veya burkulma olmaması için aşamaların sayısı belirlenir. Tüm aşamalar için kalıpları tasarladıktan sonra, ayrıntılı analiz uygun araçlar kullanılarak yapılmalıdır (Tüzün, 2004).

Sıcak yığmada, stok ilk kalıba yerleştirilmeden önce ısıtılır. Tüp stokunun ısıtılması, içi dolu olan bar stokundan daha yüksek kontrol seviyesi gerektirmektedir. Deforme edilecek tüpün uzunluğu, şişirme bölgesinin haricinde olabilecek deformasyonu önlemek için ısıtılması gereken tek kısımdır. Neredeyse tüm tüp şişirme tipleri için, şişirilecek bölgenin arkasındaki tüp içerisine kaydırılabilecek malzemeyi en aza indirmek için ısıtılmış ve ısıtılmamış bölümler arasında keskin bir geçiş sağlanmalıdır. Bu keskin geçişin kesin konumu, içsel şişirme türünde büyük öneme sahiptir, çünkü uzunluğun kalıplar ile sınırlandırılması için pratik bir yol yoktur. Doğrudan yükselen hacmi etkileyen ısıtılmış uzunluk kontrolüne ek olarak, hızlı ısıtma yöntemleri uygulanarak, sıcaklığın geri kalan bölgenin ötesinde tekrar çalışmaması gerekir (American Society for Metal, 1985).

Şişirme işleminde kullanım için başarıyla uyarlanmış indüksiyonlu ısıtma, minimum ölçü bozukluğu oluşumunu sağlayan ve stokun ısıtılmış uzunluğunu tam olarak kontrol eden en uygun ısıtma yöntemidir. Ayrıca ölçü bozulması oluşumunu, sıcaklık kontrolünün doğruluğu, lokalize ısıtmaya uygunluğu ve hızlı ısıtma hızına sahip, indüksiyonla ısıtmayı kullanmak özellikle seri parça bazında benzer parçaların şişirilmesinde fayda sağlamaktadır. Oluşturulacak boru uzunluğunun belirlenmesi sırasında, ölçüsel kaymalar dikkate alınmalı ve telafi edilmelidir. Ölçüsel kaymaya ilişkin öneriler literatürde mevcuttur ve Çizelge 2.4'de gösterilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, indüksiyon ısıtmasında ölçek oluşumu en düşüktür (Tüzün, 2004).

Çizelge 2.4 Önerilen ölçü değişim oranları (Tüzün, 2004)

| Fırın Tipleri | Ölçü Değişim Oranı |
|---------------|--------------------|
| Yağ Hazneli | 4% |
| Yağ Sürekli | 3% |
| Gaz Hazneli | 3% |
| Gaz Sürekli | 2,5% |
| Elektrikli | 1,5% |
| İndüksiyonlu | 1% |

2.2.1 Boru şişirme proses limitleri

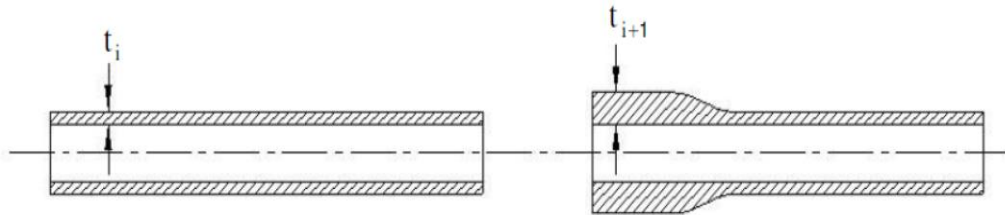
Tüp yığılmasının işlem sınırlamaları temel olarak kırılma uzunluğunun kontrolünü ve kesitsel alanda elde edilebilir artışın belirlenmesini içerir. Yığılma sırasında yaralanmayı veya burkulmayı önlemek için, American Society for Metals “Metal’s Handbook” (1985) dört kural önermektedir. Bunlar;

1. Tek seferde şişirme işlemi yapılacaksa flaşa bükülmeyi önlemek için, şişirilecek desteklenmeyen çalışma stokunun uzunluğu, stokun duvar kalınlığının 2,5 katından az veya ona eşit olmalıdır.

2. Dışsal şişirmede, tüpün duvar kalınlığı, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi bir geçişte orijinal duvar kalınlığının maksimum 1,5 katı kadar arttırılabilir.

Maksimum Duvar Kalınlığı Oranı:

$$WTR_{max} = \frac{t_{i+1}}{t_i} = 2 \quad (2.1)$$

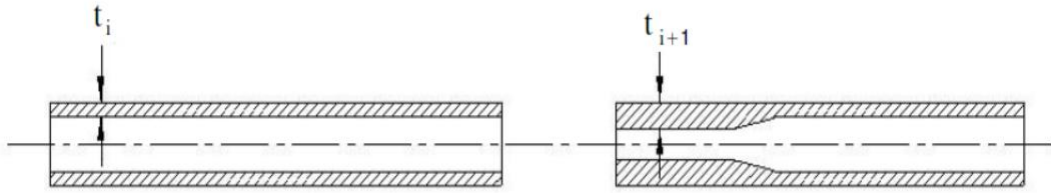


Şekil 2.5 Dışsal şişirme işleminde duvar kalınlığı değişimi (Tüzün, 2004)

3. İçsel şişirmede, tüpün duvar kalınlığı, Şekil 2.6'da gösterilen bir geçişte orijinal duvar kalınlığının en fazla iki katına çıkarılabilir.

Maksimum Duvar Kalınlığı Oranı:

$$WTR_{max} = \frac{t_{i+1}}{t_i} = 2 \quad (2.2)$$



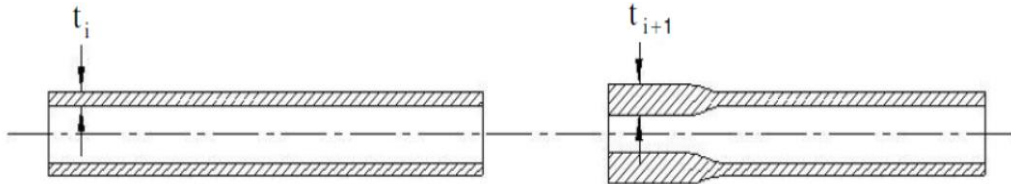
Şekil 2.6 İçsel şişirme sırasında duvar kalınlığı değişimi (Tüzün, 2004)

4. Eşzamanlı dışsal ve içsel şişirmede, borunun duvar kalınlığı, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi bir geçişte orijinal Duvar kalınlığının maksimum 1,5 katı kadar arttırılabilir.

Maksimum Duvar Kalınlığı Oranı:

$$WTR_{max} = \frac{t_{i+1}}{t_i} = 1.5 \quad (2.3)$$

Karavelioğlu'nun (1987) çalışmasında çeşitli yayınlardan proses sınırlamaları hakkında detaylı tartışmalar mevcuttur.



Şekil 2.7 Eş zamanlı içsel ve dışsal şişirme sırasında duvar kalınlığı değişimi (Tüzün, 2004)

2.2.1 Sekans tasarım prosedürleri

Sekans tasarım prosedürü esas olarak, tek bir aşamada belirli bir şişirme bölgesi için duvar kalınlığında izin verilen artışın hesaplanmasını ve dışsal şişirme için dış sınırın ve iç şişirme durumu için alt sınırın belirlenmesini içerir (Tüzün, 2004).

Dizilim tasarımı için tartışılan iki alternatif prosedür vardır. Birincisi, duvar kalınlığında sürekli bir artış kullanılması, ikincisi önerilen prosedürün değiştirilmiş ve genişletilmiş versiyonudur (Tüzün, 2004).

2.2.1.1 Prosedür 1

Prosedür aşağıdaki adımları kapsar (Karavelioğlu, 1987):

1. Belirli bir şişirme bölgesinin (WTR_o) toplam duvar kalınlığı oranı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$WTR_o = \frac{t_{max}}{t} \quad (2.4)$$

t_{max} : şişirilecek bölgede elde edilecek maksimum duvar kalınlığı,

t : ilk tüpün et kalınlığı

Eğer genel duvar kalınlığı oranı, WTR_o , izin verilen duvar kalınlığı oranı WTR_a 'ya eşit veya daha az ise, belirlenen şişirilecek bölge bir işlemde son şekle sokulabilir.

2. Genel duvar kalınlığı oranı izin verilen kalınlık oranından büyükse, birden fazla işlem gerekir. Şişkinliği oluşturmak için gerekli olan teorik işlem sayısı, n_t ;

$$n_t = \frac{\log WTR_o}{\log WTR_a} \quad (2.5)$$

Eğer n_t tamsayı olmayan bir değer olarak hesaplanırsa, gereken işlem sayısı, n , n_t 'den büyük en küçük tamsayı sayısına eşittir. Bu gibi durumlarda, nihai işlem için duvar kalınlığı oranı küçük olabilir. Bununla birlikte, şişirme işlemi izin verilen miktardan daha küçük bir dengeli duvar kalınlığı oranı uygulanarak aynı sayıda işlemle gerçekleştirilebilir. Dengelenmiş Duvar kalınlığı oranı, WTR_e , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$WTR_e = (WTR_o)^{1/n} \quad (2.6)$$

Tasarımcı seçimine göre, dizi tasarımı sırasında WTR_a veya WTR_e düşünülebilir.

3. İlk işlem sırasında veya öncesinde tüm ölçeğin kaldırıldığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, dizi tasarımı sırasında alt bölgelerin hacimleri sabit kalır. Parça flaş ile oluşturulacaksa, ayırma çizgisine bitişik alt bölgenin hacmi, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi flaş toleransını içerecektir.

4. Şimdiki aşama olan OL_i ve IL_i 'nin dış ve iç profili için sınırlar aşağıdaki gibi belirlenir.

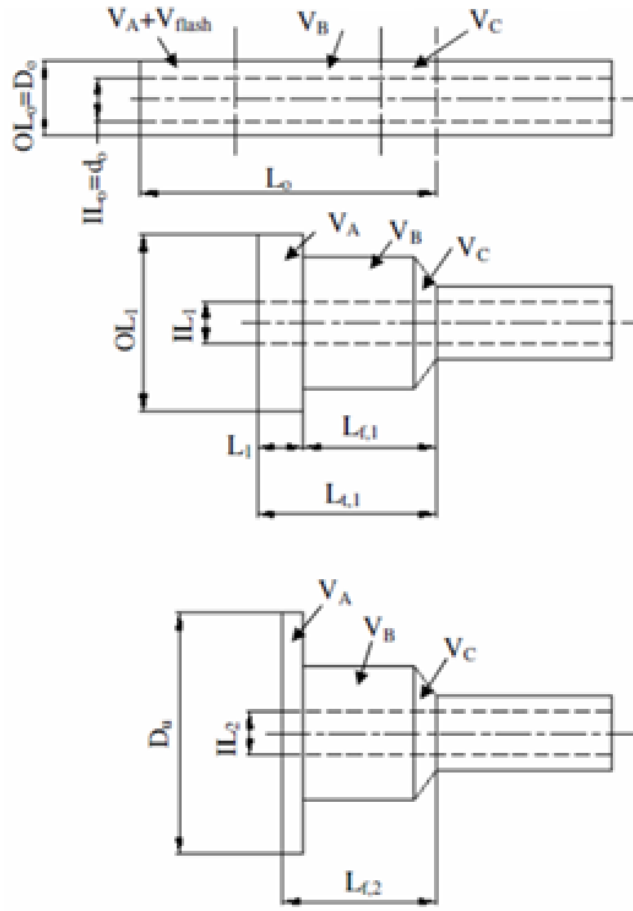
i. Dışsal tüp şişirme için (Bkz. Şekil 2.8):

$$IL_i = d_o \quad (2.7)$$

d_o : Tüpün ilk çapı

$$OL_i = d_o + WTR * (OL_{i-1} - d_o) \quad (2.8)$$

İlk işlem için, OL_o , Şekil 2.8'de gösterildiği gibi ilk tüpün dış çapına eşittir (D_o).



Şekil 2.8 Şişirilmiş bölge boyunca hacim sabitliği ve ara aşamalar için şekil tasarımı (Tüzün, 2004)

ii. İçsel tüp şişirme için;

$$OL_i = D_0 \quad (2.9)$$

$$IL_i = D_0 - WTR * (D_0 - IL_{i-1}) \quad (2.10)$$

Burada ilk tüpün dış çapı, D_0 , sabit tutulur ve ilk işlem için IL_0 , aynıdır.

iii. Eş zamanlı içsel ve dışsal tüp şişirmesi için;

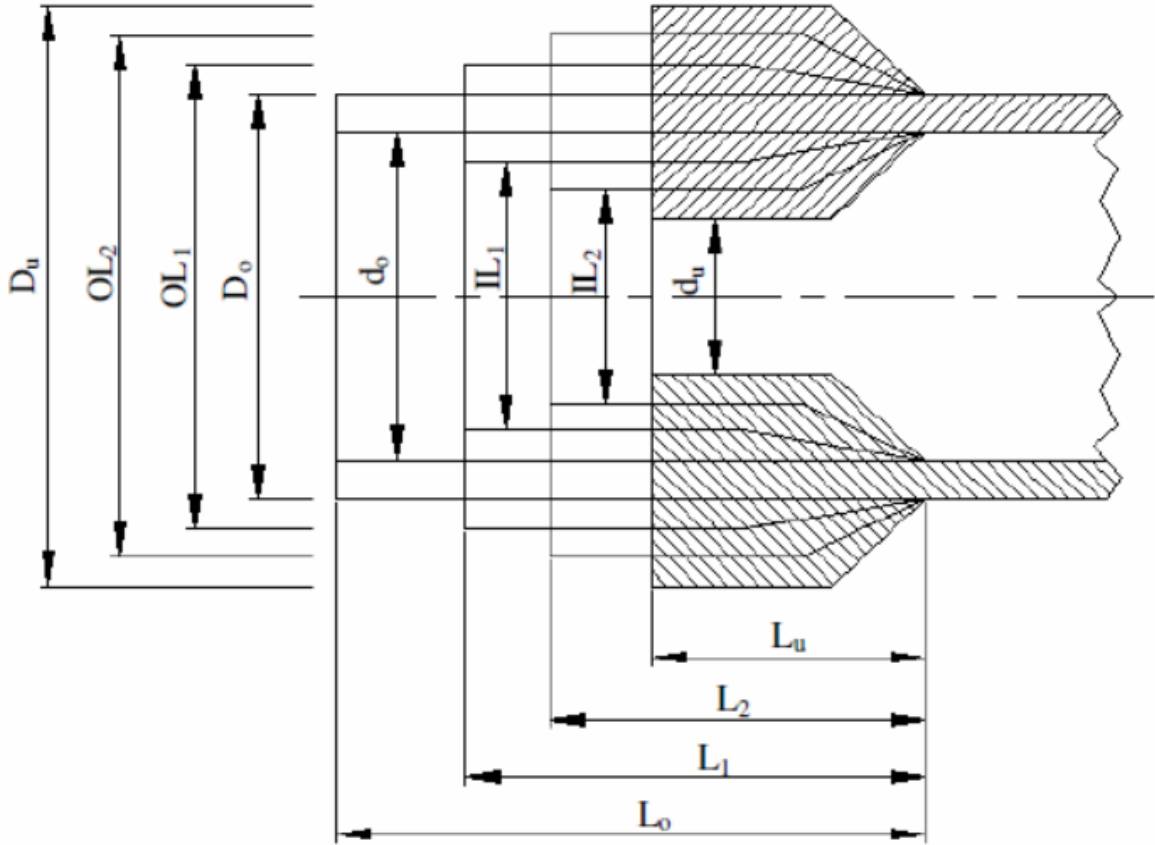
Dış çaptaki artışın iç çaptaki azalmaya oranı olan yükselme oranı U_r , Şekil 2.9'da gösterilen şişirme bölgesinin son şekli göz önüne alınarak belirlenir.

$$U_r = \frac{D_u - D_0}{d_0 - d_u} \quad (2.11)$$

Bu oran, tüm çaplarda dış çapta kademeli bir artış ve iç çapta kademeli bir düşüş elde etmek için sabit tutulur. Geçerli aşama olan OL_i ve IL_i için dış ve iç profil sınırları, aşağıdaki iki denklemin aynı anda çözülmesiyle hesaplanır.

$$U_r = \frac{OL_i - D_0}{d_0 - IL_i} \quad (2.12)$$

$$OL_i - IL_i = WTR * (OL_{i-1} - IL_{i-1}) \quad (2.13)$$



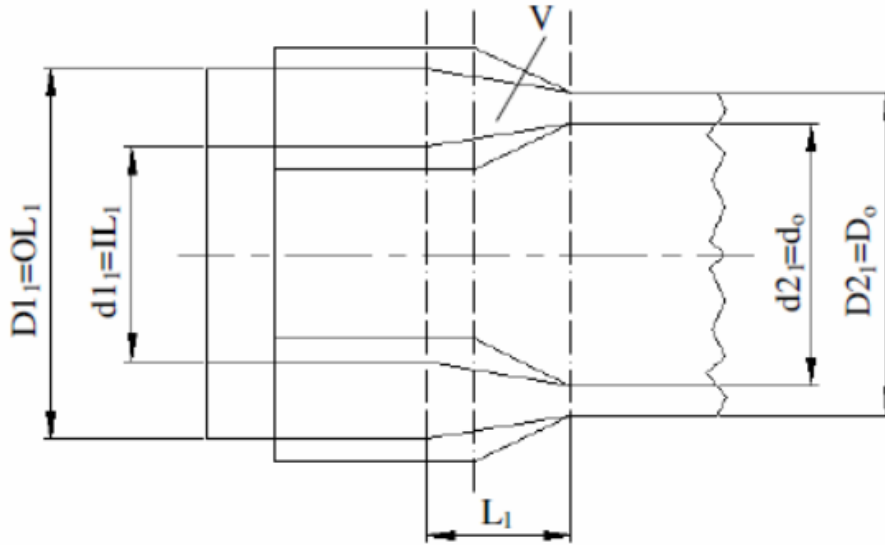
Şekil 2.9 Eş zamanlı dışsal ve içsel şişirme için dış ve iç profil sınırlarının belirlenmesi (Tüzün, 2004)

5. Eğer şişirilen bölgenin dış ve iç profilleri için belirlenen sınırlar, gerekli geometrinin üretimine izin veriyorsa, o zaman şişirme mevcut aşamada tamamlanabilir.

6. Gerekli geometri, mevcut aşamada belirlenen sınırları aşan alt bölgeler, bir sonraki aşamadaki şişirilecek bölgeye dahil edilir. Bu aşamadaki bu alt bölgelerin sağ ve sol uçlarının dış ve iç çapları, $D1_i$, $D2_i$, $d1_i$ ve $d2_i$ (Şekil 2-12) hesaplanan profil sınırları kullanılarak belirlenir. Gerekli boyutları sınırların dışındaysa, çaplar ilgili sınırlara eşit olarak alınır. Bu alt bölgelerin uzunlukları, L_j , şu andaki aşamada, operasyonel sekans boyunca sabit tutulan hacimleri, V_j dikkate alınarak belirlenir (Şekil 2.10). Mevcut aşamada i , belirli bir alt bölgenin, j , aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$L_{j,i} = \frac{V_j}{\frac{\pi}{12}[(D1_{j,i}^2 + D1_{j,i} * D2_{i,j} + D2_{j,i}^2) - (d1_{j,i}^2 + d1_{j,i} * d2_{j,i} + d2_{j,i}^2)]} \quad (2.14)$$

Mevcut aşamada belirlenen sınırlarda kalan alt bölgeler nihai boyutlarına ulaşır. Bu prosedür, adım 2 ile adım 6 arasında, tüm alt bölgelerin gereken boyutlarına izin veren sınırlar elde edilinceye kadar tekrarlanır.



Şekil 2.10 Ara aşamaların geometrisinin belirlenmesi

2.2.1.2 Prosedür 2

Karavelioğlu (1987) tarafından değiştirilmiş genişletilmiş prosedür aşağıdaki gibidir.

1. Önceki aşamadaki eşdeğer çap, d_e , $i-1$, en büyük alana sahip kesitte aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_{e,i-1} = (OL_{i-1}^2 - IL_{i-1}^2)^{1/2} \quad (2.15)$$

Birinci aşama için, dış sınır, OL_0 ve iç sınır, IL_0 , sırasıyla ilk tüpün dış ve iç çapına eşittir.

2. Mevcut aşamada şişirilecek bölgenin uzunluğu şu şekilde hesaplanır (bakınız Şekil 2.8 ve 2.9).

$$L_{i-1} = L_{t,i-1} - L_{f,i-1} \quad (2.16)$$

$L_{t,i-1}$, bir önceki aşamadaki şişirme bölgesinin toplam uzunluğu ve $L_{f,i-1}$, önceki aşamalarda tamamen oluşturulmuş olan alt bölgelerin toplam uzunluğudur. İlk işlem için, L_0 , Şekil 2.8'de gösterilen şişirilmiş bölgenin başlangıç uzunluğuna eşittir.

3. Eşdeğer çapa, F ve iç limite, R_d , oranlara olan dış limite kadar olan uzunluk, aşağıdaki ifadelerle hesaplanır.

$$F = \frac{L_{i-1}}{d_{e,i-1}} \quad (2.17)$$

$$R_d = \frac{OL_{i-1}}{IL_{i-1}} \quad (2.18)$$

4. K faktörü, mevcut aşamada gerçekleştirilecek olan tüp şişirme tipi aşağıdaki şekilde göz önünde bulundurularak hesaplanır.

Dışsal şişirme ve genişleme için:

$$K = 0,4 + R_d \quad (2.19)$$

İçsel şişirme için:

$$K = 0,8 + 2R_d \quad (2.20)$$

Eş zamanlı içsel ve dışsal şişirme için:

$$K = 0,6 + 1.5R_d \quad (2.21)$$

5. Sınır değeri, F1, aşağıdaki ifade kullanılarak belirlenir.

$$F1 = \frac{K(OL_{i-1} - IL_{i-1})}{2d_{e,i-1}} \quad (2.22)$$

6. F, F1'den küçük veya ona eşitse, daha fazla yığılma aşamaları gerekli değildir ve belirli bir kırılma bölgesi, mevcut aşamada tamamen oluşturulabilir. Aksi takdirde, mevcut aşamada elde edilebilecek maksimum eşdeğer çap aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d_{e,i} = C d_{e,i-1} \quad (2.23)$$

$$C = \sqrt{2 - 0.03\sqrt{(35 - F1)^2 - (35 - F)^2}} \quad (2.24)$$

7. Belirli bir şişirilmiş bölgenin dış ve iç profilleri için sınırlar, şu andaki aşamada elde edilebilir eşdeğer çap ve $d_{e,i}$ bu borunun sıkışma tipi dikkate alınarak belirlenir.

Dışsal şişirme için:

Dış profil, OLi için sınır değeri şu şekilde hesaplanır.

$$OL_i = (d_0^2 - d_{e,i}^2)^{1/2} \quad (2.25)$$

İç profil için sınır değeri, ilk tüpün iç çapına eşit kalır, d_0 .

İçsel şişirme için:

İç profil için sınır değer, OL_i , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$IL_i = (D_0^2 - d_{e,i}^2)^{1/2} \quad (2.26)$$

Dış profil için sınır değer, başlangıç borusunun (D_0) dış çapına eşit kalır.

Eş zamanlı dışsal ve içsel şişirme için:

Dış profildeki artışın iç profildeki azalmaya oranı U_r , prosedür 1'deki gibi sabit tutulur. Aşağıdaki iki denklem, OL_i ve IL_i 'yi hesaplamak için eşzamanlı olarak çözülür.

$$U_r = \frac{OL_i - D_0}{d_0 - IL_i} \quad (2.27)$$

$$d_{e,i}^2 = OL_i^2 - IL_i^2 \quad (2.28)$$

Tüpün genişlemesi için:

Duvar kalınlığının (t) sabit tutulduğu genişleme için, OL_i ve IL_i , aşağıdaki ifadeleri aynı anda çözerek hesaplanır.

$$OL_i - IL_i = 2t \quad (2.29)$$

$$d_{e,i}^2 = OL_i^2 - IL_i^2 \quad (2.30)$$

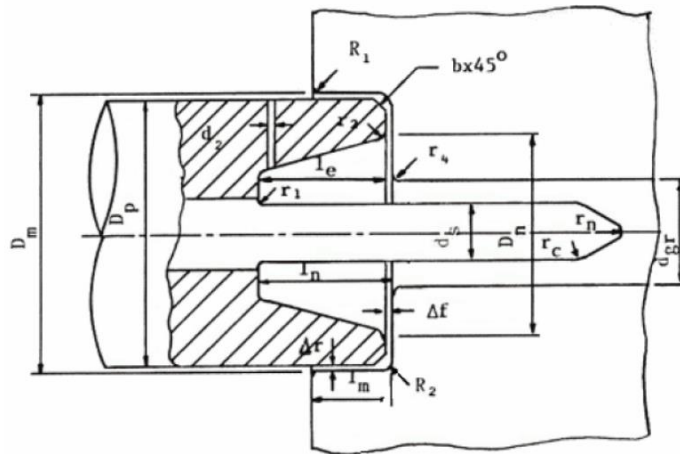
8. Tüm bölümlerin gereken ebatları belirlenen sınırlar içerisinde kalırsa, o andaki aşamada şişkin bölge tamamen oluşur. Aksi takdirde, mevcut aşamadaki şişirilen bölgenin şekli, Prosedür 1'in 6. Adımında tartışıldığı gibi belirlenir ve belirli şişen bölgenin, takip eden aşamada tam olarak oluşup oluşmayacağını belirlemek için prosedür yeniden başlatılmalıdır.

İki prosedür arasındaki fark, sabit Duvar kalınlığı oranının, Prosedür I'deki tüm şişirme aşamaları için kullanılmasıdır. Ancak Prosedür II 'de, dövme işleminin geometrisine bağlı olarak farklı duvar kalınlığı oranları elde edilebilir.

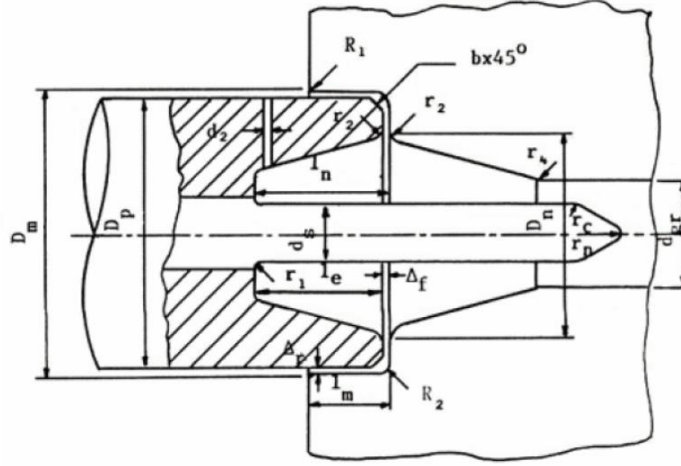
2.2.2 Boru şişirme kalıp tasarımı

Sıralama tasarım prosedürü tamamlandıktan sonra, ön biçimlendirme ve son işlem aşamaları için kalıplar tasarlanabilir. Üç temel tipte tüp şişirme kalıbı vardır (Karavelioğlu, 1987). Bunlar başlık aletleri veya tutucu kalıplarındaki boşluk tiplerine göre sınıflandırılır. Kapalı kalıp şişirme işlemlerinde oyuklar tutucu kalıplarında, başlık aletinde veya her ikisinde olabilir. Kalıp tipinin boşluklarına göre seçimi tamamen dizilim tasarımına ve ayırma çizgisinin konumuna bağlıdır. Boşluk tipleri aşağıdaki şekilde tarif edilebilir (Tüzün, 2004).

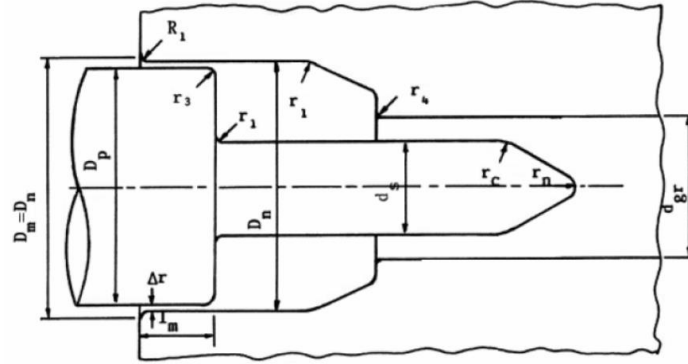
1. Sadece başlık kısmında kalıp boşluğu olanlar (Şekil 2.11)
2. Başlık ve tutucu kısmında kalıp boşluğu olanlar (Şekil 2.12)
3. Sadece tutucu kısmında kalıp boşluğu olanlar;
 - a) Flaşsız şişirme işlemi için (Şekil 2.13)
 - b) Flaşlı şişirme işlemi için (Şekil 2.14)



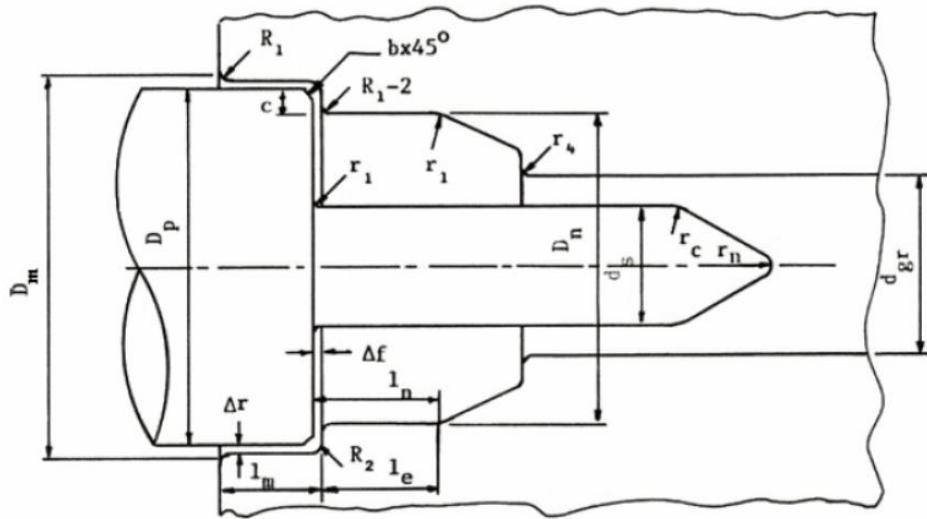
Şekil 2.11 Başlık kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar (Karavelioğlu, 1987)



Şekil 2.12 Tutucu ve başlık kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar (Karavelioğlu, 1987)



Şekil 2.13 Flaşsız şişirme işlemi için tutucu kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar (Karavelioğlu, 1987)



Şekil 2.14 Flaşlı şişirme işlemi için tutucu kısmında kalıp boşluğu olan kalıplar (Karavelioğlu, 1987)

Kalıp parametreleri için öneriler de mevcuttur (Karavelioğlu, 1987). Sıcak boru yığıma işlemleri için kalıp tasarımında, %1,5 genişleme payı kullanılır (Lamprecht, 1955). Dövme, birden fazla aşama gerektiriyorsa, genişleme payı aşama başına% 0.15 azaltılmalıdır. Dövmenin duvar kalınlığı başlık aletinin pilotu tarafından kontrol edilir. Pilotun uzunluğu, deformasyon başlamadan önce iş parçasının ısıtılmış bölgesini destekleyecek kadar uzun olmalıdır (Tüzün, 2004).

Takım malzemesinin tipi ve sertliği esas olarak üretim hızına ve üretilecek şeklin karmaşıklığına bağlıdır. Üretim oranları, dövülecek malzemenin boyutuna ve proses otomasyonuna göre değişir. Otomatik yemleme kullanılarak üretim hızı, saatte 6000-7000 adet gibi yüksek sayılara yükseltilebilir. Yüksek üretim hızlarında, alet uzun süre yüksek sıcaklıklarda kullanılır. Bu nedenle, aşınma problemleri ortaya çıkması muhtemeldir. Bir süre sonra, takım aşınmış ve işlevsiz hale gelir. Çeşitli yayınlarda, kalıp ve kalıp ekleri için malzeme seçimi detaylı olarak tartışılmıştır (Karavelioğlu, 1987).

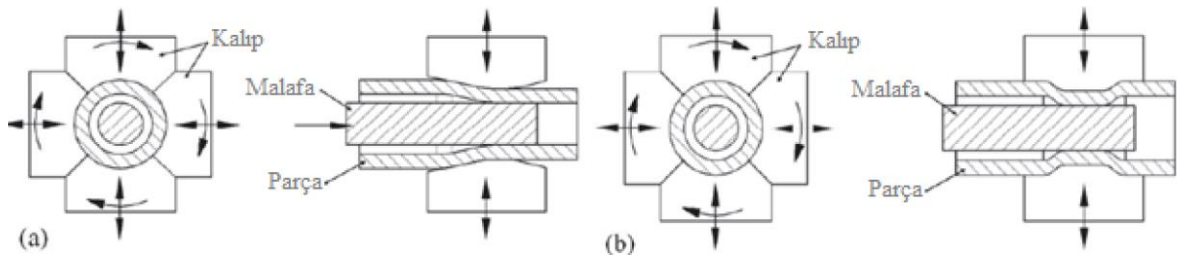
2.3 Boru Sıvama İşlemi (Döner Dövme İşlemi)

İmalat endüstrisinin hızlı gelişmesiyle birlikte, döner dövme teknolojisi, malzeme tasarrufu, tedarik süresinin azaltılması ve ürün kalitesinin artırılması gibi avantajları nedeniyle otomobil, havacılık ve savunma sanayinde giderek daha yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Sıvama teknolojisi, esas olarak tüpleri, çubukları imal etmek veya diğer işlemlerin ön işlemleri yapmak için kullanılır. Örneğin, tüp hidroformizasyon işlemi ve iç dişli işleme işleminden önce tüp uçlarının gerilmesini gerçekleştirebilir. Dövme yöntemine ve malafanın mevcudiyetine göre, tüplerin döner dövme işlemi dört kategori, malafasız besleme yöntemi, malafalı besleme yöntemi, malafasız girinti yöntemi ve malafalı girinti yöntemi içermektedir. Bu dört çeşit yöntemin metal akışı ve gerilme durumu incelenmiştir. Malafasız besleme metodu için, metal esas olarak batma bölgesinde radyal olarak akmaktadır. Boyutlandırma bölgesinde, metal aksel olarak küçük bir hızla akmaktadır. Bir malafa kullanıldığında, boyutlandırma bölgesindeki aksel akış hızı artar. Teneffüs yöntemi için ana deformasyon bölgesi dövme bölgesidir. Metal esas olarak dövme bölgede radyal olarak büyük hızla akar (Qi, Z. Vd., 2014).

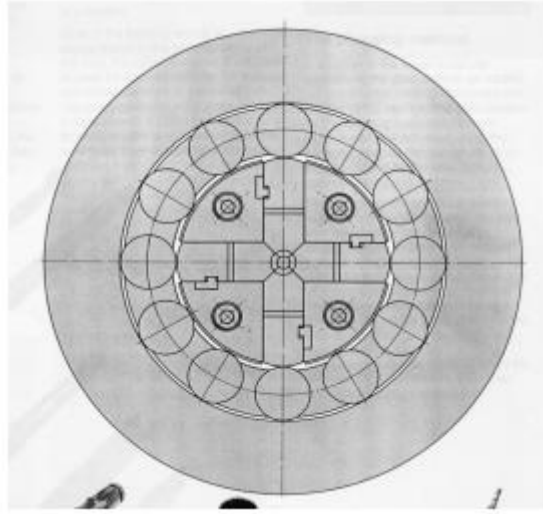
Sıvama teknolojisi, metal çubukların, tüplerin veya tellerin kesitlerini azaltmak için kullanılan bir biçimlendirme yöntemidir. DIN 8583'e göre açık kalıp dövme işlemlerine ve hassas şekillendirme işlemlerine aittir. İmalat sanayinin gelişmesiyle birlikte metal çubuklar ve borular otomobil, havacılık ve havacılık alanlarında daha fazla kullanılmaktadır. Özel bir radyal dövme türü olan döner dövme malzeme tasarrufu, tedarik süresinin azaltılması ve ürün kalitesinin artırılması gibi avantajları nedeniyle metal çubuk ve boru üretiminde rekabetçi bir plastik şekillendirme teknolojisi haline gelmiştir (Altan vd., 1983).

Döner dövme işleminde genellikle iş parçasının çevresinde eşit bir şekilde düzenlenmiş iki, üç, dört veya sekiz kalıp kullanılır (Şekil 2.16). Sıvama kalıpları iş parçasının etrafında döner ve aynı anda kısa vuruşlarla yüksek frekanslı radyal hareketler gerçekleştirir. Bu nedenle, çok yönlü dövme ve yüksek frekanslı yükleme yöntemi sayesinde tüp veya çubuk malzemesinde lokal düzgün boyutlanma oluşmaktadır (Qi, Z. Vd., 2014).

Şekil 2.15'de gösterildiği gibi, döner dövme, besleme işlemi ve girinti işlemesi işlemi olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Bu iki varyasyon arasındaki temel ayrım, iş parçasının kademeli olarak besleme kalıplarına beslenmesinin, besleme geçişi sırasında açık dövme kalıplarında konumlandırılırken besleme geçişi sırasında kalıpların girişinden aksel olarak kalmasıdır. Bu nedenle, besleme işlemi, iş parçasının bir ucundan boğulduğu durumlarda sıklıkla kullanılır. Girintili dövme işlemi genellikle iş parçasının belirli bir pozisyonunda çapı azaltmak veya içbükey bir profil oluşturmak için kullanılır (Qi, Z. Vd., 2014).



Şekil 2.15 Sıvamanın iki varyasyonu: (a) içeri besleme ve (b) girintili boşaltma (Qi, Z. Vd., 2014)



Şekil 2.16 Bir sıvama makinesi şematik diyagramı (Lin vd., 2002)

Döner dövme, boruların, çubukların veya tellerin hassas şekilde şekillendirilmesi işlemidir (Kim vd., 2006). Karakteristik özelliklerden biri, oluşturulmuş iş parçalarının bitmiş şeklinin, işleme tabi tutularak veya sadece asgari miktarda ilave işleme tabi tutulmasıyla elde edildiği net-şekil-biçimlendirme işlemleri grubuna aittir (Anonim, 2019).

Dövme makinesinin şekillendirme kalıpları iş parçasının etrafında eşmerkezli olarak düzenlenir. Sıvama kalıpları kısa stroklu yüksek frekanslı radyal hareketler yapmaktadır (Qi, Z. Vd., 2014). Strok frekansları, makine büyüklüğüne bağlı olarak dakikada toplam 1,500 ila 10,000 arasındadır ve toplam strok uzunluğu 0,2 ila 5 mm arasındadır. Kalıpların radyal hareketleri çoğu eşzamanlı uygulama içindir. Genellikle bir kalıp seti dört kalıp bölümünden oluşmaktadır. Uygulamaya ve makinenin boyutuna bağlı olarak, alternatif olarak iki, üç, altı veya özel durumlarda sekiz ölüme kadar takımlar kullanılabilir (Anonim, 2019).

Kalıplar arasındaki boşluklarda uzunlamasına çapak oluşumunu önlemek için, kalıplar ile iş parçası arasında göreceli bir dönme hareketi vardır. Geçişli kalıplar iş parçası etrafında döner veya alternatif olarak iş parçası kalıplar arasında dönmektedir. Dairesel olmayan formların üretimi için kalıplar ve iş parçası dönme hareketi olmadan durağandır (Anonim, 2019).

Döner dövme, salınımlı biçimlendirmenin birçok küçük işlem adımında gerçekleştiği, artımlı bir biçimlendirme işlemidir. Sıvama işleminin sürekli şekillendirme işlemlerine göre avantajlarından biri homojen malzeme oluşumudur. Döner hızlandırma, malzemenin deforme olabilirliğinin enine kesit üzerinde eşit bir şekilde dağılmasından dolayı sadece bir işlem basamağında çok yüksek şekillendirme oranları sağlamaktadır (Anonim, 2019).

Artımlı biçimlendirme işleminin bir başka avantajı da minimize edilmiş sürtünmedir. Kalıplar ve iş parçası arasındaki temas süresi çok kısadır. Temas sırasında sadece küçük bağıl hareketler vardır. Çapraz kuvvetler, iş parçasının esnekliği ile telafi edilmektedir. Bu nedenle döner dövme, yağlama için boşluk üzerinde herhangi bir yüzey işlemine ihtiyaç duymaz, ancak esas olarak bir soğutucu madde olarak işlev gören kapalı bir döngüde yağ kullanmak ve makinenin içini temizlemek yeterlidir (Anonim, 2019).

Ulaşılabilir toleranslar son derece sıkıdır, bu nedenle çoğu durumda nihai işleme gerekmemektedir. Bu, önemli miktarda malzeme tasarrufu sağlar ve düşük parça fiyatlarına yol açarak üretim aşamalarını azaltmaktadır. (Anonim, 2019).

Döner dövme çok sayıda farklı dış ve iç form üretebilmektedir. Geleneksel üretim yöntemlerine karşı döner dövme ile genel olarak %30- %50'ye kadar ağırlık tasarrufu sağlanabilmektedir (Anonim, 2019).

Malzemenin kesintisiz akışı, indirgmeden kaynaklanan iş sertliği ile birlikte iş parçasının mukavemetini artırmaktadır. Yırtılmış yüzeylerin kalitesi zemin yüzeyleri seviyesindedir (Anonim, 2019).

Döner dövme, sıcak şekillendirme gerektirmeden yüksek şekillendirme oranları sağlamaktadır. Şekillendirme sırasındaki stresin elverişli dağılımı ve homojen işleme süreci aynı zamanda kırılğan malzemelerin oluşmasına izin vermektedir (Anonim, 2019).

Döner dövme, soğuk, yarı-sıcak ve sıcak sıcaklık aralığında malzemeleri şekillendirebilmektedir (Anonim, 2019).

Döner dövme makinelerinin kısa değişim süreleri vardır. Sıvama kalıpları ve makine ayarı birkaç dakika içinde değişmektedir. (Anonim, 2019).

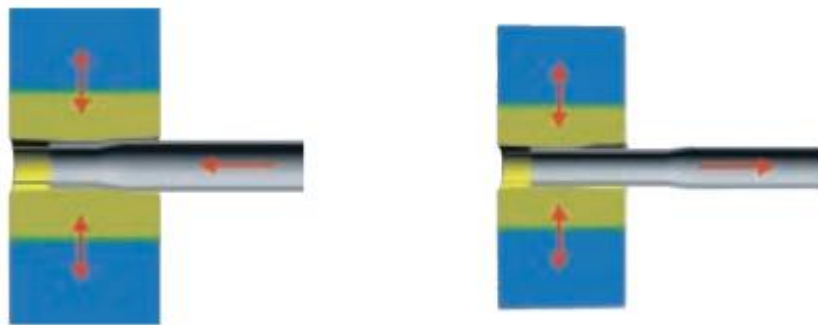
Döner dövme makinelerinin yapımı, verimli çok istasyonlu transfer hatları için çeşitli işleme modüllerinin kombinasyonuna izin verir, böylece net şekilli parçalar yüksek çıktılarla üretilebilmektedir. Sağlam ve bakımı kolay yapı yüksek verimlilik oranları sağlamaktadır (Anonim, 2019).

2.3.1 Sıvama metotları

Sıvama metotları temel olarak aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir.

2.3.1.1 Beslemeli sıvama metodu

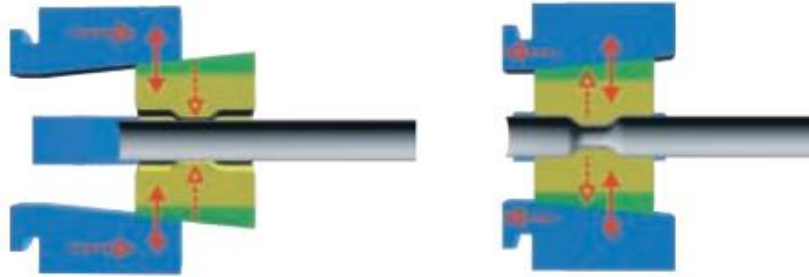
İş parçası, salınlı kalıplar boyunca sabit bir hızda aksel olarak beslenmektedir. Şekillendirme enerjisinin çoğu, kalıpların konik bölümünde yoğunlaşmıştır (Şekil 2.17). Kalıpların silindirik kısmı, azaltılmış kesitin kalibrasyonu için kullanılmaktadır. Besleme, kalıplar açıldığında, silindirlerin arasındaki boş alanda grevcilerin olduğu yerlerde gerçekleşmektedir. Çarpma kafası, grev ve kalıplar arasında kalibrasyon şimleri ile donatılmıştır. Azalan silindirik çapın uzunluğu üzerinde bir sınır yoktur (Vollertsen vd., 2013).



Şekil 2.17 Beslemeli sıvama örneği (Anonim, 2019)

2.3.1.2 Girintili boşaltma sıvama metodu

Radyal salınımlara ek olarak, kalıplar daha büyük bir radyal kapanma ve açılma hareketi yapmaktadır. Besleme işlemi ile mümkün olandan çok daha dik eğim açıları üretilebilmektedir. Girintili boşaltma sıvamasına aynı zamanda dalma sıvaması da denmektedir (Şekil 2.18). Girintili boşaltma sıvaması aynı zamanda iş parçası uçları arasında çap düşümüne de izin vermektedir. Oluşan enerji, konik ve silindirik alanlarda yoğunlaşmaktadır. Dalma yöntemi genellikle besleme hızına ve daha yüksek makine kuvvetlerine göre daha fazla enerji gerektirmektedir. Şekillendirme alanının uzunluğu, kalıpların uzunluğu ile sadece dalma sıvaması kullanıldığında makinenin sağlayabileceği şekillendirme enerjisiyle sınırlıdır. Tüm dalma dövme makineleri, vurucular ve kalıplar kapalı kalırsa, eksenel besleme dövme makineleri olarak da kullanılabilir. Ayrıca, daldırma dövme makineleri, besleme ve dalma dövme işleminin birleşik bir işlemi için kullanılabilir. İş parçası açılan kalıplar arasına yüklenerek, kalıplar içeri daldırılıp ardından iş parçası kapalı kalıplar boyunca eksenel olarak hareket ettirilebilir. Bu yöntem, iş parçası uçları arasında uzunluk kısıtlaması olmadan azalma sağlamaktadır (Vollertsen, 2019).



Şekil 2.18 Girintili boşaltma (dalma) sıvama örneği (Anonim, 2019)

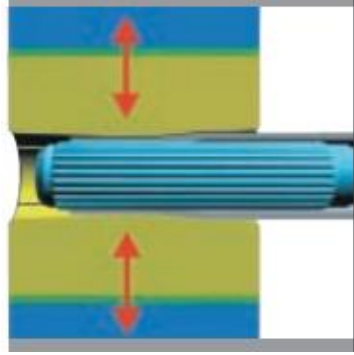
2.3.1.3 Malafasız sıvama metodu

Malzeme, şekillendirme sırasında radyal ve eksenel yönde akar. Çaptaki azalma, duvar kalınlığında ve iş parçasının uzunluğunda bir artış yaratmaktadır. Bir serbest radyal malzeme akışı durumunda duvar kalınlığı artışı hesaplanabilmektedir (Anonim, 2019).

Bu araştırmada kullanılacak sıvama metodu, malafasız beslemeli sıvama metodudur.

2.3.1.4 Malafalı sıvama metodu

Yakın toleranslı iç profiller silindirik, konik veya basamaklı olabilen bir malafa kullanılarak üretilebilir (Şekil 2.19). Bir malafa üzerinde gezinmek, spline, dairesel olmayan formlar, helisel formlar, vb. iç profillerin üretimine izin vermektedir (Anonim, 2019).



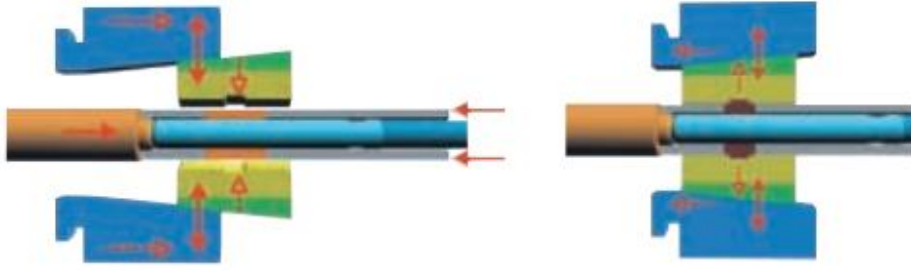
Şekil 2.19 Malafalı sıvama örneği (Anonim, 2019)

2.3.1.5 Sıcak sıvama metodu

Diğer bir parametre olarak, verim stresini azaltmak için işleme daha fazla biçimlendirme sıcaklığı eklenebilir. Şekillendirme sıcaklığı tercihen, ölçek oluşturma sınırının altındaki yarı sıcak aralıkta seçilir. Isıtma işlemi, üretim döngüsü içerisinde endüktif yöntem ile gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2019).

2.3.1.6 Şişirmeli sıvama metodu

İş parçasının bir kısmı, verim gerilmesinin azaldığı tanımlanmış bir alan elde etmek için ısıtılır (Şekil 2.20). Standart sıvama işlemi aksenal kuvvetlerle birleştirilir. Bu, duvar kalınlığını dışarıya ve / veya içeriye artırarak enine kesit alanı olan iş parçası bölümlerinin üretimine izin verir (Anonim, 2019).



Şekil 2.20 Şişirmeli sıvama örneği (Anonim, 2019)

2.4 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanabilir Isıl İşlemler

Alüminyum, özel özellik kombinasyonundan dolayı metaller arasında eşsiz bir yere sahiptir (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Her ikisi de ısıl işlem görmüş ve ısıl işlem görmeyen alaşımlar kategorilerine ayrılan iki ana sınıflandırma vardır; bunlar alaşım dökümleri ve dövme alaşımlarıdır (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Dolayısıyla yukarıda açıklandığı gibi (Bkz. Çizelge 2.5), 1xxx ila 8xxx serisi alaşımları, ısıl işlem göremeyen veya ısıl işlem görülebilir olarak sınıflandırılmaktadır (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Çizelge 2.5 Isıl işlem uygulanabilir olan ve olmayan alaşımlar (Dağdelen ve Ulus, 2016)

| SINIFLANDIRMA | ALAŞIMLAR |
|-----------------------------|--|
| Isıl İşlem Uygulanamayanlar | 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx, 8xxx serisi alaşımları |
| Isıl işlem Uygulanabilirler | 2xxx, 6xxx, 7xxx serisi alaşımları |

Alüminyum alaşımları, çökelme sertleşmesine tepki verip vermediklerine bağlı olarak, ısıl işlem görülebilir veya ısıl işlem görmemiş olarak sınıflandırılır. Isıl işlem görmüş alaşımlar, alaşım elementlerinin saf alüminyuma eklenmesiyle de üretilmektedir. Bu elemanlar, bileşik magnezyum silisitini (6xxx serisi) ve çinko (7xxx serisi) oluşturabilen bakır (2xxx serisi), magnezyum ve silikonu içermektedir (MacKenzie, 2018).

Isıl işlem görebilen alaşımlar, azalan sıcaklıkla çözünebilirlikte azalan ve dengesini aşan konsantrasyonlarda odadaki katı çözünebilirliği ve fraksiyonel olarak daha yüksek sıcaklıklarda bulunan elementleri içermektedir (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Normal bir ısıl işlem döngüsü, çözünebilirliği en üst düzeye çıkarmak için yüksek sıcaklıkta bir çözelti içerir, ardından hem çözünen elementler hem de boşluklarla süper doygun hale getirilmiş katı bir çözelti elde etmek için hızlı bir şekilde soğutulur veya düşük bir sıcaklığa soğutulur (Dağdelen ve Ulus, 2016).

1xxx - 3xxx ve 5xxx serisi alaşımları ısıl işlem görmeyen ana alüminyum için tasarlanmıştır (Anonim, 2018). Bu alaşımlar saf alüminyum alaşımlarından (1xxx serisi), manganez alaşımlarından (3xxx serisi), silikon alaşımlarından (4xxx serisi) ve magnezyum alaşımlarından (5xxx serisi) oluşmaktadır (Davis, 1993).

2.4.1 Kondisyonlar

2.4.1.1 Tanımları

Alaşım tanımlarını anladıktan sonra, herhangi bir spesifik alaşımdaki bir ürünün fiziksel özellikleri için tanımlandığı çeşitli kondisyon ve kondisyon kodları (Bkz. Çizelge 2.4, Çizelge 2.5, Çizelge 2.6) hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir (Singh, 2011).

Çizelge 2.6 Temel kondisyon tanımları (Singh, 2011; GTÜ,2018)

| KONDÜSYON | TANIM |
|------------------|--|
| F | Fabrikasyon hali - Kontrollü bir gerilme sertliği veya ısıtıl işlem yapılmamıştır. Belirtilen mekanik özellikler yoktur ve güç seviyeleri büyük ölçüde değişebilir. |
| O | Sertliği ve kuvveti azaltmak için tamamen tavlanan bu dövme ürünler, en yüksek süneklik temperidir. |
| H | Sadece gerinim sertleştirilmiş dövme ürünler içindir. Mukavemette bir miktar azalma sağlamak için, ilave ısıtıl işlemlerle veya bunlar olmadan, gerilme sertleşmesi ile kuvvetin artırıldığı yerler. (H'yi her zaman iki veya daha fazla rakam izler.) |
| W | Solüsyon ısıtıl işlem görmüştür. Çözelti ısıtıl işleminden sonra sadece oda sıcaklığında kendiliğinden yaşanan aşımara uygulanabilen dengesiz bir temperleme, bu atama sadece doğal yaşlanma süresi belirtildiğinde spesifiktir. |
| T | F, O veya H dışındaki stabil temperleri üretmek için ısıtıl işlem uygulanmıştır. T'yi her zaman bir veya daha fazla basamak izler. |

Çizelge 2.7 Gerilmiş sertleştirilmiş dövme alüminyum ve alüminyum alaşımları için temper tanımlama sistemi (Singh, 2011; GTÜ, 2018)

| TEMPER | TANIM |
|--------|---|
| H12 | Gerinim sertleştirilmiş - 1/4 sert. |
| H14 | Gerinim sertleştirilmiş - 1/2 sert. |
| H16 | Gerinim sertleştirilmiş - 3/4 sert. |
| H18 | Gerinim sertleştirilmiş - 4/4 sert (tamamen sertleştirilmiş). |
| H19 | Gerinim sertleştirilmiş - ekstra sert. |
| Hxx4 | İlgili Hxx temperinden üretilmiş kabartma veya desenli tabaka veya şerit için geçerlidir. |
| Hxx5 | Gerinim sertleştirilmiş - kaynaklı borular için geçerlidir. |
| H111 | Germe veya dengeleme gibi sonraki işlemler sırasında tavllanmış ve hafif sertleşmiş (H11'den az) |
| H112 | Sınırlı bir soğuk iş miktarından yüksek bir sıcaklıkta çalışmaktan biraz zorlanır (belirtilen mekanik özellik sınırları). |
| H116 | % 4 veya daha fazla magnezyum içeriğine sahip ve bunun için mekanik özellik limitleri ve dökülme korozyon direncinin belirtildiği alüminyum-magnezyum alaşımları için geçerlidir. |
| H22 | Gerinim sertleştirilmiş ve kısmen tavllanmış - 1/4 sert. |
| H24 | Gerinim sertleştirilmiş ve kısmen tavllanmış - 1/2 sert. |
| H26 | Gerinim sertleştirilmiş ve kısmen tavllanmış - 3/4 sert. |
| H28 | Gerinim sertleştirilmiş ve kısmen tavllanmış - 4/4 sert (tamamen Sertleştirilmiş). |
| H32 | Gerinim sertleştirilmiş ve stabilize - 1/4 sert. |
| H34 | Gerinim sertleştirilmiş ve stabilize - 1/2 sert. |
| H36 | Gerinim sertleştirilmiş ve stabilize - 3/4 sert. |
| H38 | Gerinim sertleştirilmiş ve stabilize - 4/4 sert (tamamen sertleştirilmiş). |
| H42 | Gerinim sertleştirilmiş ve boyalı veya vernikli - 1/4 sert. |
| H44 | Gerinim sertleştirilmiş ve boyalı veya vernikli - 1/2 sert. |
| H46 | Gerinim sertleştirilmiş ve boyalı veya vernikli - 3/4 sert. |
| H48 | Gerinim sertleştirilmiş ve boyalı veya lake - 4/4 sert (tamamen sertleştirilmiş) |

Çizelge 2.8 “T” kondisyonunun çeşitleri (Singh, 2011; GTÜ, 2018)

| KONDÜSYON | TANIM |
|-----------|---|
| T1 | Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden soğutulur ve doğal olarak önemli ölçüde stabil bir duruma yaşanır. |
| T2 | Yüksek bir sıcaklıkta şekillendirme işleminden soğutulduktan sonra soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış |
| T3 | Solüsyon ısı işlem görmüş, soğuk işlenmiş ve doğal olarak yaşlandırılmıştır. Gücü arttırmak için soğuk olarak işlenmiş veya düzleştirme veya düzleştirme işleminde soğuk işin etkisinin mekanik özellik sınırlarında tanındığı ürünler için geçerlidir. |
| T4 | Solüsyon ısı işlem görmüş ve doğal yaşlandırılarak önemli ölçüde stabil bir duruma getirilmiştir. Solüsyon ısı işleme tabi tutulduktan sonra soğuk işlenmemiş ya da düzleştirme veya düzleştirme işleminde soğuk işin etkisinin mekanik özellik sınırlarında tanınmayabileceği ürünler için geçerlidir. |
| T5 | Yapay olarak yüksek sıcaklıkta bir şekillendirme işleminden soğutulduktan sonra yaşlandırılır. |
| T6 | Solüsyon ısı işlem görmüş ve yapay olarak yaşlandırılmıştır. |
| T7 | Solüsyon ısı işlem görmüş ve stabilize edilmiştir. Büyüme ve kalıntı stresin kontrolünü sağlamak için onları maksimum dayanma noktasının ötesine taşıyacak şekilde stabilize edilmiş ürünler için geçerlidir. |
| T8 | Solüsyon ısı işlem görmüş, soğuk işlenmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış. |
| T9 | Solüsyon ısı işlem görmüş, yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiştir. |
| T10 | Yüksek bir sıcaklıkta şekillendirme işleminden soğutulduktan sonra soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış |

2.4.2 Isıl İşlem Süreci:

Hem işlenmiş hem de dökülmüş alüminyum alaşımlarına ısı işlem terimi, çökme sertliği ile mukavemeti ve sertliği arttırmak için kullanılan spesifik işlemlerle sınırlıdır. Bu nedenle ısı işlem terimi, ısı işlem görebilen alaşımları, ısıtma ve soğutma ile mukavemet iyileştirme sağlanamayan alaşımlardan daha değerli kılmaktadır (Dağdelen ve Ulus, 2016).

2.4.2.1 Tavlama

Sünekliği arttırırken mukavemeti ve sertliği azaltan bir işlem olan tavlama, a ayrıca ısıı işlem görmeyen ve ısıı işlem görmüş dövme ve döküm alaşımları için de kullanılabilir (Campbell, F., 2011).

Soğuk işlenmiş alüminyum alaşımları yeterince uzun bir süre için yeterince yüksek bir sıcaklığa ısıtılırsa tavlama işlemi gerçekteştirilebilir. Tavlama işlemi 3 farklı bölüme ayrılmaktadır: gerilim giderme, yeniden kristalleşme ve tanecik büyütme. İyileşme sırasında, soğuk iş nedeniyle oluşan iç gerilimler, bir miktar güç kaybı ve bir miktar süneklik kazanımı ile azalır. Yeniden kristalleşme sırasında, yeni deforme olmayan çekirdekler oluşur ve yeni bir yeniden kristalize edilmiş tane yapısı oluşturmak için birbirlerine çarpıncaya kadar büyür (Funatani, K. ve Totten, G., 2000).

2.4.2.2 Çözeltili ısıı işlemi

Su verme:

Su verme, elementlerin katı çözeltilerde kalmasını sağlayan asgari soğutma oranının üzerinde olan kritik soğutma hızından daha yüksek bir hızda gerçekteştirilen bir soğutma işlemidir (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Su verme işlemi genellikle ısıı işlem görmüş metalin soğuk suya batırılması veya üzerine yüksek akış hızlarında akıtılması ile gerçekteştirilmektedir (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Yaşlandırma:

Yaşlanma, süper doygunluğun, ince bir şekilde dağılmış bir çökelti üretmek için katı sıcaklığın altında ısıtıldığı aşamadır. Atomlar bu yaşlanma sıcaklığında sadece kısa mesafeleri yayılırlar (Anonim, 2012).

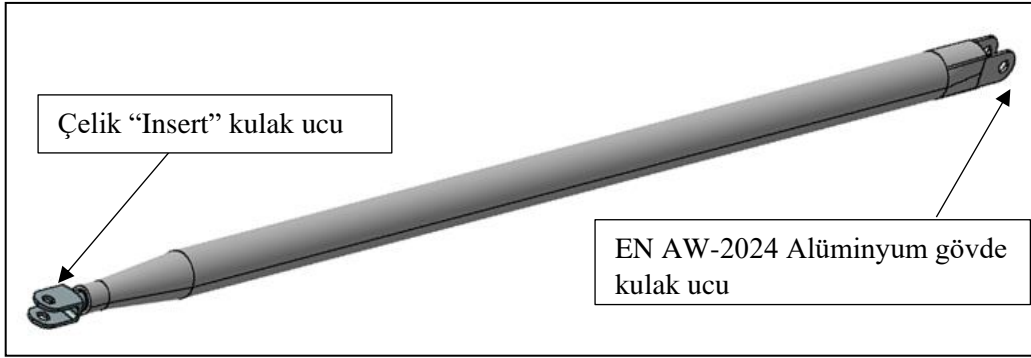
Yaşlanma süreci farklı tekniklerde de mevcuttur: Doğal yaşlanma ve yapay yaşlanma (Dağdelen ve Ulus, 2016).

Isıl işlem görmüş alüminyum alaşımlarında GP-bölgesi oluşumu ile birlikte doğal yaşlanma ve tutarsız yağışla ortaya çıkan yapay yaşlanma olarak kabul edilmiştir (Fransson, C., 2009).

Yapay yaşlanma, bir metal alaşımının, döküm ve dövme işleminin bir sonucu olarak bir alaşımın özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri hızlandırmak için yüksek sıcaklıklarda muamele edilmesidir. Doğal yaşlanma, oda sıcaklığında meydana gelir (Vasudevan ve Doherty, 1989).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Giriş bölümünde anlatıldığı gibi “Push Rod” parçalarının alüminyum alaşımdan yapılmış boru şeklinde bir gövde ve “Insert” ya da “Clevis” adı verilen iki temel detay parça kullanılmaktadır. Bu çalışmanın ana konusu “Push Rod” parçalarının EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyum alaşımından yapılan gövde kısmında boru kalınlık ölçü gerekliliğini sağlayabilmek için uygulanan bu proje için üretim geliştirme çalışması yapılan şişirme prosesi, sıvama prosesi ve bu proseslerin sonucunda oluşan mikro çatlakların önlenmesidir. Bilgi güvenliği hususundan dolayı parçaların tam teknik resmi veya tam ölçüleri paylaşılacaktır. Sadece uygulanan proseslerin uygulanma nedeni oluşturan kısmı ölçüler ve yapılan deneylerde kullanılan ölçüler paylaşılmıştır.

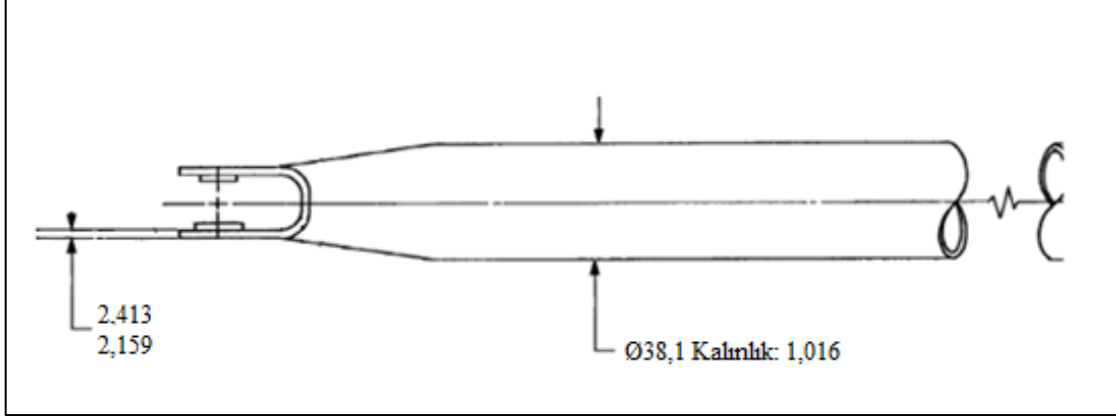


Şekil 3.1 “Push Rod” parça resmi

Öncelikle Şekil 3.1’de gösterilen “Push Rod” parçasında EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyum gövde kulak ucu olarak tanımlanan kısım için teknik resimde verilen kulak kalınlığının borunun kendi kalınlığından fazla olmasından dolayı borunun uç kısmının duvar kalınlığının artırılması çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 3.2’de ki boru “Push Rod” teknik resminden alınmış kısmi olarak gösterilmiş duvar kalınlığı ve kulak kalınlığı ölçüsüdür. Türk genel maksatlı helikopterindeki tüm “Push Rod” parçaları için farklı çapta ve farklı kalınlıklarda tüp ham malzemesi gereklidir. Bu çalışmada tüm “Push Rod” parçaları için kullanılan ve geliştirilen üretim yöntemlerini temsil edecek şekilde seçilmiş bir parça üzerinden gidilecektir. Bu parça için kullanılan ham

malzeme ASTM B210 standardına uygun $\text{Ø}38,1$ mm ve 1,016 mm kalınlığında EN AW-2024 alüminyumdur.

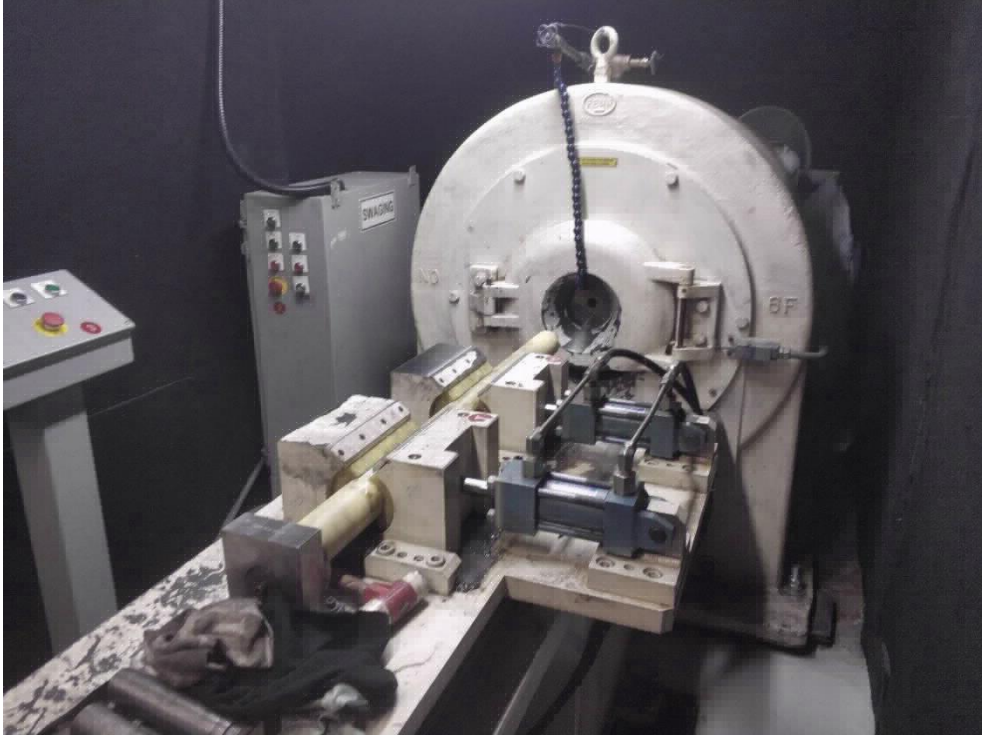


Şekil 3.2 Üretim geliştirmesine sebep olan ölçü gereklilikleri

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere duvar kalınlığı 1,016 mm olan bir borudan nominal ölçüsü 2,286 mm kalınlığında kulak şeklindeki yapıyı elde etmemiz gerekmektedir. Daha önceden ALP HAVACILIK bünyesinde çeşitli saç şekillendirme işleri yapılmıştır fakat bunun gibi ham malzemenin kalınlığında artış gerektiren hiçbir çalışma yapılmamıştır. Bu sebepten dolayı “Push Rod” parçalarının imalatı için resimdeki gerekliliği sağlayabilecek bir üretim yöntemi geliştirilmesi gerekmektedir.

3.1 Şişirmeli Sıvama Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma

Bölüm 2’de anlatılan şişirmeli sıvama yöntemiyle boru sıvanarak borunun uç kalınlığının artırılması hedeflenmiştir. Özel bir kalıpla borunun altına dayanacak bir malafa ile sıvama esnasında borunun sıvama makinesinin itmesine karşı hareketi malafa tarafından engellenerek kalınlığın içeri doğru artması beklenmiştir. Bu işlem sonucunda kalınlıkta artışı 1,22 mm kalınlığına ulaşmıştır fakat bu kalınlıktan sonra kalıbın içinde burkulmuştur ve kullanılamaz hala gelmiştir. Elde edilen 1,22 mm kalınlığı parçanın imalatı için tamamen yetersiz olduğundan dolayı birkaç denemeden sonra bu yöntemle yeterli kalınlığın elde edilemeyeceği anlaşılmıştır ve yeni bir yöntem arayışına girilmiştir.



Şekil 3.3 Kullanılan sıvama tezgahı



Şekil 3.4 Sıvamayla şişirme için kullanılan kalıp

3.2 Boru Ucu Şişirme Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma

Bölüm 2, başlık 2.2’de anlatılan içsel tüp şişirme yöntemi kullanılarak şişirme denemeleri yapılmıştır. Bu yöntemde kullanılmak üzere ALP HAVACILIK bünyesinde yapılan bir indüksiyonlu ısıtıcı kullanılmıştır. Şişirme prosesi daha önceden ALP HAVACILIK’ta yapılmadığı için bu proses için herhangi bir makine veya aparat yoktur. Bu işlemi için hidrolik pres ve üç ayrı aparat tasarlanarak şişirme denemelerine başlanmıştır. Bu aparatlar; tutucu fikstür, şişirme kalıbı ve malafadır.

Tutucu fikstür, boru ısıtılıp uç kısmından malafa yardımıyla malzeme yığdırılırken borunun kalıp içinde hareket etmemesini sağlamaktadır (Şekil 3.5). Tutuculuğu artırmak için boru yüzeyiyle temas edeceği iç yüzeyi kumlanmıştır.



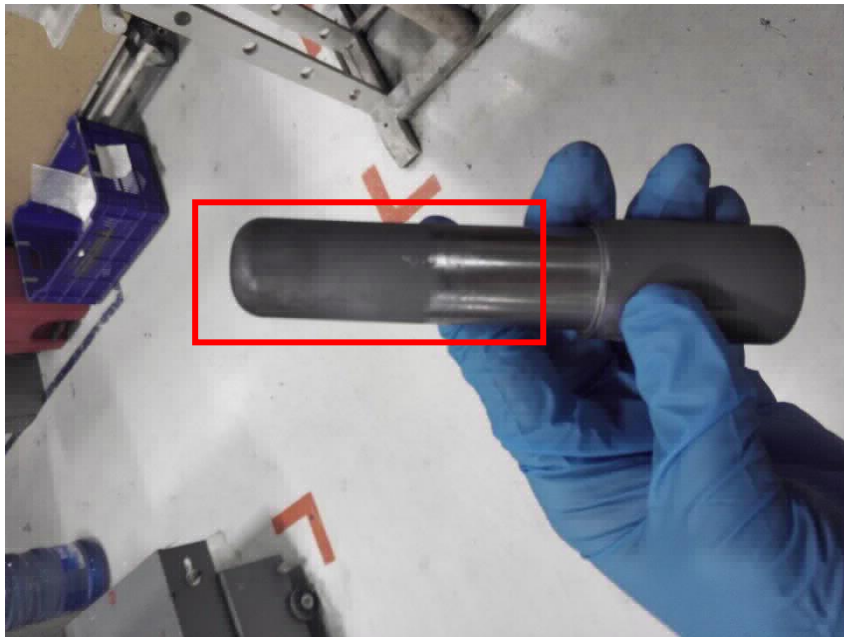
Şekil 3.5 Tutucu fikstür

Şişirme fikstürünün iki görevi vardır. Birincisi malzemenin dış çapını sınırlar ve kalınlık artışının içeri doğru olmasını sağlar. İkincisi ise şişirilecek boru alüminyum alaşımı olduğundan indüksiyonla ısıtılması mümkün değildir. Bu yüzden şişirme kalıbı AISI 4340M indüklenebilir malzemedен yapılmıştır. Önce bu kalıp ısınır ve şişirilecek boruyu ısıtır. Şişirme işleminin gerçekleşeceği sıcaklık EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyumun dövme sıcaklığı olan 450°C’dir.



Şekil 3.6 Şişirme kalıbı

Şekil 3.6’da kırmızı kutucuk içinde gösterilen deliğin içine ısıtım fırınlarında kullanılan termokupl kablosu sokulur. Bu sayede sıcaklığın 450°C’ye ulaştığı ölçülür ve hemen ardından presle basınç uygulanır.



Şekil 3.7 Malafa

Borunun duvar kalınlığındaki artış, borunun içine giren malafanın çapıyla kontrol edilir. Malafa borunun iç çapına sokulur ve fatura kısmından borunun alnıyla temas eder. Borunun çıkarılacağı kalınlığı malafanın borunun iç çapına giren Şekil 3.7’de kırmızı kutucuk içinde gösterilen çap belirler. Bu çap ile şişirme kalıbının iç çapı arasında kalan mesafe borunun şişirme işlemi sonrası ulaşacağı kalınlıktır.

Şişirme işleminde yapılan ilk denemelerde kalıplar ve parça arasında yüzeydeki sürtünmeyi azaltacak herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. Denemeler sonucu parça kalıbın içinden ya çıkarılamamış ya da çok zor çıkarılmıştır. Şişirilen borunun yüzeyinde çizikler görülmüştür, buna bağlı olarak içinde karbon tozu içeren homojen bir şekilde yüzeyde kayganlaştırıcı sağlayan kuru ve ince bir yağlayıcı kullanılmıştır.

Şişirme işlemi için boru hazırlanırken borunun ucuna şişirme kalıbı takılır ve hemen altına tutucu fikstür bağlanır.

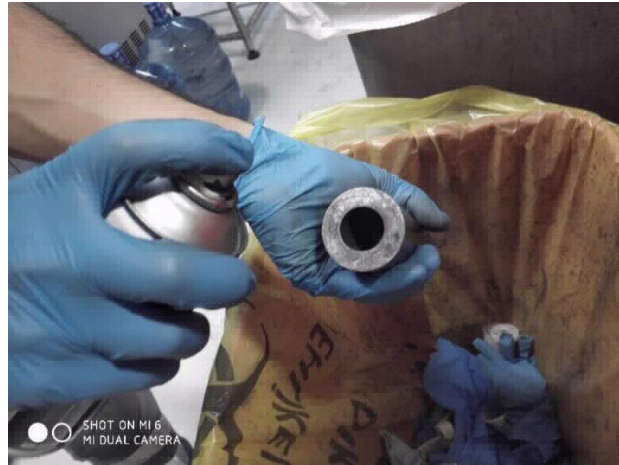


Şekil 3.8 Tutucu fikstürün bağlama bölgesinin belirlenmesi

Tutucu fikstürle boru bağlandıktan sonra şişirme kalıbı tekrar çıkarılır, malafa, şişirme kalıbının içi ve şişirilecek boru parçasının iç ve dış yüzeyi ince film yağ tabakasıyla kaplanır.



Şekil 3.9 Boru yüzeylerine kuru film yağlayıcı uygulanması

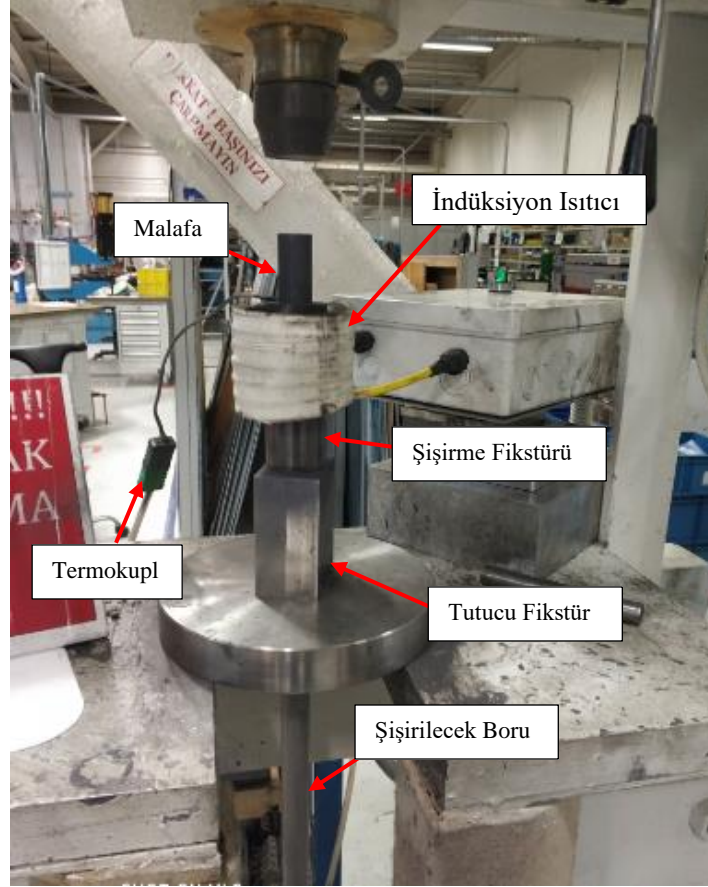


Şekil 3.10 Şişirme kalıbının kuru film uygulaması



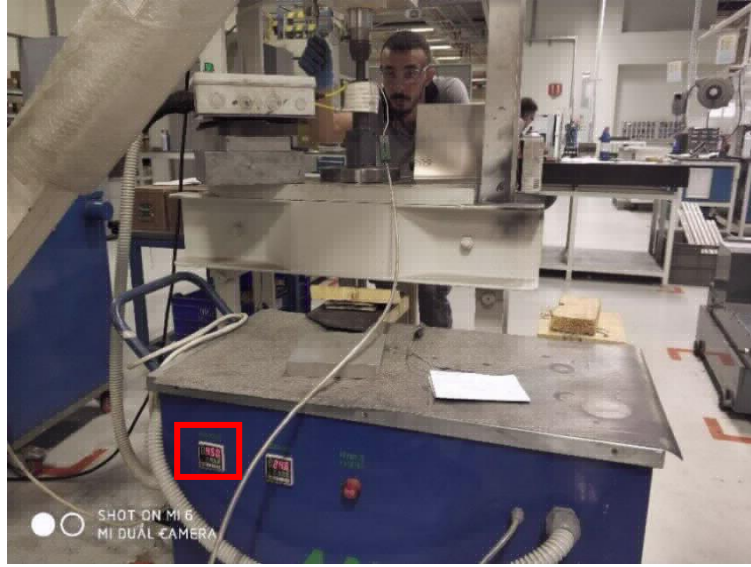
Şekil 3.11 Malafanın kuru film uygulaması

Tüm kuru film uygulamalarından sonra aparatlar bağlanır ve şişirme prosesinin uygulanması için hidrolik prese Şekil 3.12’de gösterildiği gibi yerleştirilir.



Şekil 3.12 Şişirme işlemi için platform oluşturulması

Şekil 3.12’de gösterildiği gibi tüm aparatlar, şişirilecek boru ve hidrolik pres bir şişirme platformu haline getirilir ve indüksiyonlu ısıtıcı çalıştırılarak prosese başlanır.



Şekil 3.13 Şişirme uygulaması

Şekil 3.13’de kırmızı kutucukla gösterilen göstergedeki değer 450°C ’a ulaştığında hidrolik pres yardımıyla malafa itilerek borunun uç şişirme işlemi gerçekleştirilir. Malafanın alını şişirme kalıbıyla aynı hizaya gelene kadar presle basınç uygulanır. Malafa tamamen şişirme kalıbının içine girdiğinde pres uygulaması tamamlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Şişirme işlemi sonrası kurulumun durumu

Şişirme işlemi tamamlandıktan sonra tüm aparatlar sökülerek boru şişirme kalıbının içinden çıkarılmasıyla şişirme işlemi tamamlanmış olur. Mevcut sistemden dolayı aparatlar sökülmeden önce kalıpların oda sıcaklığında soğuması beklenmektedir.

3.3 Malafasız Beslemeli Sıvama Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma

Kalınlık artırmayı mümkün kılan yöntemlerden biri Başlık 2.3.1.1’de anlatıldığı gibi beslemeli sıvama yöntemidir. Hedeflenen durum iç çapı kontrol etmek yerine kalınlığı artırmak olduğu için malafa kullanılmamıştır. Teknik resimde herhangi bir sıvama gösterilmediği için sıvama yaptıktan sonra sac şekillendirme ve işleme metoduyla sıvama gizlenmiş, sıvama sonrası çap düşümü anlaşılamayacak hale getirilmiştir. Başlık 4.2’de daha detaylıca açıklama yapılacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Boru Ucu Şişirme Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma Deneyi

Şişirme prosesinde yapılan ilk denemelerde borunun duvar kalınlığını 2,54 mm'ye çıkarmak hedeflenmiştir ve bunun için birçok şişirme kalıbı ve malafa imal edilmiştir. Borunun ham malzeme kalınlığı 1,016 mm olduğundan ve hedeflenen 2,54 mm kalınlığı bunun 2,5 kat fazlası olduğundan dolayı yapılan denemelerde kalınlık değişim bitiş noktasında oluşan gerilme yığılmasından dolayı burkulmalar gözlenmiştir.

EN AW-2024 (AlCu4Mg1) alüminyumun dövme sıcaklığı olan 450°C'dir. Şişirme işlemi de temelinde bir dövme işlemi olduğu için bu sıcaklık seçilmiştir. Yukarıda bahsedilen burkulmaların olması sonucunda burkulmaları engellemek adına sıcaklık ve hidrolik pres basıncında değişiklikler yapıp Çizelge 4.1'de bahsedilen denemeler yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Sıcaklık ve basınç parametrelerin belirlenmesi için yapılan deneyler

| Sıcaklık (°C) | Hidrolik pres ile uygulanan basınç (MPa) | | | |
|---------------|--|----|-----|-----|
| | 50 | 80 | 110 | 150 |
| 420 | a | a | a | c |
| 450 | a | a | b | b |
| 480 | a | a | d | d |

a: Malafa yolunu tamamlayamamıştır.
b: Malafa yolunu tamamlamıştır, malzemedeki ergime görülmemiştir.
c: Malafa yolunu tamamlamıştır, malzeme ve kalıp sıkışmıştır.
d: Malafa yolunu tamamlamıştır, malzeme ergimiş ve kalıpla sıkışmıştır.

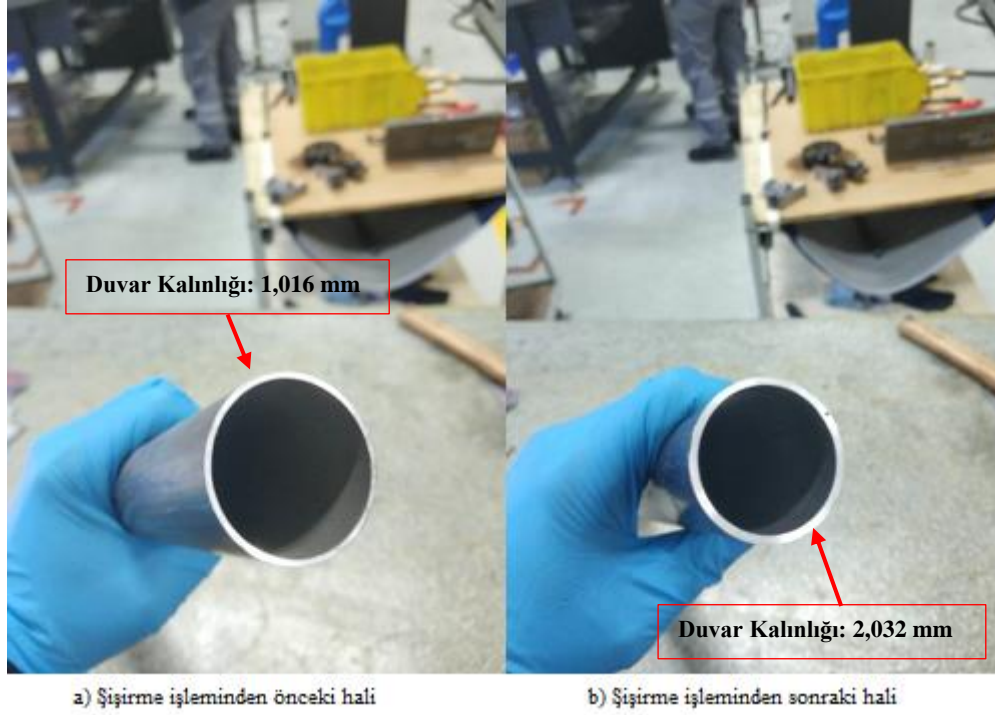
Çizelge 4.1'de yapılan deneyler sonucunda sıcaklık ve basınç parametrelerinin değiştirildiğinde şişirme işlemi için en uygun koşulun EN AW-2024 (AlCu4Mg1) malzemesinin dövme sıcaklığı olan 450°C'de ve 110 MPa basınçta gerçekleştirildiği görülmüştür.

Denemelerde kullanılan hidrolik presin piston hızı sabit, 0,012 m/s'dir. Hızın sabit olmasından dolayı yapılan bu deneylerde piston basma hızı bir parametre değildir.

Yapılan literatür taramaları sonucu başlık 2.2.1 şişirme prosesleri limitleri kısmında anlatılan içsel şişirme yönteminde maksimum şişirme oranının 2 olduğu belirtilmiştir. Bunun üzerine Çizelge 4.2'de belirtildiği gibi farklı kalınlıklarda ve çaplarda, kalınlığını maksimuma çıkaracak şekilde şişirme kalıbı ve malafa tasarımı gerçekleştirilerek her bir deney için en az iki adet deneme yapılmak suretiyle şişirme denemeleri yapılmıştır. Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi sonuç olarak literatürde belirtilen, içsel şişirme yönteminde maksimum şişirme oranının 2 olduğu doğrulanmıştır. Bu bilgi ışığında Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da görüldüğü gibi yapılan tüm şişirme denemelerinde sonuç olumlu olmuş, duvar kalınlığını 2 katından fazlasına çıkarma denemelerinin tümü başarısız olmuştur.

Çizelge 4.2 Yapılan şişirme deneyleri

| ÇAP (mm) | DUVAR KALINLIĞI (mm) | 1. DENEY | 2. DENEY | 3. DENEY | 4. DENEY | 5. DENEY |
|---|----------------------|----------|----------|-----------------------------|----------|----------|
| Ø25,4 | 1,067 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 0,889 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,245 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,27 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,397 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,473 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| Ø31,44 | 1,245 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,27 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,397 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| Ø37,21 | 0,889 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,016 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,219 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| Ø38,1 | 0,889 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,016 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,245 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| Ø31,75 | 0,889 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| | 1,245 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X |
| 1. DENEY: Duvar kalınlığını 1,5 katına çıkarma deneyidir. 2. DENEY: Duvar kalınlığını 1,7 katına çıkarma deneyidir. 3. DENEY: Duvar kalınlığını 2 katına çıkarma deneyidir. 4. DENEY: Duvar kalınlığını 2,5 katına çıkarma deneyidir. 5. DENEY: Duvar kalınlığını 2,1 katına çıkarma deneyidir. | | | | ✓: Başarılı X: Başarısız | | |



Şekil 4.1 Şişirme işlemi sonra çalışma borusunun durumu



Şekil 4.2 Şişirme işlemi sonrası borunun dış yüzeyi

Başarısız olan deneylerin hepsinde Şekil 4.3'de kırmızı dairenin içerisinde gösterildiği gibi burkulma, katlanma, yarananma vb. önlenemez ya da düzeltilemez şekilsel hatalar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3 Başarısız şişirme denemesinde görülen şekilsel hatalar

Çalışmaya konu olan temsili parçamızın çapı $\text{Ø}38,1$ mm ve duvar kalınlığı 1.016 mm'dir (Bkz. Şekil 3.2). Çizelge 4.2'de açıklandığı gibi parçanın kalınlığını en fazla 2 katına yani 2.032 mm'ye çıkarılabilmektedir. Teknik resim gerekliliği olarak bu şişirmenin nominal 2,286 mm olması gerekmektedir. Yapılacak sac şekillendirme ve işleme işlemleri düşünüldüğünde ayrıca daha sonraki başlıkta anlatılacak mikro çatlak sorununun çözümü düşünüldüğünde parçamızın final halinde Şekil 3.2'de gösterilen nominal 2,286 mm ölçüsünü elde edebilmek adına kalınlığın en az 2,54 mm'ye çıkarılması gerekmektedir. Bu durum kalınlık artırma işlemi için yalnız başına şişirme prosesinin yetersiz olduğunu ve bunun üzerine başka bir proses ekleyerek kalınlığı 2,032 mm'den 2,54 mm'ye çıkarma gerekliliğini oluşturmuştur.

4.2 Malafasız Beslemeli Sıvama Yöntemiyle Duvar Kalınlığı Artırma Deneyi

Kalınlık artırmayı mümkün kılan yöntemlerden biri Başlık 2.3.1.1'de anlatıldığı gibi beslemeli sıvama yöntemidir. Hedeflenen durum iç çapı kontrol etmek yerine kalınlığı artırmak olduğu için malafa kullanılmamıştır. Teknik resimde herhangi bir sıvama gösterilmediği için sıvama yaptıktan sonra sac şekillendirme ve işleme yoluyla sıvama gizlenmiş, sıvama sonrası çap düşümü anlaşılacak hale getirilmiştir. Sıvamanın

gerçekleştirileceği çap ve ulaşmaya çalışan yaklaşık kalınlık aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$t = \left(\left(\left(\frac{D}{d} - 1 \right) * 0.8 \right) + 1 \right) * T * 25,4 \quad (3.1)$$

t : Sıvama sonrası kalınlık

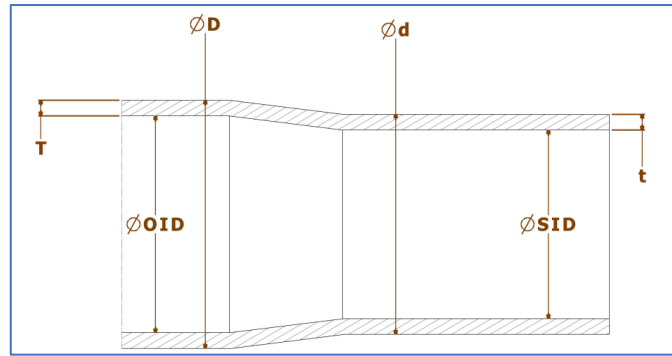
T : Sıvama öncesi kalınlık

D : Sıvama öncesi dış çap.

d : Sıvama sonrası dış çap

OID : Sıvama öncesi iç çap (Bkz. Şekil 4.4)

SID : Sıvama sonrası iç çap (Bkz. Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Sıvama hesabı

Sıvama öncesi ham malzeme olarak kullandığımız borunun çapı önce bahsedildiği gibi 38,1 mm ve 1,016 mm'dir. Şişirme işlemi sonrası kulağın oluşacağı ucun kalınlığı 2,032 mm'ye çıkarılmıştır.

Yukarıdaki denklem kullanarak yapılan birkaç hesaplamadan sonra sıvanacak en ideal çapın 25,4 mm olduğu görülmüştür. Çapı 38,1 mm ve kalınlığı 2,032 mm'ye ulaşmış boruyu 25,4 mm'ye sıvadığımızda elde edeceğimiz yeni kalınlık denklem 3.1'e göre 2,845 mm olacaktır. Bu da gerekli kulak yapısını oluşturmaya yeterdir. Borunun çapını 25,4 mm'ye sıvayabilmek için kalıp tasarlanmış ve yaptırılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Sıvama işlemi için yaptırılan kalıp

$$t = \left(\left(\left(\frac{1,5}{1} - 1 \right) * 0,8 \right) + 1 \right) * 0,08 * 25,4 = 2,845 \text{ mm}$$



Şekil 4.6 Sıvama sonrası çap düşümü

Sıvama sonrası borunun kalınlığı 2,845 mm'ye artırılan ucunun iç çapı tornalama işlemiyle 2,413 mm kalınlığına getirilir. Kalınlığın 2,413 mm'den daha fazla artırılmasının nedenine bir sonraki bölümde değinilecektir. Bu işlem sonrası iç çapta düzgün bir yüzey oluşturulmuştur. Sonrasında freze işlemiyle yarık açılarak (Şekil 4.7) hidrolik preste sac şekillendirme işlemiyle (Şekil 4.8) resimde gösterilen kulak yapısını oluşturmak için alt yapı hazırlanır (Şekil 4.9).



Şekil 4.7 Yarık açma operasyonu sonrasında görünüş

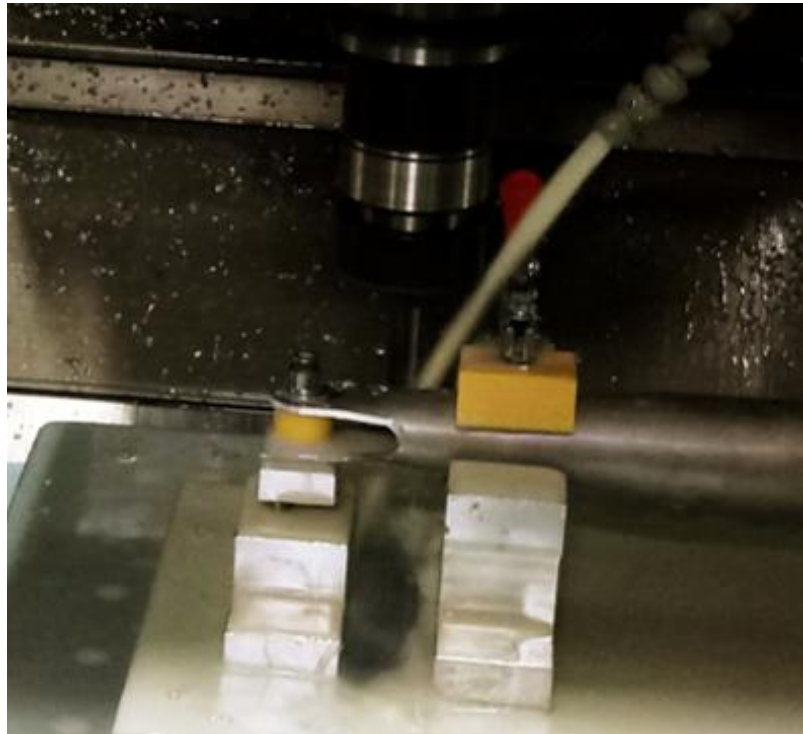


Şekil 4.8 Hidrolik preste kulak açma operasyonu



Şekil 4.9 Kulak açma operasyonu sonrası parçalarda görünüm

Şişirme ve sıvama yöntemiyle kalınlığı artırılan borunun sac şekillendirme işleminden sonra talaşlı imalat yoluyla kulak geometrisi tamamen oluşturulur (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.10 Talaşlı İmalat ile Kulakların Formunun İşlenmesi



Şekil 4.11 Tamamen oluşturulan kulak geometrisi

4.3 Şişirme ve Sıvama İşlemleri Sonrası Mikro Çatlak Oluşumu ve Önlenmesi

Şişirme, sıvama, sac şekillendirme ve işleme proseslerinden borunun özel prosesler hariç tüm ana prosesleri tamamlanmıştır. Boru özel prosesler öncesi son şekline kavuşmuştur ve çatlak kontrolü için floresan penetrant muayenesine sokulmuştur. Çatlak muayenesi sonrası oluşturulan kulan yüzeyinde şekilde görüldüğü gibi kabul edilemeyecek miktarda ve büyüklükte çatlaklar gözlenmiştir.



Şekil 4.12 Floresan penetrant muayenesinde görülen mikro çatlaklar

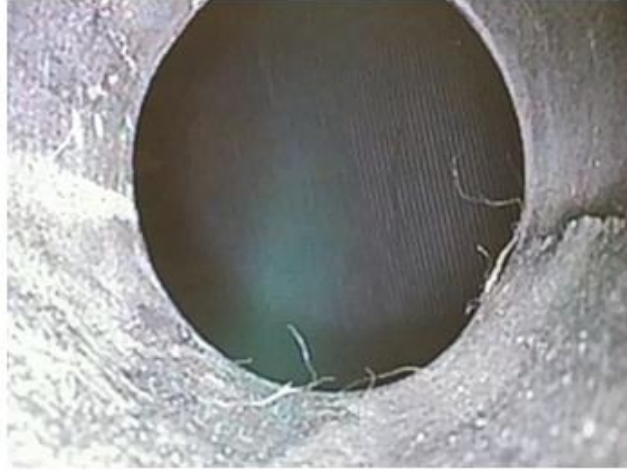
Uygulanan kalınlık artırma işlemleri sonuç vermiştir fakat bu süreçte mikro çatlak oluşumuna sebep olmuştur. Bu mikro çatlakların neden kaynaklandığını öğrenmek için birçok deneme yapılmıştır. Sadece şişirme prosesi uygulanan 7 adet deneme borusu çatlak muayenesine sokulmuştur ve herhangi bir çatlak olmadığı gözlemlenmiştir. Sadece sıvama

yapılan boru çatlak muayenesine sokulmuştur ve herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. Şişirme prosesiyle kalınlık artışının gerçekleştirildiği uca sıvama prosesi uygulanan 16 adet boru çatlak muayenesine sokulmuştur ve hepsinde çatlak oluşumu gözlenmiştir. Şişirme ve sıvama proseleri ardı ardına uygulanması mikro çatlak oluşumuna sebebiyet vermektedir. İşlemler başlı başına incelendiğinde çatlak oluşumunun muhtemel iki sebebi vardır. Bu iki sebep, şişirme işlemi sonrası borunun kondisyonunda oluşan kararsız yapı, şişirme işleminden sonra borunun iç yüzeyinin portakal kabuğu biçimindeki yüzey kalitesizliği ve bu portakallaşmış yüzeyin sıvama sonra çap daralması ve boyca uzaması nedeniyle mikro çatlak gibi hareket etmesidir.



Şekil 4.13 Boru ucu şişirildikten sonra boru iç yüzey görünüşü

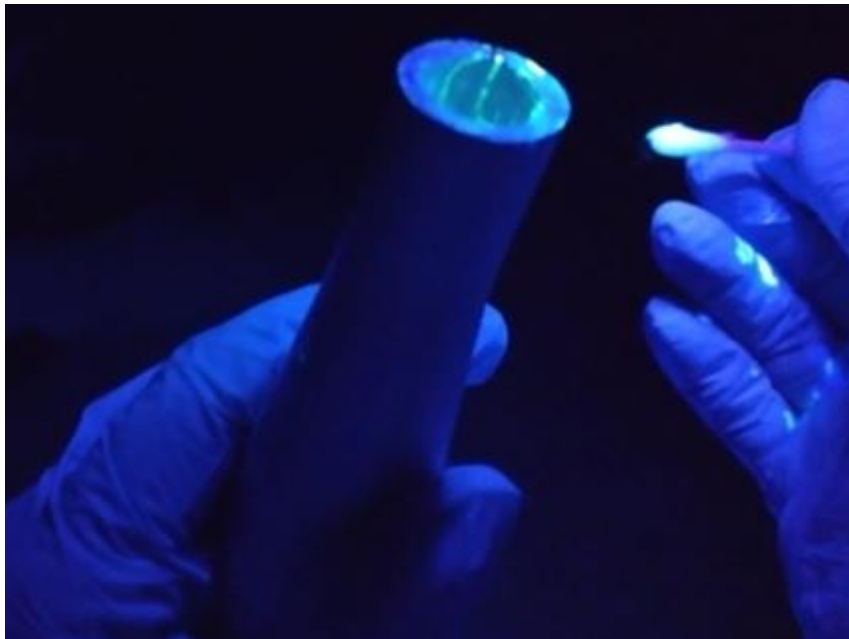
Şişirme prosesinde borunun boyu kısılır ve şişirilen ucun kalınlığı artar. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi şişirme işlemi 450°C’de gerçekleştirilmiş ve borunun kalıbın içinden çıkarılabilmesi için borunun kalıpla beraber havada soğuması beklenmiştir. Kullanılan boru EN AW-2024 (AlCu4Mg1) “O” kondisyonunda alüminyum malzeme olmasına rağmen bu sıcak şekillendirme işlemi şişirilen bölgenin kondisyonunu standart olmayan kararsız bir yapı haline getirmektedir. Lokal olarak gerçekleştirilen sertlik ölçümleri sonucu bu kararsız kondisyonadaki bölgenin sünekliliğinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden sıcak şekillendirme sonrası yapılan soğuk şekillendirme işlemi, yani sıvama prosesini uyguladığımızda malzemenin soğuk şekillendirmeye olan direnci artmıştır. Şekillendirilebilme özelliği azalan malzemede mikro çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 4.14 Derin çatlak kontrolü esnasında çatlak gözlenmesi

Şişirme işleminden sonra sıvama işlemine geçilmeden yarı mamul halindeki boruya başlık 2.4.2.1’de anlatılan tavlama işlemi AMS2770 standartlarına göre uygulanarak malzeme tekrar “O” kondisyonuna çekilmiştir. Bu işlem sonrasında lokal olarak kararsız yapıya bürünen bölgenin şekillendirilebilme özelliği maksimuma çıkarılmıştır.

Isıl işlemle tavlanan boruyu sıvama işleminden geçirdikten sonra floresan penetrant muayenesi uygulanmıştır. Derin çatlakların tamamen yok olduğu gözlenmiş, yüzeysel olarak küçük çatlaklar görülmüştür.



Şekil 4.15 Çatlak kontrolü esnasında yüzeysel çatlak gözlenmesi

Önceki bölümde anlatılan kalınlık artırma işleminde kalınlığın 2,845 mm kadar çıkarılmasının sebebi bu yüzeysel çatlakların talaşlı imalat yöntemiyle yok edilmesini sağlamaktır. Talaşlı imalat metoduyla kalınlığın 2,413 mm'ye getirilerek, yani cidarda 0,432 mm kadar paso kaldırılarak yüzeysel olarak görülen çatlaklarda temizlenmiştir.

Mikro çatlak sorunu bu şekilde çözüldükten sonra bir önceki bölümde bahsedilen kulak geometrisi oluşturma prosesleri gerçekleştirilerek detay boru üretimi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Mikro çatlakların önlenmesi sonrası floresan penetrant muayenesi

Bu yapılan çalışma sonrası mekanik prosesleri başarıyla tamamlanan “Push Rod” parçalarına özel prosesler uygulanarak final durumuna getirilerek üretim tamamlanmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 ALP HAVACILIK T-70 Dinamik Komponentleri ve İniş Takımları İlk Ürün Teslim Töreni “Push Rod” Parçaları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Push Rod” helikopterlerde uçuş yönünü uçuş kontrol komutlarını mekanik olarak ilgili bölüme kadar aktaran ünitelerdir. Pilot mahallinden, pilot uçuş kontrol komutlarını mekanik olarak ileterek helikopterin palelerin açısını ve yönünü ayarlamak için kullanılırlar. Genel olarak bu parçalar helikopterlerde uçuş emniyet sınıfında değerlendirilirler.

Bu çalışma kapsamında ülkemizde çokta yaygın olmayan şişirme işleminin, özellikle EN AW-2024 “O” kondisyonundaki alüminyum malzemesi üzerinde gerçekleştirilmesi hususunda gerekli teknik bilgi ve beceri kazanılmıştır. Özellikle havacılık ve savunma sanayinde bu imalat metodunun, daha başka projelerde de kullanılabileceği düşünüldüğünde yapılan bu çalışmanın ülkemize sağladığı katma değer çok büyüktür.

Havacılık, savunma ve otomotiv sanayinde uygulanan, malzemeyi plastik olarak deformasyona uğratan ve bir soğuk şekillendirme olan sıvama prosesinin kalınlık artışına olan etkisi incelenmiştir. İncelemenin sonucu sıvamanın kalınlığı artırma özelliği kontrollü olarak kullanılarak ve şişirme prosesiyle birleştirilerek “Push Rod” detay tüp parçalarının imalatındaki karşılaşılan en büyük engel ortadan kaldırılmış ve sonucunda üretim gerçekleştirilebilmiştir.

Ayrıca çalışmada sıcak şekillendirmenin malzemeye etkileri ve ardından yapılan soğuk şekillendirme işlemi sonucu ortaya çıkan mikro çatlak problemi incelenmiştir. Projenin konusu olan “Push Rod” parçalarının uçuş güvenlik parçası olması sebebiyle literatürde belirtilen ısı işlem yöntemleri global standartlara uygun şekilde gerçekleştirilerek ortaya çıkan negatif etkiler ve mikro çatlak problemleri çözülmüştür.

Türk Genel Maksatlı Helikopter projesi kapsamında “Push Rod” parçalarının imalatlarının ülkemizde gerçekleştirilmesi için bu tezde yapılan tüm çalışmalar ALP HAVACILIK’ta gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucu alınan olumlu sonuçlar ve elde edilen kazanımlar ışığında tüm “Push Rod” sistemindeki bütün parçaların ilk ürün imalatı gerçekleştirilebilmiştir. Bu sayede Türk Genel Maksatlı Helikopterimizde ülkemizin iş payı artmış ve yerli olarak ürettiğimiz parçalara bir ürün grubu daha katılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adams, 2016, <https://fsmdirect.com/bending-folding/press-brake-tooling/333-joining-technology-drives-new-space-endeavors>, erişim tarihi: 20.11.2019
- Aerospace Specification Metals (ASM), 2017, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T4>, erişim tarihi: 21.11.2019
- Altan, T., Oh, S.I., Geogel, H., 1983. Metal forming fundamentals and applications, American Society for Metals, p.84-128
- American Society for Metals, 1985, “Metals handbook”, American Society for Metals, p.30-39,
- Anderson, J., 2004, Inventing Flight: The Wright Brothers and Their Predecessors, Johns Hopkins University Press, p.3
- Anonim, 2012, <https://metallurgyfordummies.com/precipitation-hardening.html>, erişim tarihi: 20.12.2019
- Anonim, 2015, <https://www.unitedaluminum.com/united-aluminum-alloy-2024/>, erişim tarihi: 11.11.2019
- Anonim, 2016, <https://www.metalsupermarkets.com/history-of-aluminum-in-the-aerospace-industry/>, erişim tarihi: 10.12.2019
- Anonim, 2018, <http://www.alcotec.com/us/en/education/knowledge/techknowledge/understanding-the-alloys-of-aluminum.cfm>, erişim tarihi: 10.12.2019
- Anonim, 2019, <http://www.metalltechnik-menges.de/en/rotary-swaging/>, erişim tarihi: 11.11.2019
- Baumeister, T., Avallone, E., 1978, Marks' Standard handbook for Mechanical Engineers, 8th Ed, McGraw Hill Book Co, p.41-43,
- Bleakley, B., 2011, Dallas Aviation, Arcadia Publishing, p.27
- Blue, R., Naden, C., 1193, The U.S. Air Force, Millbrook Press, p.48
- Boyne, W., 2003, A Century of Flight, Popular Mechanics, 180, 12, 68-74
- Calle, L., 2009, Corrosion Control in the Aerospace Industry, Elsevier, p.195-224

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Campbell, F., 2011, Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials, Elsevier, p.200
- Dağdelen, E., Ulus, A., 2016, Aluminum Sheet Production: Heat Treatment of Aluminium and Temper Designations of Aluminium Alloys, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, 18th International Metallurgy & Materials Congress, p.681-684,
- Davis, 1993, ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, Materials Park, OH., p.579-664
- Fransson, C., 2009, Accelerated aging of aluminum alloys, M.Sc. thesis, Karlstads Universitet, 83 p. (published).
- Funatani, K., Totten, G., 2000, Heat Treating: Including Advances in Surface Engineering, an International Symposium in Honor of Professor Tom Bell, and Professor Jerome B. Cohen Memorial Symposium on Residual Stresses in the Heat Treatment Industry, ASM International, p.558-565
- Gibs-Smith, C., 1974, Flight Through The Ages, Crowell; First Edition edition, p.134
- Gebze Teknik Üniversitesi Alüminyum Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2018, <http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/2018/04/26/237/>, erişim tarihi: 20.03.2020
- Joseph, S., 2019, Material Marvels: Looking At The Evolution Of The Wing In Aircraft Innovation And Technology, <https://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2019/may/28/material-marvels-looking-evolution-wing-aircraft>, erişim tarihi: 20.03.2020
- Karavelioğlu, K., 1987, Computer aided design for tube upsetting, M.Sc. thesis, Middle East Technical University, 112 p. (unpublished)
- Kaushik, Y., Jawalkar, C., Kant, S., 2015, A Review on use of Aluminium Alloys in Aircraft Components, Article in i-manager's Journal on Material Science, 3, 3, 33-37
- Kim, H., Li, Y., Lee, S., 2006, Eco-materials processing & design VII: proceedings of the Conference of the 7th International Symposium on Eco-materials processing and Design, January 8-11 2006, Chengdu, China, TransTP, p.242-245
- Lamprecht, M., 1955, Upset Forgings Modern Methods and Design, Steel Processing, 41, 5, p.295-304, 6, p.367-374, 390-391

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lepage, J., 2009, Aircraft of the Luftwaffe, 1935-1945: An Illustrated Guide, Mc Farland & Company Inc., p.26
- Lin, H., Pillar, J., Deis, M., Combs, D., 2002, Analysis of rotary swaging tooling rolling contact fatigue and life improvement under service conditions, Lubrication Engineering, 58, 7, 24-28
- MacKenzie, S., 2018, Metallurgy of Heat Treatable Aluminum Alloys, ASM International, p.411-437,
- NASA, 2011, https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_924.html, erişim tarihi: 09.10.2019
- National Air and Space Museum, Linden, F., 2011, The Nation's Hangar, Smithsonian Book, p.189
- Saxe, D., 2006, Land and Liberty I: A Chronology of Traditional American History, Universal-Publishers, p.97
- Singh, R., 2011, Aluminium Rolling: Processes, Principles & Applications: Processes, Principles & Applications, McGraw Hill Education, p.14-20.
- Smithsonian National Air and Space Museum, 2016, <https://airandspace.si.edu/collection-objects/junkers-j-1-photograph>, erişim tarihi: 10.12,2019
- Tüzün, A., 2004, ANALYSIS OF TUBE UPSETTING, M.Sc. thesis, Middle East Technical University, 101 p. (published).
- Vasudevan, A., Doherty, R., 1989, Aluminum Alloys-Contemporary Research and Applications, Elsevier, p.47-50,
- Vollertsen, F., Zoch, H., Kuhfuss, B., Stock, H., Brinksmeier, E., vd., 2013, Micro Metal Forming, Springer, p.91-100
- Vollertsen, F., Zoch, H., Kuhfuss, B., Friedrich, S., Maass, P., vd., 2019, Cold Micro Metal Forming, Springer, p.45-48
- Qi, Z., Kaiqiang, J., Dong, M., Pengju, M., Jie, T., 2014, Rotary swaging forming process of tube workpieces, Procedia Engineering., 2337-2341
- Wright State University (WSU), 2016, <https://www.libraries.wright.edu/special/wrightbrothers/flyer/history>, erişim tarihi: 20.07.2019