

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKITARAK SIVAMA İLE İMAL EDİLMİŞ NAMLU MALZEMELERİNİN
KARAKTERİZASYONU

Umut Kağan KOLTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Alperen ACAR

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKITARAK SIVAMA İLE İMAL EDİLMİŞ NAMLU MALZEMELERİNİN
KARAKTERİZASYONU

Umut Kağan KOLTAN tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 24.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Alperen ACAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Alperen ACAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sinan ÖKTEM

Gebze Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğt. Üyesi Alperen ACAR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Akıtarak Sıvama ile İmal Edilmiş Namlu Malzemelerinin Karakterizasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığım, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Umut Kağan KOLTAN

İmza



Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü' nün 3335 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



Aileme

TEŞEKKÜR

“Akıtarak Sıvama ile İmal Edilmiş Namlu Malzemelerinin Karakterizasyonu” adlı çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış olup, 24.07.2019 tarihinde Dr. Öğr. Üyesi Alperen ACAR, Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ, Doç. Dr. Sinan ÖKTEM’den oluşan jüri önünde savunularak, oybirliği ile kabulüne karar verilmiştir.

Çalışmamın meydana gelme aşamasında ilgisini ve desteğini esirgemeyen, gerek raporlama sürecinde yapmış olduğum analizleri titizlikle inceleyen gerekse de diğer bilimsel çalışmalardan faydalanmam için kaynaklarını paylaşan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Özgen Ümit ÇOLAK ÇAKIR’a sonsuz teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Çalışma sürecim boyunca bu alandaki tecrübelerini benimle paylaşan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Alperen ACAR’a teşekkürlerimi sunuyorum.

Türkiye’nin makine imalatı ve metal şekillendirme alanında ilerlemesini sağlamak için AR-GE çalışmalarında öncülük eden ve yürütülen bilimsel çalışmalara maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, ayrıca bu tezin temelini oluşturan analiz değerlendirme raporları için gerekli fizibilite/altyapı imkanlarını sağlayan REPKON Makine ve Kalıp San. Ve Tic. A.Ş. yöneticileri saygıdeğer Azer Bey ve İbrahim KÜLEKÇİ Bey’e de teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak, bu süreçte bana manevi katkısını esirmeyen aileme de şükranlarımı sunuyorum.

Umut Kağan KOLTAN

ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
TABLO LİSTESİ.....	XI
ÖZET.....	XII
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.1 AA6061 İçin İşlem Parametrelerinin Üretilen Parça Üzerindeki Etkileri 1	
1.1.2 Sıcaklığın AZ80 Magnezyum Alaşımının Flowform İşlemi Üzerindeki Etkisi.....	3
1.1.3 Radyal Kuvvet Uygulayan Makara Açılarının İşlem Üzerinde Etkileri ...	3
1.1.4 Dairesel Kesitli Otomotiv Sanayi Ürünlerinin Flowform Yöntemi İle Üretimi.....	4
1.1.5 Isıl İşlemin Flowform İşlemi Üzerinde Etkileri.....	5
1.1.6 Flowform İşleminin FEM Üzerinde Modellenmesi.....	5
1.1.7 Inconel 718 Malzemenin Flowform Operasyonu	6
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	6
2 Flowform.....	7
2.1 Flowform Yöntemi.....	7
2.1.1 Flowform Yönteminin Kullanım Alanları.....	9
2.1.2 Flowform Yönteminin Avantajları.....	9
2.1.3 Flowform Makineleri	12
3 Namlu.....	16

3.1 Namlu Tipleri.....	16
3.1.1 Ağır Silah Namluları	16
3.1.2 Hafif Silah Namluları	17
1.2 Namluya Etki Eden Parametreler	17
3.2.1 Mekanik Etkiler	18
3.3 Yivli Namlu Özellikleri.....	20
3.4 Klasik Yöntemlerle Yivli Namlu İmalatı.....	21
3.4.1 Broşlama.....	21
3.4.2 Button Rifling.....	22
3.4.3 Radyal Dövme.....	23
3.4.4 Flowform Yöntemi İle Yivli Namlu	24
4 Testler	25
4.1 Flowform Öncesi ve Sonrası Malzeme Çekme Testi	25
4.2 Flowform Öncesi ve Sonrası Sertlik Ölçümleri	28
4.2.1 Flowform Öncesi (Preform) Sertlik Ölçümü.....	28
4.2.2 Flowform Sonrası Sertlik Ölçümü.....	29
5 Flowform Namlusu ile Klasik Namlu Karşılaştırması	33
5.1 Flowform Namlusu ile Klasik Namlu Mikro Yapı İncelemesi.....	33
6 Sonuç ve Öneriler	40
Kaynakça	42
Tezden Üretilmiş Yayınlar	43

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Flowform sonrası yüzeyde pullanmalar	2
Şekil 1.2	Flowform sonrası malzemede kırılma	2
Şekil 1.3	Farklı işlem parametrelerinde malzeme davranışı	3
Şekil 1.4	Makara açıları.....	4
Şekil 1.5	Otomotiv sektöründe kullanılan aktarma organı parçaları	5
Şekil 1.6	Flowform'un FEM modellemesi.....	6
Şekil 2.1	Flowform yöntemi.....	8
Şekil 2.2	Formlama öncesi ve sonrası parça boyundaki değişim.....	8
Şekil 2.3	Farklı alanlarda kullanılan flowform parçaları.....	9
Şekil 2.4	Flowform ile üretilmiş malzeme mikro yapı incelemesi.....	10
Şekil 2.5	Flowform makinesi	12
Şekil 2.6	Flowform makinesi makara grubu	13
Şekil 2.7	3 ve 6 eksenli flowform makara grupları	14
Şekil 2.8	Hatalı işlem sonucu ortaya çıkan flowform parçaları	15
Şekil 3.1	Yiv-set'in mermi üzerindeki etkisi	20
Şekil 3.2	Yiv-set'in sevk çemberi üzerine etkisi	21
Şekil 3.3	Sevk çemberi	21
Şekil 3.4	Broşlama ile namlu içerisinden talaş kaldırma	22
Şekil 3.5	Button rifling takımları.....	22
Şekil 3.6	Radyal dövme makinesi çalışma prensibi.....	23
Şekil 3.7	Flowform ile üretilmiş 40mm bomba atar namlusu.....	24
Şekil 4.1	Formlanmış ve formlanmamış parçaların çekme testi	25
Şekil 4.2	Çekme testi numuneleri.....	26
Şekil 4.3	Flowform namlusundan çekme numunesi üretim aşamaları 1.....	27
Şekil 4.4	Flowform namlusundan çekme numunesi üretim aşamaları 2.....	27
Şekil 4.5	Emco-Test DuraScan-20 mikrosertlik cihazı	28
Şekil 4.6	Flowform öncesi sertlik ölçümleri.....	29
Şekil 4.7	Flowform sonrası namlu kesiti batma görüntüleri	30

Şekil 4.8 Flowform sonrası sertlik ölçümleri	30
Şekil 4.9 Yiv-set üzerinde sertlik ölçümü batma görüntüleri	31
Şekil 4.10 Yiv-set kenarı sertlik ölçümü	2
Şekil 5.1 Olympus BX53M markalı metalürjik optik mikroskop	33
Şekil 5.2 Flowform işlem serbest cisim diyagramı	35
Şekil 5.3 Repkon namlusu dış,orta ve iç bölgelerin sertlik değerleri	37
Şekil 5.4 Klasik namlu dış,orta ve iç bölgelerin sertlik değerleri.....	37
Şekil 5.5 Yiv-set etrafında indent yapılan noktalar	38
Şekil 5.6 Repkon namlusu yiv-set sertlik değerleri.....	38
Şekil 5.7 Klasik namlu yiv-set sertlik değerleri.....	39
Şekil 5.8 Namlu yiv-set sertlik değerleri	39

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 Mikro yapı görüntüleri	34
Tablo 5.2 Yiv-set mikroyapı görüntüleri	36



Akıtarak Sıvama İle İmal Edilmiş Namlu Malzemelerinin Karakterizasyonu

Umut Kağan KOLTAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alperen ACAR

Flowform, günümüzde stratejik öneme sahip bir soğuk şekillendirme yöntemidir. 19. Yüzyılda Avrupa'da ortaya çıkan ve sonraki yıllarda ABD'ye de taşınan bu yöntem özellikle savunma sanayi ve uzay-havacılık alanlarında roket dış gövdesi, jet motoru güç aktarma organları, nükleer atık saklama kapları, yüksek basınç tüpleri gibi kritik parçaların üretiminde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Stratejik öneminden dolayı literatürde kısıtlı düzeyde bilgiye ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada günümüzde klasik yöntemlerle üretilen yiv-set'li namluların flowform yöntemi ile de üretilebileceği ve bu yöntemin namlu nişan hassasiyeti, namlu kullanım ömrü, ateşleme esnasında meydana gelen yüksek basınca dayanım gibi performans parametreleri açısından daha olumlu sonuçlar ortaya çıkaracağı savunulmuş, bu doğrultuda araştırmalar, analizler ve testler gerçekleştirilerek flowform yönteminin malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın yöntem bilgisi, namlunun imalatı ve test aşamaları 1978 yılında kurulmuş ve flowform yöntemleri üzerinde uzmanlaşmış olan REPKON Makine ve Kalıp San. ve Tic. A.Ş'e aittir.

Anahtar kelimeler: Akıtarak sıvama, namlu, formlama.



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Characterization of Gun Barrel Materials Manufactured by Flowform Method

Umut Kağan KOLTAN

Department of Mechanical Engineering

Master's Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Alperen ACAR

The subject of this study is to examine the effects of flow forming method in comparison to classical methods. Flow forming is a cold forming method that has strategic importance nowadays. Arising in Europe in 19th century and also being transferred to the U.S.A. ensuing years, this method has intensely been used in production of critical components such as missile outer casing, jet engine powertrain, nuclear waste containers and high pressurized tubes especially in the areas of defence industry and space-aeronautics. Due to the strategic importance of the subject, limited information could be reached. It has been argued in this study that groove barrels which are produced with classical methods in these days can also be produced with flow forming method and this method will have more positive consequences with regards to performance parameters e.g. barrel sighting sensitivity, barrel lifetime, resistance to high pressure occurred during firing. Accordingly, researches, analyses and tests have been conducted to examine the effect of flowform method on the materials. The method information of the study, production of the barrel and test processes belong to REPKON Makine ve Kalıp San. ve Tic. A.Ş. founded in 1978 and specialized in flow forming methods.

Keywords : Flowform, gun barrel, forming.



YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Flowform yöntemini konu alan bilimsel makaleler incelenmiştir. İşlem girdileri, makara açıları, sıcaklık, malzeme cinsi, ısıl işlem gibi parametrelerin flowform ile üretilen parçalar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Parametrelerin işlem ihtiyaçları ile örtüşmediği noktalarda iş parçası üzerindeki olumsuz etkileri gözlemlenmiş ve literatürdeki sebep-sonuç ilişkisinin REPKON firmasının geçmiş işlem denemelerinde elde etmiş olduğu tecrübelerle örtüştüğü tespit edilmiştir.

Flowform yöntemi oldukça eski bir yöntem olmasına karşın literatürde yeteri kadar detaylı bilgi elde edilememektedir. Stratejik önemine binaen bu yöntemi kullanan firma ve ülkeler yöntem bilgisini içeride tutarak yüksek maliyetlerle ve uzun sürelerde elde edilen işlem parametrelerinin, makine tasarım detaylarının yayılmasının önüne geçmek istemektedirler.

1.1.1 AA6061 İçin İşlem Parametrelerinin Üretilen Parça Üzerindeki Etkileri

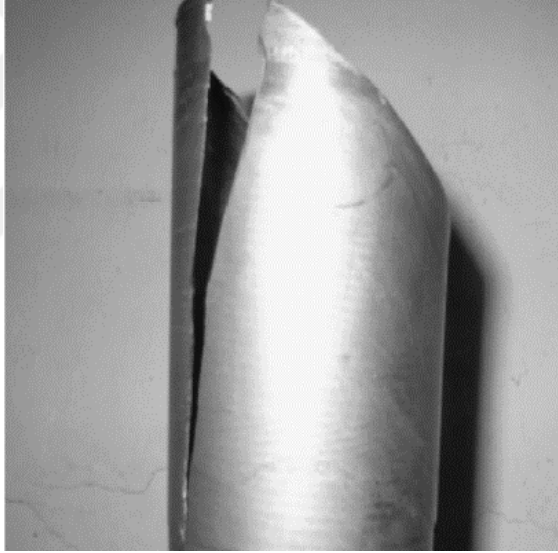
Davidson ve ark. (2008), A 6061 silindirik parça üzerinde farklı işlem parametreleri uygulayarak üretilen parçaları incelemiştir ve parametrelerin nihai ürüne etkilerini tespit etmişlerdir. Bu parametreler ilerleme hızı, redüksiyon oranı ve iş parçası ile kalıp arasındaki boşluk değerleridir.

İlerleme hızı için 30mm/dk -175 mm/dk aralığında deneme yapılmıştır ve 50mm/dk ilerleme hızında iç çapta genişleme, 100 mm/dk hızda yüzeylerde dalgalanma görülmüş ve en optimum ilerleme hızı olarak bu parça için 30 mm/dk tespit edilmiştir.

Redüksiyon oranı olarak iş parçasının et kalınlığında 1-5 mm aralığında inceltilmeye gidilmiştir ve 1 mm'de yüzeyde pullanmalar görülmüştür (Şekil 1.1) , 5 mm ye yaklaştıkça da malzeme üzerinde yer yer kırılmaların (Şekil 1.2) meydana geldiği görülmüş ve optimum değer 2mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.1 Flowform sonrası yüzeyde pullanmalar [1]



Şekil 1.2 Flowform sonrası malzemede kırılma [1]

İş parçası ile kalıp arasındaki boşluk çok az olması halinde, nihai parçanın kalıp üzerinden çıkartılması oldukça zorlaşmaktadır ve aynı zamanda sürtünmeden dolayı parçanın iç çapına ait yüzeyde çizilmeler meydana geldiği görülmüştür.

1.1.2 Sıcaklığın AZ80 Magnezyum Alaşımının Flowform İşlemi Üzerindeki Etkisi

Chao ve ark. (2015) 'hot flowforming' adı altında sıcaklığın flowform işlemi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada AZ80 magnezyum alaşımını 300-450 °C sıcaklıklar arasında işleme tabi tutarak (Şekil 1.3) malzemenin işlem esnasında ve işlem sonrasında gösterdiği davranışları incelemişlerdir. Mikro yapı incelendiğinde işlemin 420 °C en optimum değerlere ulaştığını, 420 °C altında ve üstünde malzemede çatlaklar kırılmalar meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

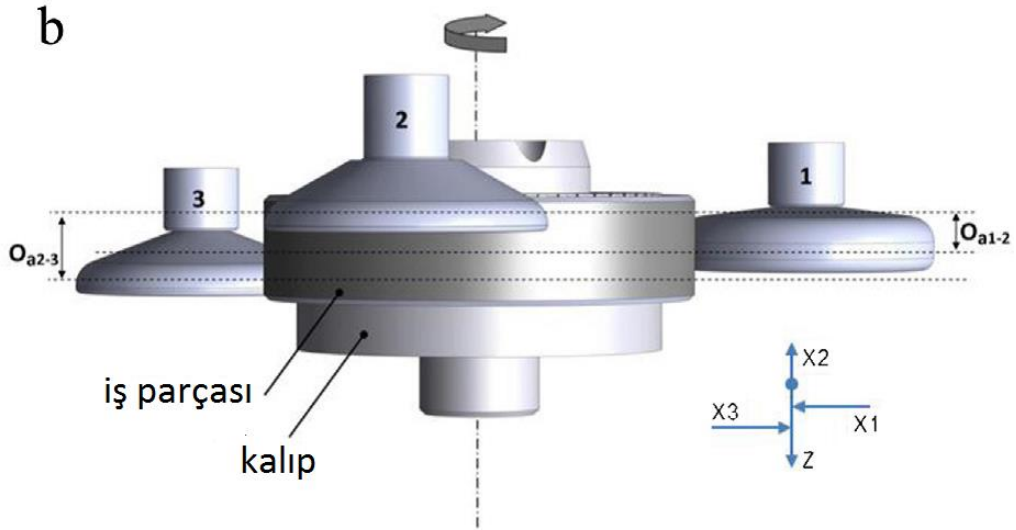
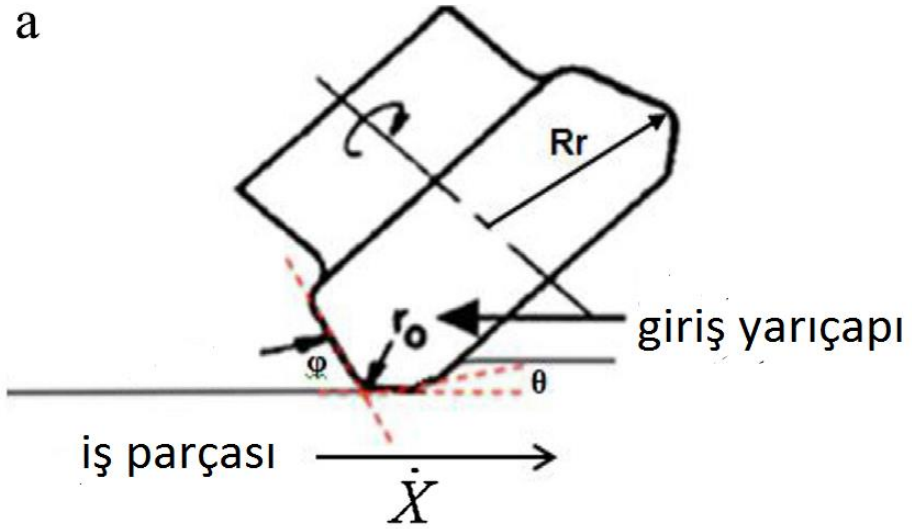
No.	Temperature (°C)	Spindle speed (rev/min)	Feed ratio (mm/rev)	Thickness reduction (%)	Result
1	300	400	0.1	30	Slightly cracked
2	350	400	0.1	30	Fine
3	420	400	0.1	30	Fine
4	450	400	0.1	30	Cracked
5	420	200	0.1	30	Fine
6	420	600	0.1	30	Cracked
7	420	400	0.05	30	Cracked
8	420	400	0.07	30	Fine
9	420	400	0.15	30	Fine
10	420	400	0.25	30	Cracked
11	420	400	0.1	15	Fine
12	420	400	0.1	45	Fine



Şekil 1.3 Farklı işlem parametrelerinde malzeme davranışı [2]

1.1.3 Radyal Kuvvet Uygulayan Makara Açılarının İşlem Üzerinde Etkileri

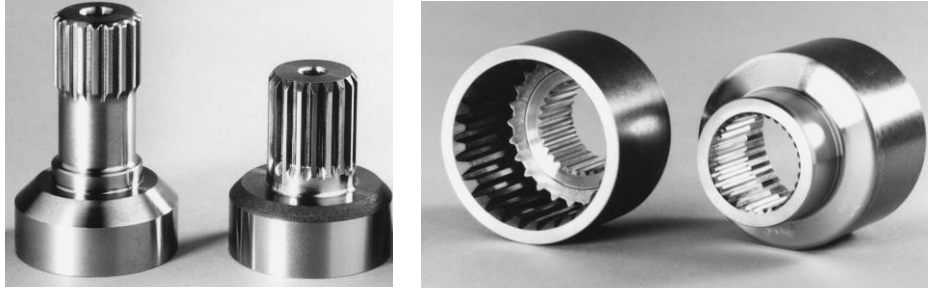
Vrien ve ark. (2015) bu çalışmada, parça üzerinde radyal kuvvet uygulayarak plastik deformasyonla şekillendirme sağlayan makaraların giriş açılarının işleme etkilerini araştırmıştır (Şekil 1.4). Toplam 4 farklı giriş açısı (8,10,15,20) ile işlem denemeleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde giriş açısı arttıkça şekillendirme makaralarının uygulaması gereken yük değerinin azaldığı fakat radyal kuvvetlerde meydana gelen salınım değerlerinin genliğinin arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 1.4 Makara açları [3]

1.1.4 Dairesel Kesitli Otomotiv Sanayi Ürünlerinin Flowform Yöntemi İle Üretimi

Nagele ve ark. (2000) bazı otomotiv parçalarının üretim sürecine flowform işlemini de dahil ederek maliyet, süre ve ağırlık optimizasyonu konusunda ne gibi gelişmeler olabileceğini incelemişlerdir. Bu çalışmada, tahrik mili flanşı, bağlantı mili (Şekil 1.5), yakıt enjeksiyon parçaları gibi parçaların üretim süreçleri değerlendirilmiştir ve optimizasyon yapılmak istenmiştir. Belirtilen otomotiv parçalarının her biri flowform yöntemi ile üretilebildiği tespit edilmiştir ve sonuçlar incelendiğinde özellikle maliyet ve imalat sürelerinin oldukça düştüğü görülmüştür.



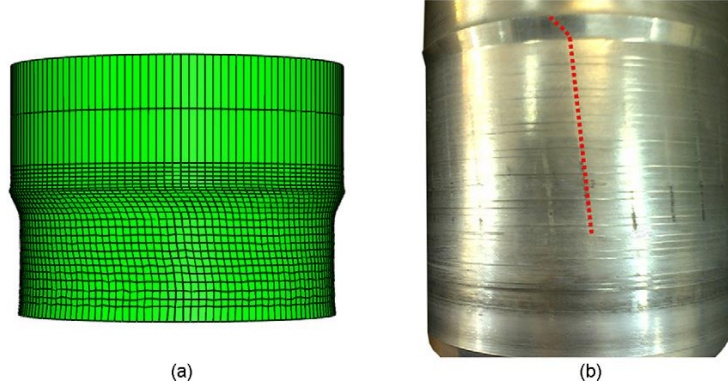
Şekil 1.5 Otomotiv sektöründe kullanılan aktarma organı parçaları [4]

1.1.5 Isıl İşlemin Flowform İşlemi Üzerinde Etkileri

Podder ve ark (2012) bu çalışmada AISI4340 çelik malzeme üzerinde farklı ısıl işlemler uygulayarak malzemelerin başlangıçtaki ve flowform işleminden sonraki özelliklerini karşılaştırılmıştır. Malzeme üzerinde 3 farklı ısıl işlem ayrı ayrı parçalarda uygulanmıştır. Bu ısıl işlemler, tavlama (ANN), küreselleştirme (spheroidizing) (SPH), sertleştirme- temperleme (HT) işlemleri. İşlem sonrasında her bir parçanın mikro yapıları incelenerek taneciklerin boyutları, yönlenmeleri ve fazları tespit edilmiştir. Ayrıca çekme dayanımlarındaki değişimler de karşılaştırılmaktadır, burada büyükten küçüğe doğru çekme dayanımlarının sıralaması HT-ANN-SPH olduğu görülmüştür.

1.1.6 Flowform İşleminin FEM Üzerinde Modellenmesi

Bu çalışmada Mohebbi ve Akbarzadeh (2010) flowform makinesi ile gerçekleştirdikleri (tek makaralı bir flowform işlemi) işlemi ABAQUS FEM programının Explicit modunda modellemek üzerine çalışılmıştır. Simülasyon sonunda üretilen parça üzerinden alınan ölçümler ile simülasyonda çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır ve deneysel sonuçlar ile bilgisayar ortamında çıkan sonuçların birbirine yakın olduğunu göstermişlerdir (Şekil 1.6). Ayrıca simülasyon üzerinden parça üzerinde oluşan gerilmelerin yönlerini ve niteliklerini de tespit edebilmektedirler (kesme yükünün yalnızca uzunlamasına değil enine kesitte de olduğunu tespit edilmesi gibi).



Şekil 1.6 Flowform'un FEM modellemesi [6]

1.1.7 Inconel 718 Malzemenin Flowform Operasyonu

Bu çalışmada (Maj ve ark. (2018)) Inconel 718 malzeme flowform işlemine tabi tutulmuştur ve sonrasında da flowform ile üretilmiş olan parça ısıl işleme tabi tutulmuştur. Inconel 718'in işleme tabi tutulmamış hali, işleme tabi tutulmuş hali ve hem işleme tabi tutulmuş hem de ısıl işlemi gerçekleştirilmiş olarak 3 farklı numunesi alınarak çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre flowform işlemine tabi tutulan malzemenin akma dayanımı 600 MPa değerlerinden 1200 MPa değerlerine kadar çıktığı görülmüştür fakat ısıl işlem görmüş haline göre daha kırılğan olduğu tespit edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Namlu imalatının flowform yöntemi ile de gerçekleştirilebileceğini ve bu yöntemle üretilen namluların klasik yöntemlere göre bir çok kritik noktada avantajlara sahip olacağını ortaya çıkartmak. Aynı zamanda literatürde bu kadar kısıtlı bilginin bulunduğu ve ülkemizde de çok az bilgi sahibi olunan yöntem hakkında bilgi dağarcığının genişlemesine katkı sağlamak.

1.3 Hipotez

Flowform yöntemi ile namlu imal edilebilir ve imal edilen namlu klasik yöntemlerle üretilen namlulardan gerek atış performansı gerekse mekanik dayanım ve iç yapı özellikleri yönünden daha iyi değerlere sahip olacaktır.

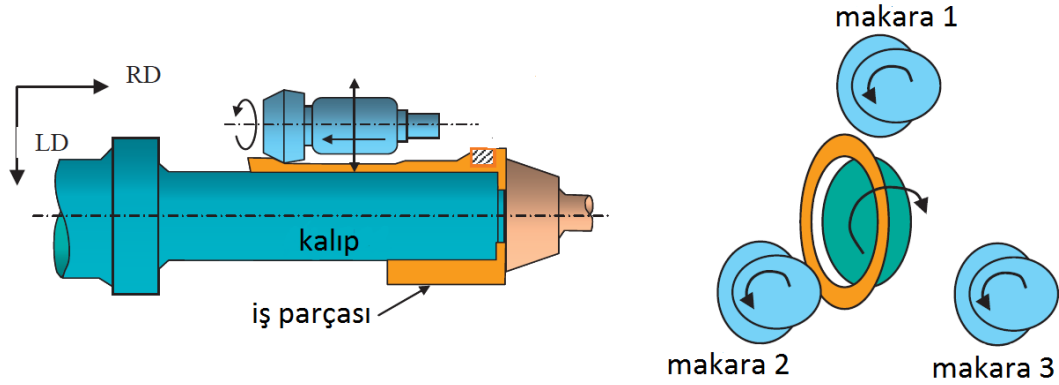
2.1 Flowform Yöntemi

Yöntemin 14. yüzyıldan itibaren var olduğu kaynaklar tarafından bildirilmektedir. Başlangıçta el yordamıyla ev ve süs eşyalarının üretiminde kullanılan flowform yöntemi 19. Yüzyıl itibariyle sanayinin gelişmesiyle birlikte kendisi de hızla gelişmiştir. Başlangıçta insan kuvveti ve el becerisine bağlı olan yöntem güçlü elektrik motorlarının keşfi ile birlikte daha yüksek et kalınlıklı ve daha büyük çaplı parçaların imalatına elverişli hale gelmiştir. Günümüzde CNC talaşlı imalat tezgahlarında da kullanılan lineer pozisyon cetvellerinin de dahil olması ile birlikte parça ölçü hassasiyetlerinde de büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

Flowform yöntemi hassas ölçü toleranslarına sahip rotasyonel simetrik parçaların üretimi için geliştirilmiş bir soğuk şekillendirme yöntemidir. Formlama, silindirik bir mandrel üzerinde bulunan iş parçasının dış çapına temas eden makaraların radyal ve aksel yönde kuvvet uygulamasıyla gerçekleşir (Şekil 2.1). Makaraların temas ettiği yüzeyde birim alana düşen kuvvet değerinin malzemenin akma sınırının çok üzerinde olmasından dolayı plastik şekil değiştirme meydana gelir. Meydana gelen bu plastik şekil değiştirme kontrol altında tutularak istenilen ölçülerde parça imalatının gerçekleştirilmesi sağlanır.

Flowform yöntemi talaşlı imalat yöntemlerine göre çok daha karmaşık bir işlemdir. Plastik şekil değiştirme esnasında kuvvet yönünde akarak ilerleyen malzeme büyük miktarda karşı direnç göstermektedir, bu esnada malzeme içerisinde sıcaklık değişimi meydana gelmektedir, bu sıcaklık değişimi işlem ilerledikçe artma yönünde davranış göstermektedir. Malzemelerin plastik şekil değiştirme kabiliyetleri incelendiğinde sıcaklık önemli bir parametredir ve flowform işlemi esnasında her ne kadar yüksek debili soğutma sıvıları kullanılsa da sıcaklığı kontrol altında tutmak oldukça zorlu bir süreçtir. Yöntemin karmaşıklığını açıklayabilmek adına örnek verilebilecek parametrelerden yalnızca biridir sıcaklık.

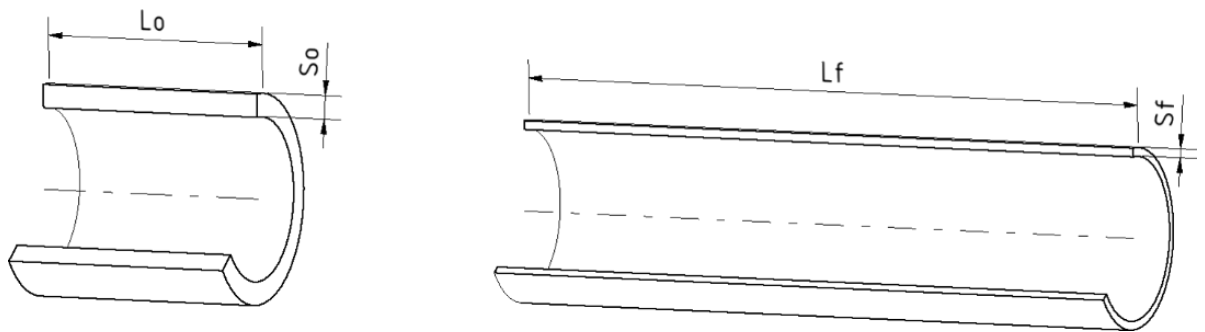
Yöntem dünya üzerinde az sayıda ülke ve az sayıda firma tarafından kullanılmaktadır. Türkiye’de ise REPKON Makine ve Kalıp San. ve Tic. A.Ş uzun yıllardır yöntem üzerinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedir. Firma fowform makinelerinin üretimi ve AR-GE faaliyetlerini yürütürken aynı zamanda işlem üzerinde de yoğun AR-GE faaliyetleri gerçekleştirmektedir.



Şekil 2.1 Flowform yöntemi

İşlem öncesi ve sonrası iş parçasının hacmi sabit kalırken boyunda uzama, kalınlığında ise azalma meydana gelir (Şekil 2.2). Bu uzama miktarı işlem öncesi sabit hacim kuralı ile hesaplanarak elde edilebilmektedir.

İş parçasının iç çap geometrisi mandrelin dış çap geometrisine bağlı olarak şekillenmektedir. İşlem anında mandrelin yüzey geometrisi iş parçasının iç çapına bire bir yansıtılır. Bundan dolayıdır ki mandrel yüzeyindeki en ufak yüzey hatası dahi parça iç yüzeyine yansiyabilmektedir. Nihai ürünün malzeme üzerinden talaş kaldırılmadan elde edilmesi, kaynakların tasarruflu kullanımına da katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.2 Formlama öncesi ve sonrası parça boyundaki değişim

2.1.1 Flowform Yönteminin Kullanım Alanları

- Savunma sanayi,
- Havacılık ve uzay,
- Nükleer enerji santralleri,
- Otomotiv sanayi,
- Petrokimya sanayi,
- Maden sanayi.



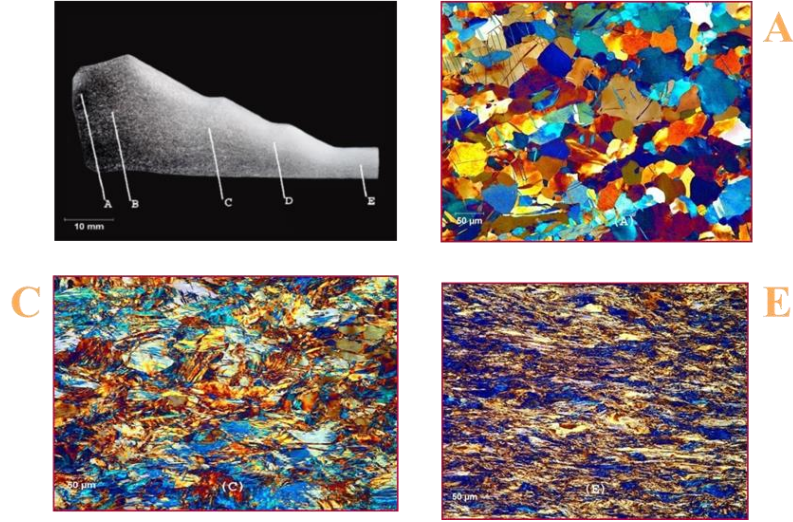
Şekil 2.3 Farklı alanlarda kullanılan flowform parçaları

2.1.2 Flowform Yönteminin Avantajları

Flowform bir çok konvansiyonel yonteme alternatif teşkil ederken bir çok önemli kullanım alanında da tek çözüm olarak kullanılmaktadır. Yöntemin gerek konvansiyonel yöntemlere göre avantajları gerekse nihai ürünün malzeme karakteristiğine etkisi açısından avantajları sıralanmıştır.

2.1.2.1 Parça Özgül Mukavemet Değerinin Artması

Flowform yöntemi malzeme üzerinde uyguladığı baskı sebebiyle mikro yapıda pekleşme meydana getirir. Hacim ve ağırlıkta herhangi bir değişim olmazken malzeme mukavemetinin artması parçanın özgül mukavemet değerinin arttığını gösterir.



Şekil 2.4 Flowform ile üretilmiş malzeme mikro yapı incelemesi

Şekil 2.4'te belirtilen A-C-E bölgelerinden sırasıyla A formülamanın başlangıç noktası, C formülamanın ortalama noktası, E ise redüksiyon değerinin maksimum olduğu noktadır. Görüldüğü üzere malzeme üzerinde gerçekleşen deformasyon miktarı arttıkça iç yapıda tane boyutları küçülmekte ve yönlendirilmektedir. Bölgeler kıyaslandığında mukavemet değerlerinin en çok E noktasında artış göstereceği ön görülmektedir.

2.1.1.2 Yüksek Ölçü Hassasiyetine Sahip Dairesel Kesitli Parçaların Üretilmesi

Flowform makineleri, işlem esnasında ağır yüklere maruz bırakıldığında dahi rijit kalabilecek ve yüksek pozisyonlama hassasiyetine sahip olacak şekilde tasarlanır. Makine üzerinde kullanılan bütün yataklama elemanları, hareket iletim mekanizmaları buna yönelik seçilir ve imal edilir. Aynı zamanda elektronik cetveller kullanılarak makine elemanlarının konumları sürekli kontrol altında tutulur.

Et kalınlığında $\pm 0,05$ mm aralığında ölçü hassasiyeti elde edilebilirken, boy ve çap değerlerindeki hassasiyetler parçanın ebatlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Burada içerisi patlayıcı madde ile doldurulan roket dış gövdeleri göz önünde bulundurulduğunda, homojen bir patlamanın gerçekleşmesi için et kalınlığındaki değişim miktarı minimum olması gerektiği ortadadır.

2.1.1.3 Yüksek Yüzey Kalitesi

İşlem esnasında malzeme kuvvet yönünde akmaya zorlanır ve bu esnada yeni iç yapılar meydana gelir. Bu sırada parçanın iç çapı mandrel yüzeyinin yansıması olarak şekillenir. Burada mandrel yüzeyindeki tüm olumsuzluklar da aynı şekilde parça iç çapına yansıtacağından dolayı mandrel yüzey kalitesi oldukça önemlidir. Bundan dolayıdır ki hassas iç yüzey kalitesi gerektiren parçalar için mandrel yüzeyi bir takım özel yüzey parlatma işlemlerinden geçirilerek kullanılır.

2.1.1.4 Burulma Yönünde Çalışan Parçaların Ömür Değerlerinin Artması

Formlama esnasında malzeme kuvvet yönünde akarak şekillenirken aynı zamanda malzeme içerisinde bir ön yükleme meydana gelir. Bu ön yükleme formlamasının yönüne bağlı olarak burulmaya zorlanan parçalarda yorulma ömrünü artırmaya yönelik etki meydana getirir.

2.1.1.5 Farklı Çaplara Sahip Parçaların Yekpare Olarak Üretilmesi

Flowform yöntemi ile üretilen parçaların iç çap geometrisi ve ölçüleri tamamen mandrel geometrisine bağlıyken, dış çapta makaraların pozisyonuna göre istenilen ölçüler ayarlanabilir.

Konvansiyonel yöntemlerde bu işlem talaşlı imalat yöntemi kullanılarak bir kaç farklı şekilde sağlanabilir. Eğer istenilen çap değerlerinde içi dolu malzeme var ise parça üzerinden %95'lere varan talaş kaldırma işlemi yapmak gerekecektir. Bu durum imalat süre ve maliyetlerini astronomik derecede arttıracaktır. Eğer maliyetler düşürülmek istenirse, parçanın farklı çaplara sahip kısımları ayrı ayrı işlenerek daha sonar kaynak yöntemiyle bir araya getirilebilir. Fakat bu yöntem de maliyeti önemli ölçüde arttıracak ve kaynak işlemi dolayısıyla malzeme iç yapısında mukavemeti olumsuz etkileyecek değişimler meydana getirecektir.

2.1.1.6 Tornalama vb. Yöntemlerden Çok Daha Hızlı Olması

Flowform yöntemi ile parça imalatı talaşlı imalat yöntemlerine göre çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Tornalama ile üretilen hassas toleranslı silindirik bir

parçanın üretim süresi saatleri alırken flowform yöntemi ile dakikalar içerisinde tamamlanmaktadır.

2.1.3 Flowform Makineleri

Flowform makineleri (şekil 2.5) 4 ana bölümden oluşur.



Şekil 2.5 Flowform makinesi

2.1.3.1 Alt gövdeler

Makinenin hareketli kısımlarını taşıyan gövdelerdir. Fener mili ve karşı baskı sistemi bu gövdelerin üzerinde bulunan lineer kızaklar vasıtasıyla aksel hareket gerçekleştirirken roller grup sabit bir şekilde bu gövdeler üzerine konumlandırılır. Burada gövdelerin rijit olması makinenin üreteceği parça hassasiyeti ve tekrarlanabilirlik açısından önemlidir.

**Üretici firmaların tercihinine göre fener mili ve karşı baskı sistemi hareketli, roller grup ise sabit veya fener mili ile karşı baskı sistemi sabit, roller grup hareketli olarak tasarlanabilmektedir.

2.1.3.2 Fener mili

Fener milinin bulunduğu kısımdır. Mandrel fener miline bağlıdır ve iş parçası mandrel üzerinde konumlandırılır. Fener mili arabası yatak ekseninde lineer hareket gerçekleştirir. Bu esnada mandrel üzerinde bulunan iş parçası da fener mili ile

birlikte hareket eder. İş parçası makaralar altında şekillenirken fener mili bölümü yatak ekseninde ilerlemeye devam eder, bu ilerleme iş parçası üzerinde aksel yük meydana getirir.

Ayrıca fener mili üzerinde bir servo motor doğrudan fener miline tork aktarmaktadır. Dolayısıyla fener miline bağlı olan iş parçası da buradan gelen tork ile birlikte formlama esnasında kendi ekseninde dönmektedir.

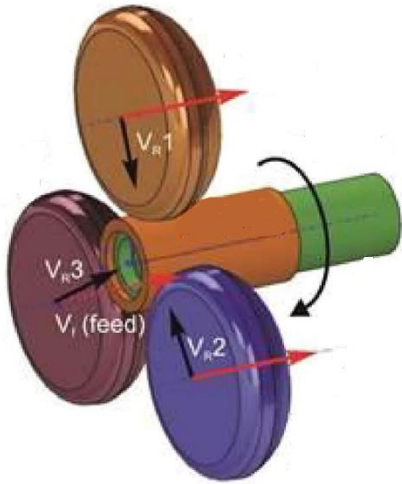
2.1.3.3. Karşı Baskı sistemi

Torna tezgahlarında kullanılan karşı punta mekanizmasına benzer şekilde fener mili üzerine bağlı olan fener milini ekseninde tutmaya yardımcı olan kısımdır.

Aynı zamanda işlemden gelen belirsizlikleri dengelemek için iş parçasına alından aksel kuvvet uygulayarak karşı baskı görevi de yapmaktadır.

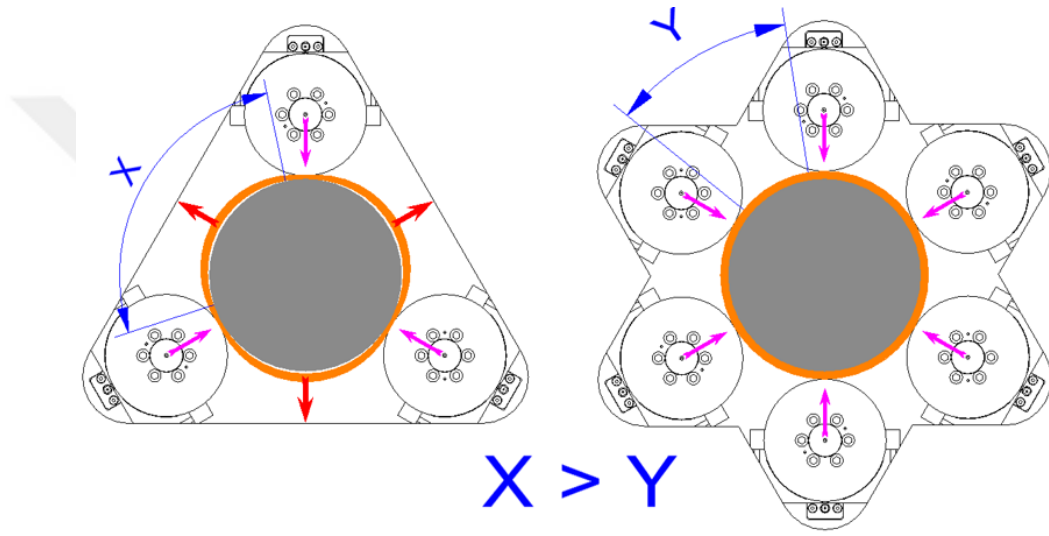
2.1.3.4. Roller Grup

İş parçası üzerine dış çaptan baskı kuvvetinin aktarıldığı bölümdür. Baskıyı aktaran makaralar (Şekil 2.6) bu bölümde yer almaktadır. Flowform makineleri ihtiyaca göre tek makaralı olarak tasarlanabilirken, parçayı merkezde tutarak işlemi daha hassas gerçekleştirebilmek adına makara sayısı artırılabilir. Bugüne kadar üretilen flowform makineleri en çok 6 makaralı olarak tasarlandığı bilinmektedir.



Şekil 2.6 Flowform makinesi makara grubu

Flowform işlemleri özellikle plastik şekil değiştirmeye dayalı bir yöntem olmasından dolayı görüldüğünden çok daha karmaşıktır. Üretilmek istenen parçanın geometrisi ve ölçülerine bağlı olarak işlem parametreleri çokça değişkenlik gösterirken makinenin tasarımı da parçaya bağlı olarak değişebilmektedir. Örnek olarak şekilde belirtildiği üzere üç makaralı sistem ile altı makaralı sistem arasında parça geometrisindeki değişim görülebilmektedir. Roller grup üzerinde bulunan makara iş parçasını formlamaya yararırken aynı zamanda parçayı dış çapından yataklama görevi de görmektedir. Bu nedenle parça çapı arttıkça yataklama yapacak makara sayısının da artması gerekmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 3 ve 6 eksenli flowform makara grupları

2.1.4 Flowform Yönteminde İşlem Parametreleri

Flowform yönteminde üretilmek istenen parçanın elde edilebilmesinde işlem parametreleri büyük önem arz etmektedir. Doğru parametreler kullanılmadığında parça içerisinde çatlaklar, yüzeyde pullanmalar (Şekil 2.8), geometride bozukluklar, ölçü toleranslarında kaçıklıklar vb. problemlerle karşılaşılabilir. Başlıca işlem parametreleri ;

- İş Parçasının Malzeme Cinsi
- Mandrel Dış Çap Ölçüsü ve Mandrel Boyu
- Mandrel Geometrisi
- İş parçası ve mandrel arasındaki geçme boşluğu

- Soğutma suyu sıcaklığı
- Ortam sıcaklığı
- Fener mili ilerleme hızı
- Fener mili baskı kuvveti
- Fener mili devir sayısı
- Makara baskı kuvveti
- Makara geometrisi
- Karşı baskı sistemi karşı baskı kuvveti



Şekil 2.8 Hatalı işlem sonucu ortaya çıkan flowform parçaları

Namlu, bir silahın ana elemanıdır. Geri tepmesiz toplar hariç prensip olarak bir ucu açık diğer ucu kapalı silindirik bir basınç tüpüdür. Namlu barutun yerleştirilmesi ve yanması için gerekli yanma odası hacmine, merminin dönerek denge kazanması için gerekli yiv-set'lere ve barut gazı enerjisinin mermiye aktarıldığı bir silindirik boya sahiptir. Namlunun yan ve yükselişi değiştirilerek mermi uçuş yönü değiştirilebilir. Kısaca, namlu; merminin istenen hedefe, istenen hızda yöneltilmesini sağlayan yüksek basınca dayanıklı bir tüptür.

Bir namlu dört bölümden meydana gelir. Bunlar, öncesinde mermi ve barutun namluya sürüldüğü bölümün kapak kısmı (kama), barutun yerleştirildiği ve yanmasının meydana geldiği yanma odası (hazne) barutun yanması sırasında meydana gelen gazların enerjisinin mermiye aktarıldığı silindir boyu ve merminin namluyu terk ettiği namlu önüdür.

3.1 Namlu Tipleri

Silahlar namlu çaplarına göre ağır silahlar, hafif silahlar ve geri tepmesiz silahlar olarak, namlular ise kullanıldıkları silahlara göre adlandırılırlar. Konstrüksiyon şekilleri namluların sınıflandırılmasını etkilemez. Ağır silahlar topçu silahları, hafif silahlar piyade silahları olarak değerlendirilir.

3.1.1 Ağır Silah Namluları

3.1.1.1 Monoblok Namlular

Bir monoblok namlu tek bir parça malzemeden imal edilir. Monoblok kısım, namluya mukavemet sağlar. Namluların atışlar sonucu aşınmasını azaltmak üzere içleri aşınmaya dirençli malzeme ile kaplanarak namlunun çap toleransının değişmemesi ve namlu ömrünün uzatılması sağlanır.

3.1.1.2 Gmlekleli Namlular

Esas namlu blokunun yüksek basıncılı bölümlerinde mukavemetin arttırılması için namlu dışına gömlek şeklinde ikinci bir silindir geçirilir.

3.1.2 Hafif Silah Namluları

Hafif silah namluları monoblok olarak dizayn edilirler. Bir veya birkaç parçadan meydana gelebilirler.

3.1.2.1 İki Parçalı Namlular

Özellikle makineli tüfeklerde kullanılırlar. Bir ana namlu ile bu ana namluyu dıştan kavrayan ve yanma odasını beraberinde ihtiva eden bir ikinci parça ana namlu üzerine vidalanır veya sıkı geçme yapılıır.

3.1.2.2 Döner Tip Namlular

Hafif silahlarda kullanılan ikinci tip namlu, döner tip namludur. Bu tip namlu, namlu ve top kısımdan meydana gelir. Namlunun, konik ve silindirik kısımları diğer silah namlularındaki gibidir. Top kısmında ise yanma odası vardır. Tek parçadan meydana gelen top kısmı dört, beş veya altı fişek alabilecek şekilde dizayn edilir. Fişek yuvaları top eksenini etrafında simetrik olarak yerleştirilir. Her fişek yuvasında, namlu ile topun karşılıklı geldikleri kısımda birer sızdırmazlık halkası bulunur. Atış sırasında merminin darbesi ile halka ileri çıkararak namlu ve top arasından basıncılı gaz kaybını önler.

Bir diğer tip döner namlu şekli, bir eksen etrafındaki çembere birden fazla namlunun dizilmesi ile elde edilir. Makineli tüfeklerde kullanılan bu tip namlular sırasıyla dönerek sabit bir fişek yuvası karşısına gelirler. Yüksek atış hızı istenen silahlarda namlulara soğuma zamanı sağlamak üzere bu tip namlular kullanılır.

n silahlarda namlulara soğuma zamanı sağlamak üzere bu tip namlular kullanılır.

1.2 Namluya Etki Eden Parametreler

Bir silahın etkinliği, namlusunun hassasiyeti ile sınırlıdır. Namlu hassasiyetinin ölçüsü, namluyu terk eden merminin lineer ve dönme hızlarının her atış sonunda aynı olmasıdır. Namlunun mr de namluyu terk eden mermi hızının değişimi ile tanımlanır. Bir namlunun balistik çevrimi çok kısadır. Atış bir kaç milisaniye içinde tanımlanır. Bu süre içinde namlu çok yüksek bir basınç, sıcaklık ve geri tepme kuvveti etkisi altında kalır. Bir

süre içinde namlu ve mermi arasında da sürtünme nedeniyle erozyon meydana gelir. Balistik periyodun çok kısa olması nedeniyle bu faktörlerin bir atımdaki etkisi önemsizdir. Ancak çok kısa zaman içinde süratle yapılan ard arda atışlar ile uzun süre içinde çok fazla atım yapılması namlunun yıpranmasına neden olur ve mermi ilk hızı düşer.

3.2.1 Mekanik Etkiler

3.2.1.1 Barut Gazı Basıncı

İmalat açısından, barut gazı basıncı namlu dizaynını etkileyen ana faktördür. Namlu et kalınlığı, barut gazı basıncının namluda meydana getirdiği gerilmelere göre belirlenir.

3.2.1.2 Sevk Çemberi Basıncı

Sevk çemberi, yiv-set momentini mermiye aktarma ve mermi ile namlu iç cidarı arasından barut gazının sızmasını önlemek gibi iki görevi vardır. İlk anda namluya serbest olarak oturan mermiye barut gazı basıncının etkimesi sonucu, mermi namluya doğru ilerler. Mermi tabanına uygulanan bu kuvvet nedeniyle sevk çemberi ve namlu iç cidarı arasında bir sıkı geçme meydana gelir. Namlu cidarına normal doğrultuda etkileyen bu basınç nedeniyle sürtünme etkisi oluşur. Namlu yiv ve setlerine oturan sevk çemberi zamanla set yüksekliği azaltarak yiv-set dizaynını değiştirir ve namlu ömrünü azaltır.

3.2.1.3 Yiv-Set Momenti

Yiv-set momenti, mermi tabanına etkileyen gaz basıncı ile doğrudan etkilidir. Yiv-set momenti, barut gazı basıncı ve yiv-set açısıyla yakından ilgilidir. Yiv-set momenti nümerik olarak yüksek olmasına rağmen, namluda meydana getirdiği gerilme önemsiz olmaktadır.

3.2.1.4 Titreşim

Namlularda titreşim, yüklerin ani olarak çok kısa bir süre uygulanarak etkisinin aniden sifira inmesi sonucu oluşur. Barut gazı ve sevk çemberi basınçları namluyu namlu önüne doğru yürüten bir dalga şeklinde genişleterek, namlu önü çatlaklara sebep olurlar. Namlu statik olarak ankastre bir çubuk gibidir ve kendi ağırlığı nedeniyle ekseni boyunca

sehim yapar. Merminin namlu içinde hareketi bu sehimi giderici etki yapar, ancak mermi namlyu terk ettikten sonra namlu tekrar eğilir. Atımlar arasında süre var ise faktörler nedeniyle meydana gelen titreşimler sönümlenir. Ancak yüksek atış hızına sahip silahlarda bir atımın neden olduğu titreşimler sönümlenmeden, yeni atımın titreşim etkileri başlar. Bu durum ise seri atımlarda silahın vuruş hassasiyetini azaltır.

Büyük çaplı ağır silah namlularında atımlar arası sürenin uzun ve namlu kütlelerinin büyük olması nedeniyle titreşimlerin sönümlenmesi kolaydır. Ancak, yüksek atış hızına sahip hafif silah namluları ile hafiflik istenen geri tepmesiz silah namlularında titreşimler önem kazanır. Eğer namlu iç yüzeyinde neden olduğu basınç gerilmeleri, namlu malzemesinin akma sınırını aşar ise namluda plastik deformasyon başlar. Namlu yüzeyindeki malzemenin kaçış noktası olmadığında, malzeme namlu eksenine doğru hareket eder. Atıştan sonra namlunun soğuması sırasında basınç gerilmesi kalkar ve malzeme ilk konumuna gelmeye çalışır. Bu sırada malzemeyi ilk yerine getirecek etkiler teğetsel ve eksenel gerilmelerdir. Yani radyal genleşme, poisson oranı ile orantılıdır.

3.2.1.5 Termal gerilmeler

Namlu içinde barutun yanması sonucu muazzam bir ısı ortaya çıkar. Isı kaynağına yakın olan namlu iç yüzeyi ısının büyük bir kısmını alır. Sıcak namluda, namlu iç yüzeyinde basma gerilmesi, dış yüzeyinde ise çekme gerilmesi şeklinde olan termal gerilmeler, namlu iç yüzeyinde gaz basıncının neden olduğu çekme gerilmesi tarafından azaltılır. Namludan yapılan atışın hızı, termal gerilmeleri etkiler.

3.2.1.6 Aşınma

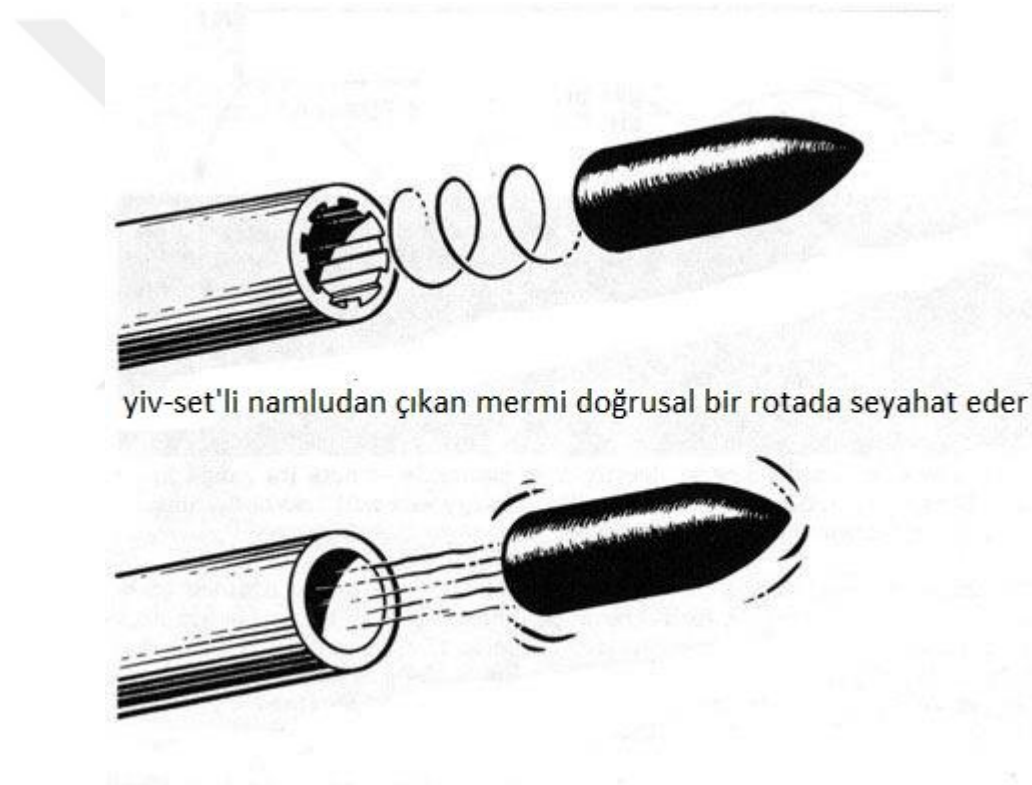
Aşınma; namlu iç yüzeyinden malzeme kaybı nedeniyle meydana gelir. Özellikle uzun namlularda önemlidir. Aşınma fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu oluşur. Barut gazı ve sevk çemberi aşınmanın iki önemli nedenidir. Namlu içindeki yüksek sıcaklık ve yüksek hızdaki gazlar namlu yüzeyinden metal sıyrırırlar. Bu olaya “gaz yıkaması” adı verilir. Sevk çemberi de namlu iç yüzeyinden metal sıyrırır. Namlu içindeki yüksek sıcaklık metalin eriyerek barut gazları tarafından daha kolay sıyrılmasını sağlar.

Namlu içinde yiv-set başlangıcı aşınmadan en fazla etkilenen bölgedir. Bu bölgede sıcaklık en yüksek, sürtünme kuvveti ise sevk çemberinin yiv-seti sıyrırabileceği şekilde

en büyük değere sahiptir. Bu bölgedeki aşınma toplam namlu aşınmasının üçte birini meydana getirir.

3.3 Yivli Namlu Özellikleri

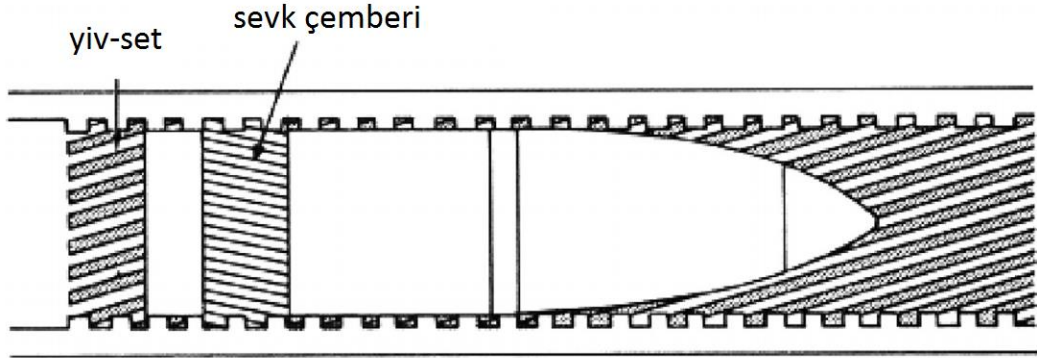
Ateşleme sonrası genişleyen gazın etkisiyle ilerleyen mermi çekirdeği yiv-set üzerinde kendi eksenini etrafında dönmeye (Şekil 3.1) başlar. Dönmenin etkisiyle jiroskopik etki sayesinde mermi çekirdeği havada düze yakın bir çizgi üzerinde yiv-seti olmayan namludan çıkan mermiye göre çok daha stabil bir şekilde yol alır. Neticede yiv-set sayesinde mermi istenilen noktaya daha hassas bir şekilde ulaştırılır.



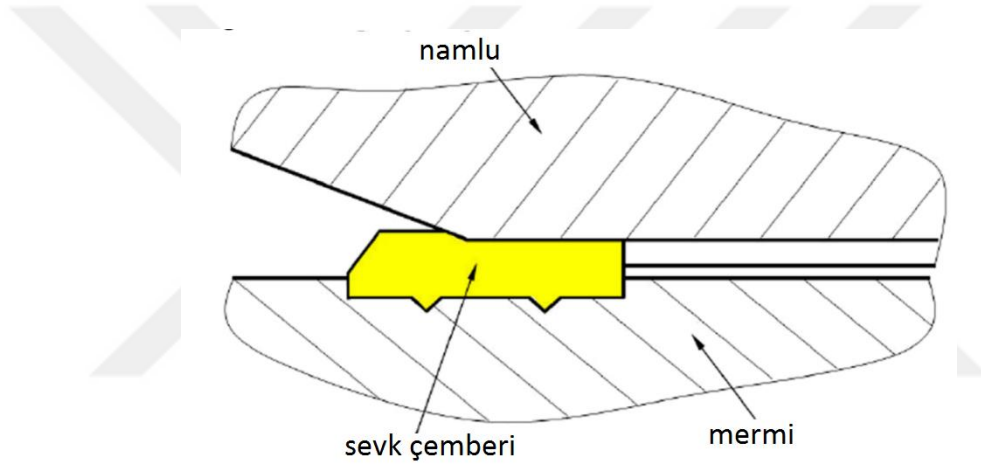
Şekil 3.1 Yiv-set'in mermi üzerindeki etkisi

Mermi namlu içerisinde hareketine başladığı anda mermi çekirdeğinin dış çapında bulunan sevk çemberi (sevk çemberinin malzemesi yiv-set yüzeyindeki sertlikten çok daha düşüktür, Şekil 3.3) yiv-set geometrisine tabi olarak (Şekil 3.2) merminin kendi eksenini etrafında dönmesini sağlar. Bu esnada sevk çemberi bir yandan yiv-set yüzeylerinde sürtünme kuvveti oluştururken bir yandan da yiv-set diplerinde gerilme yığılmalarına neden olmaktadır. Bu sebepten ötürü namlu içerisinde aşınmalar ilk olarak

yiv-set yüzeylerinde meydana gelir. Ayrıca yiv-set diplerinde oluşan gerilme yığılımları da namlu içerisindeki ilk çatlakların buradan meydana gelmesine sebep olur.



Şekil 3.2 Yiv-set'in sevk çemberi üzerine etkisi



Şekil 3.3 Sevk çemberi

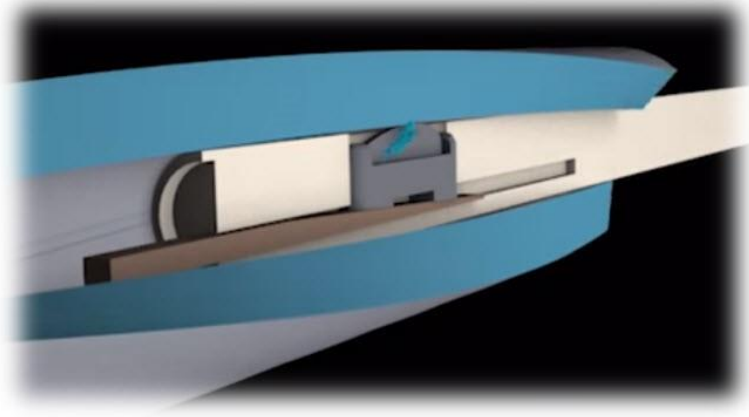
3.4 Klasik Yöntemlerle Yivli Namlu İmalatı

Günümüzde namlu imalatı yaygın olarak broşlama, radyal dövme ve button rifling olmak üzere üç ana metot ile gerçekleştirilmektedir.

3.4.1 Broşlama

Broşlama yönteminde gerekli yiv set geometrileri iç çap yüzeyinden talaş kaldırılarak (Şekil 3.4) oluşturulmaktadır. Bu yöntemde namlu malzemesinin mikro yapısında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Yöntem geniş çaplı namluların imalatına olanak sağlamaktadır fakat uzun iş parçalarının imalatında

ölçüsel doğruluğu sağlamak noktasında sınırlı olanaklara sahiptir. İmalat süresinin uzun olmasından dolayı da genelde seri üretim için tercih edilmemektedir.



Şekil 3.4 Broşlama ile namlu içerisinde talaş kaldırma

3.4.2 Button Rifling

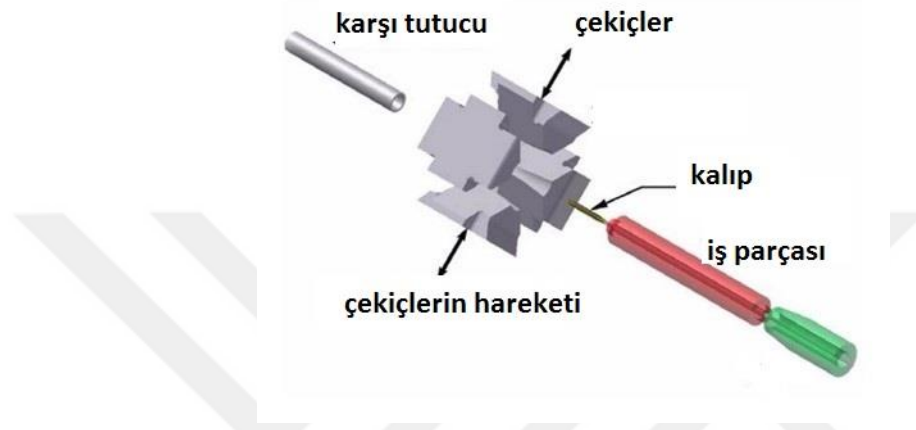
Button rifling metodunda ise silindirik iş parçasının iç çapında ileri ve geri yönde hareket ederek malzemeyi sıkışmaya zorlayan bir kalıp (Şekil 3.5) bulunur. Kalıbın hareketi esnasında sıkışmaya zorlanan yüzeylerde pekleşme meydana gelir ve bu yüzeylerde sertlik artışları gözlemlenir. Ayrıca ayna parlaklığında yüzey kaliteleri elde edilebilir. Sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir.



Şekil 3.5 Button rifling takımları

3.4.3 Radyal Dövme

Radyal dövme yönteminde silindirik iş parçası yiv-set formuna sahip bir kalıp üzerinde dövülerek (Şekil 3.6) iç yüzeyde yiv set formlarının oluşması sağlanır. Dövme işlemi esnasında iş parçası yüksek radyal kuvvetler altında plastik şekil değiştirmeye zorlanır, bundan dolayı malzeme iç yapısında kalıntı iç gerilmeler meydana gelir.



Şekil 3.6 Radyal dövme makinesi çalışma prensibi

İç gerilmeler namluların performansını olumsuz yönde etkilemektedir, örnek vermek gerekirse art arda gerçekleştirilen atışlar esnasında namlu ısınma meydana gelir devamında malzeme iç yapısında bağlar arası kuvvetler zayıflar ve dövme işlemi esnasında oluşan kalıntı gerilimler namlunun geometrisinde çarpımalara neden olabilir. Bu durum namlunun nişan hassasiyetini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sebepten dolayı radyal dövme yönteminde işlem öncesi ve sonrası ısıtma işlemleri, namluların performansları için hayati önem taşımaktadır.

Ayrıca radyal dövme ile namlu üretimi diğer klasik yöntemlere göre çok daha hızlıdır, bundan dolayı seri imalatta daha çok tercih edilmektedir. Fakat büyük çaplı namlularda dövme esnasında ezilmesi gereken et kalınlığı artmaktadır ve bu da radyal dövme makinelerinin çalışma şartlarını zorlaştırmaktadır, dolayısıyla radyal dövme yöntemi daha çok 5,56 – 7,62 – 12,7 gibi küçük çaplara sahip namluların üretiminde tercih edilmektedir.

3.4.4 Flowform Yöntemi İle Yivli Namlu

Bir AR-GE firması olan REPKON bünyesinde mevcut yivli namlu üretim metotlarına alternatif olması adına flowform yöntemiyle namlu imalatı üzerinde çalışılmıştır. Klasik üretim metotlarında bulunan yüksek maliyetler, uzun üretim süreçleri, yiv set dip kısımlarında meydana gelen çatlamlar, yiv set üzerindeki aşınmalar gibi olumsuzluklar flowform yönteminin doğası ile birlikte ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Buna istinaden 40'lık bomba atar namlusu (Şekil 3.7) üzerine flowform yöntemi ile üretim çalışmaları gerçekleştirilmiş ve ilk aşamada namlu teknik resmine uygun ürün elde edebilmek adına bir dizi denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucu elde edilen ürünler, 3 boyutlu olarak yüksek hassasiyetli ölçüm yapabilen cihazlarla birlikte kontrol edilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre işlem parametreleri, kalıp ölçülerinde değişiklikler yapılarak nihai ürün istenen özelliklerde elde edilmiştir. Şekil 1'de REPKON tarafından üretilmiş olan 40 mm çaplı namlular görülmektedir.



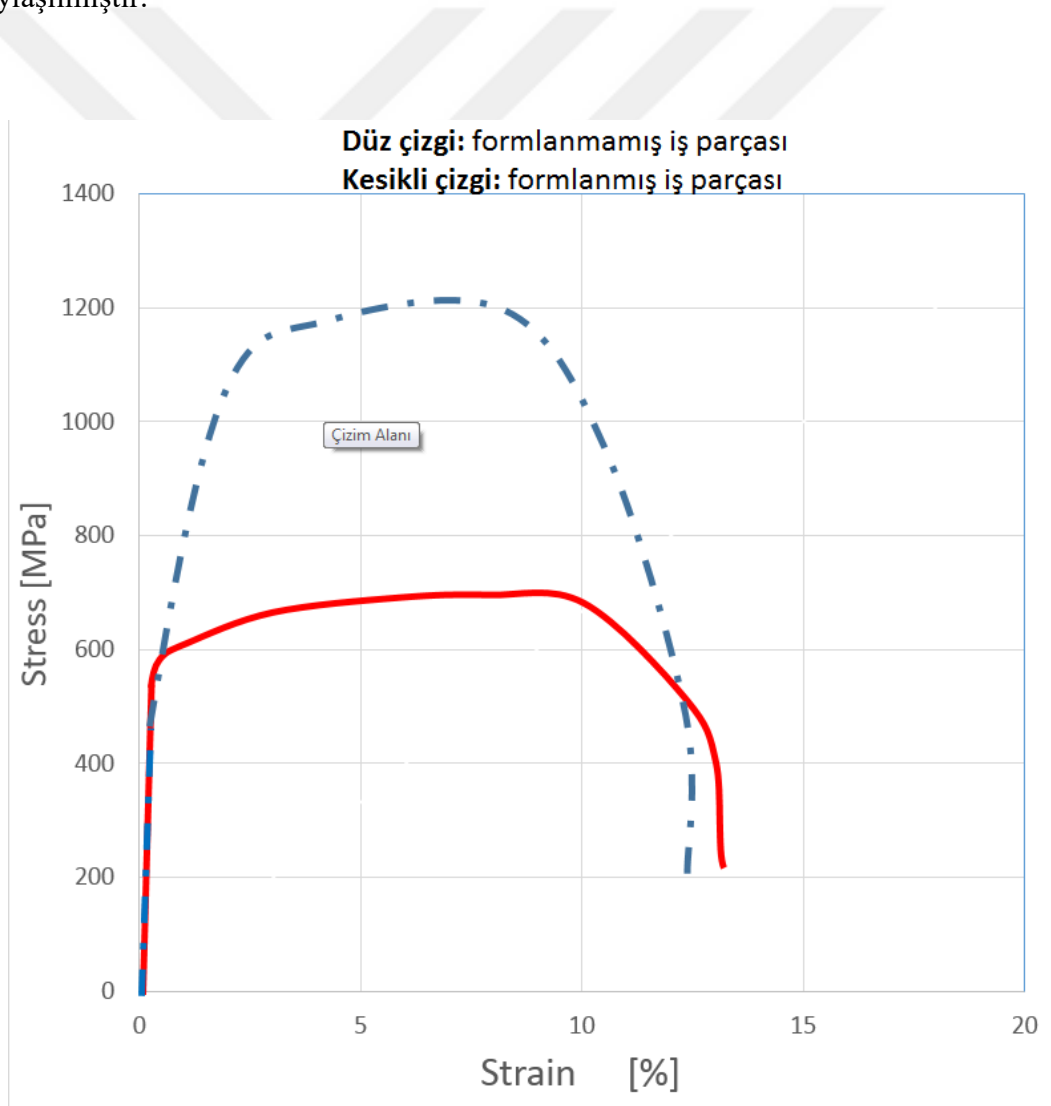
Şekil 3.7 Flowform ile üretilmiş 40mm bomba atar namlusu

Resimlerde görülen namluların flowform sonrası yalnızca dış çapları tormalanmıştır ve korozyona önlem olması adına kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. İç çap kısmındaki yiv setler işlem sonrası haliyle bırakılmıştır, herhangi bir işleme maruz bırakılmamıştır.

İşlem sonrası klasik yöntemlerde ekstradan parlatma işlemine ihtiyaç olurken, flowform işlemi sonrası yiv set yüzeylerinin ayna parlaklığında olduğu görülmüştür.

4.1 Flowform Öncesi ve Sonrası Malzeme Çekme Testi

Flowform işlemi sonrasında malzemenin mekanik özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin niteliklerini ve miktarlarını anlayabilmek adına namlu imalatında kullandığımız 1.4330 kodlu malzeme flowform işlemi öncesinde ve sonrasında çekme testlerine tabi tutulmuştur (Şekil 4.1). Her test 3'er adet farklı numune (Şekil 4.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sonuçları aşağıdaki paylaşılmıştır.



Şekil 4.1 Formlanmış ve formlanmamış parçaların çekme testi



Şekil 4.2 Çekme testi numuneleri

Şekil 4.1’de formlanmamış malzeme ile formlanmış malzeme arasında ciddi bir mukavemet farklılığı olduğu görülmektedir. Formlama öncesi 640 MPa değerlerinde olan kopma dayanımı, formlama sonrası 1210 MPa’ya kadar artış göstermiştir. Gerinim değerinde ise kayda değer bir değişimin olmadığı gözlemlenirken %1 kadar gevrekliğe yaklaştığı görülmektedir.

Akma değerinde meydana gelen ciddi artışın ve gerinim değerindeki bir miktar azalmanın sebebini soğuk şekillendirmenin doğasına bağlayabiliriz. Flowform yönteminde yüksek kuvvetler altında ezilerek soğuk şekil değişimine zorlanan malzeme mikro yapısında meydana gelen pekleşme önemli oranda dayanım artışı sağlamaktadır.

Ayrıca flowform yöntemi ile üretilen her parçanın mekanik dayanım testlerini gerçekleştirmek her zaman kolay olmamaktadır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ten de anlaşılacağı üzere silindirik parçanın et kalınlığı müsaade ettiği oranda test numunesi elde etmek mümkün olmaktadır. 40mm bomba atar için üretilmiş namlu üzerinden numune almak için CNC tezgahlar üzerinde parça parça kesitler alınarak, yiv set yüzeylerinden talaş kaldırılmak zorunda kalınmıştır. Sonraki başlıklarda görüleceği üzere mikro yapıdaki en büyük değişim yiv-set’e en yakın kısımlarda meydana gelmiştir. Dolayısıyla çekme testini gerçekleştirebilmek adına yiv-setlerin silinmiş olması, gerçek değerleri birebir

yansıtamamaktadır fakat gerçeğe oldukça yakın değerler elde edildiği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.3 Flowform namlusundan çekme numunesi üretim aşamaları 1



Şekil 4.4 Flowform namlusundan çekme numunesi üretim aşamaları 2

4.2 Flowform Öncesi ve Sonrası Sertlik Ölçümleri

Flowform ile üretilen namlunun sertlik değerlerinde formlama sonrasında değişiklikler meydana geleceği ve bu değişimin yiv set yüzeyine yakın olan bölgelerde daha fazla gözlemleneceği ön görülmüştür. Burada flowform işleminin mandrel üzerinde gerçekleştiğini ve iş parçasının yüksek bir kuvvet altında bu mandrel üzerinde akarak ilerlediğini göz önünde bulundurduğumuzda yiv-set yüzeylerindeki pekleşme sebebiyle sertliğin artması beklenmektedir. Sertlik ölçümleri Emco-Test DuraScan-20 mikrosertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

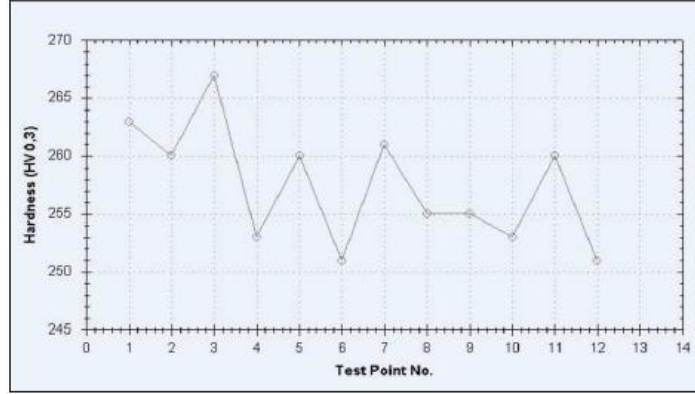


Şekil 4.5 Emco-Test DuraScan-20 mikrosertlik cihazı

4.2.1 Flowform Öncesi (Preform) Sertlik Ölçümü

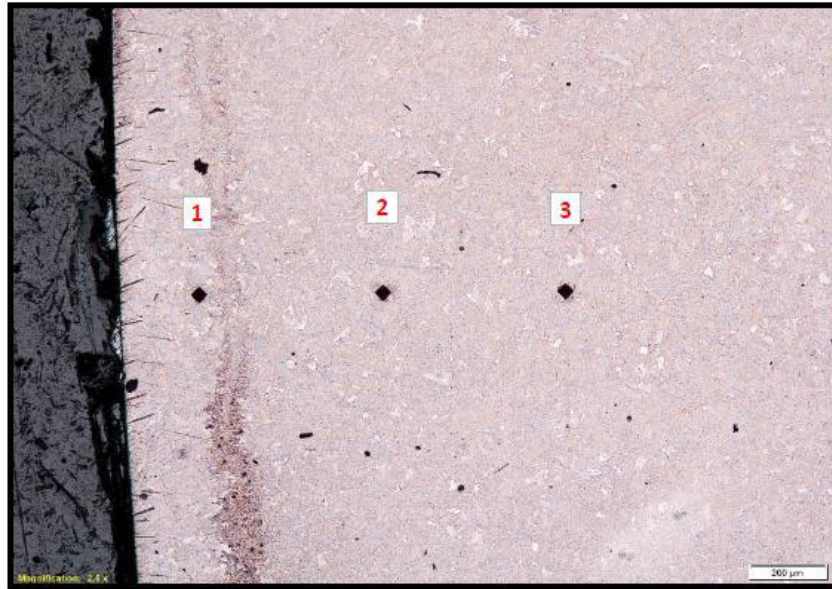
İş parçasının flowform işlemine tabi tutulmadan önce malzemenin sertlik değeri ve batma görüntüleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Burada sertliği ölçülen iş parçası üzerinde hiç bir ısıl işlem uygulanmadığını ve flowform yapılmaya hazır halde bulunan parça üzerinden numune alınarak ölçümlerin gerçekleştirildiğini belirtmek gerekir. Ölçümler 12 farklı noktadan alınarak ortalama bir değer elde edilmiştir. Elde edilen ortalama sertlik değeri 257,33 HV dir.

BÖLGE	DEĞER (HV)
1	263
2	260
3	267
4	251
5	261
6	251
7	261
8	255
9	255
10	253,00
11	260
12	251



Ortalama	257,33
----------	--------

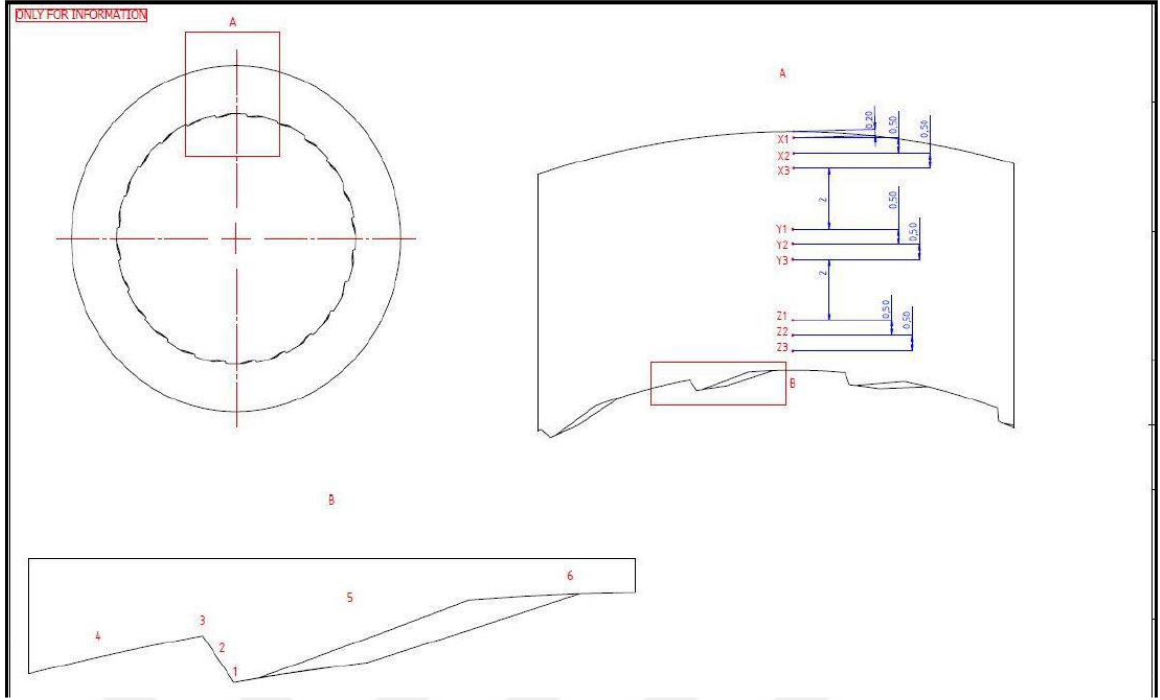
PREFORM SERTLİK DEĞERLERİ BATMA GÖRÜNTÜLERİ



Şekil 4.6 Flowform öncesi sertlik ölçümleri

4.2.2 Flowform Sonrası Sertlik Ölçümü

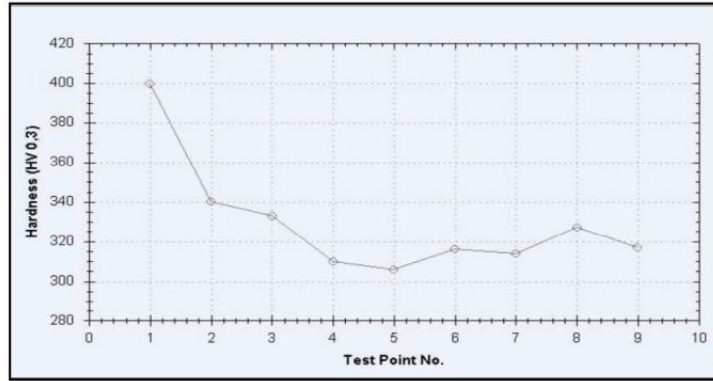
Flowforma tabi tutulan malzemenin sertliğinde meydana gelebilecek değişimleri gözlemlemek amacıyla yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.8 namlu kesitinin yiv-set bölgesi hariç sertlik değerlerini belirtirken Şekil 4.9 yiv-set üzeri sertlik değerlerini belirtmektedir.



Şekil 4.7 Flowform sonrası namlu kesiti batma görüntüleri

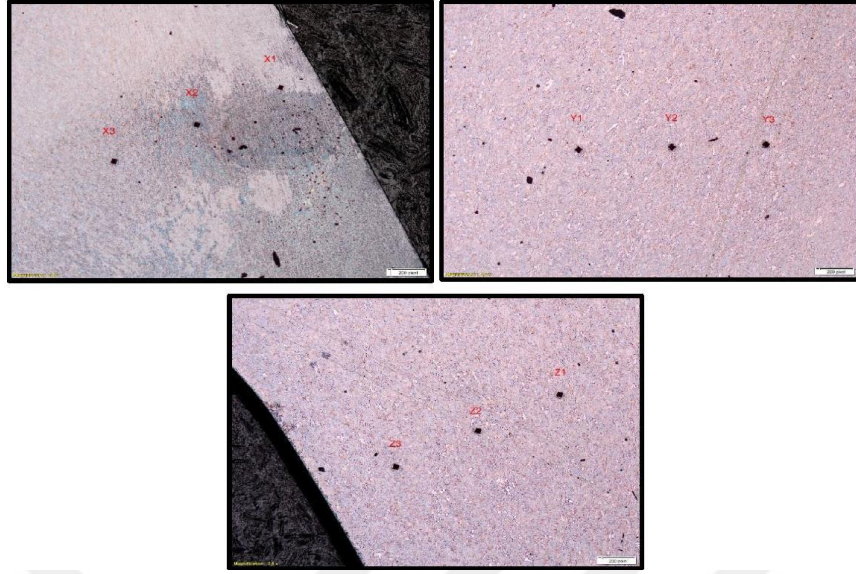
YÜZET-XYZ SERTLİK DEĞERLERİ (HV)

BÖLGE	DEĞER (HV)	ORTALAMA (HV)
X1	400	357,67
X2	340	
X3	333	
Y1	310	310,67
Y2	306	
Y3	316	
Z1	314	319,33
Z2	327	
Z3	317	
Ortalama	329,22	



Şekil 4.8 Flowform sonrası sertlik ölçümleri

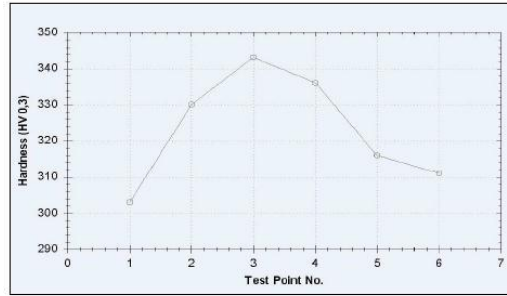
YIVSET-XYZ SERTLİK BATMA GÖRÜNTÜLERİ



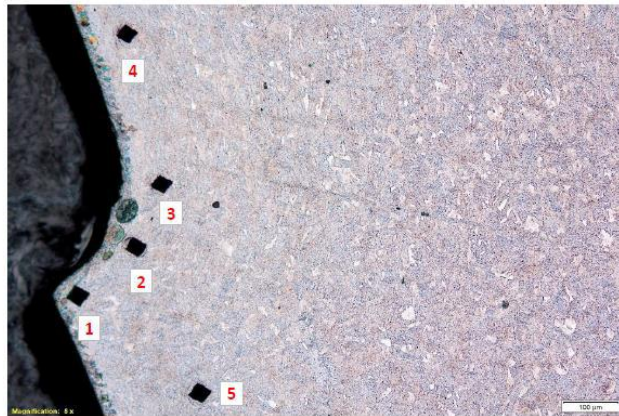
Şekil 4.9 Yiv-set üzerinde sertlik ölçümü batma görüntüleri

YIVSET SERTLİK DEĞERLERİ (HV)

BÖLGE	DEĞER (HV)
1	303
2	330
3	343
4	336
5	316
6	311
Ortalama	323,17



YIVSET SERTLİK BATMA GÖRÜNTÜLERİ



Şekil 4.10 Yiv-set kenarı sertlik ölçümü

Formlama öncesi malzeme üzerinden alınan sertlik ölçümleri ile formlama sonrası yiv-set kısmına yakın kesitten alınan sertlik ölçümleri kıyaslandığında malzeme sertliğinde ortalama 80 Vickers artış olduğu gözlemlenmiştir. Burada sertlik artışının, pekleşmenin daha yoğun olarak meydana geldiği yiv-set bölgesinde yani mandrele temas eden yüzeyde diğer bölgelere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Namlu içerisindeki mühimmatın ateşlenmesi sonrası yüksek basıncın etkisiyle yiv-set geometrisine tabi olarak ilerleyen sevk çemberi, yiv-set üzerinde büyük bir sürtünme kuvvetinin oluşmasına neden olur ve sürtünme kuvvetinin etkisiyle yiv-set üzerinde zamanla aşınmalar meydana gelir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda flowform yönteminin yiv-set üzerinde oluşturduğu sertlik artışı namlu ömrü açısından olumlu bir etkiye sahip olacağı öngörülmektedir.

Flowform Namlusu ile Klasik Namlu Karşılaştırması

5.1 Flowform Namlusu ile Klasik Namlu Mikro Yapı İncelemesi

Mikro yapı analizleri gerçekleştirilmek üzere Repkon bünyesinde flowform yöntemiyle üretilmiş namlu ile klasik yöntemlerle üretilmiş olan namlu* üzerinden numuneler alınmıştır. Mikro yapı incelemeleri Olympus marka BX53M model metalürjik optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir.

*MK-19 40mm bomba atar namlusu

İki farklı namludan alınmış numuneler sırasıyla ;

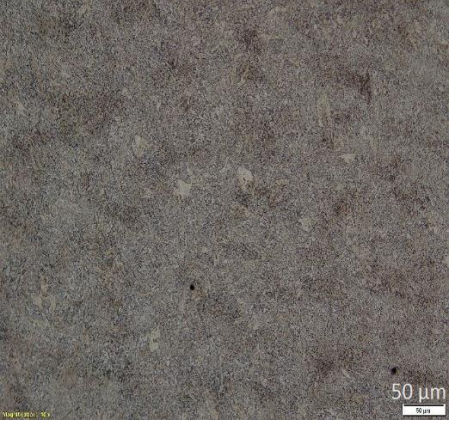
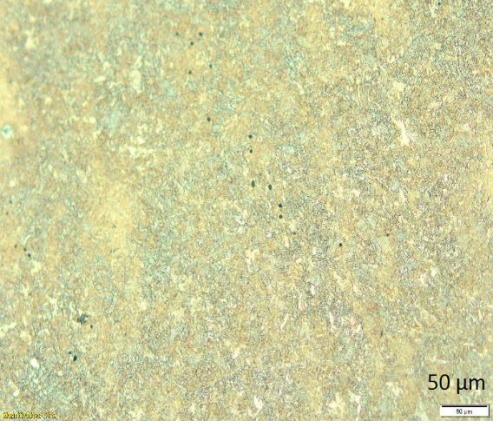

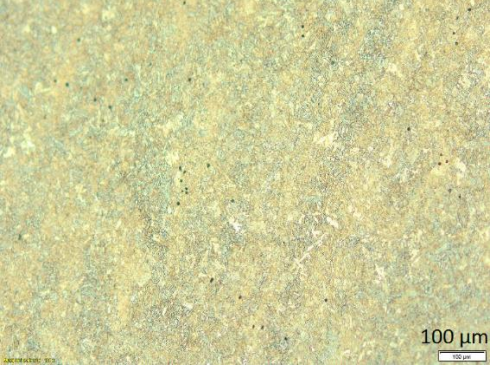
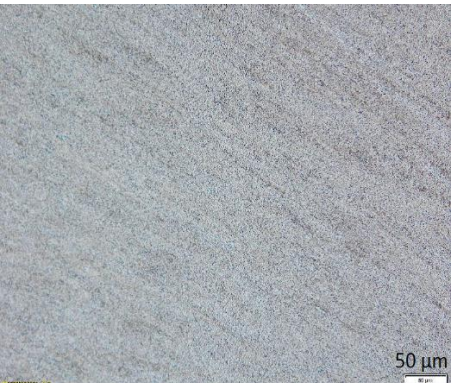
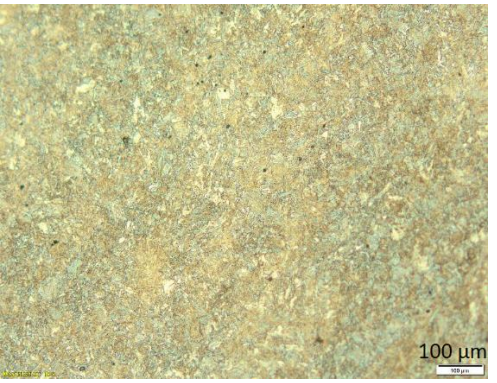
- Kesme
- Bakalite alma
- Zımparalama
- Dağlama aşamalarından oluşan metalografik işlemlerden geçirilmiştir.



Şekil 5.1 Olympus BX53M markalı metalürjik optik mikroskop

200X büyütmelemlerde alınan mikroyapı görüntüleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir. Tablo 5.1'de satırlar iç, orta ve dış olarak ayrılmaktadır, bunun anlamı namlunun yiv-set tarafına yakın olan iç tarafları iç, çepere yakın olan en dış kısma yakın tarafları dış ve iki tarafın orta kısmı orta olarak nitelendirilmiştir.

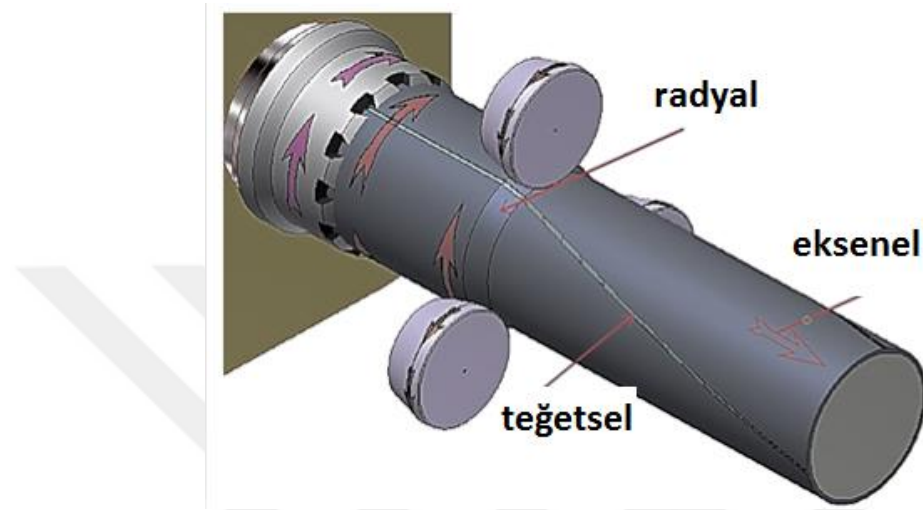
Tablo 5.1 Mikroyapı görüntüleri

	Flowform Namlu Mikroyapısı	Klasik Yöntemle Üretilen Namlu Mikroyapısı
İç		
Orta		
Dış		

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere flowform işleminde iş parçası iç çapta yer alan silindirik bir mandrel üzerinde makaralar altında ezilerek şekillendirilmektedir. Bu işlem rotasyonel bir haddeme işlemine benzemektedir. Dış çap üzerinde

makaralar vasıtasıyla plastik şekil değiştiren malzemede, iç taraflara inildikçe plastik şekil değiştirmenin etkileri azalmaktadır.

Bu sebepten dolayı flowform namlusunun morfolojisi iç taraflardan dış taraflara gidildikçe tane boyutunun azalması yönünde bir iç yapı sergilemektedir. İç taraflardaki tane şekli, boyutu ve dağılımında klasik namlu ile ciddi bir fark göze çarpmamaktadır.



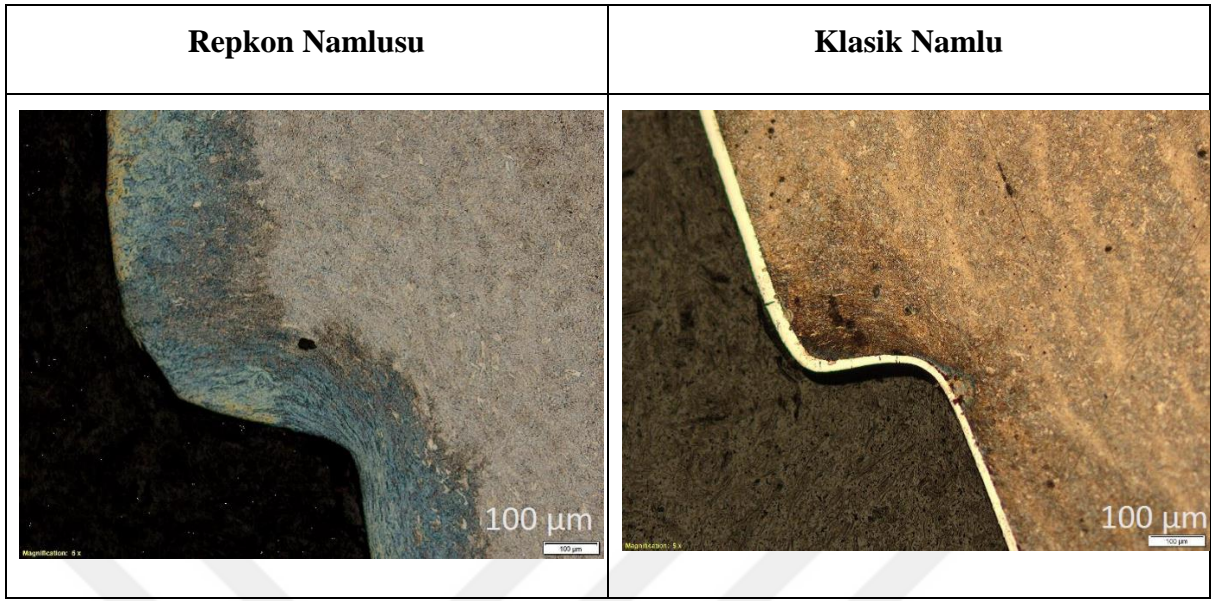
Şekil 5.2 Flowform işlem serbest cisim diyagramı

Orta tarafta flowform namlusunda iç taraflara nispeten daha belirgin bir seviyede tane boyutlarında bir düşüş göze çarpmaktadır. Dış tarafı incelediğimizde ise flowform namlusunda ciddi bir oranda tane boyutunda düşüş ve yönlenme meydana geldiği gözlemlenebilmektedir, klasik namluda ise mikro yapıda bölgeye göre herhangi bir değişim gözlemlenmemektedir.

Malzemelerin tane boyutlarının azalması Hall-Petch prensibine göre akma ve çekme mukavemetlerinin artmasını sağlamaktadır ve bu tane boyutundaki azalma mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir, tanelerin yönlenmiş olması ise stres konsantrasyon noktalarının azalmasını sağlayarak çentik oluşma ihtimalini azaltır ve böylece malzeme dayanımı ve ömrü artar. Ayrıca tane yönlenmesi malzemelerin yük transferini kolaylaştırır.

Mühimmatın namludan her çıkışında yivlere sürterek çıktığını göz önüne alırsak taneleri yönlenmiş bir yiv maruz kaldığı yükü arka tanelere daha rahat aktarır ve gerilimi arka tanelere yaymış olur, böylelikle aşınma daha uzun sürede meydana geleceği ön görülmektedir.

Tablo 5.2 Yiv-set mikroyapı görüntüleri



Tablo 5.2’de belirtilen mikroyapı görüntüleri yiv derinliklerini incelediğimiz zaman klasik namludaki yönlenmiş tane miktarı ile flowform namlusundaki yönlenmiş tane miktarı arasındaki fark görülebilmektedir. Tane yönlenmesi referans alınırsa flowform namlusu daha iyi mekanik özellik göstereceği öngörülebilir.

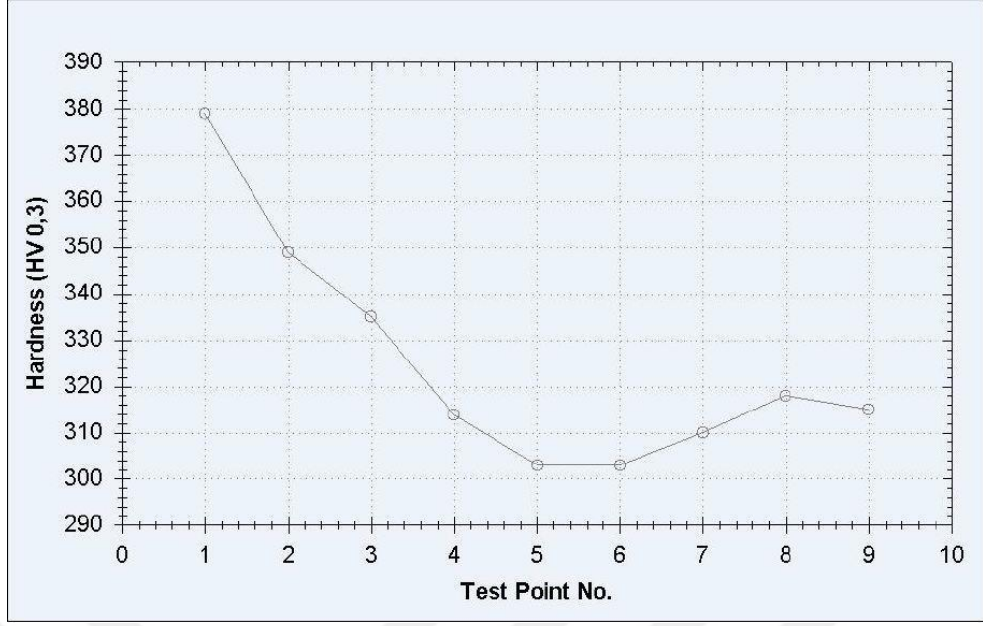
Tane boyutlarındaki değişimin ve tane yönlenmesinin mekanik dayanıma etkisini çekme testi ile kıyaslayabiliriz.

5.2 Flowform Namlusu ve Klasik Namlu Sertlik Ölçümleri

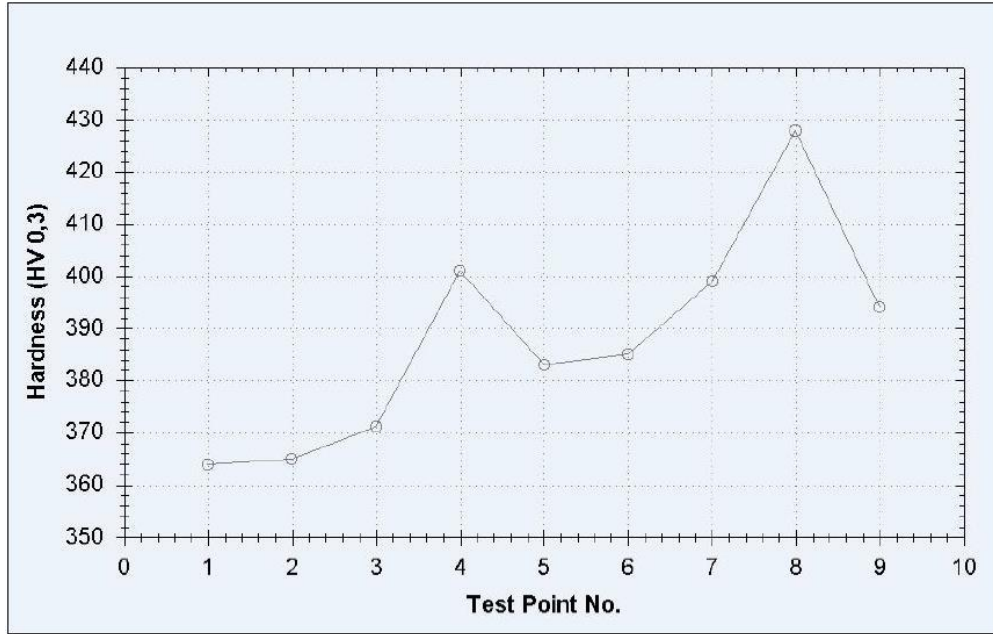
Flowform namlusunun ve klasik namlunun Emco-Test DuraScan-20 mikrosertlik cihazı ile 0,3 kg yükünde Vickers sertlikleri ölçülmüştür.

Her iki namlunun da dış, orta ve iç bölgeleri ve yiv-set bölgelerinin sertlik analizleri yapılmıştır. Sertlik testi yapma yöntemi şu şekildedir;

Mikroyapı analizinde bahsettiğimiz dış, orta ve iç bölgelerden üçer adet indent yapılmıştır ve sertlik grafiğinde 9 adet numune görülmektedir, görülen numunelerin 1,2 ve 3 numaralı olanlar dış tarafın, 4,5 ve 6 numaralı olanlar orta tarafın ve 7,8 ve 9 numaralı olanlar iç tarafın sertlik indentleridir. Şekil 5.3’te ve Şekil 5.4’te dış, orta ve iç bölgelerin sertlik değerleri yer almaktadır.



Şekil 5.3 Repkon namlusu dış, orta ve iç bölgelerin sertlik değerleri

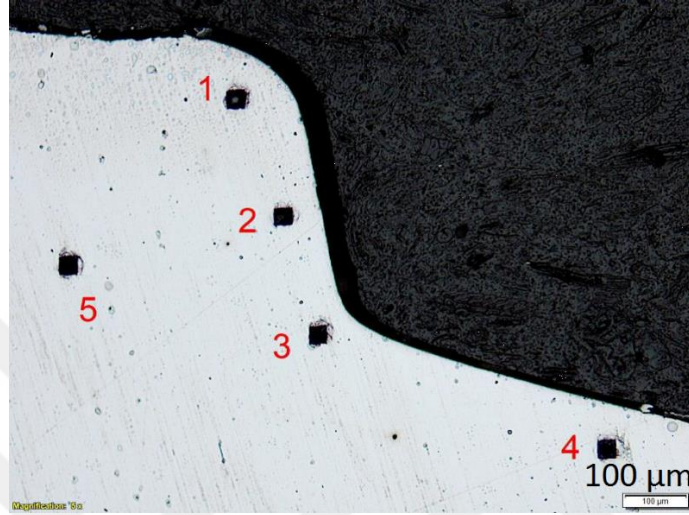


Şekil 5.4 Klasik namlu dış, orta ve iç bölgelerin sertlik değerleri

Mikroyapı analizinde Repkon namlusunun dış kısımlarının tane boyutu küçüldüğü için mekanik özellikleri yükselmesi öngörülmüştü ve Şekil 5.3 incelendiğinde dış bölgeye ait olan 1,2 ve 3 numaralı sertlik testleri diğer bölgelere göre bir hayli yüksektir. Orta ve iç bölgelerde 300-320 HV aralığında olan sertlik değerleri dış bölgede ise 350-380 HV aralığında olduğu görülmektedir. Klasik namlu ise bölgeye

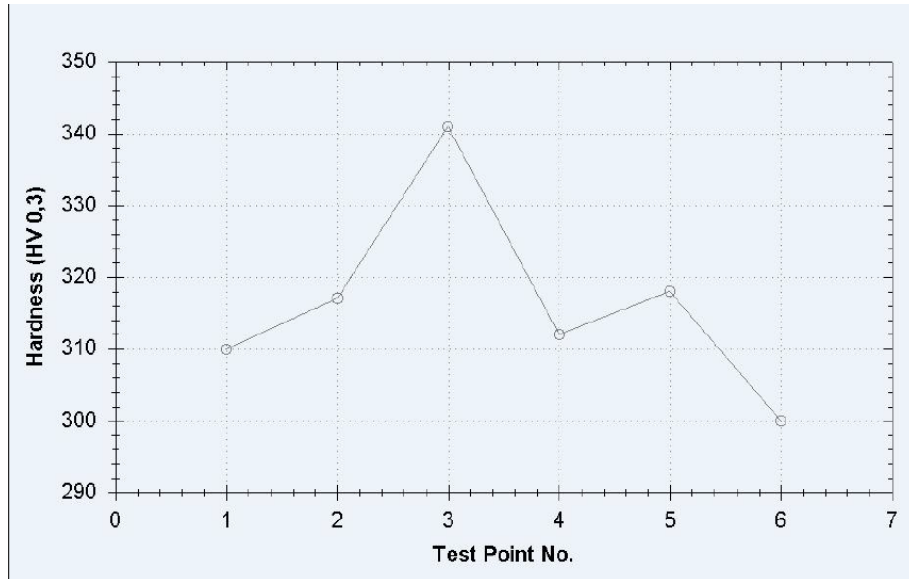
göre herhangi bir farklı bir mekanik özellik göstermemektedir, değişken olan sertlik değerleri tamamen malzeme özelliği ile ilgili olma ihtimali yüksektir.

Farklı bölgelerden alınan sertlik analizinin ardından sadece yiv etrafında 6 farklı noktadan indent yapılmıştır ve Şekil 5.5'te sertlik alınan noktalar numaralar ile gösterilmiştir.

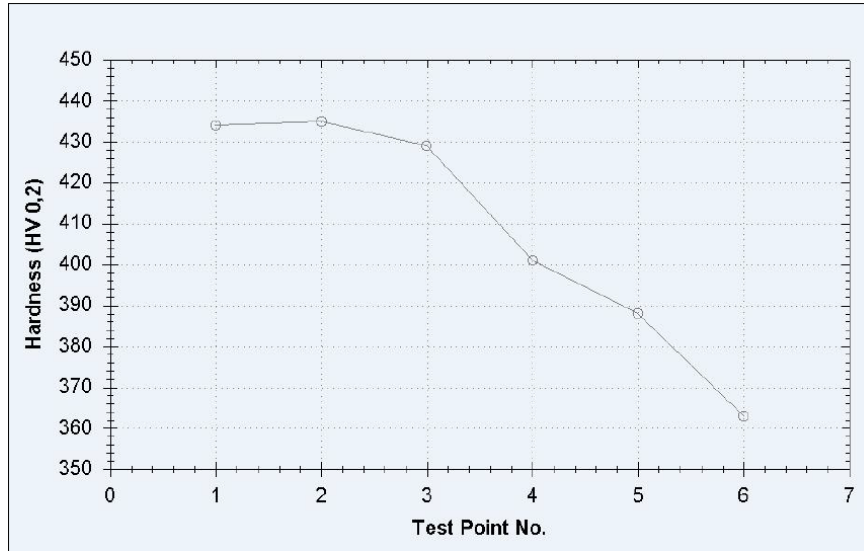


Şekil 5.5 Yiv-set etrafında indent yapılan noktalar

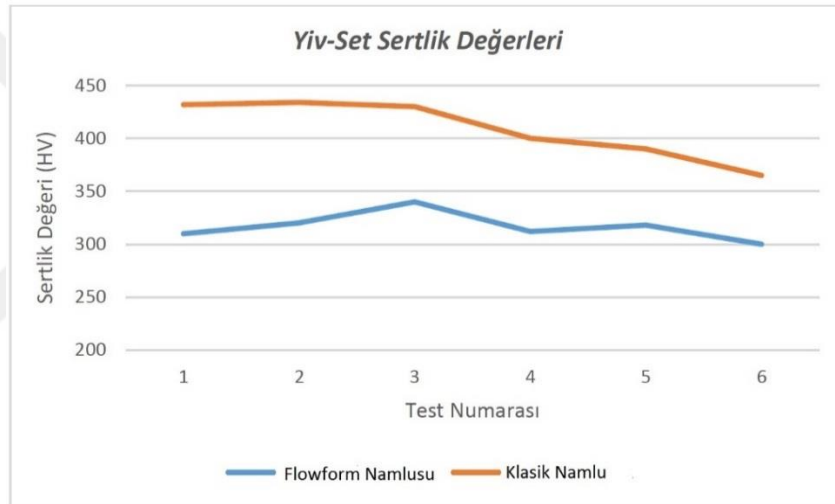
Şekil 5.6'da Repkon namlusu yiv-set çevresinde yapılan sertlik testlerinin ve Şekil 5.7'de klasik namlunun yiv-set çevresinde yapılan sertlik testlerinin sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Repkon namlusu yiv-set sertlik değerleri



Şekil 5.7 Klasik namlu yiv-set sertlik değerleri



Şekil 5.8 Namlu yiv-set sertlik değerleri

Sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde Repkon namlusu sertlik değerleri 300-340 HV aralığındadır ve en çok pekleşme gösteren bölge 3 numaralı bölge olduğu için orada grafik pik yapmıştır. Klasik namluda Repkon namlusu kadar yüksek pekleşme olmadığından dolayı pik yapan bir bölge yoktur, plastik deformasyondan dolayı oluşan yönlenmiş bölgede diğer yerlere göre daha yüksek sertlik değerleri görülmektedir ve sertlik değerleri 360-430 HV aralığındadır. Repkon namlusu her ne kadar daha yüksek seviyede pekleşme gösterdiği düşünülse de klasik namlunun imalatında kullanılan malzemenin mekanik özellikleri Repkon namlusunun malzemesinin mekanik özelliklerinden daha üstün olduğu kuvvetle muhtemeldir.

Çalışma süresince geniş bir literatür taraması yapılmıştır ancak firmaların ve ülkelerin flowform hakkında bilgi gizliliği prensipleri sebebiyle kısıtlı düzeyde bilgiye ulaşılmıştır. Literatürlerden elde edilen kısıtlı bilgi, Repkon firmasının sahip olduğu geniş yöntem bilgisi ve tecrübe ile birleştirilerek flowform ile üretilen parçaların yapısında meydana gelen fiziki değişimler derinlemesine incelenmiştir. İncelemeler Mk-19 bomba atar silahının 40mm yiv-set'li namlusunun flowform ile imalat süreci üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Süreç içerisinde öncelikle “Namlular flowform ile imal edilebilir mi? ” sorusu, Repkon tarafından geliştirilen patentli kalıp teknolojisi ile cevabını bulmuştur. İlk namlu imalatının ardından geometrik ölçüm sorgulamaları yiv üstü, yiv dibi çapları ve atım yatağı üzerinde bilgisayar destekli ölçüm sistemleri kullanılarak sağlanmıştır. Elde edilen veriler neticesinde flowform yönteminin doğasından gelen ve soğuk şekil değiştirmenin bir sonucu olan geri yaylanma prensibinin olumsuz etkileri ortadan kaldırılacak şekilde yeni kalıp tasarımları yapılmıştır ve bu kalıplar kullanılarak istenen namlu ölçülerine erişilmiştir.

Sürecin devamında elde edilen namlunun flowform sonrası gerek mikro yapısında gerekse mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri gözlemlemek amacıyla namlu üzerinden numuneler alınarak bir takım mekanik testler ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. İncelemeler neticesinde namluların en büyük problemlerinden olan yorulma etkisi, flowform yönteminin doğasında bulunan malzeme mikro yapısında meydana getirdiği ön yükleme ile büyük oranda azalacağı tespiti yapılmıştır. Bunun yanında yiv-set geometrisinin çok hassas toleranslarda elde edilmesi nişan ve menzil hassasiyetini arttırmıştır, yiv-set üzerinde pekleşme kaynaklı sertleşme ve flowform yönteminin en büyük avantajlarından olan iç yüzey kalitesinin yüksekliği namlu performansına önemli katkılarda bulunmuştur.

İncelemelerden elde edilen sonuçlar, flowform yönteminin gerek teknik, gerekse üretim hızı ve maliyet açısından konvansiyonel yöntemlere göre açık ara önde olduğunu göstermiştir.

Nihai noktada üretilen namlular, Mk-19 bomba atar silahları üzerine takılarak gerçek çalışma koşulları altında kullanılmıştır ve testlerin tamamından başarıyla geçmiştir.

40mm bomba atar namlusunun Ar-Ge süreci en başından sonuna kadar Repkon ve ülkemiz için namlu imalatı hakkında kritik yöntem bilgilerinin kapısını açmıştır ve ülke envanterine yeni bir askeri ürün ve yeni bir yöntem kazandırmıştır. Burada elde edilen bilgi ve tecrübe, ülke ihtiyacını karşılamak noktasında küçük ve büyük kalibre silahların namlu imalatı için kullanılabilir ve diğer ülkeler karşısında avantajlı konuma kavuşturabilir.

- [1] M. Joseph Davidson, K. Balasubramanian ve G.R.N Tagore An experimental study on the quality of flow-formed AA6061 tubes / Journals of Materials Processing Technology 203 (2008) 321-325
- [2] Zhen Chao, Fenghua Wang, QU Wan, Zhenyan Zhang, Li Jin ve Jie Dong Microstructure and mechanical properties of AZ80 magnesium alloy tube fabricated by hot flow forming / Materials and Design 67 (2015) 64-71
- [3] B.C Vriens, M. Haghshenas ve R.J. Klassen Investigation of the effect of roller inclination angle on the forming forces during a splined mandrel flow forming operation / Journal of Manufacturing Process 19 (2015) 183-186
- [4] H. Nagele, H. Wörner ve M. Hirschvogel Automotive parts produced by optimizing the process flow forming-machining / Journal of Manufacturing Process 98 (2000) 171-175
- [5] Bikramjit Podder, Chandan Mondal, K Ramesh Kumar ve D.R. Yadav. Effect of preform heat treatment on the flow formability and mechanical properties of AISI4340 steel / Materials and Design 37 (2012) 174-181
- [6] M.S. Mohebbi ve A.Akbarzadeh. Experimental study and FEM analysis of redundant strains in flow forming of tubes / Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 389-395
- [7] P. Maj, P. Blyskun, S. Kut, B. Romelczyk-Baishya, T. Mrugała, B. Adamczyk-Cieslak ve J. Mizera Flow forming and heat treatment of Inconel 718 cylinders / Journals of Materials Tech. 253 (2018) 64-71

Konferans Bildirileri

1. Mechanical Properties of Flowformed AISI 1.4330 Gun Barrel

ICAMMEN 2018 – Sayı 1 – Sayfa 45

International Conference on Advances in Mechanical and Mechatronics
Engineering 2018

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

