



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

BORU BÜKME KALIP TASARIMI VE ÜRETİM
PAREMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Merve YAVUZ

Yüksek Lisans Tezi



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP MODELLEME İLE BORU BÜKME KALIBI
TASARIMI VE ÜRETİM PAREMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Merve YAVUZ

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2011
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Merve YAVUZ tarafından hazırlanan “BİLGİSAYAR DESTEKLİ KALIP MODELLEME İLE BORU BÜKME KALIBI TASARIMI VE ÜRETİM PAREMETRELERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Başkan : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
../../....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
 - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././....
İmza
Ad ve Soyadı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORU BÜKME KALIBI TASARIMI VE ÜRETİM PAREMETRELERİNİN

Merve YAVUZ

Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Bükme işlemi pek çok endüstri alanındaki en önemli metal şekillendirme operasyonlarından biridir. Bükme, malzemelerin doğrultularının sıcak ve soğuk olarak istenilen yöne doğru değiştirilmesi işlemidir. Boru bükme, uçak-uzay, otomotiv ve inşaat sektörleri de dâhil olmak üzere pek çok alanda kullanılan bir işlemdir. Çok çeşitli metotlar boru bükme işleminde kullanılabilir. Borunun et kalınlığına, kıvrılması istenen radüs derecesine, üretimin azlığına çokluğuna, operatör kullanım gereksinimi ve ilk yatırım maliyetine göre farklı boru bükme yöntemleri kullanılabilir.

Boru bükme yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntem malafalı boru bükme yöntemidir. Malafalı bükme, borunun dönen bir kalıp etrafına sardırılarak büküldüğü bir yöntemdir. Bu yöntemde en çok karşılaşılan problemler borunun kırışması, borunun yamulması, borunun yüzey pürüzlülüğünün bozulması, kesit alanındaki bozukluklar ve borunun kırılmasıdır. Bu problemler, çok ince veya çok kalın et kalınlığına sahip borunun kullanılmasına, çok düşük değerlerde bükme açısıyla büküm yapılmasına, malafanın hatalı konumlandırılmasına bağlıdır.

Bu çalışmada boru bükmede karşılaşılan problemlerin oluşmaması için neler yapılması gerektiği açıklanmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ile 800 mm boyunda 25mm çapında 2.5 mm et kalınlığına sahip boruyu bükebilen, malafalı boru bükme makinasının boru bükme kalıpları tasarlanmıştır. Tasarlanan kalıpların makine üzerindeki montajları gösterilmiştir. Bu kalıpların tasarımında ve montajında dikkat edilmesi gereken noktalar vurgulanmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ile en doğru kalıplar tespit edilmiştir. Tasarımda oluşan hatalar üretim aşamasından önce bilgisayar ortamında düzeltilmiştir. Böylece bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak zaman, işçilik ve malzeme kaybı önlenmiştir ve maddi kazanç sağlanmıştır. Yapılan çizimler ve montajlarda Catia ve Solidworks programları kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Boru bükme, bilgisayar destekli tasarım, kalıp.

2011, viii+76 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN OF PIPE BENDING MOLD AND INVESTIGATION PRODUCTION PARAMETERS

Merve YAVUZ

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Bending is the most commonly used bending method and is used widely in many industries. Tube bending is a widely used process in the aerospace, automotive, construction and other industries. There are many methods for bending process. Methods can be selected according to bend ratio, tube thickness, pipe diameter, operator's requirement, the cost of initial investment.

Rotary-draw bending is the type that is used the most among all types of the tube bending process. Rotary draw bending is basically a bending operation where the tube is wrapped around a radius block to form the required bend with or without a mandrel depending on cross section requirements. The important process parameters of tube bending are bend ratio, tube thickness and pipe diameter. The main problems that can be faced during tube bending with rotary-draw bending are; wrinkling, cross-section distortion, tube breakage and degradation of surface roughness. The correct use of the process parameters would help to avoid or minimize these defects. This study includes the main problems that can be faced during tube bending with rotary-draw bending and includes what should do to avoid these erroneous.

In this study, moulds were designed for tube bending machine to bend the tube which is 800 mm length, 25mm diameter and 2.5 mm tube thickness. Mold parts were designed and assembled. Catia and Solidworks programmes was used to design and assemble the parts.

Key words: Tube bending, mould, cad(Computer Aided Design).
2011, viii +76 pages.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda her konuda yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK'e teőekkürlerimi sunarım. Bana her konuda destek veren aileme özellikle tez çalıőmamda yardımcı olan babam Prof. Dr. Nurettin YAVUZ' a çok teşekkür ediyorum. Ayrıca çalıőmamın oluşmasında yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini paylaşan BTS Makine Sanayi ve Ticaret Firma Yetkilisi Turan CESUR Bey'e teőekkürlerimi sunuyorum.

Adı Soyadı

.../.../....

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kaynak Özetleri.....	3
2.2. Kurumsal Temeller.....	9
2.2.1. Boru Bükme	9
2.2.1.1. Büküm işlemi teorisi	11
2.2.1.2. Boru bükme metotlar.....	14
2.2.1.2.1. Malafalı bükme	14
2.2.1.2.2. Sıkıştırma bükme.....	15
2.2.1.2.3. El ile bükme.....	15
2.2.1.2.4.Pres bükme.....	21
2.2.1.2.5.Yarı otomatik bükme (Hidrolik bükme).....	21
2.2.1.2.6.CNC bükme.....	23
2.2.1.2.7.Profil ve boru kıvrırma makinesi (3 toplu silindir bükme).....	25
2.2.1.3. Boru Bükme Uygulama Alanları.....	28
2.2.1.4. Makinalarda Boru Bükmede Dikkat Edilecek Hususlar	29
2.2.2.Malafalı Boru Bükme Makinesi Çeşitleri	31
2.2.2.1. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası.....	31
2.2.2.2. Hidrolik Sıkma Boru- Profil Bükme Makinası	32
2.2.2.3. PLC Kontrol Dijital Dereceli Boru- Profil Bükme Makinası	33
2.2.2.4. CNC Kontrol Boru- Profil Bükme Makinası	33
2.2.3.Manuel Yarı Otomatik Boru-Profil Bükme Makinesi Tanıtımı, Kullanımı ..	34
2.2.3.1. Makine Aksamları	35
2.2.3.2.Aksesuar Bağlantıları ve Ayarları	38
2.2.3.3 Malafa Ayarı	40
2.2.3.4. Yağlama	42
2.2.3.5. Çalıştırma	43

2.2.4. Boru Bükmede Karşılaşılan Problemler.....	44
2.2.4.1. Borunun Kırılması.....	44
2.2.4.2. Borunun Kırışması	45
2.2.4.3. Borunun Yamulması	46
2.2.4.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Bozulması.....	47
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
4.BULGULAR ve TARTIŞMA.....	51
4.1. Kalıp Tasarımı,Kalıp Parçalarının Özellikleri ve Modellenmesi.....	51
4.1.1. Boru	51
4.1.2. Bükme Kalıbı	51
4.1.3. Sabit Çene	56
4.1.4. Hareketli Çene.....	58
4.1.5.Malafa.....	60
4.1.6.Kızak	62
4.1.7.Kaşık.....	62
4.1.8. Bükme Kolu	63
4.1.9.Dişli Mili	63
4.2.Kalıp Parçalarının Montajı	64
5.SONUÇ.....	70
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Boru bükmenin kullanıldığı sektörler.....	10
Şekil 2.2. Boru bükme kalitesini etkileyen parametreler.....	10
Şekil 2.3. Stres ve Gerilmeler.....	11
Şekil 2.4. Bükme açısı-Esneme grafiği.....	12
Şekil 2.5. Malafa kullanım değerleri.....	13
Şekil 2.6. Boru bükme metotları.....	14
Şekil 2.7. Manüel boru bükme tertibatının kısımları.....	15
Şekil 2.8. İş parçası.....	17
Şekil 2.9. Kalıp.....	17
Şekil 2.10. Kalıbın mengeneye bağlanması.....	18
Şekil 2.11. Kum doldurma.....	18
Şekil 2.12. Kalıpta ölçü ayarlama.....	19
Şekil 2.13. Bükülecek kısmın ısıtılması.....	19
Şekil 2.14. Doğrubüküm.....	20
Şekil 2.15. atalı büküm.....	20
Şekil 2.16. Kalıpta bükme.....	20
Şekil 2.17. Açı kontrolü.....	20
Şekil 2.18. Hidrolik boru bükme makinesi.....	21
Şekil 2.19. Hidrolik bükme kalıpları.....	21
Şekil 2.20. Paçanın makineye bağlanması.....	22
Şekil 2.21. Parçayı makinede bükme.....	22
Şekil 2.22. Parçanın makineden çıkartılması.....	22
Şekil 2.23. CNC boru bükme makinesi.....	24
Şekil 2.24. Parçanın değişik açı ve ölçüde bükülmesi.....	24
Şekil 2.25. 3Toplu silindir ile boru kıvrırma.....	25
Şekil 2.26. Profil bükme makinesi.....	26
Şekil 2.27 Parçanın merdaneye bağlanması.....	26
Şekil 2.28. Parçanın bükmeye başlaması.....	27
Şekil 2.29. Parçanın bükülmüş şekli.....	27

Şekil 2.30. Kıvrılabilen profil tipleri	27
Şekil 2.31. Tesisatlarda kullanılan boru bükme uygulamaları.....	28
Şekil 2.32. Çeşitli boru ve profil bükme örnekleri.....	30
Şekil 2.33. Manul Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası.....	31
Şekil 2.34. Hidrolik Sıkma Boru- Profil Bükme Makinası.....	32
Şekil 2.35. Kalıba bağlı hidrolik sistem.....	32
Şekil 2.36. PLC Kontrol Dijital Dereceli Boru- Profil Bükme Makinası.....	33
Şekil 2.37. CNC Kontrol Boru- Profil Bükme Makinası.....	33
Şekil 2.38. Manul Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası.....	34
Şekil 2.39. Makinedeki başlıca bölümler.....	34
Şekil 2.40. Gövde Aksamı.....	35
Şekil 2.41. Bükme grubu redüktör dişli kutusu.....	36
Şekil 2.42. Bükme Aksamı.....	37
Şekil 2.43. Makine Aksesuarları.....	38
Şekil 2.44. Hareketli çenenin uygun pozisyona getirilmesi.....	39
Şekil 2.45. Malafa milinin ayarlanması.....	40
Şekil 2.46. Boru içinde potluk oluşumu	41
Şekil 2.47. Malafanın doğru konumlandırılması.....	41
Şekil 2.48. Yağlanması gereken parçalar.....	42
Şekil 2.49. Butonlar.....	43
Şekil 2.50. Bükme sonrasında kırılan boru	44
Şekil 2.51. Kaşığın kalıpla boru arasındaki boşluğu doldurması.....	45
Şekil 2.52. Kırışmış boru	46
Şekil 2.53. Yamulmuş boru	46
Şekil 2.54. Yüzey pürüzlülüğü bozulmuş boru.....	47
Şekil 2.55. Kalıp ve sabit çene.....	47
Şekil 3.1. Numune boru.....	48
Şekil 3.2. Kalıp takımının dizilişi.....	49
Şekil 3.3. 4140 Çelik Kimyasal Analizi	50
Şekil 4.1. Bükülecek boru.....	51
Şekil 4.2. Radius seçimi.....	52
Şekil 4.3. Açınım ve uzunluk hesaplamaları.....	53
Şekil 4.4. Bükme açılarının belirlenmesi.....	54
Şekil 4.5. Kıvrılacak borunun özelliğine göre kalıba genel şeklinin verilmesi	55

Şekil 4.6. Kalıbioluştururken dikkat edilmesi gerekenler.....	55
Şekil 4.7. Bükme Kalıbı.....	56
Şekil 4.8. Sabit Çene Ölçüleri.....	57
Şekil 4.9. Sabit Çene.....	57
Şekil 4.10. Hareketli çene ölçüleri ve dikkat edilmesi gereken ölçü.....	58
Şekil 4.11. Hareketli çene bağlantı yeri ölçülendirilmesi.....	59
Şekil 4.12. Hareketli çene.....	59
Şekil 4.13. Toplu malafa.....	60
Şekil 4.14. Malafanın ölçülendirilmesi.....	61
Şekil 4.15. Malafa bağlantı deliği.....	61
Şekil 4.16. Malafa.....	62
Şekil 4.17. Bükme Kolu.....	63
Şekil 4.18. Dişli Mili.....	63
Şekil 4.19. Malafalı Montaj.....	64
Şekil 4.20. Tasarlanan Montajın Photoview 360’da Yapılan Gerçekçi Görünüşü.....	64
Şekil 4.21. Tasarlanan Kalıpların Bükme Makinesindeki Montajı.....	65
Şekil 4.22. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası.....	65
Şekil 4.23. Boru bükme makinası montaj parçaları.....	66
Şekil 4.2.4. Boru İçindeki Malafa.....	66
Şekil 4.25. Borunun İlk Bükümü.....	67
Şekil 4.26. Borunun İkinci Bükümü.....	67
Şekil 4.27. Borunun Son Bükümü.....	68
Şekil 4.28. Bükülmüş Boru.....	68
Şekil 4.29. Bükülmüş Borunun Photoview 360 ile Yapılan Gerçekçi Görünüşler.....	69
Şekil 4.30. Bükülmüş boru.....	69

1.GİRİŞ

Çalışma alanlarına göre metal malzemelerden talaş kaldırmadan seri halde ve çok sayıdaki parçaların üretilmesinde kullanılan makine parçasına kalıp denir. Kalıp elemanlarının hesabı, tasarımı ve imalatı kalıpcılık teknolojisinde en önemli konulardır. Klasik yöntemlerle yapılan kalıp hesaplarının zaman alıcı, zahmetli ve tasarımcıların hata yapma olasılığı sebebiyle bilgisayar programlarına yüklenilmesi zorunluluk olmuştur.

Bilgisayar Destekli Tasarım-CAD (Computer Aided Design) adından da anlaşılacağı gibi bilgisayar yardımı ile tasarım yapma eylemidir.Bu eylem oluşmadan önce, teknoloji ilk olarak bilgisayarları ortaya çıkarmıştır. Bilgisayarlar önceleri, sürekli yapılan matematiksel işlemleri kolaylaştırmak amacıyla çıkmış, daha sonraları sabit disklerin bulunması ile birlikte bilgi depolama amacıyla kullanılmaya başlanmışlardır. Teknoloji geliştikçe bilgisayarlar birçok sektörde yer almaya başlamış ve tasarımlar da bilgisayar yardımı ile yapılmaya başlanmıştır.Tasarımdaki teknolojik gelişme sürecinde ilk olarak çizim programları oluşmuş, daha sonra da bilgisayar destekli tasarım programları piyasaya çıkmıştır.

Bilgisayar destekli tasarım programları üretilen ürünlerin, üretimi esnasında tasarlanan süreçlerin sanal ortamda gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Genellikle Cad programı olarak Solidworks,Catia,Autocad, Unigraphics, I-deas, Pro-Engineer vs. kullanılmaktadır. Cad ortamında gerçekleştirilen tasarımı yapılan obje, Cam programları (Mastercam,Bobcad vs.) aracılığıyla Cnc tezgahlarına aktararak imal edilmektedir.

Son yıllarda tasarım ve üretim alanında geliştirilen CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım), CAD-CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim), CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) daha hızlı ve daha kaliteli ürünler üretilmesine ve imalat sürecinin büyük ölçüde azalmasına neden olmuştur. Aynı zamanda da hata ihtimali en aza indirilmiştir. Son yıllarda bilgisayar destekli sistemler, imalatın, özellikle tasarım aşamasında büyük zorlukları azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.Kolay ve hızlı olması zamandan tasarrufu

sağlamakta, bilgisayar ortamındaki birebir çizim, doğru ve güvenilir ölçüyü vermektedir. Tasarlanmış ürünlerde değişiklik yapabilme ve bunların montaja aksettirilmesi, detaylandırma kolaylıkları, çizimlerde ölçeklendirme kolaylıkları sayesinde kontrolde de büyük kolaylıklar sağlar, bu da güvenilirliği artırır, imalatçıya yorum imkanı verir, daha ucuz kalıp yapılmasını sağlar ve malzeme ve işçilik kaybına yol açmadan revize etmelerine olanak sağlar. Tasarım programlarında, teknik resimde yapılan ölçü değişikliği parçaya, parçada yapılan her türlü model değişikliği, o parçanın kullanıldığı tüm montaj dosyalarına, montaj sayfasında yapılan değişiklikler ait oldukları parça dosyalarına ve teknik resimlere yansımaktadır.

Bu yüzden ki, bilgisayar destekli tasarımın insan hayatının birçok alanında, otomotiv sektöründe, denizcilik sektöründe, uçak sanayide, makine ve tekstil sektöründe, mimarlıkta, bilim kurgu filmlerinde vb. kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Metal teknolojileri alanında soğuk şekillendirme kısmının en önemli konularından birisi boru bükme işlemidir. Boru bükme, uçak-uzay, otomotiv ve inşaat sektörleri de dâhil olmak üzere pek çok alanda kullanılan bir işlemdir. Bu çalışmada günümüzde bir çok sektörde kullanılan bükülmüş boruların üretiminde kullanılan yöntemler genel hatlarıyla incelenmiştir. Bu yöntemlerin en önemlilerinden birisi olan malafalı boru bükme hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Boru bükme işleminin temelleri ve boru bükme makinaları hakkında bilgi verilmiştir. Boru bükme işlemi esnasında karşılaşılan problemler ve bu problemlerin çözüm yöntemleri açıklanmıştır.

Bütün boru bükme yöntemleri arasında en çok kullanılan borunun dönen bir kalıp etrafına sardırıldığı yöntemidir. Bu çalışmada uygulama örneği olarak bu yöntem ile bükülecek bir boru için bilgisayar destekli tasarım ile boru bükme kalıpları tasarlanmış ve tasarlanan kalıpların montajı yapılmıştır. Cad yazılımı olarak Catia ve Solidworks kullanılmıştır.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kaynak Özetleri

Boruların bükülmesi birçok yönden incelenebilecek önemli bir konudur. Bu konu ile ilgili yayınlanmış birçok yayın bulunmaktadır.

Boyle, J.T., (1980), yaptığı çalışmada Reissner tarafından geliştirilen bir teoriyle kavisli boruların bükülmesi için doğrusal olmayan bir model açıklamıştır .

Lau, J. H., (1981), yaptığı çalışmada, bir borunun kombine eğilme ve bükme momenti etkisi altında sünme deformasyonunu açık bir analiz ile göstermiştir. Boyutsuz etkileşim eğrileri ve değişkenlerle ilgili çizelgeler; uzunluk, açı değişim oranı, moment büküm ve birim büküm oranı gibi parametreler mühendislik uygulamaları için kolaylık sağlayacağını belirtmiştir.

Wassermann, D. R., (1983), yaptığı çalışmada, iç basınç ve düzlem eğilme sayesinde, soğuk bükülmüş burulardaki gerilmeleri deneysel olarak araştırmıştır. Bir yeni boru ile eski borunun yükler altında eğilme test sonuçlarını çeşitli teorik tahminlerle karşılaştırmıştır.

Sohal, I. S., Chen, W. F., (1985), yaptıkları çalışmada, mühendislikte sık sık karşılaşılan büyük boru bükme problemi çalışması için başarılı bir şekilde kullanılan bir bilgisayar modeli geliştirmişlerdir. Önce pratik problemleri daha sonra kontrol problemlerini analiz etmişler ve teorik kesin çözümler ve sonuçlar arasında geliştirilen bilgisayar modeli elde edilmiştir.

Zahoor, A., (1992), yaptığı çalışmada, birleşik gerilme ve eğilme etkisi altında bir boruda bileşik çatlaklıklar için limit yük ve J direnç eğrisi çözümü geliştirmiştir. Çözümde kalın cidarlı silindirik borunun esas alınacağını ve boru testi için J çözümü uygulanabileceğini açıklamıştır. Malzeme direnç eğrileri, paslanmaz çelikte (304 tip) meydana gelen birleşik çatlaklıklar için geliştirmiştir.

Wang, Chuantao, Ph.D., The Ohio State University, (1993), bükme,kenar kıvrırma,derin çekme mekaniği ve bilgisayar destekli sistem modelleme ile gerilim, kırılma, kırışıklık ve bükülme parametrelerini incelemişlerdir.

Li, Haizhang, Ph.D., University of Minnesota, (1993), Malafalı boru bükme işleminin sonlu elemanlar yöntemi kullanarak deformasyon ve geri yaylanma analizini yapmışlardır.

Boussaa, Dj., Dang Van, K., Labbé, P., Tang, H. T., (1995) yaptıkları çalışmada, kavisli boruların bükülmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Eğrisel boruyu üç boyutlu olarak gözlemlemişler ve her model için bir formül oluşturmuşlardır. Standart FE rutinleri kullanarak bükme sorununu çözmek için bu modelden faydalanılacağını göstermişlerdir.

Shtub, A., Versano, R., (1999), çelik boru bükmenin maliyetini hesaplayarak, sınır ağları ve gerilme analizi arasında bir karşılaştırma ile ilgili çalışma yapmışlardır.Maliyet tahminlerini değiştirmek için yeni bir sistem geliştirilmiştir. Önerdikleri bu sistem ile maliyet tahmini için kullanılan lineer gerilme analizi modeli iyi bir performans ortaya çıkarmıştır.

Hu, Z., Li, J.Q., (1999) yaptıkları çalışmada, küçük bükme yarıçapı ile yerel indüksiyon ısıtma kullanarak boru bükmenin deformasyonunu ve gerilme durumunu bir bilgisayar simülasyon sistemi FEM ANSYS sistemi ve Elasto-plastik teoriye dayalı geliştirmişlerdir .

Bjørset, A., Remseth, S., Leira, B. J., Larsen, J. M., (2003), yaptıkları çalışmada, titanyum borularda bükme ve dış basınç etkisini incelemişlerdir. Sonlu elemanlar analizine dayalı tamamlayıcı nümerik bir yaklaşımın kullanımıyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Lineer olmayan sonlu elemanlar analizini kullanarak malzeme modeli parametreleri veri girişi analizi ve daraltma/bükme kapasitesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Boruların farklı D/t oranı için deney sonuçları doğrusal olmayan analiz

sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak titanyum borunun yüksek dış basınç ve bükme momenti etkisi altında titanyum borunun dizayn kontrolü için bir formül önermişlerdir .

Lee, Hokook, (2004), Oval tüplerin bükme analizi ve hidroform uygulamaları için çekerek bükme işlemindeki destekleyici sistemlerin optimizasyonu konusunda çalışmışlardır.

He Yang*, Yan Lin, College of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University (April 2004), Boru bükme yönteminin şekillendirme sınırı için kırışıklık analizi konusunda çalışmışlardır.

Iflefel, I. B., Moffat, D. G., Mistry, J., (2005), yaptıkları çalışmada kombine basınç ve moment yüklemeye dayanacak bir borunun kapasitesini, FE sayısal analiz yöntemiyle sunmuşlardır. Kombine bükme ve basınç yüklemesi altında borunun davranışını tayin etmişler ve etkileşim diyagramlarını hazırlamışlardır .

Lee, H., Van Tyne, C.J., Field, D., (2005), yaptıkları çalışmada, hidroform uygulamaları için rotatif bükme makinesi kullanarak oval boruların sonlu bükme analizini incelemişlerdir. Bu tipte bükülmüş boruların otomobil parçalarının imalatında, raylar, alt şasiler ve diğer dairesel boruların bükme ve şekillendirme operasyonlarında sık kullanıldığını açıklamışlardır. Ön şekillendirme operasyonları sırasında, eğri dairesel borunun kesiti, hidroform kalıplara uygun geometriyi ve yeterli yeri sağlamak için oval biçimde ezmişler ve uygulamada dairesel borular yerine oval borular kullanmak ön şekillendirmeyi ortadan kaldırmanın etkili bir yolu olabileceğini açıklamışlardır. Oval boru malafa kullanmaksızın bir hızlandırıcı sistemle kontrol edildiğinde bükülen bölgenin dış tarafında daha az gerinim ve incelme ile imal edilebileceğini göstermişlerdir. Bu sayede ön şekillendirme donanımı ve işçilik fiyatları azalmış ve bununla birlikte oval boru imalatı fiyatlarının da azalabileceğini açıklamışlardır. Malafa olmadan oval boruların bükülmesinde detaylı parametrik çalışmalar sunmuşlardır. Sonlu

elemanlar modeli tekniği ince cidar, gerinim, esneme, yassılaşma ve burkulma gibi deformasyon özelliklerini, dairesel ve oval boruları test etmek için kullanmışlardır.

YANG He, GU Rui-jie,ZHAN Mei,LI Heng,(2005), NC bükme yönteminde ince etli boruda sürtünme etkisinin borunun kesitsel kalitesine etkileri konusunda çalışmışlardır.

Zakaria rban,(2006),Yapısal şekil değişimi boyunca deformasyon analizini incelemiştir. Malzemenin ve kalıbın üzerindeki sürtünmenin deformasyonda etkili rol oynadığını belirtmiştir. Deformasyon boyunca gerilimi incelemek için analitik model geliştirmiştir.

Jie Zang,(2006) Lazer ile boru bükme ve metal ve metal olmayan malzemelerin lazer ile temizlenmesini incelemiştir. Lazer ile bükmenin avantajlarından bahsetmiştir.

Sorine, Mikhail ,(2007) , sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gelişmiş yüksek dayanımlı çelik boruların boru bükme ve hidroform ile şekillendirilebilirliği incelenmişlerdir.

Penekli ,(2008),sonlu eleman yöntemi kullanılarak, sıklıkla kullanılan T-şeklinde, U-şeklinde ve boru şeklindeki alüminyum profillerin farklı durumlar için geri yaylanma davranışları ve kesit alanlarındaki bozukluklar incelenmiştir. Profiller için bir dizi analiz gerçekleştirilmiştir ve bu analizlerdeki değişkenler bükme yarıçapı, kalınlık olarak belirlenmiştir.Borular için aksenal uygulanan kuvvetin profil üzerindeki geri yaylanmaya olan etkileri incelenmiştir. Görüldü ki, uygulanan aksenal kuvvet profil üzerinde gerdirmeye yol açmıştır ve neticesinde geri yaylanma açılarında düşüş meydana gelmiştir. Bunlara ek olarak, borularda meydana gelen kesit alanındaki düzleşme problemini ortadan kaldırabilmek için farklı iç basınçlar uygulanmıştır ve iç basıncın etkileri incelenmiştir. Uygun iç basınç uygulandığı takdirde, borulardaki düzleşme problemi büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Bükme yarıçapına, bükme açısına, kalınlığa, aksenal kuvvete ve iç basınca göre geri yaylanma ve kesit alanındaki bozukluklar için sonuçlar hazırlanmıştır. Sonuçlar, yayınlanan diğer araştırma sonuçlarıyla ve deneysel sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. Böylelikle hazırlanan modeller, bükme operasyonlarındaki kalıp ve ürün tasarımlarında kullanılabilir.

Ketsek,(2008), üç boyutlu Belytschko-Wong-Chiang tipi kabuk eleman tipi kullanılarak bir sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Sac malzemesinden ve bükülmemiş borunun üzerinden kesilen deney parçalarına çekme testi uygulanarak malzeme akma eğrileri elde edilmiştir. Prosese ait bütün veriler aynen alınmış, malzeme modeli olarak da borudan alınan parçanın çekme testi sonuçlarından çıkarılan malzeme özellikleri kullanılmıştır. Değişik bükme açlarına sahip iki farklı simülasyon kurulmuş ve çözülmüştür. Bükülen boru örnekleri üzerinden bükülmüş bölgedeki et kalınlığı değerleri ve çap değerleri ölçülmüş, bu değerler doğrultusunda sekil değişimi hesaplanmıştır.

Gang-yao ZHAO, Yu-li LIU,He YANG and Cai-hong LU,(2008),İnce etli dik açılı borunun malafalı bükme yönteminde kesitsel bozulma davranışlarını incelemişlerdir.

H. Li, H. Yang, M. Zhan and Y.L. Kou' Northwestern Polytechnical University,(2008) Yükleme koşulları altında itme durumunda İnce et kalınlığına sahip borunun deformasyon davranışı konusunda çalışmışlardır.

Theofanous, M. , Chan, T.M., Gardner, L., (2009), yaptıkları çalışmada oval kesitli paslanmaz çelik borunun bükülmesinde meydana gelen yapısal etkileri incelediler. Testerde kullanılan numuneler Grade 1,4401 paslanmaz çeliktir ve soğuk şekillendirilme ile incelenmişlerdir. Numunelerin tüm dönme momentlerini hesaplamışlardır. Testlerde doğrusal olmayan sonlu eleman (FE) analizi ve parametrik çalışmaları uygulamışlardır. Bükülebilirlik için en-boy oranı ve ince kesit gibi anahtar parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Deneysel ve nümerik sonuçlara dayanarak, oval kesitli paslanmaz çelik borunun bükme işleminde yapısal dizayn önerilerini vermişlerdir.

Daxin, E.Yafei Liu'Huaibei Feng,(2010), Dairesel boruların malafalı boru bükme yöntemi için deformasyon analizi konusunda çalışmıştır.

Wenyun Wu, Li Jin, Jie Dong, Liming Peng, and Shoushan Yao¹, (2010) ,Et kalınlığına sahip AM30 magnezyum alaşımı boru döndürüp çekme büküm yöntemi uygulandıktan sonra test edilmiştir. Farklı gerilim değerlerinde borunun et kalınlığındaki deformasyon incelenmiştir. Yapılan çalışmada bükülen kalıbın gerilim altında kalan kısmının kayma sonucunda deforme olduğu tespit edilmiştir.

Yıldız (2010) daha küçük hacimli, ömrü daha uzun, tüm ısı değiştiricilerinde kullanılabilir genişletilmiş ısıl yüzeyli ve kendinden kanatlı slot formda helisel boru imalatı hakkında çalışma yapmıştır. Boru imalatı için rulo halinde gelen paslanmaz sacın bir doğrultucudan geçtikten sonra, slot forma getirilmek için bir roller formdan geçirilmesi, slot forma getirilen boruların TIG kaynağı ile birleştirilerek istenilen boyutta kesilmesi ve çapakları temizlenen boruların, taşıma robotu ile bükme ünitesine getirilerek, bu ünite de istenilen çapta ve adımda kılıcına bükülerek, helis boru elde edilmesi konusunu incelemiştir.

Tian, Shan ; Liu, Yuli ; Zhao,Gangyao ; Yang, He,(2010) Northwestern Polytechnical University ,İnce et kalınlığına sahip dik açılı borunun malafalı boru bükme yöntemi uygulandıında borudaki gerilim dağılım karakteristiklerinin analizini yapmışlardır.

Liu, Yu Li' Zhao, Gang Yao' Zhang, Jin ,Yang, He (2010) İnce et kalınlığına sahip dik açılı borunun malafalı büküm yöntemi ile bükülmesinde geometrik parametrelerin etkilerini incelemişlerdir.

Yang, H.,Li, H.,Zhan, M. İnce etli borunun küçük radyuslü bükümünde sürtünmenin rolünü incelemişlerdir.

2.2. Kuramsal Temeller

2.2.1. Boru Bükme

Malzemelerin doğrultularının sıcak ve soğuk olarak istenilen yöne doğru değiştirilmesi işlemine bükme adı verilir. Soğuk ve sıcak olarak yapılan bükmelerde, malzemelerin büküm yerlerinde şekil değişimleri meydana gelir.

Günümüzde boru bükme teknolojisinin giderek geliştiği bu son zamanlarda birçok sektörde boru bükme makineleri artık bir ihtiyaç haline gelmiştir. Otomotiv, hidrolik sanayi, uçak sanayi, kimyasal madde üretim tesisleri, gıda tesisleri, mobilya fabrikaları, makine hımalat sektörü, denizcilik sektörü ve daha birçok sektörde boru bükme makineleri günümüzde kullanılmaktadır.

Tüm sektörlerin farklı özelliklerde kullandıkları malzemelerin büküm işleminde boru bükme makineleri kusursuz işlem yapmaktadır. Malzeme cinsi bakır, demir, alüminyum ve diğer malzemelerde bükme işlemi gerçekleştirilebilir. Bu sayede hem zamandan hem de maliyetten tasarruf yapılır.

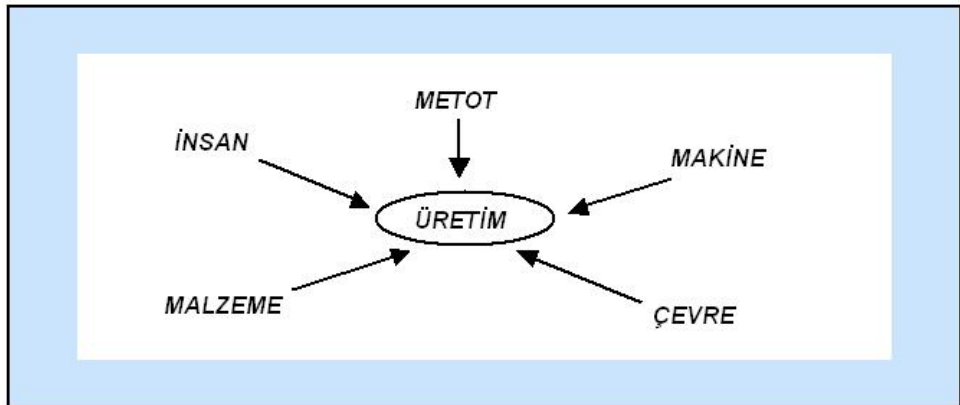
Günümüzde borunun kullanıldığı tüm sektörlerde kullanılmakta olan boru bükme makineleri üretim periyodunda vazgeçilmezdir. Borunun bükme kısımlarında bu makineyi kullanmayan üreticilerin yaptıkları kaynak ve kesme işlemleri bu makinelerin yaptığı işin yerini tutmaya çalışmaktadır. Halbuki harcanan zaman ve masraf göz önüne alındığında miktarın oldukça fazla değerlerde olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.1. Boru bükmenin kullanıldığı sektörler
(Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

Üretim aşamasında tehlikeli bölgelerde kullanılan boru sistemlerinde tehlikeyi minimuma indirir ve akışkanların içinden geçtiği borularda tehlikeyi minimuma indirir.

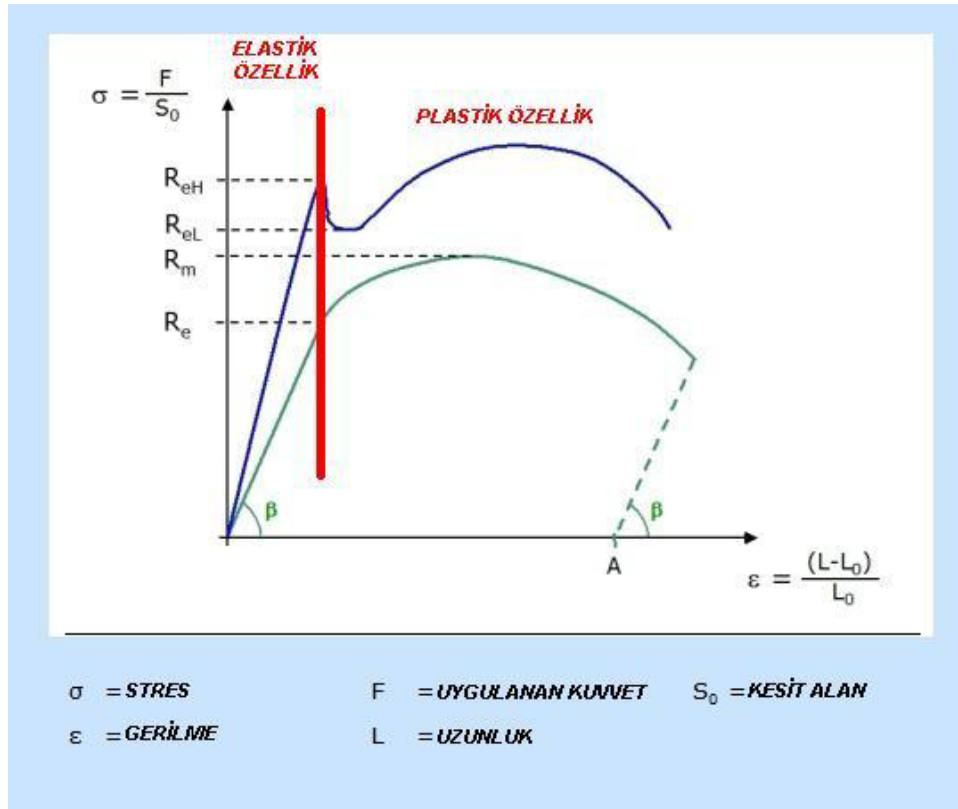
Boru bükümü kalite konusunda çok çeşitli faktörlerden etkilenir. Üretim periyodunda metot, işçinin bilgi beceri ve kabiliyeti, makineye hakimiyet, malzeme cinsi ve özelliği, malzemenin makineye ve yapılacak işe uygunluğu, makinenin işe yetkinliği ve çevre faktörleri kaliteyi etkileyen unsurlardır. Bu unsurların hepsinin sağlanması üretimde kalitenin artmasını sağlar. Bir kısmının istenilen düzeyde sağlanmaması bükümde kaliteyi düşürür.



Şekil 2.2. Boru bükme kalitesini etkileyen parametreler
(Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

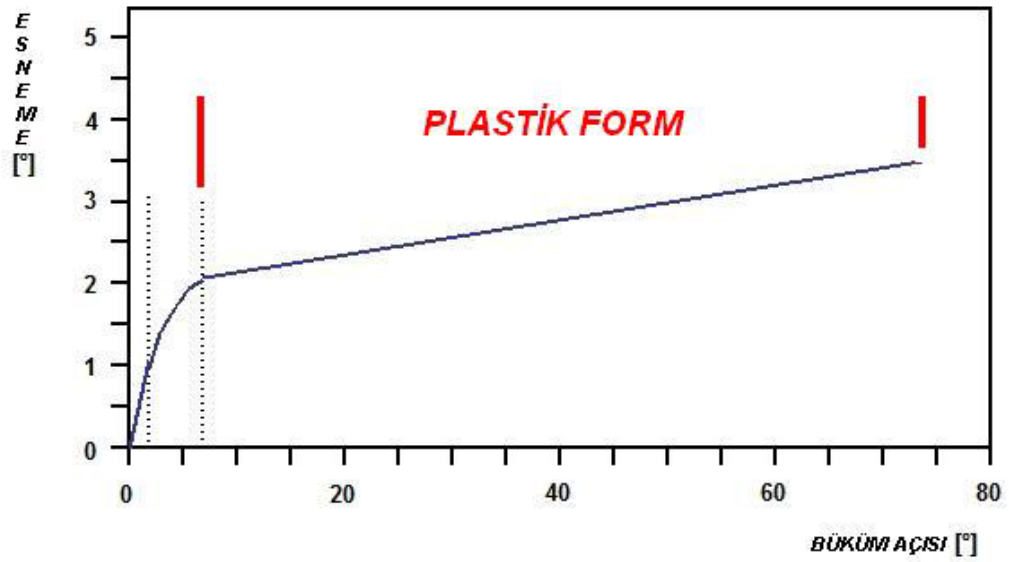
2.2.1.1. Büküm işlemi teorisi

Bükme işlemi uygulanırken ilk aşamada bükme işlemi yapılan soğuk malzemenin elastik özelliği göz önüne alınır. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi Hooke kuralına (Hooke’s Law) göre bükme işlemi yapılan malzeme öncelikle 2 durumda ele alınır. Bu iki durum sırasıyla elastik ve plastik hal durumudur. Bükme işlemi esnasında uygulanan kuvvet malzemenin elastiklik limitini geçtiği anda artık malzeme plastik özelliği gösterir. Bunu şöyle bir örnekle daha iyi açıklayabiliriz. Bir yayı belirli kuvvetle çektiğimizde yay tekrar uzama hareketinden sonra ilk haline geri dönüyorsa bu yayın elastik özelliğini kaybetmediğini ve kuvvetin buna uygun yani elastiklik diyagramı içinde uygulandığını gösterir. Bu şartlar altında uygulanan kuvveti arttırsak yayı bıraktığımızda artık eski haline geri dönmüyorsa bu durumda yay elastik özelliğini kaybetmiştir ve plastik özelliği göstermektedir.



Şekil 2.3. Stres ve gerilmeler (Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

Esneme-Açma Durumu Malzeme bükme işlemi gerçekleştirildikten sonra bükme işlemi eğer Hooke kuralına göre elastik bölgede gerçekleşmişse malzeme bükme sonrasında açma yapar. Bu açma elastiklik özelliğinin bir sonucudur. Malzeme üzerine bükme esnasında uygulanan kuvvetten doğan potansiyel enerji bükme tamamlandıktan sonra dış gerilme ortadan kalkar. Bu sebeple istenilen dereceden farklı olarak bir sonuç ortaya çıkar. Yaylanma / açma iki durumda incelenirse sırasıyla elastik form alanına şekil 2.4'de bakıldığında düzgün doğrusal bir artıştan söz etmek mümkün değildir. Malzeme elastik özelliğini kaybettiği durumlarda plastik forma geçtiği andan itibaren esneme / açmada düzgün doğrusal bir artış olur.

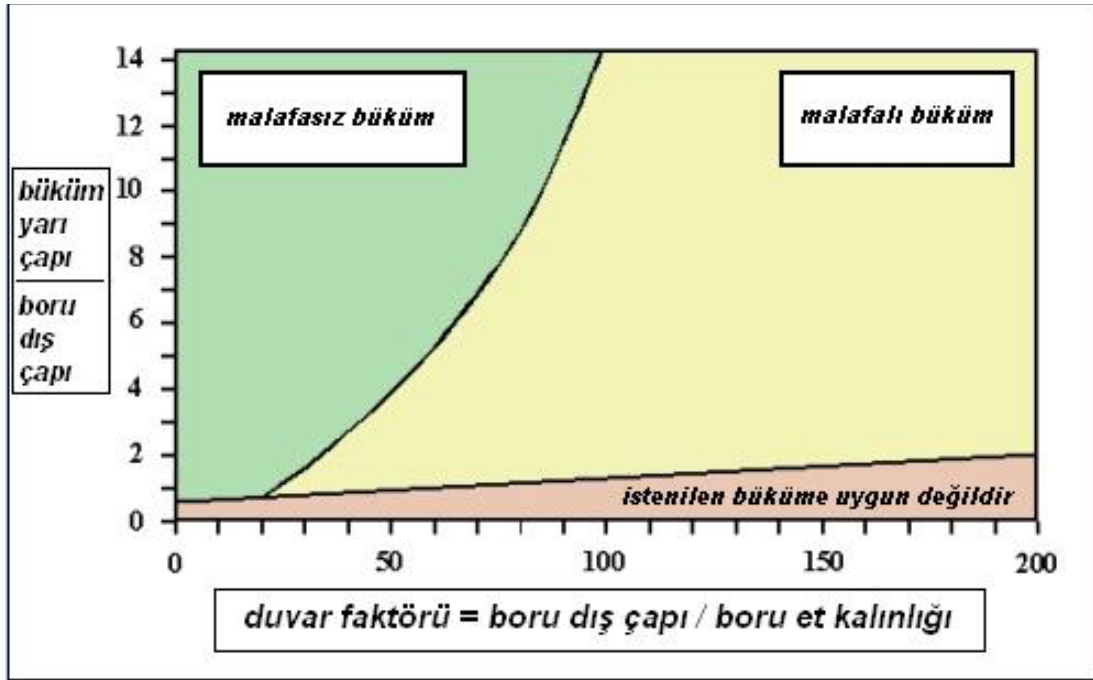


Şekil 2.4. Bükme açısı-Esneme grafiği (Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

Eğer ince et kalınlığında ve küçük yarıçaplarda boru bükme işlemi gerçekleştirilecekse yalnız kalıp kullanılarak yapılacak olan bükümlerde malzemenin bükme iç bölgesinde eziklikler ve şekil değişiklikleri meydana gelebilir. Bunu önlemek için bükme kalıbının yanında en iyi ve kusursuz sonucu alabilmek için kaşık kullanmak gereklidir. Kaşık, bükümü yapılacak borunun bükme kalıbı ile olan iç kısmında, borunun bükülecek olan iç kısmında yer alır. Kaşık sayesinde bükme iç kısmında oluşabilecek olan eziklikler ve şekil bozuklukları minimum seviyeye indirilir. Buna rağmen büküm işlemi sonrasında

eğer halen şekil bozuklukları gözlemleniyorsa bunlar bükümü yapılan borunun bu kısmında sonradan telafi edilemez. Bu durumlarda malafa kullanımı sorunu giderecektir.

Malafa kullanımını her boru için uygulamak çoğu işlemde gereksiz olabilir. Bu bakımdan istenilen en iyi sonucu optimum şartlarda elde edebilmek için yapılacak işin malzeme bilgilerinin ve büküm işlem bilgilerinin net bir şekilde işe başlanmadan önce belirlenmesi gerekir. Bundan sonrasında bir takım büküm işlem hesapları yapılarak eğer gerekiyorsa malafa belirlenir ve parçalar bu hesaba göre imal edilir. Kısaca büküm işlemi sırasında malafanın gerekli olup olmadığını şekil 2.5'te incelenebilir.

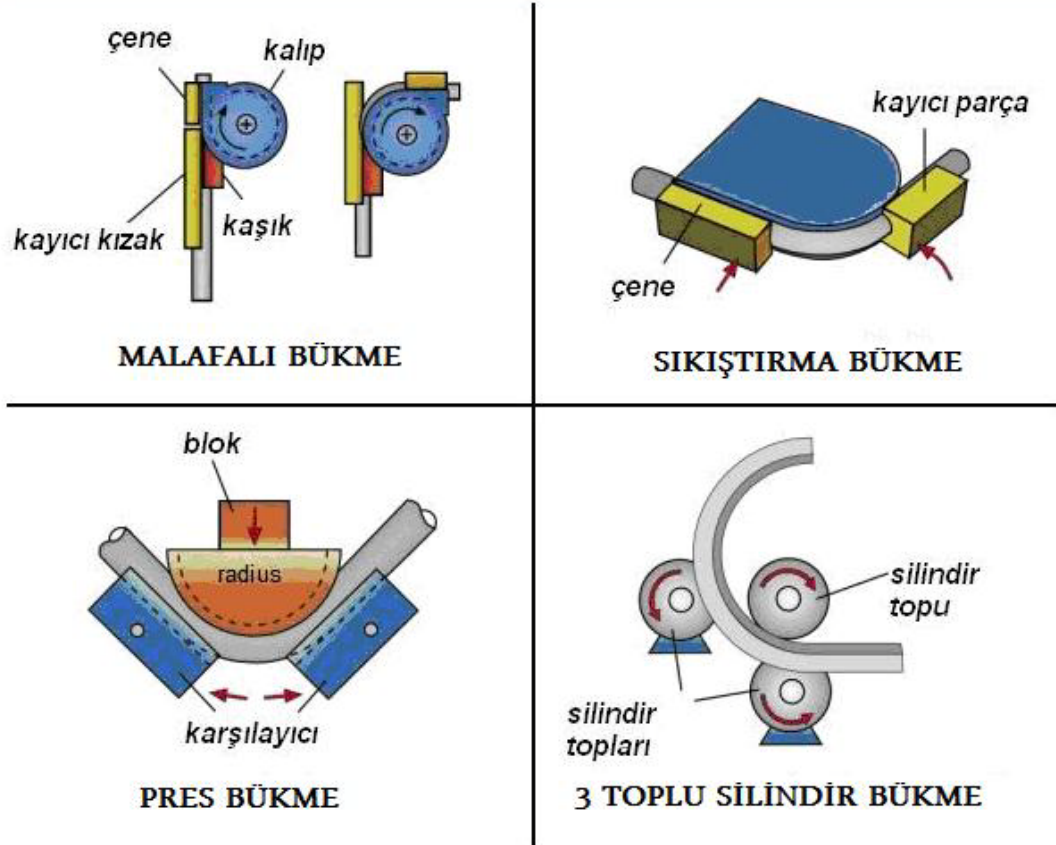


Şekil 2.5. Malafa kullanım değerleri (Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

Bükme işleminde malzeme üzerindeki stres bütün bükme işlemlerinde bükme esnasında malzemede üzerine çeşitli kuvvetler etki eder. Bükümün iç tarafında bir basınç kuvveti meydana gelir. Buna paralel olarak bükümün dış tarafında gerilme kuvveti oluşur. Nötr ekseninde malzeme boyunda herhangi bir değişiklik meydana gelmez.

2.2.1.2. Boru bükme metotları

Çok çeşitli metotlar boru bükme işleminde kullanılabilir. Fakat bükme işlemi için en uygun bükme metodunu seçmek malzemenin cinsine ve istenilen bükme şekline bağlıdır. En çok kullanılan malafalı bükme ve bunun dışında 3 toplu silindir bükme, pres bükme ve sıkıştırma bükme çeşitleri vardır.



Şekil 2.6. Boru bükme metotları (Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

2.2.1.2.1. Malafalı bükme

Malafalı bükmede boru bükme işlemi için yerleştirildikten sonra bükme kalıbı ile çeneler boruyu kavrar. Bükme kalıbı üzerinde boru, kalıbın yarıçapında bükülür. Eğer malafalı ve kaşıklı bükme kullanılırsa daha kaliteli ve ince et kalınlığına, düşük yarıçapa sahip bükümlerde daha iyi sonuç elde edilir.

2.2.1.2.2. Sıkıştırma bükme

Sıkıştırma bükme malafalı bükmeye yakın özelliklere sahiptir. Bükme kalıbı ve çene sisteminden oluşur. Ayrıca kayan parça mevcuttur. Kalıp sistemi şekil 2.6’da görüldüğü gibi malafalı bükmeden farklıdır.

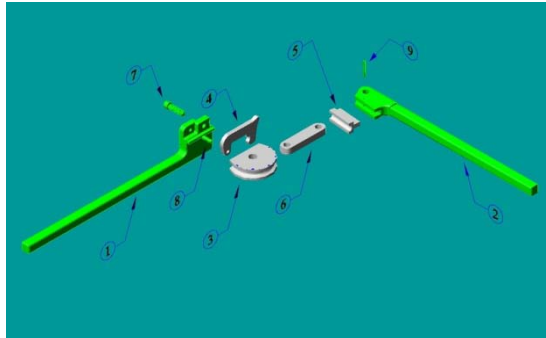
bükme yarıçapını elde etmek için kullanılır. Diğer bükme işlemleri için uygun değildir.

2.2.1.2.3. El ile bükme

El ile bükmenin orijinal metodu insan gücüyle başlamıştır. Elle boru bükme çok ekonomik olmasına rağmen yüksek üretim hızlarına, kalitesine veya tekrarlanabilirliğe yardımcı değildir. Boruları belirli bir açıda bükebilmek için kullanılan yöntemlerden birisi de sıcak bükümdür.

Borunun bükülebilmesi için, hesaplanan tav boyu işaretlenir. Borunun ölçü alınan tarafı mengeneye bağlanır. İşaretlenen kısım kırmızı renk alıncaya kadar ısıtılır. Borunun boşta kalan ucuna sabit kuvvet uygulanarak boru bükülür.

Bükümlerin uygun olabilmesi için boru içerisine kum doldurulur. Bazen işlerin seri olarak yürütülebilmesi için kumsuz da büküm yapılabilmektedir.



Şekil 2.7. Manüel boru bükme tertibatının kısımları
(Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010)

El ile boru bükme ekipmanının avantajları:

- Düşük başlangıç yatırımı
- İşlemin basitliği
- Portatiflik
- Nispeten güvenli işlem imkanı şeklindedir.

El ile boru bükme ekipmanının dezavantajları:

- Operatör becerisine olan ihtiyaç
- Sınırlı kapasite
- Otomatikleştirilememesi
- Kompleks parça şekillerinin üretiminin zor oluşu
- Kesinlik ve tekrarlanabilirlikteki sorunlar olarak sıralanabilir.

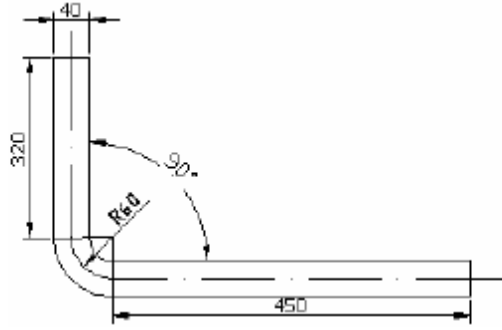
El ve aparatlarda boru eğme-bükmede aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

- Et kalınlığı az olan borularda bükümün iç kısmı dışa nazaran daha çok tavlmalıdır.
- Büyük çaplı borularda muhtelif kısımlar birbiri ardınca tavlansak bükülmelidir.
- Sıcak bükümlerde kumun kuru olmasına dikkat edilmelidir.
- Malafada büküm yapılacaksa malafa yağlanmalıdır.
- Borunun bir sıvı ile doldurulması gerekiyorsa doldurma işlemi bir defada yapılmalıdır.
- Kalıplarda büküm yapılacaksa kalıbın sağlamlığı kontrol edilmelidir.
- Eğer boruda kaynak varsa, kaynak kısmının tarafsız bölgede bulundurulması gerekir.
- Boru bükümlerinde bükülecek çap, en az boru çapının iki katı olmalıdır.

Fazla hassasiyet gerektirmeyen ve yumuşak gereçlerden yapılmış (alüminyum, bakır ve pirinç) ince cidarlı borular soğuk ve sıcak olarak elde bükülebilir. Bükülmek istenen parçaların şekline uygun kalıplar hazırlanır. Daha sonra kalıp mengeneye bağlanarak, bükme işlemi esnasında, boru çeperlerinin bükülen kısmı çeşitli yerlerden tavlansak veya tavlansadan bükülebilir.

Bükülecek boruların biçimlerinin bozulmaması için borunun içine soğuk ve sıcak bükümlerde, kum, bilyalar zinciri ve helisel bir yayla doldurulur. Soğuk bükümlerde ise; reçine, mastik ve kurşunla doldurulur yahut bir malafadan yararlanır. Doldurulan boruların bükülmesi, elle yahut bir tutma parçası ile veya bir iş kalıbı yardımıyla yapılır.

El ile boru bükme uygulamasına örnek ve işlem basamakları:



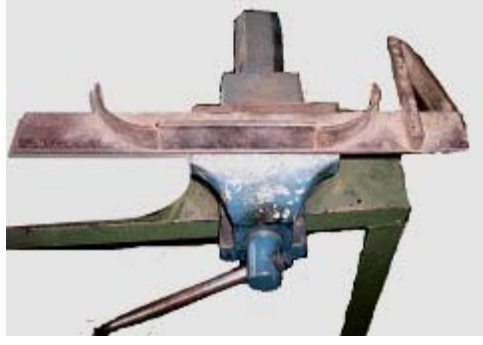
Şekil 2.8. İş parçası (Megep 2006)

- Bükülecek açı ve şekle göre açınım boyu hesaplanarak parça kesilir.
- Bükmek istenen şekle göre basit kalıp hazırlanır.



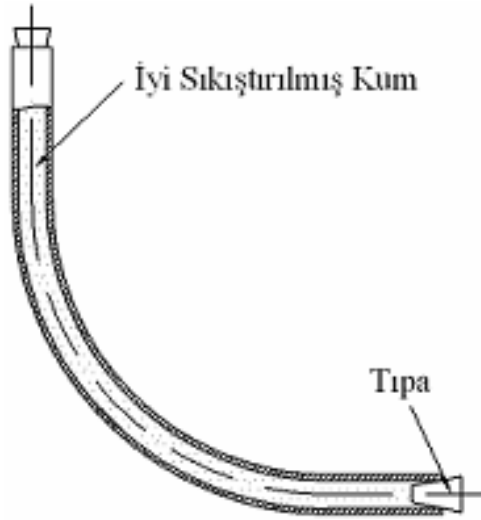
Şekil 2.9. Kalıp (Megep 2006)

- Açınım hesaplarını dikkatli yapılmalıdır. Yanlış bulunan açınım boyu, parçanın hatalı kesilmesi ve hurdaya atılmasına sebep olabilir.
- Kalıp mengeneye bağlanır ve mengene kolu sıkılır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Kalıbın mengeneye bağlanması (Megep 2006)

- Boru uçlarının sıkı bir şekilde kapalı olup olmadığını kontrol edilmelidir. Aksi durumda uçlardan dökülecek madde borunun boşalmasına sebep olacağından sağlıklı büküm elde edilemez.
- Eğer kum doldurulacaksa, sıcak bükümlerde kumun kuru olmasına dikkat edilmelidir.
- Sıcak ya da soğuk bükme türüne göre borunun içi uygun madde ile doldurularak malzemenin uçları kapatılır.



Şekil 2.11. Kum doldurma (Megep 2006)

- Bükülecek malzemeye basit bir kalıpta el ile istenilen şekil verilir.
- Bükülmek istenen ölçü ayarlanır. Bükülmek istenen ölçü kırmızı kalem ile işaretlenir.
- Sıcak büküm yapılacak ise, oksijen-gaz alevi ile ısıtılır (Şekil 2.13).



Şekil 2.12. Kalıpta ölçü ayarlama (Megep 2006)



Şekil 2.13. Bükülecek kısmın ısıtılması (Megep 2006)

- Büküm kısmının iç tarafından dışa doğru ısıtılır. Isı 200- 500 °C arasında olmalıdır.
- Boru ısıtarak kalıp istikametinde bükülür.
- Sıcak kısma dokunmamaya dikkat edilmesi gerekir.
- Bükmeyi yavaş şekilde yapılmalıdır. Aksi durumda hatalı bükülebilir.



Şekil 2.14. Doğru büküm (Megep 2006)



Şekil 2.15. Hatalı büküm (Megep 2006)



Şekil 2.16. Kalıpta bükme (Megep 2006)

- Bükülmüş boru kalıptan çıkarıp soğutulur ve uzunluk ve açı ölçüleri kontrol edilir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Açı kontrolü (Megep 2006)

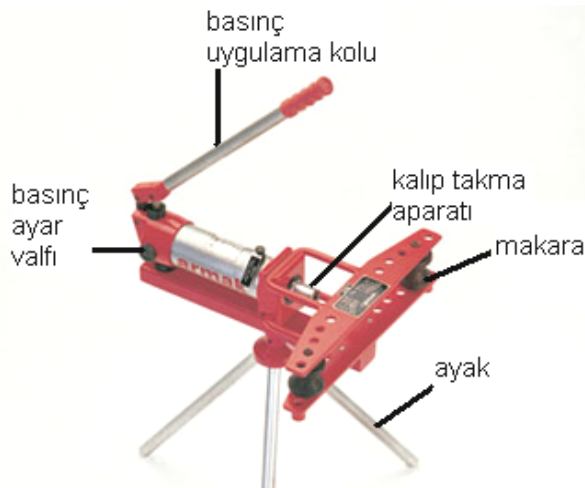
2.2.1.2.4.Pres bükme

Bu bükmede boru yerleştirildikten sonra bükme yarıçapı şekilde görülen yarıçap bloğuna karşılık gelen 2 karşılayıcının ayarlanmasıyla belirlenir. Yukarıdan gelen yarıçap bloğu manuel ya da hidrolik olarak kumanda sistemi adaptasyonu ile çalıştırılabilir.

Bu bükmede boru iç kısmından desteklenmez. Bükme kalın et kalınlığına sahip ve geniş bükme yarıçapını elde etmek için kullanılır.Diğer bükme işlemleri için uygun değildir.

2.2.1.2.5.Yarı otomatik bükme (Hidrolik bükme)

Hidrolik boru bükme makinesi, sıhhi tesisat işleri için gerekli olan boru bükme işlerine çok uygun olmaktadır. Özellikle hidrolik düzeneğinin insan gücüyle çalışması şantiye işlerine uygun olmaktadır. Aparat üzerinde çoğu kez parmak cinsinden boru çaplarına uygun dişi ve erkek kalıpları vardır. Bunlar aracılığıyla borular belli büküm yarıçaplarında 90⁰ ye kadar bükülebilir. Kullanılan kalıplar Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.18. Hidrolik boru bükme makinesi
(Megep 2006)



Şekil 2.19. Hidrolik bükme kalıpları
(Megep 2006)



Şekil 2.20. Paçanın makineye bağlanması
(Megep 2006)



Şekil 2.21. Parçayı makinede bükme
(Megep 2006)



Şekil 2.22. Parçanın makineden çıkartılması (Megep 2006)

Boru bükme makineleri mekanik, hidrolik ve elektrikli olarak imal edilmişlerdir. Rahatlıkla her yere taşınabilmesi ve kullanımının kolay olması nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Tesisatçının soğuk bükmelerde vazgeçemediği bir makinedir. Hidrolik boru bükme makinesi yağ basıncı ile çalışır.15 mm(1/2") ile 80 mm(3") çapları arasındaki boruları istenilen açıda bükülebilirler. Bu makinelerin bükülecek boru çaplarına uygun merkezi bükme kalıpları vardır. Bükme kalıpları dirsek ve köprü

bükümlerine göre yapılır. Bükümlerin tam ve doğru yapılabilmesi için boruların dış çaplarının standartlara uygun olması lazımdır. 15 mm, 20mm ve 25 mm çaplarındaki boruların bükümlerinde fazla sorun yaşanmaz. 25 mm den büyük çaplardaki boruların bükümlerinin sorunsuz olması için içlerine kum doldurulması faydalı olur.

Bu tip ekipmanların manüel makinelerden daha iyi olan önemli avantajları:

- Artan kapasite
- Operatör becerisine olan ihtiyacın daha az oluşu
- Büyük miktarlara uygunluk
- Zor uygulamalar için yetenekli oluşudur.

Yarı otomatik bükmenin dezavantajları:

- Operatörün kesinliğe ve üretim hızına doğrudan etkili oluşu
- Operatör uzmanlığına olan ihtiyaç
- Sınırlı parça kompleksliği
- Otomatikleştirmenin zor oluşu şeklinde sıralanabilir.

2.2.1.2.6.CNC bükme

CNC bükme makineleri diğer metotlarla benzer şekilde çalışır. Farkı servo sürücüler, eğri ve eğri yüzeyi arasındaki mesafeyi kontrol eder. Taşıyıcı sistem standart ekipmandır. Bükme aparatı hareketi ve sırası, parça data depolama ve diğer parçalar bilgisayar tarafından otomatik olarak kontrol edilir. Operatör makineye boruyu tutturur, başlama butonuna basar, makine boruyu bükerek, operatör boruyu makineden alır ve tekrar aynı işlemler gerçekleştirilir.

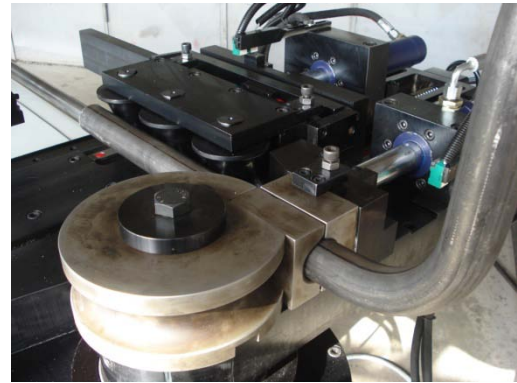


Şekil 2.23. CNC boru bükme makinesi (www.ozismakina.com.tr)

Bükülmek istenen boruların resimleri hazırlanarak kontrol panelindeki bilgisayara yüklenir. Gerekli komutlar verilerek çalıştırılır. Hassas bükümlerin yapılmasında kullanılan CNC boru bükme makineleri aynı parçayı değişik açı ve ölçülerde bükür. 3000mm uzunluğunda, 0-5mm et kalınlığında borular malafaya bağlanarak 0° - 210° ye kadar aynı parçayı 8 değişik açı ve ölçüde bükülebilir. Daha çok otomotiv sektöründe koltuk iskeleti yapımında vb seri üretimler için tercih edilir.



(Megep 2006)



(BTS Makine)

Şekil 2.24. Parçanın değişik açı ve ölçüde bükülmesi

CNC boru bükme işleminin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Maksimum kesinlik ve tekrarlanabilirlik,
- Üretim sırasında operatörün etkisinin azlığı,
- Yüksek derecede kontrol,
- Hızlı değiştirme,
- Çok yönlülük,
- Kompleks parça kabiliyetidir.

CNC boru bükme işleminin dezavantajları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

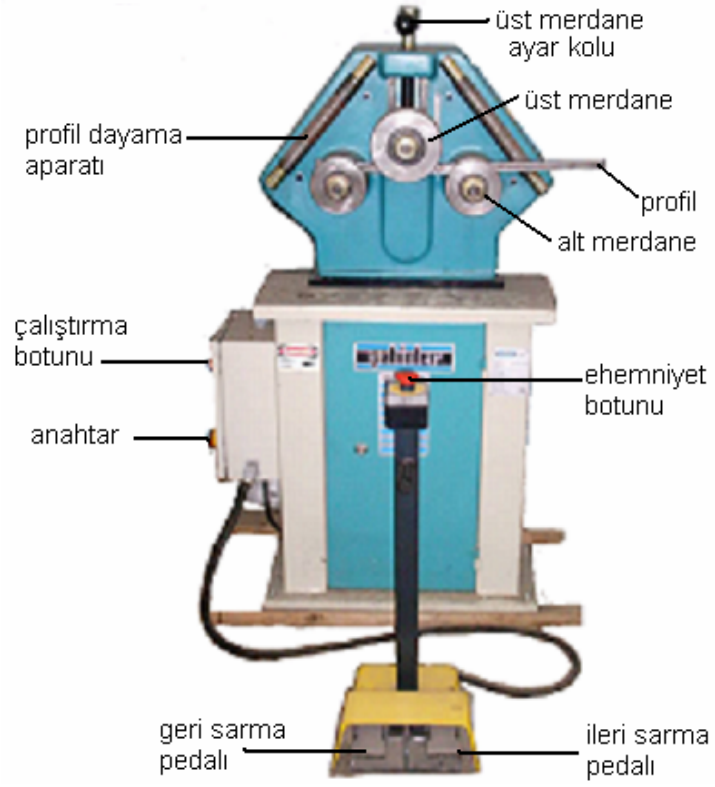
- Sermayesinin masraflı oluşu,
- Operatörün bilgisayar bilmesinin gerekliliği,
- Su, hava ve uygulanabilir elektrik enerjisine olan gereksinimdir.

2.2.1.2.7. Profil ve boru kıvrma makinesi (3 toplu silindir bükme)

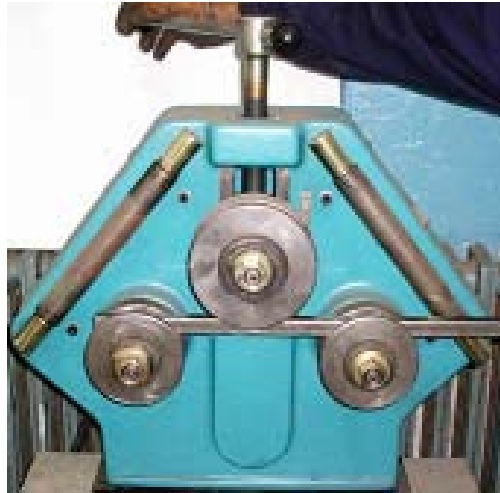


Şekil 2.25. 3 Toplu silindir ile boru kıvrma (BTS Makina)

Merdaneler piramit şeklinde dizilmiş olup, üst merdane tahriksiz, yukarı ve aşağı doğru üst merdane ayar kolu vasıtasıyla ayarlanabilir (Şekil 3.16). Alt merdaneler motor tahrikli olup ileri-geri sarma pedalları ile çalıştırılır. Profil bükme makinesi ile kavis şeklindeki bükümler yapılmaktadır (Şekil 3.19). Kıvrılabilen profil tipleri: L, T, Z, Y, vs. (Şekil 3.20)



Şekil 2.26. Profil bükme makinesi (Megep 2006)



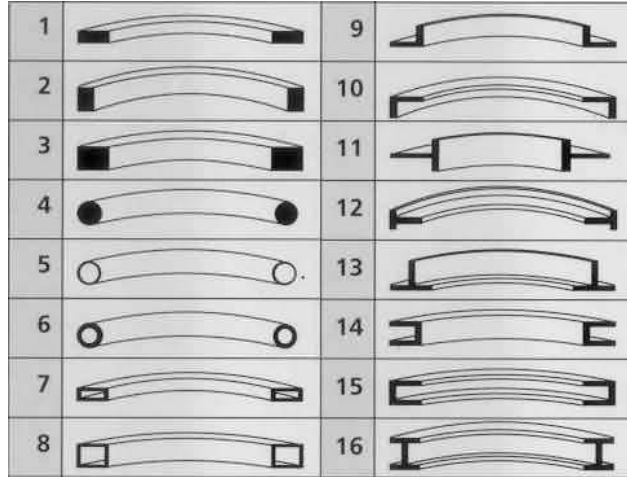
Şekil 2.27 Parçanın merdaneye bağlanması. (Megep 2006)



Şekil 2.28. Parçanın bükmeye başlaması (Megep 2006)



Şekil 2.29. Parçanın bükülmüş şekli (Megep 2006)



Şekil 2.30. Kıvrılabilen profil tipleri (Megep 2006)

2.2.1.3. Boru Bükme Uygulama Alanları

Büro koltuğu altlık borusu,

Otomotiv koltuk kızak hareket borusu,

Otobüs koltuk borusu,

Otomotiv koltuk alt destek borusu,

Sandalye kol ve ayakları,

Tesisat işlerinde,

Ev ve ofis mobilyaları (baza, sandalye, masa, yatak, kanepeler, mutfak, raf ve kapı kolları)

Egzos,

Isıtıcılarda,

Klima cihazlarında,

Kazan boruları,

Buzdolaplarında vs.



Şekil 2.31. Tesisatlarda kullanılan boru bükme uygulamaları (Karataş. 2010)

2.2.1.4. Makinalarda Boru Bükmede Dikkat Edilecek Hususlar

- Malafalı boru bükme makinasında büküm yaparken büküm kalıbının çapına ve büküm açısına göre borunun boyunda kısaltmalar meydana gelebilir. Sürtünmeyi azaltmak için malafa yağlanmalıdır.
- Dikişli boruların bükme işleminde dikiş yeri nötr eksen üzerine getirilmelidir.
- Hidrolik boru bükme makinesi ile çalışırken bükülecek kısım işaretlenmeli, açılış şekli tebeşir ile yere çizilmeli ve birbirine paralel bükümler için boru aynı ekseninde tutulmalıdır.
- CNC mandreli bükme makinesi sadece gerekli teknik bilgiye sahip kişiler tarafından kullanılmalıdır.
- Büküm yapılan alanın dışında durulmalıdır, aksi durumda dönen boru çarparak iş kazaları meydana getirebilir.
- Makine bulunan yağlama tertibatları kontrol edilerek gerektiğinde yağlanmalıdır.
- Kalıp değişimi sonrasında kalıp bağlama vidaları iyice sıkılmalıdır.
- İş bittikten sonra makine temizlenmeli ve eski konumuna getirilmelidir.



Şekil 2.32. Çeşitli boru ve profil bükme örnekler (www.btsmakina.com)

2.2.2.Malafalı Boru Bükme Makinesi Çeşitleri

Boruların çeşitine göre farklı malafalı boru bükme makinaları mevcuttur.Borunun et kalınlığına,kıvrılması istenen radyüs derecesine,üretimin azlığına çokluğuna göre farklı makinalar tercih sebebi olabilir.Kıvrırmak istenen boru nasıl bir makinada kıvrılabilir sorusunun yanıtını bulmak için malafalı boru bükme makinalarının bazı çeşitleri ve kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

2.2.2.1. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası



TEKNİK BİLGİLER

MAX. Boru çapı	32
MAX. Boru Et Kalınlığı (mm)	2
MAX. Boru Yarıçapı (mm)	300
MAX. Büküm Derecesi	190
Boru Büküm Hızlı (\sn)	68
Motor Gücü (kw)	2.2
Makina Ağırlığı (kg)	260
Makina Uzunluğu (mm)	1950
Makina Genişliği (mm)	850
Makina Yüksekliği (mm)	950

Şekil 2.33. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası (www.btsmakina.com)

Eğer günde az sayıda boru kıvrılacaksa (günde 25-50 arası) tercih edilebilir. Yarı otomatik bir makinadır.Borunun kıvrılması motor ile sağlanıyor fakat kullanımı sırasında operatör yardımı gerekiyor (eksen değiştirilmesinde vs.). Çok fazla maliyetli bir makine değildir.En basit malafalı boru bükme makinasıdır.

2.2.2.2. Hidrolik Sıkma Boru- Profil Bükme Makinası



Şekil 2.34. Hidrolik Sıkma Boru- Profil Bükme Makinası(www.btsmakina.com)

TEKNİK BİLGİLER

MAX. Boru çapı	32
MAX. Boru Et Kalınlığı (mm)	2
MAX. Boru Yarıçapı (mm)	275
MAX. Büküm Derecesi	190
Boru Büküm Hızlı (sn)	70
Motor Gücü(kw)	2.2
Makina Ağırlığı (kg)	340
Makina Uzunluğu (mm)	2400
Makina Genişliği (mm)	1000
Makina Yüksekliği (mm)	1050



Şekil 2.35. Kalıba bağlı hidrolik sistem (BTS Makine)

Manuel yarı otomatik boru- profil bükme makinasından farklı olarak tek pistonlu hidrolik sistem ilave olmuştur ve otomasyon sistemi değişmiştir. Maliyeti biraz daha fazladır.Çok fazla boru üretimi olan yerlerde (örneğin 24 saat çalışan fabrikalarda) tercih sebebidir.Boruyu bükmek için operatöre ihtiyaç yoktur.Boruyu hidrolik sıkıp kıvrır.

2.2.2.3. PLC Kontrol Dijital Dereceli Boru- Profil Bükme Makinası



Şekil 2.36. PLC Kontrol Dijital Dereceli Boru- Profil Bükme Makinası
(www.btsmakina.com)

Çift pistonlu makinadır.Hidrolik sıkmanın dışında arkada hidrolik malafa mevcuttur.İnce etli borular kıvrılacağı zaman sabit (hareketsiz) malafayla kıvrırma zorlaşır.Bazı durumlarda malafa boruya sıkışabilir.Böyle durumda arkadaki hidrolik sistem devreye girer ve bükümden hemen sonra malafa kendini borunun içinden geri çıkartır yani malzemeyi serbest bırakır.

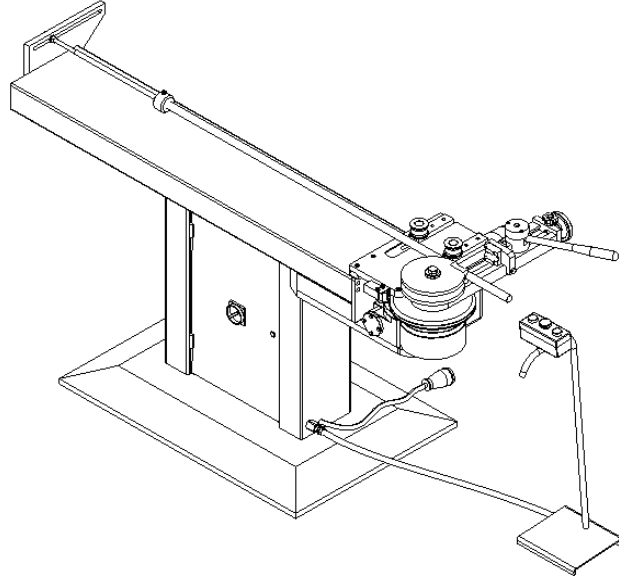
2.2.2.4. CNC Kontrol Boru- Profil Bükme Makinası



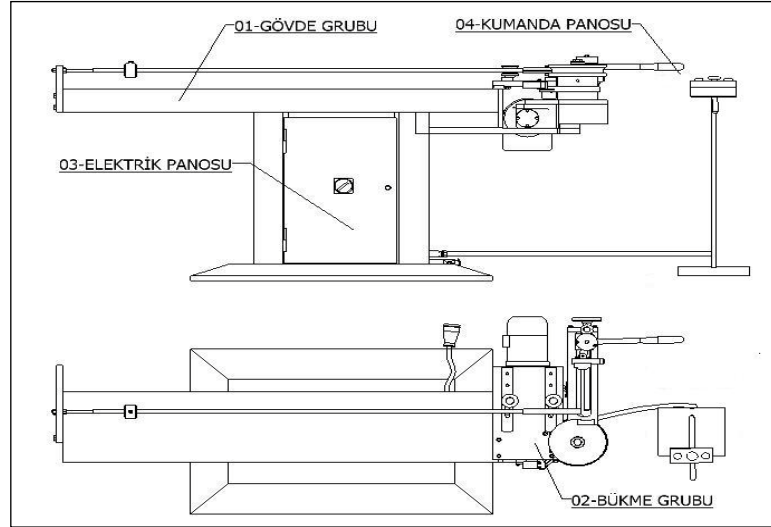
Şekil 2.37. CNC Kontrol Boru- Profil Bükme Makinası(www.btsmakina.com)

CNC Kontrollü Boru- Profil Bükme Makinası bükme işlemini otomatik olarak yapar.Kendine ait bir yazılımı vardır.Koordinat ve dereceler girilir ve bükme işlemi üç boyutlu olarak otomatik olarak gerçekleşir.

2.2.3.Manuel Yarı Otomatik Boru-Profil Bükme Makinesi Tanıtımı ve Kullanımı



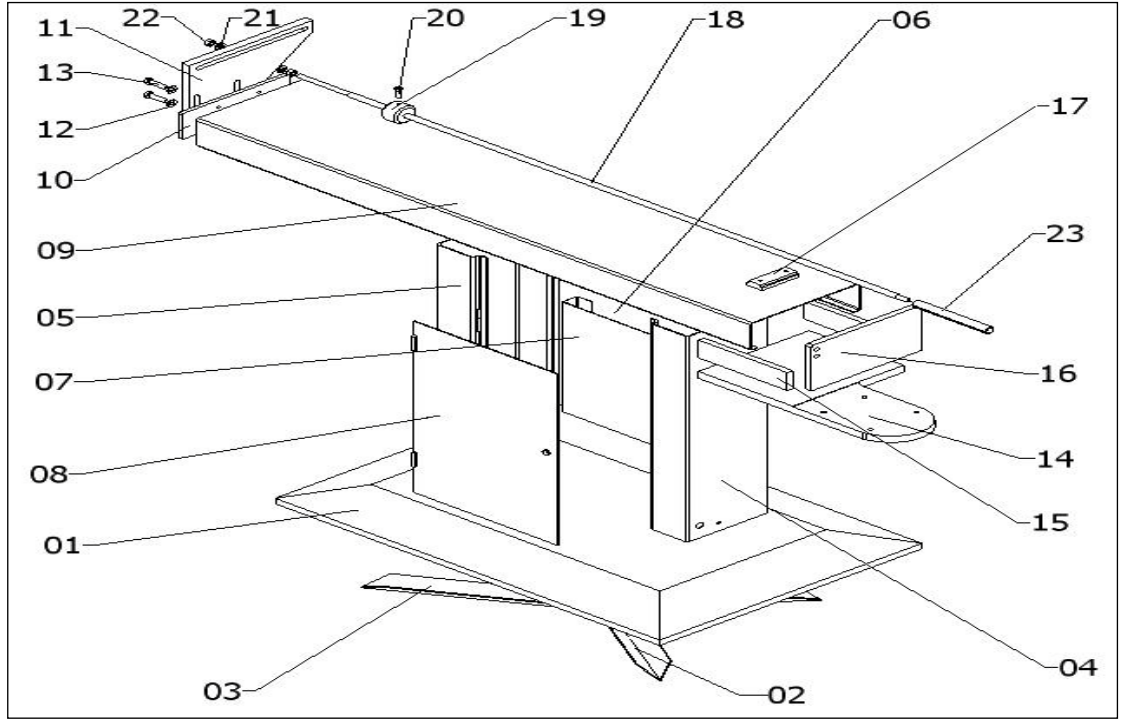
Şekil 2.38. Manuel Yarı Otomatik Boru Profil Bükme Makinesi (BTS Makina)



Şekil 2.39. Makinedeki başlıca bölümler (BTS Makina)

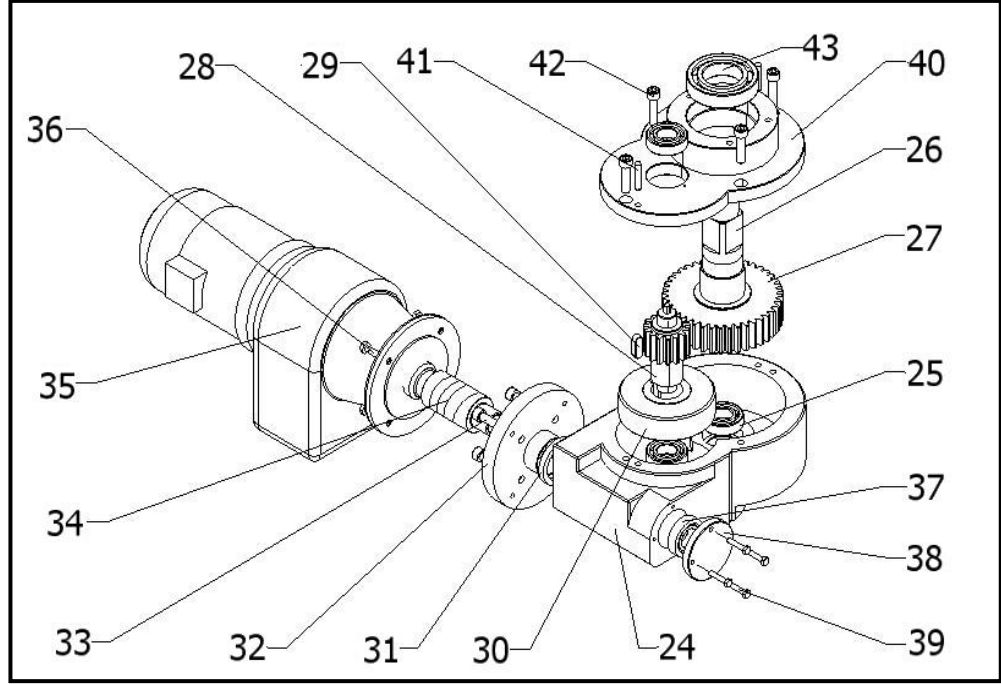
NO	ADET	AÇIKLAMA
01	1	GÖVDE GRUBU
02	1	BÜKME GRUBU
03	1	ELEKTRİK PANOSU
04	1	KUMANDA PANOSU

2.2.3.1. Makine Aksamları



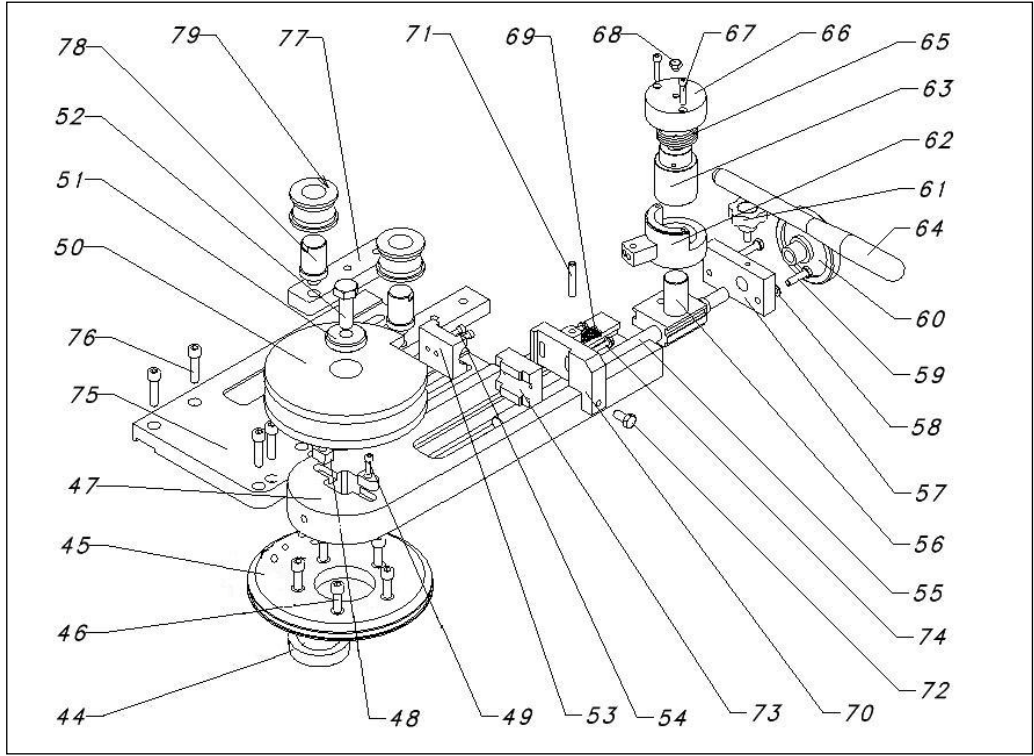
Şekil 2.40. Gövde Aksamı (BTS Makina)

PARÇA NO	PARÇA ADI
01	GOVDE ALT TABLA
02	UZUN TRAVERSLER
03	KISA TRAVERSLER
04	ON AYAK
05	ARKA AYAK
06	ARKA SAC
07	ELEKTRIK SACI
08	ELEKTRIK DOLAP KAPAGI
09	UST TABLA
10	UST TABLA ARKA KAPAGI
11	MALAFI MILI YATAKLAYICISI
12	M12 RONDELA
13	ALTIKOŞE CIVATA M12
14	REDUKTOR GONYE ALT PARÇA
15	REDUKTOR GONYE YAN PARÇA
16	REDUKTOR GONYE ON PARÇA
17	MAKARA TABLA TAKOZU
18	MALAFI MILI
19	MALAFI TAKOZU
20	IMBUS CIVATA M10
21	M12 RONDELA
22	M12 SOMUN
23	MALAFI



Şekil 2.41. Bükme grubu redüktör dişli kutusu (BTS Makina)

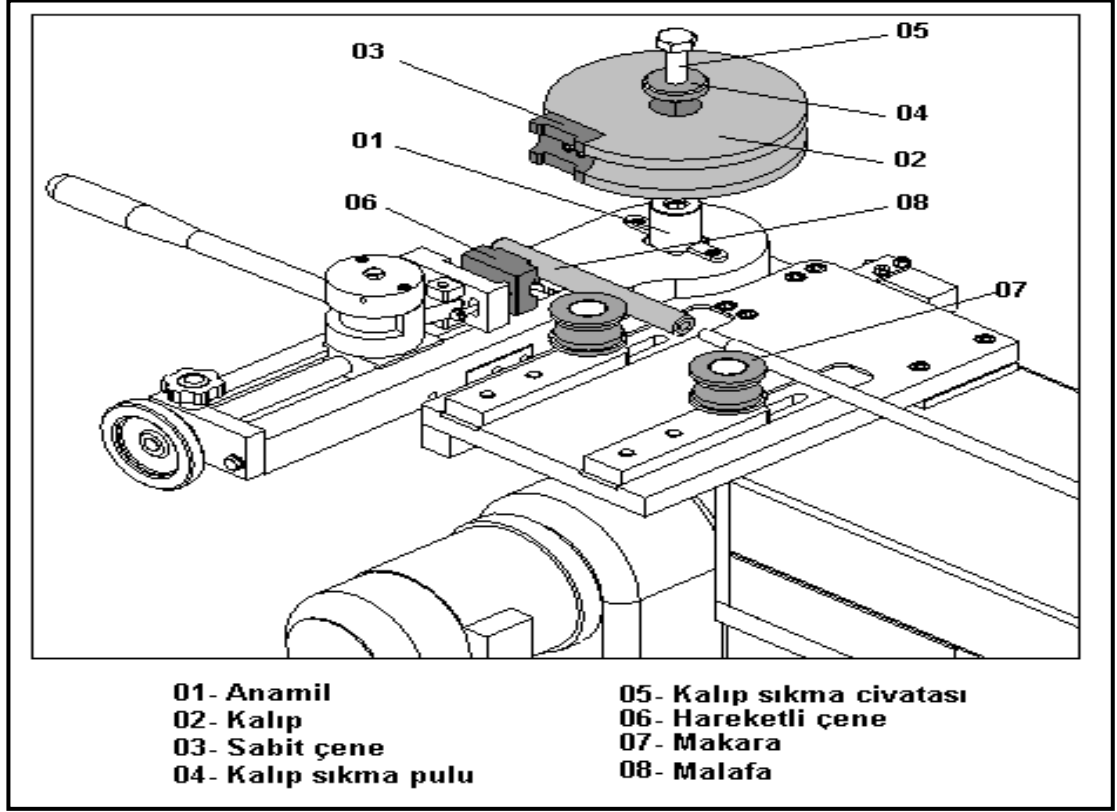
<u>24</u>	REDUKTOR KUTUSU
<u>25</u>	SABIT BİLYALI RULMAN 6205
<u>26</u>	ANAMİL
<u>27</u>	BUYUK DIŞLI
<u>28</u>	PINYON DIŞLI
<u>29</u>	KAMA 12X8X32
<u>30</u>	SONSUZ VIDA KARŞILIK DIŞLISI
<u>31</u>	KEÇE Ø48XØ62X8mm
<u>32</u>	REDUKTOR FLANŞI
<u>33</u>	IMBUS CIVATA M10
<u>34</u>	SONSUZ VIDA
<u>35</u>	REDUKTORLU MOTOR
<u>36</u>	ALTIKOŞE CIVATA M8
<u>37</u>	KONİK MAKARALI RULMAN 30205 A
<u>38</u>	REDUKTOR YAN KAPAK
<u>39</u>	ALTIKOŞE CIVATA M6
<u>40</u>	REDUKTOR KAPAGI
<u>41</u>	ÇEKTİMLİ PİM Ø8X40
<u>42</u>	IMBUS CIVATA M10
<u>43</u>	SABIT BİLYALI RULMAN 6210



Şekil 2.42. Bükme Aksamı (BTS Makina)

44	ANAMİL BİLEZİĞİ	61	ERKEK KELEBEK M8
45	DERECELİ AYNA	62	EKSANTRİK KOL YATAGI
46	IMBUS CIVATA M10	63	EKSANTRİK SIKMA TOPUZU
47	BUKME KOLU	64	EKSANTRİK SIKMA KOLU
48	KAMA 14X14X27mm	65	EKSANTRİK YAY
49	IMBUS CIVATA M6	66	EKSANTRİK SIKMA KAPAGI
50	BUKME KALIBI	67	IMBUS CIVATA M6
51	SABİT ÇENE	68	YAG DOLUM TIPASI
52	IMBUS CIVATA M6	69	ÇENE YATAGI YAYI
53	KALIP PULU	70	ÇENE YATAGI
54	ALTIKOŞE CIVATA M16	71	ÇEKTİRMELİ PİM Ø8X40
55	VIDA MILİ	72	AYAR CIVATASI M10
56	VIDALI MIL YATAGI	73	HAREKETLİ ÇENE
57	BUKME KOLU KAPAGI	74	ALTIKOŞE CIVATA M8
58	RONDELA M8	75	MAKARA TABLASI
59	ALTIKOŞE CIVATA M6	76	IMBUS CIVATA M10
60	VIDALI MIL ELLİĞİ	77	MAKARA TAŞIYICI

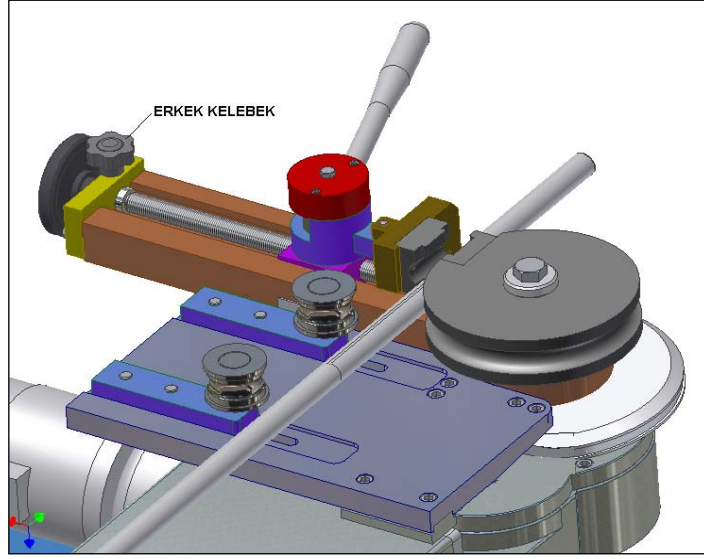
2.2.3.2.Aksesuar Bağlantıları ve Ayarları



Şekil 2.43.Makine Aksesuarları (BTS Makina)

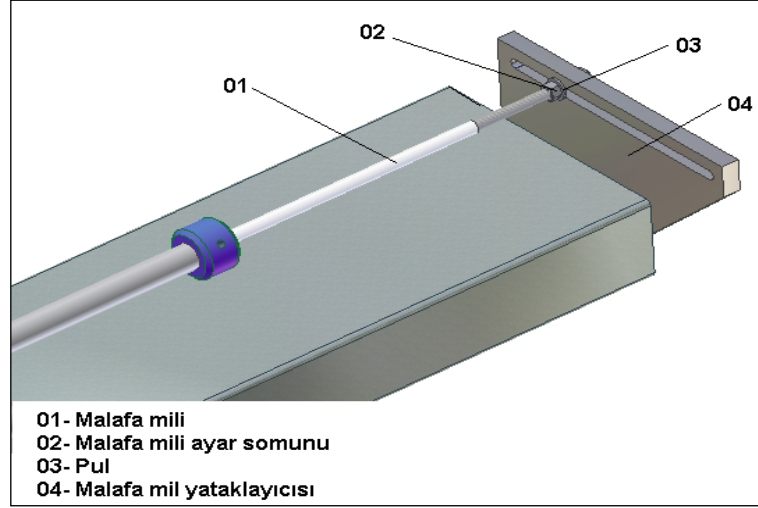
Makina ile çalışmaya başlamadan önce istenilen ölçülerde hazırlanmış olan kalıbın makinaya takılmış olması gerekmektedir. Makinaya kalıbı yerleştirmek için yapılması gerekenler aşağıda sırasıyla belirtilmiştir.

- Öncelikle daha önce makinada kullanılan bir kalıp(02) varsa bunun sökülmesi gerekmektedir. Bunun için önce kalıp sıkma civatası(05) sökülmelidir.(resim 08)
- Kalıp sıkma pulu(04) ve sonra da büküm kalıbı(02) yerinden alınır.
- Kullanılan eski malafa(08) ve hareketli çene(06) yerinden sökülerek yeni kalıbı takmak için makina hazır hale getirilir.
- Vidalı mili sabitleyen erkek kelebek gevşetilerek, vidalı mil vasıtası ile hareketli çene kalıp çapına uygun pozisyona getirilir.



Şekil 2.44. Hareketli çenenin uygun pozisyona getirilmesi (BTS Makina)

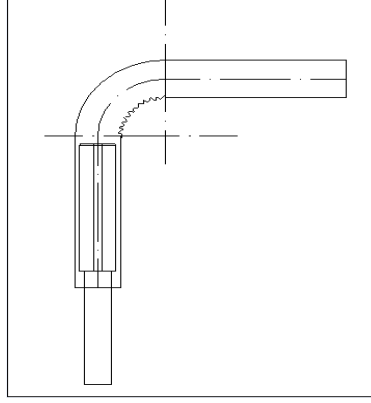
- Yeni büküm kalıbı(02) kama yerleri alta gelecek şekilde anamilden(01) geçirilerek makinaya yerleştirilir.
- Bükülecek olan yeni boruya ait malafa(09), malafa miline vidalanır.
- Yeni hareketli çene(06), çene yatağı kanalına civatalar ile sabitlenir.
- Bükülecek olan borudan bir parça (100-150cm) malafadan(09) geçirilerek kalıp ve çene arasına sıkılır.
- Boru sıkılı halde iken makara tablasının altında bulunan, makara taşıyıcılarının civataları gevşeltir. Önceden sıkılmış olan boruya teğet olacak şekilde ayarı yapılır ve civatalar tekrar sabitlenir. Bu şekilde yapılan ayarla aynı zamanda malafanın kalıp ve makaraların arasına düşmemesi sağlanır.
- Boru sıkılı halde iken malafa mili sıkılı olan borunun merkezine gelecek şekilde ayarlanır ve arka taraftaki malafa mili ayar somunları(02) ile sabitlenir.



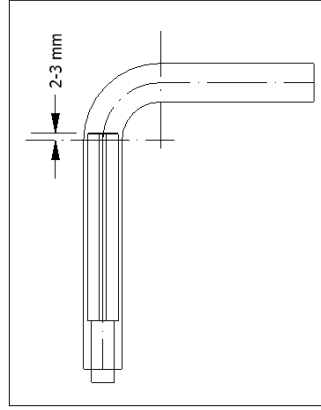
Şekil 2.45. Malafa milinin ayarlanması (BTS Makina)

2.2.3.3 Malafa Ayarı

Malafanın konumu çok önemlidir. Malafanın yeri bükülen boruya veya bükme çapına göre değişir. Yapılan denemelerle olması gereken yer tespit edilmelidir. Genel olarak malafa, büküm ekseninden 2-3mm ileride konumlanmalıdır.(Şekil 4.11) Ama daha öncede söylendiği gibi malafanın yeri, kullanılan boru çapı, et kalınlığı veya kalıp çapına göre değişebilmektedir. Büküm eksenini, çene ile kalıp birleşme çizgisi olarak tanımlanabilir. Borunun içinde pot oluşması gibi durumlarda(Şekil 4.10) malafa kontrollü bir şekilde azar azar ileri alınır. İstenilen büküm kalitesi elde edildiğinde malafa ayar somunları sabitlenir. Aynı işlerin daha sonra tekrar yapılacağı göz önüne alınarak büküm kalitesi uygun olan malafa ölçüsü bir yere not edilir ve tekrar tekrar malafa ayarı yapmak zorunda kalınmaz.



Şekil 2.46. Boru içinde potluk oluşumu (BTS Makina)



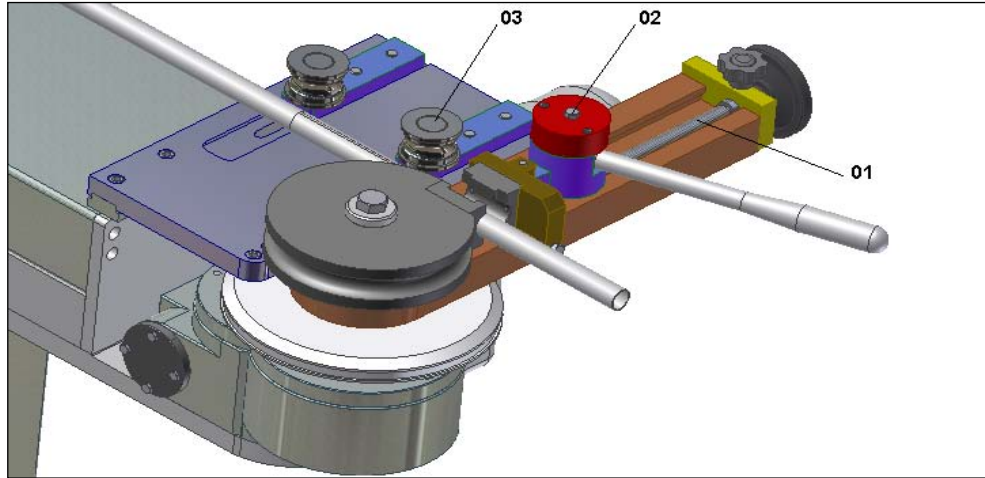
Şekil2.47. Malafanın doğru konumlandırılması (BTS Makina)

Malafanın ayarı büküm ekseninden 2-3 mm ileride olacak şekilde yapılır. Daha sonra büküm denemesi yapılır. Eğer borunun içinde pot yapması söz konusu ise (resim 13) malafayı arka taraftaki malafa ayar somunlarını kullanarak borunun içindeki pot kalkıncaya kadar kontrollü bir şekilde azar azar ileri alınır. İstenilen büküm kalitesi yakalandığında malafa ayar somunları ile sabitlenir.

2.2.3.4. Yağlama

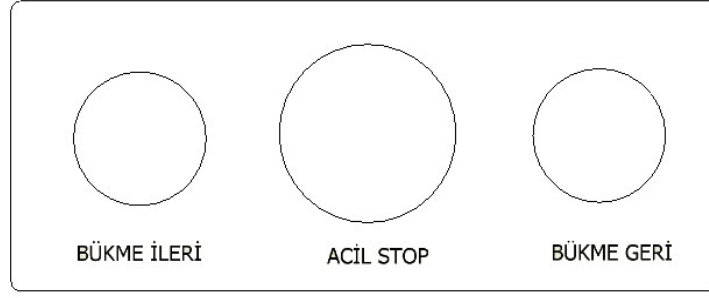
Makinenin kalıpları yağlandığı zaman bükme esnasında kayma yapacağı için kalıpların yağlanmaması gerekir. Her zaman malzeme ve kalıplar temiz, çapaksız ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Gösterilen yağlama noktaları ayda en az bir defa yağlanmalıdır. Eğer günde 8 saatten fazla çalışıyorsa yağlama sıklığı artırılabilir. Yağlama işlemi için standart gres yağlar kullanılmalıdır.

Parça No	Parça Adı	Bakım	Zaman
1	Vidalı mil	Gres yağı	Haftalık
2	Eksantrik kol	Gres yağı	Haftalık
3	Makara pimleri	Gres yağı	Haftalık



Şekil 2.48. Yağlanması gereken parçalar (BTS Makina)

2.2.3.5. Çalıştırma



Şekil 2.49. Butonlar (BTS Makina)

- Ana şalter açılır.
- Aksesuarları makinaya önceden takılmış olan boru, malafa ve malafa miline geçirilir.
- Malafa mili üzerinde bulunan ölçü dayama takozunun ayarı yapılır ve malafa miline sabitlenir.
- Eksantrik kol yardımı ile boru, kalıp ve çene arasına sıkıştırılır.
- Dereceli ayna üzerinde bulunan açı ayar sivici üzerindeki pim gevşetilerek istenilen derece üzerine getirilir ve pimi sıkılarak sabitlenir.
- BÜKME İLERİ butonuna basılarak makinaya bükme işlemi yaptırılır.
- Büküm tamamlandıktan sonra öncelikle eksantrik kol açılarak borunun serbest kalması sağlanır.
- Bükülmüş olan boru, sıkışmış ise bu sıkışıklıktan kurtarılır.
- BÜKME GERİ butonuna basılarak bükme kolu geri alınır ve boru makina'dan çıkarılır.
- Eğer bu çalışmalar esnasında herhangi bir istenmedik olay olursa ACİL STOP butonuna basılarak makina durdurulabilmektedir.

2.2.4.Boru Bükmede Karşılaşılan Problemler

Boru bükmede en çok karşılaşılan problemler borunun kırılması, boru şeklinin ovalleşmesi, boru yüzeyinde kırılma meydana gelmesi, boru yüzeyinde çizik ve sıyrılmalardır. Bu problemler, kalıpların yağlanma durumlarına, yanlış malzeme seçimine, gerekenden ince veya kalın cidar kalınlığına sahip bir borunun kullanılmasına veya çok düşük değerlerde bir bükme oranı seçimine, malafa ayarının doğru yapılmamasına ve kalıptaki elemanların keskin kenarlı (radüslüz) olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Kalıp çapı ne kadar büyük olması boru kıvrım işlemini kolaylaştırır. Fakat bazı durumlarda dar radüste veya çok ince etli borularda (örneğin 0.9mm) bükme işlemi yapılması gerekiyor. Bu durumlarda bükme zorlaşıyor ve boruda yırtılma, katlanma vs. gibi sorunlar oluşuyor. Bu gibi sorunları önlemek için ince etli borularda salyangoz malafa, kaşık gibi yardımcı ekipmanlar devreye giriyor. Boruyu pürüzsüz kıvrım için en önemli elemanlar ise kalıbın çapı, kaşık (ince etli borularda kullanımı tercih edilen) ve malafadır.

2.2.4.1. Borunun Kırılması

Borunun kırılmasına borunun çok fazla sünek veya gevrek olması neden olabilir. Eğer malzeme çok fazla sünek(yumuşak) ise bükme esnasında malzemedeki çok fazla incelme ve gerilme olur. Bunun sonucunda yırtılma gerçekleşir. Boru çok fazla gevrek ise bükme kuvveti uygulandığında boru esneme yapmadan aniden kırılır.



Şekil 2.50. Bükme sonrasında kırılan boru (Kestek 2008)

Borunun kırılması aşağıda belirtilen nedenlerden kaynaklanıyor olabilir:

1. Malzemenin uygun süneklik ve gerilim özelliklerine olmaması,
2. Borunun hareketli çene içerisinde kayması,
3. Boru ve malafanın sıkışması,
4. Yanlış yağlama uygulanması,
5. Malafa ayarının iyi yapılmaması, malfanın borunun içerisinde çok fazla ileride bulunması.

2.2.4.2. Borunun Kırışması

Küçük çapta kıvrılması istenen borularda ve ince etli borulardaki bükme işleminde kırışıklık söz konusudur. Bu problemi önlemek için salyangoz malafa, kaşık gibi yardımcı ekipmanlar kullanılıyor. Kaşık kalıp ve boru arasındaki boşluğu doldurarak büküm esnasında boruyu iç kısımdan destekler ve borunun deformasyona uğramasını engeller.



Şekil 2.51. Kaşığın kalıpla boru arasındaki boşluğu doldurması

(www.summo.com/tubebending.htm)

Borunun kırışmasına neden olan etkiler şöyledir:

1. Borunun hareketli çene içerisinde kayması,
2. Malafanın uygun konumda bulunmaması (Şekil 4.10) (Şekil 4.11) ,
3. Kaşık konumunun doğru yerde olmaması,
4. Kaşık kullanılmaması,
5. Boru ve kalıp arasında çok fazla açıklık olması,
6. Aşırı yağlama yapılması.



Şekil 2.52. Kırışmış boru (Kestek 2008)

2.2.4.3. Borunun Yamulması

Borunun et kalınlığının çok ince olduğu durumlarda boru yamulabilir. Bu hatanın olmaması için toplu malafa kullanılması gerekmektedir. Malafa borunun büküm esnasında borunun içinde ve büküm merkezinde kalarak borunun yamulmasını önler.



Şekil 2.53. Yamulmuş boru (Kestek 2008)

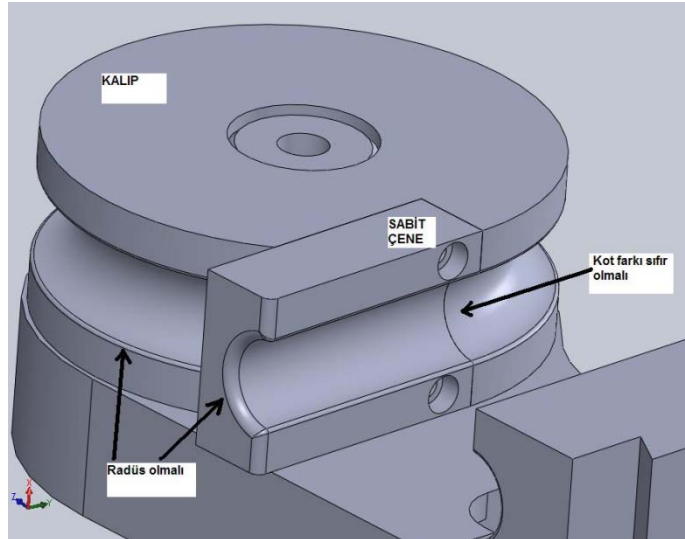
2.2.4.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Bozulması



Şekil 2.54. Yüzey pürüzlülüğü bozulmuş boru

Sabit çene ile kalıp arasındaki kot farkı sıfır olmaz ise boruda çizikler soyulmalar oluşur. Kot farkı çok küçük 0.2- 0.3 mm değerinde olsa bile yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına sebebiyet verir.

Yüzey pürüzlülüğüne neden olan diğer etkenler ise sabit çenenin kalıba bağlı olmayan kenarının ve kalıbın iç tarafının radius içermemesidir. Bu yerlerin kıvrılma esnasında boruyu kesmemesi ve iz yapmaması için radiuslu olması gerekmektedir.



Şekil 2.55. Kalıp ve sabit çene

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Malafalı boru bükme makinesinde bükülmüş boru numunesi Şekil 3.1' de gösterilmektedir. Bu projedeki amaç, bu numunede uygulanmış olan bükme işlemini seri halde birçok parçaya uygulamak için gerekli olan en uygun bükme kalıplarını tasarlamaktır. En uygun kalıbın tasarlanması için büküm açısı, boru çapı, boru et kalınlığı tespit edilmelidir ve bu değerlere uygun olarak kalıplar tasarlanmalıdır.

Büküm işlemi Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası (Şekil 2.33) ile yapılacaktır. Tasarlanan kalıplar bu makineye montajlanacaktır. Bu makine ile günlük parça bükme kapasitesi 25-50 arasındadır.

Borunun kıvrılması motor ile sağlanacaktır fakat eksen değiştirme işleminde operatör gerekmektedir. En basit malafalı bükme makinesi olan bu makinenin maliyeti diğer malafalı boru bükme makinesi çeşitlerine göre daha azdır.

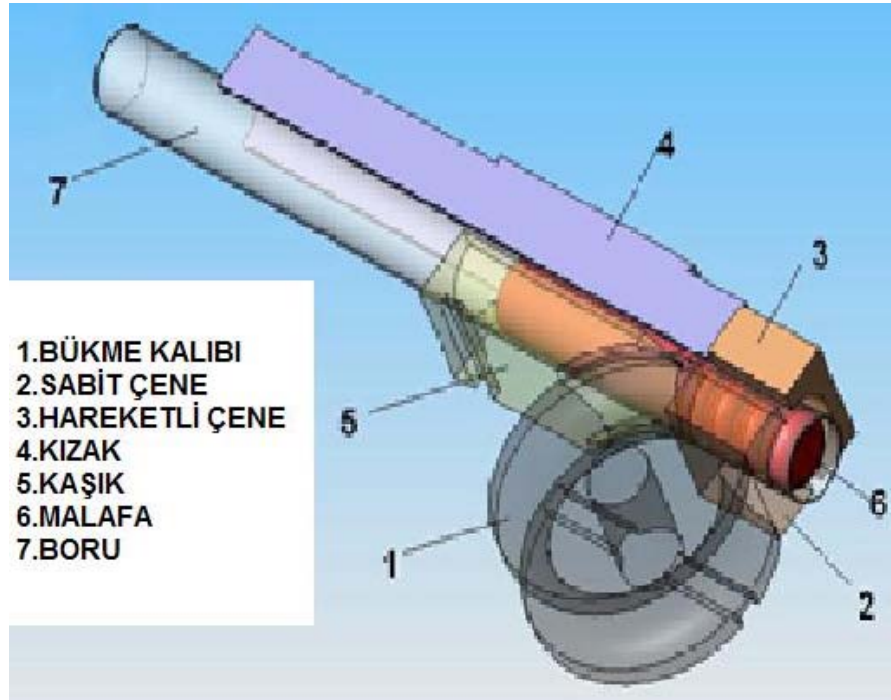


Şekil 3.1. Numune boru

Büküm açısı bükme kalıbının çapına bağlıdır. Bu nedenden dolayı istenilen farklı büküm açıları için farklı bükme kalıplarının kullanılması gerekir.

Boru çapı sabit çene ve hareketli çene kalıplarına etki edeceği için farklı boru çaplarındaki borular için, boru çapına uygun kalıpların üretilmesi gerekmektedir.

Mafalı boru bükme işleminde kalıp dizilişi Şekil 3. 2 ' de verilmiştir



Şekil 3.2. Kalıp takımının dizilişi (www.cansamakina.com)

Bilgisayar destekli tasarım programlarında ilk önce üretilecek sistemin parçalarına genel şekil verilir ve parçaların çizimi tamamlanır. Daha sonra tasarlanan parçaların montajı gerçekleştirilir. Cad ortamında gerçekleştirilen tasarımı yapılan obje, Cam programları aracılığıyla Cnc tezgahlarına aktararak imal edilmektedir. Tasarım programlarında, teknik resimde yapılan ölçü değişikliği parçaya, parçada yapılan her türlü model değişikliği, o parçanın kullanıldığı tüm montaj dosyalarına, montaj sayfasında yapılan değişiklikler ait oldukları parça dosyalarına ve teknik resimlere yansımaktadır.

Bu çalışmada bilgisayar destekli tasarım programı ile bükme kalıbı,sabit çene,hareketli çene,malafa ve boru tasarlanmış ve bu parçaların montajı yapılmıştır.Borunun et kalınlığı çok ince olmadığı ve büküm açısı uygun olduğu için kaşık kullanılmamıştır.(Şekil 4.5)

Bilgisayar destekli tasarım programları üretilecek olan ürünlerin, üretimi esnasında tasarlanan süreçlerin sanal ortamda gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bilgisayar ortamındaki birebir çizim, doğru ve güvenilir ölçüyü vermektedir. Tasarlanmış ürünlerde değişiklik yapabilme ve bunların montaja aksettirilmesi, detaylandırma kolaylıkları, çizimlerde ölçeklendirme kolaylıkları sayesinde kontrolde de büyük kolaylıklar sağlar, bu da güvenilirliği artırır, imalatçıya yorum imkanı verir, daha ucuz kalıp yapılmasını sağlar.

Tasarım programı olarak Catia ve Solidworks programları kullanılmıştır

Kalıplar 4140 Çelik malzemesinden üretilecektir. 4140 Çelik, yüksek dayanım gerektiren makine parçalarında kullanılmaktadır.Kimyasal analizi aşağıdaki gibidir :

Kimyasal Analizi (%)						
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0,35-0,44	0,60 - 0,90	0,15 - 0,35	en çok 0,040	en çok 0,040	0,80 - 1,10	0,15 - 0,25

Şekil 3.3. 4140 Çelik Kimyasal Analizi

4.BULGULAR ve TARTIŞMA

4. 1. Kalıp Tasarımı,Kalıp Parçalarının Özellikleri ve Modellenmesi

4.1.1. Boru

Çelik boru, alüminyum boru gibi çeşitli borular boru bükme makinesinde bükülebilir.

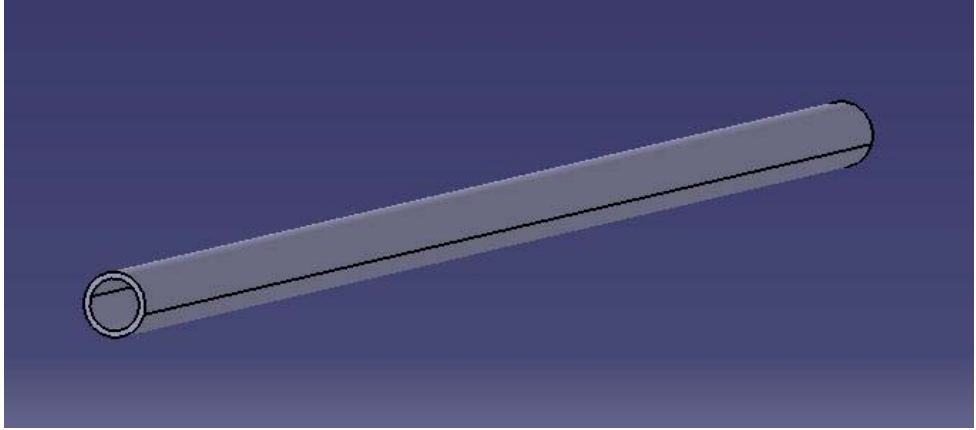
Bükülecek borunun özellikleri:

Dış Çapı $D= 25\text{mm}$

İç Çap $d= 20\text{ mm}$

Et Kalınlığı= 2 mm

Boyu $L= 800\text{mm}$



Şekil 4.1. Bükülecek boru

4.1.2. Bükme Kalıbı

Bükme kalibi borunun büküm esnasında üzerine sarıldığı ekipmandır. İstenilen boru / profilin bükümünü sağlayan temel materyaldir.Büküm kalibi deformasyonu engeller ve istenilen bükümün en uygun şekilde kusursuz elde edilmesini sağlar.Bükme kalıbının dışında bulunan çap bükülecek borunun yarıçapına eşittir.

Bükme kalıbının tasarım adımları:

- Kalıbın dış çapı bulunur.
- Kıvrılacak borunun özelliğine göre kalıba genel şekli verilir.(Şekil 4.6)
- Makinenin standartlarına göre delik kama yeri ve sabit çene montaj yeri açılır.
- Kalıbın sabit çene ile montajının olabilmesi için montaj delikleri açılır.

Kalıbın dış çapının bulunması:

BORU ÇAP VE ET KALINLIĞINA GÖRE RADIUS SEÇİM TABLOSU				
Boru çapı	1	1.2	1.5	2
Ø16	R46	R46	R36	R36
Ø18	R56	R56	R36	R36
Ø19	R67	R67	R56	R46
Ø20	R67	R67	R56	R46
Ø22	R67	R67	R56	R46
Ø24	R82	R82	R67	R56
Ø25	R82	R82	R67	R56
Ø26	R82	R82	R67	R56
Ø28	R82	R82	R82	R67
Ø30	R112	R112	R112	R82
Ø32	R112	R112	R112	R82

Şekil 4.2. Radüs seçimi (BTS Makina)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi 25mm çap 2mm et kalınlığında R=56 mm 'dir.

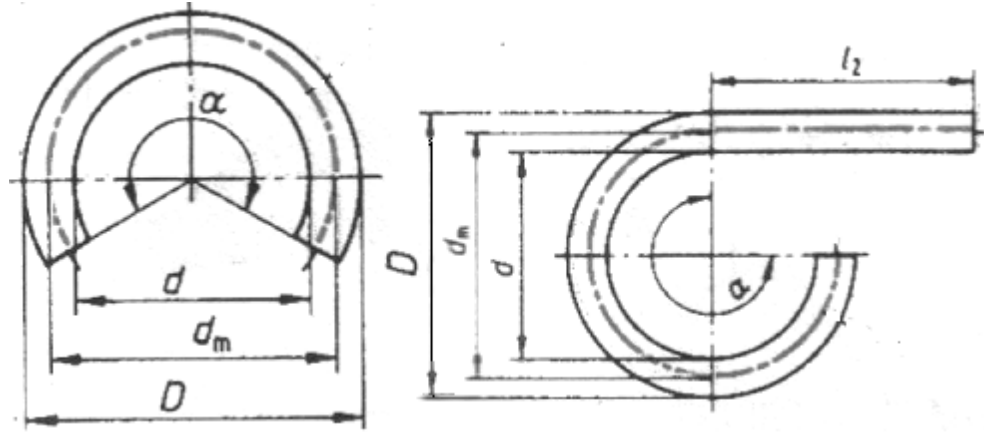
Bükme kalıbının çapı köşe radüsüne göre hesaplanır.

Köşe radüsü= 56 mm

Kalıp Çapı = Köşe radüsü x 2 + borunun dış çapı

Kalıp Çapı = 56 x 2 + 25 = 137 mm

Şekil 4.5'te kaşık ve malafa kullanmadan sorunsuz bükümün olması için belirtilen teorik değerlerdir. Bu değerlerin dışında büküm isteniyorsa kaşık ve malafa kullanmak gereklidir. Kaşık ve malafanın kullanılması ise maliyetin artmasına sebep olur.



Şekil 4.3. Açınım ve uzunluk hesaplamaları (Megep 2006)

D: Dış çap

d: iç çap

Çevre uzunluğu: $L = \Pi \cdot dm$

Açıya bağlı yay uzunluğu: $L = \Pi \cdot dm \cdot \alpha / 3600$

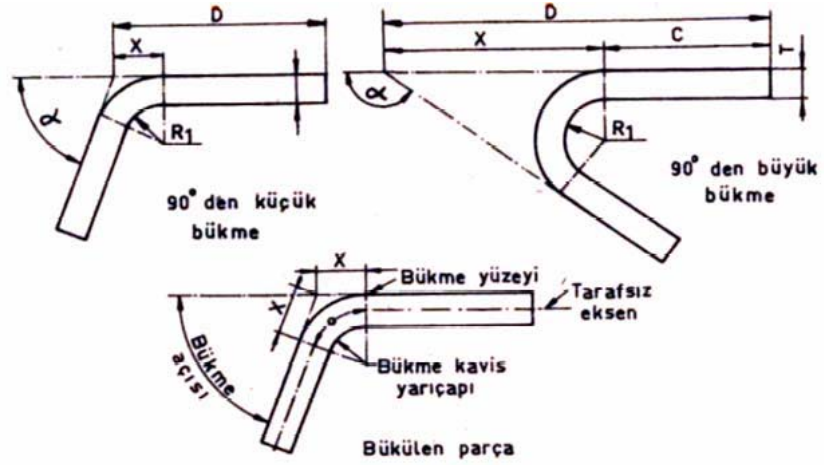
dm: ortalama çap

L : Açınım uzunluğu (tam boy)

l1,l2 : kısmi uzunluk

α : Büküm açısı

Bükülerek üretilecek parçaların üretimi esnasında, ihtiyaca uygun bükme açıları tespit edilerek bükme işlemleri yapılmalıdır. Bükme açısı 90 derecelik dik açı, 90 dereceden küçük açıda ve 90 dereceden büyük açıda olmak üzere α büküm açısı değerinde gerçekleştirilebilir.



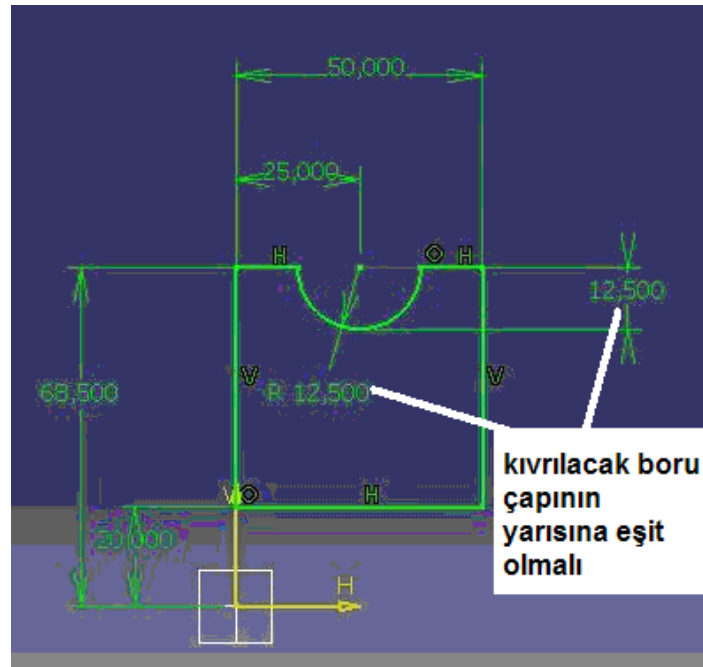
Şekil 4.4. Bükme açılarının belirlenmesi (Megep)

Kıvrılacak borunun özelliğine göre kalıba genel şeklinin verilmesi:

Delik Çapı = 40 mm

Kalıp Yüksekliği = 50 mm

Kalıp Çapı = 137 mm



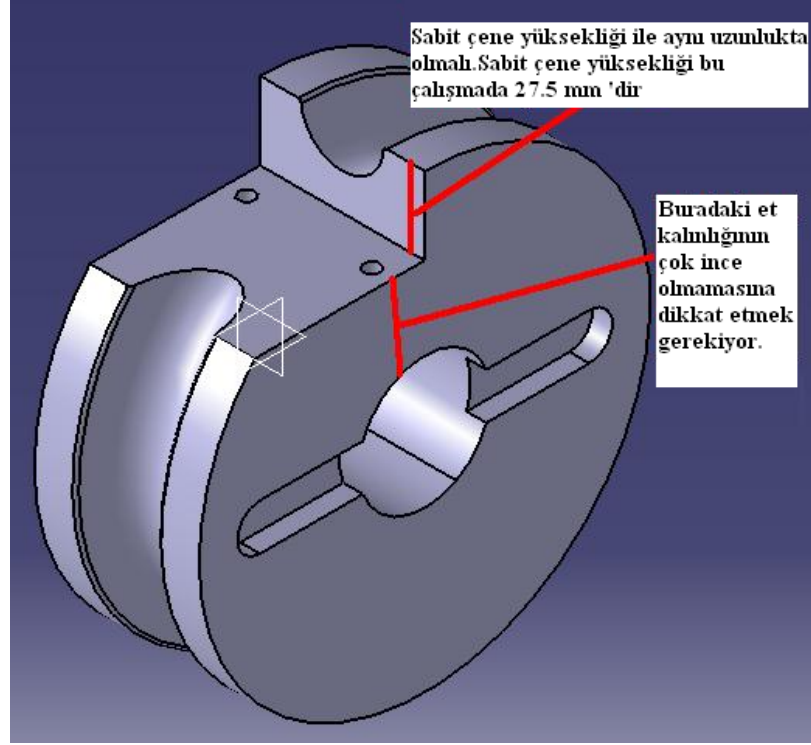
Şekil 4.5. Kıvrılacak borunun özelliğine göre kalıba genel şeklinin verilmesi

Makinenin standartlarına göre kama yerinin ve sabit çene montaj yerinin açılması:

Kamanın genişliği: 14 mm

Kamanın boyu: 114 mm

Kamanın derinliği : 6 mm



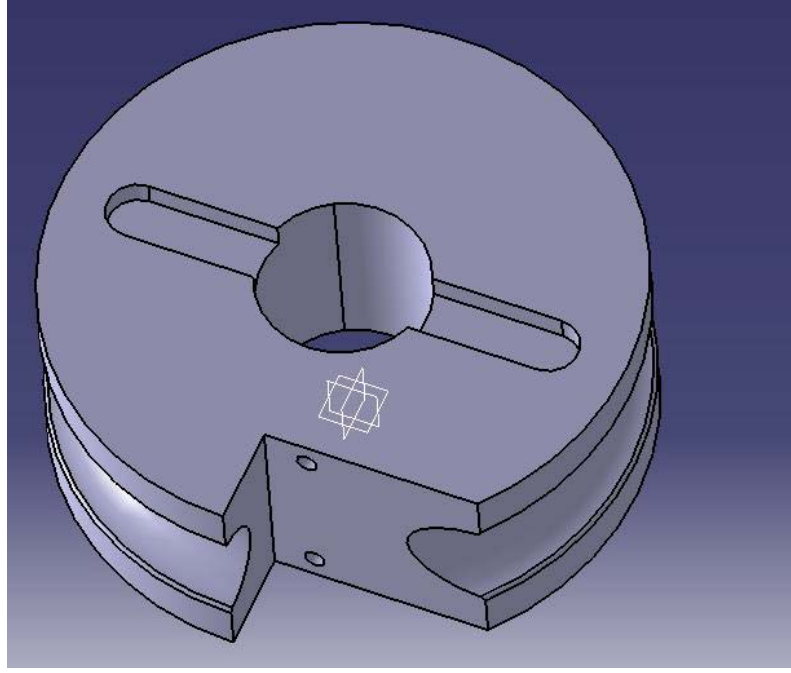
Şekil 4.6. Kalıbı oluştururken dikkat edilmesi gerekenler.

Kalıba montaj deliklerinin açılması:

Sabit çeneyi bükme kalıbına bağlamak için iki adet delik açılmalıdır.

Delğin derinliği: 25 mm

Delikteki dış derinliği: 20 mm (M6 seçilmiştir.)



Şekil 4.7. Bükme Kalıbı

4.1.3. Sabit Çene

Sabit çene borunun büküm esnasında kaymasını önleyen mengene vazifesini gören (boruyu sıkan) kalıp ekipmanıdır. Bükme kalıbına montajı yapılır.

Sabit çene 30 mm 'lik malzemelerden kesiliyor ve freze işleminden sonra sabit çene yüksekliği en fazla 25 mm'ye düşüyor. Teknik resimde çenelerde standart genişlik 25 mm'dir.

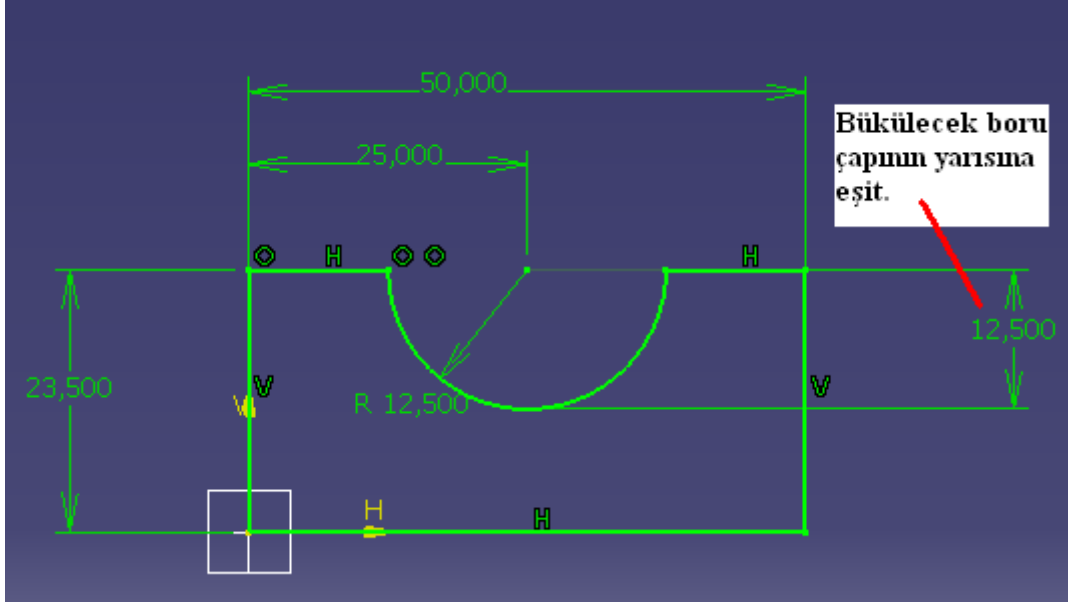
Sabit çene yüksekliği: 23.5 mm

Genişlik: 50 mm

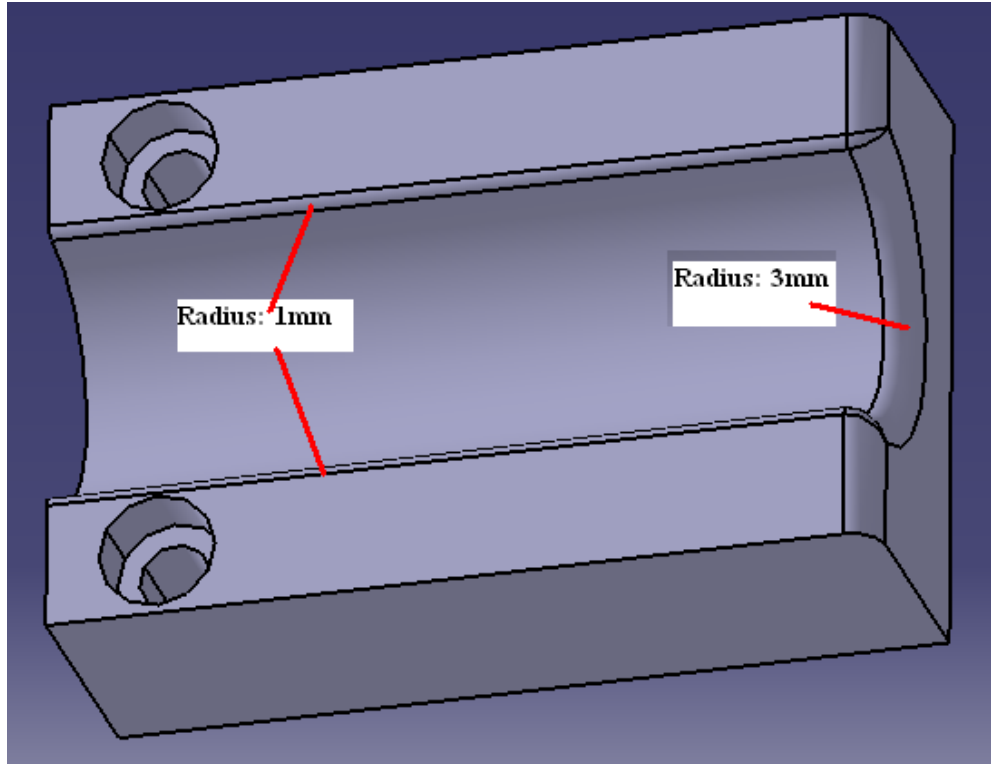
Uzunluk: 75 mm

Sabit çenede açılan deliklerin özellikleri:

- Civata başlıklı
- M6
- Kafa başı: 10.5 mm
- Derinlik: 6 mm
- Delik çapı: 6.5 mm



Şekil 4.8. Sabit Çene Ölçüleri



Şekil 4.9. Sabit Çene

4. 1.4. Hareketli Çene

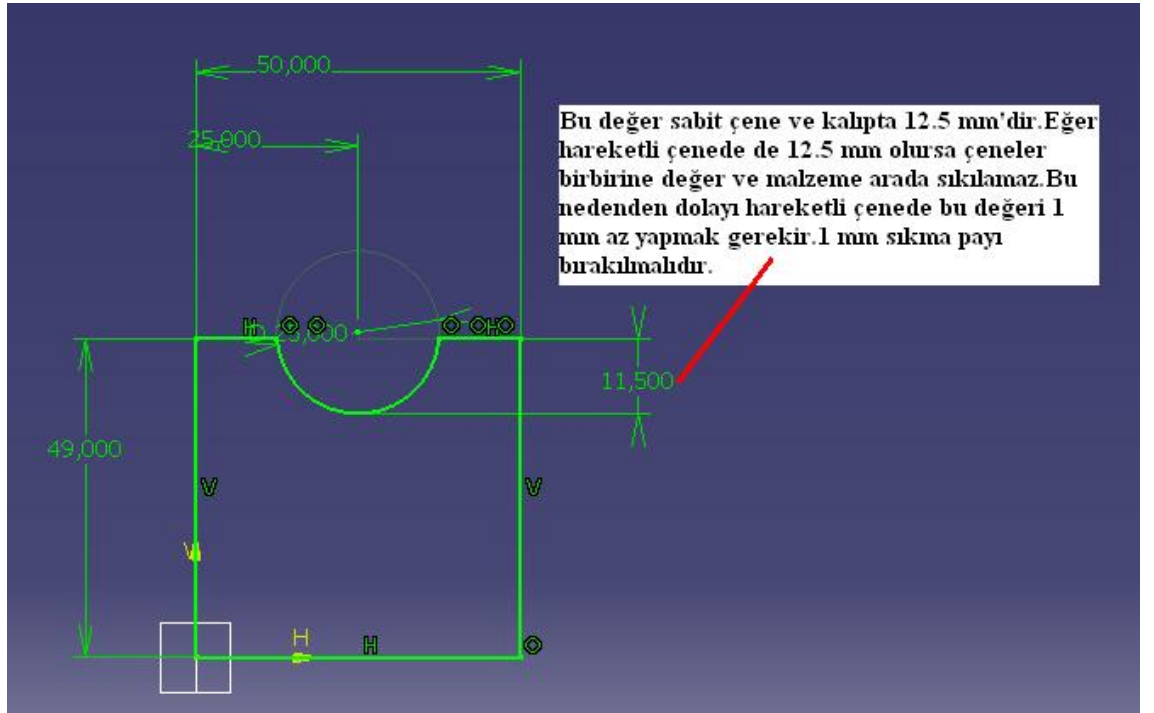
Borunun bükümü esnasında boruyu sıkıştırır ve borunun kıvrılmasını sağlar.Kalıbın kaymamasını önler.

Parça uzunluğu: 75 mm

Yükseklik: 50 mm

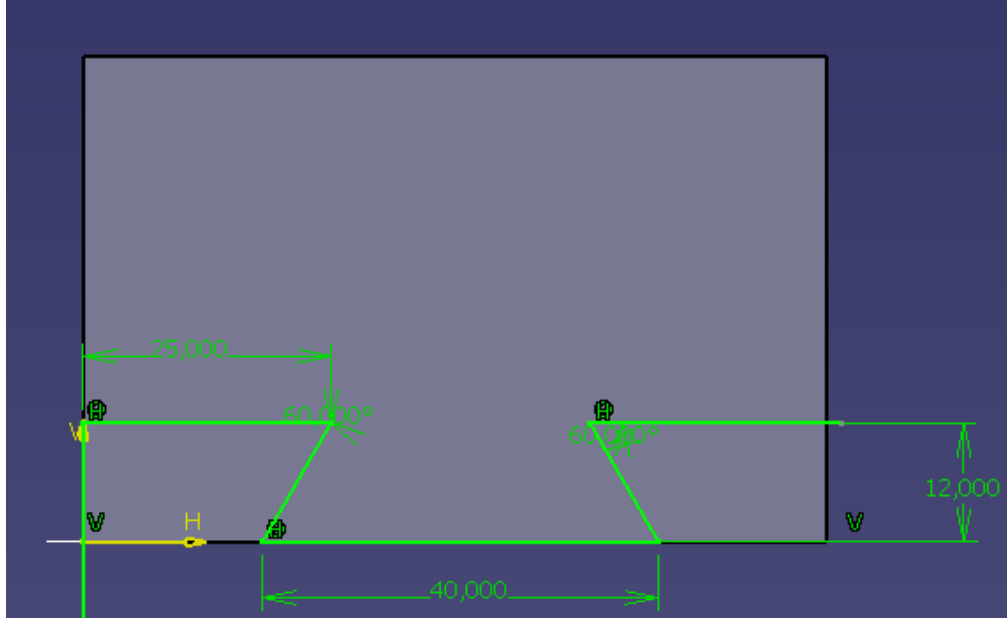
Genişlik: 49 mm

Hareketli çene boruyu sıkıştırdığında borunun çeneye oturacağı kısmın ölçüsü 11,5 mm' dir. Bu değer sabit çene ve kalıpta 12,5 mm' dir. Eğer hareketli çenede de 12.5 mm olursa çeneler birbirine değeri ve malzeme arada sıkılamaz. Bu nedenden dolayı hareketli çenede bu değeri 1 mm az olmalıdır.1 mm sıkma payı bırakmak gerekmektedir.

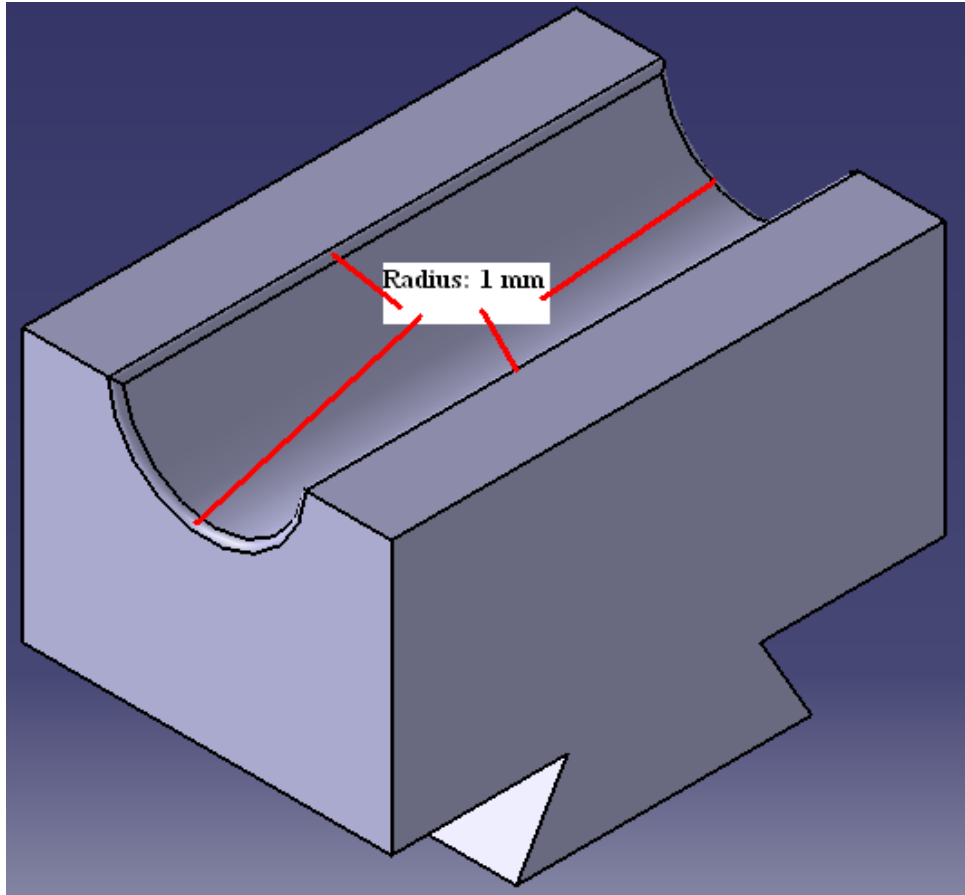


Şekil 4.10. Hareketli çene ölçüleri ve dikkat edilmesi gereken ölçü.

Hareketli çenenin makinaya bağlanması için bağlantı yeri (kırılmaç) açılır.



Şekil 4.11. Hareketli çene bağlantı yeri ölçülendirilmesi.



Şekil 4.12. Hareketli çene

4. 1.5. Malafa

Malafa borunun büküm esnasında borunun içinde ve büküm merkezinde kalarak boruyu dış çaptan sıvayan borunun yayılmasını önleyen kalıp ekipmanıdır. Dar radüslarda büküm elde etmek için toplu(salyangoz) malafa tercih edilir.Toplu malafa büküm işlemi esnasında boruya maksimum desteklik sağlar ve bükümün sorunsuz gerçekleştirilmesine yardımcı olur.Toplar pozisyon olarak serbest hareket eder.Toplar büküm işlem hesabı sonrasında eklenip çıkartılabilir.



Şekil 4.13. Toplu malafa(www.cansamakina.com)

Malafa boyu(Standart) : 200 mm

Boru içindeki delik çapı = Boru çapı- (Boru Et kalınlığı x 2)

$$\begin{aligned} \text{Boru içindeki delik çapı} &= 25 - (2,5 \times 2) \\ &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Malafa çapı borunun delik çapına eşit olursa malafa hafif sıkı geçer veya takılma yapar. Bu yüzden malafanın çapı borunun delik çapından küçük olmalıdır.

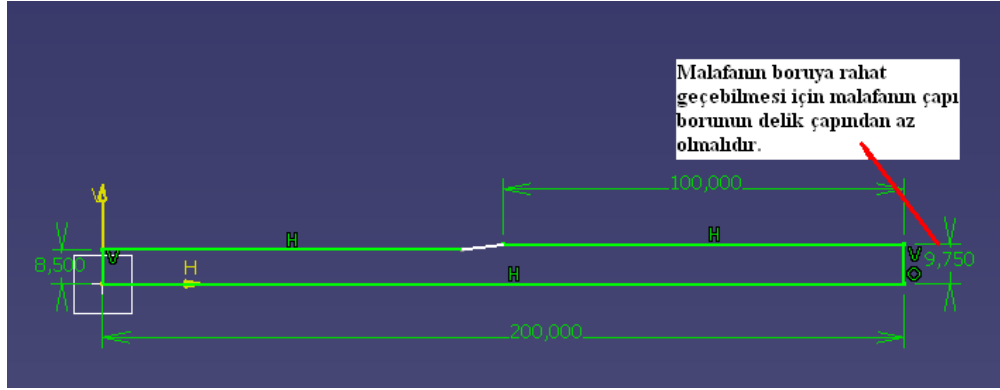
Malafa çap1: 19,5 mm

Malafa çap2: 8,5 mm

Malafanın uç kısmına atılan radius: 3 mm

Malafanın çap1 kısmının boyu 100 mm olmak zorundadır. Malafanın arka kısmının çapı ölçüden düşürülmüştür. Bunun nedeni sürtünmenin daha az olmasını sağlamaktır.

Böylece makine boruyu bükerken daha az kuvvet harcar.

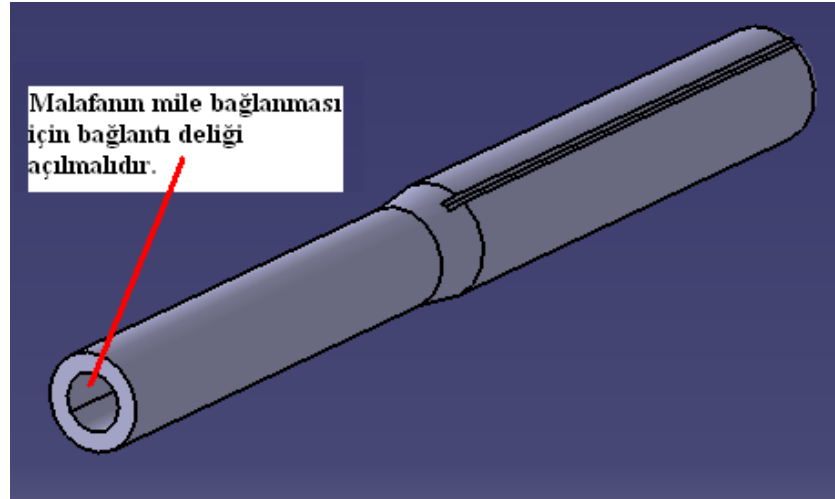


Şekil 4.14. Malafanın ölçülendirilmesi

Malafayı mile bağlamak için milin standartlarına göre bağlantı deliği açılmalıdır. 32'lik makinada milin standardı M12 'dir.

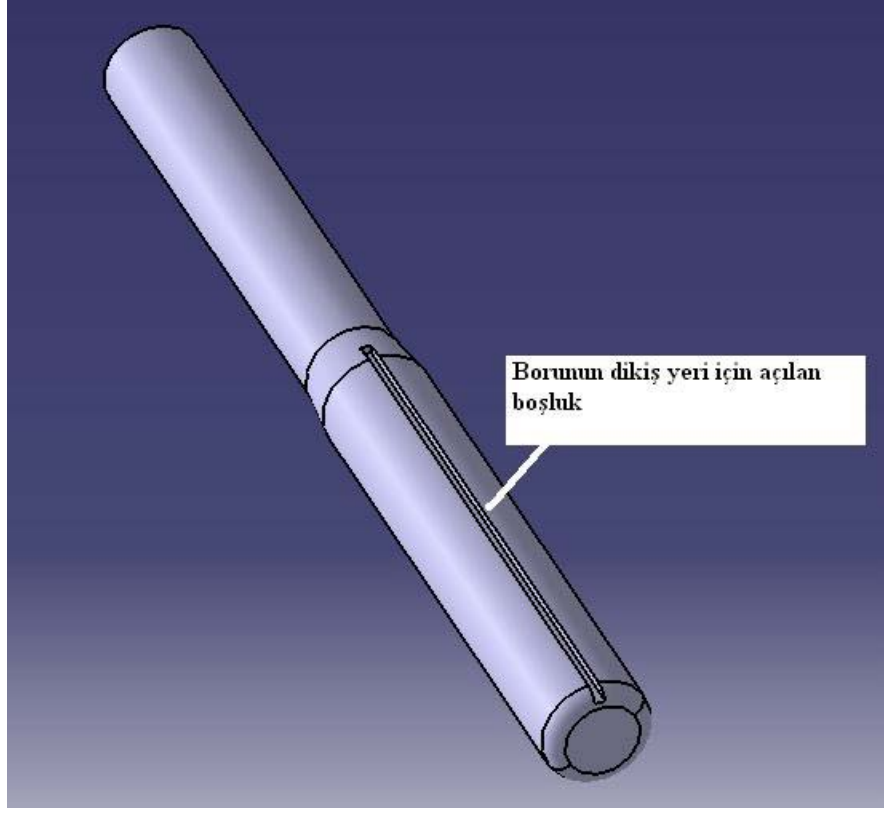
Delik derinliği: 30 mm

Delik dış derinliği : 25 mm



Şekil 4.15. Malafa bağlantı deliği

Borunun dikiş yeri malafaya temas ettiğinde malafa boruya geçmez. Bu yüzden borunun dikiş yeri için malafada boşaltma yapılmalıdır. Siyah saçlı borularda ve bazı krom borularda dikiş yeri vardır. Bakır boruda dikiş yeri yoktur.



Şekil 4.16. Malafa

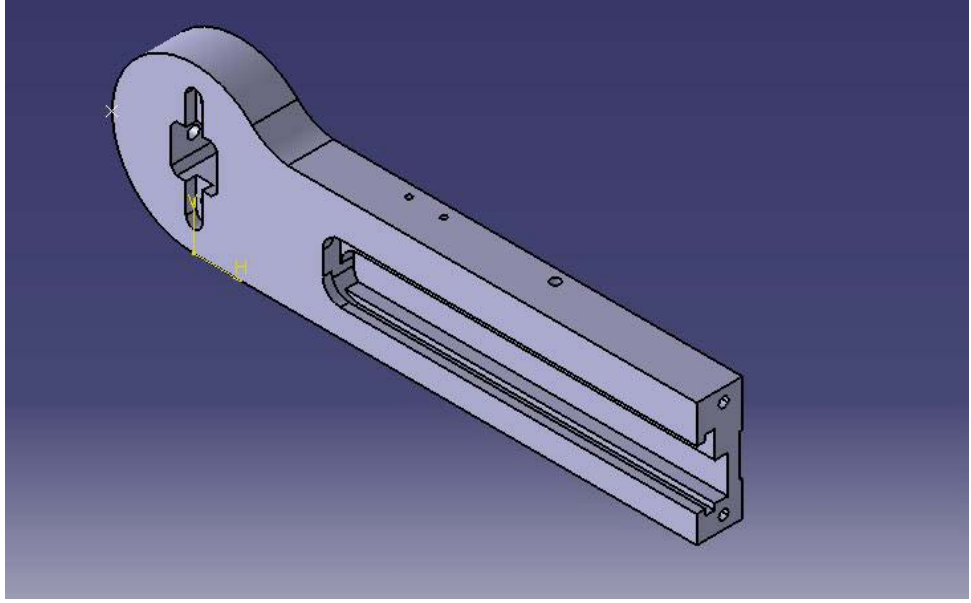
4. 1.6.. Kızak

Bükme işlemi esnasında boruya dayanarak boru ile birlikte hareket eden parçadır. Boruyu bükme gücüne borunun gösterdiği tepki kuvvetini karşılar. Kayıcı kızak büküm esnasında boruya desteklik sağlar.Malafayı hizada tutar.

4.1.7. Kaşık

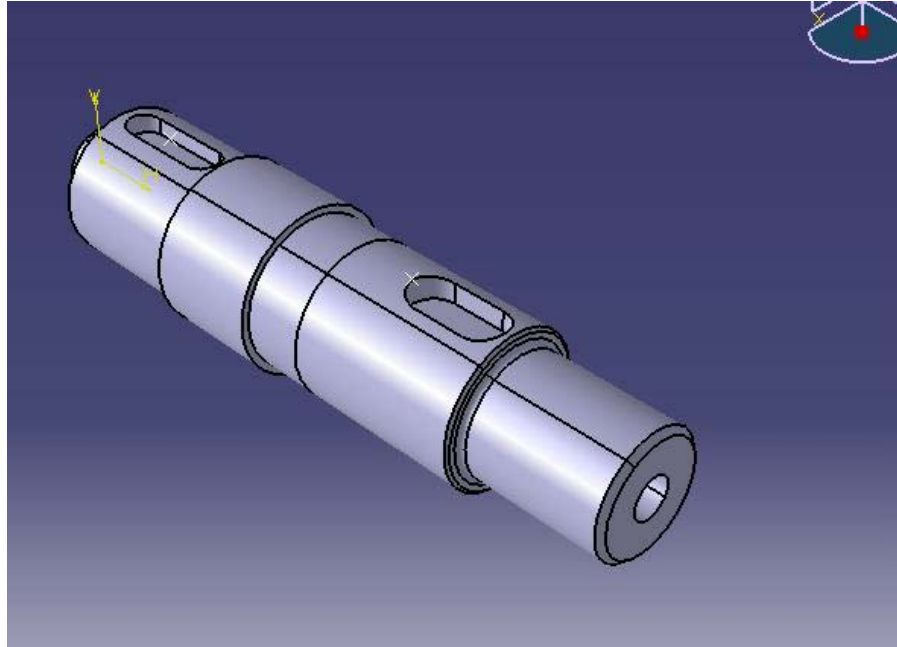
Kaşık borunun büküm esnasında boruyu iç kısımdan destekleyerek deformasyona uğramasını engelleyen boru bükme ekipmanıdır. İnce ve kalın boru/profil bükümlerinde kaşık kullanımı pürüzsüzlüğü sağlar.İnce borularda ve küçük açılarda kıvrılma istediğinde boru kıvrılırken buruşur.Kaşık kullanımı boru bükmedeki bu hatayı önler.

4.1.8. Bükme Kolu



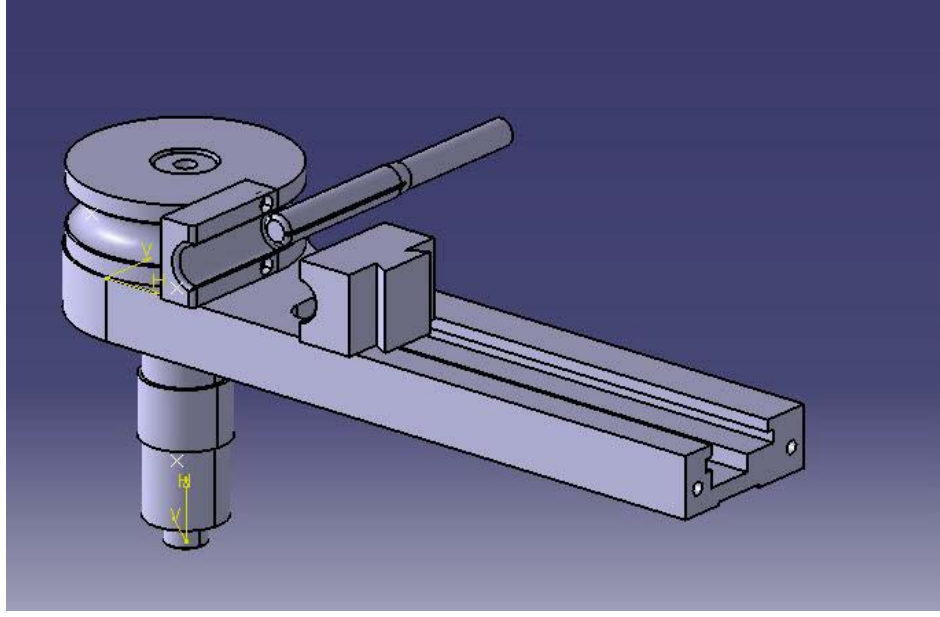
Şekil 4.17. Bükme Kolu

4.1.9. Dişli Mili

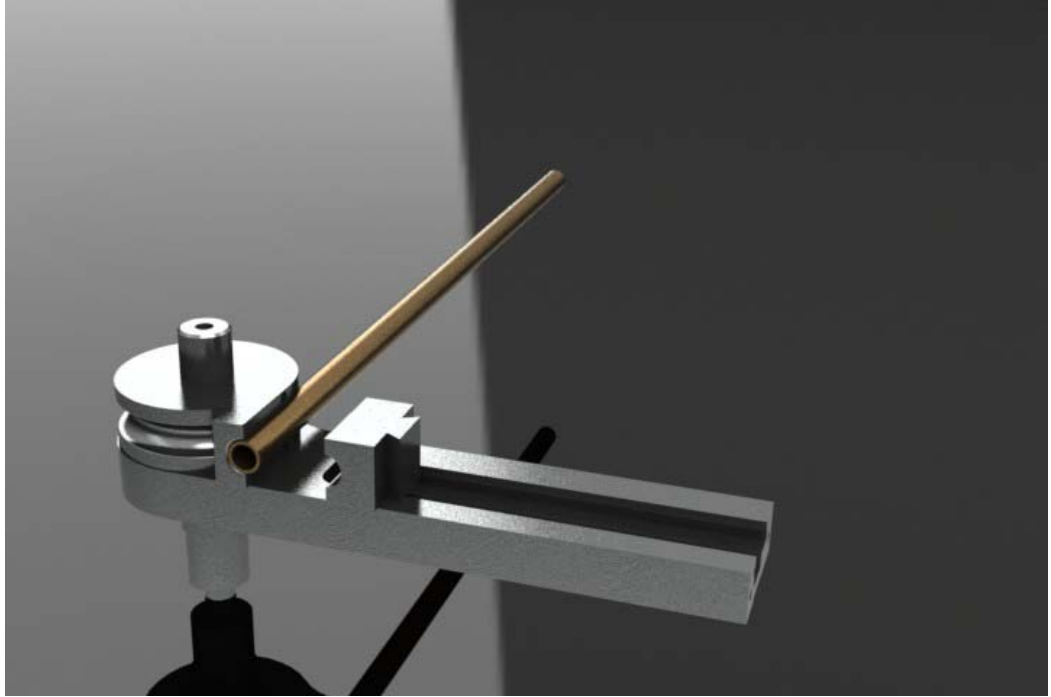


Şekil 4.18. Dişli Mili

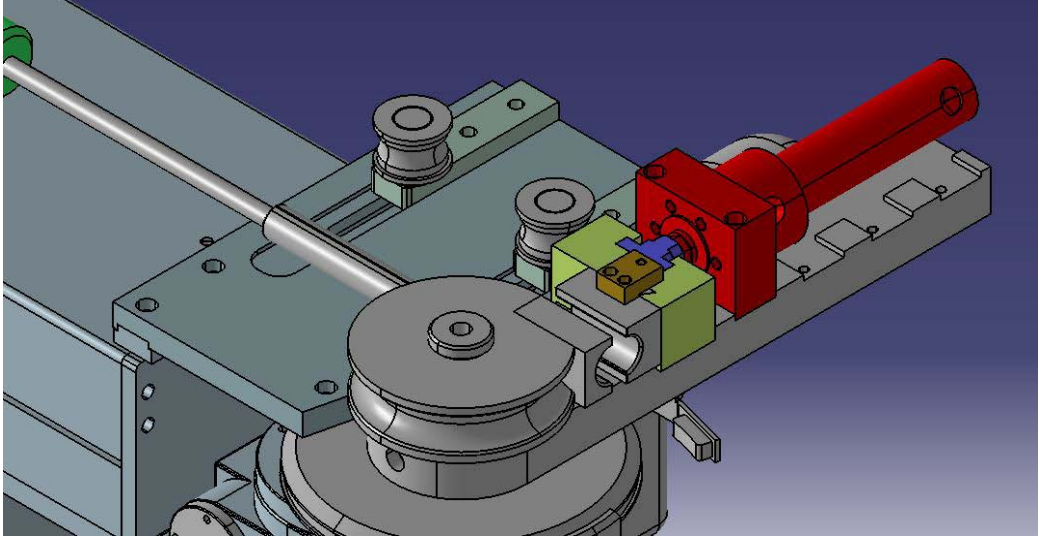
4.2. Kalıp Parçalarının Montajı



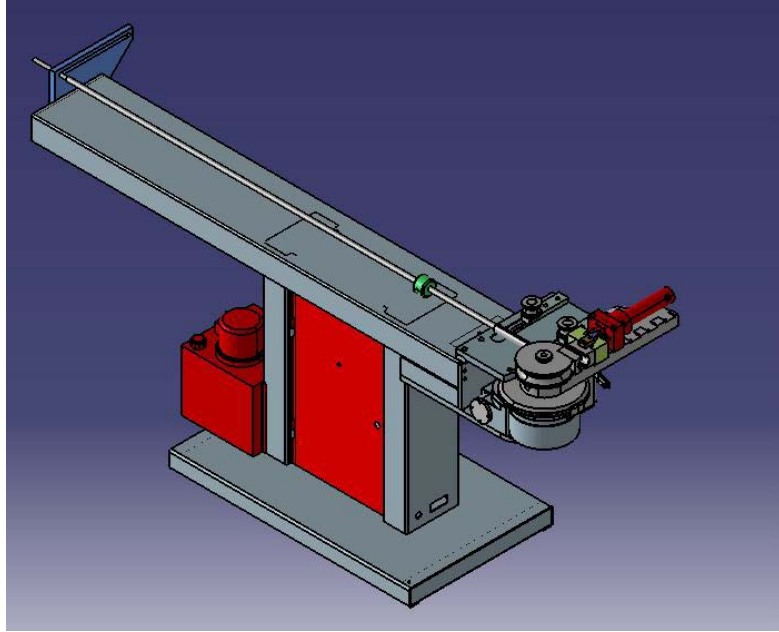
Şekil 4.19.Malafalı Montaj



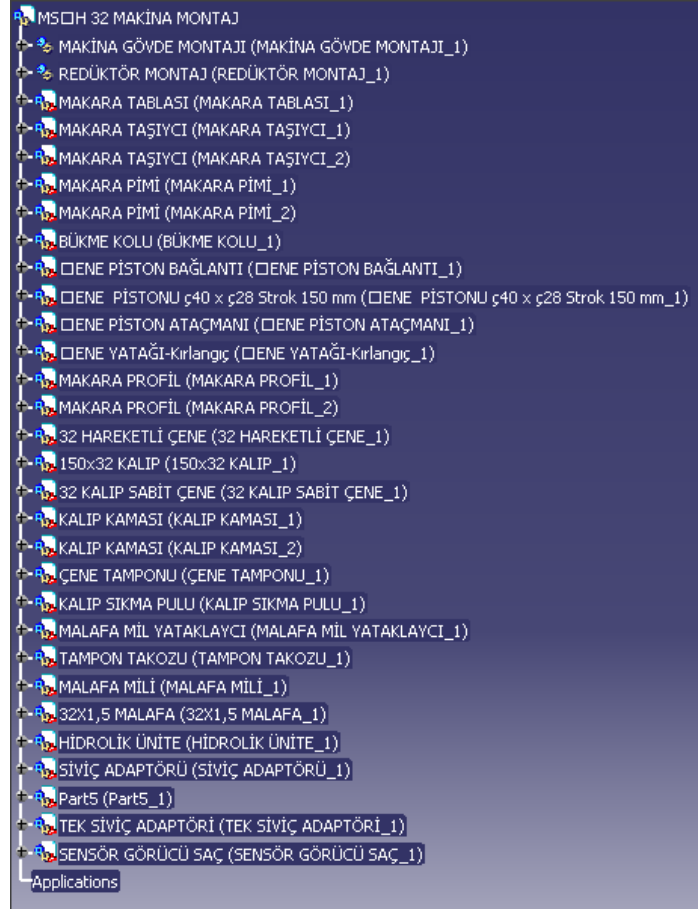
Şekil 4.20.Tasarlanan Montajın Photoview 360'da Yapılan Gerçekçi Görüntüğü



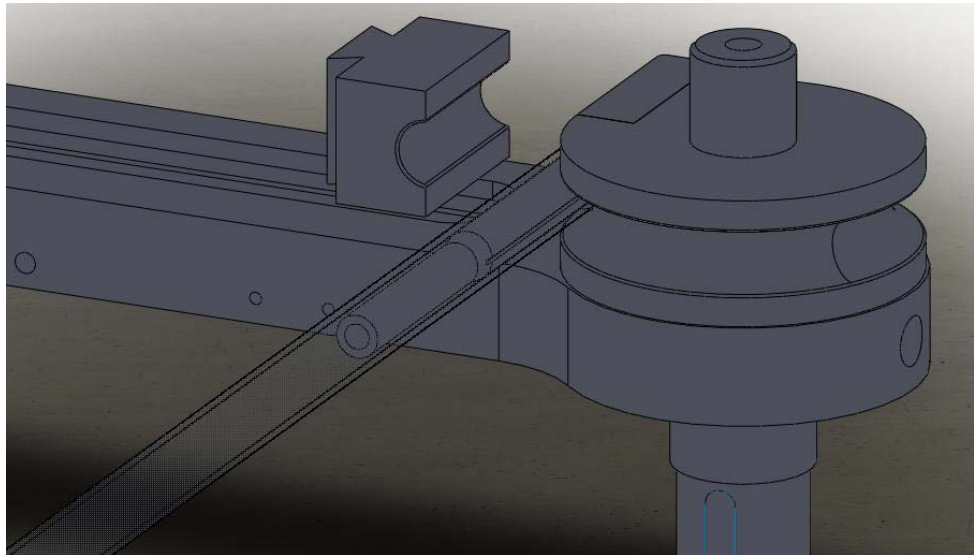
Şekil 4.21.Tasarlanan Kalıpların Bükme Makinesindeki Montajı



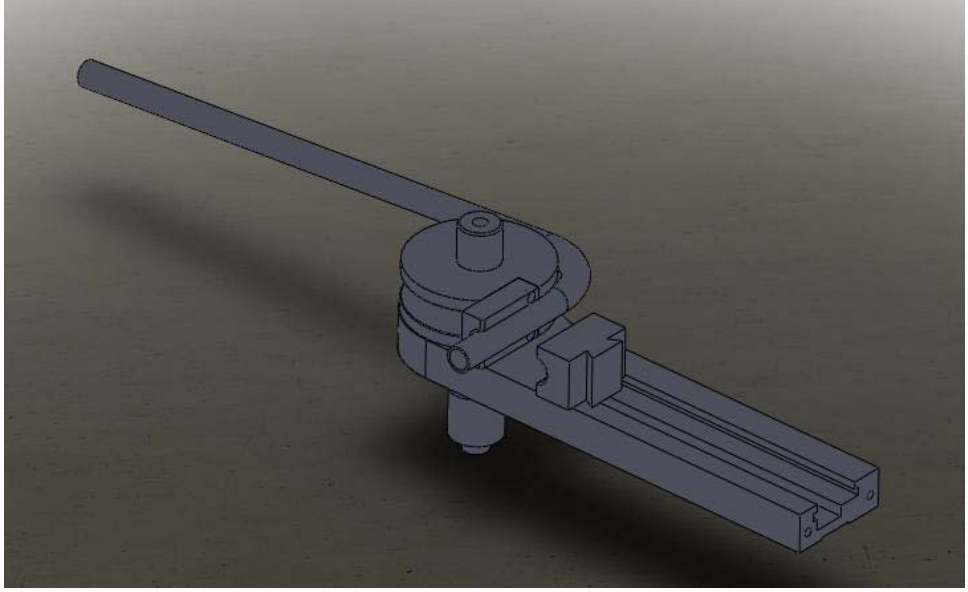
Şekil 4.22. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası



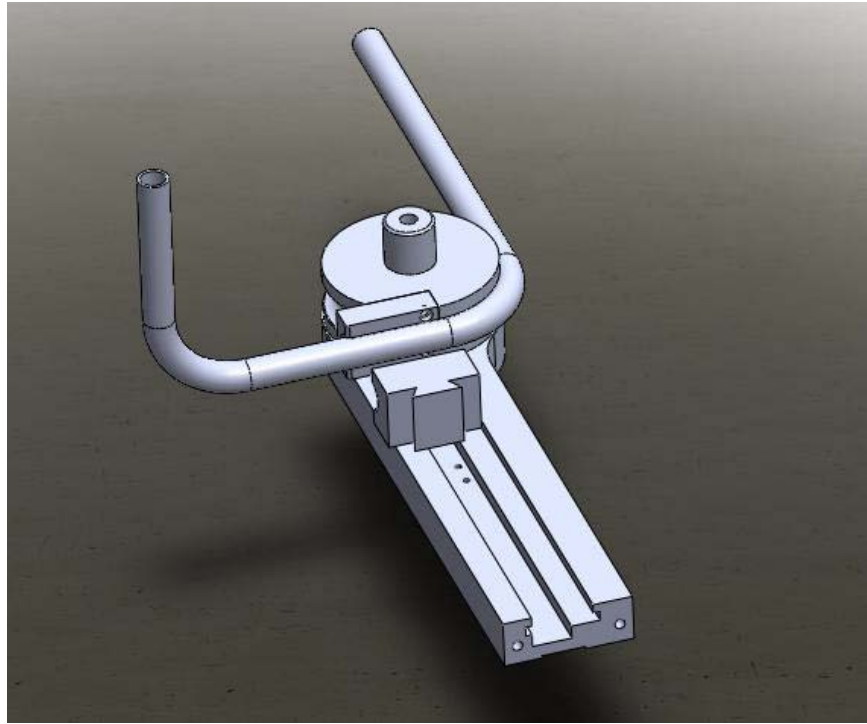
Şekil 4.23. Boru bükme makinası montaj parçaları



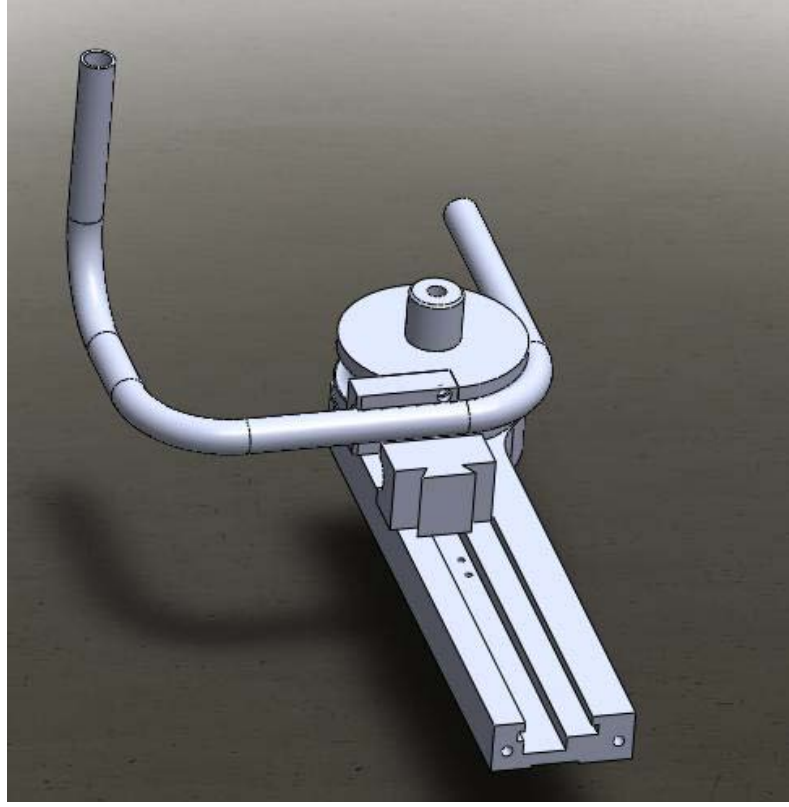
Şekil 4.24. Boru İçindeki Malafa



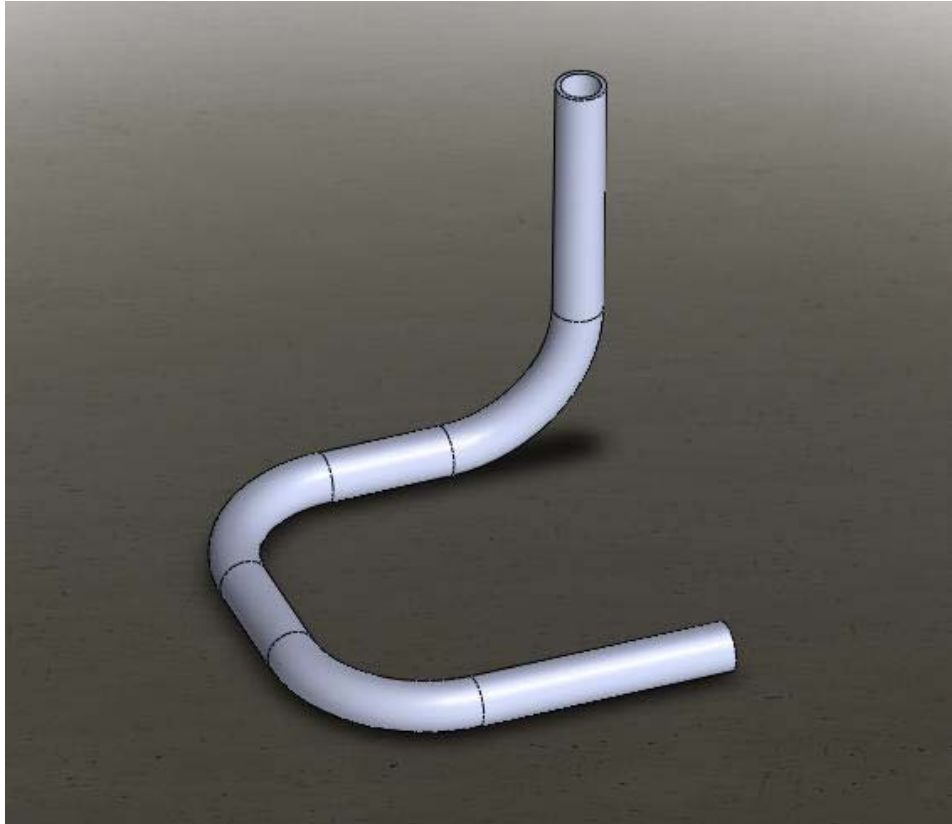
Şekil 4.25. Borunun İlk Bükümü



Şekil 4.26. Borunun İkinci Bükümü



Şekil 4.27. Borunun Son Bükümü



Şekil 4.28. Bükülmüş Boru



Şekil 4.29. Bükülmüş Borunun Photoview 360 ile Yapılan Gerçekçi Görünüşler



Şekil 4.30. Bükülmüş boru

5.SONUÇ

Bu çalışmada boru bükme işleminin ve bilgisayar destekli tasarımın önemi anlatılmıştır. Boru bükme yöntemleri incelenerek, boru bükme esnasında karşılaşılan problemler ve çözüm yöntemleri ele alınmıştır.

Bilgisayar destekli tasarım ile 800 mm boyunda 25mm çapında 2.5 mm et kalınlığına sahip boruyu bükabilen boru bükme kalıpları tasarlanmıştır. Bu kalıpların tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar vurgulanmıştır. Tasarlanan kalıpların makine üzerindeki montajları gösterilmiştir. Yapılan çizimler ve montajlarda Catia ve Solidworks programları kullanılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım kullanılarak hazırlanan kalıpları içeren boru bükme makineleri ile boru bükme işleminin hızlı, verimli, düşük maliyetli yapılacağı tespit edilmiştir.

Eğer bilgisayar destekli tasarım ile kalıplar tasarlanmasaydı kalıplar deneme yanılma yöntemiyle üretilecektir. Bu şekilde üretilen kalıplarda yanlışlık olduğunda kalıbın tekrar üretilmesi gerekecektir. Kalıbın tekrar üretilmesi ekstra zaman, malzeme, operatör ihtiyacı oluşturacaktır. Böylece boru bükme işlemi maliyeti artacaktır.

Bilgisayar destekli tasarım ile en doğru kalıplar tespit edilerek,oluşan hatalar üretim aşamasından önce bilgisayar ortamında düzeltilebilmektedir.Böylece bilgisayar destekli tasarım ile zaman kaybı önlenmiştir ve maddi kazanç sağlanmıştır.

Çalışmada eski yöntemlerle nasıl büküm işlemi yapıldığından bahsedilmiştir. Eski yöntemlerle boruyu kesme, kaynak gibi birçok işlem yapılmıştır. Bu işlemlere boru bükme makineleri ile yapılan bükme işleminde gerek yoktur. Bu işlemlere gerek kalmadan daha kolay bir şekilde boru bükme işlemi yapılabilir.

KAYNAKLAR

Bjørset, A., Remseth, S., Leira, B. J., Larsen, J. M., 2003. Titanium pipes subjected to bending moment and external pressure, *Computers and Structures*, 81, 2691–2704, The Norwegian University of Science and Technology, Norway.

Boyle, J.T., 1980. The finite bending of curved pipes, a Department of Mechanics of Materials, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland.

Boussaa, Dj., Dang Van, K. P., Labbé, Tang, H. T., 1995. Finite pure bending of curved pipes, Pages 1003-1012, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, France.

Daxin, E. Yafei Liu Huaibei Feng, 2010. Deformation Analysis for the Rotary Draw Bending Process of Circular Tubes: Stress Distribution and Wall Thinning.

Jie Zang, Columbia University, 2006. Laser Tube Bending and Laser Cleaning of Metallic and Nonmetallic Materials, Columbia University, United States

Gang-yao ZHAO, Yu-li LIU, He YANG, Cai-hong LU 2009, Cross-sectional distortion behaviors of thin-walled rectangular tube in rotary-draw bending process College of Materials Science and Engineering, State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, China.

He Yang, Yan Lin 2003. Wrinkling analysis for forming limit of tube bending processes. College of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, China.

H. Li, H. Yang, M. Zhan and Y.L. Kou, 2008. Deformation behaviors of thin-walled tube in rotary draw bending under push assistant loading conditions School of Materials Science, State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, China.

Hu, Z., Li, J.Q., 1999.Computer simulation of pipe-bending processes with small bending radius using local induction heating, *Journal of Materials Processing Technology*, 91, 75–79, Tsinghua University,China.

Iflefel, I. B., Moffat, D. G., Mistry, J., 2005. The interaction of pressure and bending on a dented pipe, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 82, 761–769,

Karataş, E, İpek U. , Altınok M. , 2010 Boru bükme kalıbı tasarımı. *Makine Tasarım Projesi* UÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bursa.

Kestek, L. 2008. Sonlu elemanlar yöntemi ile boru bükme benzetimi.*Yüksek Lisans Tezi* İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme ve İmalat Anabilim Dalı, İstanbul.

Li, Haizhang, Ph.D., University of Minnesota, 1993. Deformation and springback analysis in rotary-draw tube bending using finite ring element method. University of Minnesota. United States.

Lau, J. H., 1981.Bending and twisting of pipe with creep, *Special Structures Group,Bechtel Power Corporation*, Pages 367-374,.USA.

Lee, H., Van Tyne, C.J., Field, D., 2005.Finite element bending analysis of oval tubes using rotary draw bender for hydroforming applications, *Journal of Materials Processing Technology*, 168, 327–335, Colorado School of Mines, USA.

Lee, H., 2004.Bending analysis of oval tubes and optimization of boost system in rotary draw bender for hydroforming applications, Colorado School of Mines, USA.

Liu, Yu Li' Zhao, Gang Yao' Zhang, Jin ,Yang, He,2010. Effect of geometry parameters on cross-sectional distortion of thin-walled rectangular tube in rotary-draw bending process. School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, China.

Megep,2006.“Metal Teknolojisi”, http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/-kursprogramlari/metal/moduller/migmag_ile_yatayda_boruveprofil_kaynagi.pdf, Ankara.

Megep,2006. “Metal Teknolojisi”, http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/-kursprogramlari/metal/moduller/borulari_bukme.pdf, Ankara.

Mikhail ,S. ,2007.Formability of advanced high strength steel tubes in *tube bending* and hydroforming, University of Waterloo,Canada.

Sohal, I. S., Chen, W. F.,1985. Large bending of pipes, School of Civil Engineering, Purdue University, Pages 121-130, United States.

Shtub, A., Versano, R., 1999.Estimating the cost of steel pipe bending, a comparison between neural networks and regression analysis, Int. J. Production Economics, 62,201-207, Tel-Aviv University,Israel.

Theofanous, M. , Chan, T.M., Gardner, L., 2009.Flexural behaviour of stainless steel oval hollow sections, Thin-WalledStructures, 47, 776–787.Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, UK.

Tian, Shan ; Liu, Yuli ; Zhao,Gangyao ; Yang, He, 2010. Experimental research on strain distribution characteristics of thin-walled rectangular tube in rotary-draw bending.College of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University,China.

Wang, Chuantao, Ph.D., 1993. Mechanics of bending, flanging, and deep drawing and a computer-aided modeling system for predictions of strain, fracture, wrinkling and springback in sheet metal forming.The Ohio State University, United States.

Wassermann, D. R., 1983.Experimental investigation of stresses in cold-bent pipes due to internal pressure and in-plane bending, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Pages 135-151, Scotland, Great Britain.

Wenyun Wu, Li Jin, Jie Dong, Liming Peng, and Shoushan Yao1,2010. Bending Mechanisms in AM30 Alloy Tube Using a Rotary Draw Bender, Key State Laboratory of Metal Matrix Composite, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China

Xi Wang,2000.Stres-based Wrinkling Criteria and Experimental Verifications in Sheet Metal Forming,USA.

Yang He, Gu Rui-jie,Zhan Mei,LI Heng, 2005.Effect of frictions on cross section quality of thin-walled tube NC bending College of Materials Science and Engineering, , Northwest Polytechnic University ,China.

Yang, H.,Li H.,Zhan M.,Friction role in bending behaviors of thin-walled tube in rotary-draw-bending under small bending radii. School of Materials Science, State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University,China.

Yazıcı,M. 2009. Bilgisayar destekli kalıp modelleme ve çözümlene ile ilgili uygulama çalışması *Bitirme Çalışması* UÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bursa.

Yıldız ,U.,2010.Isı değiştiricilerde kullanmak için genişletilmiş yüzeyli oval(slot) formunda helis boru imalatı.Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Konya.

Zahoor, A., 1992.Compound cracks in pipes under combined bending and tension, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Pages 439-452 , USA.

Zakaria Orban,H.,2006.Analysis of Deformation During Structurak Tune Hydroforming .The University of Michigan,Canada.

www.cansamakina.com

www.3dtube.com

www.summo.com/tubebending.htm

www.ozismakina.com.tr

www.btsmakina.com –

BTS Makine MSY 32 Boru ve profil bükme kullanma ve bakım kılavuzu

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve YAVUZ
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA 03.03.1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Turhan Tayan Anadolu Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

DTA Mühendislik - 2009
Mikro Soğutma Teknolojileri Ar. Ge. San. ve Tic.A.Ş.- 2010 (Projede görev alma)
Rollmech Automotive - 2010
Asteknik Makine San. ve Tic. A.Ş.-2011

İletişim (e-posta) : merveyavuztr@gmail.com