



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE KULLANMAK İÇİN GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLİ OVAL (SLOT) FORMUNDA HELİS BORU İMALATI

Hüseyin YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eylül-2010
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE KULLANMAK İÇİN GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLİ OVAL (SLOT) FORMUNDA HELİS BORU İMALATI

Hüseyin YILDIZ

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK

2010, 95 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE

Bilindiği gibi, ısı değiştiricilerinin ısıl yüzeylerini artırmak için kanatlı borular kullanılır. Fakat yoğuşmalı kazanlarda bu tip boruların ömrü kısadır. Gıda sektöründe kullanılan ısı değiştiricilerinde Krom-Nikel paslanmaz sac kullanılır. Bu sektörde tüm kullanılan borular dairesel formda olup, boyutları büyük ve imalatları daha kolaydır.

Bu çalışmada daha küçük hacimli, ömrü daha uzun, tüm ısı değiştiricilerinde kullanılabilecek genişletilmiş ısıl yüzeyli ve kendinden kanatlı slot formda helisel boru imalatı gerçekleştirilmiştir. Boru imalatı için rulo halinde gelen paslanmaz sac bir doğrultucudan geçtikten sonra, slot forma getirilmek için bir roller formdan geçirilir. Slot forma getirilen borular TIG kaynağı ile birleştirilerek istenilen boyutta kesilirler. Çapakları temizlenen borular, taşıma robotu ile bükme ünitesine getirilerek, bu ünitede istenilen çapta ve adımda kılıcına bükülerek, helis boru elde edilir.

Anahtar Kelimeler: Slot boru, Isı değiştiriciler, Kanatlı helisel boru

ABSTRACT

MS THESIS

HELIX PIPE PRODUCTION HAVING EXTENDED SURFACE, AND IN OVAL (SLOT) FORM FOR USING IN HEAT EXCHANGERS

Hüseyin YILDIZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK

2010, 95 Pages

Jury

**Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE**

As known, the finned pipes are used to increase the thermal surfaces of heat exchangers. The life times of these kinds of pipes are shorter in condensing boilers. The stainless-steel heat exchangers are used in food sector. All pipes are in circular or oval form, and their productions are easier and their dimensions are bigger.

In this study, the production of helical pipes in slot form will be realized. These pipes have the extended thermal surface, the distinctive fins, the longer lifetime, and the smaller volume. The helical pipes to be produced will be used in all heat exchangers. The production of these helical pipes in slot form will be realized by the following way. Stainless-steel sheet metal in roll form is passed through the straightening machine, and then is passed through the roller form. The pipe obtained in slot form is welded by TIG. The pipes dimensioned and cleaned up are brought by transport robot in to the bending unit, and the final product is obtained in this unit.

Keywords: Slot pipe, Heat exchangers, Finned helical pipe

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
İÇİNDEKİLER iii
TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİLLER LİSTESİ vii
KISALTMA VE SİMGELER xi
BÖLÜM 1 1
ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ VE ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE KULLANILAN BORULAR 1
1. GİRİŞ 1
1.1 Borulu Isı Değiştiriciler ve Çeşitleri 1
1.1.1 Gövde borulu ısı değiştiricileri 2
1.1.2 Düz borulu ısı değiştiricileri 2
1.1.3 Spiral borulu ısı değiştiricileri 3
1.2 Kanatlı Yüzeyli Isı Değiştiricileri 4
1.2.1 Levhalı kanatlı ısı değiştiriciler 5
1.2.2 Borulu kanatlı ısı değiştiriciler 6
1.3 Boruların İmalat Yöntemleri 9
1.3.1 Dikişsiz boru imalatı 9
1.3.1.1 Haddeleme yolu ile imalat 10
1.3.1.2 Ekstrüzyon yolu ile imalat 11
1.3.2 Dikişli boru imalatı 12
1.3.2.1 Boyuna dikişli boru üretimi 12
1.3.2.2 Spiral dikişli boru üretimi 13
1.4 Boru Bükme 14
1.4.1 El ve aparatlarda boru bükme 14
1.4.1.1 İçi boş boruları elde bükme yöntemleri 14

1.4.1.2 İçi doldurulan boruların elde bükme yöntemleri 15
1.4.2 Makinelerde Boru Bükme 15
1.4.2.1 Malafalı boru bükme makineleri 15
1.4.2.2 Hidrolik boru bükme makinesi 16
1.4.2.3 Profil bükme makinesi 16
1.4.2.4 CNC mandreli bükme makinesi 17
BÖLÜM 2 19
KAYNAK TARAMASI 19
BÖLÜM 3 23
MATERYAL VE METOD 23
3.1 Materyal 23
3.1.1 Rulo sac hazırlama 23
3.1.2 Doğrultucu ve sürücü 24
3.1.3 Roller form 26
3.1.4 Kaynak ve çapak alma 27
3.1.5 Kesme 28
3.1.6 Taşıma robotu 29
3.1.7 Boru Bükme 30
3.2 Metot 33
BÖLÜM 4 34
TEORİ 34
4.1 Soğuk-Roll Şekillendirme Teorisi 34
4.1.1 Makara sayısı hesabı 35
4.2 Boru Bükme Teorisi 36
4.2.1 Dislokasyon' un tanımı 36
4.2.2 Slot borunun bükülmesinde meydana gelen gerilmeler 37
BÖLÜM 5 ..... **40**

DENEYSEL ÇALIŞMA 40
5.1 İndüksiyon Makinesi 40
5.2 Boru Bükme Makinesi 41
5.3 Lazerli Isı Ölçme Cihazı 42
5.4 Vickers Mikro Sertlik Ölçme Cihazı ve Sertlik Ölçümü 42
5.5 Metal Mikroskobu 44
5. 6 Deneysel Çalışmalar 44
5.6.1 Slot borunun bükme işlemi 44
BÖLÜM 6.....48
DENEY SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRMALAR 48
BÖLÜM 7.....53
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER 53
7.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....53
7.2 Öneriler 54
KAYNAKLAR.....55
EK A.....58
Slot boruyu üretme ve helisel forma getirme makinesinin teknik resimleri.....58

TABLO LİSTESİ

Tablo 6. 1 Deney numunesi sertlik değerleri 52
Tablo 6. 2 Deneyde kullanılan Ç1010 malzemesinin kimyasal bileşimleri.....52

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1 Gövde borulu ısı değiştirici 2
Şekil 1. 2 Seri hâlde bağlanmış düz (çift) borulu ısı değiştirici 3
Şekil 1. 3 Düz (çift) borulu ısı değiştiriciler..... 3
Şekil 1. 4 Serpantinli (spiral borulu) ısı değiştirici kesit resmi 4
Şekil 1. 5 Depo içine yerleştirilmiş spiral borulu ısı değiştirici 4
Şekil 1. 6 Levhalı kanatlı ısı değiştiricisi 5
Şekil 1. 7 Kanatlı borulu ısı değiştiricisi..... 6
Şekil 1. 8 Bireysel boru dışına konulan boru eksenine dik (veya helisel) kanat şekilleri 7
Şekil 1. 9 Dairesel ve oval boru grubu üzerine tespit edilmiş kanatlar..... 8
Şekil 1. 10 Değişik boru profilleri 9
Şekil 1. 11 Haddeleme yolu ile imalat 10
Şekil 1. 12 a) Çelik ingotlar b) Paslanmaz çelik ingotlar.....10
Şekil 1. 13 a) Slab b) Bloom c) Kütük.....11
Şekil 1. 14 Ekstrüzyon yolu ile imalat 11
Şekil 1. 15 Boru extrüzyon yöntemi 12
Şekil 1. 16 Boyuna dikişli boru imalat hattı.....13
Şekil 1. 17 Spiral dikişli boru 14
Şekil 1. 18 Doğru büküm ve hatalı büküm.....15
Şekil 1. 19 Malafalı boru bükme makinesi 15
Şekil 1. 20 Hidrolik boru bükme makinesi 16
Şekil 1. 21 Profil bükme makinesi.....16
Şekil 1. 22 Parçanın merdaneye bağlanması, bükmeye başlanması ve parçanın bükülmüş şekli.....17
Şekil 1. 23 Kıvrılabilen profil tipleri.....17
Şekil 1. 24 CNC mandreli bükme makinesi 17
Şekil 1. 25 Parçanın değişik açı ve ölçüde bükülmesi 18
Şekil 3. 1 Sac rulolar 24
Şekil 3. 2 Rulo açıcı 24
Şekil 3. 3 Doğrultucu ünitesi 25
Şekil 3. 4 Roller form hattı.....26

Şekil 3. 5 Roller form hattı üstten görünüş 27
Şekil 3. 6 Kaynak ve çapak alma makinesi.....28
Şekil 3. 7 Kesme ünitesi.....29
Şekil 3. 8 Taşıma robotu 30
Şekil 3. 9 Boru bükme ünitesi 30
Şekil 3. 10 Boru bükme ünitesi üstten görünüş.....31
Şekil 3. 11 Slot borunun imalatı ve helisel forma getirme işlemi 32
Şekil 4. 1 İki makara seti arasında kalan sac parçası gerinimi.....34
Şekil 4. 2 Makara sayısı hesabı 35
Şekil 4. 3 Kenar dislokasyonu.....36
Şekil 4. 4 Dislokasyon hareket yönü 36
Şekil 4. 5 Slot borudaki deformasyonlar.....37
Şekil 4. 6 $\sigma = \sigma_0 + K \cdot \varepsilon^n$ üstel ifadesine uyan akma eğrisi.....38
Şekil 4. 7 Oval boru kesit görünüşü ve bükülmesinde meydana gelen gerilmeler.....39
Şekil 5. 1 İndüksiyon makinesinin soğutucu ünitesi.....40
Şekil 5. 2 İndüksiyon makinesi ısıtma ünitesi.....41
Şekil 5. 3 Boru bükme makinesi.....41
Şekil 5. 4 Lazerli uzaktan sıcaklık ölçme cihazı 42
Şekil 5. 5 Vickers mikro sertlik ölçme cihazı 42
Şekil 5. 6 Vickers sertliğinde kullanılan batıcı uç çeşidi.....43
Şekil 5. 7 Oluşan izin şematik olarak gösterilmesi.....43
Şekil 5. 8 Metal mikroskobu 44
Şekil 5. 9 Slot formdaki boru 45
Şekil 5. 10 İndüksiyon makinesi sargısı ve bükme kalıbına girmiş slot boru ısıtılmadan önce.....45
Şekil 5. 11 İndüksiyon makinesi sargısı ve bükme kalıbına girmiş slot boru ısıtılırken 46
Şekil 5. 12 Sargı içerisinde ısınan slot borunun bükme kalıbına gönderilmesi 46
Şekil 5. 13 Isıtılmış bükülmüş slot boru 47
Şekil 6. 1 50x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....48
Şekil 6. 2 100x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....49
Şekil 6. 3 200x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....49

Şekil 6. 4 500x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....50
Şekil 6. 5 100x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....50
Şekil 6. 6 200x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....51
Şekil 6. 7 500x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü.....51
Şekil A. 1 4140 malzeme roller form milleri 58
Şekil A. 2 Doğrultucu taşıma kısmı.....59
Şekil A. 3 Profil bükme ünitesi merdane kısmı ve bağlantı elemanları.....60
Şekil A. 4 Ø 400 Daire testere.....61
Şekil A. 5 Borunun üzerinde hareket ettiği taşıma ayakları.....62
Şekil A. 6 Taşıma robotunun taşıyıcı başlığı 63
Şekil A. 7 Taşıma robotunun hareketli ünitesi 64
Şekil A. 8 Taşıma robotu bağlantı parçası 65
Şekil A. 9 Taşıma robotu bağlantı elemanı ve milleri 66
Şekil A. 10 Taşıma robotu şase kısmı.....67
Şekil A. 11 Pnömatik şartlandırıcı.....68
Şekil A. 12 Taşıma robotu bağlantı elemanı 69
Şekil A. 13 Bükme ünitesi taşıma panosu.....70
Şekil A. 14 6210 bilye.....71
Şekil A. 15 6216 bilye.....72
Şekil A. 16 Rulo açma kısmı.....73
Şekil A. 17 Rulo açma bağlantı kısmı 74
Şekil A. 18 6309 rulman 75
Şekil A. 19 Rulo açma hidrolik ünite.....76
Şekil A. 20 Rulo açma elektrik motoru.....77
Şekil A. 21 Helisel taşlanmış kremeyer dişli 78
Şekil A. 22 Rulo açma bağlantı mili.....79
Şekil A. 23 Sac rulo taşıma kısmı.....80
Şekil A. 24 30 mm uzun geniş araba 81
Şekil A. 25 30 mm lineer ray 82
Şekil A. 26 Roller form mil yataklama kalıbı 83
Şekil A. 27 Sac doğrultucu rulo.....84
Şekil A. 28 Doğrultucu bağlantı kısmı 85

Şekil A. 29 Doğrultucu için monoblok gövde 9’ lu özel redüktör 86
Şekil A. 30 Doğrultucu mili 87
Şekil A. 31 Monoblok gövde 14’ lü özel redüktör 88
Şekil A. 32 Bağlantı elemanı.....89
Şekil A. 33 Pnömatik valf 90
Şekil A. 34 Merdane 91
Şekil A. 35 5,5 kW 200 d/dk özel 3’ lü redüktör.....92
Şekil A. 36 Kontrol ünitesi.....93
Şekil A. 37 TIG Kaynak Makinesi 500 A.....94
Şekil A. 38 Kaynak sürme için 3 kW elektrik motoru.....95

KISALTMA VE SİMGELER

a	Kenar yüksekliği
$\boldsymbol{\beta}$	Yüzey alan yoğunluğu
L	Sac boyu
$\boldsymbol{\theta}$	Bükme açısı
$\boldsymbol{\varepsilon}$	Gerinim
h	Kenar yüksekliği (son makaradan çıktıktan sonra)
n	Makara istasyonu sayısı
d	İki makara istasyonu arasındaki uzaklık
$\boldsymbol{\sigma_{ak}}$	Akma gerilmesi
$\boldsymbol{F_{ak}}$	Akma kuvveti
$\boldsymbol{A_0}$	Alan
$\boldsymbol{\sigma_{ger}}$	Gerçek gerilme
$\boldsymbol{\sigma_{ak}}$	Akma gerilmesi
$\boldsymbol{K}$	Mukavemet katsayısı
$\boldsymbol{n}$	Pekleşme katsayısı
$\boldsymbol{\sigma_{true}}$	Gerçek gerilme
$\boldsymbol{\varepsilon_{ln}^{pl}}$	Plastik gerinim
$\boldsymbol{\sigma_{nom}}$	Mühendislik gerilmesi
$\boldsymbol{\varepsilon_{nom}}$	Mühendislik gerinimi
$\boldsymbol{E}$	Elastisite modülü

BÖLÜM 1

ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ VE ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE KULLANILAN BORULAR

1. GİRİŞ

Genel olarak ısı değiştiricilerinde dairesel kesitli kanatlı borular kullanılır. Özellikle akışkanlardan bir tanesi gaz olduğu takdirde, sıcak-soğuk akışkanın kontak yüzeyi daha az olmaktadır. Ayrıca konvansiyonel ısı değiştiricilerinde kanatlar, yüzeye ya sonradan kaynakla birleştirilmekte veya ikinci bir işlemle boruya kanat formu kazandırılmaktadır. Bu şekilde boruya kanat formu kazandırma işlemi, pahalı ve ekstra bir zaman gerektirir. Yoğuşmalı kazanlarda ise kanatlı boruların ömrü kısadır. Gıda sektöründe kullanılan ısı değiştiricilerinde Krom-Nikel paslanmaz sac kullanılır. Tüm kullanılan borular dairesel formda olup, boyutları büyük ve imalatları daha kolaydır.

1.1 Borulu Isı Değiştiriciler ve Çeşitleri

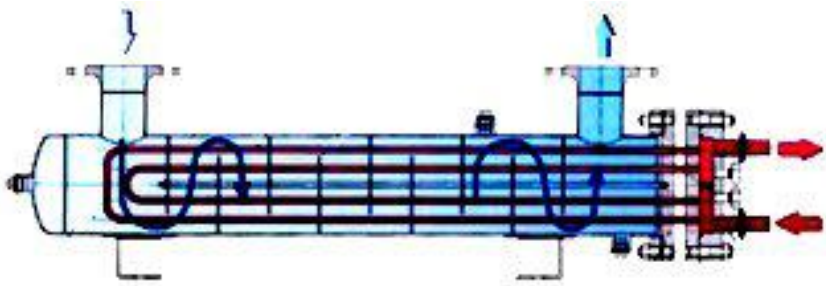
Isıl yüzeyler aracılığı ile soğuk akışkanı ısıtmak veya sıcak akışkanı soğutmak için kullanılan cihazlar ısı değiştiricisi olarak tanımlanır. Pratikte termik santrallerde, kimya endüstrisinde, ısıtma, iklimlendirme, soğutma tesisatlarında, alternatif enerji kaynaklarının kullanımında, ısı depolanması vb. birçok yerde kullanılmaktadır.

Borulu ısı değiştiricilerinde, genelde dairesel kesitli borular kullanılır. Dairesel kesitli borular diğer geometrik şekilli olanlara göre yüksek basınçlara dayanıklıdır. Bu nedenle, yüksek basınçlarda tercih edilir. Bir akışkan boru içerisinden akarken, diğer akışkan borunun dışından akar. Boru çapı, boru sayısı, boru uzunluğu ve boru adımı değiştirilebilir. Borulu ısı değiştiriciler; çift borulu, gövde borulu ve spiral borulu ısı değiştiricilerinden oluşmaktadır. Kızgın sudan veya buhardan yararlanarak ısıtma için gerekli suyun elde edilmesinde genellikle borulu ısı değiştiricileri kullanılır. Boru demetleri bakır veya çelik borulardan oluşur.

Uygulamalarda sıkça rastlanan borulu ısı değiştirici tipleri kısaca aşağıda verildi.

1.1.1 Gövde borulu ısı değiştiricileri

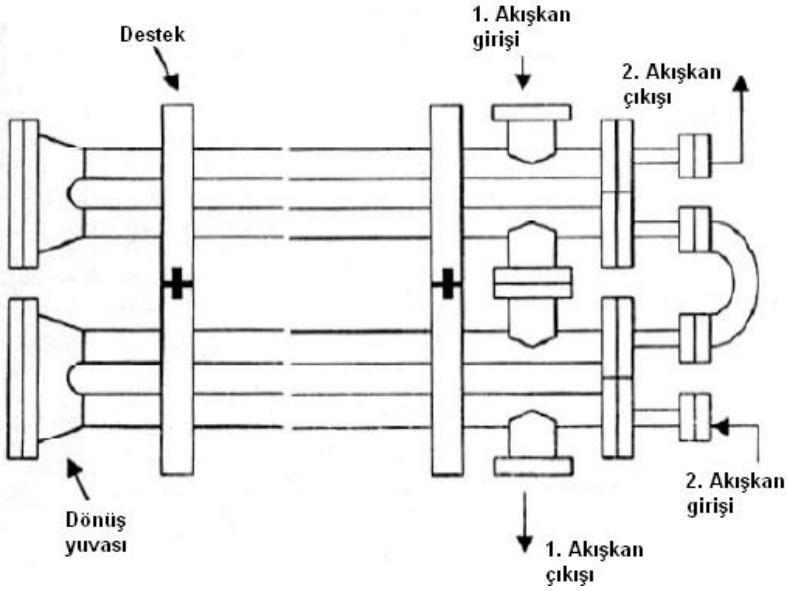
Proses endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tipidir. Yaklaşık olarak kullanılan tüm ısı değiştiricilerinin % 60'ı gövde borulu ısı değiştiricileridir. Gövde borulu ısı değiştirici, boru ekseni gövdenin eksenine paralel olacak şekilde büyük silindirik gövde içine yerleştirilen birbirine paralel yuvarlak borulardan yapılır. Akışkanlardan birisi boruların içinden, diğer akışkan ise gövde tarafında borulara paralel veya çapraz olarak akar. Temel elemanları; borular, gövde, iki baştaki kafalar, boruların tespit edildiği ön ve arka ayna ile gövde içindeki akışı yönlendiren ve borulara destek olabilen şaşırtma levhaları ve destek çubuklarıdır. Isıl görev, basınç düşümü, basınç seviyesi, kirlenme, imalat yöntemi ve maliyeti, korozyon ve temizleme problemlerine bağlı olarak çeşitli gövde tarafı ve boru tarafı akış düzenlemeleri kullanılır. Petrol rafinerilerinde, termik santrallerde, kimya endüstrisinde çok fazla uygulama alanı bulunmaktadır. Şekil **1.1**' de gövde borulu ısı değiştiricisi görülmektedir [1].



Şekil **1. 1** Gövde borulu ısı değiştirici

1.1.2 Düz borulu ısı değiştiricileri

Düz borulu ısı değiştiricileri en basit ısı değiştiricileridir. Bir borunun daha büyük çaplı bir boru içerisine eş merkezli olarak yerleştirilmesi ile elde edilir. Akışkanlardan biri içteki borudan akarken, diğeri dışarıdaki borudan akar. Bu ısı değiştiriciler, istenen basınç düşümü ve sıcaklık farkı gereksinimlerini karşılamak için çeşitli seri ve paralel konfigürasyonlar şeklinde düzenlenebilir. İçteki boru tek veya çok borulu olabilir. Şekil **1.2** ve **1.3**'de seri hâlde bağlanmış düz (çift) borulu ısı değiştiricisi görülmektedir [1].



Şekil **1. 2** Seri hâlde bağlanmış düz (çift) borulu ısı değiştirici

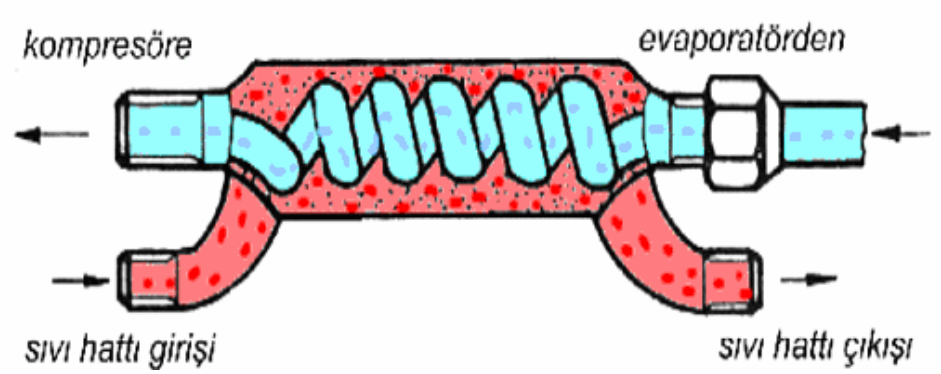


Şekil **1. 3** Düz (çift) borulu ısı değiştiriciler

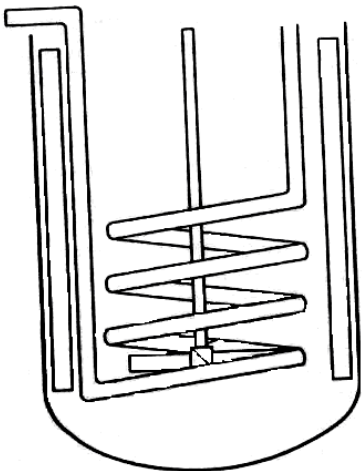
1.1.3 Spiral borulu ısı değiştiricileri

Bir depo içine yerleştirilen spiral şeklinde sarılmış bir veya daha fazla borulardan oluşmaktadır. Isı transfer katsayısı, spiral bir boruda düz bir borudakinden daha yüksek olduğundan spiral sarım kullanılır. Bu ısı değiştiricileri genellikle havuz ve depolardaki akışkanların sıcaklık kontrolünde kullanılır. Helisel bir şekilde yapılabilen serpantinin adımı, sarım çapı ve alanı uygun bir şekilde seçilebilir. Küçük serpantinlerin depo içinde desteğe ihtiyacı olmamasına rağmen, büyük serpantinlerin

desteklenmesi gerekir. Bu tip ısı değiştiricilerde spiral boru dış yüzeyi ve depo içi kolaylıkla temizlenebilirken, boru iç yüzeyi kolayca temizlenemez. Spiral borulu ısı değiştiricilerinin depo tarafındaki debi ve akışkan hızları küçük olması nedeniyle, ısıl kapasite debileri küçüktür (Şekil **1.4** ve**1.5**) [1].



Şekil **1. 4** Serpantinli (spiral borulu) ısı değiştirici kesit resmi



Şekil **1. 5** Depo içine yerleştirilmiş spiral borulu ısı değiştirici

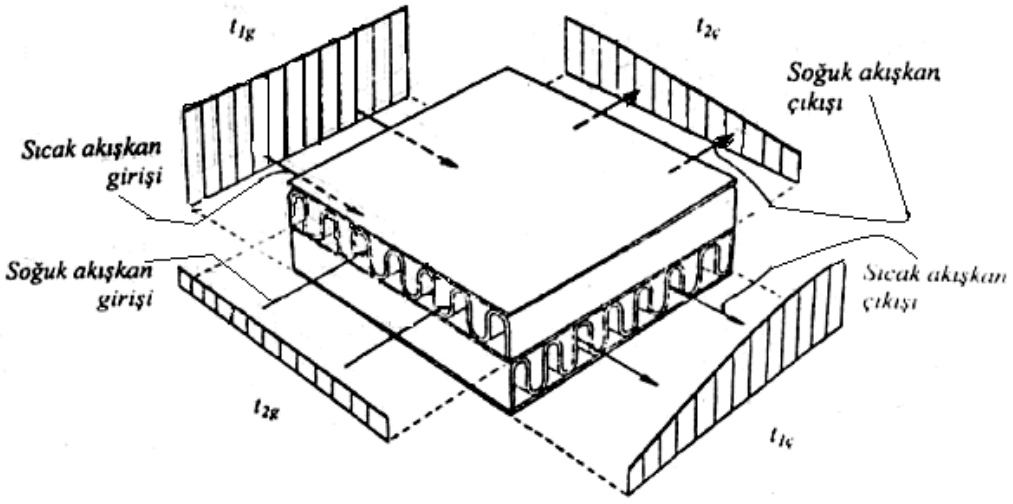
1.2 Kanatlı Yüzeyli Isı Değiştiricileri

Buraya kadar incelenen borulu ısı değiştiricilerinde genel olarak, β yüzey alan yoğunluğu (kompaktlık) 300 m^2/m^3 değerinden, ısıl etkenlikleri ise % 60 değerinden daha küçüktür. Bu tip ısı değiştiricilerin kompaktlığı ve ısıl etkenliği artırılmak istenirse, asıl ısıtma yüzeylerine kanat adı verilen çıkıntılar ilave edilerek ısıtma yüzeyleri büyültülebilir. Prensip olarak ısı taşınım katsayısının küçük olduğu akışkan

(genellikle gaz, bazen de sıvı) tarafına kanatlar konulur. Bu durumda, küçük hacimde daha fazla ısı geçişi sağlanabilmesine karşın, yüzeylere ilave edilen çıkıntıların oluşturduğu ilave basınç kayıpları gözden uzak tutulmalıdır. Bu yüzden konstrüktif olarak en uygun yüzey ilaveleri (kanat profilleri) araştırılmalıdır [2].

1.2.1 Levhalı kanatlı ısı değiştiriciler

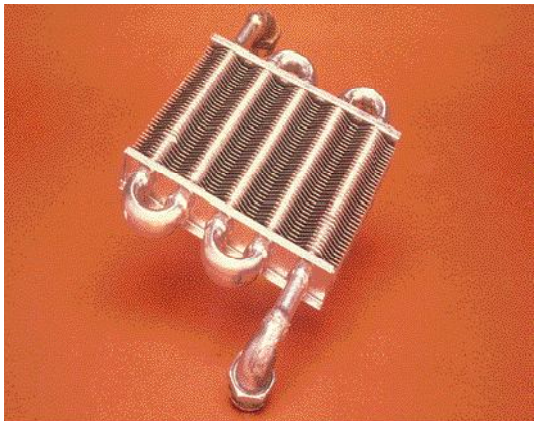
Bu tip ısı değiştiricilerinde kanatlar, paralel levhalar halindeki yüzeyler arasına mekanik olarak preslenerek, lehimlenerek veya kanat edilerek tespit edilir. İki tarafında da gaz akışkan bulunan ısı değiştiricilerinde ısı geçiş yüzeylerinin iki tarafına da kanat, gaz ve sıvı akışkanlar ile çalışan ısı değiştiricilerinde ise genellikle sadece gaz tarafına kanat konulur. Isı değiştiricilerinin rijidliğini arttırması ve yüksek basınçlarda çalışmasını sağlayabilmesi açısından levhalı kanatların önemli fonksiyonları vardır. Levhalı ısı değiştiricilerinin konstrüktif özellikleri olarak, kullanma basıncı ortalama 7 bar (bazı özel gayeler için 80 bar değeri olabilir), maksimum kullanma sıcaklığı (kanatların tespit şekline bağlı olarak) 800 °C, β yüzey alan yoğunluğu (kompaktlık) maksimum 5900 m^2/m^3 (ortalama 2000 m^2/m^3) değerleri verilebilir. Gaz ve buhar türbinleri, otomobil, kamyon, uçak motorları soğutma sistemleri, ısı pompaları, soğutma ve iklimlendirme tesisleri, elektronik devrelerin soğutma devreleri ile enerji geri kazanım sistemleri levhalı ısı değiştiricilerinin uygulama alanı bulduğu alanlardır (Şekil **1.6**) [2].



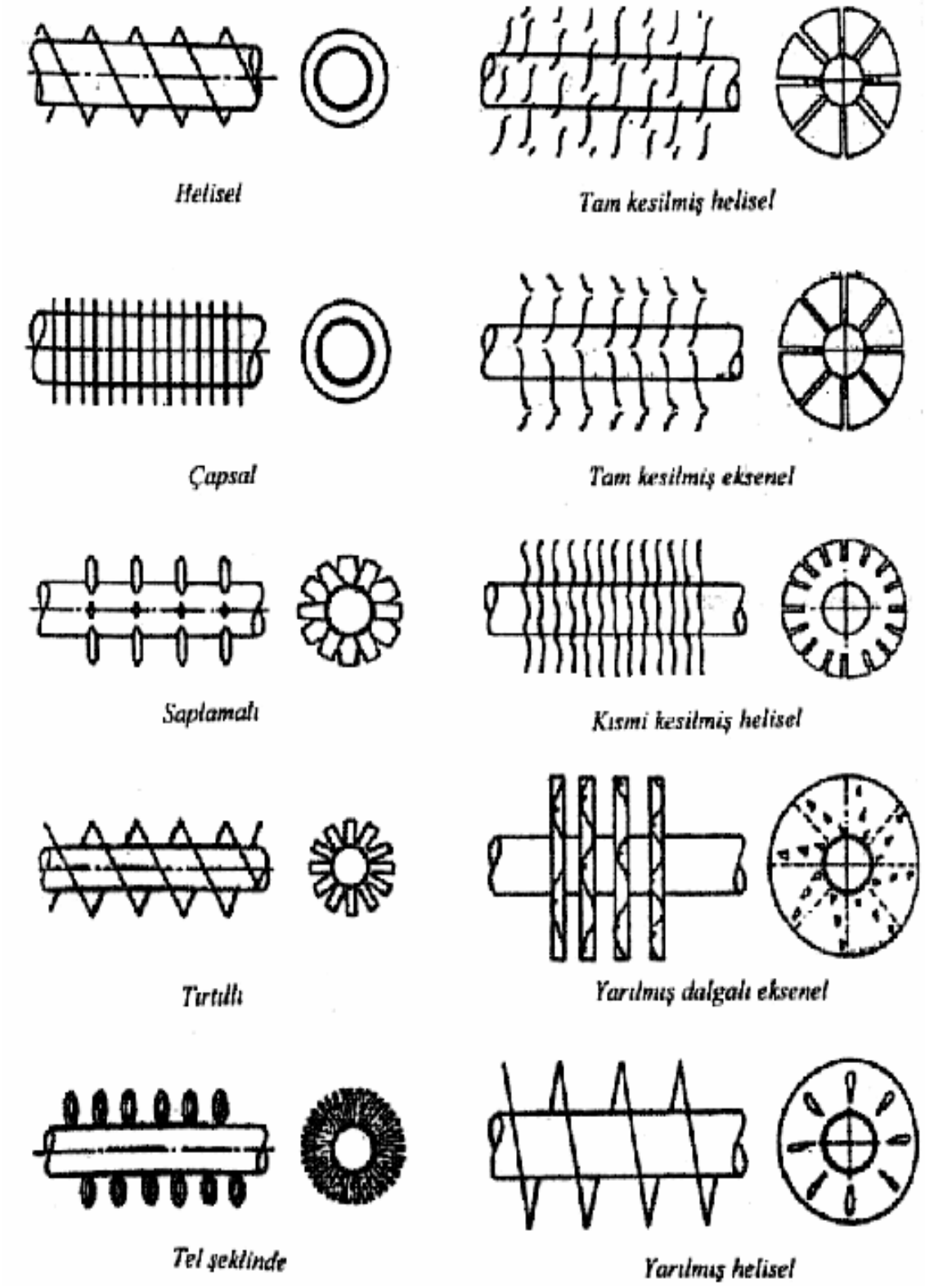
Şekil **1. 6** Levhalı kanatlı ısı değiştiricisi

1.2.2 Borulu kanatlı ısı değiştiriciler

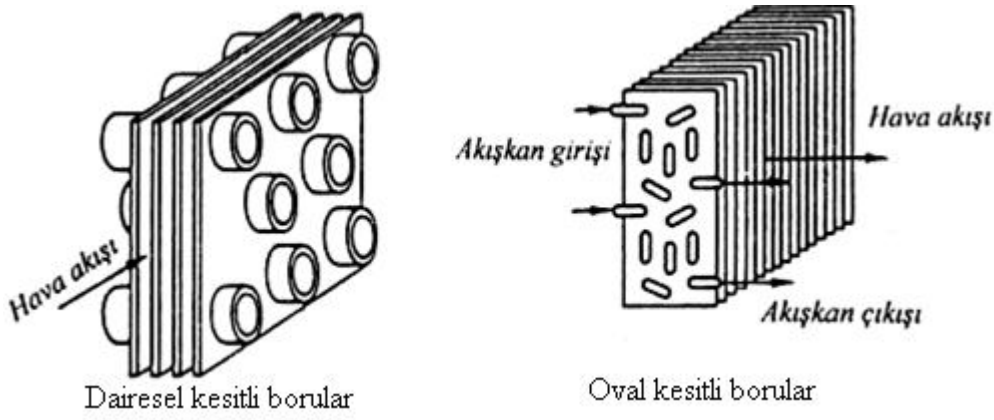
Bir tarafında gaz, bir tarafında sıvı akan ısı değiştiricilerinde, sıvı tarafındaki ısı taşınım katsayısı daha yüksektir. Bu nedenle çoğunlukla sıvı akışkan tarafı kanat gerektirmez. Diğer taraftan mukavemet bakımından uygun geometri silindir olduğundan, ısı değiştiricilerinde yüksek basınçlı akışkan (genellikle de sıvı akışkan tarafındaki basınç, gaz tarafındaki basınçtan daha yüksektir bu nedenle sıvı akışkan) boru içinden aktarılır. Bu yüzden pratikte dairesel veya oval kesitli boru dışındaki kanatlı yüzeyler ile daha çok karşılaşılır. Bunlara ait birkaç örnek Şekil **1.7**, **1.8** ve **1.9**'da gösterildi [2].



Şekil **1. 7** Kanatlı borulu ısı değiştiricisi



Şekil **1. 8** Bireysel boru dışına konulan boru eksenine dik (veya helisel) kanat şekilleri



Şekil **1. 9** Dairesel ve oval boru grubu üzerine tespit edilmiş kanatlar

Borulu kanatlı ısı değiştiricilerine diğer bir örnek, gaz tribünlerinde kullanılan sıcak gazlar ile yakma havasının ısıtıldığı reküparatörlerdir. Bunlarda yüksek basınçlı gazlar boruların içinden, hava ise boruların dışından akar. Yüksek basınçlı gazın küçük çaplı borulara gönderilmesinde karşılaşılan güçlükleri yenmek için borular gruplar halinde beslenir. Alçak basıncın bulunduğu hava tarafından hızlar küçük olduğundan ve ısı taşınım katsayısı, iç tarafa göre daha küçük olduğundan, bu kısma eksenel kanatlar ilave edilir.

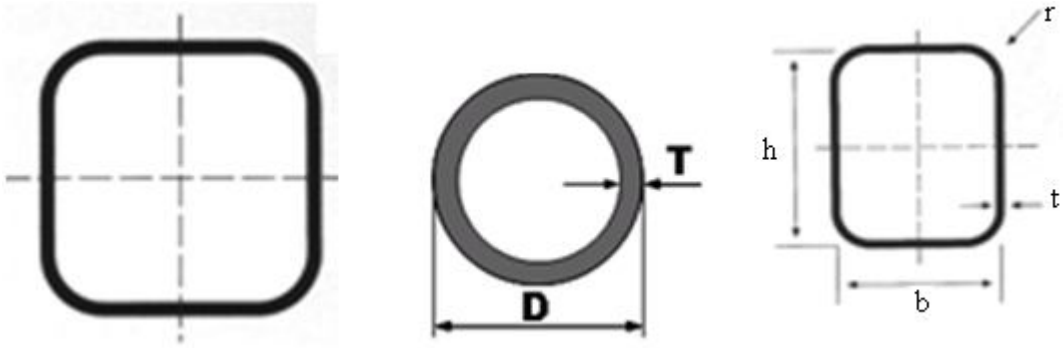
Boru içindeki akışkan ısı taşınım katsayısının küçük olduğu durumlarda, borunun iç yüzeylerine de veya borunun iki tarafında da ısı taşınım katsayısının nispeten küçük olması durumunda hem iç yüzeye hem de dış yüzeye kanalar ilave edilebilir. Bu kanatlar genellikle ekseneldir.

Kanatlar boru ile imal edildiği gibi daha sonra da boru cidarı (dış yüzeyi) üzerine döküm, kaynak, lehim ve presli sıkı geçme olarak yapılabilir. Isı değiştiricinin kullanıldığı sıcaklığa ve basınca göre bu teknik uygulanır. Bu tiplerin uygulama alanları olarak güç santralleri, pervaneli soğutma grupları, taşıt araçları, iklimlendirme ve soğutma tesisatları sayılabilir [2].

1.3 Boruların İmalat Yöntemleri

Sıvı, gaz, buhar vb. maddeleri iletmeye yarayan içi boş gereçlere boru denir. Borular imalat şekillerine göre; dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde imal edilirler

Dikişsiz çelik borular soğuk çekme metodu ile üretilir. Bu standart kapsamındaki boruların imalatında kullanılan çelik üretim metotları ile döküm teknikleri kullanılarak elde edilir. Dikişli borular soğuk haddelenmiş şeritlerin biçimlendirilerek birleşme noktalarından elektrik direnç veya indüksiyon kaynağı ile kaynatılarak üretilirler. Sıcak veya soğuk çekilerek ısıl işlemlerine tabi tutularak piyasaya arz edilir. Borular belirli standartlar dâhilinde üretilir. Test ve deneme basınçlarından sonra piyasaya sürülür. Şekil **1.10**' da değişik boru profil tipleri gösterildi [3].



Şekil **1. 10** Değişik boru profilleri

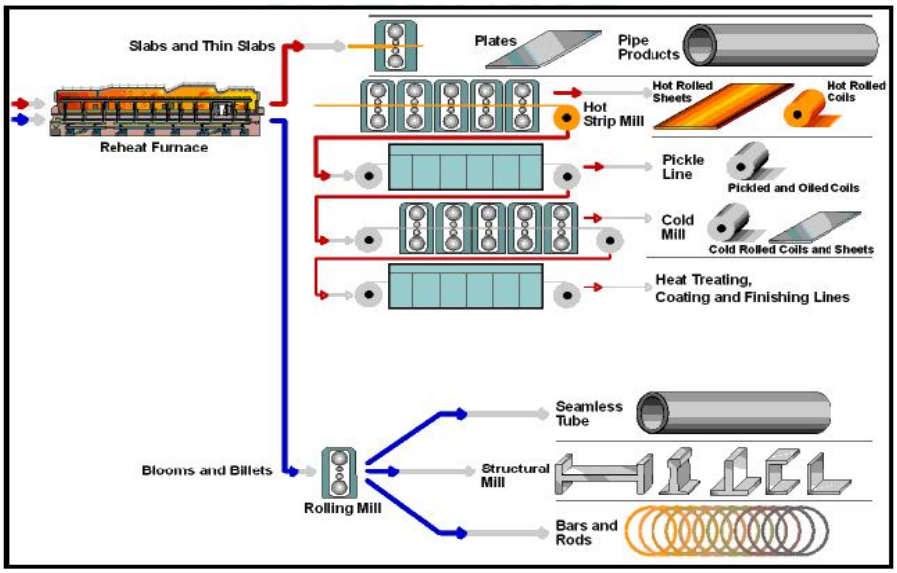
1.3.1 Dikişsiz boru imalatı

Çelik malzemeden, kaynak edilmeden sıcak haddeleme, sıcak presleme (ekstrüzyon dâhil) sonra da sıcak veya soğuk çekme yoluyla boyutlandırılan borudur. Bu boruya patent çekme borularda denmektedir.

1300 °C' ye kadar ısıtılan çelik blok içinden bir delik zımbası geçirilir ve yüzeyi düzeltilip belirli boyda kesilir. Dikişsiz olması nedeniyle yüksek sıcaklık ve basınçlarda kullanılabilir [3].

1.3.1.1 Haddeleme yolu ile imalat

İki tane döner merdanenin basma kuvvetinin etkisiyle araya giren malzemeye soğuk ya da sıcak olarak plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Haddeleme yoluyla; kare, yuvarlak, yassı, çokgen, kesit, köşebent, T demiri, I demiri, U demiri, ray gibi mamuller üretilir. Haddelemenin en temel hammaddesi 1x1x1,5m boyutlarında çok büyük ingotlardır. Şekil **1.11**' de haddeleme yolu ile imalat gösterildi [4].



Şekil **1. 11** Haddeleme yolu ile imalat

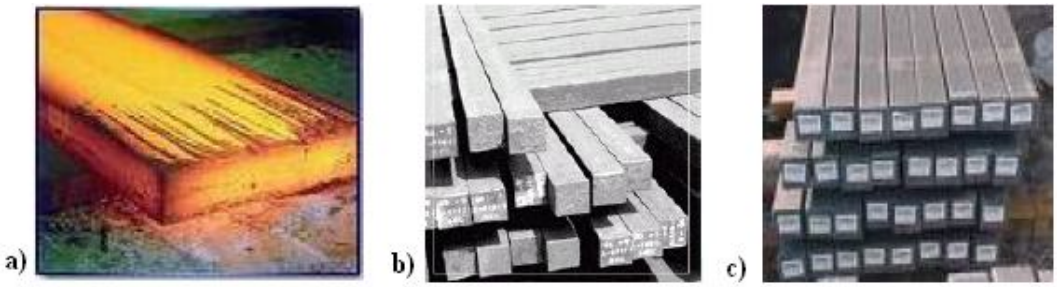
Dökümle üretilen ilk ürün olan ingotlar Şekil **1.12**' de görülmektedir.



Şekil **1. 12** a) Çelik ingotlar b) Paslanmaz çelik ingotlar

İngot'ların haddelenmesi sonucu slab, blum ve kütük elde edilir.

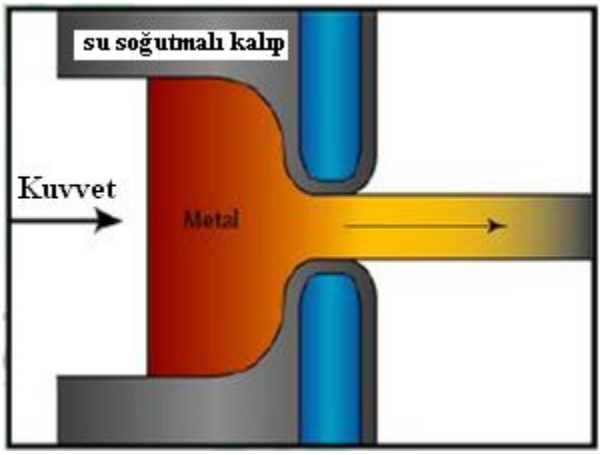
Slab : (Eni 60-150 cm kalınlığı 5 cm – 25 cm)
Blum : (kesiti maksimum 30x30 cm, minimum 15x15 cm)
Kütük : (kesiti maksimum 15x15 cm, minimum 5x5 cm) yarı-mamul maddelerdir.
İngotlardan haddeleme yolu ile üretilen slab, bloom ve kütük Şekil **1.13**' de görülmektedir [4].



Şekil **1. 13** a) Slab b) Bloom c) Kütük

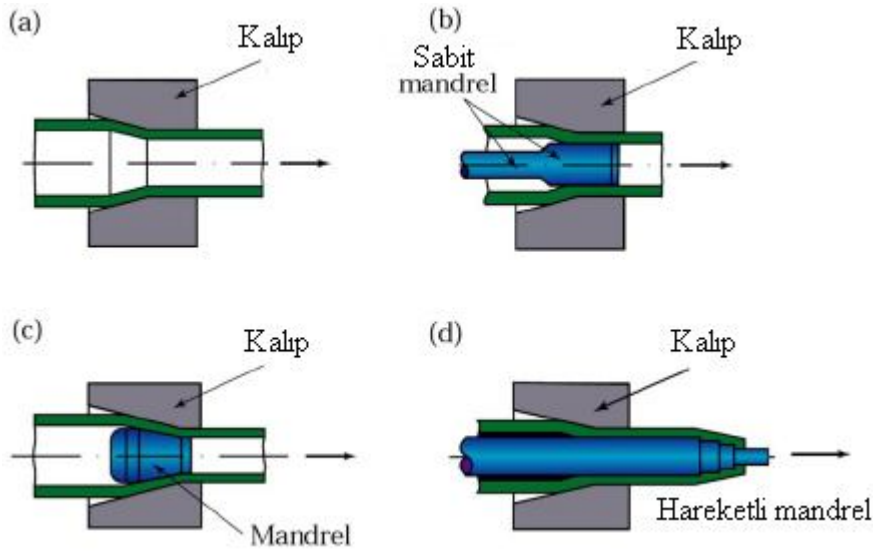
1.3.1.2 Ekstrüzyon yolu ile imalat

Bu imalat yöntemi genellikle hafif metaller için uygulanır. Metal bir takoz bir alıcı kovan içine konulur. Bir ıstampa vasıtasıyla metal takoza baskı yapılır. Metal takoz zorla matris adını verdiğimiz kalıp içerisinden geçirilir. Böylece ekstrüzyon yoluyla imalat gerçekleşmiş olur (Şekil **1.14**) [5].



Şekil **1. 14** Ekstrüzyon yolu ile imalat

Dikişsiz burular ekstrüzyonla üretilirler. Silindirik takozlar dolu veya deliklidir. Direk ekstrüzyonda hem dolu hem delikli takoz kullanılırken diğer ekstrüzyonda yalnızca delikli takozdan boru üretilir. Istampaya bağlı bir mandrel kullanılır (Şekil **1.15**).



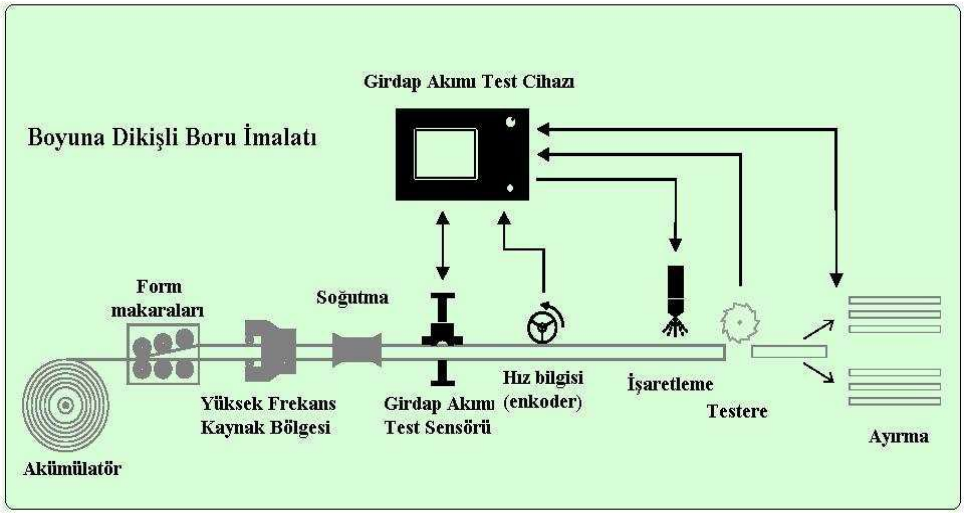
Şekil **1. 15** Boru extrüzyon yöntemi

1.3.2 Dikişli boru imalatı

Çelik sacları veya bantları makaralar vasıtası ile silindir biçimde kıvırıp kaynak dikişi ile birleştirmek ve sonra, soğuk veya sıcak çekmek suretiyle yapılan borulardır.

1.3.2.1 Boyuna dikişli boru üretimi

Fabrikalarda hammadde veya yarı mamul olarak gelen sac rulolar nihai ürün haline gelinceye kadar pek çok safhadan geçirilir. Dilimlenmiş rulo saclar bir dizi makara sistemi ile form makaralarının arasında soğuk şekil değiştirilerek yuvarlak hale getirilir. Yüksek frekansla ısıtılan yuvarlatılmış sac, kaynatma makaralarında uygulanan basınç yardımıyla kaynatılır. Kaynak noktasından hemen sonra borunun iç ve dış çapak tabir edilen kaynak artıkları temizlenir. Boru, kalibre makaralarına doğru ilerlerken yuvarlak, kare veya dikdörtgen formlarına dönüştürülür. Nihai ürün, hareketli döner testerelerle istenilen boylara kesilerek konveyörler ile kaynak hattından uzaklaştırılır. Boyuna dikişli boru imalatı Şekil **1.16**'da gösterilmiştir [6].



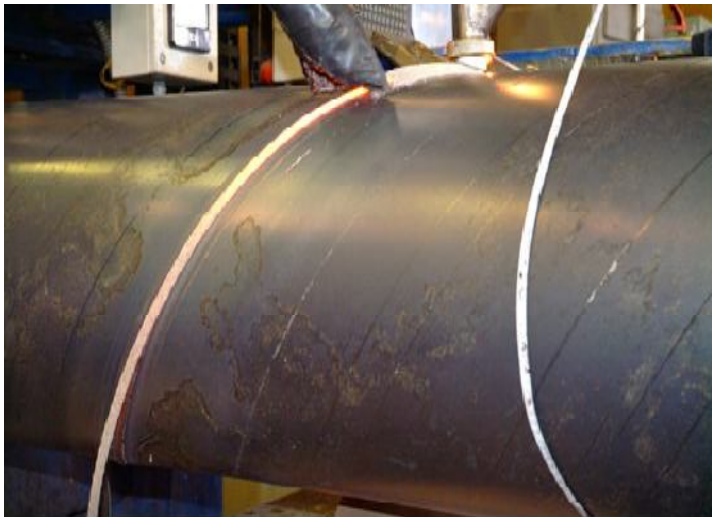
Şekil **1. 16** Boyuna dikişli boru imalat hattı

1.3.2.2 Spiral dikişli boru üretimi

Spiral kaynaklı boru üreten makinelerde ana prensip, tahrik silindirleri tarafından itilen sac malzemeye şekillendirme makaraları yardımı ile spiral bir hareketin yaptırılmasıdır. Malzemenin sac olarak makine üzerinde ilerlediği bölümün, malzemenin kaynak sonrası boru olarak ilerlediği bölüm ile yaptığı açı, boru çapını belirleyen en önemli etkendir. Bu açı makineye yerleştirilen bant genişliği ve elde edilmek istenen boru çapı göz önüne alınarak belirlenir.

Sac rulonun makineye yüklenmesinden sonra boru üretiminde sürekliliği sağlamak için biten rulo ile yeni rulonun uçları birbirine kaynatılır. Daha sonra, malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak ağzı açma işlemine geçilir. Kaynak ağzı açma işleminden sonra, şekillendirme makaraları ve iç baskı grubunun yardımı ile banda spiral bir şekil verilir.

Spiral dikişli boru kaynağının ilk aşaması boruya spiral şekil verilen bu bölgede yapılan iç kaynaktır. Dış kaynak ise iç kaynaktan ayrı olarak daha ileri bir aşamada yapılır. Kaynak işlemi tozaltı kaynak yöntemi ile tek ya da çoklu kafa kullanılarak yapılabilir. Birden fazla kafa kullanımı ile kaynak banyosuna daha fazla akım iletimi ve buna bağlı olarak da kaynak hızını artırma imkânı vardır [7].



Şekil **1. 17** Spiral dikişli boru

1.4 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. Dolu kesitli malzemelerde, bükme yerlerine gelen iç kısımlar şişer. Dış kısımlar uzayarak incelir. Orta kısımlarda ise fazla bir değişiklik meydana gelmez. Malzeme düz iken üzerine eşit aralıklarla paralel ve eksene dik çizilen çizgilerin, bükme işleminden sonra paralelliklerini kaybettiklerini, yalnız eksendeki çizgi aralıklarının değişmediği görülür. Dolayısıyla malzemelerin eksenlerine isabet eden kısımlarına nötr eksen denir. İçleri boş malzemelerin büküntü yerlerinde ise ezilmeler olur. Profil demirlerinde de kesiti meydana getiren kenarların açıları değişir.

1.4.1 El ve aparatlarda boru bükme

1.4.1.1 İçi boş boruları elde bükme yöntemleri

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 yerlerinden tavlanarak veya tavlanmadan bükülebilir [8].

1.4.1.2 İçi doldurulan boruların elde bükme yöntemleri

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

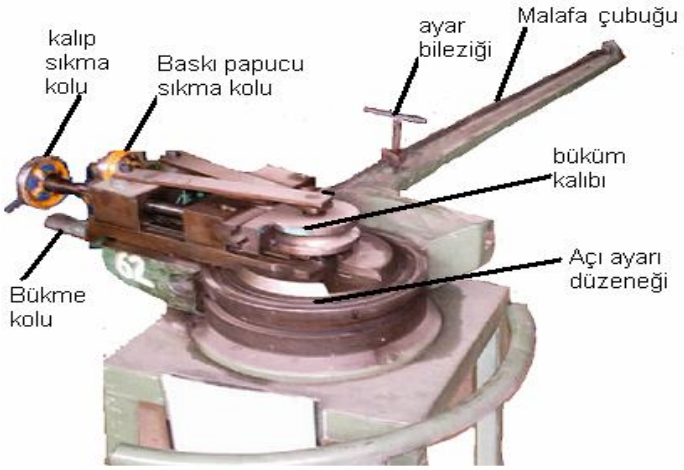


Şekil **1. 18** Doğru büküm ve hatalı büküm

1.4.2 Makinelerde Boru Bükme

1.4.2.1 Malafalı boru bükme makineleri

Et kalınlığı ince olan mobilya ve büro eşyası yapımında kullanılan boruların bükülmesinde kullanılır. İki metreye kadar olan uzunlukta borular bükülebilir. Bükülecek boruların boyunda büküm kalıbının çapına büküm açısına göre kısalmalar meydana gelir (Şekil **1.19**) [8].



Şekil **1. 19** Malafalı boru bükme makinesi

1.4.2.2 Hidrolik boru bükme makinesi

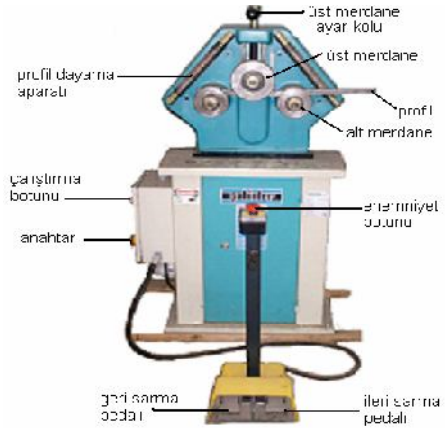
Hidrolik boru bükme makinesi, sıhhi tesisat işleri için gerekli olan boru bükme işlerine çok uygun olmaktadır. Özellikle hidrolik düzeneğinin insan gücüyle çalışması şantiye işlerine uygun olmaktadır. Aparat üzerinde çoğu kez parmak cinsinden boru çaplarına uygun dişi ve erkek kalıpları vardır. Bunlar aracılığıyla borular belli büküm yarıçaplarında 90º ye kadar bükülebilir (Şekil **1.20**).



Şekil **1. 20** Hidrolik boru bükme makinesi

1.4.2.3 Profil bükme makinesi

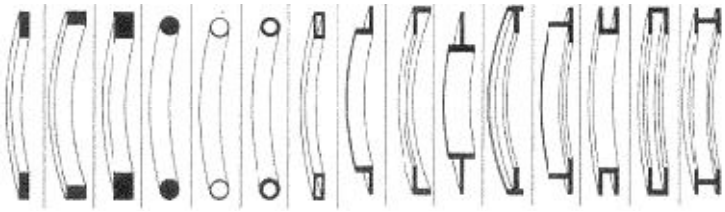
Merdaneler piramit şeklinde dizilmiş olup, üst merdane tahriksiz, yukarı ve aşağı doğru üst merdane ayar kolu vasıtasıyla ayarlanabilir. Alt merdaneler motor tahrikli olup, ileri-geri sarma pedalları ile çalıştırılır. Profil bükme makinesi ile kavis şeklindeki bükümler yapılmaktadır. Kıvrılabilen profil tipleri: □, L, T, Z, Y, vb.'dir (Şekil **1.23**) [8].



Şekil **1. 21** Profil bükme makinesi



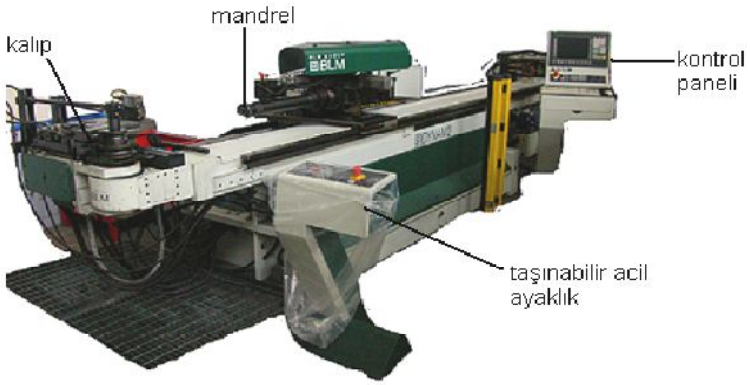
Şekil **1. 22** Parçanın merdaneye bağlanması, bükmeye başlanması ve parçanın bükülmüş şekli



Şekil **1. 23** Kıvrılabilen profil tipleri

1.4.2.4 CNC mandreli bükme makinesi

Bükülmek istenen boruların resimleri hazırlanarak kontrol panelindeki bilgisayara yüklenir. Gerekli komutlar verilerek çalıştırılır (Şekil **1.24**). Hassas bükümlerin yapılmasında kullanılan CNC boru bükme makineleri aynı parçayı değişik açı ve ölçülerde büker (Şekil **1.25**) [8].



Şekil **1. 24** CNC mandreli bükme makinesi

3000 mm uzunluğunda, 0-5mm et kalınlığında borular mandrele bağlanarak aynı parçayı 8 değişik açı ve ölçüde bükebilir. Daha çok otomotiv sektöründe koltuk iskeleti yapımında vb. seri üretimler için tercih edilir [8].



Şekil **1. 25** Parçanın değişik açı ve ölçüde bükülmesi

Bu çalışmada, ısı değiştiricilerinde kullanmak için genişletilmiş yüzeyli slot formda kanatlı helis boru imalatı gerçekleştirilmiştir. Boru imalatı, rulo halinde gelen paslanmaz sac bir doğrultucudan geçtikten sonra, oval forma getirilmek için bir roller formdan geçirilir. Oval forma getirilen borular TIG kaynağı ile birleştirilerek istenilen boyutta kesilir ve çapakları temizlenen borular, taşıma robotu ile bükme ünitesine getirilerek, bu ünitede istenilen çapta ve adımda kılıcına bükülerek, helis boru elde edilir.

BÖLÜM 2

KAYNAK TARAMASI

Literatürde slot formda boruların helis forma getirilmesi ile ilgili herhangi bir yayın bulunamadı. Dairesel formda boruların bükülmesi ile ilgili çok sayıda yayın bulunmaktadır.

Boyle, J.T., (1980), yaptığı çalışmada Reissner tarafından geliştirilen bir teoriyle kavisli boruların bükülmesi için doğrusal olmayan bir model açıklamıştır [9].

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 [10].

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 [11].

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 [12].

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 silindir borunun esas alınacağını ve boru testi için J çözümü uygulanabileceğini açıklamıştır. Malzeme direnç eğrileri, paslanmaz çelikte (304 tip) meydana gelen birleşik çatlaklıklar için geliştirmiştir [13].

Mochizuki, M., Enomoto, K., Okamoto, N., Saito, H., Hayashi, E., (1993), yaptıkları çalışmada, kalın plakalı küçük çaplı bir borunun birleşme yerindeki kaynak gerilmelerini incelemişlerdir. TIG kaplamadan sonra kaynak kalıntı gerilmelerinin borunun iç yüzeyinde hiçbir aşındırıcı etkisinin olmadığını göstermiştir [14].

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 [15].

Shtub, A., Versano, R., (1999), çelik boru bükmenin maliyetini hesaplayarak, sinir 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 [16].

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 [17].

Komotori, J., Shimizu, M., Misaka, Y., Kawasaki, K., (2001), yaptıkları çalışmada, 0,7-1,8 mm kalınlığında yüzeyi sertleştirilmiş dört çeşitli numune (içinde % 0,45 oranında karbon bulunan basit yapıda çelik) bir süper-hızlı indüksiyon ısıtma (SRIH) sisteminde kullanılmak üzere hazırlamışlar ve sertleştirilmiş numunelerin yorulma özelliklerinin etkilerini rotasyon eğilme yorulma testlerini belirlemişlerdir. Artık gerilmeyi ölçmüşler ve çatlak yüzeyi gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda bir yüzey sertleştirme tabakasıyla numunenin çatlak mekanizmasını incelemişlerdir [18].

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 atında titanyum borunun dizayn kontrolü için bir formül önermişlerdir [19].

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 burunun davranışını tayin etmişler ve etkileşim diyagramlarını hazırlamışlardır [20].

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 parçaların imalatında, motortrager, raylar, alt şasiler ve diğer dairesel boruların bükme ve şekillendirme operasyonlarında sık sık kullanıldığını açıklamışlardır. Ön şekillendirme operasyonları sırasında, eğri dairesel borunun kesiti, hidroform kalıplara uygun geometriyi ve yeterli yeri sağlamak için oval biçimde ezmişler uygulamada dairesel borular yerine oval borular kullanmak ön şekillendirmeyi ortadan kaldırmanın etkili bir yolu olabileceğini açıklamışlardır. Oval boru mandrel 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. Mandrel 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 [21].

Naphon, P., (2007), yaptığı çalışmada, helisel kıvrımlı kanatlar olmadan helisel-serpantin ısı değiştiricisinin ısıl performansını ve basınç düşüşünü incelemiştir. Serpantin 9,5 mm çapında düz bakır borunun bükülmesiyle imal edildi. Akışkan olarak sıcak ve soğuk su kullanmıştır. Deneyde sıcak suyun kütle debisi 0,10-0,22

kg/s ve soğuk akışkanın kütle debisi 0,02-0,12 kg/s arasındadır. Sıcak ve soğuk suyun giriş sıcaklığı sırasıyla 15-25 °C, 35-45 °C arasındadır. Her iki akışkanın ısı değiştiricisine giriş ve çıkış durumlarının ısı transfer özelliklerini incelemiştir [22].

Sattari-Far, I., Javadi, Y., (2008), yaptıkları çalışmada, AISI paslanmaz çelik tipteki borunun bağlantı yerlerindeki kaynak deformasyon etkisini, üç boyutlu bir termo-mekanik analizle araştırmışlardır. 274 mm çapında ve 6,2 mm kalınlığında olan boruda V bağlantı yeri tek geçişli TIG kaynağıyla çalışmışlar ve dokuz farklı kaynakla analiz etmişlerdir. Sonlu element sonuçları deney verileri ile karşılaştırmışlardır. Uygun bir kaynak sırası seçerek bu boru geometrisinde kaynak bozulmasının etkisinin azalabileceğini göstermişlerdir [23].

Theofanous, M. , Chan, T.M., Gardner, L., (2009), yaptıkları çalışmada oval kesitli paslanmaz çelik borunun bükülmesinde meydana gelen yapısal etkileri incelediler. Teslerde 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 [24].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

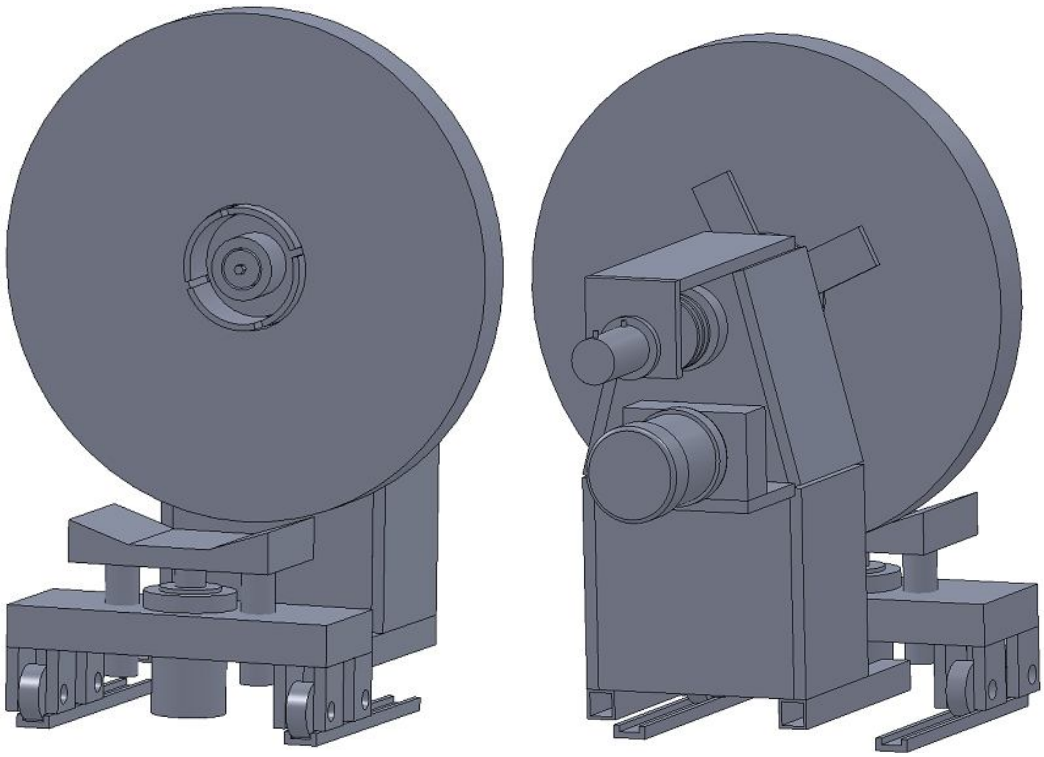
Sistem esas olarak rulo açıcı (boru makinesine besleme), doğrultucu ve sürücü, roller form, kaynak ve çapak alma, kesme, taşıma robotu, boru bükme ve kontrol panosu olmak üzere 8 temel üniteden oluşmaktadır.

3.1.1 Rulo sac hazırlama

Rulo olarak sarılmış malzemeler kullanılma alanlarına göre çeşitli özelliklerdedirler. Rulo olarak sarımlarının nedeni uygun kalınlıkları ve uzun şerit yapıları nedeniyledir. Kullanılacakları sanayi kollarında uzun metrajlı olarak gerek duyuldukları ve akış sağlama gereği nedeniyle rulo halinde sarılmışlardır. Kullanılacakları yerlerde açıcılar ve çeşitli mekanizmalar yardımıyla açılarak akış sağlanarak (Şekil **3.1**) veya çeşitli ölçülerde kesilerek kullanılırlar. Ülkemizde çeşitli sanayi kuruluşları için farklı özellikte sac kullanılmaktadır. Bunları söyle açıklayabiliriz. Slab olarak adlandırılan ve sıvı çeliğin, sürekli döküm yöntemiyle katılaştırılması sonucu meydana gelen, dikdörtgen kesitli yarı ürünün, sıcak olarak haddelenmesi ile elde edilen ve kalınlıkları 1,50 - 20,00 mm aralığında değişen rulo veya sac seklindeki yassı çelikler sıcak haddelenmiş rulo saclardır. Genel konstrüksiyon ve otomotiv endüstrisi ile gemi, basınçlı kap, tarım araçları, boru ve LPG tüpü imalatında kullanılırlar. Kalınlıkları 0,30–2,00 mm aralığında değişen rulo veya sac şeklindeki yassı çelikler soğuk haddelenmiş rulo saclardır. Dayanıklı ev aletleri, büro, mefruşat ve mutfak eşyaları üretimi ile genel konstrüksiyon ve otomotiv endüstrisinde kullanılırlar. Galvanizli rulo saclar, soğuk haddelenmiş yassı çeliklerin sıcak daldırma yöntemiyle çeşitli ağırlıklarda çinko kaplanması ile üretilen ve kalınlıkları 0,30-2,00 mm aralığında değişen rulo veya sac seklindeki yassı çeliklerdir. İnşaat, konstrüksiyon, elektrikli ev aletleri vb. genel kullanım amaçlı ürünlerin yanı sıra beyaz eşya ve otomotiv endüstrisinde kullanılırlar. Şekil **3.2**' de Solid Works programında çizilmiş rulo açıcı görülmektedir.



Şekil **3. 1** Sac rulolar



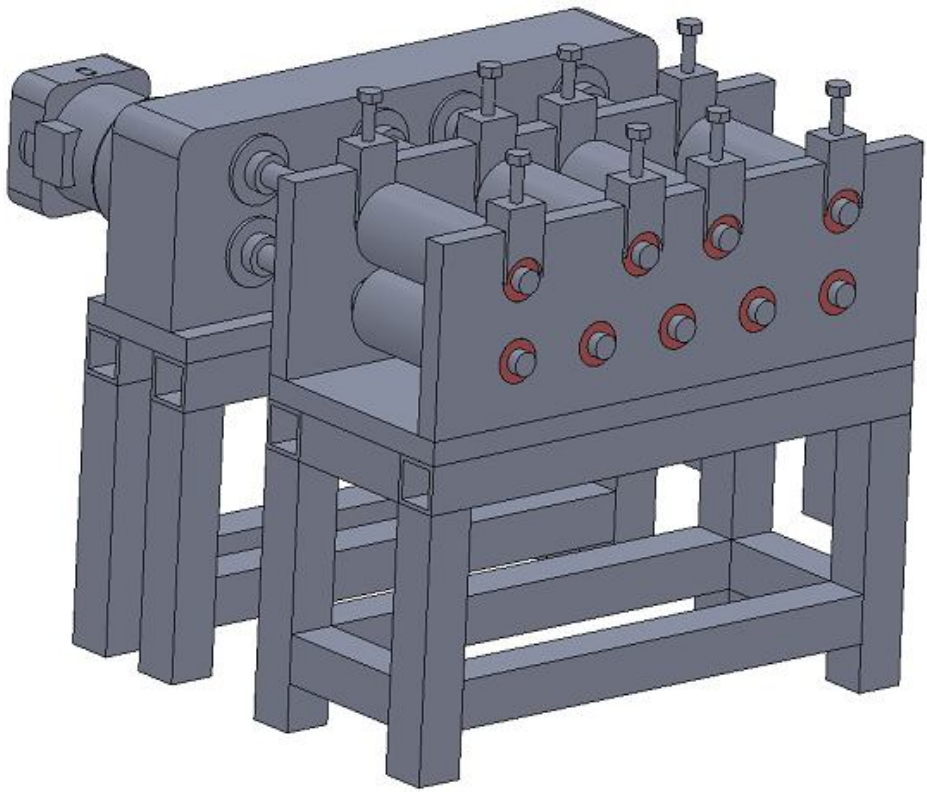
Şekil **3. 2** Rulo açıcı

3.1.2 Doğrultucu ve sürücü

Doğrultucular rulo halindeki sacın doğrultulmasında kullanılırlar. Doğrultma eksikliği ise pres operasyonunda kalıp içinde engellere veya basılan parçalarda problemlere sebebiyet verir. Doğrultmanın temel prensibi rulodan açılmış sacın makara grubundan geçirilerek ters eğrilik verilmesine dayanır. Doğrultucular ayarlanabilir makara grupları ile değişken ölçekli eğrilikleri doğrultmak amacıyla

kullanılırlar. Makara çapları malzemenin kalınlığına ve mukavemetine uygun olmalıdır. Makara grubunun ayarlanabilme fonksiyonu, geniş aralıklı rulo sacların aynı makinede doğrultulmasına kolaylık sağlar. Doğrultma merdanelerinin sayısının artması doğrultma hassasiyetinin artmasını sağlar.

Pres operasyonlarında sac malzemeye form verilmesi veya kesme operasyonu esnasında sürücü, sacı serbest bırakarak, sürme adımlarının sabit kalmasını sağlar. Kompakt sürücülerin bandı kısa süreliğine serbest bırakma özelliği onun, üç parçadan oluşan klasik sürme sistemlerine göre daha kısa bir gövde üzerinde toplanmasına olanak verir. Çünkü kompakt sürücülerde doğrultucu grubu ile sürücü arasındaki mesafe sıfıra indirilmiştir. Şekil **3.3**' de Solid Works programında çizilmiş doğrultucu ünitesi görülmektedir.

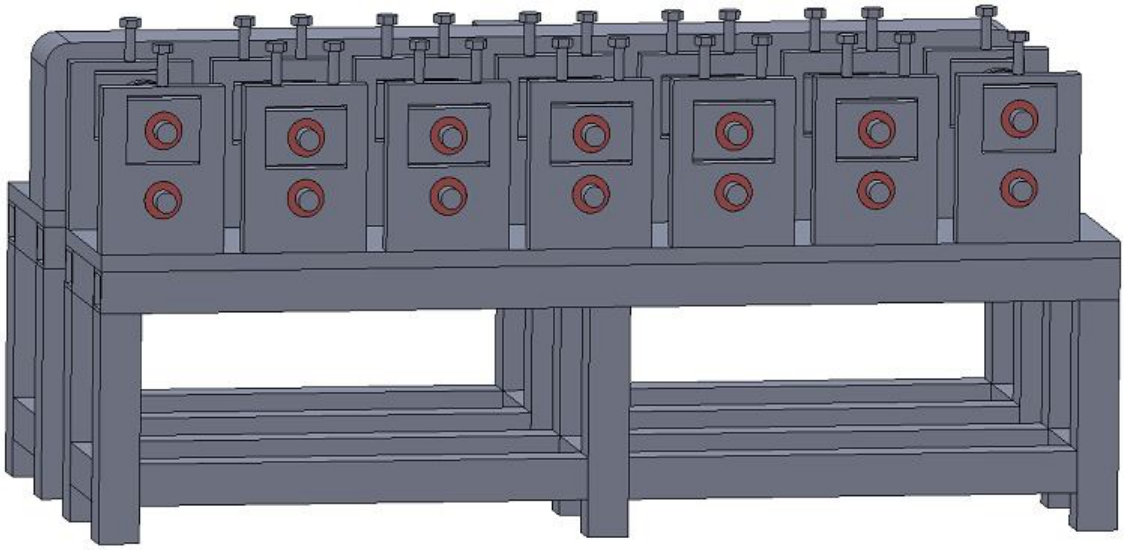


Şekil **3. 3** Doğrultucu ünitesi

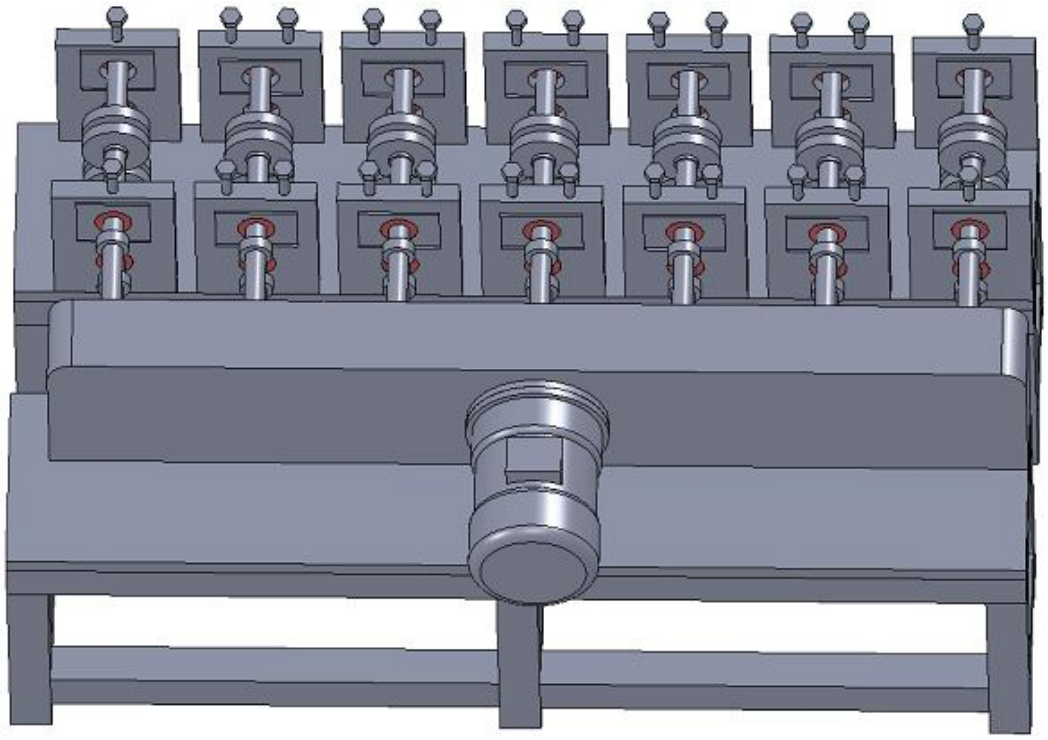
3.1.3 Roller form

Makaralı bükme işlemi veya İngilizce terimi ile“Cold Roll Forming” işlemi arka arkaya dizilen makaralar arasından sac malzemenin geçirilmesi ile kademeli olarak istenilen profil kesitinin elde edilmesi olarak tarif edilebilir.

Sac levhadan üretilmiş ürünlerin yaklaşık olarak %30 ila %50 arasında bu işlemle üretildiği kaynaklar tarafından belirtilmektedir. Makaralı bükme işlemi ile üretilen parçalar arasında raf ayakları, dekoratif ürünlerin yanı sıra cam kenar tutucuları, tüp üretimi, beyaz eşya parçaları, PVC pencere iç profilleri, kablo taşıyıcılar, otomobil tamponu gibi çeşitli örnekler sayılabilir. Şekil **3.4** ve Şekil **3.5’** de Solid Works programında çizilmiş roller form hattı görülmektedir.



Şekil **3. 4** Roller form hattı

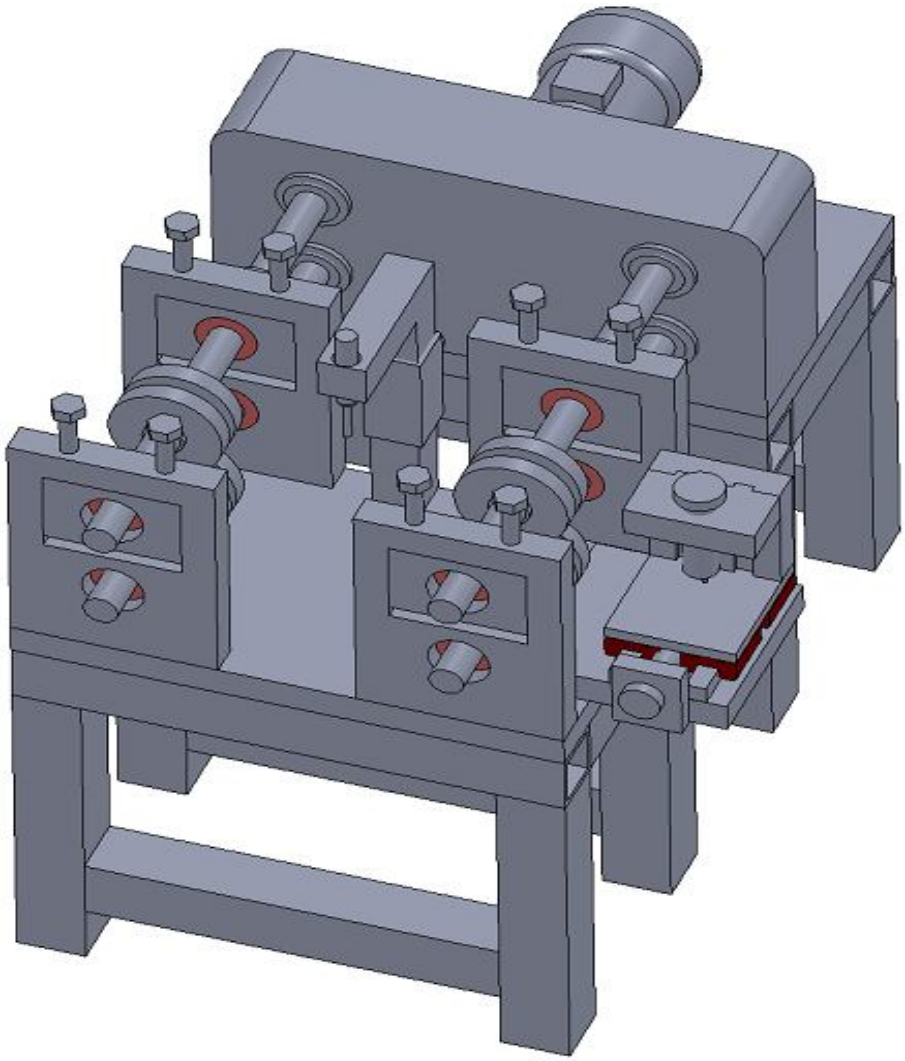


Şekil **3. 5** Roller form hattı üstten görünüş

3.1.4 Kaynak ve çapak alma

Profil form verme ünitesinden çıkan slot boru TIG kaynağı ile kaynatılır. TIG kaynağı, paslanmaz çelik ince borularda yüksek kalitede sonuçlar verdiğinden dolayı tercih edilmiştir.

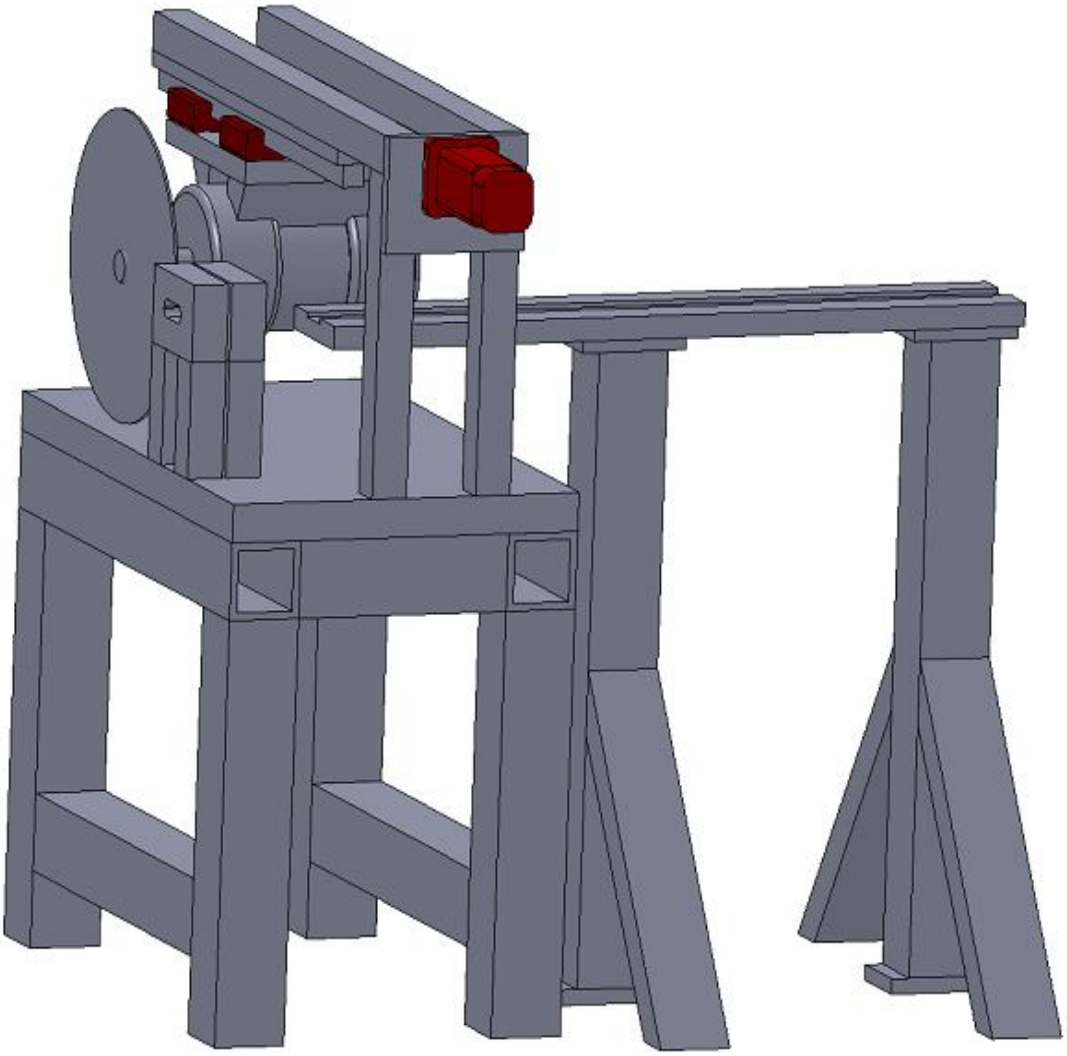
TIG kaynağı yönteminde, ergimeyen tunsten elektrot ile kaynak edilen parça arasında elektrik arkı oluşur. Kaynak banyosu bir nozülden gönderilen argon veya helyum gazı tarafından korunur. Kaynak yönteminde kullanılan tunsten elektrot erirken, kaynak yapılacak metal de eriyerek birleştirme sağlanır. Gerekli görüldüğü hallerde ana metal ile benzer yapıya sahip çubuk şeklinde ilave metalin kullanılması ile kaynak gerçekleştirilir. Şekil **3.6**' da Solid Works programında çizilmiş kaynak ve çapak alma makinesi görülmektedir.



Şekil **3. 6** Kaynak ve çapak alma makinesi

3.1.5 Kesme

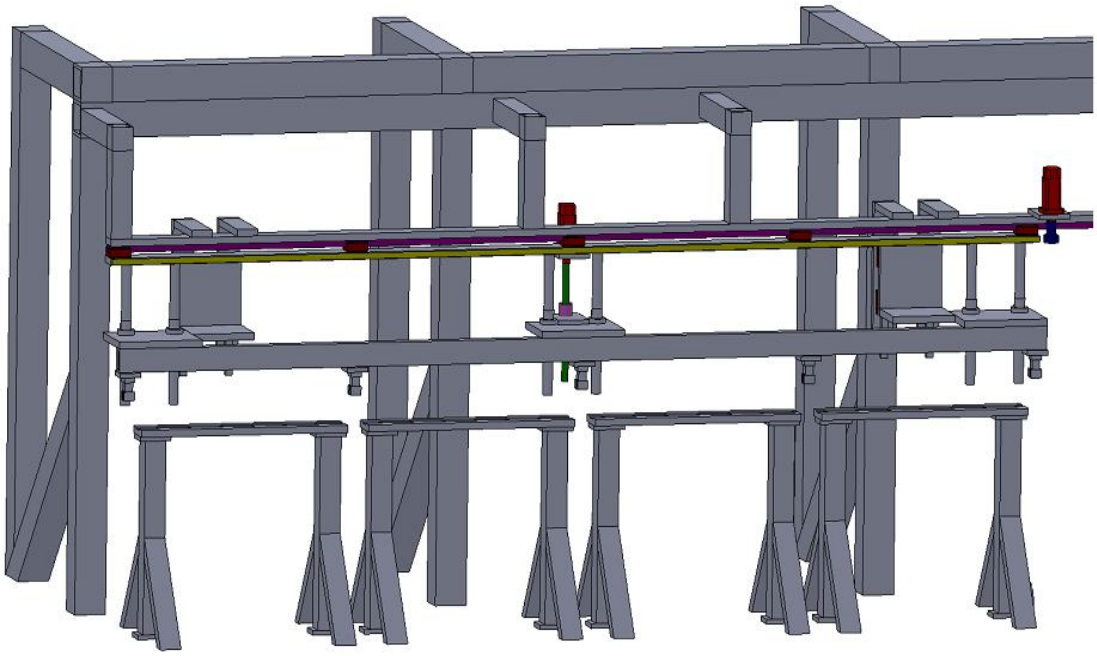
Kaynak ünitesinden çıkan slot boru daha sonra, borunun ilerleme hızıyla senkronize olarak çalışan otomatik kesme ünitesi yardımıyla istenilen boyutta kesilir. Şekil **3.7**' de Solid Works programında çizilmiş kesme ünitesi görülmektedir.



Şekil **3. 7** Kesme ünitesi

3.1.6 Taşıma robotu

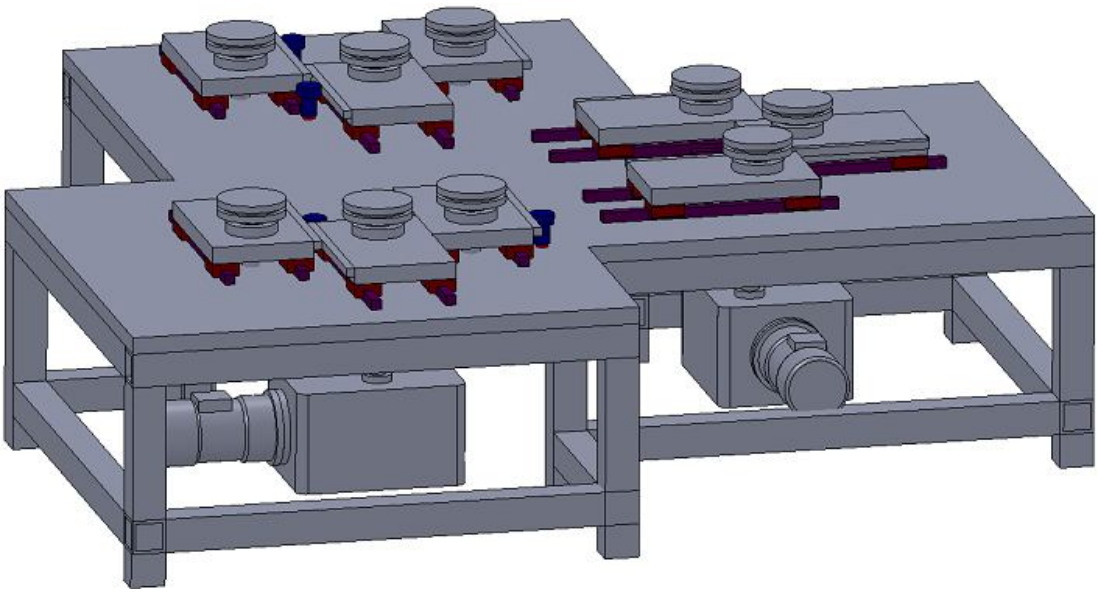
İstenilen boyutta kesilen borular taşıma robotu yardımıyla boru bükme ünitesine getirilir. Şekil **3.8**' de Solid Works programında çizilmiş taşıma robotu görülmektedir.



Şekil **3. 8** Taşıma robotu

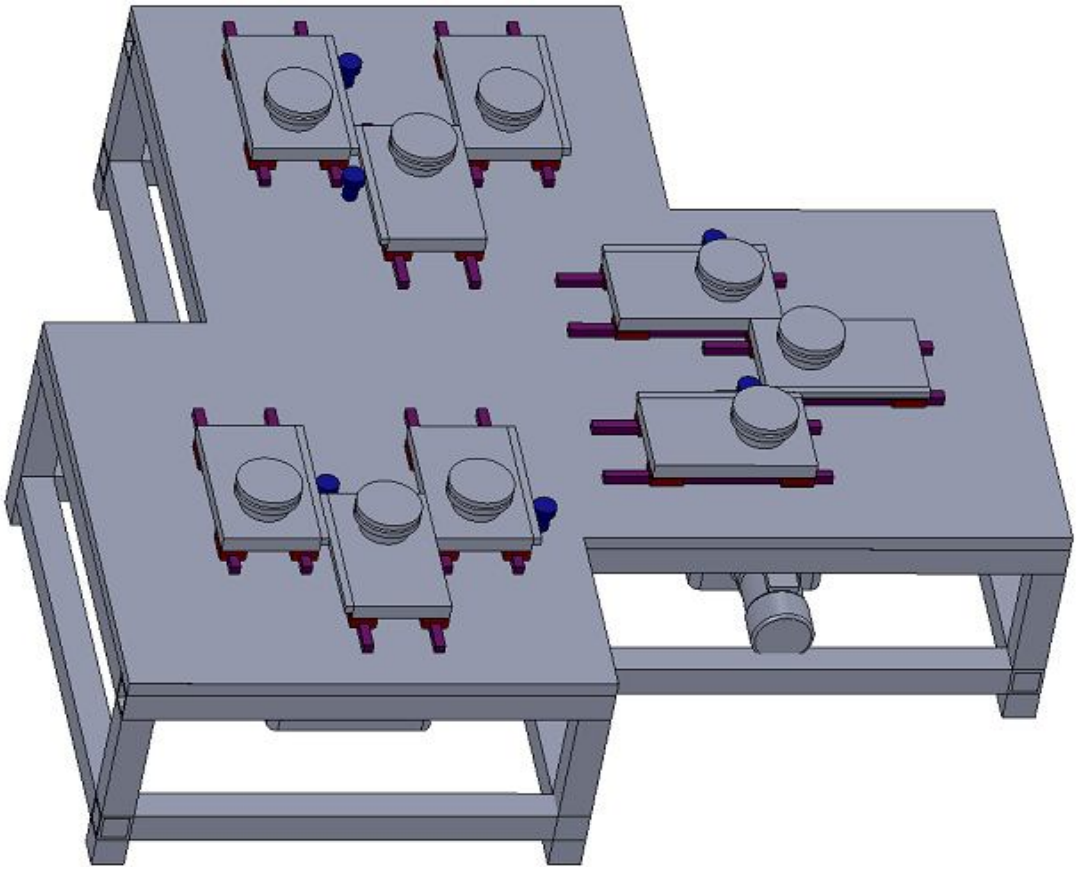
3.1.7 Boru Bükme

Kaynak olan slot borunun çapakları temizlendikten sonra taşıma robotu aracılığı ile bükme ünitesine getirilir.

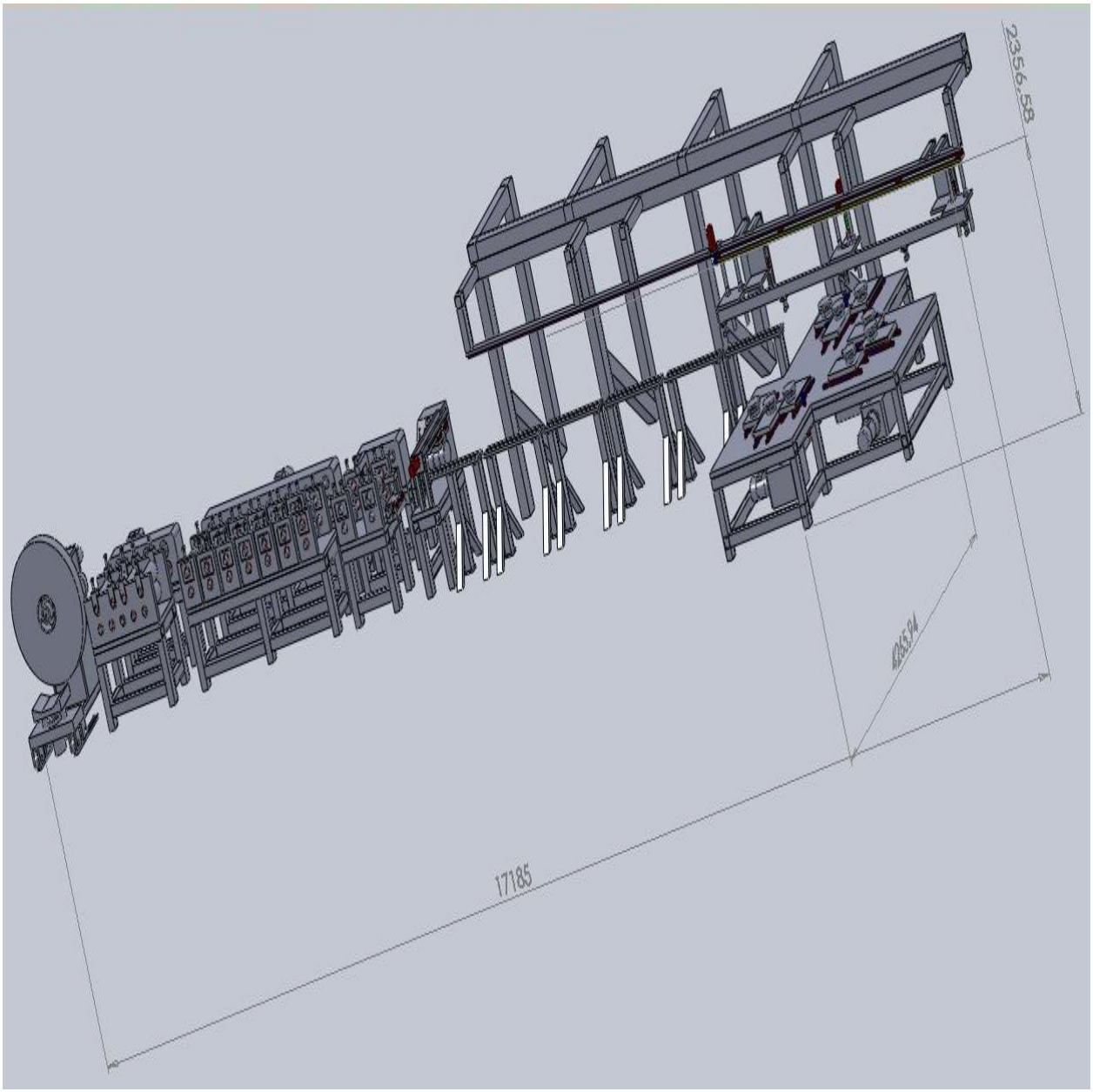


Şekil **3. 9** Boru bükme ünitesi

Burada slot boru kılıcına bükülerek helisel şekil kazandırılır. Şekil **3.9** ve Şekil **3.10**' da Solid Works programında çizilmiş boru bükme ünitesi görülmektedir



Şekil **3. 10** Boru bükme ünitesi üstten görünüş



Şekil **3. 11** Slot borunun imalatı ve helisel forma getirme işlemi

3.2 Metot

Rulo sacdan başlayarak istenilen formda boru veya profil elde işleminde ilk formdan itibaren etkiye maruz kalan kısımlar büküm yüzeyleridir. Düz profil veya düz boru formda şekil verme esnasında malzemenin iç kısımlarında molekül yığılmaları (dislokasyon), dış kısımlarında ise gerilmeler meydana gelir. Eğer slot formda bir boru, helisel forma getirilmek istenirse bu takdirde molekül yığılması ve gerilme bariz bir şekilde ortaya çıkar. Hatta zaman zaman yırtılmalar olabilir. Bunun önüne geçebilmek için soğuk şekillendirme yerine malzeme indüksiyon ile ısıtılarak şekil verilebilmektedir.

Slot formdaki bir borunun helis forma getirilme işlemi önce soğuk formda denendi. Daha sonra paslanmaz malzeme indüksiyon ile 400-450^{o}C'ye kadar ısıtılarak sıcak şekillendirildi.

Başlangıçta malzemeye soğuk şekillendirme yöntemi uygulandı. Burada mekanikten bilinen klasik teoriler uygulandı. Fakat Ludwing, değişik malzemeler için yaklaşık gerçek gerilme - gerçek şekil değiştirme ile ilgili olarak ampirik formüller geliştirerek, hesaplamaların bu esasa göre yapılmasının uygun olacağını önerdi.

Sıcak şekil verme işleminde indüksiyon akımı kullanıldı. Bükme işleminden önce ve sonra malzemenin içyapısında olan değişiklikler laboratuar testleriyle belirlendi.

BÖLÜM 4

TEORİ

4.1 Soğuk-Roll Şekillendirme Teorisi

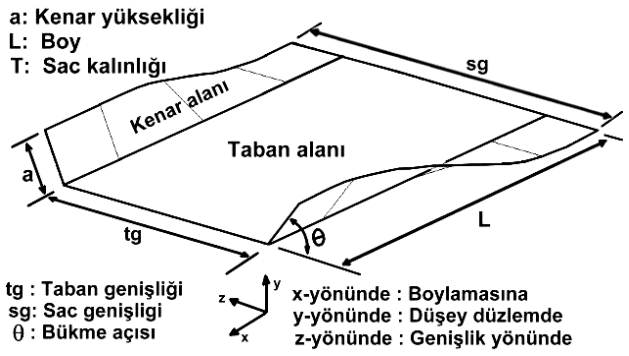
Makaralı bükme işleminde iki makara seti arasında kalan bükülen kenar ucundaki gerinim, en basit halde Şekil **4.1**' de görüldüğü üzere iki makara seti arasında düz bir sac parçasının kalması varsayımıyla **(4.1)** denklemiyle hesap edilebilir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \sqrt{1 + \frac{2a^2(1 - cos\theta)}{L^2}} - 1 \tag{4.1}$$

Ancak yukarıda verilen bağıntı çok basit bir hesaplama olup gerçekte iki makara seti arasından geçerken sinüzoidal bir form almaktadır. Holmas tarafından önerilen iyileştirilmiş bir denklemde ise kenarların 90° bükülmesiyle gerinim (**4.2**) numaralı denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \sqrt{1 + 2{,}467\frac{a^2}{L^2}} - 1 \tag{4.2}$$

Makaralı bükme tasarımcısı kenar dalgalanma kusuruna sebebiyet vermemek için gerinimleri kritik seviyelerin altında tutmaya ve bükmenin sadece makara setinden gelen yan kuvvetler ile yapılmasına çalışmaktadır. Ancak bunu mümkün olan en az makara seti ile düşük maliyetle yapmak tasarım çalışmalarını zorlaştırmaktadır [25].



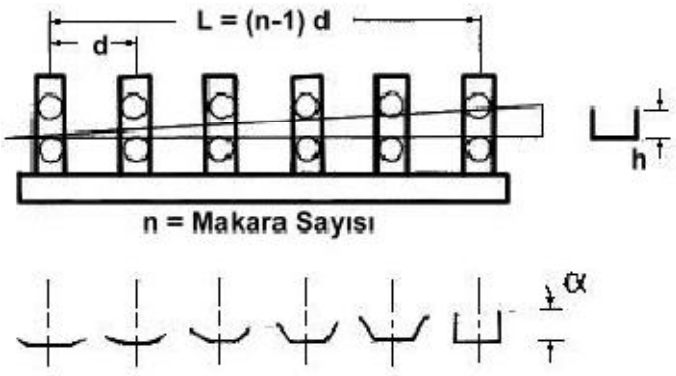
Şekil **4. 1** İki makara seti arasında kalan sac parçası gerinimi

Makaralı bükme makara tasarımında en çok kullanılan Angel tarafından 1949 yılında geliştirilen form-açısı metodudur. Form açısı metodu sac malzemenin ilk makara setine girişinden son makara istasyonundan çıkışına kadar kenar ucunun düz bir çizgiyi takip etmesi halinde iyi sonuç alınacağını tavsiye etmektedir. Form açısının kotanjant değeri (**4.3**) denklemi ile verilmiştir [25].

$$cot\alpha = \frac{L}{h} = \frac{(n-1)d}{h} \tag{4.3}$$

4.1.1 Makara sayısı hesabı

Boru çapı veya profil ölçüsüne göre hazırlanan sıralı makaralardan haddeleme yoluyla geçirilen bant, kaynak öncesi slot form alır.



Şekil **4. 2** Makara sayısı hesabı

Genellikle, deneyimler sonucu oluşan uygulamalarda, cotα = 40,5 değeri α ≈1,5º alınmaktadır. Buradan hareketle (**4.4**) numaralı denklem ile makara sayısı bulunabilmektedir [25].

$$n = \frac{40{,}5h}{d} + 1 \tag{4.4}$$

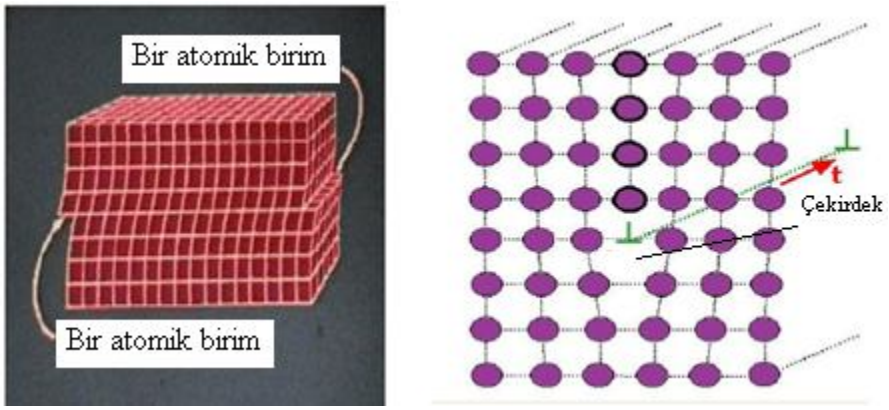
Plastik gerinimleri en aza indirebilmek için, form açısının 2º yi aşmaması tavsiye edilmektedir. Genellikle 1º olduğu hallerde iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Form açısı olarak 1º-25’ derece düşük karbonlu sünek çelikler için, 1º-35’ derece ise paslanmaz çelik alaşımları için önerilmektedir.

4.2 Boru Bükme Teorisi

Slot borunun amaca uygun olarak helis forma getirilmesi oldukça zordur. Slot formdaki boru helis forma getirilirken helis iç yüzeyinde molekül yığılmaları (dislokasyon), helis dış yüzeyinde ise gerilmeler olur.

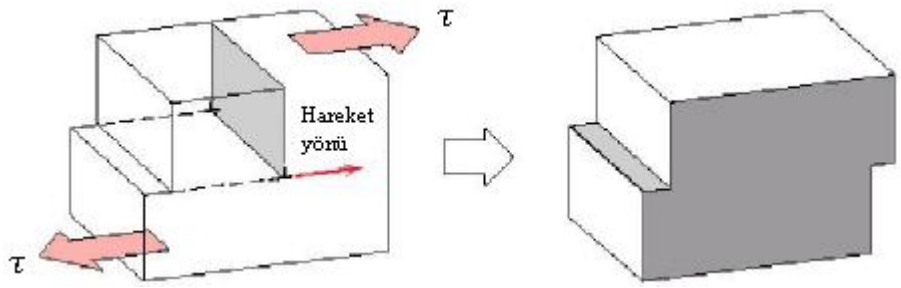
4.2.1 Dislokasyon' un tanımı

Kristaldeki "çizgisel kusur" dur. Yani atomların dizilişlerindeki kusurlardır. Hemen hemen her gerçek kristalde dislokasyon mutlaka vardır.



Şekil **4. 3** Kenar dislokasyonu

Metal ve seramiklerin mekanik özellikleri üzerinde dislokasyonların çok büyük etkileri vardır. Dislokasyonlar plastik deformasyonu kolaylaştırırlar [26].



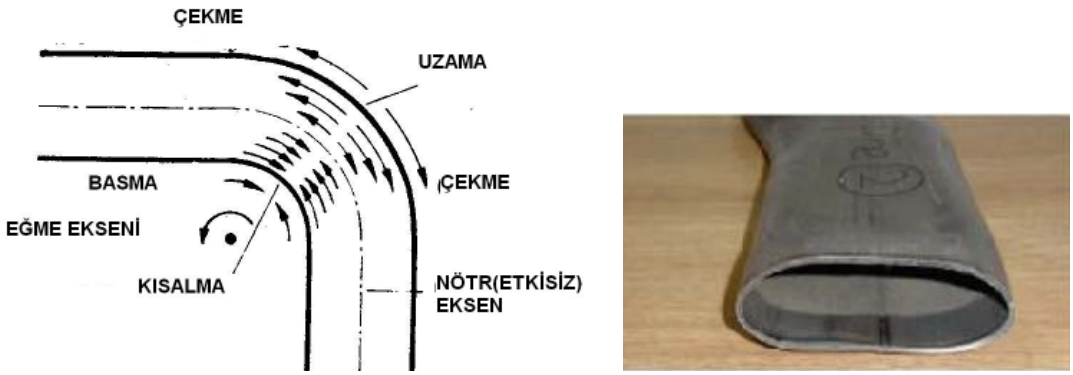
Şekil **4. 4** Dislokasyon hareket yönü

Yumuşak çelik ve Al-Mg alaşımları gibi malzemelerde, numune gerilmeye uğradığı zaman,"C" ve "N" atomları dislokasyonların hareketini sınırlayıp engel olurlar. Dislokasyonlar hareket etmek ister, fakat engel sebebiyle daha fazla

gerilmeye ihtiyaç duyarlar. Engel aşılınca aniden boşluğa düşerler. İnce sac'larda bu durum yüzeyde kabarık şeklinde görünür. Bu olay akma başlangıcında görülür. Düşük "C" lu bir çelikte bir üst akma, bir alt akma noktası gösterir. Akma gerilmesi olarak en alt akma gerilmesini esas alır. Akma olayında inip çıkmalar dislokasyon hareketlenmesi ve engellenmelerin aşılması sebebiyledir. Akma gerilmesi (**4.5**) denklemiyle hesaplanmaktadır [26].

$$\sigma_{ak} = \frac{F_{ak}}{A_0} \tag{4.5}$$

4.2.2 Slot borunun bükülmesinde meydana gelen gerilmeler



Şekil **4. 5** Slot borudaki deformasyonlar

Slot borunun kılıcına bükülmesinde meydana gelen gerilmeler Şekil **4.5**' de gösterilmiştir. Buradaki çözüm için uygulamalarda deneysel olarak elde edilen gerilme-gerçek uzama eğrilerine çok uyan Ludwing denklemi' ni dikkate alarak çözüm yapılması uygun olur. Buna göre;

$$\sigma_{ger} = \sigma_{ak} + K \cdot \varepsilon^n \tag{4.6}$$

dir. Ludwig'in değişik malzemeler için yaklaşık gerçek gerilme - gerçek şekil değiştirme ampirik formülleri aşağıdaki denklemlerde verilmiştir [27].

1. Tam elastik malzemeler (cam, seramik, dökme demir)

$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n \tag{4.7}$$

$$n = 0$$

2. Rijit tam elastik malzemeler ve dinamik modeli

$$\sigma_g = \sigma_{ak} + K \cdot \varepsilon^n \tag{4.8}$$

$$n = 0 \;\; K = \infty$$

3. Rijit, lineer pekleşen malzemeler ve dinamik modeli

$$\sigma_g = \sigma_{ak} + K \cdot \varepsilon^n \tag{4.9}$$

$$n \neq 0 \;\; K \neq 0$$

4. Elastik, tam elastik malzemeler ve dinamik modeli

$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n + K \cdot \varepsilon^n \tag{4.10}$$

$$n = 0 \qquad n = 0 \quad K = \infty$$

5. Elastik, lineer pekleşen malzemeler ve dinamik modeli

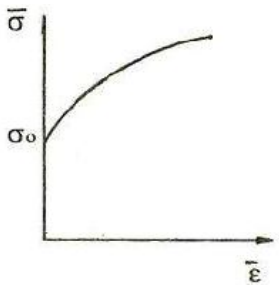
$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n + K \cdot \varepsilon^n \tag{4.11}$$

$$n = 0 \quad K \neq \infty \;\; n \neq 0$$

Soğuk şekil değişimine uğramış metal ve alaşımlar için daha doğru sonuçlar veren bu ifadeye ait akma gerilmesi Şekil **4.6**' da verilmiştir. İlk akmanın başladığı gerilmenin σ_0 ile gösterildiği bu fonksiyonda elastik şekil değiştirmeleri tamamen ihmal etmektedir. Buna göre,

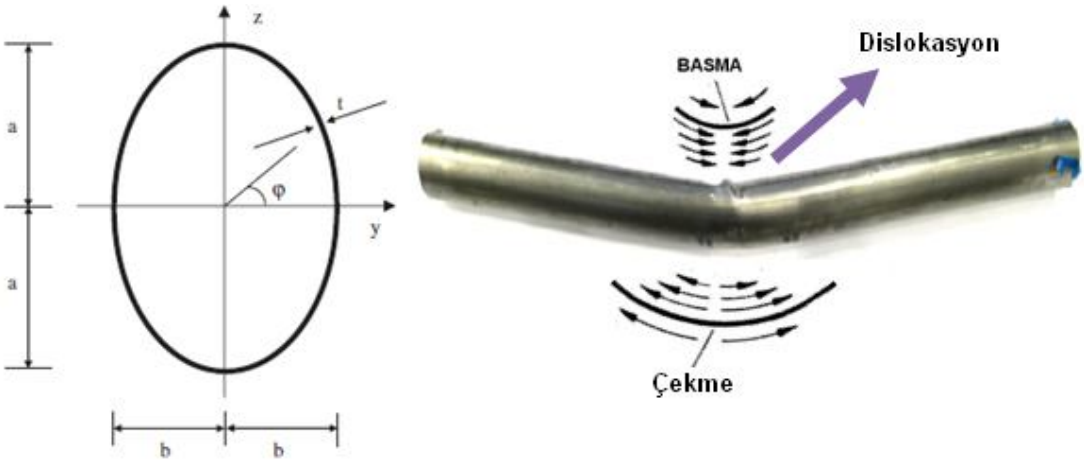
$$\bar{\sigma} = \sigma_0 + K \cdot \bar{\varepsilon}^n \tag{4.12}$$

dir. Şekil **4.6**' da $\bar{\sigma} = \sigma_0 + K \cdot \bar{\varepsilon}^n$ üstel ifadesine uyan akma eğrisi gösterildi [27].



Şekil **4. 6** $\bar{\boldsymbol{\sigma}} = \boldsymbol{\sigma_0} + \boldsymbol{K} \cdot \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}^{\boldsymbol{n}}$ üstel ifadesine uyan akma eğrisi

Uygulamalarda slot borunun bükülmesine ait teorik bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Buradaki çözüm için oval kesitli boru dikkate alınarak çözüm yapılması doğru olur. Theofanous, M. , Chan, T.M., Gardner, L., yaptıkları çalışmada oval kesitli yaklaşık % 18 krom ve % 10 nikel içeren paslanmaz çelik borunun bükülmesinde meydana gelen deformasyonları incelemişlerdir.



Şekil **4. 7** Oval boru kesit görünüşü ve bükülmesinde meydana gelen gerilmeler

Bükme düzleminin iç bölgesinde yassılaşma yüzünden kısalma meydana geldi. Maksimum moment bölgesinde sıkışma (basma) gerilmesi meydana geldi. Maksimum basma gerilmesiyle birlikte en büyük eğrilik yarıçapında yığılmalar başladı. Tarafsız eksen bölgesine doğru basma gerilmesinde azalmalar oldu. Bükme bölgesinin dış tarafında kalınlığın azaldığı belirlenmiştir. Gerçek gerilme (4.13) denklemi ile verildi [24].

$$\sigma_{true} = \sigma_{nom}(1 + \varepsilon_{nom}) \tag{4.13}$$

Plastik gerinim (4.14) denklemi ile verildi [24].

$$\varepsilon_{ln}^{pl} = \ln(1 + \varepsilon_{nom}) - \frac{\sigma_{true}}{E} \tag{4.14}$$

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMA

Slot formdaki bir borunun helisel olarak bükülmesi oldukça zordur. Büküm esnasında boru iç yüzeyinde yığılma dış yüzeyinde ise uzama olmaktadır. Zaman zaman dış yüzeylerde yırtılmalar oluşmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için slot boru bükme işlemi indüksiyon ile yapılmaktadır. Bu bölümde indüksiyon akımıyla ısıtılan slot borunun boru bükme makinesinde bükülmesiyle yapılan deneysel çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan deney düzeneğindeki makine ve ekipmanlar verildi.

5.1 İndüksiyon Makinesi

İndüksiyon makinesinin soğutucu ünitesi sistemde ısınan suyun soğutularak tekrar sisteme verilmesini sağlayan bir ünitedir. Soğutucu ünitesinin içerisinde su pompası ve ısı transferini artırmak için dizayn edilmiş alüminyum plakalar bulunmaktadır. Ayrıca sistemin üst kısmında 2 adet soğutma fanı da vardır. Bu fanlar ortam havasım alüminyum plakalar arasında sirkülâsyonunu sağlayarak indüksiyon makinesi sargılarında ısınan suyun sıcaklığını düşürmeyi sağlar. Soğutucu ünitesi üzerinde sistemde dolaşan suyun sıcaklığım gösteren bir sıcaklık göstergesi de bulunmaktadır. Soğutma ünitesi indüksiyon makinesi çalıştırılmadan önce çalışır konumda olması gerekmektedir. Aksi takdirde indüksiyon makinesi sistemde" su yok " ikazını sesli ve yazılı bir şekilde vermektedir.

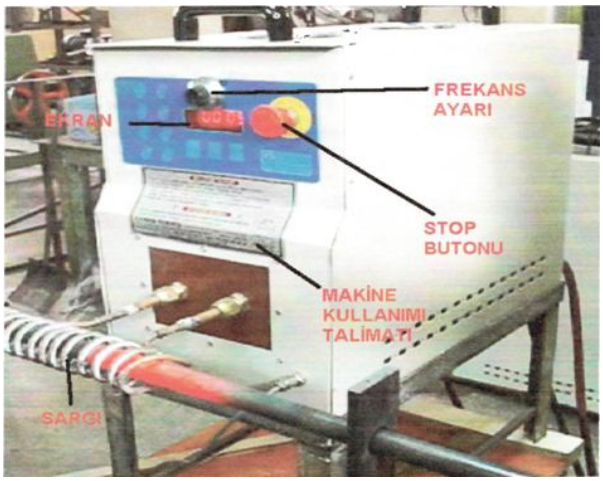


Şekil **5. 1** İndüksiyon makinesinin soğutucu ünitesi

İndüksiyon makinesinin ısıtma ünitesi, elektrik akımım içerisindeki elektrik devreleri ve makine üzerindeki bakır sargı vasıtasıyla, sargı içindeki metal parçanın üzerinde,

magnetik alan oluşturarak kısa sürede metal parçanın ısınmasını sağlamaktadır. Isıtma ünitesindeki sargı içerisinden, soğutma ünitesinden pompalanan soğuk su geçirilerek sargının yüksek ısılarda deforme olmasının önüne geçilmiştir.

İndüksiyon makinesi üzerinde makinenin ayarlamalarının yapılması için birden fazla düğme bulunmaktadır. Bu düğmeler makinenin çalışma süresin ayarlanması, start yapılması, pedal ayarının yapılması ile ilgilidir. Ayrıca makine üzerinde acil stop butonu ve sargının frekans ayan için frekans ayarlama düğmesi bulunmaktadır.



Şekil **5. 2** İndüksiyon makinesi ısıtma ünitesi

5.2 Boru Bükme Makinesi

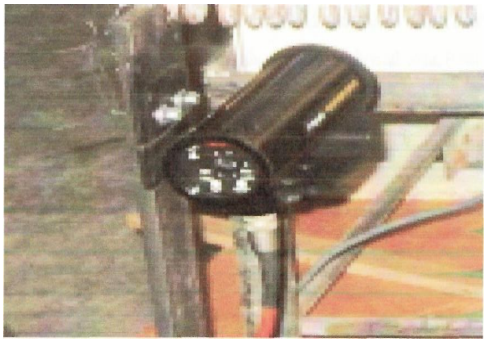
Şekil **5.3**' de görülen boru bükme makinesi boru bükme işleminde kullandığımız ortalama 1-2 m/dk ilerleme hızına sahip bir makinedir. Bükme işlemi uygulanacak boruya göre bükme kalıplan tasarlanabilir.



Şekil **5. 3** Boru bükme makinesi

5.3 Lazerli Isı Ölçme Cihazı

Lazerli ısı ölçme cihazı lazer ışınıyla uzaktaki bir nesnenin sıcaklığını ölçmeyi sağlayan ve üzerindeki ekran vasıtasıyla bize nesnenin yüzey sıcaklığını veren bir cihazdır (Şekil **5.4**).



Şekil **5. 4** Lazerli uzaktan sıcaklık ölçme cihazı

5.4 Vickers Mikro Sertlik Ölçme Cihazı ve Sertlik Ölçümü

Genel olarak metallerin mikro sertliklerini ölçmeye yarayan bir makinedir. Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir. Bu yöntem, daha sert malzemelerin ölçümlerinde veya daha hassas ölçümler için tercih edilir. Sertlik deneyinde numuneye 0,3 kg yük uygulanarak numune üzerinde oluşan iz alan, sertlik tablosuna bakılarak değerlendirilmiştir [28].



Şekil **5. 5** Vickers mikro sertlik ölçme cihazı

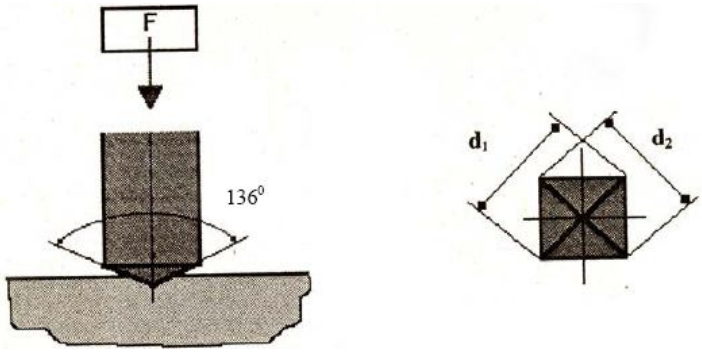
Sertlik ölçüme işlemi için, numune yüzeyini mekaniksel yollarla temizlenir ve parlatma işlemi yapılır. Sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyleri oksitlerden, girinti ve çıkıntılardan arındırılmış olmalıdır. En önemlisi yüzeyin pürüzsüz ve parlak olması istenir. Malzeme cinsine, kalınlığına göre uygulanan yük ve süresi belirlenir.

Vickers sertlik ölçme yönteminde tepe açısı 136° olan elmas kare piramit uç kullanılır. Şekil **5.6**' da Vickers sertliğinde kullanılan uç çeşitleri gösterildi.



Şekil **5. 6** Vickers sertliğinde kullanılan batıcı uç çeşidi

Bu yöntemde sertliği ölçülecek parçanın cins ve boyutlarına göre 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 62,5 ve 125 kg yükleme kuvvetlerinden biri kullanılır. Pratikte genel olarak 10-30 ve 50 kg yükleme kuvvetleri uygulanır. Deney yükünün uygulama süresi normal şartlarda 10-15 saniye kadardır. Malzeme cinsine göre bu süre artabilir [28].



Şekil **5. 7** Oluşan izin şematik olarak gösterilmesi

Deney için uygulanacak yük ve uygulama süresi belirlendikten sonra, baskı ucu mengenede bağlı olan numune üzerine getirilir. Baskı ucu yavaş yavaş belirlenen süre kadar numune yüzeyine dik bir şekilde uygulanır. Bu uygulamadan sonra yük numune üzerinden kaldırılarak deney bitirilir. Deney sonuçlarının güvenilir olması için bu uygulamanın numunenin üç farklı noktasına uygulanması gerekir. Uygulamada numune kenarından ölçüm yapılmamalı ve izler arasında mesafe olmalıdır [28].

5.5 Metal Mikroskobu

Şekil **5.8**' de görülen metal mikroskobu metal malzemenin yüzeyindeki tanelerin ve taneler arası mesafenin fotoğrafını çekmeye yarar. Bu makine malzemenin tane yapısını farklı büyüklükler de daha iyi görülmesini sağlayarak malzemenin tane yapısı hakkında fikir edinmemizi sağlar.



Şekil **5. 8** Metal mikroskobu

5. 6 Deneysel Çalışmalar

Bu deneyin genel amacı; indüksiyon makinesiyle ısıtılan slot borunun boru bükme makinesinde bükümü esnasında malzeme de meydana gelen kimyasal ve fiziksel değişimleri gözlemlemektir.

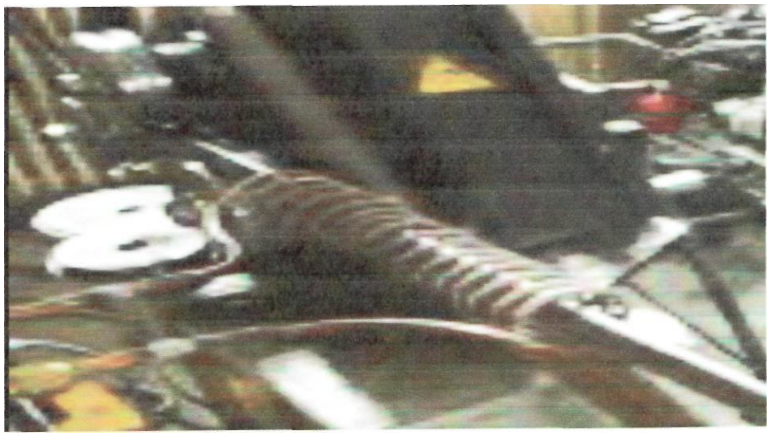
5.6.1 Slot borunun bükme işlemi

Bu deneyde ilk olarak Şekil **5.9**' da görülen slot formdaki Ç 1010 malzemeden yapılmış boru görülmektedir.



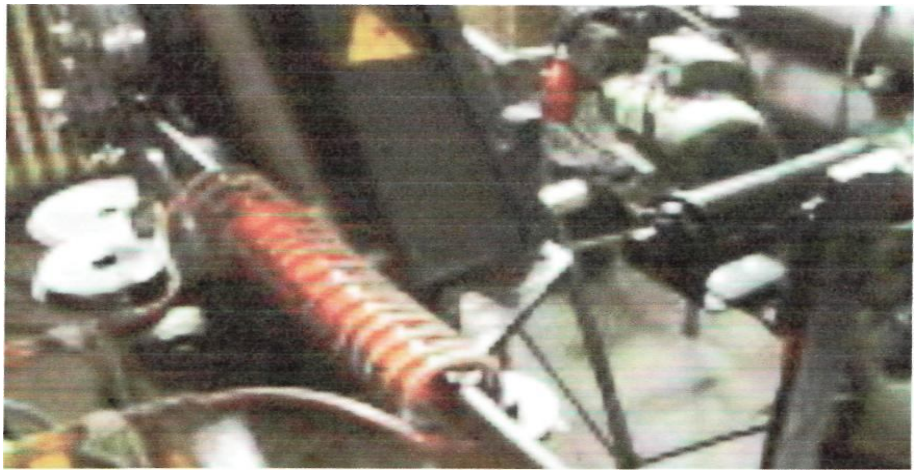
Şekil **5. 9** Slot formdaki boru

Şekil **5.10** görüldüğü gibi boru indüksiyon makinesi sargısına yerleştirilmiştir. Sargı içerisine yerleştirilen borunun bir ucu da Şekil **5.12**' de görüldüğü gibi aynı zamanda boru bükme makinesi kalıbına yerleştirilmiştir.



Şekil **5. 10** İndüksiyon makinesi sargısı ve bükme kalıbına girmiş slot boru ısıtılmadan önce

İndüksiyon makinesi çalıştırılıp gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra makine çalıştırılır ve sargı Şekil **5.11**' de görüldüğü gibi boruyu ısıtmaya başlar. Sargı tarafından ısıtılmaya başlayan slot boru lazerli ısı ölçme cihazı ile sıcaklığı ölçülmektedir. Belirli bir sıcaklık (600-650 ºC) seviyesine gelen slot boru ortalama 1,5-2 m/dk hızla boru bükme makinesine gönderilir.



Şekil **5. 11** İndüksiyon makinesi sargısı ve bükme kalıbına girmiş slot boru ısıtılırken



Şekil **5. 12** Sargı içerisinde ısınan slot borunun bükme kalıbına gönderilmesi

Boru bükme makinesi gelen slot boru, özel olarak imal edilen bükme kalıplarında istenen çapa göre kavis verilerek bükülür.

5.6.2 Isıtılmış bükülmüş ve bükülmemiş (düz) borudan sertlik ve metalografik analiz için numune alınması

Bükülmemiş borudan sertlik ve metalografik analiz için Şekil **5.13**' de görüldüğü gibi 10 cm uzunluğunda bir parça kesilerek gerekli analizler için KOSGEB Konya şubesine götürülerek analizler yapılmıştır.



Şekil **5. 13** Isıtılmış bükülmüş slot boru

5.6.3 Numunelerin Sertliğine Bakılması

Deneysel çalışmalar için alınan malzeme numunelerin KOSGEB Konya laboratuarlarında sertlik ve metalografik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar 6. bölüm içerisinde verildi.

5.6.4 Numunelerinin Metalografik Yapısına Bakılması

Deney numunelerinden küçük parçacıklar alındıktan sonra, alınan parçacıklar parlatılarak nitral sıvısına batırılır. Sıvıya batırılan parçacıklar kurulandıktan sonra mikroskop altında farklı yakınlıklarda tane yapısına bakılır ve fotoğrafi çekilir.

BÖLÜM 6

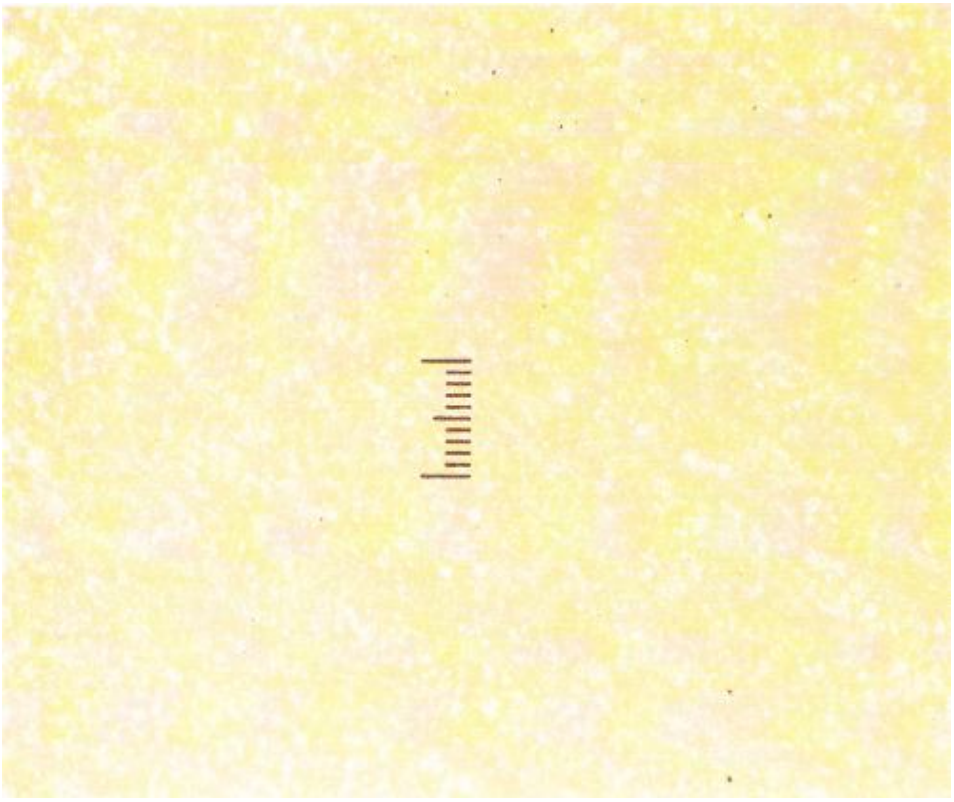
DENEY SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRMALAR

Slot boru şekil vermeden ve şekil verildikten sonra sertlik ve metalografik yapısı incelendi.

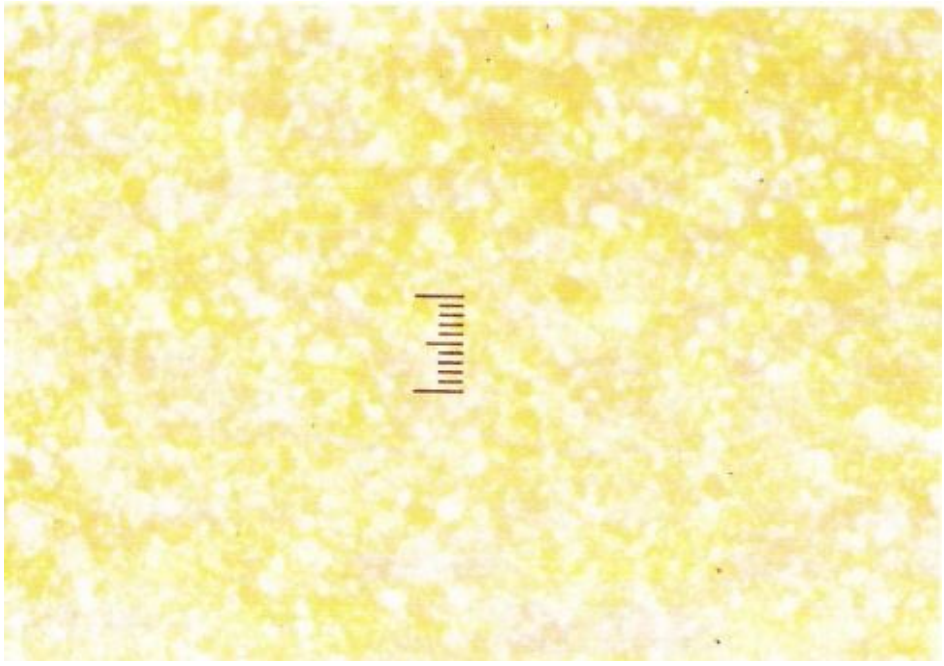
6.1 Malzeme Mikro yapıları

6.1.1 Isıtılmamış ve bükülmemiş malzemenin mikro yapıları

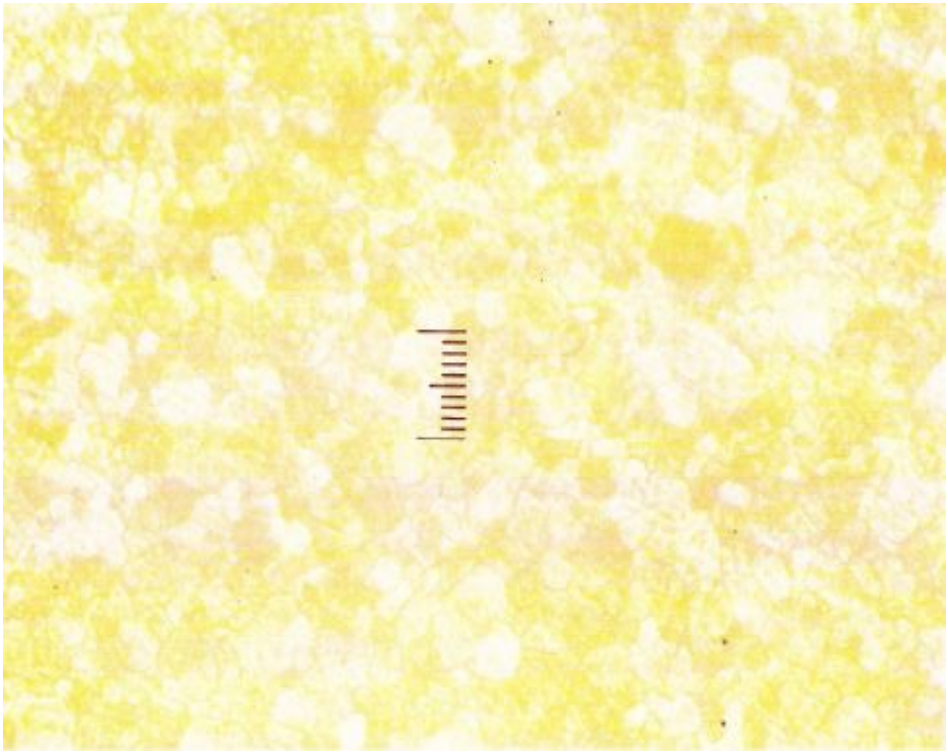
Düşük karbonlu Ç 1010 malzemesinin ısıtılmadan ve bükülmeden önceki 50x,100x,200x ve 500x yakınlıkta çekilmiş tane yapısı ile ilgili resimleri Şekil **6.1,** Şekil **6.2**, Şekil **6.3** ve Şekil **6.4'** de görüldüğü gibidir.



Şekil **6. 1** 50x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü



Şekil **6. 2** 100x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü



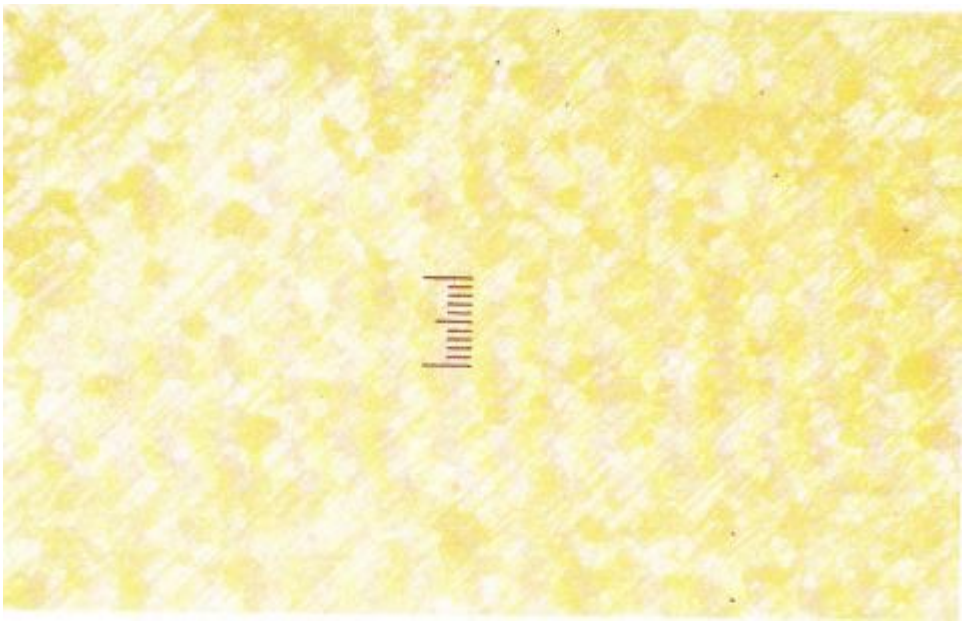
Şekil **6. 3** 200x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü



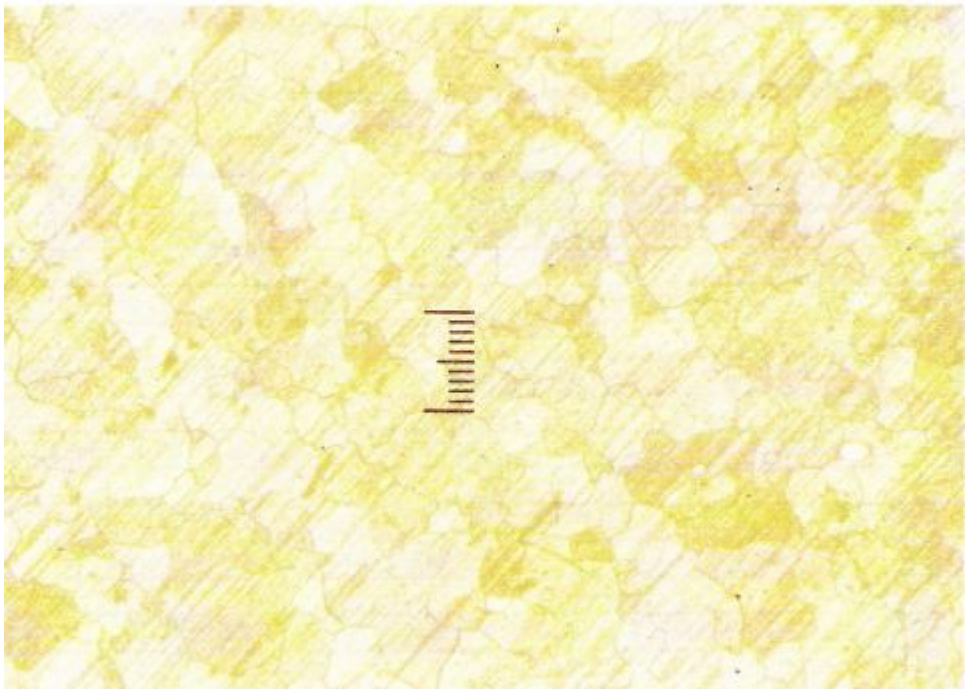
Şekil **6. 4** 500x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü

6.1.2 Isıtılmış bükülmüş malzemenin mikro yapıları

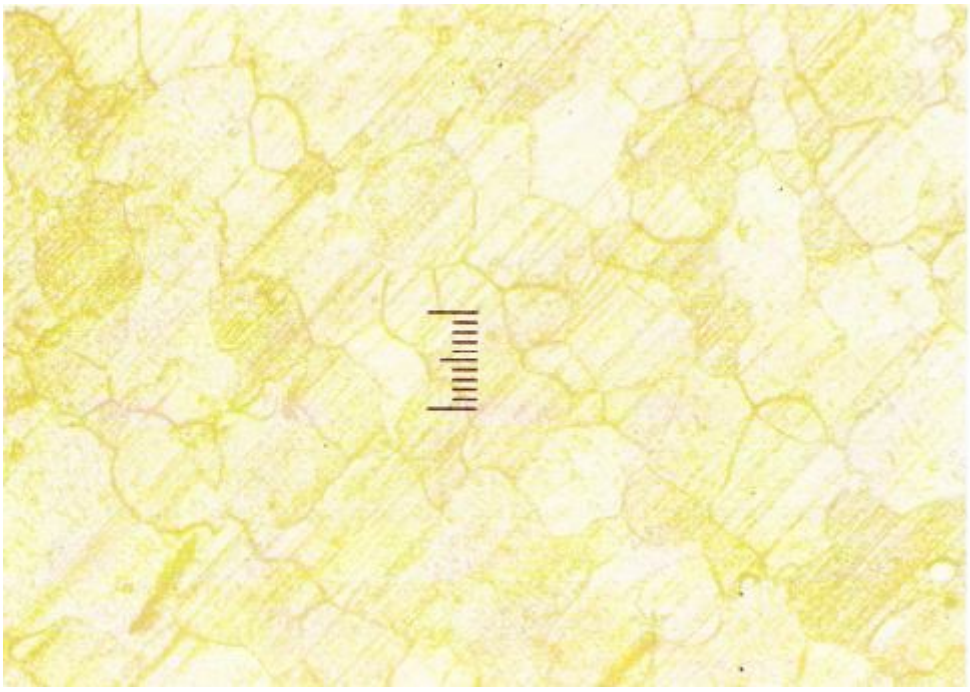
Düşük karbonlu Ç 1010 malzemesinin ısıtılıp ve bükülme işlemi yapıldıktan sonraki 100x,200x ve 500x yakınlıkta çekilmiş tane yapısı ile ilgili resimleri Şekil **6.5**, Şekil **6.6** ve Şekil **6.7**' de görüldüğü gibidir.



Şekil **6. 5** 100x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü



Şekil **6. 6** 200x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü



Şekil **6. 7** 500x yakınlıktaki tane yapısı görüntüsü

6.2 Deney Numunesi Sertlik Deney Sonuçları

Tablo **6.1**' de deney numunelerin işlemler öncesi ve işlemler sonrası mikro sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo **6. 1** Deney numunesi sertlik değerleri

MALZEME ŞEKLİ	1,5 mm SAC KALINLIĞINDA 30x10 SLOT BORU
MALZEME CİNSİ	Ç 1010: DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK
ISITILMADAN VE BÜKÜLMEDEN ÖNCEKİ MALZEME SERTLİĞİ	165 HV 0,3
ISITILIP BÜKÜLDÜKTEN SONRAKİ MALZEME SERTLİĞİ	198 HV 0,3
HV	HARDNESS-VİCKERS SERTLİK SİMGESİ
0,3	UYGULANAN YÜK MİKTARI (kg)
MALZEME SERTLİK DEĞERLERİ **KONYA KOSGEB** LABORATUVARLARINDA ÖLÇÜLMÜŞTÜR	

Tablo **6. 2** Deneyde kullanılan Ç1010 malzemesinin kimyasal bileşimleri

DÜZ HİÇBİR İŞLEM UYGULANMAMIŞ SLOT BORUNUN SPECTRAL ANALİZİ									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0,0991	0,187	0,167	0,0144	0,0103	0,0105	0,00100	0,00172	0,0395	0,00100
Cu	Nb	Ti	V	W	Sn	Mg	Fe		
0,0127	0,00200	0,00100	0,00500	0,00500	0,0030	0,00100	99,44		

6.3 Metalografik Analizlerin ve Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Bölüm içerisinde malzemenin tane yapılarını gösteren şekiller verilmiştir. Bu şekillerde malzemenin ısıtılmadan önce tane yapısının daha küresel olduğu ve tane sınırlarındaki ikinci fazların belirginliğinin zayıf olduğu görülmektedir. Isıtılmış bükülmüş malzemenin tane yapısı, ısıtılmadan ve bükülmeden önceki tane yapısına göre daha yassı bir şekil almış olup; tane sınırlarındaki ikinci fazlar daha belirgin görünmektedir. Isıtılarak bükme işleminde malzeme yumuşadığından dolayı kolay şekil almaktadır. Bu yüzdende malzemeye boru bükme makinesi tarafından uygulanan kuvvet azalmaktadır. Malzeme yumuşadığından dolayı kalıplarda şekil alması daha kolay olmaktadır. Mikro yapılardan da anlaşılacağı üzere tane boyutların da çok az bir artış olmaktadır. Bunun yanı sıra malzemenin tane sınırlarında ikinci fazların artmasından dolayı malzemenin sertliği sertlik tablosunda görüldüğü üzere artmıştır.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

7.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İndüksiyon akımıyla boru bükme işlemi, borunun daha kısa sürede, güvenli ve düzgün bir şekilde bükülmesini sağlayan bir tekniktir. İndüksiyon ile ısıtma işleminin çevreye zararı olmamaktadır ve diğer ısıtma tekniklerine göre daha pratiktir. İndüksiyon işleminde iş kazası riski daha azdır. İndüksiyonla ısıtarak boru bükme tekniği daha küçük alanlarla daha kompleks sistemlerde kullanmaya elverişlidir.

İndüksiyon akımıyla slot borunun helis haline getirilmesi deneyinde elde edilen sertlik değerleri, tane ve mikro yapısı, Tablo **6.1** ve **6.2;** Şekil **6.1, 6.2**, **6.3**, **6.4**, **6.5**, **6.6** ve **6.7'** de verildi.

Şekil **6.4** ve Tablo **6.1'** de görüldüğü üzere, malzeme ısıtılmadan önce tane yapısının daha küresel olduğu ve tane sınırlarındaki ikinci fazların belirginliğinin zayıf olduğu görülmektedir. Bu durumda deney sonrası, malzemenin daha sünek olduğu (Theofanous, M. , Chan, T.M., Gardner, L., Flexural behaviour of stainless steel oval hollow sections, Thin-WalledStructures, 47, 776–787, 2009.) ve sertlik değerinin de daha yüksek olduğu görülmüştür.

Borunun büküm yerindeki basma bölgesinde dislokasyonun etkisi nedeniyle, slot boruda yığılmalar gözlenmiştir. Ayrıca borunun uzama bölgesinde çekme nedeniyle, malzemede yırtılmanın başladığı izlenmiştir.

Slot boru indüksiyon makinesinde ısıtıldığında sünekliği artmaktadır. Bükme sonrası malzemenin tane yapısı Şekil **6.7**' de görüldüğü üzere indüksiyon ile ısıtma ve havada soğutma işlemleriyle tane yapısında çok hafif büyümeler olduğu, şekillerin dikkatle incelendiği zaman görülebilir.

Slot Ç 1010 borunun indüksiyon akımıyla ısıtılarak helis haline getirilmesi işleminde basma bölgesinde dislokasyonların daha düzenli olması nedeniyle, ısıtılmadan bükülmüş slot boru malzemesine göre yığılmaların daha az olduğu

görülmüştür (Şekil **6.7**). Borunun uzama kısmında malzeme taneleri, malzemenin indüksiyon akımıyla ısıtılması sonucu, taneler arasındaki ikinci fazların yer değiştirmeye daha yatkın bir hal almasıyla, malzeme daha kolay plastik deformasyona uğraması ve uzama bölgesinde de yırtılma riskinin daha az olması söylenebilir.

Malzemenin indüksiyon akımıyla ısıtıldıktan sonra bükülmesi malzemedeki yığılmaları önlemiştir. Eğer malzeme indüksiyon ile ısıtılıp bükülmeseydi, slot borunun bükülen kısmında taneler birbiri üzerine düzensiz bir şekilde bineceğinden, malzemede şekil bozukluğu ve istenmeyen deformasyonlar meydana gelecekti. Sıcak şekillendirme ile istenmeyen deformasyonlar giderilmiştir.

7.2 Öneriler

Bükme işleminde kullanılan paslanmaz slot formda Ç 1010 malzemesi, indüksiyon ile uygun sıcaklıkta ısıtılması işleminde, malzemenin kimyasal yapısında önemli bir değişiklik olmamaktadır. Isıtılan malzemeyi bükme işleminde meydana gelen deformasyonlar önemli ölçüde giderilmiştir. Değişik formdaki boruların (oval, slot vb.) kılıcına bükme esnasında meydana gelen plastik deformasyonlar ısıtma işlemi ile en aza indirmek mümkündür. Burada asıl olan seçilen malzemeye bağlı olarak uygun sıcaklığın belirlenmesidir.

İleri bir çalışma olarak indüksiyonla ısıtma işleminin, seçilen malzemeye bağlı olarak uygun sıcaklık belirlenirse daha üniform bir boru elde edilir.

Ayrıca indüksiyon alanından malzemenin geçiş hızı son derece önemlidir. Bu durum malzemenin yapısına göre değişir. Bu nedenle, uygun malzeme hızı belirlenerek çalışmalar sürdürülebilir.

Sonuç olarak, malzeme yapısına göre uygun sıcaklık ve malzeme geçiş hızı belirlenirse, indüksiyon ile ısıtma tekniği boru bükümünde otomasyon yapmak isteyen makine üretim ve boru üretim firmaları tarafından rahatlıkla kullanılabilecek bir tekniktir.

KAYNAKLAR

[1] Megep, "Kimya Teknolojisi", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul-/modul_pdf/524KI0142.pdf, 2006, Ankara.

[2] Genceli, O.,F., 1999, Isı Değiştiricileri, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[3] Megep, "Metal Teknolojisi", http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/-kursprogramlari/metal/moduller/migmag_ile_yatayda_boruveprofil_kaynagi.pdf, 2006, Ankara.

[4] Ay, İ., "İmalat Yöntemleri 2", http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/-lecture6.pdf

[5] Ay, İ., "İmalat Yöntemleri 2", http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/-lecture8.pdf

[6] Günay, H., Boyuna Dikişli Çelik Boruların Girdap Akımı Yöntemiyle Kontrol Uygulamaları, TMM. LTD. ŞTİ., Bursa.

[7] Şirin, K., Akın, Ü., Akgüllü, E., Tozaltı Kaynak Yöntemi İle Spiral Dikişli Boru Üretiminde Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi, 2001, İstanbul.

[8] Megep, "Metal Teknolojisi", http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/-kursprogramlari/metal/moduller/borulari_bukme.pdf, 2006, Ankara.

[9] Boyle, J.T., The finite bending of curved pipes, [a]Department of Mechanics of Materials, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, 30 June, 1980.

[10] Lau, J. H., Bending and twisting of pipe with creep, Special Structures Group, Bechtel Power Corporation, Pages 367-374, 28 July, 1981.

[11] Wassermann, D. R., 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, 1983.

[12] Sohal, I. S., Chen, W. F., (2003), Large bending of pipes, School of Civil Engineering, Purdue University, Pages 121-130, April, 1985.

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

[14] Mochizuki, M., Enomoto, K., Okamoto, N., Saito, H., Hayashi, E., Welding residual stresses at the intersection of a small diameter pipe penetrating a thick plate, Nuclear Engineering and Design, Pages 439-447, 1 November 1993.

[15] Boussaa, Dj., Dang Van, K. P., Labbé, Tang, H. T., Finite pure bending of curved pipes, Pages 1003-1012, 2 March, 1995.

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

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

[18] Komotori, J., Shimizu, M., Misaka, Y., Kawasaki, K., Fatigue strength and fracture mechanism of steel modified by super-rapid induction heating and quenching, International Journal of Fatigue, 23, 225-230, 2001.

[19] Bjørset, A., Remseth, S., Leira, B. J., Larsen, J. M., Titanium pipes subjected to bending moment and external pressure, Computers and Structures, 81, 2691–2704, 2003.

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

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

[22] Naphon, P., Thermal performance and pressure drop of the helical-coil heat exchangers with and without helically crimped fins, International Communications in Heat and Mass Transfer, 34, 321–330, 2007.

[23] Sattari-Far, I., Javadi, Y., Influence of welding sequence on welding distortions in pipes, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 85, 265–274, 2008.

[24] Theofanous, M. , Chan, T.M., Gardner, L., Flexural behaviour of stainless steel oval hollow sections, Thin-WalledStructures, 47, 776–787, 2009.

[25] Dönmez, O., E., Kocabaş, H., Makaralı bükme işleminde ince sacların kenar dalgalanma kusurunun deneysel incelenmesi, Konstrüksiyon ve İmalat Programı, 127-135, 2009, İstanbul.

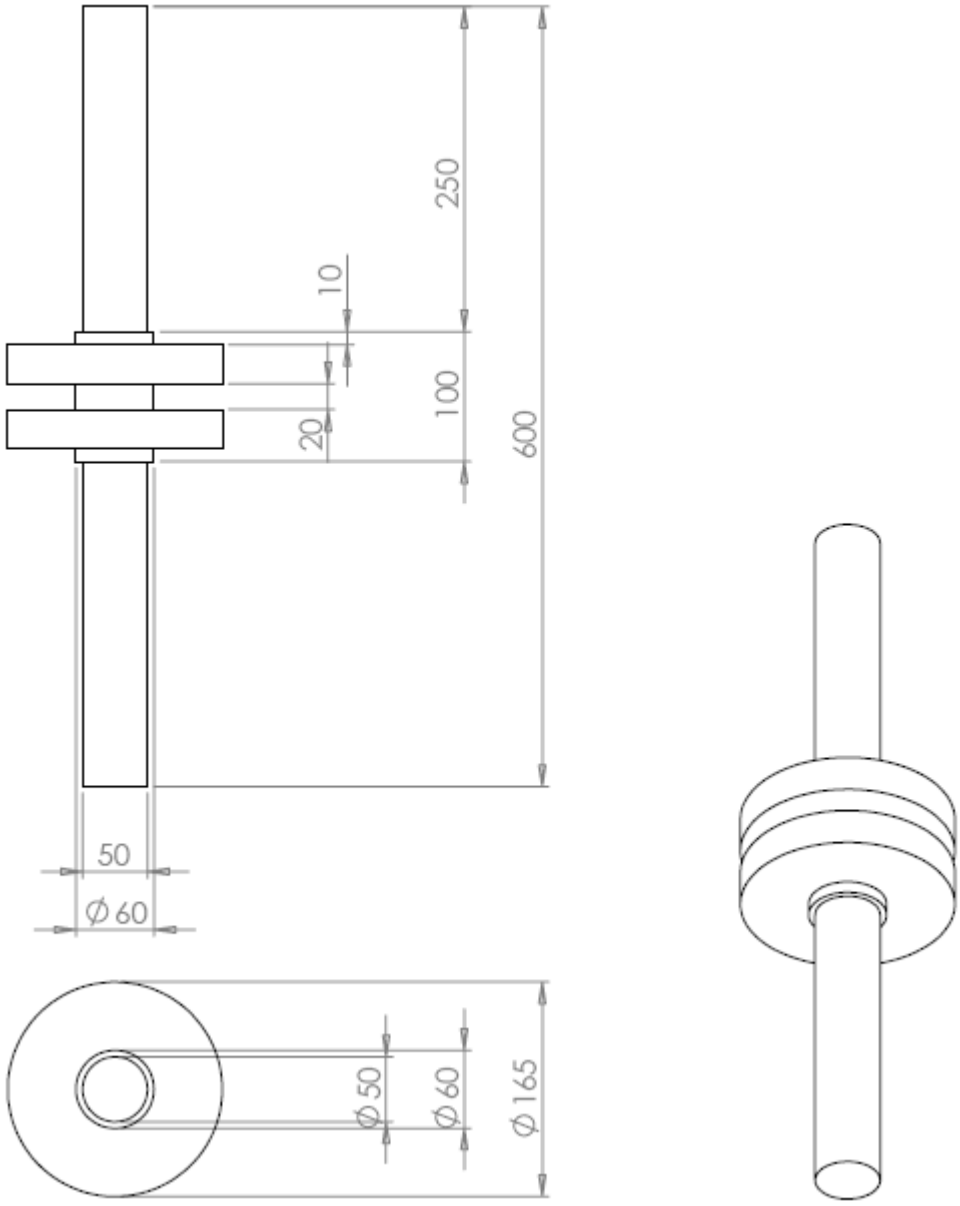
[26] Ay, İ., "İmalat Yöntemleri 2", http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/-lecture3b.pdf

[27] Ay, İ., "İmalat Yöntemleri 2", http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/-lecture3a.pdf

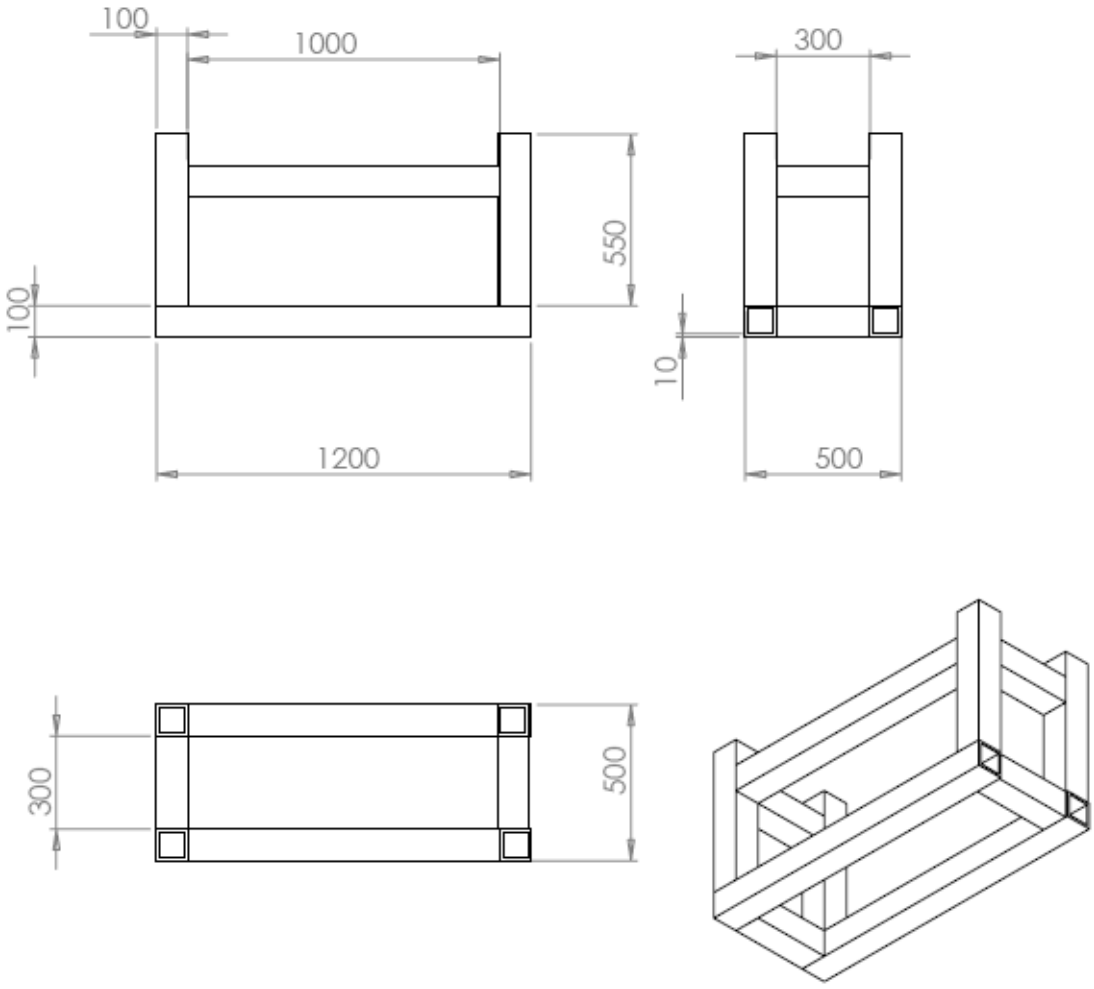
[28] Megep, "Metal Teknolojisi", http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/-kursprogramlari/metal/moduller/sertlik_olcme_yontemleri.pdf, 2006, Ankara.

EK A

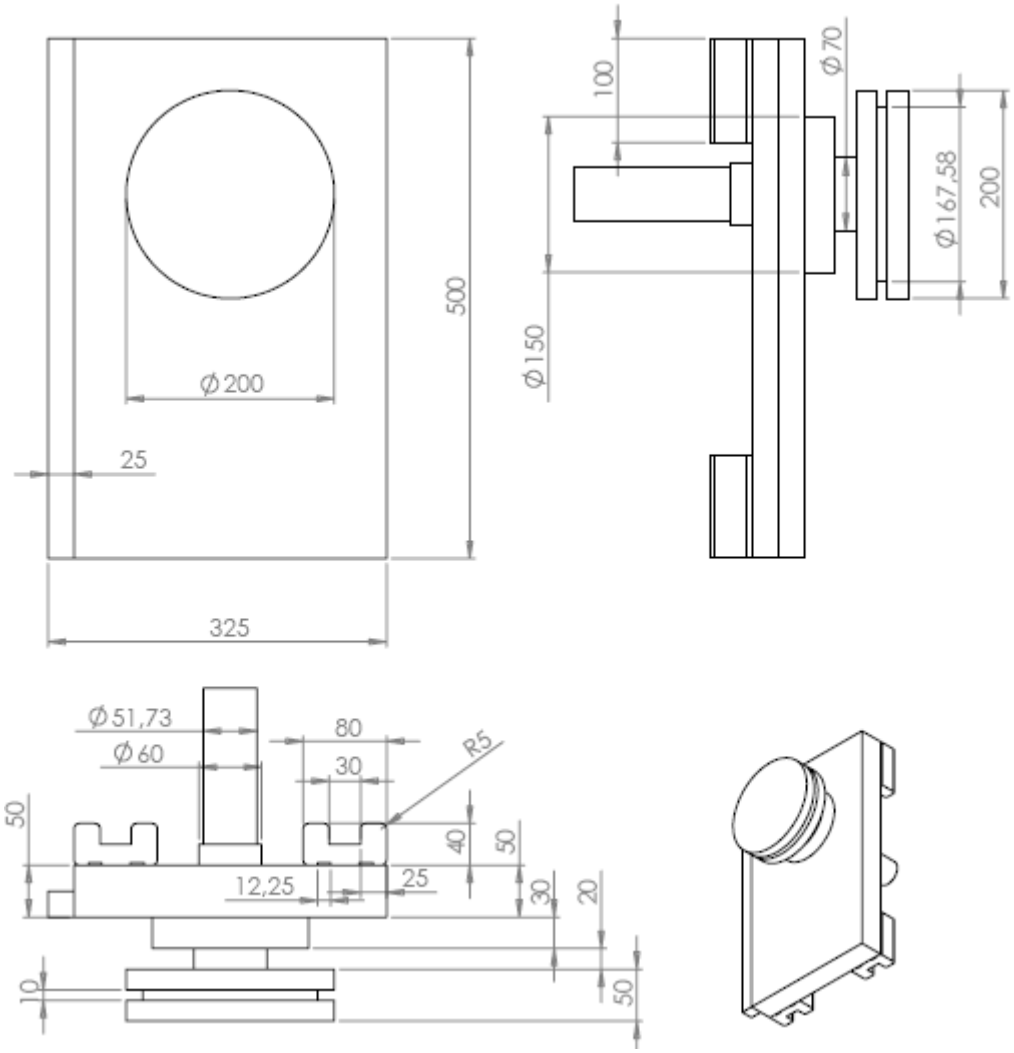
Slot boruyu üretme ve helisel forma getirme makinesinin teknik resimleri



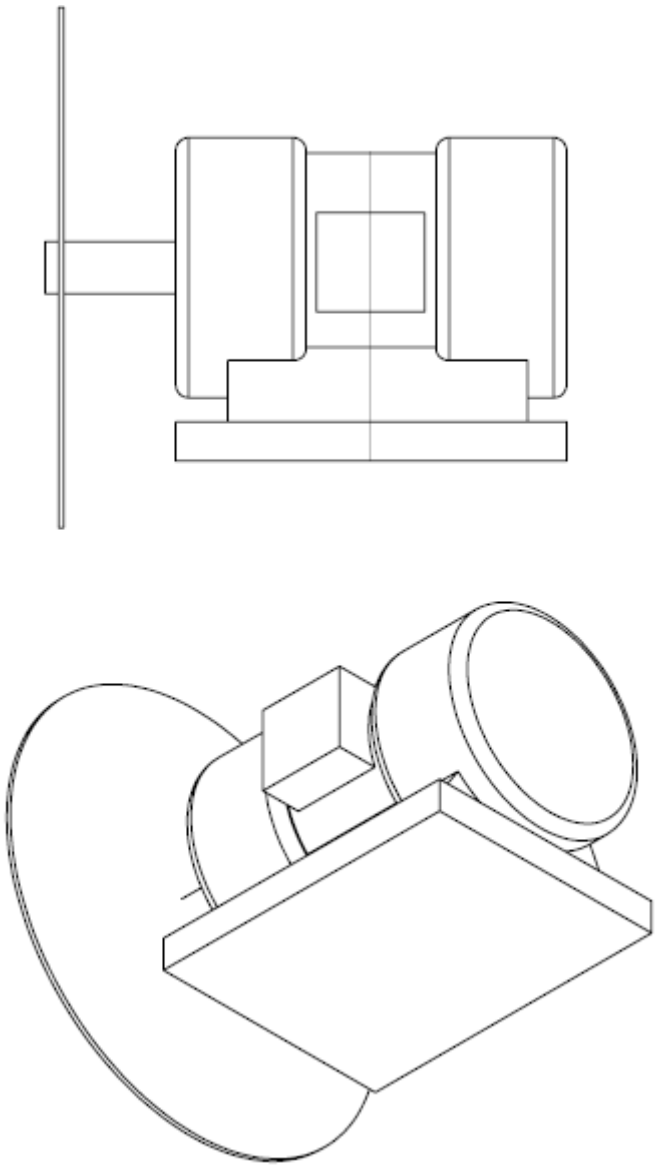
Şekil **A. 1** 4140 malzeme roller form milleri



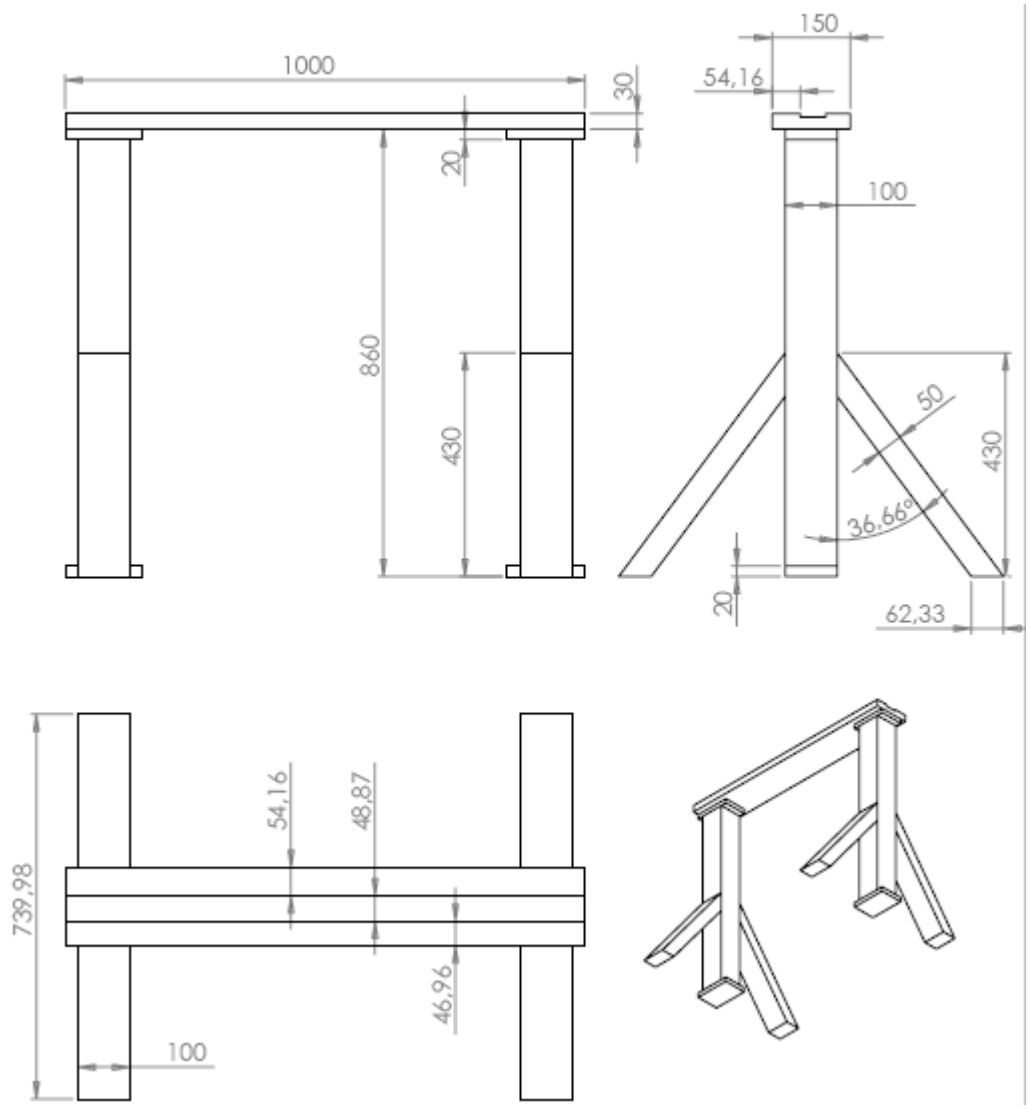
Şekil **A. 2** Doğrultucu taşıma kısmı



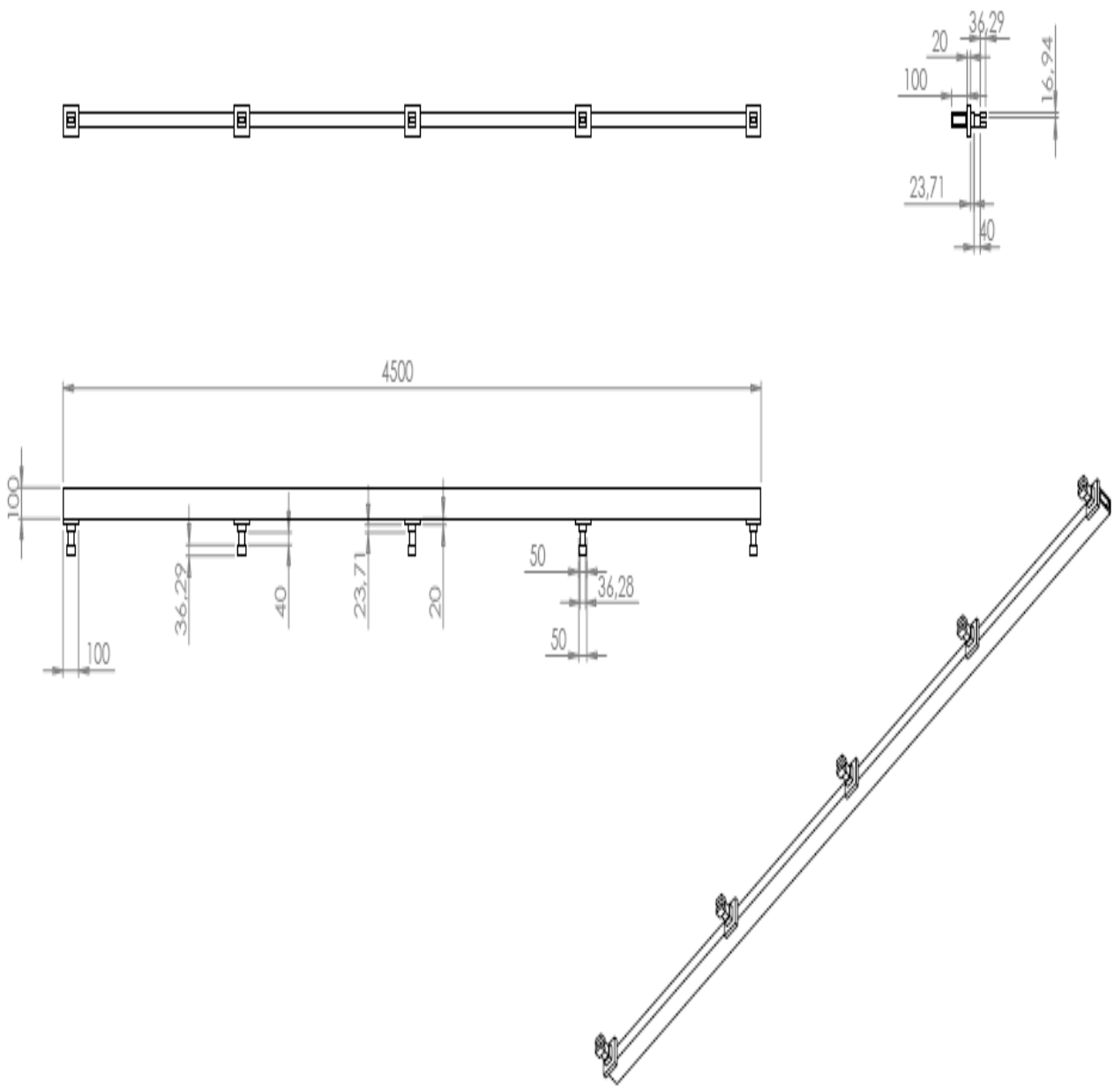
Şekil **A. 3** Profil bükme ünitesi merdane kısmı ve bağlantı elemanları



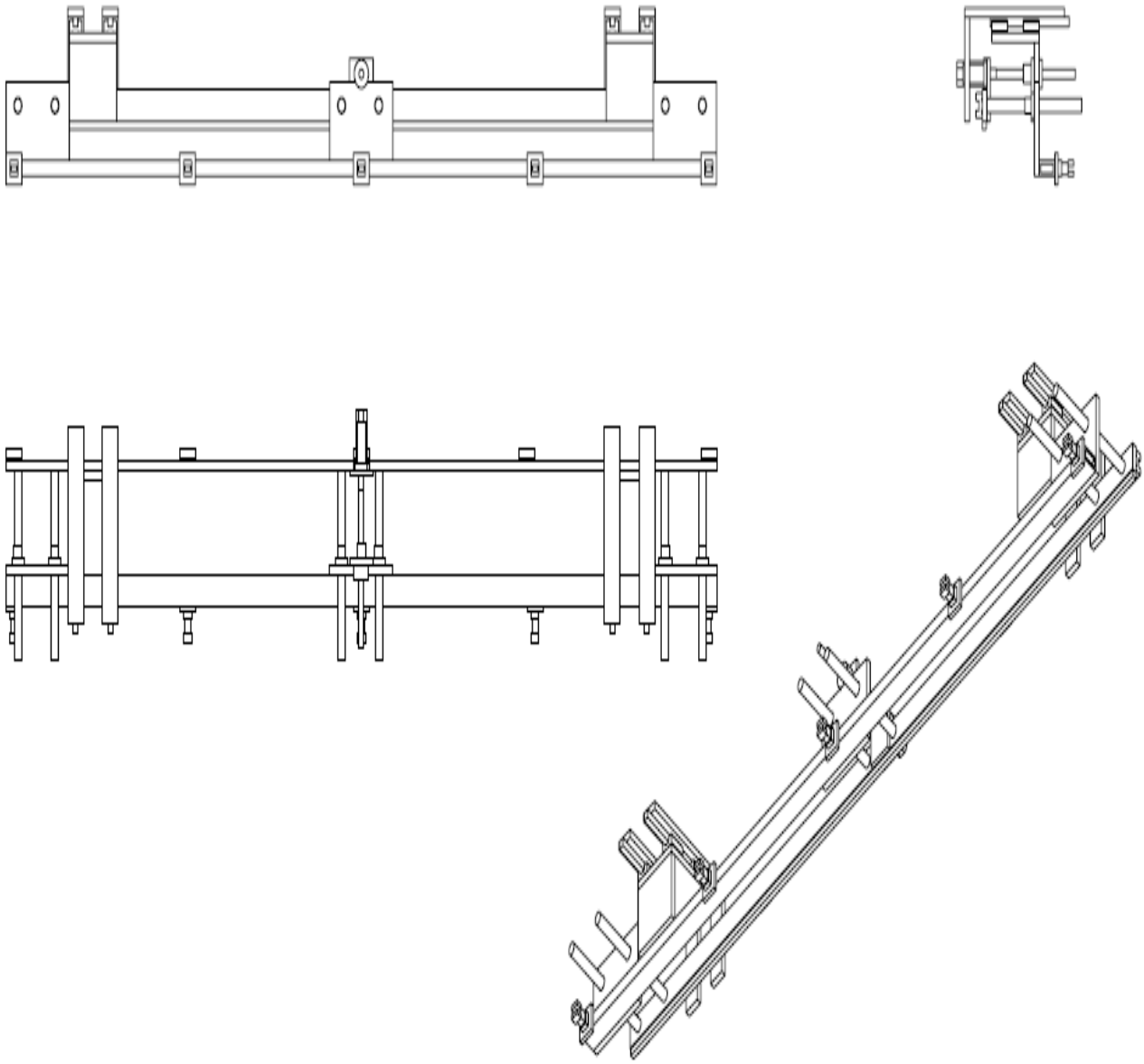
Şekil **A. 4** Ø 400 Daire testere



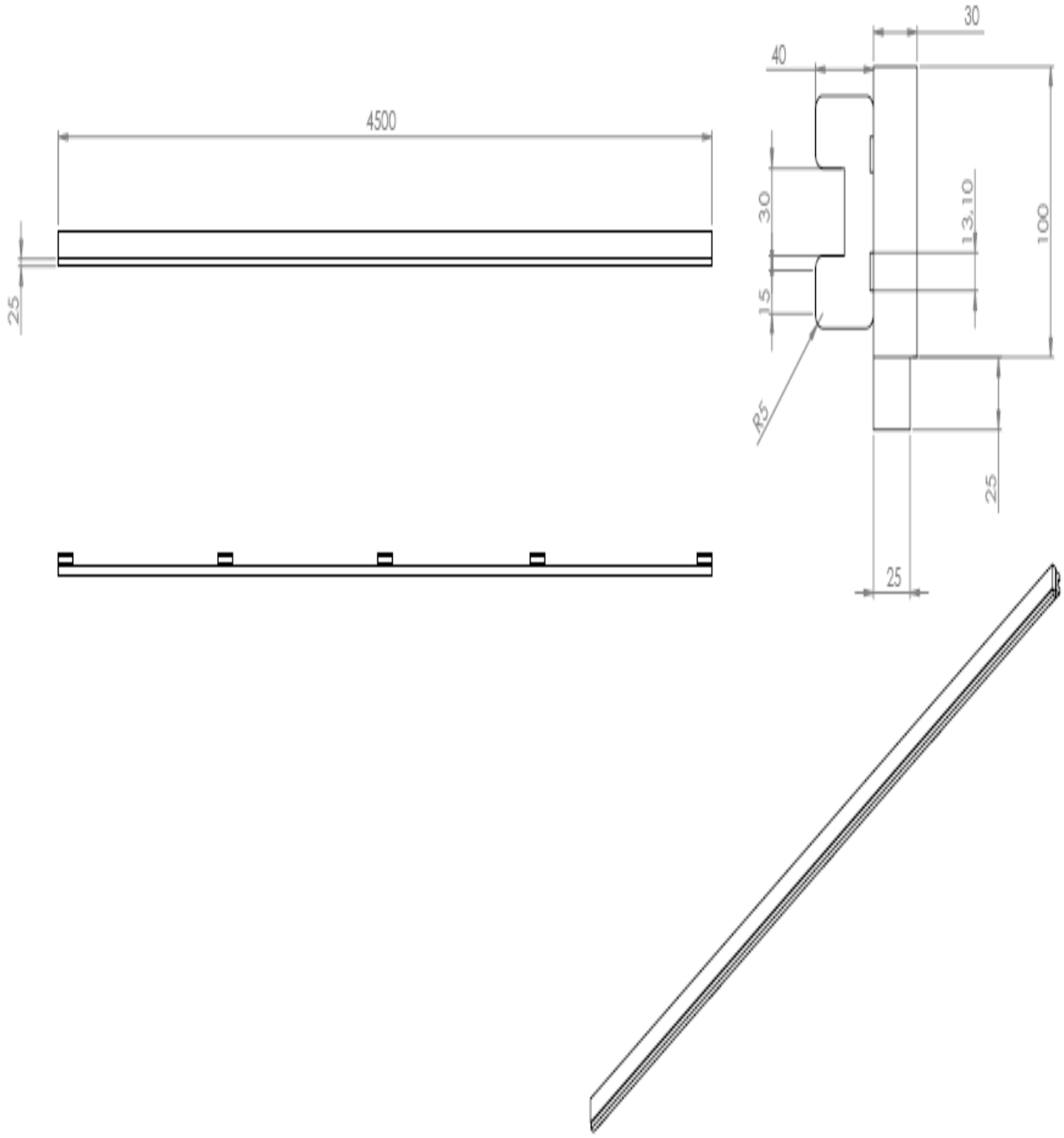
Şekil **A. 5** Borunun üzerinde hareket ettiği taşıma ayakları



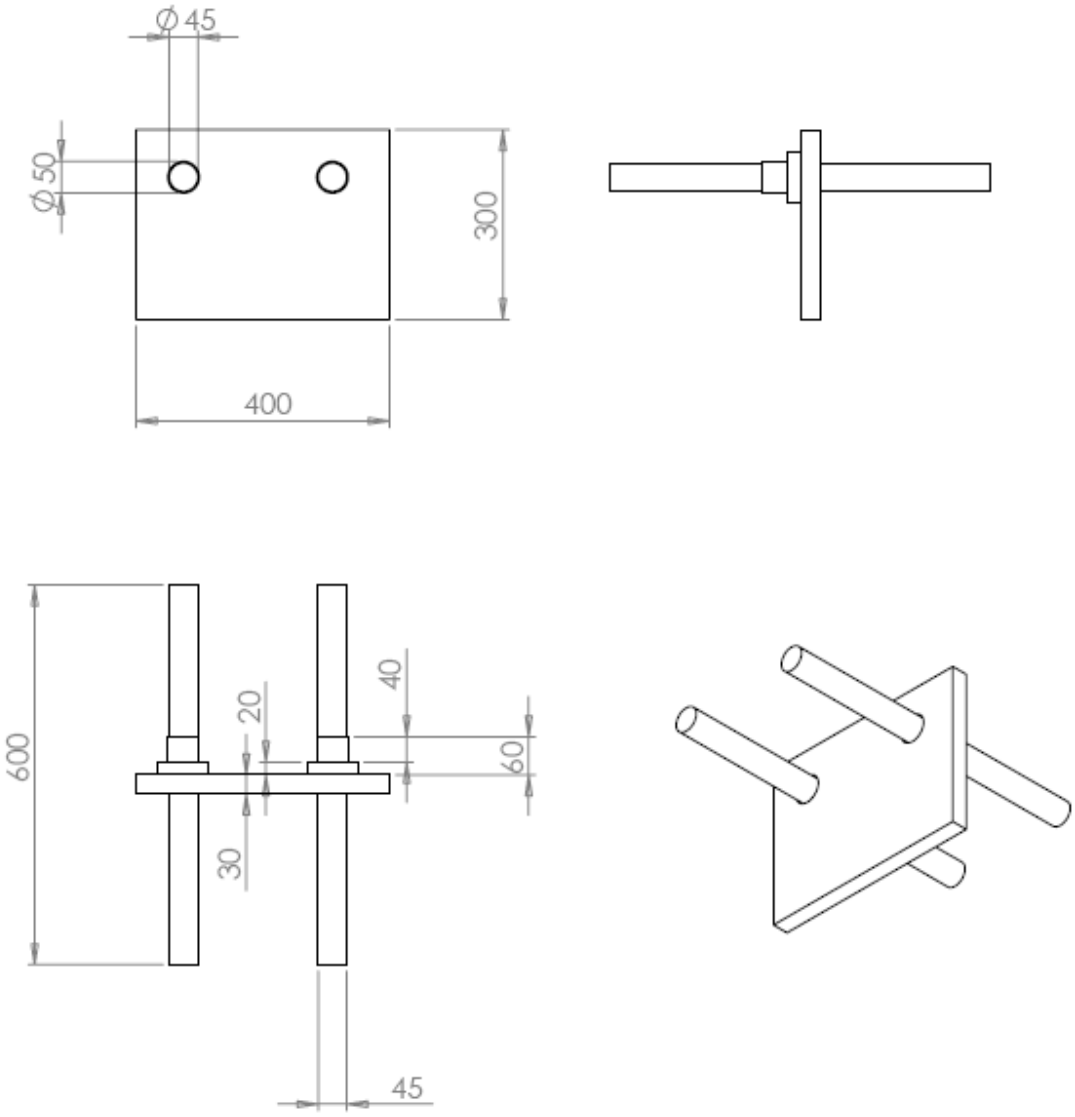
Şekil **A. 6** Taşıma robotunun taşıyıcı başlığı



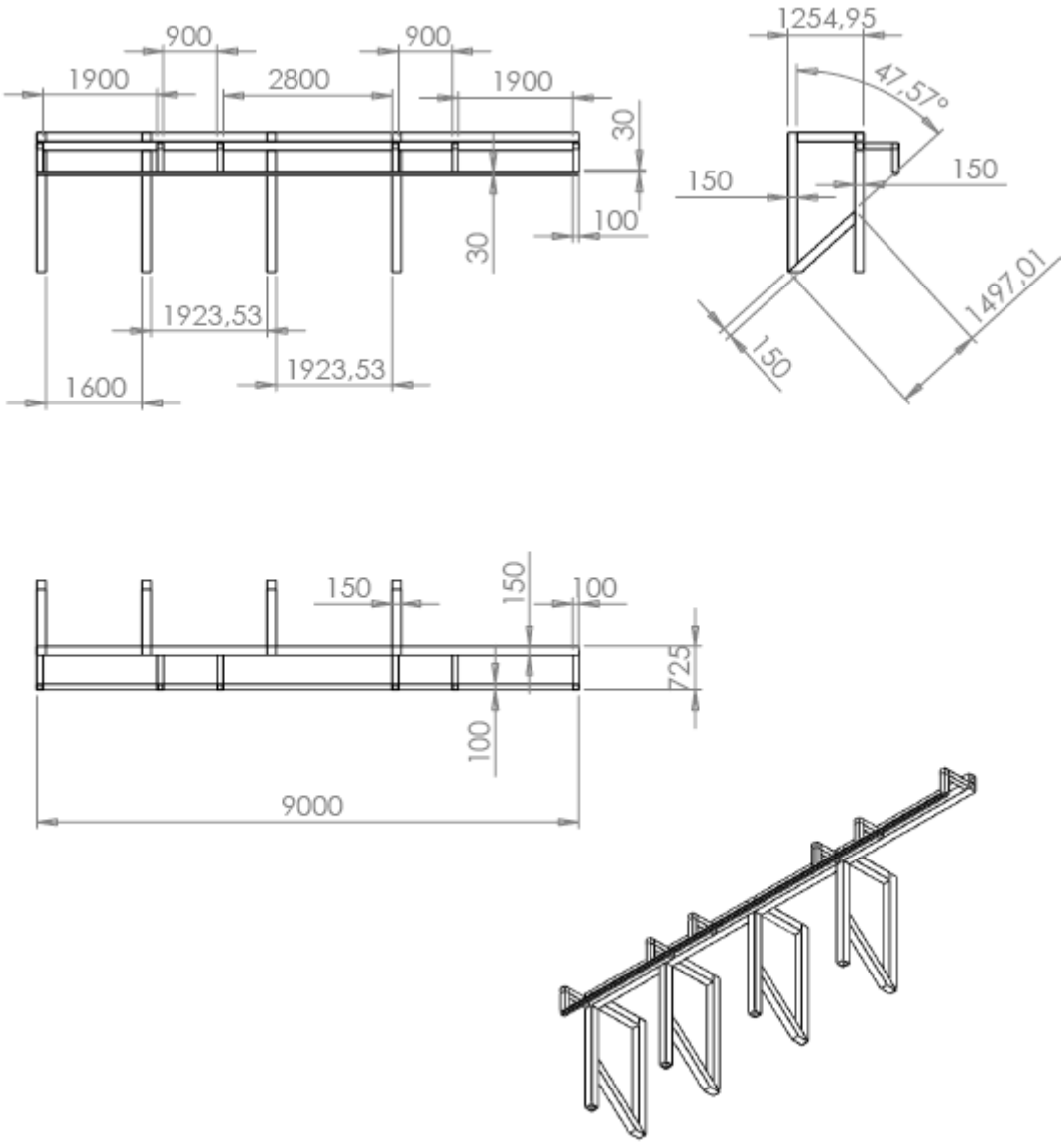
Şekil **A. 7** Taşıma robotunun hareketli ünitesi



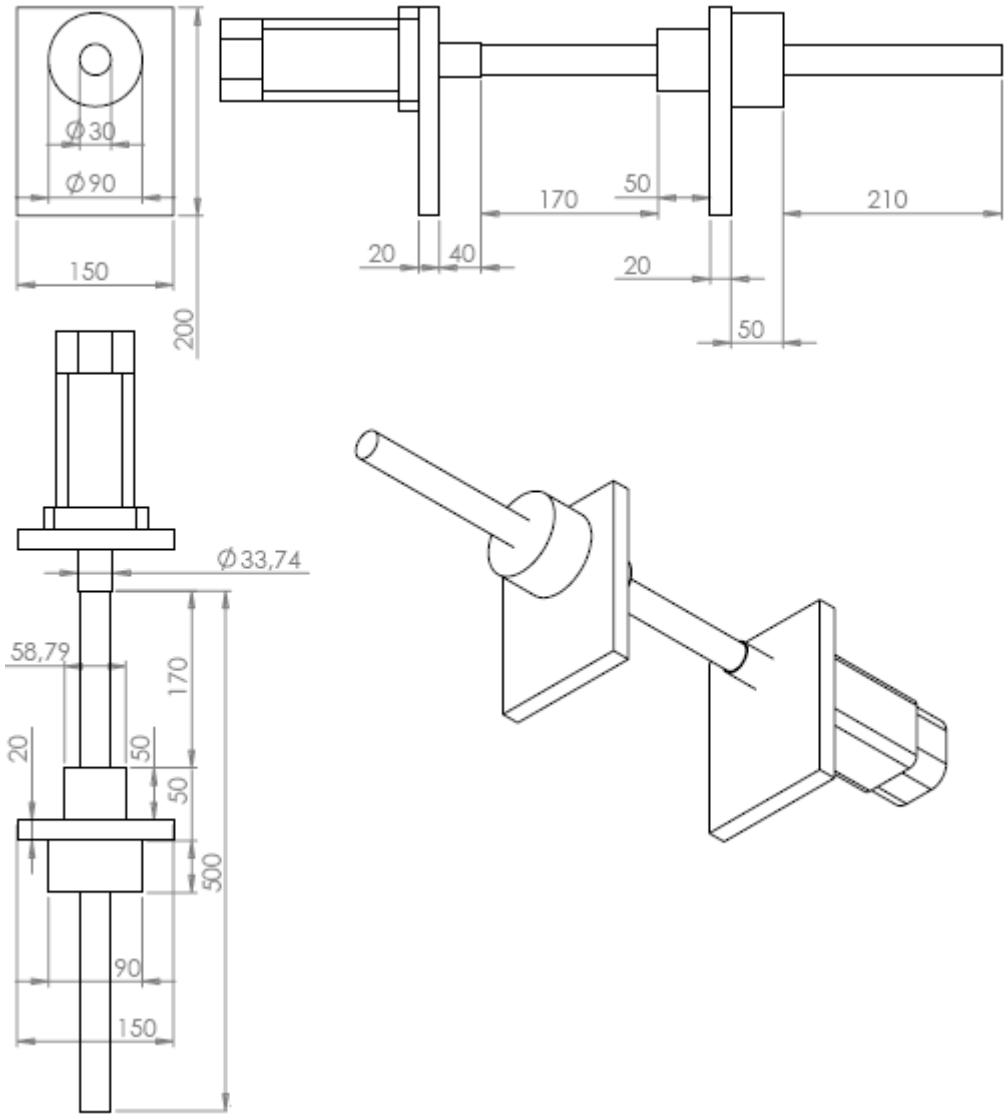
Şekil **A. 8** Taşıma robotu bağlantı parçası



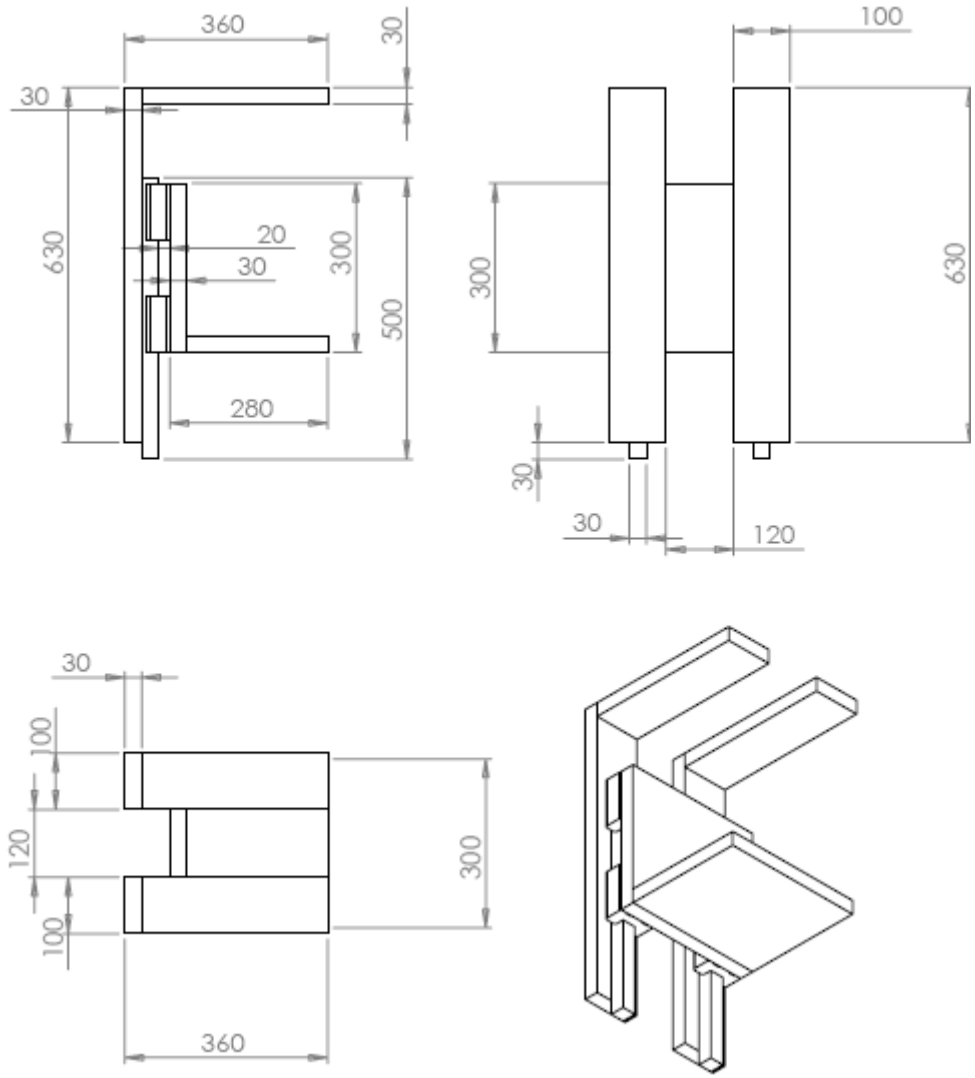
Şekil **A. 9** Taşıma robotu bağlantı elemanı ve milleri



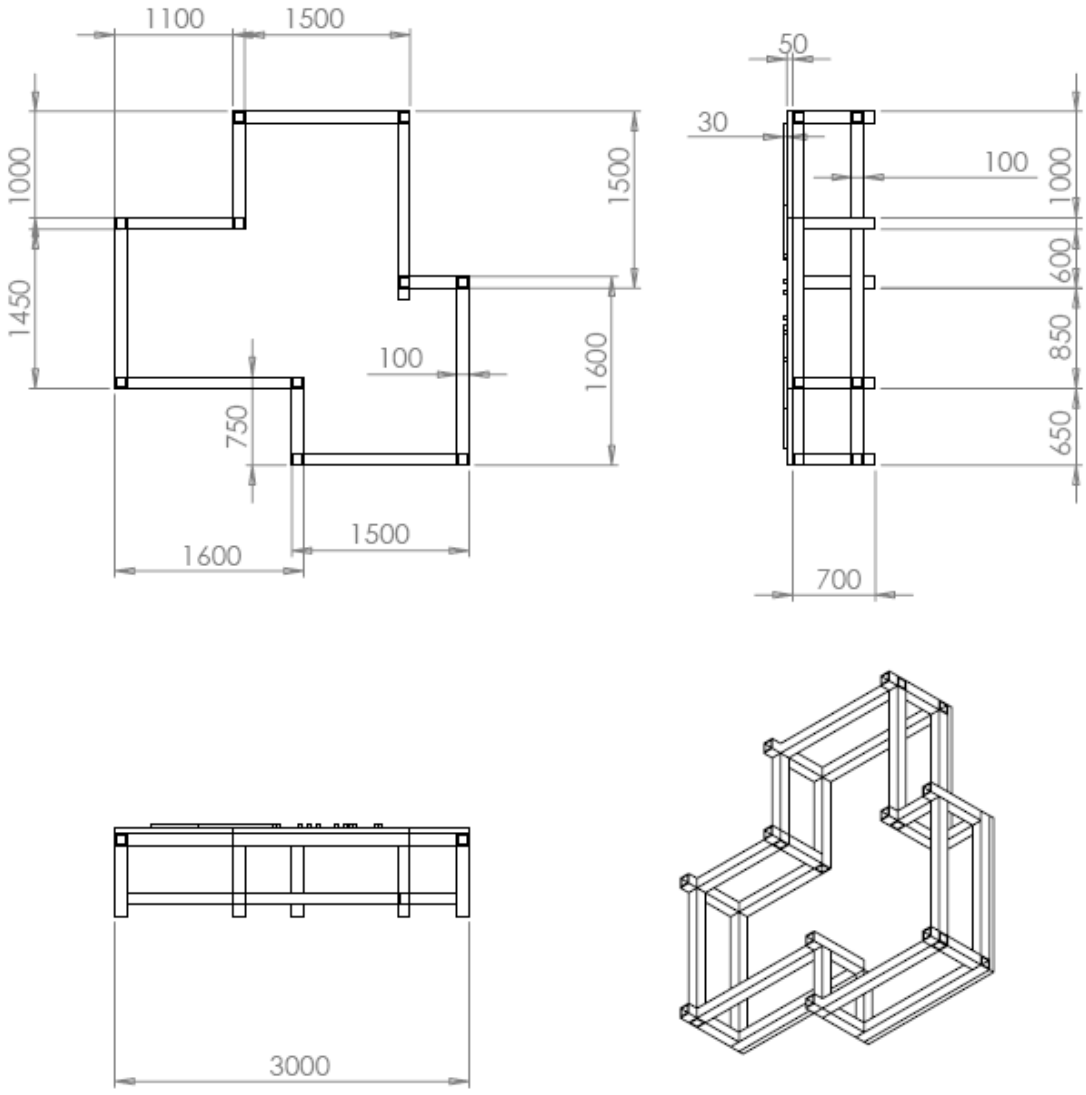
Şekil **A. 10** Taşıma robotu şase kısmı



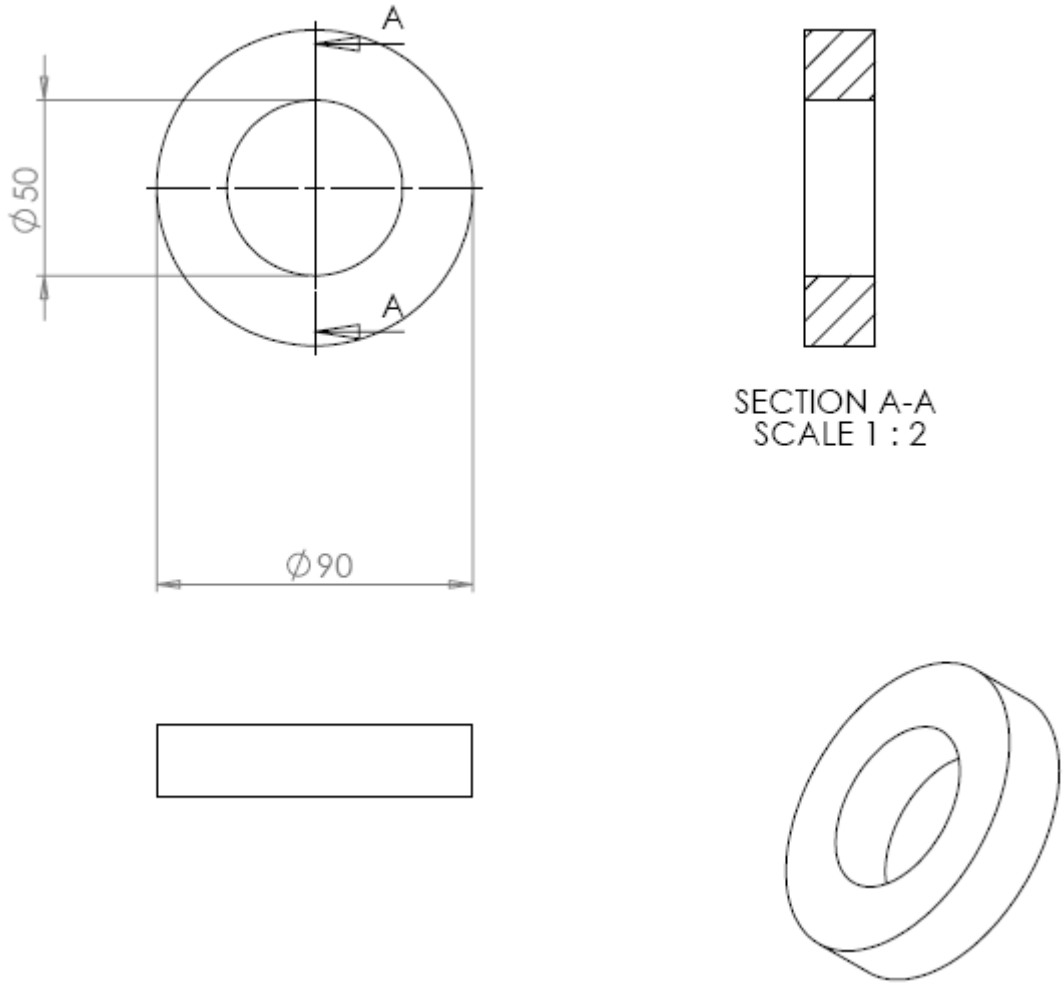
Şekil **A. 11** Pnömatik şartlandırıcı



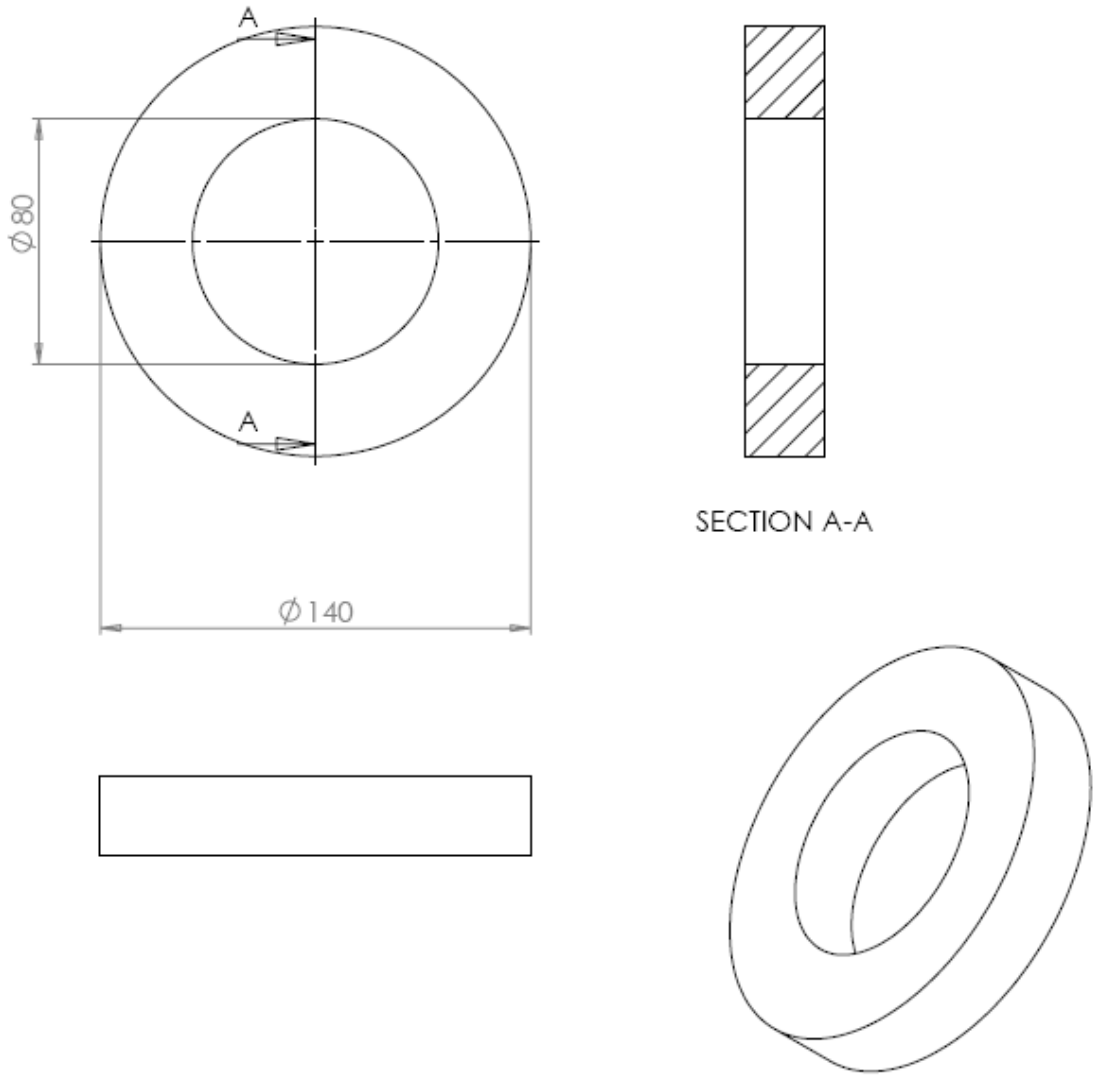
Şekil **A. 12** Taşıma robotu bağlantı elemanı



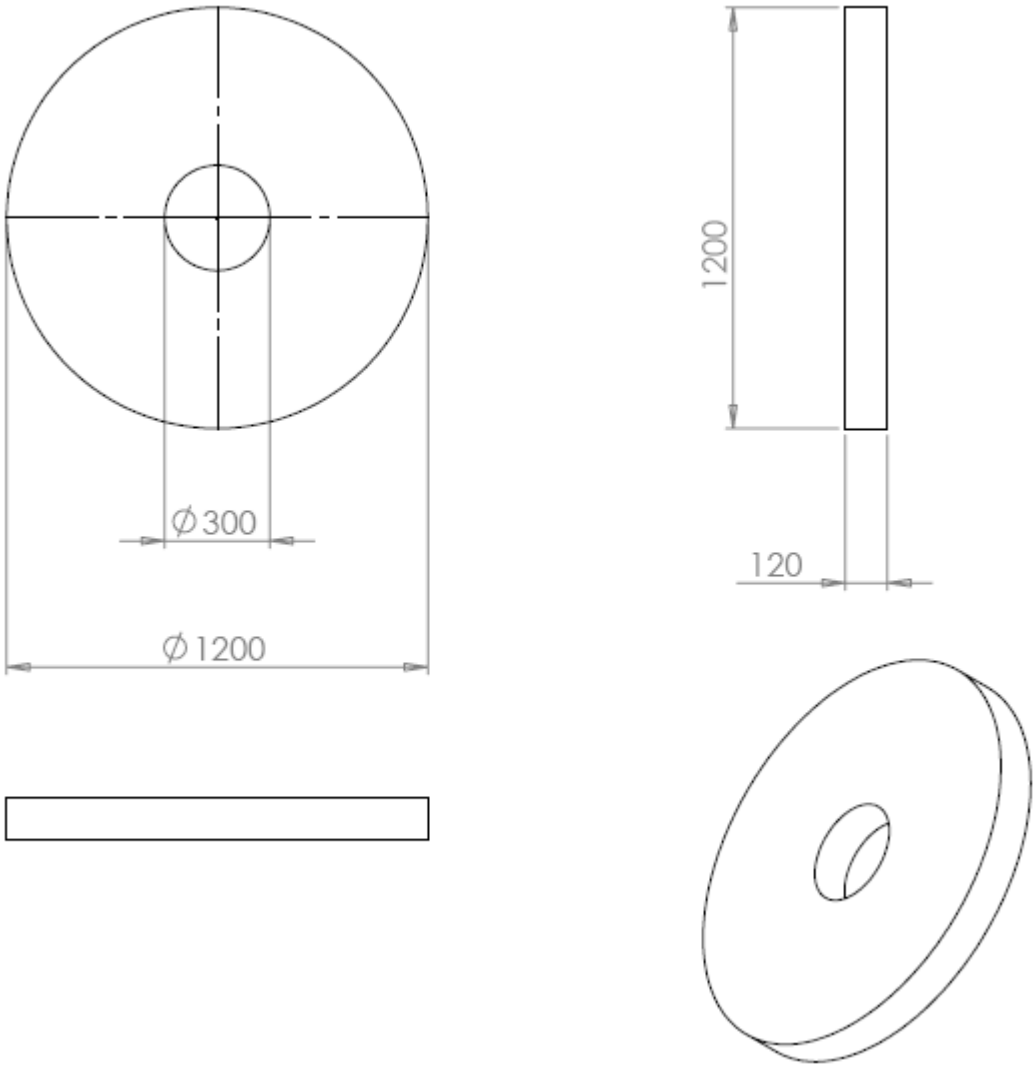
Şekil **A. 13** Bükme ünitesi taşıma panosu



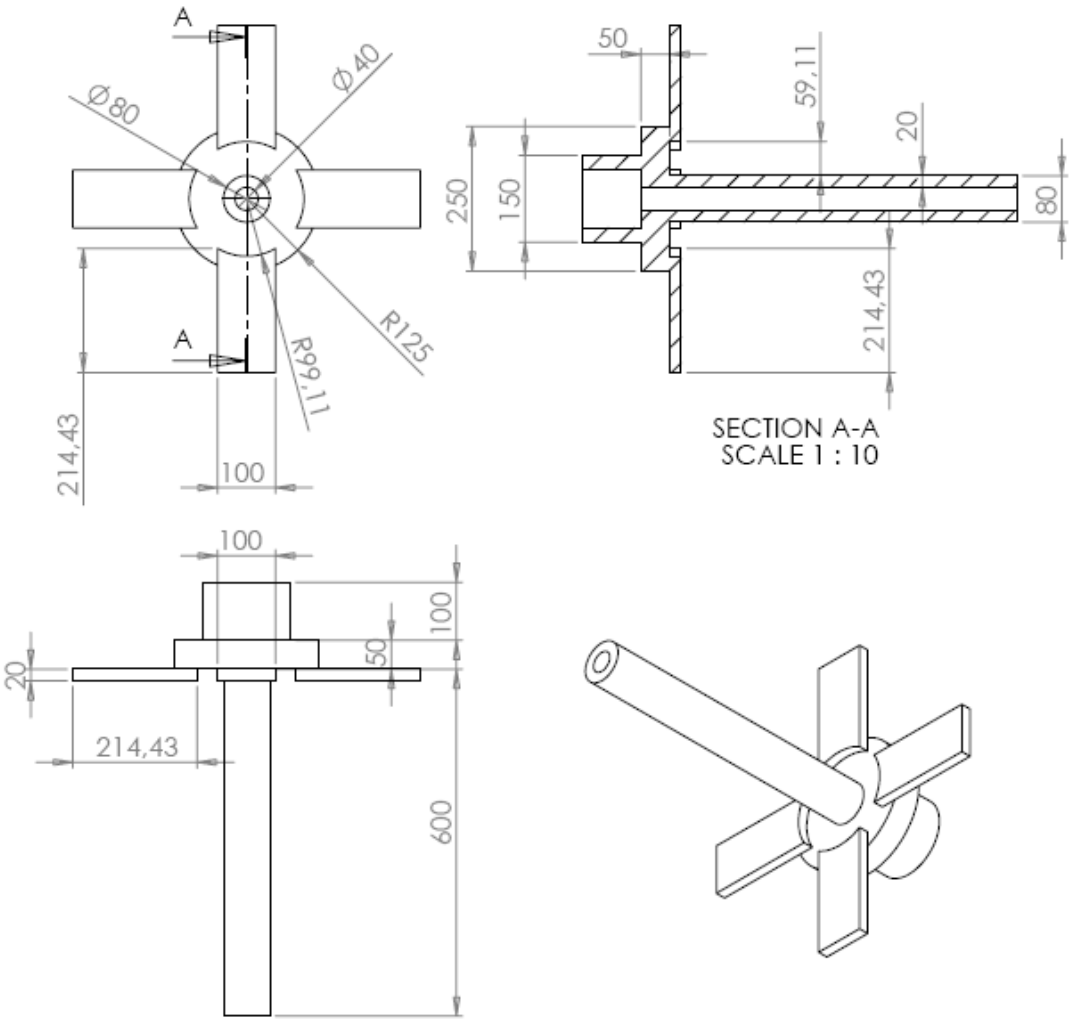
Şekil **A. 14** 6210 bilye



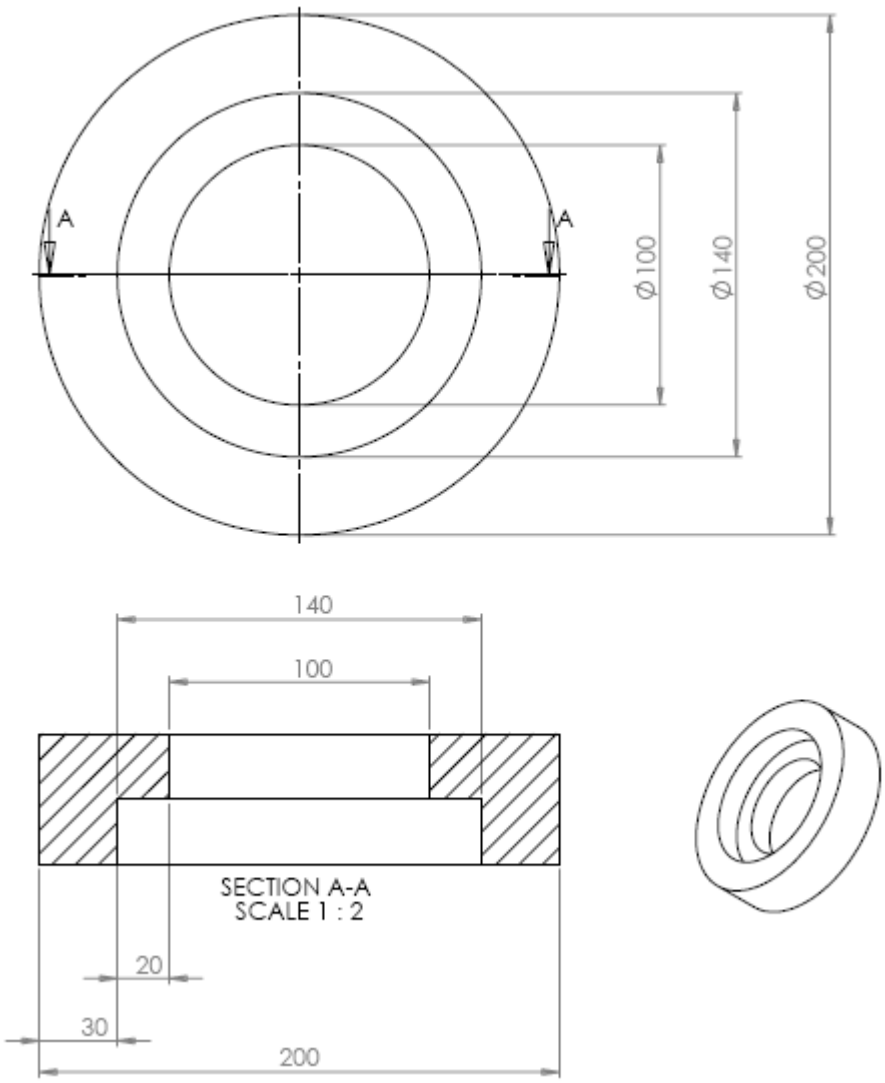
Şekil **A. 15** 6216 bilye



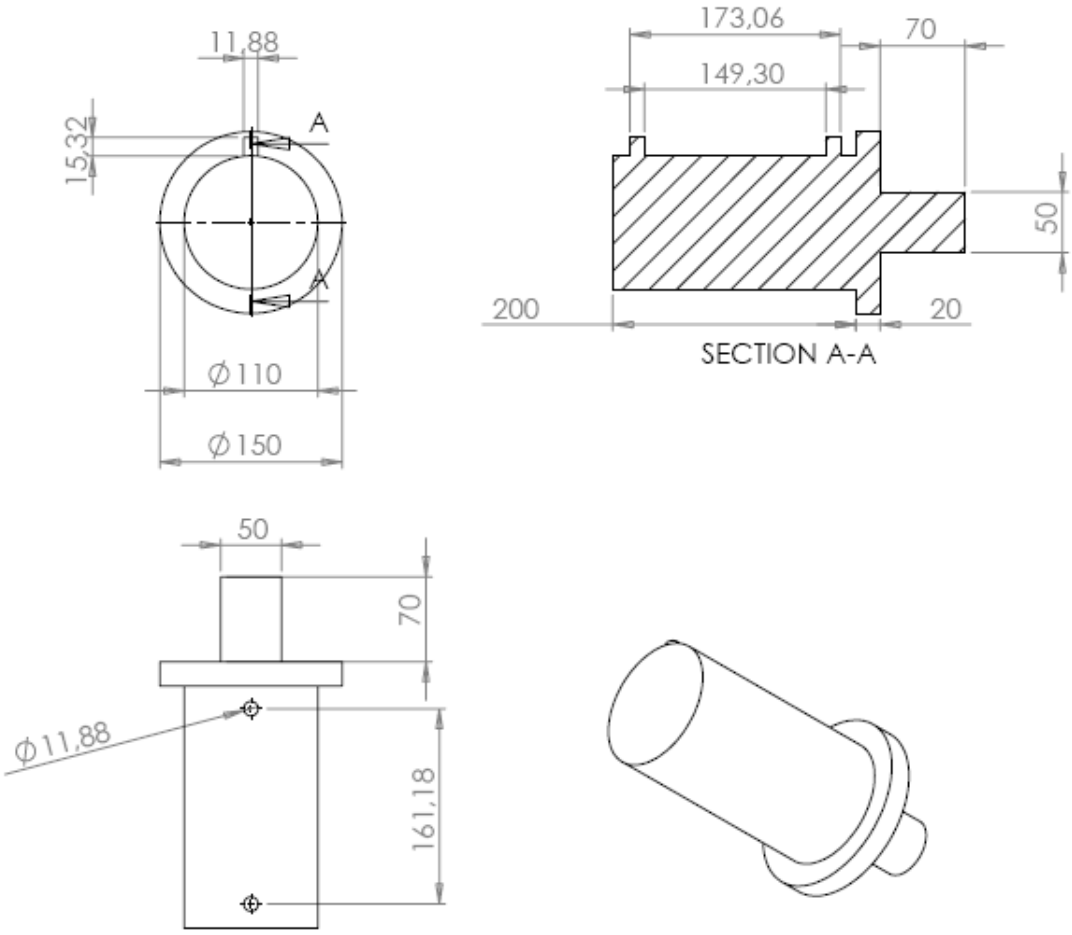
Şekil **A. 16** Rulo açma kısmı



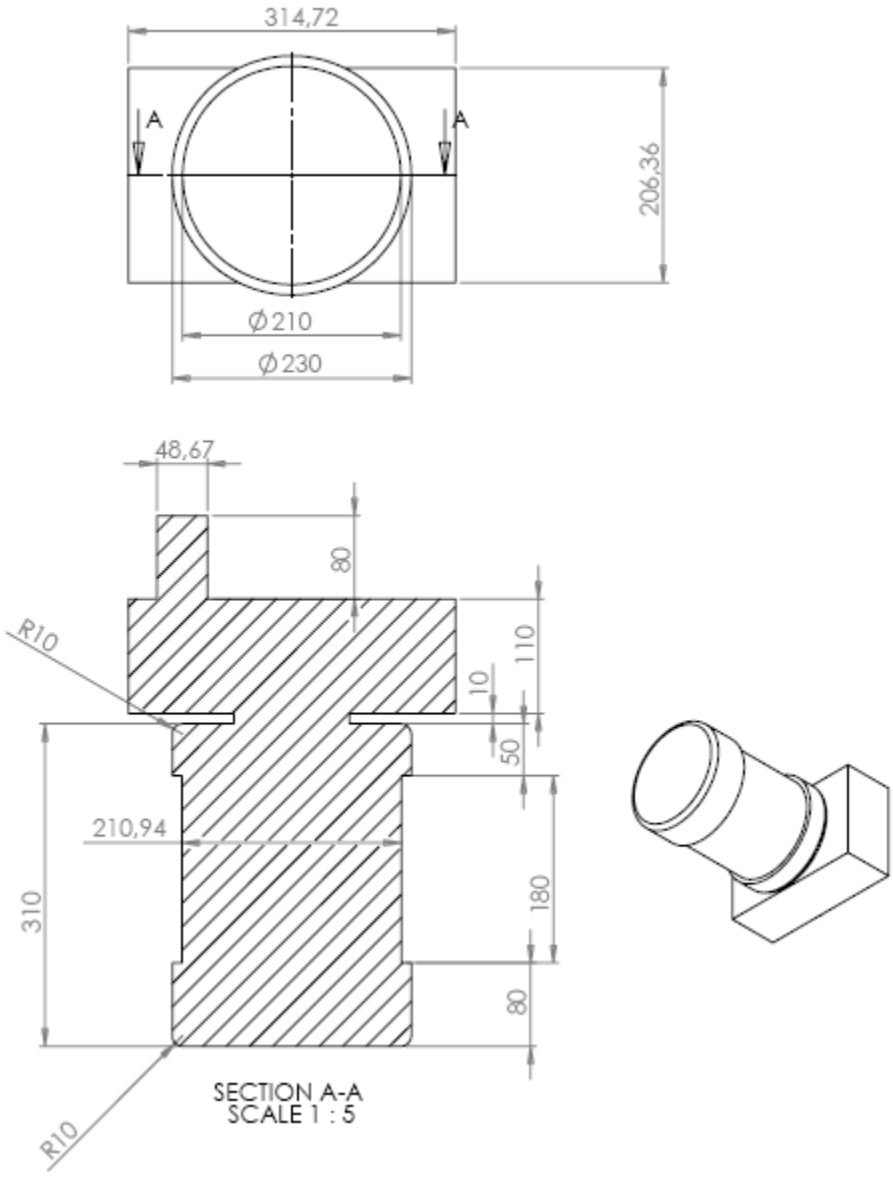
Şekil **A. 17** Rulo açma bağlantı kısmı



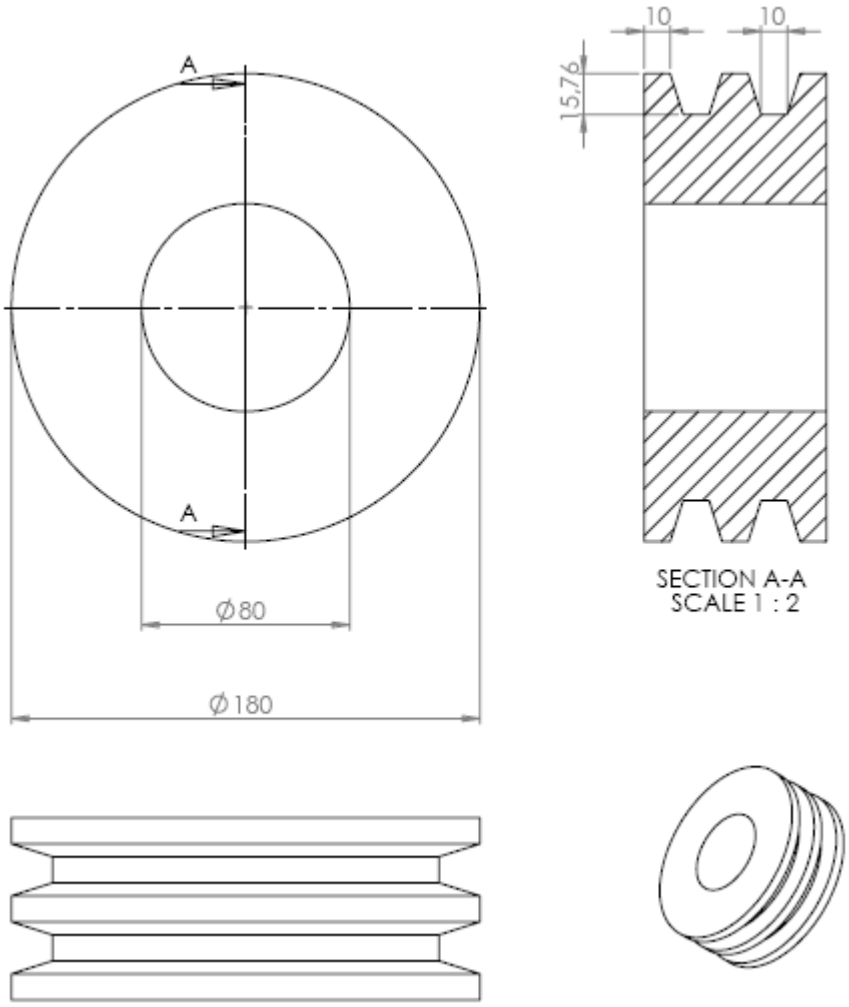
Şekil **A. 18** 6309 rulman



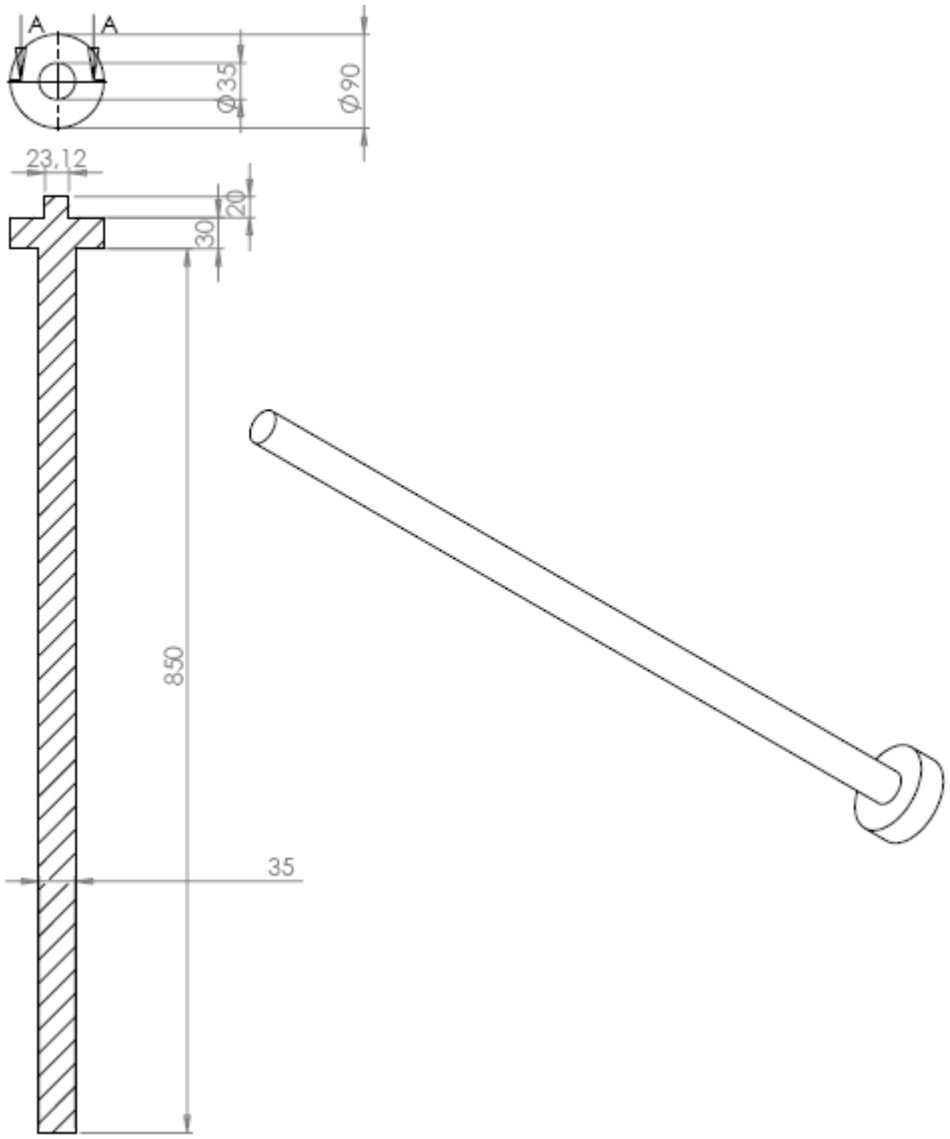
Şekil **A. 19** Rulo açma hidrolik ünite



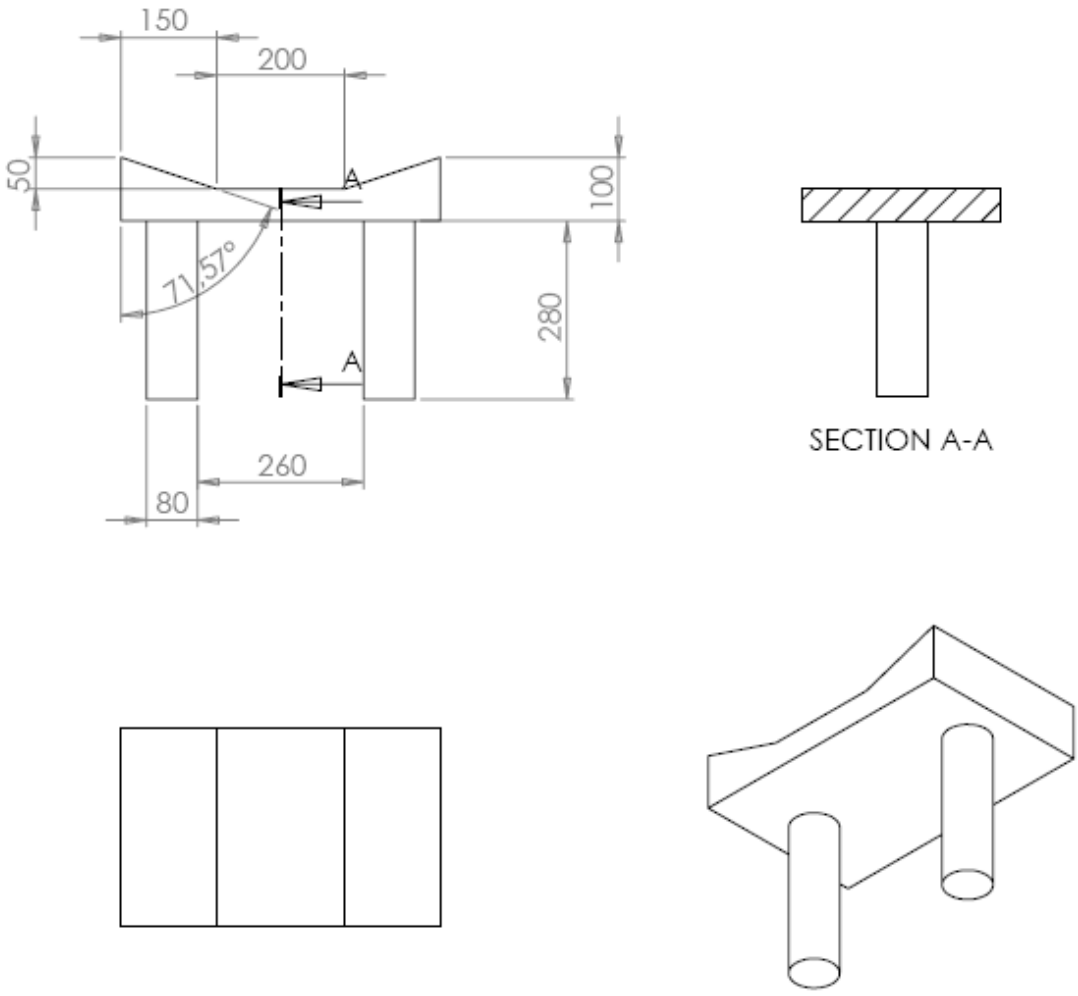
Şekil **A. 20** Rulo açma elektrik motoru



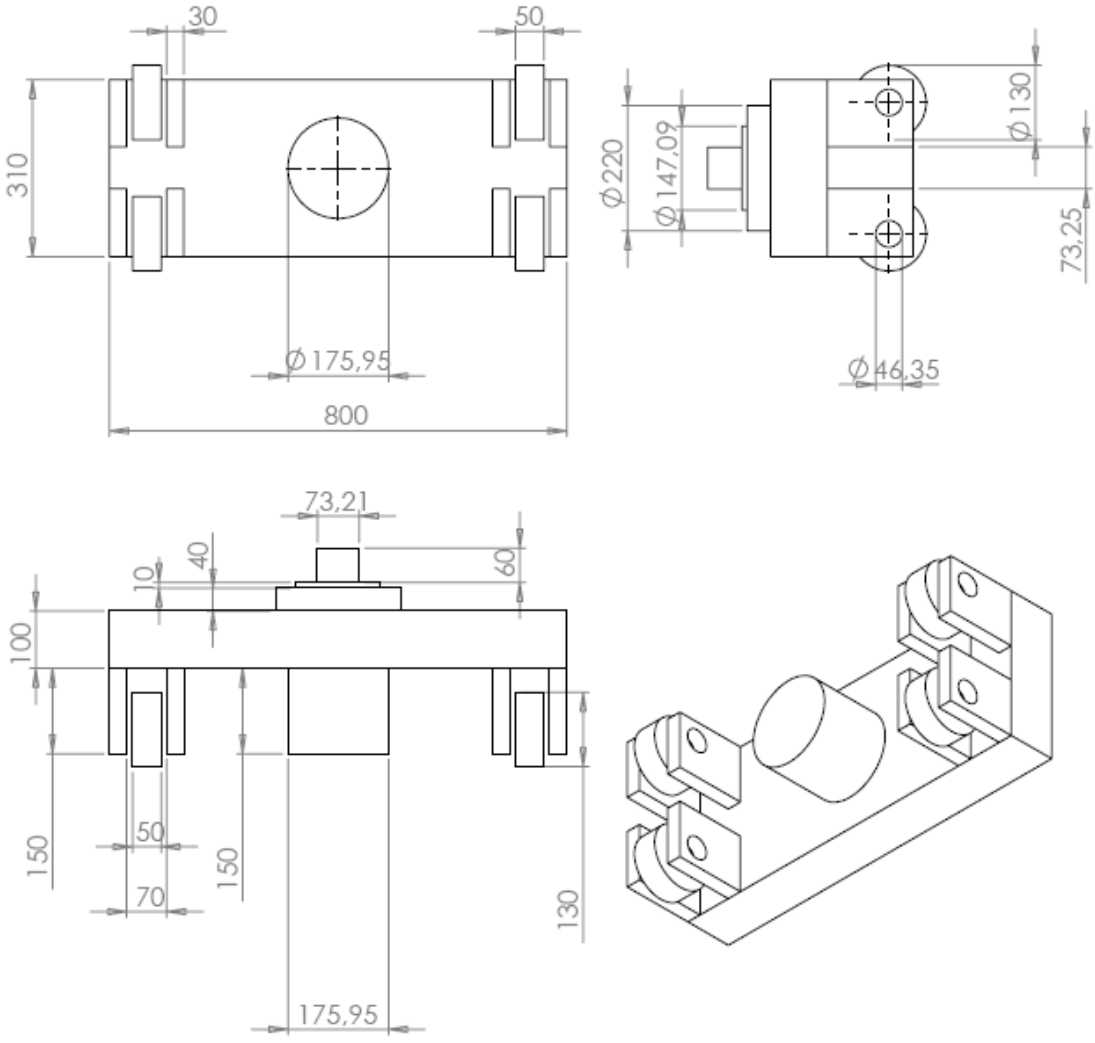
Şekil **A. 21** Helisel taşlanmış kremeyer dişli



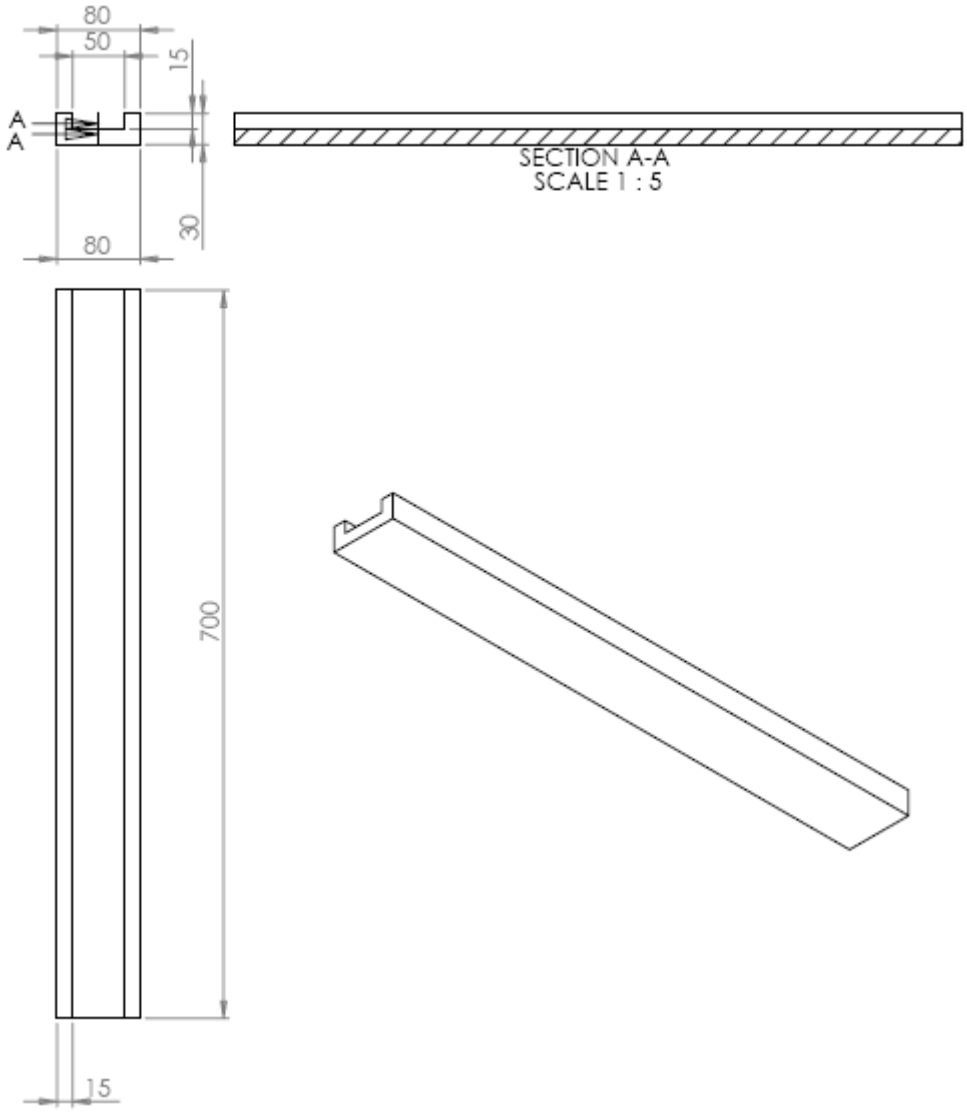
Şekil **A. 22** Rulo açma bağlantı mili



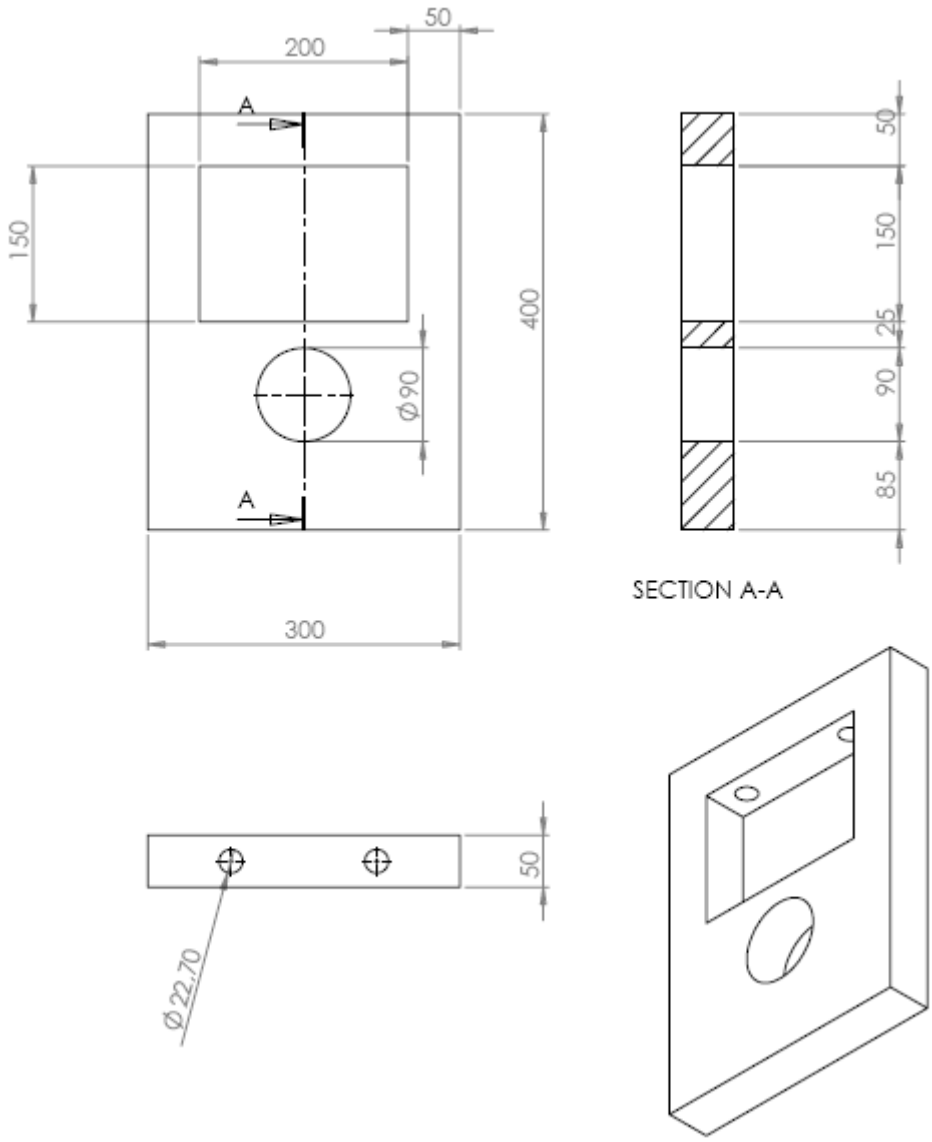
Şekil **A. 23** Sac rulo taşıma kısmı



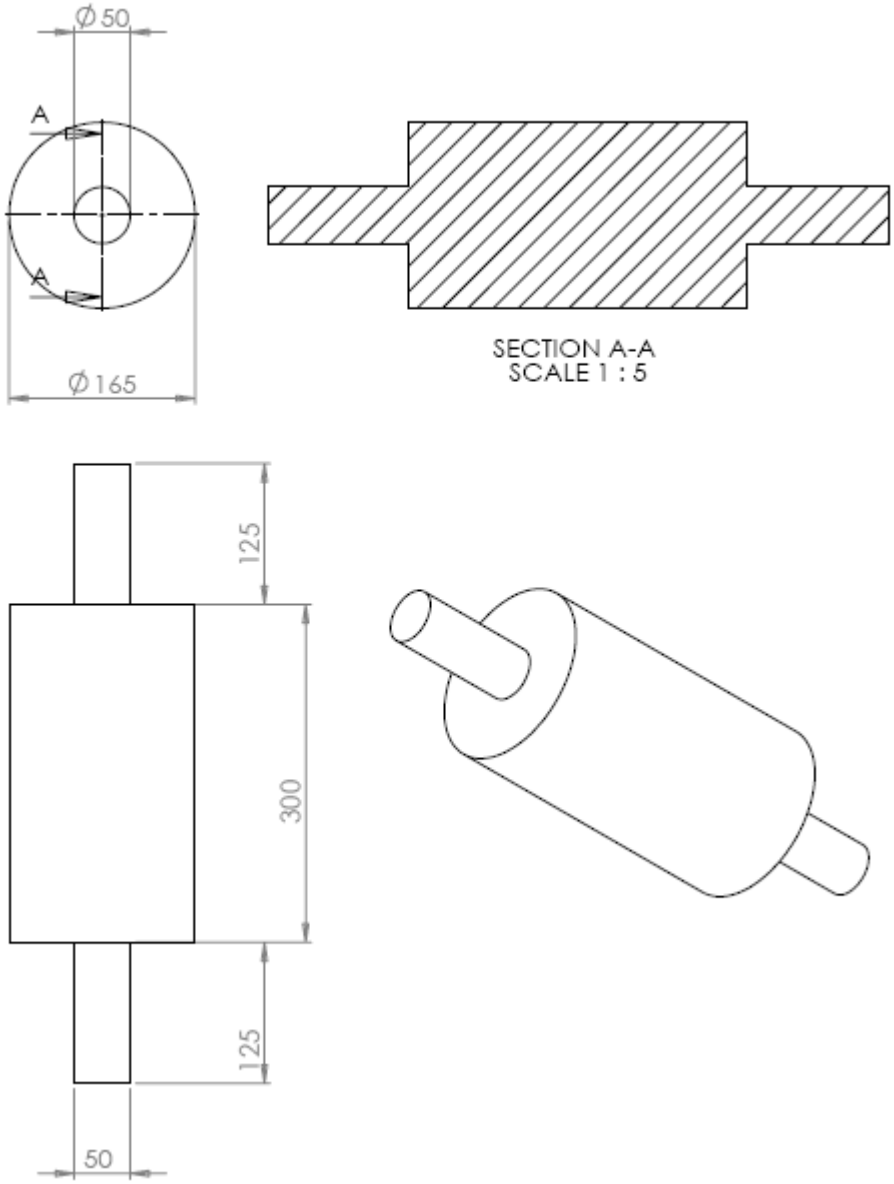
Şekil **A. 24** 30 mm uzun geniş araba



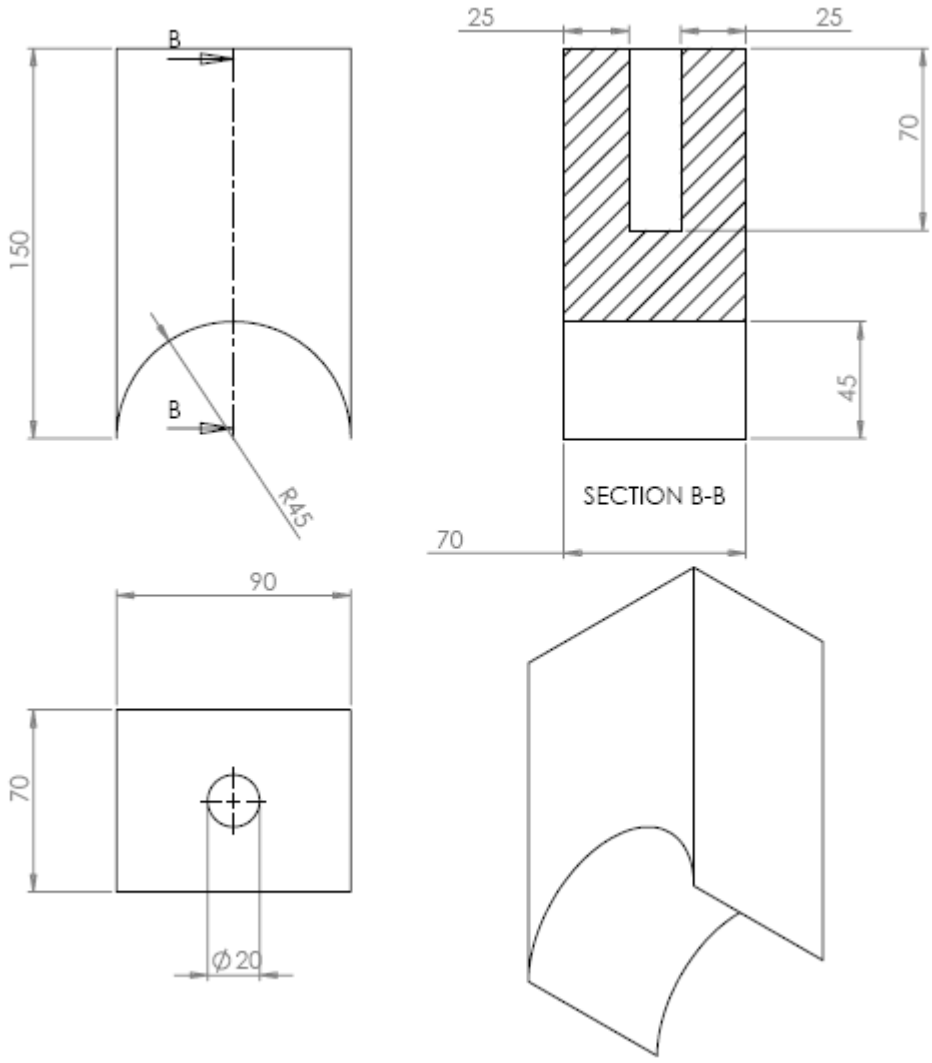
Şekil **A. 25** 30 mm lineer ray



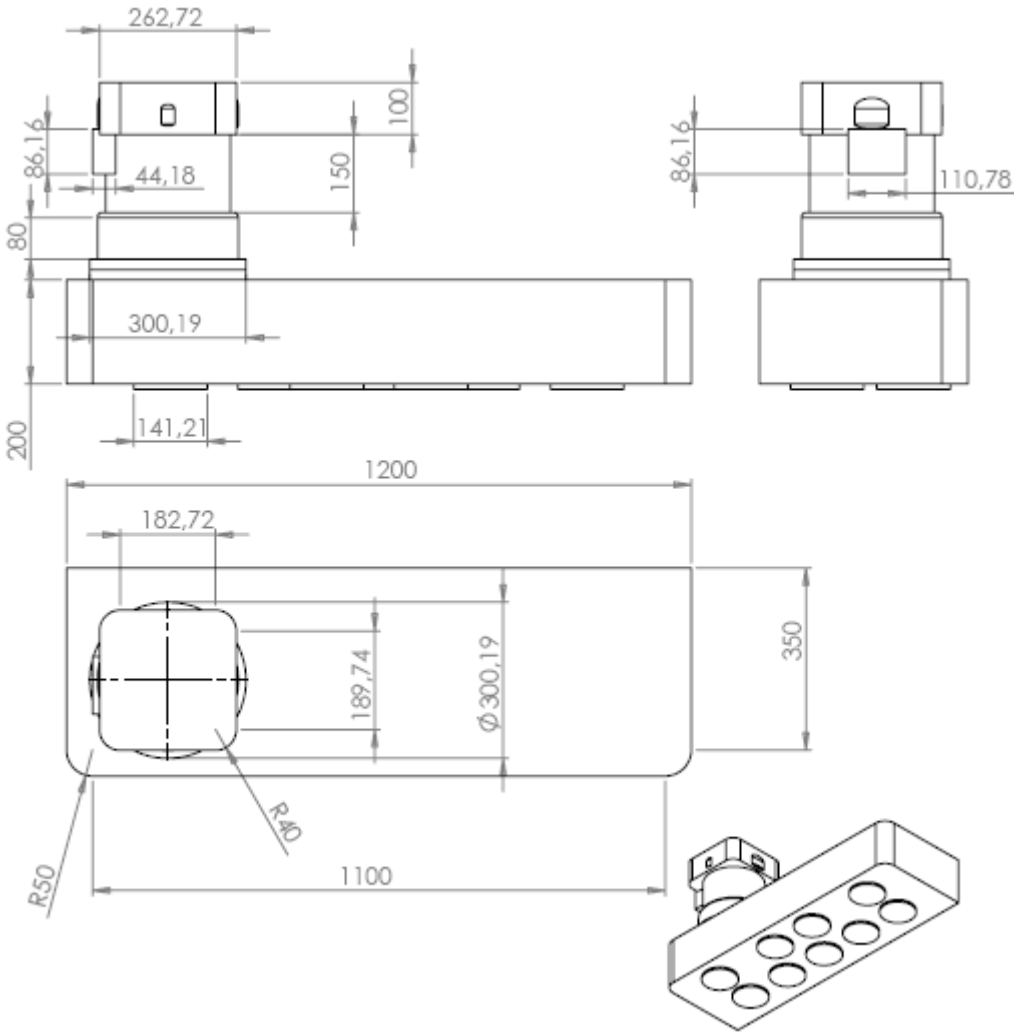
Şekil **A. 26** Roller form mil yataklama kalıbı



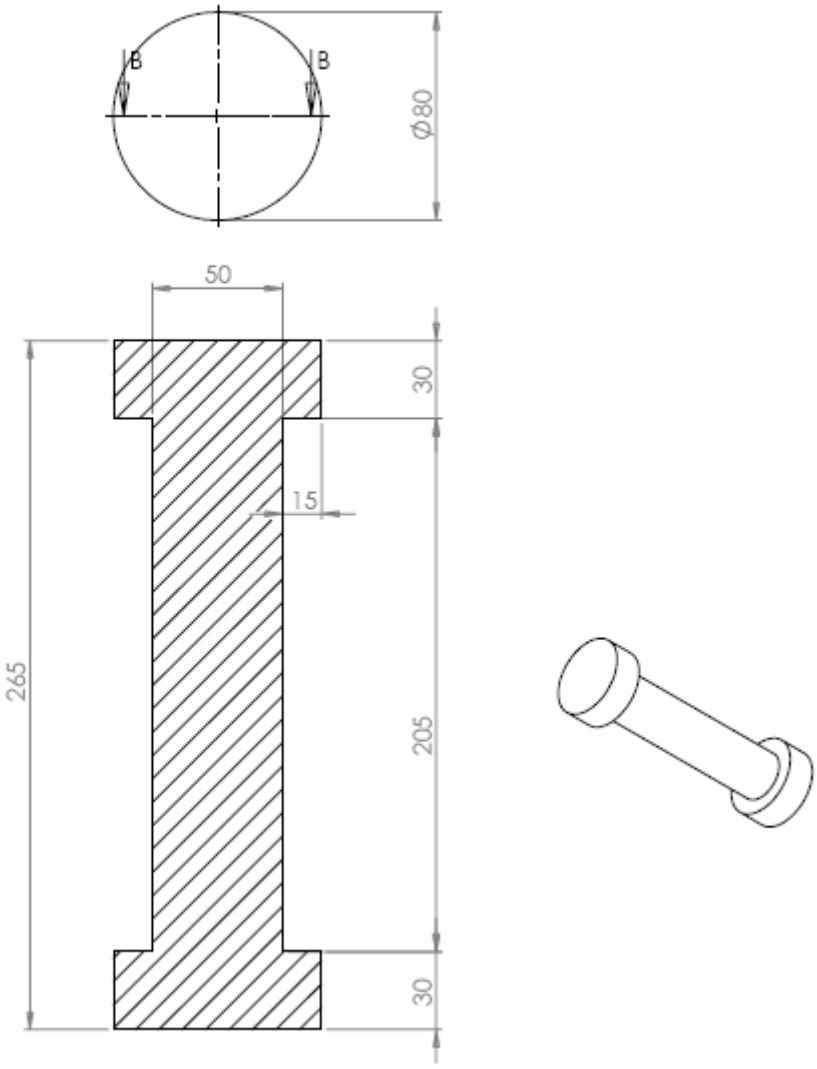
Şekil **A. 27** Sac doğrultucu rulo



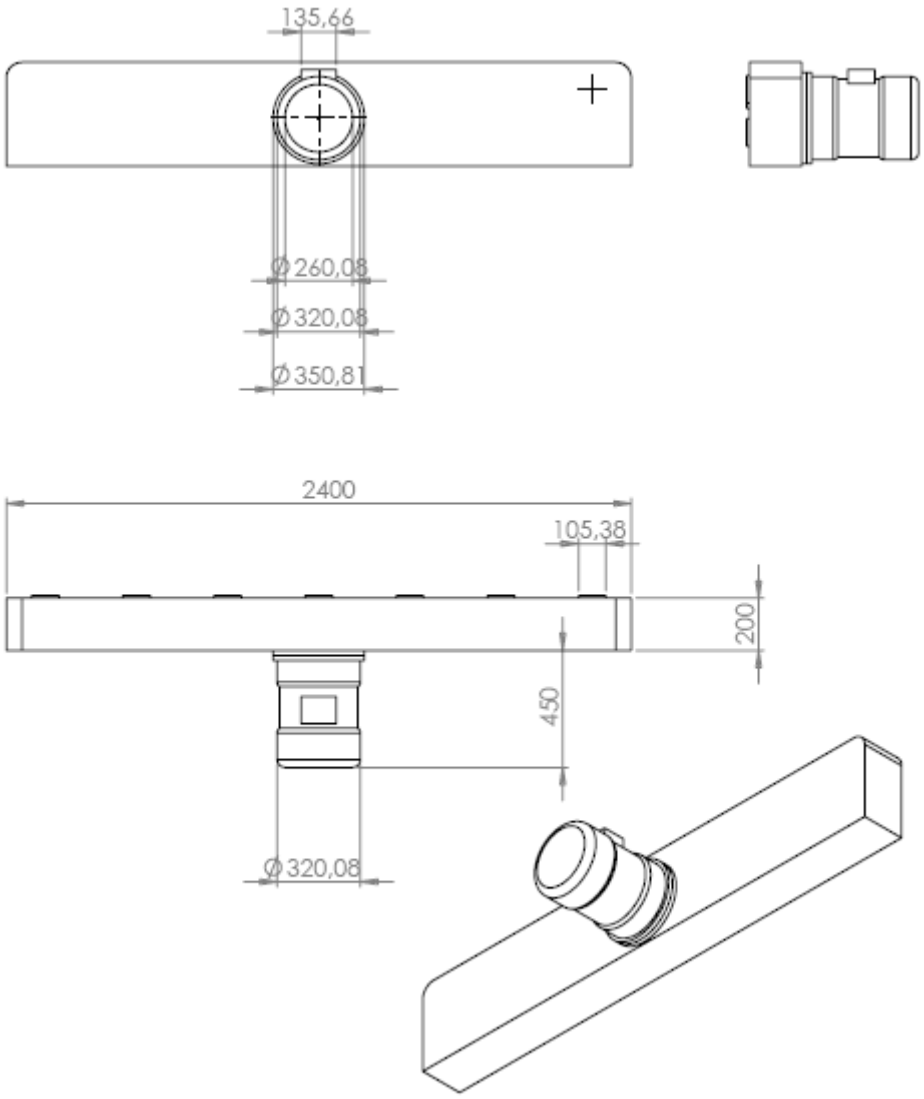
Şekil **A. 28** Doğrultucu bağlantı kısmı



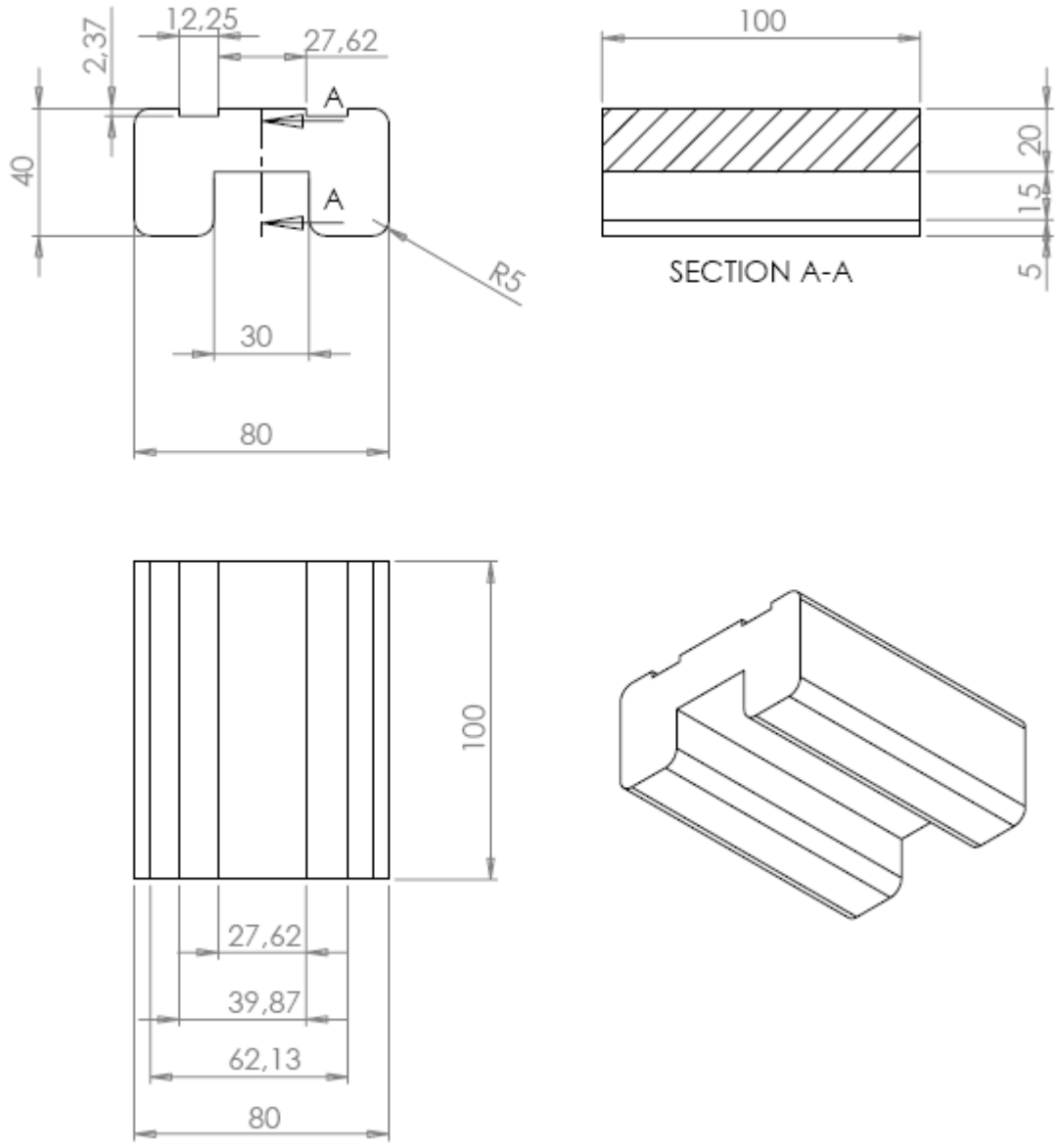
Şekil **A. 29** Doğrultucu için monoblok gövde 9’ lu özel redüktör



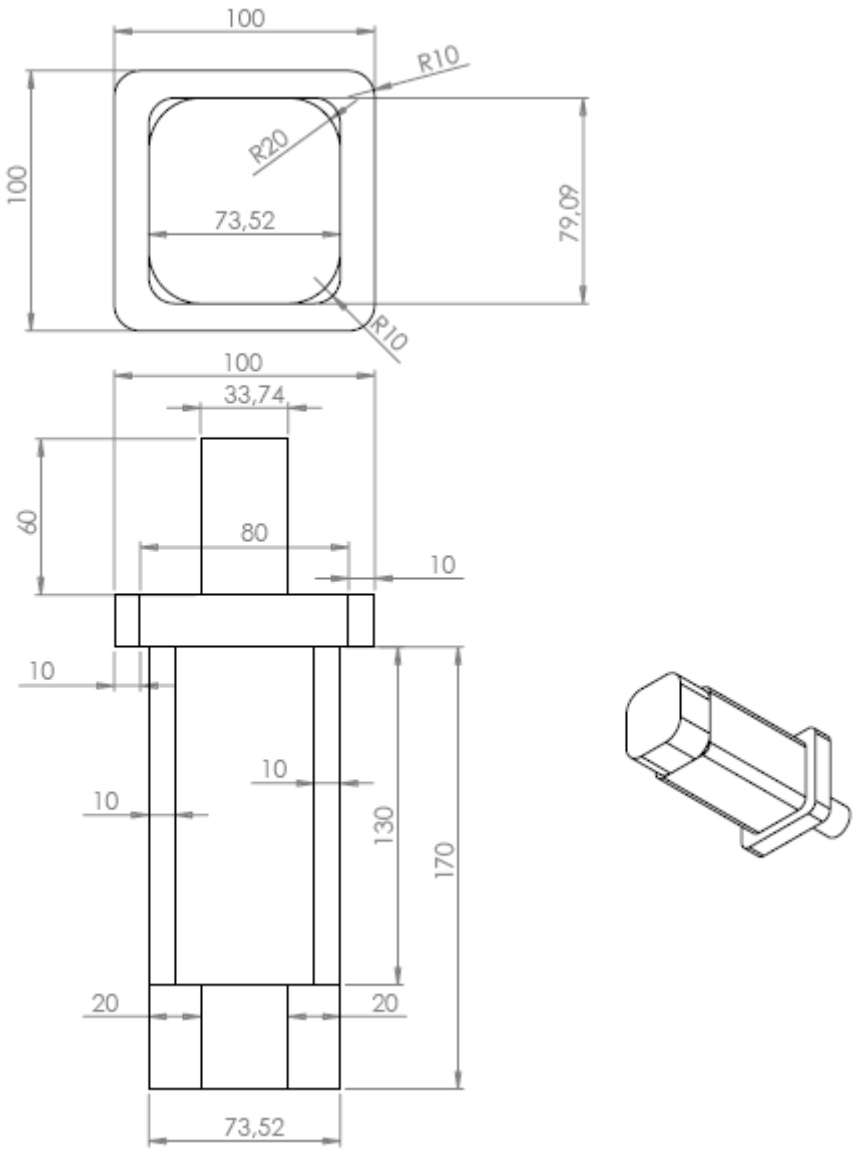
Şekil **A. 30** Doğrultucu mili



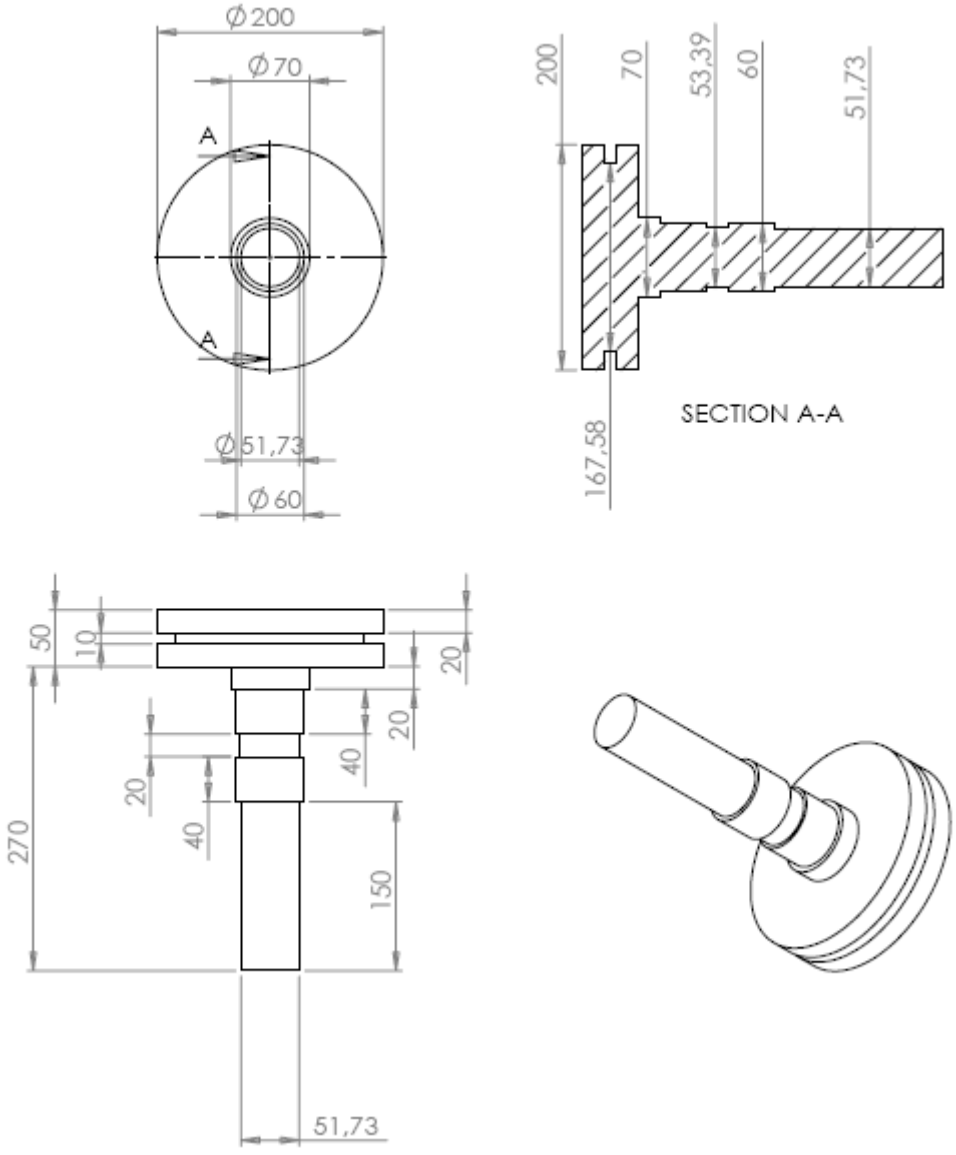
Şekil **A. 31** Monoblok gövde 14’ lü özel redüktör



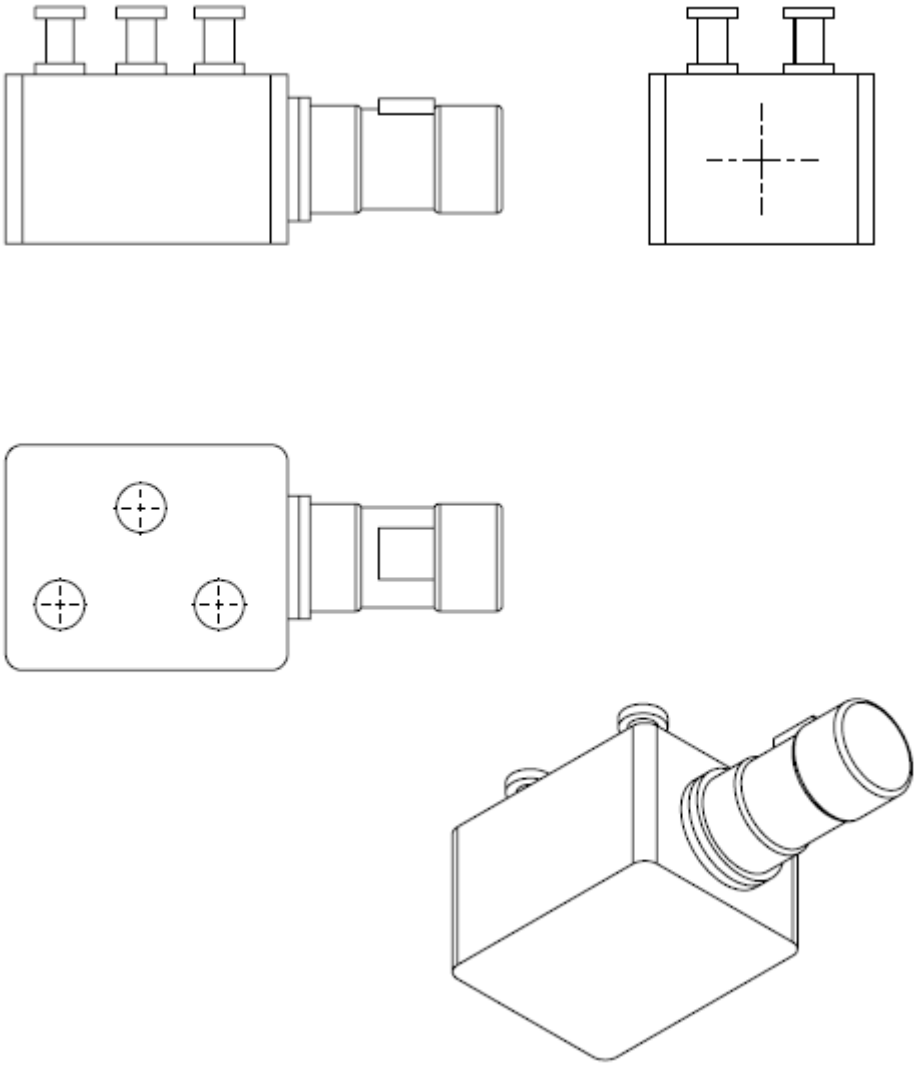
Şekil **A. 32** Bağlantı elemanı



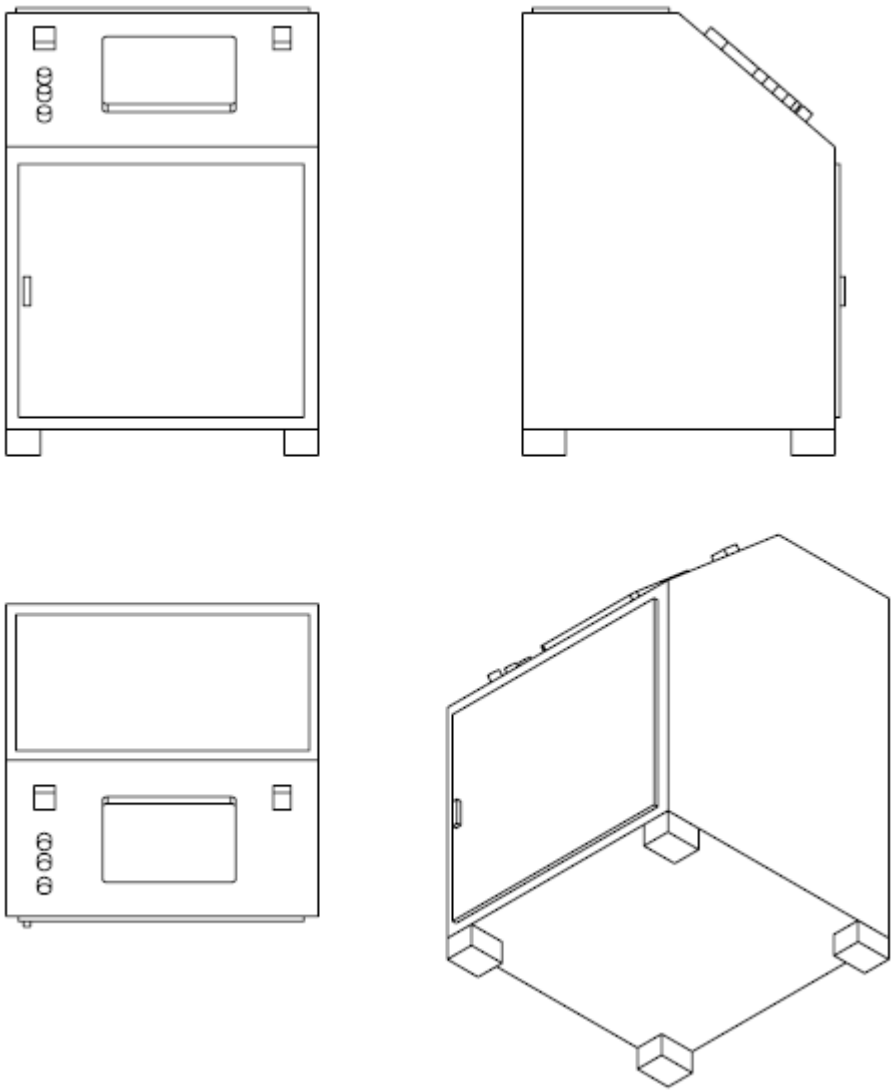
Şekil **A. 33** Pnömatik valf



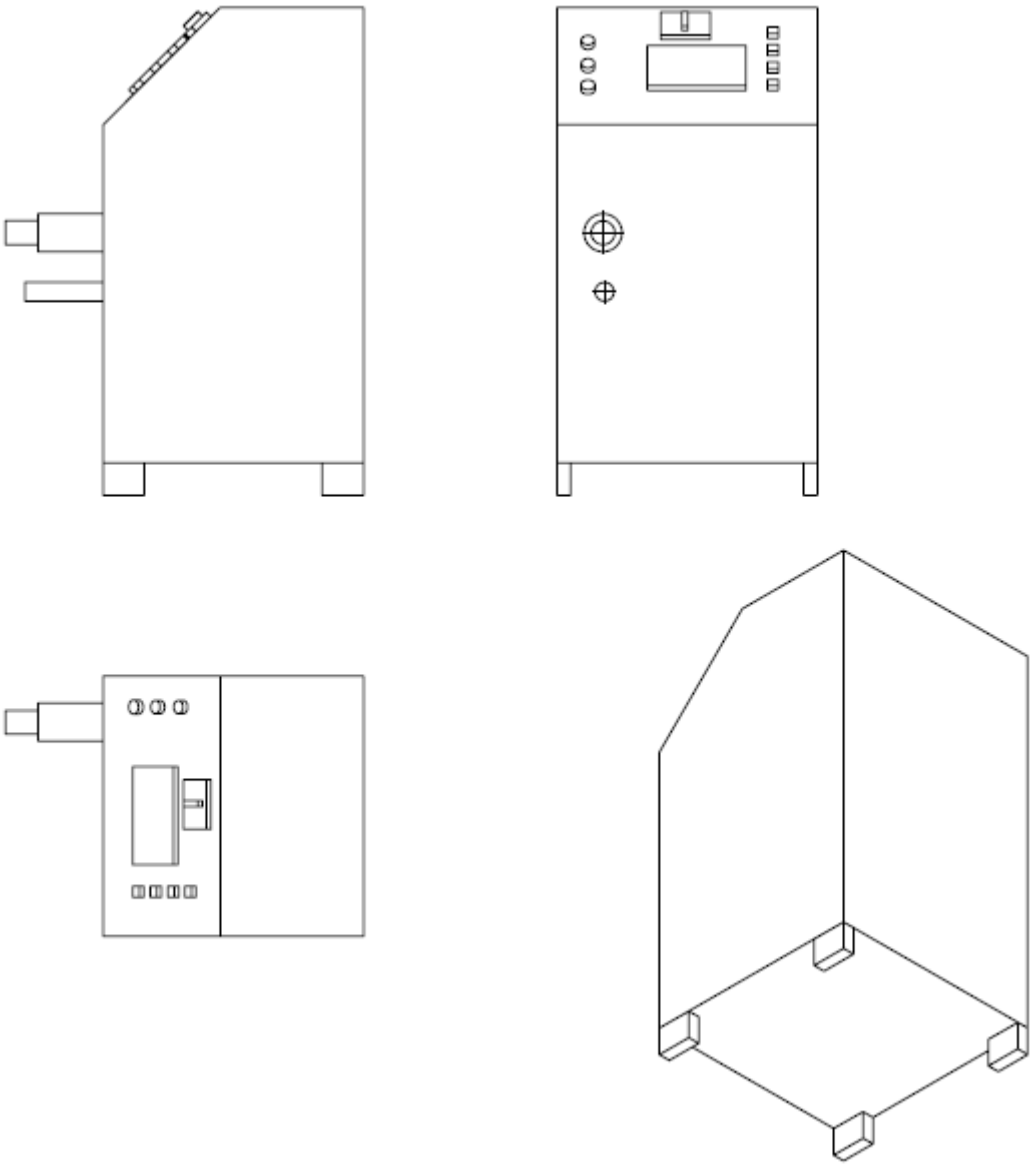
Şekil **A. 34** Merdane



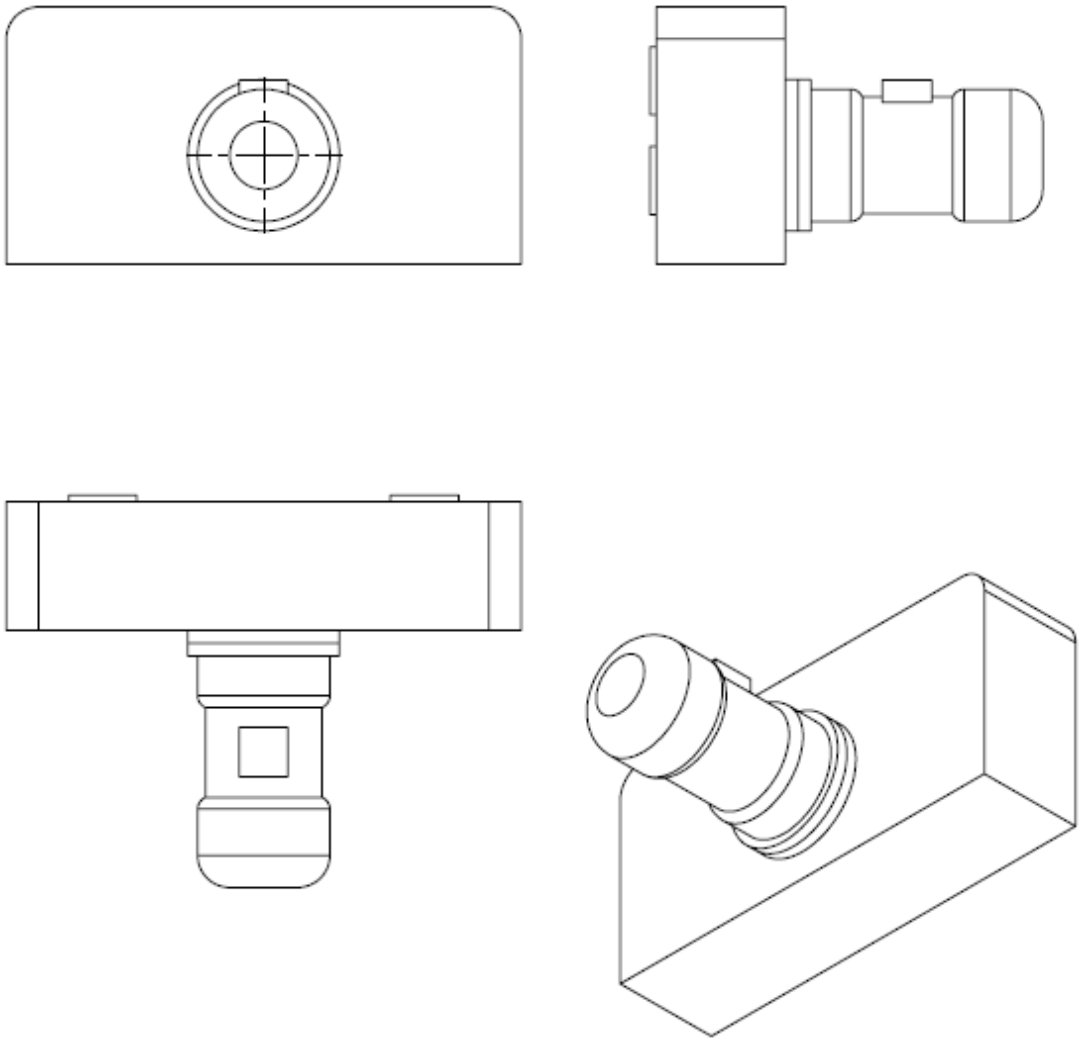
Şekil **A. 35** 5,5 kW 200 d/dk özel 3’ lü redüktör



Şekil **A. 36** Kontrol ünitesi



Şekil **A. 37** TIG Kaynak Makinesi 500 A



Şekil **A. 38** Kaynak sürme için 3 kW elektrik motoru