

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN  
ÇELİK PROFİLLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Metalurji ve Malz. Müh. Sezai ORHAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin UZUN**

**Mayıs 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

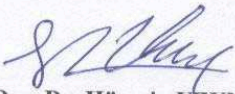
**YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN  
ÇELİK PROFİLLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

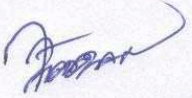
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

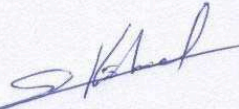
**Metalurji ve Malz. Müh. Sezai ORHAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

Bu tez 12/05/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Hüseyin UZUN  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. Ramazan YILMAZ  
Üye

  
Y. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL  
Üye

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalışmamın yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında fikir ve nerileri ile destek olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Hüseyin UZUN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmalarımın profil imalatı bölümünü gerçekleŐtirdiĐim Karadeniz Boru Profil San. ve Tic. Ltd. Şti. alışanlarına, deneysel çalışmalar için numuneleri hazırlamamda bana destek olan Birlik Makina personeline, mekanik deneylerimi yaptığım Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarı çalışanlarına ve metalografik çalışmalarımı gerçekleŐtirdiĐim ERDEMİR Ar-Ge/Kalite Kontrol Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmalarım sırasında bana destek veren ve her zaman yanımda olan sevgili eŐim Leyla ve ocuklarımız Talha Bora ve Hamza Eren'e teşekkür ederim.

Sezai ORHAN

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ÇELİK PROFİL ÜRETİMİ.....	3
2.1. Profil Üretiminde Kullanılan Çelikler ve Mekanik Özellikleri.....	3
2.2. Profil Çeşitleri ve Standartları.....	3
2.3. Çelik Profil ve Boruların Kullanıldığı Endüstriyel Sektörler.....	8
2.4. Çelik Profillerin Üretim Aşamaları.....	9
2.4.1. Hammadde girişi ve dilme hattı.....	9
2.4.2. Besleyici ve akümülayon.....	13
2.4.3. Form (Boru Sacının Şekillendirilmesi).....	14
2.4.3.1. Birinci kademe form grubu.....	15
2.4.3.2. İkinci kademe form grubu.....	16
2.4.4. Kaynak grubu.....	16
2.4.4.1. Kılavuz merdanesi.....	16
2.4.4.2. Kaynak işlemi.....	17
2.4.4.3. Çapak sıyırıcı.....	18

2.4.4.4. Kılavuz yatak.....	18
2.4.5. Soğutma.....	19
2.4.6. Kalibre.....	19
2.4.7. Türk kafaları makara grubu (Türkankof).....	20
2.4.8. Kesim işlemi.....	20
2.4.9. Doğrultma ve çapak alma aşaması.....	21
2.4.10. Hidrotest aşaması.....	22
2.4.11. Paketleme.....	22

### BÖLÜM 3.

PROFİLLERİN YÜKSEK FREKANS KAYNAK TEKNİĞİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ.....	23
3.1. Giriş.....	23
3.2. Yüksek Frekans Kaynak Tekniğinin Çalışma Prensibi.....	23
3.2.1. Yüksek frekans kaynağında empeder ve özellikleri.....	24
3.2.2. Yüksek Frekans kaynağı metotları.....	26
3.2.2.1. Kontaklı yüksek frekans kaynağı.....	27
3.2.2.1. İndüksiyon bobinli yüksek frekans kaynağı.....	27
3.2.3. Yüksek frekans kaynak donanımı.....	28
3.2.4. Yüksek frekans kaynak tekniğinin avantajları.....	28
3.2.5. Yüksek frekans kaynak tekniğinin dezavantajları.....	29
3.2.6. Yüksek frekans kaynağının uygulama alanları.....	29
3.3. Profillerin Yüksek Frekans Kaynak Tekniği ile Birleştirilmesi.....	30
3.3.1. Profillerin birleştirilmesinde meydana gelen kaynak hataları.....	30
3.3.1.1. Siyah Benekler.....	30
3.3.1.2. Ön ark (beyaz benekler).....	31
3.3.1.3. Yetersiz nüfuziyet.....	32
3.3.1.4. Yanaklarda nüfuziyet eksikliği (buruşma ve kırışmalar).....	32
3.3.1.5. Kaynağın orta kısmının nüfuz etmemesi.....	33
3.3.1.6. Lapa – Çamur Gibi Kaynak (Soğuk Kaynak).....	33
3.3.1.7. Birleşme hattı boyunca açık renk metal görünümü.....	34

3.3.1.8. Gözenek problemi.....	34
3.3.1.9. Dikiş izleri oluşumu.....	35
3.4. Profil Üretiminde Kalite Kontrol İşlemleri.....	35
3.4.1. Metalik malzemelerin çekme deneyi (TS 138 EN 10002-1)...	36
3.4.2. Metalik boruların genişletme muayenesi (TS 10234).....	36
3.4.3. Metalik malzemeler – borular yassılma muayenesi (TS 237 EN 10233).....	37
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>39</b>
4.1. Deneyde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri.....	39
4.2. Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynağı ile Kutu Kare Profil Üretimi.	39
4.2.1. Kaynak parametreleri.....	40
4.3. Çekme Deneyi.....	43
4.4. Köşe Genişletme Deneyi.....	45
4.5. Yassılma Deneyi.....	47
4.6. Metalografik İnceleme.....	48
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>49</b>
5.1. Kutu Profillerin Kaynak Bölgesinin Yüzeysel Görünümü.....	49
5.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	49
5.2.1. Ana malzemenin çekme deneyi.....	50
5.2.2. Kaynak hızının mekanik özelliklere etkisi.....	51
5.2.3. Kaynak akımının mekanik özelliklere etkisi.....	53
5.2.4. Kaynak role konumu ve baskısının mekanik özelliklere etkisi.....	55
5.2.5. Empederin konumu ve çapının mekanik özelliklere etkisi..	57
5.2.6. İndüksiyon bobininin çapı ve konumunun mekanik özelliklere etkisi.....	58
5.3. Köşe Genişletme Deneyi Sonuçları.....	59
5.3.1. Kaynak hızının etkisi.....	60
5.3.2. Kaynak akımının etkisi.....	61

5.3.3. Kaynak rollerinin konumu, baskı etkisi ve eksenelliği.....	62
5.3.4. Empederin konumu ve çapının etkisi.....	63
5.3.5. İndüksiyon bobininin çapı ve konumunun etkisi.....	64
5.4. Yassılma Deneyi Sonuçları.....	66
5.5. Mikroyapı İncelemeleri.....	69
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
6.1. Genel Sonuçlar.....	74
6.2. Öneriler.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	79

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
TS	: Türk Standardı
EN	: Euro Norm
DIN	: Deutsches Institut für Normung
JIS	: Japanese Industrial Standards
NF	: French Standards
BS	: British Standards
R <sub>m</sub>	: Çekme Dayanımı
Re	: Akma dayanımı
A <sub>5</sub>	: Uzama ( $L_0:5,65X\sqrt{S_0}$ )
A <sub>80</sub>	: Uzama (L <sub>0</sub> : 80 mm)



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Profil boruların imalat aşamaları.....	10
Şekil 2.2.	Hatalı dilinmiş bir sac kenarı örneği.....	11
Şekil 2.3.	Dilinen bantların boru haline geldiğindeki çapaklarının görünümü.....	11
Şekil 2.4.	Dilme hattı şematik resmi.....	12
Şekil 2.5.	Besleyicinin şematik görüntüsü.....	14
Şekil 2.6.	Akümülayonun şematik görüntüsü.....	14
Şekil 2.7.	Birinci kademe form grubu.....	15
Şekil 2.8.	İkinci kademe form grubu.....	16
Şekil 2.9.	Kaynak rolelerinin konumunun şematik görünümü.....	17
Şekil 2.10.	Kaynak grubu şekillendirme makara grubu.....	18
Şekil 2.11.	Katerlik.....	18
Şekil 2.12.	Kalibre dik ve yan kalıp grupları.....	20
Şekil 2.13.	Türk kafaları makara grubu.....	20
Şekil 2.14.	Kesme aşaması şematik resmi.....	21
Şekil 2.15.	Boru ucu çapak alma makinesi şeması.....	21
Şekil 2.16.	Hidrotest ünitesi şeması.....	22
Şekil 3.1.	Yüksek frekans kaynağı metodunun uygulamadaki şematik görünümü.....	24
Şekil 3.2.	Empederin şekli ve yerleşimi.....	25
Şekil 3.3.	Ferrit çubuk örnekleri.....	25
Şekil 3.4.	Bağlantı yeri ve bakır çubuk.....	26
Şekil 3.5.	Sistemde kullanılan hazır empeder örnekleri.....	26
Şekil 3.6.	Kontaklı yüksek frekans kaynak tekniğinde kontakların yerleştirilmesi.....	27
Şekil 3.7.	İndüksiyon bobinli yüksek frekans kaynak tekniğinde kontakların yerleştirilmesi.....	27

Şekil 3.8.	Dar Vee açısından ortaya çıkabilecek siyah benek hataları.....	31
Şekil 3.9.	Vee'nin hava alıp vermesinden ortaya çıkabilecek peşisıra siyah benek hataları.....	31
Şekil 3.10.	Ön ark oluşum probleminin şematik gösterilişi.....	31
Şekil 3.11.	İçine işlememiş yetersiz nüfuziyet kaynak oluşumu.....	32
Şekil 3.12.	Yanaklarda meydana gelebilecek nüfuziyet eksikliği problemi şematik olarak gösterilişi.....	33
Şekil 3.13.	Kaynağın orta kısmının nüfuz etmemesi problemi şematik olarak gösterilişi.....	33
Şekil 3.14.	Soğuk kaynak görünümü.....	34
Şekil 3.15.	Birleştirme hattı boyunca görülebilen açık renk kaynak hatası.....	34
Şekil 3.16.	Gözenek probleminin şematik gösterilişi.....	34
Şekil 3.17.	Profilin üzerindeki dikiş izlerinin şematik olarak gösterilişi.....	35
Şekil 3.18.	Şematik genişletme test düzeneği.....	37
Şekil 3.19.	Yassıltma deneyi şematik görüntüsü.....	38
Şekil 4.1.	Kutu kare profil imalatı için kullanılan makine ve teçhizatın resmi	40
Şekil 4.2.	Çekme deney numunesi ve ebatları.....	44
Şekil 4.3.	Çekme deneyi için hazırlanan numunenin fotoğrafı ve alındığı profil yüzeyleri.....	44
Şekil 4.4.	Köşe genişletme numunesinin fotoğrafı.....	45
Şekil 4.5.	Köşe genişletme deneyinde kullanılan ve TS 272'ye göre hazırlanan mandrel ve ebatları.....	46
Şekil 4.6.	Köşe genişletme deneyinin uygulanışı.....	46
Şekil 4.7.	Yassıltma deneyi numunesinin fotoğrafı.....	47
Şekil 4.8.	Yassıltma deneyinin uygulanışı.....	47
Şekil 5.1.	Kaynak bölgesinin profil yüzeyindeki görünüşü.....	49
Şekil 5.2.	Ana malzemenin çekme testi sonucu elde edilen gerilim-% uzama grafiği.....	51
Şekil 5.3.	Çekme testi uygulanarak kopan ana malzemenin fotoğrafı.....	51
Şekil 5.4.	Numune 1'in gerilim - % uzama grafik eğrileri (hız 60 m/dk, akım 625 amper, indüksiyon çapı Ø42 mm kaynak rollerine olan mesafe 4 mm, empeder çapı 25 mm ve empeder konumu 4-5 mm kaynak rollerini geçecek şekildedir).....	52

Şekil 5.5.	Numune 7'nin gerilim - % uzama grafik eğrileri (kaynak akımı 750 amper ve kaynak hızı 60 m/dk).....	54
Şekil 5.6.	Köşe genişletme deneyi sonrası numunedeki şekil değişimi.....	60
Şekil 5.7.	Numune 10'in köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği (kaynak hızı 65 m/dk ve kaynak akımı 625 amper).....	61
Şekil 5.8.	Numune 2'nin köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	62
Şekil 5.9.	Numune 12'nin köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	63
Şekil 5.10.	Numune 13'ün köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	63
Şekil 5.11.	Numune 14'ün köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	64
Şekil 5.12.	Numune 15'in köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	64
Şekil 5.13.	Numune 16'nın köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	65
Şekil 5.14.	Numune 17'nin köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	66
Şekil 5.15.	Numune 19'un köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük mesafe grafiği.....	66
Şekil 5.16.	Yassıltma deney sonucunda meydana gelen profilin şekil değişimi.....	67
Şekil 5.17.	Numune 8'in yassıltma deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği.....	68
Şekil 5.18.	Kodu 8 olan numuneye ait kaynak bölgesi makroyapısı.....	70
Şekil 5.19.	Kodu 8 olan numuneye ait kaynak bölgesi mikroyapısı.....	71
Şekil 5.20.	Kodu 1 olan numuneye ait kaynak bölgesi makroyapısı.....	72
Şekil 5.21.	Kodu 1 olan numuneye ait kaynak bölgesi mikroyapısı.....	73

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	DIN 2395-3 standardına göre kare ve dikdörtgen profiller için kullanılan çelikler ve kimyasal içerikleri.....	4
Tablo 2.2.	DIN 2395-3 standardında ana malzeme ve kaynak sonrası mekanik özellikler.....	4
Tablo 2.3.	TS 6476 standardına göre boru üretiminde kullanılan çelik kaliteleri için kimyasal içerikleri.....	5
Tablo 2.4.	TS 6476 standardına uygun boru üretiminde kullanılan çelik kaliteleri için mekanik değerler.....	5
Tablo 2.5.	EN 10219 / 2 standardına göre boru, kare ve dikdörtgen kesitli profillerin ebat toleransları.....	6
Tablo 2.6.	Dikdörtgen kutu profil ebatlarına göre hesaplanmış profil ağırlıkları.....	7
Tablo 2.7.	Kare kutu profil ebatlarına göre hesaplanmış profil ağırlıkları.....	8
Tablo 2.8.	Belirli çaptaki boru ve profiller için bant genişlikleri.....	13
Tablo 4.1.	DIN 10130 kalite DC01 çeliğin kimyasal içerik ve mekanik değerleri.....	39
Tablo 4.2.	Kare kutu profil imalatı için kullanılan kaynak akım değerleri.....	41
Tablo 4.3.	Profil üretiminde kullanılan kaynak hızı parametreleri.....	42
Tablo 4.4.	İndüksiyon bobin çapı değiştirilerek imal edilen profillerin kaynak parametreleri.....	43
Tablo 4.5.	İndüksiyon bobin konumunu değiştirilerek imal edilen profillerin kaynak parametreleri.....	43
Tablo 5.1.	DIN 10130 Kalite DC01 çeliğinin deneysel ve standartlarda verilen mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....	50
Tablo 5.2.	Kaynak akımının sabit, kaynak hızının değişken olduğu durumda üretilen numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	52

Tablo 5.3.	Kaynak hızının sabit, kaynak akımının değişken olduğu durumda üretilen numunelerin çekme testi sonuçları.....	54
Tablo 5.4.	Eksenel kaçıklığı olan ve olmayan numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	56
Tablo 5.5.	Kaynak rolelerinin iyice sıkılmış ve iyice sıkılmamış şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	56
Tablo 5.6.	Empederin kaynak role merkezinden 4 mm ileride ve 60 mm geride olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	57
Tablo 5.7.	Empeder çapının Ø 25 mm ve Ø 12 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	58
Tablo 5.8.	İndüksiyon bobin çapının Ø 44 mm ve Ø 82 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	58
Tablo 5.9.	İndüksiyon bobininin kaynak role merkezinden 4 mm, 75 mm ve 150 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	59
Tablo 5.10	Kaynak hızının değiştirilerek imal edildiği numunelere ait köşe genişletme deneyi sonuçları.....	61
Tablo 5.11	Kaynak akımının değiştirilerek imal edildiği numunelere ait köşe genişletme deneyi sonuçları.....	62
Tablo 5.12	Yassılma deneyi sonucu ele edilen maksimum yük değerleri.....	68

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yüksek frekans indüksiyon kaynak yöntemi, Kare kutu profil imalatı, Kaynak parametreleri, Köşe genişletme deneyi, Yassıltma deneyi.

Bu çalışmada, yüksek frekans indüksiyon kaynak yöntemiyle kare kutu profiller üretilmiştir. Kare kutu profillerin üretimi esnasında kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, empeder konumu, empeder çapı, indüksiyon bobin konumu, indüksiyon bobin çapı, kaynak role konumu ve kaynak role baskısı etkenleri değiştirilerek bu parametrelerin kaynak kalitesini nasıl etkilediği ve mekanik özellikleri nasıl değiştirdiği ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Mekanik özelliklerin tespitinde yassıltma (TS 237 EN 10233), köşe genişletme (TS EN 10234) ve çekme deneyi (TS 138 EN 10002-1) teknikleri kullanılmıştır. Farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilen profillerin birleştirme bölgelerinin mikroyapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; (1) yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniğinin profil imalatına elverişli ve seri üretimine olanak tanıyan ekonomik bir yöntem olduğu, (2) kaynak işleminde kaynak akım değerlerinin düşük ve yüksek olmaması gerektiği, (3) kutu kare profillerin mekanik testleri sonucunda elde edilen eğrilerin birbirinden farklı özelliklerde olduğu ve değerlendirme açısından çekme, yassıltma ve köşe genişletme deneylerinin yapılarak sonuçların beraberce değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonunda kutu profil imalatında kullanılacak birbiriyle uyumlu en uygun kaynak parametreleri; (a) Kaynak akımı için 600-625 amper, (b) Kaynak hızı için 60-65 m/dak, (c) Kaynak roleleri aksel kaçıklık verilmeden ayarlanmış, (d) Kaynak roleleri iyice sıkıştırılmış, (e) Empeder kaynak role merkezini 4 mm geçecek şekilde konumlandırılmış, (f) Empeder çapı Ø 25 mm seçilmiş, (g) İndüksiyon bobin çapı Ø 44 mm seçilmiş ve (f) İndüksiyon bobini kaynak role merkezinden 4 mm uzaklığa yerleştirilmiş olmalıdır.

# **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL TUBE WELDED BY HIGH FREQUENCY INDUCTION WELDING TECHNIQUE**

## **SUMMARY**

Keywords: High frequency induction welding technique, Steel tube, Welding parameters, The flattening testing, The drift expanding testing.

In this study, the steel square tube was produced by the high frequency (HF) induction welding technique. In order to produce the steel square tube, it was employed different welding parameters such as welding current, welding voltage, welding speed, coil diameter and position, impeder diameter and position, weld roll position and weld roll pressing. It was evaluated the effect of these welding parameters on mechanical properties and weld performance. It was used for the experimental studies the tensile testing (TS 138 EN 10002-1), the drift expanding testing (TS EN 10234) and the flattening testing on tubes (TS 237 EN 10233). It was investigated the microstructures of welding zone with using the optical microscopy.

The results show that the high frequency (HF) induction welding technique is one of the most efficiently method to produce the acceptable steel square tubing because of the high production speeds, welding quality and saving money. The welding current can be adjusted at the ideal situation whether very high or very low not. It should be evaluated the mechanical test results altogether due to the different curves obtained the employed mechanical testing of the tensile, the drift expanding and the flattening. At the results of the experimental studies, it was determined the well-adjusted welding parameters for the production of the steel square tube as follows: (a) the welding currents of 600-625 amp., (b) welding speeds of 60-65 m/min., (c) the adjusting of welding roll without axial deviation, (d) the well tightening of welding rolls, (e) the impeder was positioned 4mm the distance from the weld roll centerline, (f) the impeder diameter of  $\varnothing$  25 mm, (g) the coil diameter of  $\varnothing$  44 mm and (h) the coil was positioned 4mm the distance from the weld roll centerline.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profiller, metalik möble imalatı, çatı konstrüksiyonları, otomotiv sektöründe karasör ve kasa imalatı, bisiklet ve çelik eşya imalatı, okul sırası ve masası imalatı, inşaatlarda yapı elamanları olarak pek çok endüstriyel sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kare ve dikdörtgen kutu profiller, seri ve hızlı imalata uygun değişik kalitelere ve kalınlıklardaki dekape edilmiş veya soğuk haddelenmiş çelik saclardan boyuna dikişli olarak yüksek frekans kaynak tekniği kullanılarak imal edilmektedirler.

Yüksek frekans kaynak yönteminde çelik sac bant kenarları ısı ve basınç etkisiyle herhangi bir ilave tel veya elektrot kullanmaksızın birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yüksek hızda seri bir üretime imkân vermesi, otomatik kontrollü birleştirme işlemine uygun olması, koruyucu gaz atmosferine ve ilave tele ihtiyaç duyulmaksızın kaynak işleminin gerçekleştirilebilmesi ve birleştirme kalitesinin istenilen niteliklerde olması sebebiyle yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profillerin imalatında tercih edilen bir yöntem olmuştur. Ülkemizde, profil imalat sektörlerinde kullanılan bu yöntemin seri imalat amacıyla kullanılabilir olması nedeniyle farklı kaynak parametrelerinin birleştirme kalitesine olan etkileri ile ilgili araştırmacıların yeterli çalışmalar yapılmamasına neden olmuştur. Kaynak parametrelerinin değiştirilmesi ile hangi kaynak hataları ile karşılaşılacağı ve profillerin mekanik özelliklerini nasıl etkilediği konuları hakkında yeterli bilginin olmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, kare kutu profilleri değişik kaynak parametreleri kullanılarak yüksek frekans kaynak tekniği ile üretilmişlerdir. Kaynak kalitesine etki eden kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı ve empeder konumu, empeder çapı, indüksiyon bobin konumu, indüksiyon bobin çapı, kaynak role konumu ve kaynak role baskısı etkenlerinin kaynak kalitesini nasıl etkilediği ve mekanik özellikleri nasıl değiştirdiği



ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Mekanik zelliklerin tespitinde yassılma, genişletme ve çekme deneyi gibi teknikler kullanılmıştır. Farklı kaynak parametreleri kullanarak birleştirilen profillerin birleştirme bölgelerinin mikroyapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneysel ve literatür derleme çalışma ile profil imalat sektöründe çalışan kuruluşlara yazılı bir el kitabı oluşturma hedefinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde konunun önemi üzerinde durulan giriş bölümü, elik profillerin üretimi, standartları ve üretim aşamalarının yer aldığı ikinci bölüm, profillerin yüksek frekans kaynak tekniği ile nasıl üretildiği, yöntemin avantaj ve dezavantajlarının belirtildiği üçüncü bölüm, hangi kaynak parametrelerinin kullanarak hangi deneysel çalışmaların yapıldığı hakkında bilginin verildiği dördüncü bölüm ve deneysel sonuçların, tartışmaların ifade edildiği beşinci bölüm yer almaktadır. Çalışmanın altıncı bölümünde ise çalışmadan çıkan genel sonuçlar ve gelecekte benzer konularda çalışanlar için öneriler verilmiştir.

## **BÖLÜM 2. ÇELİK PROFİL ÜRETİMİ**

### **2.1. Profil Üretiminde Kullanılan Çelikler ve Mekanik Özellikleri**

Yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profil üretiminde, TSEN 10305-5, TS 6476, DIN 2394, DIN 2395, EN 10219/1-2, BS 6363, BS 6323, NFA 49-145 standartlarında belirtilen kimyasal ve mekanik özellikleri sahip çelik kaliteleri kullanılmaktadır. Kutu profil imalatında kullanılan sıcak haddelenmiş rulo çelik saclar, kolay şekillendirilebilir ve iyi kaynak kabiliyetlerine sahiptirler. Karbon içerikli düşük olup % 0.21-0.27 arasında değişmektedir.

Tablo 2.1’de DIN 2395-3 standardında belirtilen kare ve dikdörtgen profil imalatında kullanılan çelik sacların standart gösterilişi, kimyasal değerleri ve Tablo 2.2’de de mekanik özellikleri gösterilmektedir. Tablo 2.3’te ise TS 6476 standardına göre boru üretiminde kullanılan çelik kaliteleri için kimyasal içerikleri gösterilmektedir. Tablo 2.4’te TS 6476 standardına uygun boru üretiminde kullanılan çeliklerin imalat sonrası ısıl işlem durumuna göre olması gereken mekanik özellikleri verilmektedir.

### **2.2. Profil Çeşitleri ve Standartları**

Profil üretiminde genellikle kare, dikdörtgen ve yuvarlak kesitli olmak üzere üç farklı şekilde üretim yapılmaktadır. İstenilen kalitede ve kullanılacak yere uygun olarak gerekli mekanik değerleri karşılayabilecek özelliklere sahip ve isteğe uygun olarak sıcak veya soğuk haddelenmiş çelik cinsi kullanılmaktadır.

Tablo 2.1. DIN 2395-3 standardına göre kare ve dikdörtgen profiller için kullanılan çelikler ve kimyasal içerikleri [1]

Standart gösterilişi	Kimyasal İçerik (% kütleli)						
	C	P	S	N	Si	Mn	Al
USt37 - 2	0.21 Max	0.065 Max	0.065 Max	0.009 Max	-	-	-
RSt37 - 2	0.19 Max	0.060 Max	0.060 Max	0.010 Max	-	-	-
St37 - 3	0.19 Max	0.050 Max	0.050 Max	-	-	-	-
St44 - 2	0.24 Max	0.060 Max	0.060 Max	0.010 Max	-	-	-
St44 - 3	0.23 Max	0.050 Max	0.050 Max	-	-	-	-
M22	0.16 - 0.23	0.040 Max	0.040 Max	-	0.28 Max	0.40 - 0.75	0.02 Min
QStE340N	0.18 Max	0.035 Max	0.035 Max	-	9.53 Max	1.56 Max	-

Tablo 2.2. DIN 2395-3 standardında ana malzeme ve kaynak sonrası mekanik özellikler [1]

Standart gösterilişi	Mekanik Özellikler					
	Ana Malzeme			Kaynaklı Malzeme		
	Çekme dayanımı, $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Akma dayanımı, $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> ) Min	Kopma uzaması A5 (%) Min	Çekme dayanımı, $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Akma dayanımı, $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> ) Min	Kopma uzaması A5 (%) Min
USt37-2	360 - 470	235	23	390	250	7
RSt37-2						
St37-3						
St44-2	430 - 540	275	21	460	290	6
St44-3						
M22	420 Min	290	25	-	-	-
QStE340 N	460 - 580	340	27	-	-	-

Tablo 2.3. TS 6476 standardına göre boru üretiminde kullanılan çelik kaliteleri için kimyasal içerikleri [2]

Standart gösterilişi	Kimyasal İçerik ( % kütleli)					
	C	Si	Mn	P	S	Al
RSt34-2	0,15	0,30	0,60	0,025	0,025	0,02
RSt37-2	0,17	0,30	0,70	0,025	0,025	0,02
St44-2	0,21	0,30	1,10	0,025	0,025	0,02
St52-3	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	0,02

Tablo 2.4. TS 6476 standardına uygun boru üretiminde kullanılan çelik kaliteleri için mekanik değerler [2]

Teslim şekli	Parlak sert		Tavlı		Normalize edilmiş		
	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
Çelik kalitesi	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Akma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama
RSt34-2	330	8	300	28	310 - 410	205	28
RSt37-2	390	7	315	25	340 - 470	235	25
St44-2	440	6	390	21	410 - 540	255	21
St52-3	540	5	490	22	490 - 360	355	22

Kare profiller için üretim aralığı 10x10 – 400x400 mm ve dikdörtgen profiller için ise 20x10 – 500x300 mm ebatlarındadır. Bu üretimlerde ince kesitli profiller için DIN 2395, TS 6475 ve EN 10305-5, kalın kesitli profiller için ise TS 5317, DIN 59411, EN 10219, EN 10210, ASTM A-500 ve BS 6363 dünya standartları baz alınmaktadır. Et kalınlığı olarak 0,60 – 20 mm aralıklardaki çelik sac kullanılmakta ve üretilen standart profil uzunluğu 6 – 14 m arasında değişmektedir.

Yuvarlak kesitli profiller için üretim aralığı Ø 5 mm ile Ø 168,3 mm çap arasında olmaktadır. Borular için üretimde 0,50 mm ile 10 mm arasında değişen kalınlıklarda çelik sac tercih edilen yere uygun olarak kullanılabilir. Yuvarlak kesitli sanayi boruları TS 6476, DIN 2394, EN 10219/2, DIN 2458, ASTM A500, BS 6323

standartlarına göre üretim yapılmaktadır [3],[4]. Yuvarlak kesitli ve köşeli profiller için EN 10219/2'ye göre ebat toleransları Tablo 2.5'te verilmiştir. Tablo 2.6'da dikdörtgen profillere ve Tablo 2.7'de ise kare profillere ait profil kalınlığı ve ebatları dikkate alınarak hesaplanmış profil ağırlıkları verilmektedir.

Tablo 2.5. EN 10219 / 2 standardına göre boru, kare ve dikdörtgen kesitli profillerin ebat toleransları [5]

Standart	Boru	Kare / Dikdörtgen	
		Kenar uzunluğu (mm)	Tolerans
Dıştan dışa (D, H ve W)	± 1 % ve min. ± 0,5 mm max. ± 10 mm	H, W < 100	± 1 %
		100 ≤ H W ≤ 200	min. ± 0,5 mm ± 0,8 %
Kalınlık (T)	D ≤ 406,4 mm	T ≤ 5 mm ± 10 %	
	T ≤ 5 mm ± 10 % T > 5 mm ± 0,50 mm	T > 5 mm ± 0,50 mm	
Dairesellikten sapma (O)	2 % ( D / T < 100)		
İç bükeylik / dış bükeylik		max. 0,8 % min. 0,5 mm	
Kenar dikliği		90 ± 1	
Dış köşe yarıçapı		T ≤ 6 6 < T ≤ 10	1,6 T - 2,4 T 2,0 T - 3,0 T
Dönüklük (V)		2 mm + 0,5 mm / m uzunluk	
Doğrusallık	Toplam uzunluğun % 0,20'si	Toplam uzunluğun % 0,15'i	
Ağırlık (M)		± % 6 / birim boy	
Uzunluk (Kesin boy)	< 6000 mm	+ 5 mm 0	
	≥ 6000 mm - ≤ 10000 mm	+ 15 mm 0	
	> 10000 mm	+ 5 mm + 1 mm / m 0	

Tablo 2.6. Dikdörtgen kutu profil ebatlarına göre hesaplanmış profil ağırlıkları [8]

DIS EBAT	DİKDÖRTGEN PROFİLİN ET KALINLIĞI (mm)											
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
mm	AĞIRLIK (Kg/m)											
10x20	0,271	0,314	0,357	0,398	0,438	0,520	0,632					
10x30	0,365	0,424	0,482	0,540	0,595	0,708	0,868	1,120				
15x20	0,318	0,369	0,419	0,469	0,516	0,614	0,750					
15x25	0,365	0,424	0,482	0,540	0,595	0,708	0,868	1,120				
16x35		0,545	0,620	0,695	0,769	0,915	1,130	1,476				
20x25		0,479	0,545	0,610	0,673	0,802	0,985	1,280				
20x30		0,534	0,608	0,681	0,752	0,897	1,100	1,440				
20x35			0,671	0,752	0,830	0,990	1,220	1,590				
20x40			0,733	0,822	0,909	1,085	1,340	1,750	2,150	2,390		
35x25			0,733	0,822	0,909	1,085	1,340	1,750	2,150	2,390		
35x30				0,893	0,990	1,180	1,460	1,910	2,340	2,630		
40x25				0,893	0,990	1,180	1,460	1,910	2,340	2,630		
40x27				0,921	1,020	1,217	1,507	1,978	2,433	2,721		
40x30					1,070	1,270	1,570	2,070	2,540	2,860		
50x20					1,070	1,270	1,570	2,070	2,540	2,860		
50x25					1,150	1,370	1,690	2,220	2,740	3,100		
50x30					1,220	1,460	1,810	2,380	2,930	3,330	4,250	
50x40						1,650	2,050	2,690	3,330	3,800	4,880	
50x45							2,170	2,860	3,530	4,040	5,190	
55x40							2,170	2,860	3,530	4,040	5,190	
60x30						1,650	2,050	2,690	3,330	3,800	4,880	
60x35							2,170	2,860	3,530	4,040	5,190	
60x40						1,840	2,280	3,010	3,720	4,280	5,510	
60x50							2,520	3,320	4,110	4,750	6,140	
65x35						1,840	2,280	3,010	3,720	4,280	5,510	
70x20						1,650	2,050	2,690	3,330	3,800	4,880	
70x25							2,170	2,860	3,530	4,040	5,190	
70x30						1,840	2,280	3,010	3,720	4,280	5,510	
70x50							2,750	3,640	4,500	5,220	6,760	
80x20						1,840	2,280	3,010	3,720	4,280	5,510	
80x30							2,520	3,320	4,110	4,750	6,140	
80x40							2,750	3,640	4,500	5,220	6,760	
80x60							3,230	4,260	5,290	6,160	8,020	9,700
90x30							2,750	3,640	4,500	5,220	6,760	
100x40							3,230	4,260	5,290	6,160	8,020	9,700
100x50								4,580	5,680	6,630	8,650	10,500
120x60								5,520	6,860	8,040	10,500	12,800
125x75								6,150	7,640	8,990	11,800	14,400
150x50								6,150	7,640	8,990	11,800	14,400

Tablo 2.7. Kare kutu profil ebatlarına göre hesaplanmış profil ağırlıkları [8]

DIS EBAT	KARE PROFİLİN ET KALINLIĞI (mm)											
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
mm	AĞIRLIK (Kg/m)											
10x10	0,177	0,204	0,231	0,257	0,283	0,332						
15x15	0,271	0,314	0,357	0,398	0,438	0,520	0,632					
16x16	0,290	0,336	0,382	0,427	0,471	0,558	0,683					
18x18	0,328	0,380	0,432	0,483	0,532	0,633	0,773					
19x19	0,347	0,402	0,457	0,511	0,565	0,671	0,824	1,067				
20x20	0,365	0,424	0,482	0,540	0,595	0,708	0,868	1,120				
22x22	0,403	0,468	0,532	0,596	0,659	0,784	0,965	1,256				
25x25		0,534	0,608	0,681	0,752	0,897	1,100	1,440				
30x30			0,733	0,822	0,909	1,085	1,340	1,750	2,150	2,390		
34x34				0,935	1,030	1,240	1,530	2,000	2,460	2,770		
35x35					1,070	1,270	1,570	2,070	2,540	2,860		
40x40					1,220	1,460	1,810	2,380	2,930	3,330	4,250	
45x45						1,650	2,050	2,690	3,330	3,800	4,880	
50x50						1,840	2,280	3,010	3,720	4,280	5,510	
60x60							2,750	3,640	4,500	5,220	6,760	
70x70							3,230	4,260	5,290	6,160	8,020	9,700
75x75								4,580	5,680	6,630	8,650	10,500
80x80								4,890	6,070	7,100	9,280	11,300
90x90								5,520	6,860	8,040	10,500	12,800
100x100								6,150	7,640	8,990	11,800	14,400

### 2.3. Çelik Profil ve Boruların Kullanıldığı Endüstriyel Sektörler

Yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profiller çelik konstrüksiyon, otomotiv, mimari, makine imalat, taşımacılık, beyaz eşya ve tesisat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Çelik konstrüksiyon sektöründe çelik iskele, prefabrik imalatı, fabrika yapımı, köprü, spor sahaları inşası, aydınlatma gereçleri, iş ve alışveriş merkezi binaları, kulübe yapımı, sera inşası, acil çıkış merdivenleri, tren - metro istasyonları ve katlı otopark yapımı gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Mimari alanda oyun bahçeleri, kolon, çadır, sanat işleri, tren ve metro istasyon çatıları ve cam işleri için destek sağlama gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Otomotiv alanında amortisör, kapı ve araç iç destek, kamyon kasaları, otobüs iç dış çerçeve ve parçaları, kamyonet, karavan, tren ve metro inşaat parçaları ve tank imalatında kullanılmaktadır.

Makine imalatı alanında ise makine iskeletleri, motor bloklar, depoların yapımı ve geleneksel tarım makineleri imalatında profil kullanılmaktadır. Taşımacılık sektöründe vinç yapım endüstrisi, kamyonların ve kurtarıcı araçların taşıyıcı kolları, buldozer, konveyör iskeleti imalatında çeşitli profiller kullanıldığı görülmektedir. Beyaz eşya metalik mobilya endüstrisi; buzdolabı, çamaşır ve bulaşık makinesi, baza, kanepeler, masa ve sandalye imalatı, hastane yatakları gibi uygulamalarda da profillerden yararlanılmaktadır. Tesisat alanında ise havlupan, yangın söndürme sistemleri, klima tesisatı, sıvı – hava – gaz nakilleri, kalorifer, doğal gaz iletimi, tarım işlerinde sulama boruları, su ve çelik boru işlerinde yine çeşitli profillerden yararlanılmaktadır [4],[6].

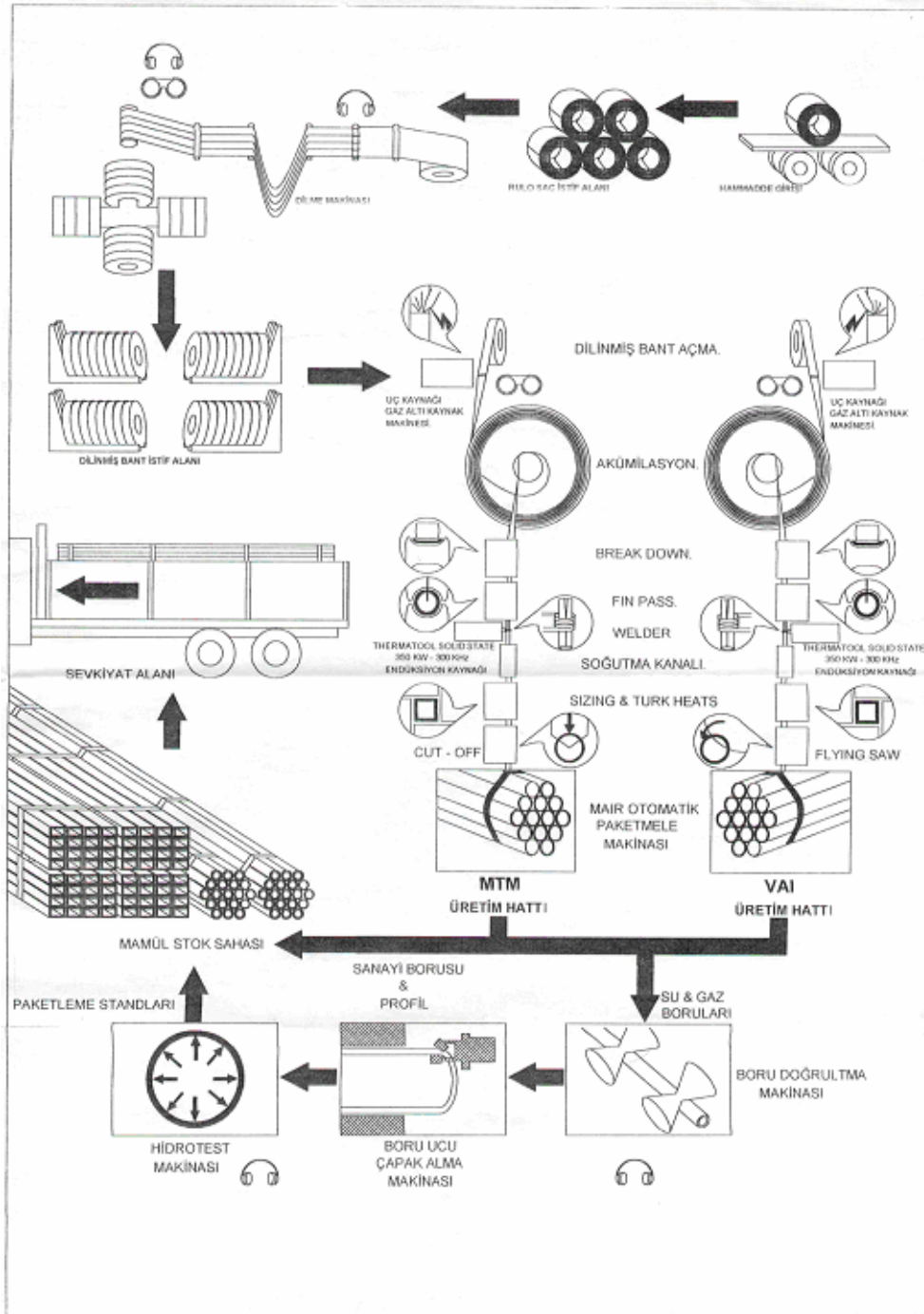
## **2.4. Çelik Profillerin Üretim Aşamaları**

Yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profillerin yüksek frekans kaynak tekniği kullanılarak seri imalatında onbir farklı üretim aşaması yer almaktadır: (1) Hammadde girişi ve dilme hattı (2) Besleyici ve akümülyasyon (tambur) (3) Form (4) Kaynak grubu (5) Soğutma (6) Kalibre (7) Türkankof (Türk kafaları) (8) Kesim işlemi (9) Doğrultma ve çapak alma (10) Hidrotest aşaması (11) Paketleme. Şekil 2.1 'de profil boruların imalat aşamaları gösterilmektedir.

### **2.4.1. Hammadde girişi ve dilme hattı**

Yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profillerin üretiminde kullanılacak çelik sac, rulo halinde üretici firmaya teslim edilir. Sac rulo bilgileri (kalınlık, genişlik ve kalite) kayıt altına alarak dilme işlemi yapılan yere sevk edilir.

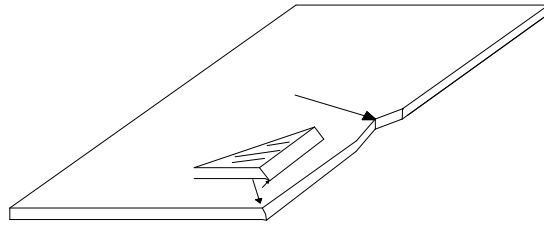




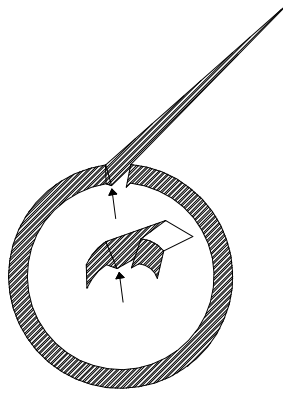
Şekil 2.1. Profil boruların imalat aşamaları [6]

Dilme işlemi için rulo bir araba üzerine yerleştirilir. Dilme hattına gelen rulo sağ ve sol punta adı verilen aparatlarla tutularak havaya kaldırılır ve rulonun araba ile teması kesilir. Daha sonra rulonun uç kısmı açılır, doğrultma merdanesi tarafından uç kısım düzleştirilir ve dilme işleminin yapılacağı bölüme getirilir. Bu aşamada dilme ölçüsüne göre kesici bıçaklar alt ve üst millere dizilir ve önceden hesaplanan bant

ölçüsüne uygun olarak dilinmeye başlanır. Rulo kenarlarında dilinen bantların ebatlı olması için dilme çapağı denilen atık sac payı verilir ve bu atık çapak sarıcıya sarılır. Dilme hattından geçen dilinmiş bant gerilim olmaması için sarkıtma işlemine tabi tutulur. Daha sonra seperatör adı verilen ayırıcı yardımıyla bant sarıcıya sarılır. İşlem bittikten sonra bantlar vinç yardımıyla bant sahasına alınır. Artık malzeme yuvarlak, kare ve dikdörtgen kutu profil üretimi için hazır hale gelmiştir. Şekil 2.2’de dilme hattında hatalı dilinmiş örnek bant gösterilmektedir. Malzemenin dilme işleminde kenarlarının düzgün bir şekilde çapaksız olması ve de ebat değişikliği (bant genişliği) olmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2.2. Hatalı dilinmiş bir sac kenarı örneği [7]



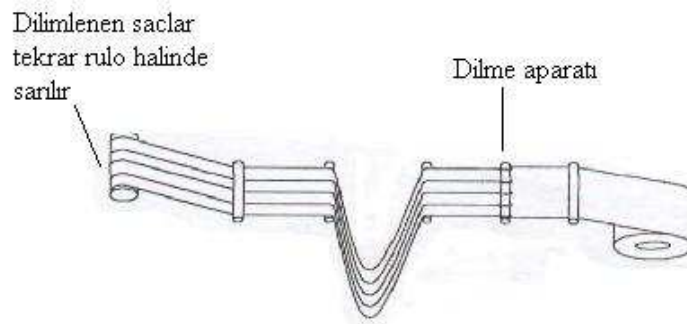
Şekil 2.3. Dilinen bantların boru haline geldiğindeki çapaklarının görünümü [7]

Kaynatılacak olan malzemenin dilme işlemi sırasında oluşan çapaklarının borunun iç kısmına gelmesine Şekil 2.3’te gösterildiği gibi özen gösterilmesi gerekmektedir.

Dilme yapılacak sac boyutunun belirlenmesinde dikkate alınması gereken bazı faktörler vardır. Bu faktörler standart değerlerince hesaplanmakta ve yüksek frekans makine imalatçısı olan firma tarafından tablo halinde hazırlanmaktadır [6]. Bu

faktörler şunlardır: (1) Üretim yöntemine ilişkin standartlarda belirtilen köşe kavis değerleri (2) Sac kalitesi (3) Et kalınlığı (4) Üretimin yapılacağı makineye ilişkin şekillendirme katsayıları (düz makara, CTI, v.s.), kaynak makaraları (role) baskı şekli (iki kutuplu, üç kutuplu), bıçaklı makara grubu (kılavuz kalıpları), bıçak kalınlığı (5) İndüksiyon kaynağı, dikiş frekansı (6) Türk kafası makara grubu (Türkankof), baskı açıları.

Üretilcek boru tipine göre rulo saclar dilme makinesine getirilerek imal edilecek ürünün bant genişliklerine göre dilinmesi işlemi gerçekleştirilir ve tekrar sarılır. Kesim aşamasında sacdaki gerilmeleri en aza indirmek amacıyla saca sarkıtma yapılır. Şekil 2.4'te dilme hattından genel bir görünüş verilmiştir.



Şekil 2.4. Dilme hattı şematik resmi [6]

Üretilcek boru veya profil ebadına ilişkin dilinmesi gereken bant genişliği, boru sektöründe 2.1 formülü kullanılarak yaklaşık bir değer hesaplanır:

$$\text{Bant genişliği: (Boru çapı - et kalınlığı) x 3,14 + et kalınlığı} \quad [2.1]$$

Profil borunun birim ağırlığını bulmada aşağıda da ifade edilen iki formül kullanılır.

$$(1) \text{ Boru birim ağırlığı (1m için): (Boru çapı - et kalınlığı) x et kalınlığı x 0,0246615} \quad [2.2]$$

$$(2) \text{ Boru birim ağırlığı (1m için): (Bant genişliği x et kalınlığı x 7,85)/1000} \quad [2.3]$$

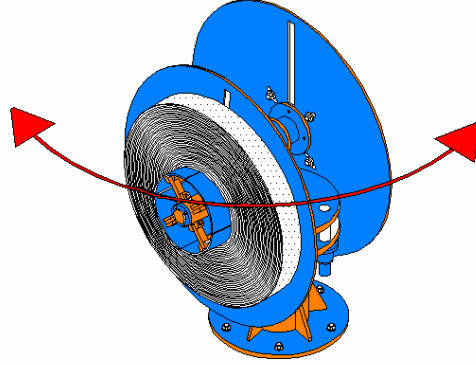
Tablo 2.8. Belirli çaptaki boru ve profiller için bant genişlikleri [8]

DIŞ ÇAP mm	ET KALINLIĞI (mm) - BANT GENİŞLİĞİ (mm)											
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,50	2,00	2,30	2,50	3,00
Ø10	32	32	32	32	31							
Ø13	41	41	41	41	40	40	39	39				
Ø16	50	50	50	50	50	49	49	48				
Ø19	60	60	59	59	59	59	58	58	57			
Ø21	66	66	65	65	65	64	64	63	63			
Ø22		69	69	69	69	68	68	67	66			
Ø25		79	79	79	79	78	78	77	76	75	75	75
Ø28.6		90	90	89	89	88	88	87	86	86	86	85
Ø30		94	94	94	94	94	93	93				
Ø32		100	99	99	99	99	98	98	97	96	96	95
Ø34			107	107	106	106	105	105				
Ø38			119	119	119	119	118	118	117	116	116	115
Ø42			132	132	131	131	130	130	129	129	128	127
Ø45				141	140	140	139	138	137	136	136	135
Ø48					150	150	149	149	148	147	147	146
Ø51					160	160	159	158	157	156	156	155
Ø60					189	188	188	187	186	186	185	184
Ø63						199	198	197	196	195	194	194
Ø76							238	237	236	235	234	234
10X10	40	40	40	40	39	39	38	38				
10X15	50	50	50	50	50	49	49	48				
15X15 10X20	60	59	59	59	59	59	58	57				
15X20		69	69	69	69	68	68	67				
20X20 15X25 10X30		79	79	79	79	78	78	77	76			
15X30		90	90	89	89	88	88	87	86			
25X25 20X30 10X40		100	100	99	99	98	98	97	96			
30X30 20X40 10X50			119	119	119	118	118	117	116	115	115	114
25X40			132	132	131	131	130	130	129	129	128	127
35X35 30X40 20X50				139	139	139	138	137	136	135	135	134
25X50					150	150	149	149	148	147	147	146
40X40 30X50					159	159	158	157	156	155	155	154
50X50 40X60 30X70						199	198	197	196	195	195	194
60X60 40X80							238	237	236	235	235	234

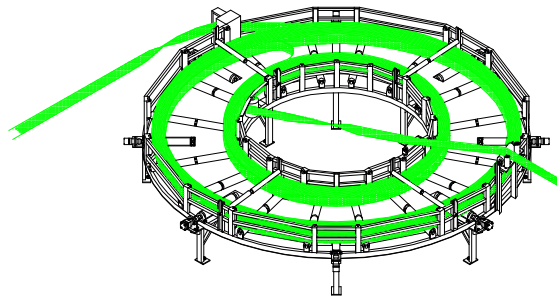
#### 2.4.2. Besleyici ve Akümülyasyon

Üretim yapılacak ebada göre dilinmiş bant, sahadan vinç yardımıyla alınır ve besleyiciye yerleştirilir. Şekil 2.5'te besleyicinin şematik resmi görünmektedir. Çevresinde dönebilen besleyici bandı akümülyasyona iletir. Şekil 2.6'da akümülyasyonun şematik resmi verilmektedir. Akümülyasyonun yapısında yer alan

hareketli merdaneler yardımıyla şekildeki gibi besleyiciden gelen bant akümülyasyon içerisine sarılır. Sarılması biten bandın uç kısmı ile besleyiciden gelen bandın ucu gazaltı, elektrot veya oksî-gaz kaynağı yöntemlerinden herhangi birisi yardımıyla birleştirilir ve akümülyasyona bandın sarılması işlemi devam eder.



Şekil 2.5. Besleyicinin şematik görüntüsü [7]



Şekil 2.6. Akümülyasyonun şematik görüntüsü [7]

### 2.4.3. Form (Boru Sacının Şekillendirilmesi)

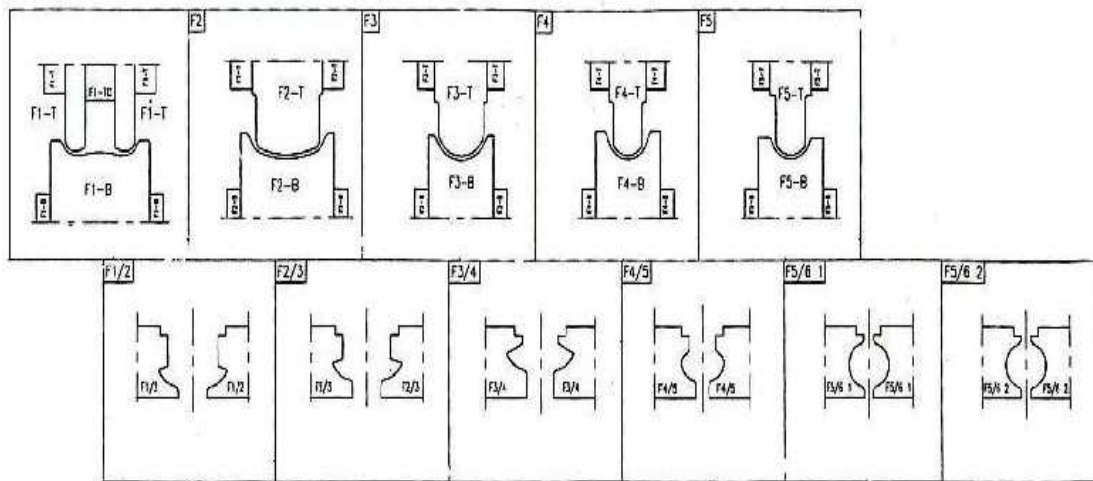
Şekillendirme işlemi değişik ebatlardaki form verme kalıpları yardımıyla gerçekleştirilir. Genel olarak şekillendirme işlemi iki kademe gerçekleştirilir: Birinci kademe şekillendirme işlemi geniş açılı kalıplarda gerçekleştirilir. Amaç hem akümülyasyondan dikkatlice bandı çekmek hem de sacın yuvarlanması için ilk şekillendirme işlemlerini gerçekleştirmektir. Akümülyasyondan malzemeyi hatta çekmek suretiyle üst ve alt kalıplar boru sacına baskı uygularken yanlardaki baskı kalıpları (yan yol kalıpları) ise malzeme kenarlarını içeriye doğru kıvrıp her

istasyonda daha fazla daireselliği sağlama görevini yapmaktadır. İkinci kademe şekillendirme işleminde ise saca profil şeklini vermek, kaynatılacak bant uçlarının karşı karşıya getirilmesi amacıyla gittikçe daralan radius açlarına sahip kalıplar grubu ile gerçekleştirilir. Bu gruptaki form kalıpları dairesel şekli almış olan saca son şekil verme işlemini yapar. Uçların birleşme noktasına baskı yapmak suretiyle kalıplar arasında bulunan ara bıçak denilen aparatlarla hem kaynak olacak uçların karşılıklı paralel şekilde yol alarak üst merkezde doğrusal hareket etmesini sağlar hem de kaynak ağzı açma görevini yapar ve malzemeyi imal edilecek boru ebadına uygun çap konumuna getirir.

### 2.4.3.1. Birinci kademe form grubu

Düz bir şerit olarak form verme aşamasına gelen saca kalıplar yardımıyla plastik şekil verme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem iki çeşit makara grubuyla gerçekleştirilir.

Ana makara grupları alttan ve üstten baskı verirken, ara makara grupları (yan yol kalıpları) yanlardan baskı verir böylece düz sac kademeler halinde dairesel bir şekil alır. Her ana grup makaralar arasında, ara grup makaralar sıralanmıştır. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi F1 ‘den F5’e kadar olanlar ana makara grubu, F1/2’den F5/6-2 ye kadar olanlarda ara makara gruplarıdır.

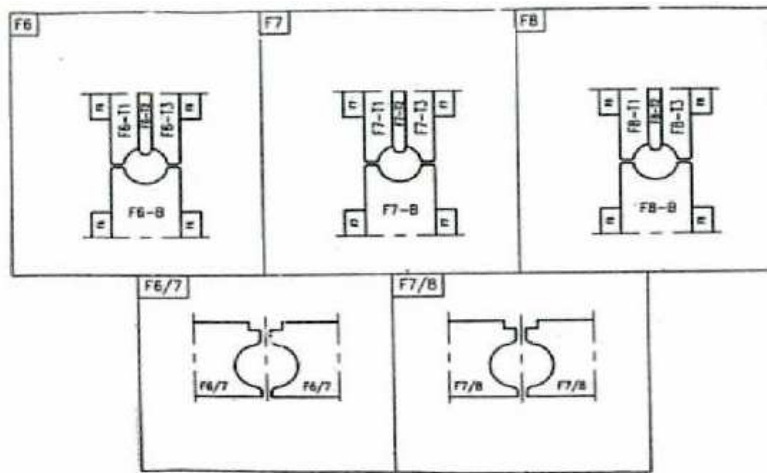


Şekil 2.7. Birinci kademe form grubu [6]

### 2.4.3.2. İkinci kademe form grubu

Dairesel şekli almış olan sac son şekil verme aşamasında uçların birleşme noktasına baskı verilerek kaynak bölgesine kaynak ağzı açma görevini üstlenirler. Bunda amaç kaynak bölgesi yüzeyini genişleterek mukavemetli bir malzeme üretmektir.

Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi bu işlem F6’dan F8’e kadar ana makara grupları, F6/7’ den F7/8’ e kadar ki ara makara (yan yol kalıpları) gruplarıyla yapılır.



Şekil 2.8. İkinci kademe form grubu [6]

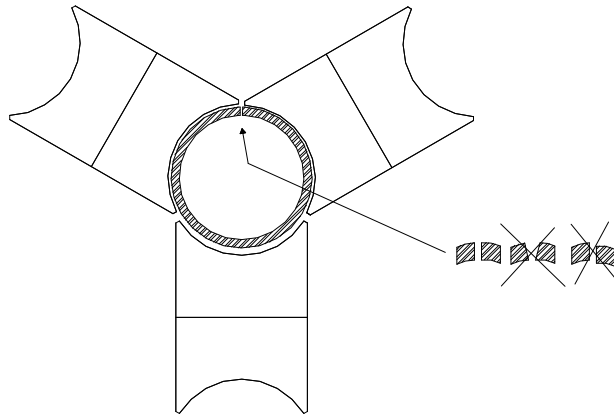
### 2.4.4. Kaynak grubu

#### 2.4.4.1. Kılavuz merdanesi

Bu safhada sac, kaynağa hazır hale getirilirken üst kalıpta yer alan ara bıçak da kaynak olacak uçların paralellliğini sağlar ve sac, kaynaksız boru haline gelmiş olur. Kılavuz kalıbı kaynak rolesindeki borunun kaynak dikişinin ortada düzgün bir şekilde gitmesine yardımcı olur. Asıl amacı açık borunun kaynak grubuna düzgün bir biçimde girmesini sağlamaktadır. Boru sacının açık ağzlarının tam ekseninde, bant uçlarının paralel olarak ve eşit aralıkta kaynak bölgesine girmesi sağlar.

### 2.4.4.2. Kaynak işlemi

Kaynak yüksek frekans kaynağı işlemi ile bu bölümde gerçekleştirilir. İkili veya üçlü kaynak rolleri kullanılmaktadır. Kullanılan kaynak rolleri mutlaka master ölçülerinde olmalıdır ve aşınmış roller kaynak kalitesine zarar vereceği için tercih edilmemelidir. Üçlü kaynak rollerinde üst kalıbın merkezinde bir kanal yer alır bu curuf ve bant kenarındaki ince talaşların kalıba zarar vermemesi içindir. Şekil 2.9’da rollerin karşılıklı olarak olması gereken konumu gösterilmektedir. Kaynak rollerinin malzemenin iki yüzeyini düzgün bir şekilde birleştirilecek biçimde ayarlanmış olmasına özellikle dikkat edilmelidir.

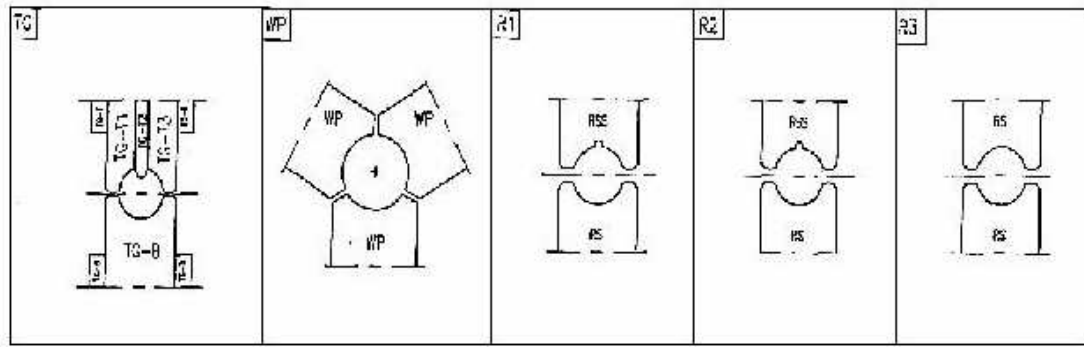


Şekil 2.9. Kaynak rollerinin konumunun şematik görünümü [7]

Farklı bir kullanım şekli de olan kaynak grubunu aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür. Kaynak ağzı açılmış olan kaynaklı boru, kademe şekillendirme makara grubuna gelir. Bu kademe de yüksek frekans ile kaynağı yapılan boru termal çarpılmaları engellemek amacıyla sıralanmış makara gruplarıdır.

Kaynak sonrası makara grubunda, kaynak cürufunun makaraya zarar vermemesi için kaynak çukuru bulunmaktadır. Şekil 2.10’ da görüldüğü üzere R1 ve R2 makaraları kaynak boşluğu bulunmaktadır. R3 makarasında çukur bulunmamaktadır. R2-R3 makaraları arasında kaynak çapağı alınır.

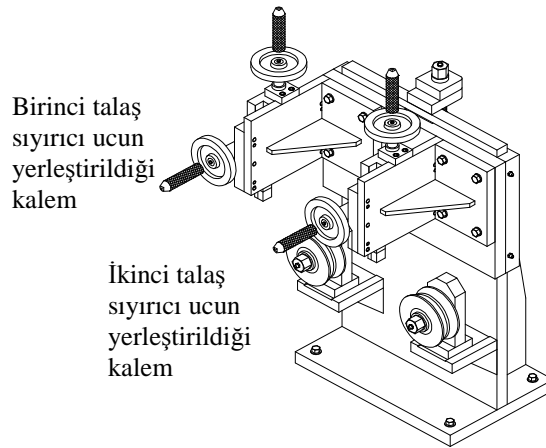




Şekil 2.10. Kaynak grubu şekillendirme makara grubu [6]

### 2.4.4.3. Çapak sıyrıcı

Kaynak olan boru arka arkaya yer alan boru çapına göre radiusa sahip iki adet çapak sıyrıcıdan geçer. Birinci talaş alıcı kaba ikincisi ise hassas bir temizleme yapmaktadır. Burada borunun yüzeyinde kaynak hattındaki talaş ve çapak temizlenmiş olarak bir sonraki bölüme devam eder. Şekil 2.11.'da çapak sıyrıcıların yerleştirildiği katerlik gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Katerlik [7]

### 2.4.4.4. Kılavuz yatak

Form ünitesinin son istasyonudur avare olarak çalışır. Form dik yatakları ile kalibre yatakları arasındaki mesafe çok uzun olduğundan ara yataklama sağlamaktadır. Aynı zamanda sıcak olarak soğutma tüneline giren malzemenin ani soğumasından oluşan yapısal gerginlikler nedeniyle dönmesini engellemektedir. [7]

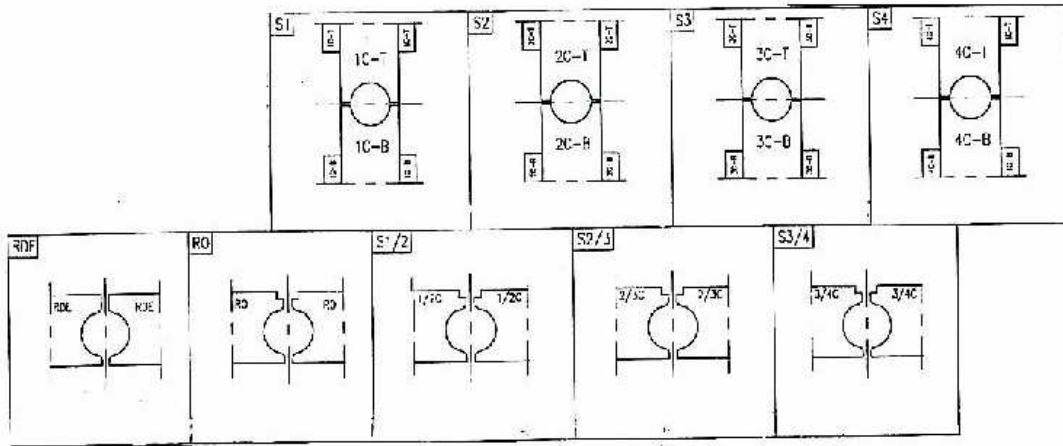
#### **2.4.5. Soğutma**

Soğutma tüneli form grubu ile kalibre grubu arasında bulunur. Kaynak sırasında her ne kadar bant uçlarının ısıtılması prensip edinilmiş olsa da, kaynak bölgesinden boru yüzeyine doğru bir ısı transferi oluşmaktadır. İnce ve soğuk malzemelerde bu olay gözle görülebilmektedir. Kaynak bölgesi etrafında meneviş rengi oluşmaktadır. Bu da boruda kötü bir görünüm meydana getirmektedir. Bu ısı yayılımını engellemek için boru soğutma tüneline geçirilmektedir. Soğutma suyu soğutma tünelinin orta noktasında girer ve ara haznede sıkıştırılır. Tünel borusunun iç cephesi üzerine delinmiş püskürtme deliklerinden su malzemenin kaynak bölgesine akar ve bu şekilde işlem gerçekleştirilir.

#### **2.4.6. Kalibre**

Kaynak ve çapak alma bittikten sonra boruda istenilen toleransları yakalayabilmek için sıralanmış makara gruplarıdır. Dört istasyondan oluşan kalibre ünitesi boruya nihai ölçüleri vermek için kullanılır. Soğutma tüneline çıkan boruya 4 adet dik ve 4 adette yan kalıplar ile boruya işlem uygulanır. Malzemeye son ölçüyü veren istasyonlardır. Malzeme alt ve üst kalıplar vasıtasıyla ölçülendirilir. Dört istasyonda işlem bitirilir.

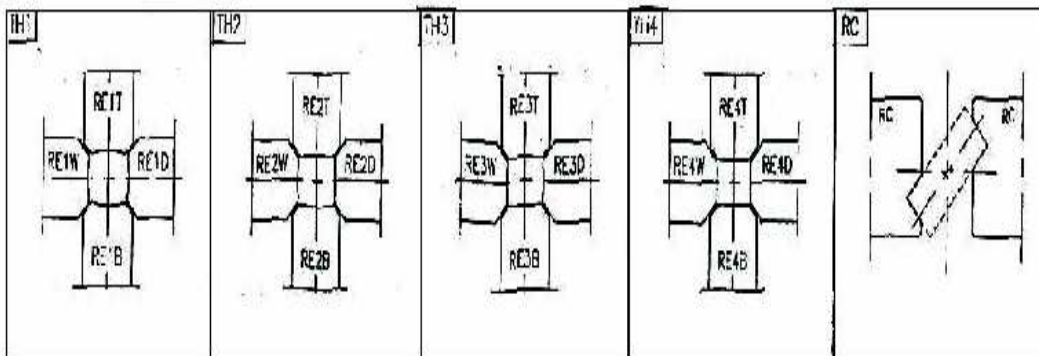
Şekil 2.12' de görüldüğü üzere S1' den S4' e kadar olanlar ana makara grupları RDE,RO, S1/2, S2/3, S3/4 ara makara gruplarıdır. Bu aşamadan sonra boruya profil halini vermek için Türk kafaları denilen aşamaya geçilir.



Şekil 2.12. Kalibre dik ve yan kalıp grupları [6]

#### 2.4.7. Türk kafaları makara grubu ( Türkankof )

Boruya profil şeklini vermek ve boruyu doğrultmak amacıyla sıralanmış Türk kafaları denilen makara gruplarıdır. Boru kademeli bir şekilde formu değiştirilerek profil şeklini alır. Bu makara grupları, hem eğriliği, burkulmayı ve gönye kaçıklığını giderip düzgünlüğü sağlar. Şekil 2.13.'de TH1, TH2, TH3, TH4 ve RC makaraları görünmektedir.

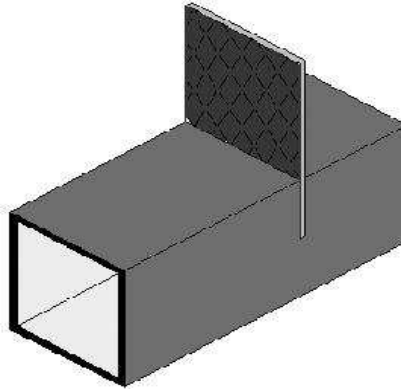


Şekil 2.13. Türk kafaları makara grubu [6]

#### 2.4.8. Kesim işlemi

İstenilen boylarda en az 2 m boru ve profil kesimi mümkündür. Boy referansı altından ürüne senkron dönen bir encoder aracılığı ile çevrelenerek kesme işlemi için komut verilir. Kesme ünitesi bir testere arabası ve testere taşıyan transducerden

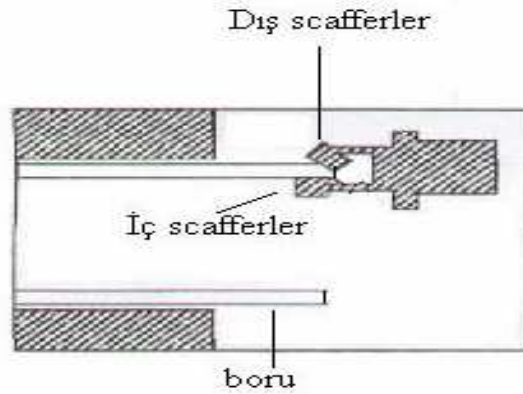
oluşur. Kesme komutunu alan testere arabası ürün hızına senkron olur ve boru veya profil, tutucu mengenerler ile tutularak üretim hızında ilerler. Senkron hızına ulaşan testere bir hidrolik transducer aracılığı ile aşağı doğru inerek kesim işlemini yapar. Bu işlemde soğuk kesim işlemi yapan teknolojik bir sistem kullanılır ve tekrar boru ve profillerin ağız kısmını temizlemeye gerek bırakmaya çapaksız bir kesim işlemi yapılır. Şekil 2.14' te kesme aşaması şematik resmi görülmektedir.



Şekil 2.14. Kesme aşaması şematik resmi

#### 2.4.9. Doğrultma ve çapak alma aşaması

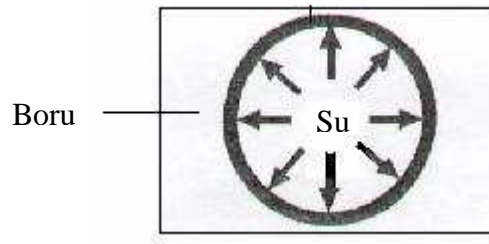
Üretilen borular standart doğrusallığı sağlamak için doğrultma işlemine tabi tutulur. Birbirine  $90^0$  açı ile ters yönde dönen ve boru çapı kadar birbirine yaklaştırılmış makara gruplarından geçirilir. Böylece boruya spiral bir doğrusallık verilmiş olur. Şekil 2.15'te boru ucunun çapak alma işlemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Boru ucu çapak alma makinesi şeması [9]

#### 2.4.10. Hidrotest aşaması

Üretilen ve doğrultmadan geçen borular kullanım amaçlarına basınçlı su basılarak test edilirler. Su boruları 55 bar, gaz ve petrol boruları 120 bar basınç altında test edilir. Dikiş zayıflığı tespit edilen borular ayrılır ve sağlam borular paketleme için ürün stok sahasına gönderilir. Şekil 2.16'da hidrotest ünitesinin şematik resmi gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Hidrotest ünitesi şeması [9]

#### 2.4.11. Paketleme

Kesim işleminden sonra hareketli merdanelerin bulunduğu konveyörde boru veya profil paketleyici makinesine taşınarak uygun şartlarda paketlenir.

## **BÖLÜM 3. PROFİLLERİN YÜKSEK FREKANS KAYNAK TEKNIĞİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

### **3.1. Giriş**

Bu bölümde yüksek frekans kaynak tekniği hakkında genel bilgiler verilecek, yöntemin avantaj ve dezavantajları belirtilip, kullanım alanları hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca yüksek frekans kaynak tekniği ile profillerin birleştirilmesi hakkında bilgi verilip, birleştirme esnasında karşılaşılan problemlerin neler olduğu ve bu problemlerin nasıl çözülebileceği hakkında literatürde ifade edilen bilgiler derlenecektir.

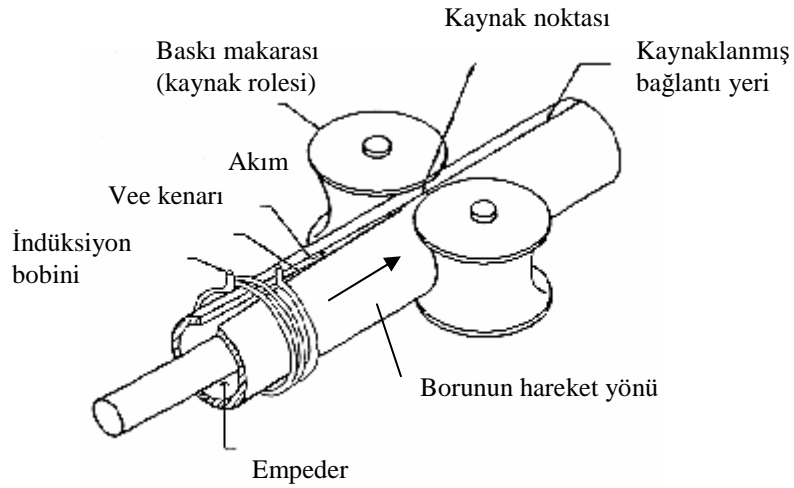
### **3.2. Yüksek Frekans Kaynak Tekniğinin Çalışma Prensibi**

Yüksek frekans kaynağı Lenz Kanunu ve joule etkisi prensibine dayalı, değişik özelliklerdeki malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir birleştirme tekniğidir [6].

Yüksek frekans kaynak tekniğinde kullanılan kaynak makineleri, 50 kW – 2000 kW aralığında güce sahip makinelerdir. Bunlar düşük güç üniteleri için 800 kHz gibi yüksek ve en fazla 100 – 400 kHz frekans seviyesinde dikiş yapabilmektedir. Sistem hem indüksiyon hem de kontak kaynak metodu için ayarlanabilmektedir [10]. Kaynak işleminde, kaynak indüktörü tarafından oluşturulan akımın etkisinde kalan bölgede bir elektromanyetik alan meydana gelir. İndüksiyon bobini içerisinden geçirilen şekillendirilmiş sacın içine yerleştirilen ve indüksiyon alanına direnç gösteren empeder direnç nedeni ile ısınır. Bu ısınma etkisine joule etkisi denir ve oluşturduğu ısı sacın kenar kısımlarında çeliği ergitir. Ergiyen sac kenar bölgesine baskı makaraları (kaynak roleleri) yardımıyla bir baskı uygulanarak sacın birleşmesi sağlanır. Böylece kaynak işlemi tamamlanmış olur. Yüksek frekans kaynağında bant

kenarları ısı ve basınç etkisiyle herhangi bir ilave tel veya elektrot kullanılmaksızın birleştirme işlemi gerçekleşir.

Şekil 3.1’de yüksek frekans kaynak metodunun profil imalatı uygulamasında kullanımı ile ilgili şematik resmi gösterilmektedir. Şekilde borunun yüksek frekans kaynağı ile birleştirilmesinde meydana gelen “Vee” kenarı yani kaynak üçgeni diye tabir edilen bölge gösterilmektedir. Yüzey ve yaklaştırma etkisi nedeniyle, yüksek frekans akım akışı, sac levhanın yüzey kenarları boyunca odaklanır. Bu odaklanmayla, yüzeyler ergir ve makaraların baskısı ile kaynaklı birleştirme gerçekleşir [6].

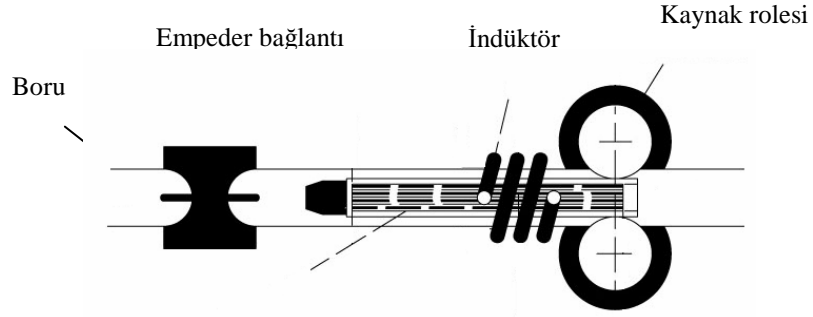


Şekil 3.1. Yüksek frekans kaynağı metodunun uygulamadaki şematik görünümü [11]

### 3.2.1. Yüksek frekans kaynağında empeder ve özellikleri

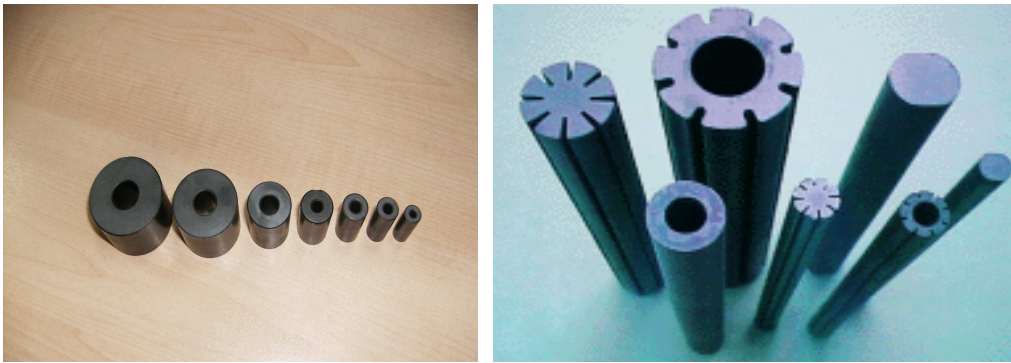
Empeder, yüksek frekans kaynak işleminde önemli bir yer tutmaktadır. Empederin görevi, profilin arka kısmı civarından akan yüksek frekanslı akımı azaltmak, böylece akımı ve ısıyı Vee içine yoğunlaştırmaktır. Eğer empeder yeterince soğutulmazsa ferrit aşırı ısınır ve iş göremez hale gelir. Empeder akımı ve dolayısıyla ısıyı, borunun kaynak rolesine gelmekte olan yanaklarında yoğunlaştırır. Bu kaynak için en az gücün kullanılmasını ve boru gövdesinin daha serin kalmasını sağlar. Empeder olmaz ise akım ve ısı borunun etrafına yayılır. Bu da kaynak için çok fazla güç

harcanmasına ve borunun bütün gövdesinin ısınmasına sebep olur [12]. Şekil 3.2’de bir empederin profil içerisine yerleştirilmesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Empederin şekli ve yerleşimi [7]

Yüksek frekans kaynak işleminde iki farklı empeder kullanılmaktadır. Bunlardan biri ferrit ve üzerine ferrit yerleştirilen bakır çubuktan oluşur. Bakır çubuk üzerinde bulunan delikler ve boru sacının içinden akan soğutma suyu ferriti soğutmaya yardımcı olur. Şekil 3.3’te değişik ferrit örnekleri ve Şekil 3.4’te de ferrit içerisine yerleştirilen bakır çubuk gösterilmektedir.



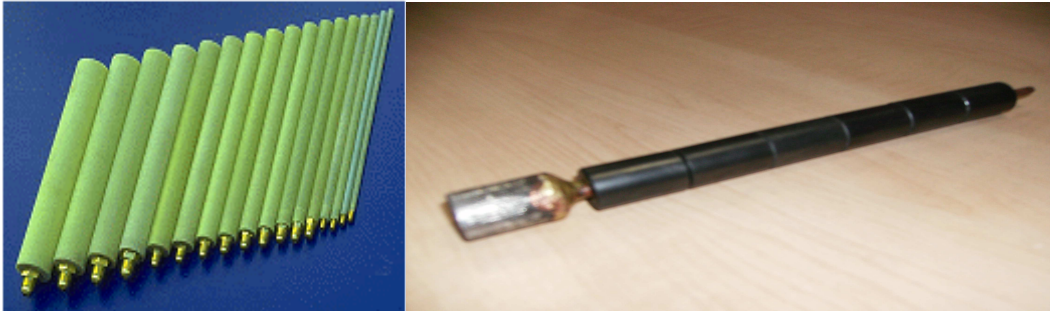
Şekil 3.3. Ferrit çubuk örnekleri [8], [13]





Şekil 3.4. Bağlantı yeri ve bakır çubuk [8]

Kullanılan diğer bir empeder türü ise bağlantı yeri olan çubuğa geçirilmiş tek ferrit ve üzerine cam elyaf kaplanmış bir düzenekten meydana gelir. Yine burada da çubuğun ve boru sacının içinden akan soğutma suyu ferriti soğutma işlemini yapar. Şekil 3.5'te yüksek frekans kaynak işleminde kullanılan hazır empeder çeşitleri gösterilmektedir.



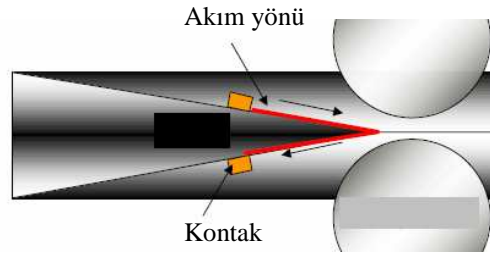
Şekil 3.5. Sistemde kullanılan hazır empeder örnekleri [8], [13]

### 3.2.2. Yüksek frekans kaynağı metotları

Yüksek frekans kaynak tekniğinde akımın iki farklı şekilde profile aktarılması nedeniyle yöntemin, (1) kontaklı yüksek frekans kaynağı ve (2) indüksiyon bobinli yüksek frekans kaynağı olmak üzere iki türlü uygulama tekniği vardır.

### 3.2.2.1. Kontaklı yüksek frekans kaynağı

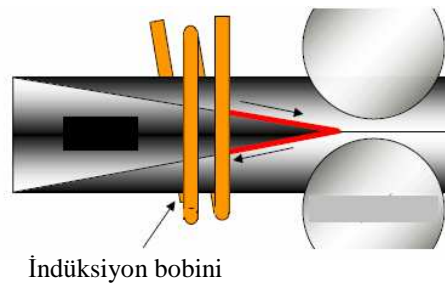
Genellikle bakırdan yapılan metal kontaklar, direkt olarak boruya temas ederek yüksek frekanslı akımı verir ve profilin birleştirilmesi sağlanır [12]. Şekil 3.6'da kontaklı yüksek frekans kaynak tekniğinde kontakların yerleştirme yerleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Kontaklı yüksek frekans kaynak tekniğinde kontakların yerleştirilmesi [14]

### 3.2.2.2. İndüksiyon bobinli yüksek frekans kaynağı

Bakırdan yapılmış dairesel bobin, bandın kenarlarına doğru akan akımı indükler ve bu akım kaynağın yapılmasını sağlar [14]. Şekil 3.7'de indüksiyon bobinli yüksek frekans kaynak tekniğinde kontakların yerleştirme yerleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.7. İndüksiyon bobinli yüksek frekans kaynak tekniğinde kontakların yerleştirilmesi [14]

### 3.2.3. Yüksek frekans kaynak donanımı

Yüksek frekans ünitesi, genel olarak (1) güç üretme ünitesi, (2) vakum tüp osilatör ve (3) katı hal dönüştürücüler olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. Uygulamaya göre istenilen frekans aralığı 100 - 700 kHz arasında değişebilir. Frekans aralığına göre 30 – 1000 kW lık bir güce ihtiyaç vardır.

Su soğutmalı bakır kondaktörler; kontaklara veya endüktör sargılarına taşımak için kullanılır. İndüksiyon bobinleri ise bir veya üç sarımlık su soğutmalı bakır kondaktörlerdir ve geometrik parçaların birleştirilmesinde en idealdir. Bunlar küçük çaplı boru ve profillerin (<305 mm) imalatında tercih edilirler.

Elektrik kontakları; gücü direk olarak kaynak bölgesine ulaştırır. Büyük çaplı boru ve profillerin imalatında I, T, H kesitli profillerin üretiminde tercih edilirler. Engelleyici mil, su soğutmalı saf demir göbekten oluşur ve tüpün içerisine boylamasına ve tüpe paralel pozisyonda yerleştirilir. Engelleyici mil, profil içine kaçması ihtimal akım dalgasını engelleyerek gücün kaynak noktasında odaklanmasını sağlar [6].

### 3.2.4. Yüksek frekans kaynak tekniğinin avantajları

Yüksek frekans kaynak tekniğinin profillerin seri imalatında kullanılmasında tercih edilen bazı avantajları vardır. Bu avantajlar kısaca şunlardır:

- (a) Yüksek hız seviyesinde kaynak dikişi elde etmek mümkün olduğundan seri imalata uygun bir tekniktir.
- (b) 5 - 323 mm çaplarına kadar boru birleştirilebilmesine imkanı sağlar.
- (c) Değişik özelliklerdeki malzemenin kaynaklı birleştirilmesi yüksek frekans kaynağı ile yapılabilir.
- (d) Kaynak kalitesi için koruyucu bir atmosfere gereksinim duyulmaz
- (e) Birleştirme işleminde ilave bir tel veya elektroda ihtiyaç duyulmaz.
- (f) Kaynak sırasında yüzeydeki oksitler büyük ölçüde parçalandığı için kaynak kalitesi yüksek olur.

- (g) İnsan sağlığına zararlı duman ve ark oluşumu söz konusu değildir.
- (h) Tekniğin otomatik kontrollü bir şekilde kullanılmasına imkân tanır [6].

### 3.2.5. Yüksek frekans kaynak tekniğinin dezavantajları

Yüksek frekans kaynak tekniğinin profil imalatında kullanımı nedeniyle belirli üstünlükleri olmasına rağmen, farklı bir birleştirme amacına istenilen niteliklerde destek sağlayamaz. Bu nedenle bazı dezavantajlarını sırlamak mümkündür:

- (a) Yüksek frekans kaynağı, düşük kaynak hızları için elverişli olmadığından tercih edilmez.
- (b) Tamir amaçlı kaynak işlemi bu sistemde kullanılmaz
- (c) Yüksek frekans kaynağı sürekli bir sistem olduğu için, kaynak işlemine durup tekrar başlamak mümkün değildir. Nedeni; kaynak dikişinde süreklilik olmadığından hata oluşma ihtimali yüksektir [6].

### 3.2.6. Yüksek frekans kaynağının uygulama alanları

Yüksek frekans kaynağının avantajları ve ekonomik imalata sebep olması ve seri üretim otomasyonuna elverişli olması sebebiyle uygulama alanlarını şu şekilde özetleyebiliriz:

- (a) Sürekli kaynak dikiş gerektiren boru ve profil imalatlarında tercih edilir.
- (b) Çeşitli ısı esanjör profil üretiminde kullanılır.
- (c) Değişik profil şekilleri olan H, I ve T kesitli profillerin üretiminde kullanılır.
- (d) Ticari olarak istenilen ebatlarda olmayan sac levhaların birleştirilmesinde kullanılır.
- (e) Düşük boylardaki sac şeritlerin, alın altına bileştirilerek uzun sac şeritler elde edilmesinde yüksek frekans kaynağı kullanılır.

### 3.3. Profillerin Yüksek Frekans Kaynak Tekniği ile Birleştirilmesi

Yüksek frekans kaynağı ile profillerin imalatında kaynak kalitesini etkileyen bazı faktörler vardır. Bu faktörler yerli yerinde ve uygun bir şekilde ayarlanması gerekir ki istenilen niteliklerde birleştirme işlemi gerçekleştirilebilsin. Bu faktörler şunlardır:

- (a) Malzemenin kalitesi, kimyasal ve mekanik özellikleri
- (b) Sacın kesim kalitesi ve yüzey özellikleri
- (c) Boru haline gelen sacın geometrik kaçıklığı (Vee)
- (d) Kaynak rollerinin ebatları ve eksenelliği
- (e) Kalıpların yüzey ve ebat hassasiyeti
- (f) İndüksiyon bobininin çapı, yeri, sargı sayısı ve ana malzeme arasındaki mesafe
- (g) Empederin pozisyonu ve çapı
- (h) Kaynak akımı
- (i) Kaynak hızı
- (j) Jeneratörün, üretilen boru çapına uygun frekans değerini karşılayabilmesi

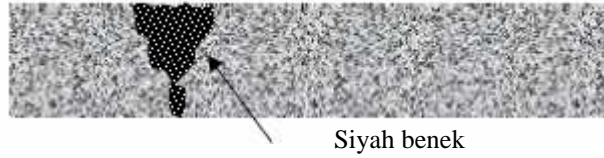
#### 3.3.1 Profillerin birleştirilmesinde meydana gelen kaynak hataları

Profillerin yüksek frekans kaynak tekniği ile birleştirilmesinde karşılaşılan bazı kaynak hataları şunlardır: (1) Siyah benekler, (2) Ön ark (beyaz benekler), (3) Yetersiz nüfuziyet, (4) Yanaklarda nüfuziyet eksikliği (5) Kaynağın orta kısmının nüfuz etmemesi (6) Soğuk kaynak (7) Açık renkli kaynak (8) Gözenek oluşması (9) Dikiş izleri oluşması. Bu kaynak hatalarının oluşma sebepleri ve alınması gereken önlemler kısaca açıklanacaktır.

##### 3.3.1.1. Siyah benekler

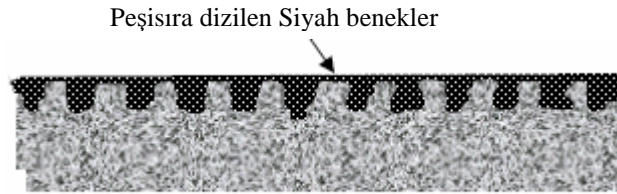
Genellikle profillerin birleştirme bölgeleri içerisinde süse benzer siyah oksit beneklerine rastlanır. Bu problemin önüne geçebilmek için Vee uzunluğu ve Vee açısı değerleri (4 – 6 derece) çok hassas bir şekilde düzgün ayarlanmalıdır. Ayrıca kaynak rollerini daha fazla sıkılmak da bu problemin önlenmesine yardımcı olur. Mümkün olduğunca düşük kaynak yapma sıcaklığı tercih edilmeli ve malzemenin

kimyasal değerlerindeki Mn/Si oranının 8/1 olmasına dikkat edilmelidir. Şekil 3.8’de dar Vee açısı nedeniyle ortaya çıkabilecek ve Şekil 3.9’da da Vee’nin hava alıp vermesi sebebiyle ortaya çıkabilecek peşisıra siyah benekler şematik olarak gösterilmektedir.



Siyah benek

Şekil 3.8. Dar Vee açısından ortaya çıkabilecek siyah benek hataları

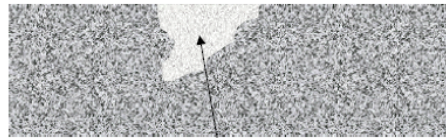


Peşisıra dizilen Siyah benekler

Şekil 3.9. Vee’nin hava alıp vermesinden ortaya çıkabilecek peşisıra siyah benek hataları

### 3.3.1.2. Ön ark (beyaz benekler)

Genellikle iyi kaynak içinde bir soğuk nokta oluşmasıdır. Yassı gümüşü renk, bandın kenarındaki ince uzun zayıf bir malzeme parçasının Vee de arka sebep olmasından oluşur. Çözümü için; tavsiye edilen Vee açısı 4 – 6 derece olmalı, boru sacı iyi şartlarda dilinmeli, bantlar taşınırken kenarları bozulmamalı, soğutucu temiz tutulmalı ve Vee bölgesinden uzakta olmalıdır. Şekil 3.10’da şematik olarak ön ark oluşum problemi gösterilmektedir.



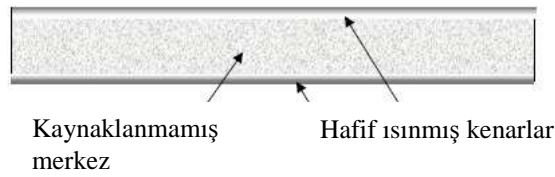
Beyaz benekler

Şekil 3.10. Ön ark oluşum probleminin şematik gösterilişi

### 3.3.1.3. Yetersiz nüfuziyet

Yanaklar kaynaklı değildir. Kaynak yapma sıcaklığının düşük olması hafif mavi renkli görüntü olarak ortaya çıkar. Bant kenarlarının düzgün olması yeterince erimiş olmasını göstermez. Düşük ısı (güç), yüksek hız, Vee açısındaki farklılık, uzun Vee mesafesi, empederin yeri ve yapısının istenilen şartlarda olmaması ve indüksiyon bobininin kaynak gücüne olumsuz etkisi gibi sebepler bu durumu ortaya çıkarır.

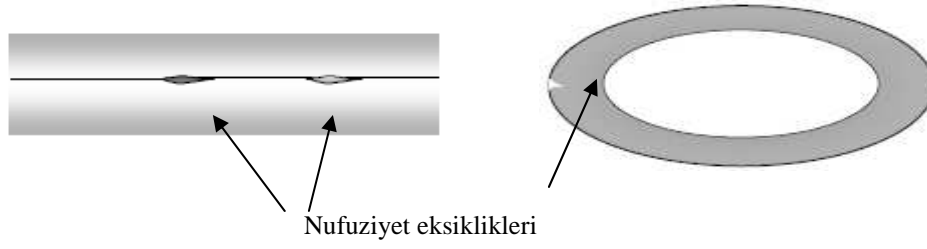
Çözümü için; uygun kaynak yapma sıcaklığı ve hızı olmalı, kaynak rolleri iyi sıkılmalı, dilinen sacın genişliği istenilen ölçüde olup dar olmamalı ve kenarları düzgün olmalıdır. Vee açısı 7 dereceyi geçmemeli, Vee mesafesi istenilen değerlerde olmalı boru çapını aşmamalı, empeder kaynak rollerini 1/8 inç (1 inç(inch): 25,4 mm) geçecek şekilde yerleştirilmeli ve iyi soğutulmalı, indüksiyon bobininin çapı 1/4 inç'den fazla olmamalıdır. Şekil 3.11'de şematik olarak yetersiz nüfuziyet problemi gösterilmektedir.



Şekil 3.11. İçine işlememiş yetersiz nüfuziyet kaynak oluşumu

### 3.3.1.4. Yanaklarda nüfuziyet eksikliği (buruşma ve kırışmalar)

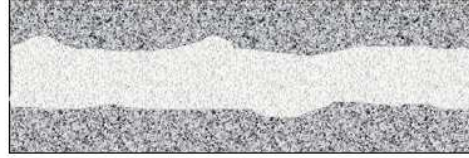
İç ve dış çaplarda meydana gelir. Ek yerinde metalik olmayan yabancı maddelerin varlığı, zayıf kötü bant kenarı ve az ısının olması bu probleme sebep olur. Çözümü için; fazla ısı olması, fazla sıkma ve bantların yanaklarının paralel olması gerekir. Şekil 3.12'de yanaklarda meydana gelebilecek nüfuziyet eksikliği problemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Yanaklarda meydana gelebilecek nufuziyet eksikliği problemi şematik olarak gösterilişi

### 3.3.1.5. Kaynağın orta kısmının nüfuz etmemesi

Bandın ortasında düz gümüş renkli şekiller oluşur. Kaynak ısısı, sıkma ve ısıtma zamanının (uzun Vee) yetersiz olması bu soruna sebep olur. Çözümü için; daha fazla ısı olmalı, kaynak rolleri daha fazla sıkılmalı ve daha küçük çapta kaynak rolleri kullanılmalıdır. Tam bir kaynak için ısı yanaklara iyice işlemelidir. Şekil 3.13'te Kaynağın orta kısmının nüfuz etmemesi problemi şematik olarak gösterilmektedir.

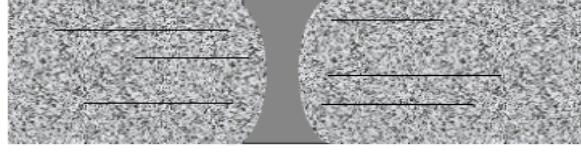


Şekil 3.13. Kaynağın orta kısmının nüfuz etmemesi problemi şematik olarak gösterilişi

### 3.3.1.6. Lapa – çamur gibi kaynak (soğuk kaynak)

Görünüşü iyi fakat kaynak yoktur. Kaynak çok gevrek ve yassılma testinde kırılır. Kırılma yüzeyi düz ve donuktur. Uzun Vee mesafesi, yüksek hız ve yetersiz sıkma buna sebep olur. Çözümü için; üretilen boru ölçüsü ve işleme için yeterli hız olmalı, bant genişliğinin ölçüsü artırılmalıdır. Şekil 3.14'te soğuk kaynak görünüm hatası şematik olarak gösterilmiştir.

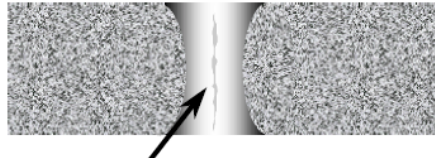




Şekil 3.14. Soğuk kaynak görünümü

### 3.3.1.7. Birleştirme hattı boyunca açık renk metal görünümü

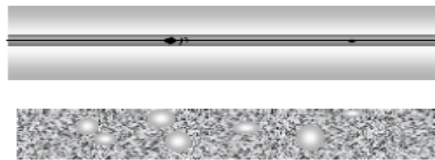
Çamura çok benzer bir kaynak fakat kırılan yüzey odunumsudur. Kırılgan kaynak alanı testte kırılır. Bandın eninin dar olması ve yetersiz sıkma bu probleme neden olmaktadır. Çözümü için; kaynak rolleri daha fazla sıkılmalı ve bant genişliği artırılmalıdır. Şekil 3.15'te birleştirme hattı boyunca görülebilen açık renk kaynak hatası şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.15 Birleştirme hattı boyunca görülebilen açık renk kaynak hatası

### 3.3.1.8. Gözenek problemi

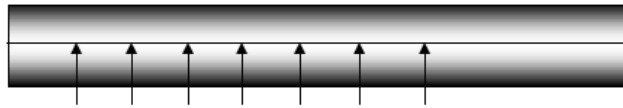
Kaynak yerinde gaz cepleri, kırılan yüzeyde küçük küresel boşluklar vardır. Aşırı ısı, yetersiz sıkma ve dar bant eni buna sebep olmaktadır. Çözümü için; ısı düşürülmeli ve sıkma artırılmalıdır. Şekil 3.16'da gözenek probleminin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 3.16. Gözenek probleminin şematik gösterilişi

### 3.3.1.9. Dikiş izleri oluşumu

Düzenli aralıklarla oluşmuş yüzey bozuklukları vardır. Eğer bu bozukluk hat hızının 50 katı ile devam ediyorsa elektriksel bir problemdir. Çözümü için; beslenme devresi filtrelenerek çözülür, faz arası voltajları kontrol etmek gerekir. Eğer aralıklar şaft dönüşü veya role çevresinin katları şeklinde ise roleleri kontrol etmek gerekir. Şekil 3.17’de profilin üzerindeki dikiş izlerinin şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Profilin üzerindeki dikiş izlerinin şematik olarak gösterilişi [15]

### 3.4. Profil Üretiminde Kalite Kontrol İşlemleri

Dikişli boru ve profil üretiminde, rulo sacın girişinden ürün çıkışına kadar çeşitli bölümlerde mekanik, kimyasal analizler, tahribatsız muayeneler ve teknolojik deneyler bugünkü teknik düzeye uygun sistem ve cihazlarla yapılmaktadır. Muayene ve deneylerin çeşitliliği ve sayısı üretim standartlarına ve müşterilerle yapılmış olan özel teknik şartnamelere göre belirlenir ve uygulanır.

Muayene ve deneyler, tahribatlı ve tahribatsız olarak sınıflandırılır. Teknolojik ve mekanik deneyler tahribatlı deneyler olup bu kapsamda sertlik, çekme, çentik darbe, akma sınırı, kopma mukavemeti, kopma uzaması gibi malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yardımcı olan deneyler yapılmaktadır. Genişletme, yassılma ve eğme gibi teknolojik deneyler ise; boru veya profilin şekil alabilirliği, işlenebilirliği ve kaynak dikişi hakkında karar verebilmek için yapılır. Bu deneyler için malzemedan uygun bir numune alınmaktadır.

Tahribatsız deneyler ise ultrasonik ve röntgen muayeneleri olup bunlar ile boyuna ve spiral dikişli boruların kaynak dikişleri ve malzemeler sürekli kontrol edilir. Bu işlemler için üründen numune alma ve tahribat söz konusu değildir. Bunların dışında

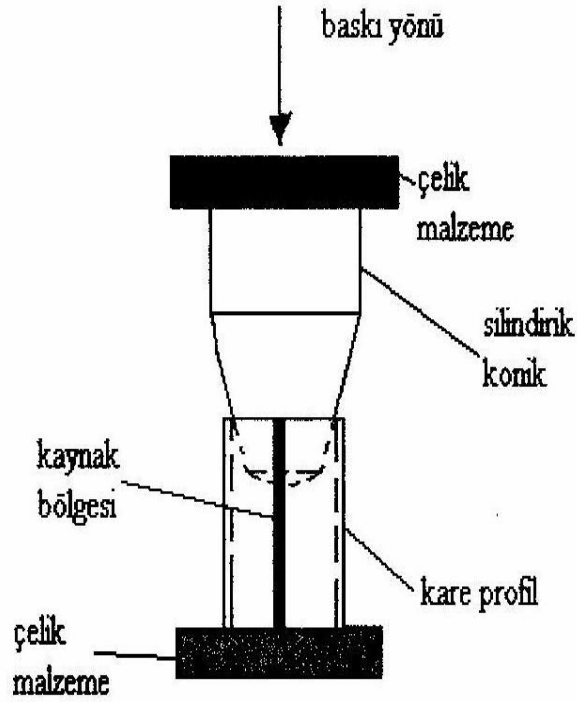
gerekli görüldüğünde ve talep edildiğinde kimyasal analiz, metalografik muayene ve hassas ölçmeler de yapılmaktadır.

#### **3.4.1. Metalik malzemelerin çekme deneyi (TS 138 EN 10002-1)**

Çekme deneyi TS 138 EN 10002-1 standardına göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde belirli bir hızda ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir. Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait elastite modülü, elastik sınırı, rezilyans, akma gerilmesi, çekme dayanımı, tokluk, % uzama ve % kesit daralması gibi mekanik özellikler bulunabilir.

#### **3.4.2. Metalik boruların genişletme muayenesi (TS EN 10234)**

Genişletme muayenesi; metalik boruların biçimlendirilmesi sonucunda, borularda meydana gelebilecek hataları tespit etmek amacıyla belirli açılarda koniler aracılığıyla genişletilerek kaynakta bir açılma olup olmadığının tespiti yapılır. Muayene, örneğin iç kısmındaki dış çapının konik bir mandrel etkisi ile değişmesi sonucunda son çaptan ilk çapın çıkarılması ile elde edilir. Şekil 3.18'de şematik genişletme test düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Şematik genişletme test düzeneği [16]

### 3.4.3. Metalik malzemeler – borular yassıltma muayenesi (TS 237 EN 10233)

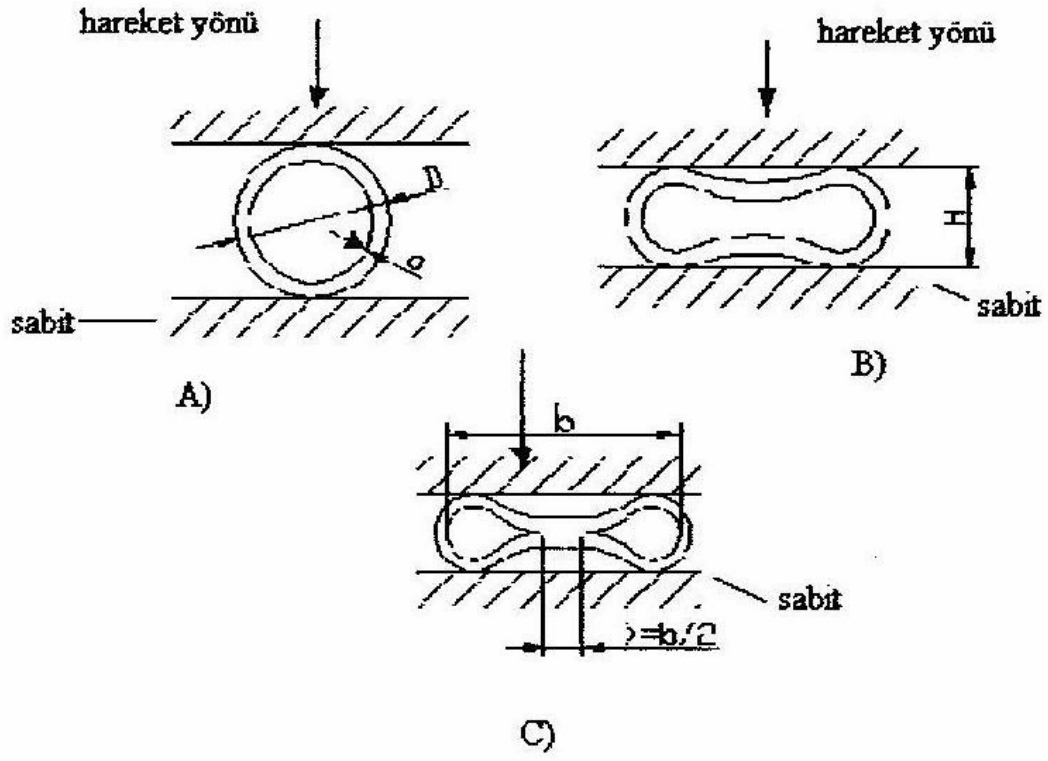
Yassıltma deneyi; yuvarlak kesitli metalik boruların uç kısmının veya borudan uzunluk eksenine dik olarak kesilen deney parçasının yassıltma yönüne dik bir yük altında, standarda bağlı olarak belirlenmiş bir değere ulaşana kadar baskı plakaları ile yassıltması işlemidir. Şekil 3.19’da şematik olarak yassıltma deney düzeneği gösterilmektedir.

D: Borunun dış çapı (mm)

a: Borunun et kalınlığı (mm)

b: Yassıltma deney parçasının içi uzunluğu (mm)

H: Yük altında ölçülen baskı plakaları aralığı (mm)



Şekil 3.19. Yassılma deneyi şematik görüntüsü [17]

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Denejde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneysel çalışmalarda, ERDEMİR kalite no 6112 (DIN EN 10130 Kalite DC 01) olarak ifade edilen 1,20 mm kalınlığındaki çelik sac kullanılarak, yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile 30x30x1,20 mm ebadında kare kutu profil imal edilmiştir. Tablo 4.1’de kullanılan sacın ERDEMİR katalogunda verilen kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri verilmektedir. Ayrıca aynı tablo içerisinde sacın spektral analiz sonuçları ve çekme deneyi sonucu elde edilen mekanik değerler verilmiştir. Katalog, analiz ve mekanik deney sonuçları uyum içerisinde dir.

Tablo 4.1. DIN 10130 kalite DC01 çeliğın kimyasal içerik ve mekanik değerleri [18]

Standart	ERDEMİR Kalite No 6112 (DIN 10130 Kalite DC01)	Mekanik değerler			Kimyasal içerik (% kütlese l)			
		Akma dayanımı (MPa) R <sub>e</sub>	Çekme dayanımı (MPa) R <sub>m</sub>	% Uzama (A <sub>80</sub> )	C	Mn	S	P
		280	270 - 410	28	0,070-0,12	0,40-0,60	0,020-0,045	0,020-0,045
DIN 10130 Kalite DC01 çeliğın analiz ve deney sonuçları		265	363	31,6	0,046	0,2	0,008	0,021

### 4.2. Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynağı ile Kutu Kare Profil Üretimi

Bu çalışmada yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile kare kutu profiller (30x30x1,20 mm) değişik kaynak parametreleri kullanılarak Karadeniz Boru Profil San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında üretilmişlerdir. Kutu profil imalatında kullanılan imalat donanım resmi Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Birlik Makina San. Tic. Ltd. Şti.

tarafından 1999 yılında imal edilen boru makinesi kullanılacak hammadde açısından sıcak ve soğuk haddelenmiş bant sac TSE, DIN, BS, ASTM, JIS standartlarına uygundur. Kullanılabilecek bant genişliği 50 mm ile 240 mm arasında değişmektedir. 0,70 mm ile 3,00 mm arasında kalınlığa sahip çelik sac kullanılabilir. İmal edilebilecek boru çapı  $\varnothing$  16 - 76 mm ve profil ebatları ise 15x15 ile 60x60 mm'dir. İmalat boyu ise 3000 – 8000 mm arasındadır. Hat hızı minimum 35 m/dak, maksimum 105 m/dak'dır.



Şekil 4.1. Kutu kare profil imalatı için kullanılan makine ve teçhizatın resmi

#### 4.2.1 Kaynak parametreleri

Birleşme kalitesine bu parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Kutu kare profil imalatında kullanılan kaynak parametreleri şunlardır: (a) Kaynak akımı, (b) Kaynak hızı, (c) Kaynak role konumu, (d) Kaynak role baskısı (e) Empeder konumu (f) Empeder çapı etkisi, (g) İndüksiyon bobininin çapı (h) İndüksiyon bobininin konumu. Bu kaynak parametrelerinde kullanılan değişkenler aşağıda açıklanmıştır.

(a) Kaynak akımı: Farklı kaynak akım değerlerinin üretilen kutu kare profilin mekanik özelliklerine etkisini tespit edebilmek amacıyla, kaynak hızı 60 m/dak

olarak sabit tutulup, kaynak akımı 500, 550, 600, 625, 650, 700 ve 750 amper olarak değiştirilmiştir. Yedi farklı kaynak akım değerinde üretilen kare kutu profillere çekme, köşe genişletme ve yassılma testleri uygulanmıştır. Tablo 4.2’de profil imalatı için kullanılan kaynak akım değerleri gösterilmektedir. Tabloda farklı parametrelerde üretilen numuneleri ayırt edebilmek ve tanımlamada kolaylık sağlamak amacıyla numune kodu verilmiştir.

Tablo 4.2. Kare kutu profil imalatı için kullanılan kaynak akım değerleri

Kaynak Hızı (m/dk)	Kaynak Akımı (Amper)	Numune Kodu
60	500	2
	550	3
	600	4
	625	1
	650	5
	700	6
	750	7

(b) Kaynak hızı: Farklı kaynak hızı (hat hızı) değerlerinin üretilen kutu kare profilin mekanik özelliklerine etkisini tespit edebilmek amacıyla, kaynak akımı 625 amperde sabit tutulup, kaynak hızı (hat hızı) 50, 55, 60, 65, 70 m/dak olarak değiştirilmiştir. Beş farklı kaynak hızında üretilen kare kutu profillere çekme, köşe genişletme ve yassılma testleri uygulanmıştır. Tablo 4.3’te profil imalatı için kullanılan kaynak hızı değerleri gösterilmektedir.



Tablo 4.3. Profil üretiminde kullanılan kaynak hızı parametreleri

Kaynak Akımı (Amper)	Kaynak Hızı (m/dk)	Numune Kodu
625	50	8
	55	9
	60	1
	65	10
	70	11

(c) Kaynak role konumu: Kaynak role konumunun birleştirme üzerine etkisine bakmak amacıyla rolelere aksel kaçıklık verilerek ve aksel kaçıklık verilmeden profil üretimi yapılmıştır. Her iki role konumu durumunda da kaynak akımı 625 amper ve kaynak hızı 60 m/dak olarak tercih edilmiştir.

(d) Kaynak role baskısı: Kaynak role baskısının etkisini tayin edebilmek amacıyla kaynak roleleri iyice sıkılmadan ve iyice sıkılarak profil üretilmiş ve birleştirme özelliklerinin üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu incelenmiştir. Her iki role baskısı durumunda da kaynak akımı 625 amper ve kaynak hızı 60 m/dak olarak tercih edilmiştir.

(e) Empeder konumu: Kaynak hızı 60 m/dk ve kaynak akımı 625 amper olarak belirlenen kaynak parametreleri şartlarında, empeder konumu değiştirilerek profil imalatı gerçekleştirilmiştir. Empeder, kaynak role merkezinden 60 mm daha geride olacak şekilde ve 4 mm kaynak role merkezini geçecek şekilde konumlara yerleştirilerek kutu kare profil imalatı yapılmıştır.

(f) Empeder çapı etkisi: Kaynak hızı 60 m/dk ve kaynak akımı 625 amper olarak belirlenen kaynak parametreleri şartlarında, 12 mm ve 25 mm olmak üzere iki farklı empeder çapı kullanılarak profil imalatı yapılmıştır. Empeder çapının profilin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

(g) İndüksiyon bobininin çapı: Profil imalatında iki farklı indüksiyon bobin çapı kullanılarak, bobin çapının profilin mekanik özellikleri üzerindeki etkisine bakılmıştır. Tablo 4.4'te gösterildiği gibi indüksiyon çapı 82 mm ve 44 mm olarak değiştirilip profil imalatı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tablo 4.4. İndüksiyon bobin çapı değiştirilerek imal edilen profillerin kaynak parametreleri

İndüksiyon bobin çapı (mm)	Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu
Ø 82	60	625	16
Ø 44			1

(h) İndüksiyon bobininin konumu: İndüksiyon bobin konumu değiştirilerek profil birleştirme kalitesine etkisi incelenmiştir. İndüksiyon bobini kaynak role merkezine 4 mm, 75 mm ve 150 mm olmak üzere üç farklı mesafe aralığı kullanılarak profil imal edilmiştir. Kullanılan kaynak parametreleri Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

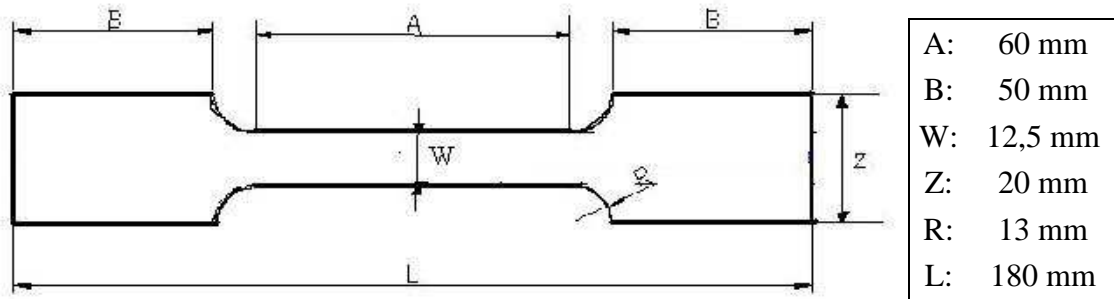
Tablo 4.5. İndüksiyon bobin konumunu değiştirilerek imal edilen profillerin kaynak parametreleri

İndüksiyon bobin konumu – kaynak role merkezine uzaklığı (mm)	Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu
4	60	625	1
75			17
150			19

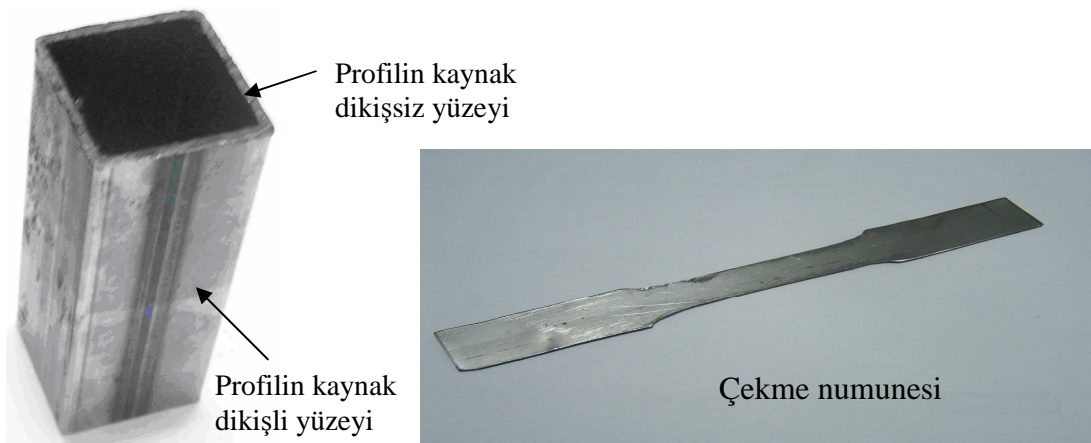
### 4.3. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, birleştirilen profillerin farklı kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkileri incelemek amacıyla yapılmıştır. Çekme deney numuneleri, TS

138 EN 10002-1 standardında belirtilen çekme deney numune ölçülerine göre hazırlanmıştır. Çekme deneyi hem ana malzemeye hem de değişik kaynak parametreleri ile imal edilen kare kutu profillere uygulanmıştır. Çekme numuneleri, kutu profillerin (30x30x1,20mm) kaynaksız yüzeyinden ve kaynaklı yüzeyinden olmak üzere iki farklı yerinden alınarak hazırlanmıştır. Kaynak dikişli numunelerde kaynak dikişinin numunenin tam ortasına gelmesine dikkat edilmiştir. Deneyler DARTECT marka deney cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2’de çekme deneyi numunesi ve ebatları verilmektedir. Şekil 4.3’te de hazırlanan çekme deney numunesi fotoğrafı ve numunelerin alındığı profil yüzeyleri gösterilmektedir.



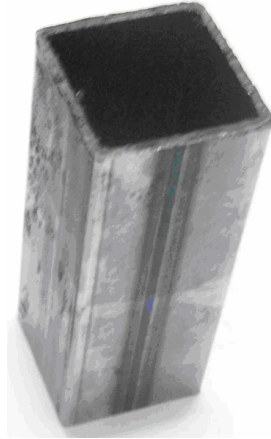
Şekil 4.2. Çekme deney numunesi ve ebatları



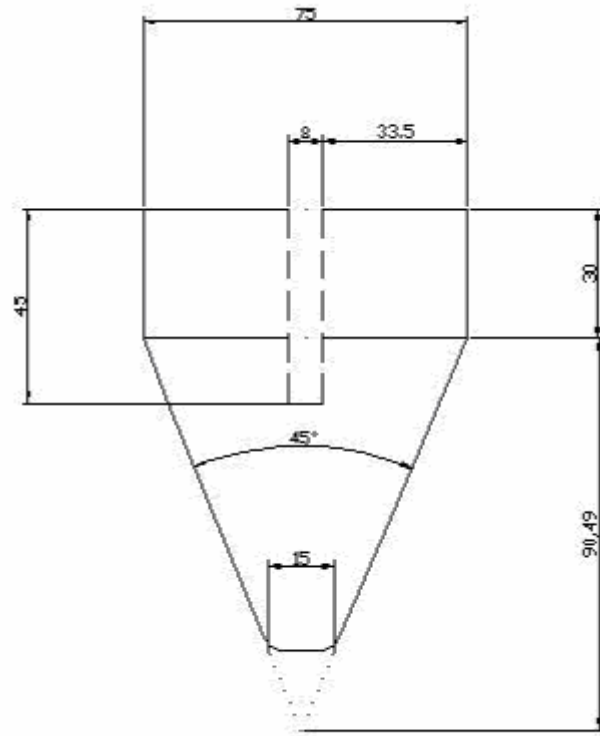
Şekil 4.3. Çekme deneyi için hazırlanan numunenin fotoğrafı ve alındığı profil yüzeyleri

#### 4.4. Köşe Genişletme Deneyi

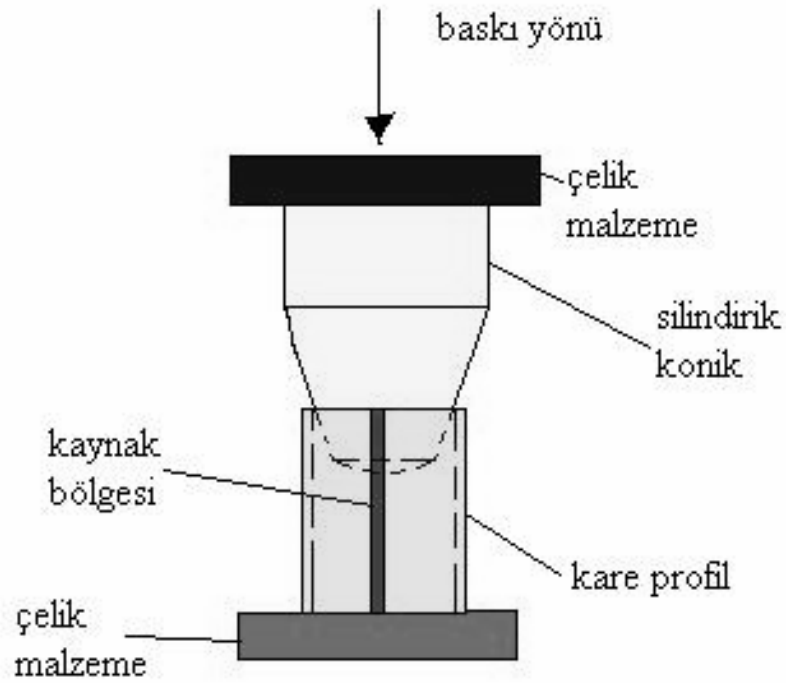
Şekil 4.4'te köşe genişletme deneyinde kullanılan 75 mm uzunluğundaki kutu kare profil (30x30x1,20mm) gösterilmektedir. TS EN 10234 standardına göre hazırlanan numuneler, yine aynı standartta ebatları verilen mandrel kullanılarak köşe genişletme deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.5). Mandrel, dik konumda çekme-basma cihazının üst çenesine bağlanmıştır. Kutu profil ise dik konumda cihazın alt çenesi üzerindeki levha üstüne mandrel ile aynı eksen doğrultusunda yerleştirilmiştir. Mandrel, kutu profil içerisine girdirilerek basma kuvveti uygulanmakta ve kutu profil yırtılana kadar yük uygulaması devam etmektedir (Şekil 4.6). Sonuçlar yük-mesafe eğrisi şeklinde alınmaktadır. Yük-mesafe eğrisindeki değişiklikler kutu profildeki yırtılmalar izlenerek belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlem için DARTECT marka çekme-basma cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Köşe genişletme numunesinin fotoğrafı



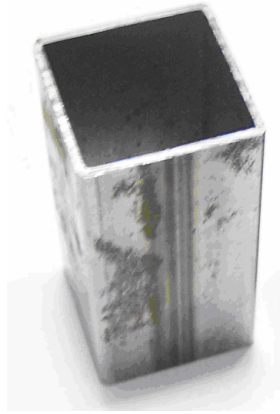
Şekil 4.5. Köşe genişletme deneyinde kullanılan ve TS 272'ye göre hazırlanan mandrel ve ebatları



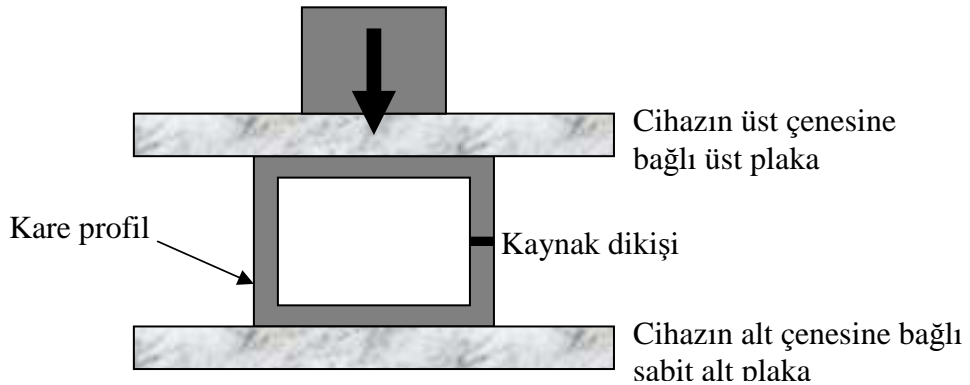
Şekil 4.6. Köşe genişletme deneyinin uygulaması

#### 4.5. Yassılma Deneyi

Yassılma deneyi numuneleri, TS 237 EN 10233 standardına göre hazırlanmıştır. Kutu kare profil numunelerin uzunluğu 60 mm olacak şekilde kesilmiştir. Şekil 4.7’de yassılma deney numunesi gösterilmektedir. Numuneler, çekme-basma cihazının alt çenesi üzerine yerleştirilen çelik plaka üzerine cihazın ekseni ile örtülecek şekilde yerleştirilir. Yerleştirme işleminde profil yüzeyi üzerindeki kaynak dikişinin bulunduğu yüzeyin yan tarafta kalacak şekilde olmasına dikkat edilmelidir. Cihazın üst çenesine bağlanan çelik levha profile baskı kuvveti uygulayarak temas ettirilip basma kuvveti-mesafe diyagramları elde edilmiştir. Numune üzerine uygulanan baskı kutu profilin üst kısmının alt kısma değmesine kadar devam ettirilir. Şekil 4.8’de yassılma deneyinin uygulama şekli şematik olarak gösterilmektedir. Deney işlemleri DARTECT marka çekme-basma cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.7. Yassılma deneyi numunesinin fotoğrafı



Şekil 4.8. Yassılma deneyinin uygulanışı

#### 4.6. Metalografik İnceleme

Üretilen farklı kaynak parametrelerindeki profillerin kaynak bölgesinin mikroyapısı optik mikroskop altında incelenmiştir. İnceleme öncesi geleneksel metalografik hazırlama teknikleri kullanılarak numuneler parlatılmış ve %2 nitelle dağlanarak incelemeler yapılmıştır. Metalografik işlemler ERDEMİR Ar-Ge/Kalite Kontrol Laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

## BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Kutu Profillerin Kaynak Bölgesinin Yüzeysel Görünümü

Değişik kaynak parametreleri kullanılarak imal edilen kutu profillerinin birleştirme yüzeyine ait örnek bir fotoğraf, Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi kaynak bölgesi yüzey üzerindeki renk değişimi sebebiyle gözle ayırt edilebilmektedir. Farklı parametrelerde birleştirilen profillerin birleştirme bölgesinde gözle ayırt edilebilecek bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla birleşme probleminin varlığını tespit edebilmek için mikroyapı incelemesine ve mekanik deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla gelecek bölümlerde bu deneysel çalışmalar yapılarak kaynak bölgesindeki problemlerin hangi kaynak parametresiyle nasıl değiştiği incelenmiştir. Kısacası gözle muayenenin yeterli bir sonuç vermediği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.1. Kaynak bölgesinin profil yüzeyindeki görünüşü

### 5.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile farklı kaynak parametreleri kullanılarak üretilen kutu kare profillerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme deneyleri yapılarak gerilim - uzama eğrileri elde edilmiştir. Çekme deneyleri, kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, empeder konumu, empeder çapı,



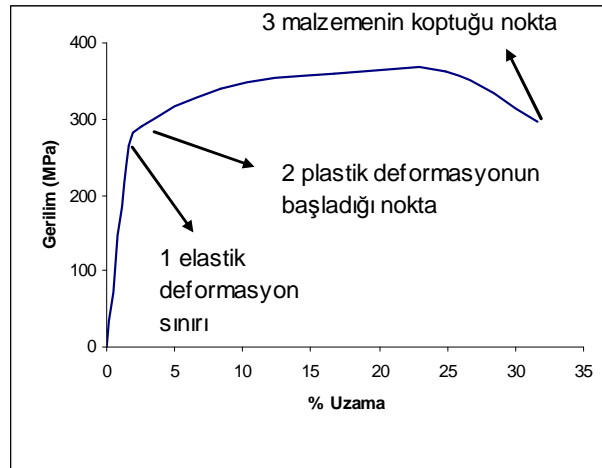
indüksiyon bobin konumu, indüksiyon bobin çapı, kaynak role konumu ve kaynak role baskısı etkenleri dikkate alınarak üretilen profillere uygulanmıştır. Kaynaklı numunelerle karşılaştırmak amacıyla profillerin yan yüzeylerinden ve ana malzemedan hazırlanan numunelere de çekme deneyi uygulanmıştır. Tablolar halinde bütün numunelerin çekme deneyi sonuçları verilmiştir. Farklı kaynak parametrelerine ait numunelerin gerilim - uzama eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir.

### 5.2.1 Ana malzemenin çekme deneyi

Profil imalatı için kullanılan ana malzemeye (ERDEMİR kalite no 6112, DIN EN 10130 Kalite DC 01) yapılan çekme deneyi sonucunda, akma dayanımının 265 MPa, çekme dayanımının 363 MPa ve % uzama değeri ise % 31,60 olduğu tespit edilmiştir. ERDEMİR kataloğunda verilen standart değerlerle karşılaştırıldığında (Tablo 5.1), deneysel olarak elde edilen sonuçların aşırı bir farkının olmadığı görülmektedir. Akma mukavemeti biraz düşük çıkmasına rağmen çekme mukavemeti değerleri ise standartta verilen değerler arasındadır. Şekil 5.2’de ana malzemeye ait olan gerilim - uzama eğrisi ve Şekil 5.3’te ise çekme testi sonucu kopan numune fotoğrafı gösterilmektedir.

Tablo 5.1. DIN 10130 Kalite DC01 çeliğinin deneysel ve standartlarda verilen mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

Standart	ERDEMİR Kalite No 6112 (DIN 10130 Kalite DC01)	Mekanik değerler		
		Akma dayanımı (MPa) $R_e$	Çekme dayanımı (MPa) $R_m$	% Uzama ( $A_{80}$ )
		280	270 - 410	28
DIN 10130 Kalite DC01 çeliğin çekme deneyi sonuçları		265	363	31,6



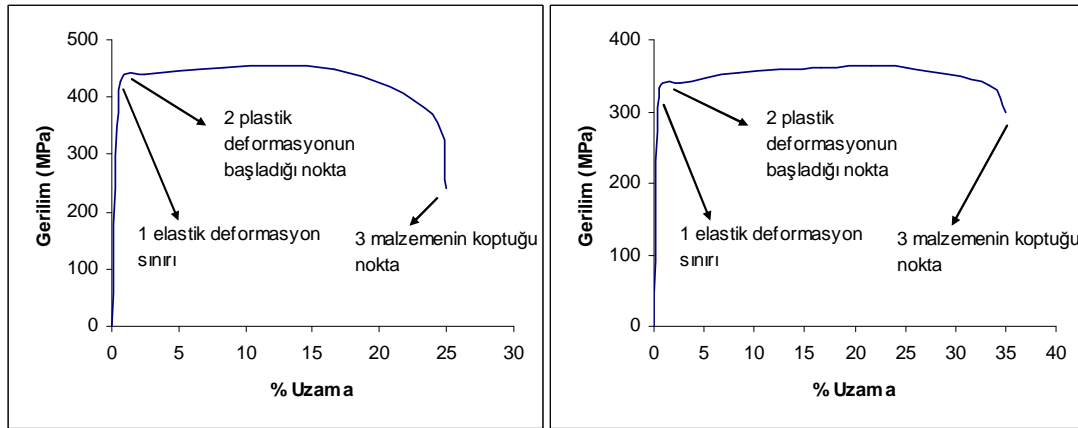
Şekil 5.2. Ana malzemenin çekme testi sonucu elde edilen gerilim-% uzama grafiği



Şekil 5.3. Çekme testi uygulanarak kopan ana malzemenin fotoğrafı

### 5.2.2. Kaynak hızının mekanik özelliklere etkisi

Kutu kare profillerin imalatında kaynak hızının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak akımı 625 Amperde sabit tutularak, beş farklı kaynak hızında kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Her bir kaynak parametresi için gerilim - uzama eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5.4'te örnek olması amacıyla kaynak akımı 625 amper ve kaynak hızı 60 m/dak. olan 1 numaralı numuneye ait olan gerilim - uzama eğrileri verilmiştir. Tablo 5.2'de ise değişik kaynak hızlarında yapılan tüm numunelere ait sonuçlar verilmektedir.



(a) Kutu profilin kaynaklı yüzeyi

(b) Kutu profilin kaynaklı olmayan yan yüzeyi

Şekil 5.4. Numune 1'in gerilim - % uzama grafik eğrileri (hız 60 m/dk, akım 625 amper, induksiyon çapı Ø44 mm kaynak rollerine olan mesafe 4 mm, empeder çapı 25 mm ve empeder konumu 4-5 mm kaynak rollerini geçecek şekildedir)

Tablo 5.2. Kaynak akımının sabit, kaynak hızının değişken olduğu durumda üretilen numunelerin çekme deney sonuçları

Kaynak akımı (Amper)	Kaynak hızı (m/dak)	Numune Kodu	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
625	50	8	Kaynaklı	483 ±6	502 ±5	10 ±2
			Kaynaklızsız	354 ±5	392 ±8	33 ±1
	55	9	Kaynaklı	461 ±2	480 ±6	19 ±4
			Kaynaklızsız	369 ±8	407 ±4	34 ±2
	60	1	Kaynaklı	429 ±7	452 ±9	25 ±1
			Kaynaklızsız	332 ±5	363 ±3	35 ±3
	65	10	Kaynaklı	442 ±5	455 ±5	26 ±1
			Kaynaklızsız	366 ±4	401 ±6	33 ±3
	70	11	Kaynaklı	426 ±3	442 ±2	27 ±2
			Kaynaklızsız	338 ±5	379 ±4	36 ±3
Ana malzeme				265	363	31,60

Profil imalatında kaynak hızı arttıkça kaynak dikiş mukavemetinin azaldığı çeşitli çalışmalarda ifade edilmektedir. Tablodan görüleceği gibi kaynak hızı 65 m/dak değerini geçmeye başladığı zaman çekme mukavemetinde bir azalma eğilimi kendini göstermektedir. Kaynak hızı 65 m/dak değeri altına düşünce çekme mukavemetinin arttığı görülmektedir. Profil imalatında seri üretim söz konusu olduğu için mümkün olabilecek kaynak hızlarının belirlenmesi ekonomiklik açısından önem

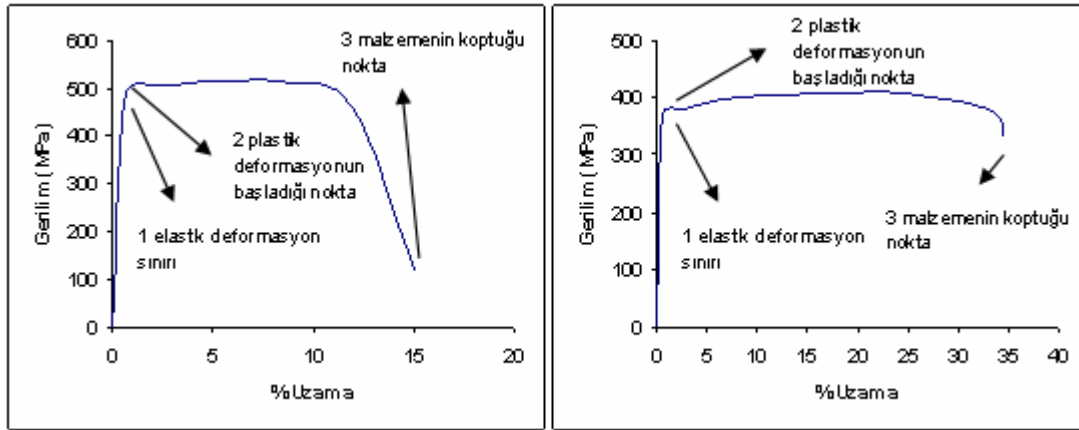
kazanmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma sonucunda ekonomikliğin de dikkate alınarak en yüksek hızda ve yüksek mukavemet değerinin elde edilebileceği kaynak parametreleri şunlardır: Kaynak hızı 60-65 m/dak ve kaynak akımı 625 amper.

Kaynaklı ve kaynaklı yüzeylerden alınan numunelerin çekme mukavemetleri incelendiğinde kaynaklı numunelere ait çekme mukavemetlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Kaynaklı numunelerdeki çekme mukavemet artışının sebebi kaynak ısısından dolayı sıcak şekil değiştirme tarzında bir işleme tabi tutulurken, profilin kaynaklı yüzeyleri ise soğuk şekil verme işlemine tabi tutulmaktadır. Dolayısıyla sıcak şekil verme işlemi yeniden kristalleşmeye katkı sağlayacağından dolayı profilin kaynaklı yüzeyinin çekme mukavemeti artış göstermiş olabilir. Aynı şekilde kaynaklı numunelerin % uzama değerleri, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Ana malzemenin çekme mukavemeti ve % uzama değerleri ile profilin kaynaklı yüzeyine ait çekme mukavemeti ve % uzama değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Fakat kaynaklı yüzeyin çekme mukavemeti ana malzemeninkinden oldukça yüksek olduğu, % uzama değerlerinin ise ana malzemenin % uzama değerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak yüksek frekans kaynak tekniği ve soğuk deformasyon işleminin beraberce uygulandığı bir imalat sisteminde çekme mukavemetinin arttığı ve % uzama değerinin ise azaldığı söylenebilir.

### **5.2.3. Kaynak akımının mekanik özelliklere etkisi**

Kutu kare profillerin imalatında kaynak akımının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak da sabit tutularak, yedi farklı kaynak akımında kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Her bir kaynak parametresi için gerilim - uzama eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5.5'te örnek olması amacıyla kaynak hızı 60 m/dak ve kaynak akımı 750 amper olan 7 numaralı numuneye ait olan gerilim - uzama eğrileri verilmiştir. Tablo 5.3'te ise değişik kaynak akımlarında yapılan tüm numunelere ait sonuçlar verilmektedir.



(a) Kutu profilin kaynaklı yüzeyi

(b) Kutu profilin kaynaklı olmayan yan yüzeyi

Şekil 5.5. Numune 7'nin gerilim - % uzama grafik eğrileri (kaynak akımı 750 amper ve kaynak hızı 60 m/dk)

Tablo 5.3. Kaynak hızının sabit, kaynak akımının değişken olduğu durumda üretilen numunelerin çekme testi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	500	2	Kaynaklı	445 ±2	461 ±9	26 ±1
			Kaynaklızsız	360 ±3	395 ±12	35 ±3
	550	3	Kaynaklı	420 ±5	433 ±5	18 ±6
			Kaynaklızsız	351 ±5	385 ±5	32 ±2
	600	4	Kaynaklı	458 ±6	471 ±9	21 ±5
			Kaynaklızsız	360 ±4	395 ±2	34 ±3
	625	1	Kaynaklı	429 ±7	452 ±9	25 ±1
			Kaynaklızsız	332 ±5	363 ±3	35 ±3
	650	5	Kaynaklı	445 ±5	467 ±5	21 ±3
			Kaynaklızsız	360 ±7	392 ±7	32 ±7
	700	6	Kaynaklı	489 ±8	502 ±3	14 ±2
			Kaynaklızsız	379 ±4	414 ±6	32 ±5
	750	7	Kaynaklı	489 ±2	512 ±8	15 ±4
			Kaynaklızsız	369 ±1	407 ±3	34 ±3
Ana malzeme				265	363	31,60

Tablodan görüleceği gibi en yüksek çekme mukavemeti (512 MPa) değeri kaynak akım değerinin 750 amper olduğu numuneye aittir. Kaynak akım değeri arttıkça çekme mukavemetinin de arttığı görülmektedir. Seri üretimde kaynak hızı ile kaynak akımının uygun değerlerde seçilmesi gerekir. Kaynak hızına uygun olarak kaynak

akımını tercih etmek oldukça önem taşımaktadır. Dolayısıyla bu çalışma sonucunda en uygun kaynak hızı da dikkate alınarak yüksek mukavemet değerinin elde edilebileceği kaynak parametreleri şunlardır: Kaynak hızı 60 m/dak ve kaynak akımı 600 - 700 amper.

Kaynaklı ve kaynaklı yüzeylerden alınan numunelerin çekme mukavemetleri incelendiğinde kaynaklı numunelere ait çekme mukavemetlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde kaynaklı numunelerin % uzama değerleri, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu eğilim tüm çekme deney numunelerinde benzerlik arz etmektedir. Ana malzemenin çekme mukavemeti ve % uzama değerleri ile profilin kaynaklı yüzeyine ait çekme mukavemeti ve % uzama değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Fakat kaynaklı yüzeyin çekme mukavemeti ana malzemeninkinden oldukça yüksek olduğu, % uzama değerlerinin ise ana malzemenin % uzama değerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu eğilim de tüm çekme deney numunelerinde benzerlik arz etmektedir.

#### **5.2.4. Kaynak role konumu ve baskısının mekanik özelliklere etkisi**

Kutu kare profillerin imalatında kaynak role konumunun birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak ve kaynak akımını 625 amperde sabit tutularak, aksel kaçıklığı olan ve olmayan iki farklı kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Her bir kaynak parametresi için gerilim - uzama eğrileri elde edilmiştir. Tablo 5.4'te aksel kaçıklığı olan ve olmayan numunelere ait çekme deney sonuçları verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi kaynak rolesinde aksel kaçıklık olduğu zaman iyi bir birleştirmenin olmadığı ve mukavemet değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 5.4. Eksenel kaçıklığı olan ve olmayan numunelere ait çekme deneyi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	Role Konumu	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	625	1	Eksenel kaçıklık yok	Kaynaklı	429 ±3	452 ±6	25 ±3
				Kaynaksız	332 ±2	363 ±5	35 ±4
		13	Eksenel kaçıklık var	Kaynaklı	365 ±4	404 ±6	17 ±2
				Kaynaksız	295 ±6	345 ±8	27 ±3
Ana malzeme					265	363	31,6

Kutu kare profillerin imalatında kaynak rollerinin iyice sıkıştırılıp sıkıştırılmamasının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak ve kaynak akımı 625 amperde sabit tutularak, rollerin iyice sıkıldığı ve sıkılmadığı konum olmak üzere iki farklı kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Her bir kaynak parametresi için gerilim - uzama eğrileri elde edilmiştir. Tablo 5.5'te kaynak rollerinin iyice sıkılmış ve iyice sıkılmamış şeklinde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi kaynak rolesi iyi sıkıştırılmadığı takdirde istenilen nitelikte bir birleştirme gerçekleşmemektedir. Böylece mukavemet değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 5.5. Kaynak rollerinin iyice sıkılmış ve iyice sıkılmamış şeklinde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	Role Baskısı	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	625	1	Roleler iyice sıkılmış	Kaynaklı	429 ±3	452 ±6	25 ±3
				Kaynaksız	332 ±2	363 ±5	35 ±4
		12	Roleler iyice sıkılmamış	Kaynaklı	350 ±5	390 ±4	16 ±3
				Kaynaksız	280 ±5	310 ±7	25 ±4
Ana malzeme					265	363	31,6

### 5.2.5. Empederin konumu ve çapının mekanik özelliklere etkisi

Kutu kare profillerin imalatında empederin kaynak role merkezinden uzaklığının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak ve kaynak akımı 625 amperde sabit tutularak, empederin kaynak role merkezinden 4 mm ileride ve 60 mm geride olacak şekilde iki farklı kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Her bir kaynak parametresi için gerilim-%uzama eğrileri elde edilmiştir. Tablo 5.6'da empederin kaynak role merkezinden 4 mm ileride ve 60 mm geride olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi empeder kaynak role merkezinden uzaklaştırılarak konumlandırıldığında istenilen nitelikte bir birleştirme gerçekleşmemektedir. Böylece mukavemet değerlerinin de düştüğü görülmektedir.

Tablo 5.6. Empederin kaynak role merkezinden 4 mm ileride ve 60 mm geride olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	Empederin kaynak role merkezinden uzaklığı (mm)	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	625	1	4	Kaynaklı	429 ±3	452 ±6	25 ±3
				Kaynaklı olmayan	332 ±2	363 ±5	35 ±4
		14	60	Kaynaklı	370 ±4	395 ±3	15 ±4
				Kaynaklı olmayan	240 ±5	290 ±6	22 ±3
Ana malzeme					265	363	31,6

Kutu kare profillerin imalatında empeder çapının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak ve kaynak akımı 625 amperde sabit tutularak, empeder çapı Ø 25 mm ve Ø 12 mm olacak şekilde iki farklı kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Tablo 5.7'de empeder çapının Ø 25 mm ve Ø 12 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi empeder çapı düştükçe etkin



bir kaynak işlemi gerçekleşmemektedir. Böylece mukavemet değerlerinin de düştüğü görülmektedir.

Tablo 5.7. Empeder çapının Ø 25 mm ve Ø 12 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	Empeder çapı (mm)	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	625	1	Ø 25	Kaynaklı	429 ±3	452 ±6	25 ±3
				Kaynaksız	332 ±2	363 ±5	35 ±4
		15	Ø 12	Kaynaklı	365 ±4	385 ±3	15 ±4
				Kaynaksız	235 ±5	270 ±6	22 ±3
Ana malzeme					265	363	31,6

### 5.2.6. İndüksiyon bobininin çapı ve konumunun mekanik özelliklere etkisi

Kutu kare profillerin imalatında indüksiyon bobin çapının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak ve kaynak akımı 625 amperde sabit tutularak, indüksiyon bobin çapı Ø 44 mm ve Ø 82 mm olacak şekilde iki farklı kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Tablo 5.8’de indüksiyon bobin çapının Ø 44 mm ve Ø 82 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi indüksiyon bobin çapının değişmesi mukavemet değerlerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Tablo 5.8. İndüksiyon bobin çapının Ø 44 mm ve Ø 82 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	İndüksiyon bobin çapı (mm)	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	625	1	Ø 44	Kaynaklı	429 ±3	452 ±6	25 ±3
				Kaynaksız	332 ±2	363 ±5	35 ±4
		16	Ø 82	Kaynaklı	448 ±6	464 ±9	23 ±4
				Kaynaksız	385 ±5	420 ±6	31 ±1
Ana malzeme					265	363	31,6

Kutu kare profillerin imalatında indüksiyon bobininin kaynak role merkezinden uzaklığının birleştirme mukavemeti üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak hızını 60 m/dak ve kaynak akımı 625 amperde sabit tutularak, indüksiyon bobininin kaynak role merkezinden 4 mm, 75 mm ve 150 mm olacak şekilde üç farklı kutu kare profil üretilmiştir. Üretilen profillerin kaynaklı yüzeylerinden ve kaynaklı olmayan yüzeylerinden alınan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Tablo 5.9'da indüksiyon bobininin kaynak role merkezinden 4 mm, 75 mm ve 150 mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları verilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi indüksiyon bobininin kaynak role merkezinden uzaklaştıkça mukavemet değerleri azalmaktadır.

Tablo 5.9. İndüksiyon bobininin kaynak role merkezinden 4mm, 75mm ve 150mm olacak şekilde üretilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları

Kaynak hızı (m/dk)	Kaynak akımı (Amper)	Numune Kodu	İndüksiyon bobininin kaynak role merkezinden uzaklığı (mm)	Çekme deney numunesi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	% Uzama
60	625	1	4	Kaynaklı	429 ±3	452 ±6	25 ±3
				Kaynaksız	332 ±2	363 ±5	35 ±4
		17	75	Kaynaklı	360 ±4	380 ±3	16 ±4
				Kaynaksız	235 ±5	260 ±6	21 ±3
		19	150	Kaynaklı	355 ±4	382 ±3	15 ±4
				Kaynaksız	220 ±5	265 ±6	20 ±3
Ana malzeme					265	363	31,6

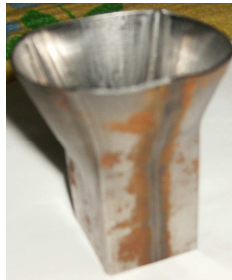
### 5.3. Köşe Genişletme Deneyi Sonuçları

Yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile farklı kaynak parametreleri kullanılarak üretilen kutu kare profillerin köşelerde mi yoksa kaynak dikiş yerinden mi çatlağın başlayıp ilerlediğini belirlemek amacıyla köşe genişletme deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda yük - mesafe eğrileri elde edilmiştir. Deney esnasında çatlağın başlangıcının nereden başladığı gözle takip edilerek eğri üzerinde işaretlenmiştir. Köşe genişletme deneyleri kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, empeder konumu, empeder çapı, indüksiyon bobin konumu, indüksiyon bobin

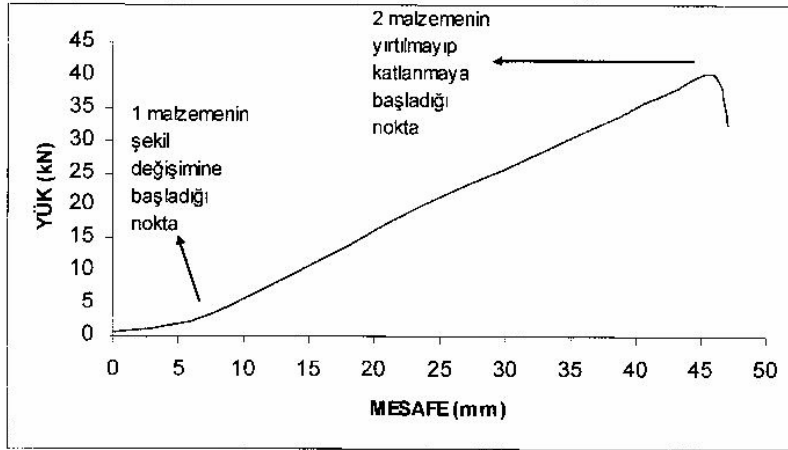
çapı, kaynak role konumu ve kaynak role baskısı etkenleri dikkate alınarak üretilen profillere uygulanmıştır.

### 5.3.1. Kaynak hızının etkisi

Genişletme deneyi numune kodu 1, 8, 9, 10 ve 11 olan numunelere uygulanmıştır. Şekil 5.6'da genişletme testi uygulanan kare kutu profilin deney sonrası meydana gelen şekil değişimini gösteren fotoğraf yer almaktadır. Şekil 5.7'de de genişletme deneyi sonucu elde edilen 10 numaralı koda sahip numuneye ait yük - mesafe eğrisi gösterilmektedir. Eğri üzerindeki şekil değişiklikleri ile deney esnasındaki profilin deformasyonu gözle takip edilerek tanımlanmaya çalışılmıştır. Eğrideki 1 numara ile işaretlenen yere kadar numunede herhangi bir şekil değişiminin olmadığı gözlenmiştir. İşaretlenen 1 numaralı bölgeyi geçince numunenin de plastik deformasyonunun başladığı tespit edilmiştir. Eğrideki değişim ise bunu ifade etmektedir. Eğrideki 2 numara ile işaretlenen yere kadar eğride eğer çatlak oluşmamışsa gözle görünür bir değişiklik olmamakta ve profil genişlemesi devam etmektedir. Eğride 2 numara ile işaretlenen noktaya ulaşıncaya profilin köşelerinden yırtılmaya başlıyor ve bu yırtılma işlemi yükün düşüşü şeklinde eğride görülüyor. Kaynak dikişi istenilen niteliklerde ise profil kaynak dikişinden değil de köşelerinden yırtılarak hasara uğramaktadır. Köşe genişletme deneyinin uygulandığı 1, 8, 9, 10 ve 11 kodlu numunelerden benzer yük - mesafe eğrileri alınmıştır. Hiç birisinde de kaynak dikişinde yırtılma meydana gelmemiştir. Dolayısıyla köşe genişletme testiyle elde edilen sonuçlarda kaynak hızının kaynak dikişini nasıl etki ettiği hususunda çok net bir sonuç çıkmamaktadır. Tablo 5.10'da 1, 8, 9, 10 ve 11 kodlu numunelere ait maksimum yük değerleri verilmektedir. Gözle görünür bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 5.6. Köşe genişletme deneyi sonrası numunedeki şekil değişimi



Şekil 5.7. Numune 10'in köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği (kaynak hızı 65 m/dk ve kaynak akımı 625 amper)

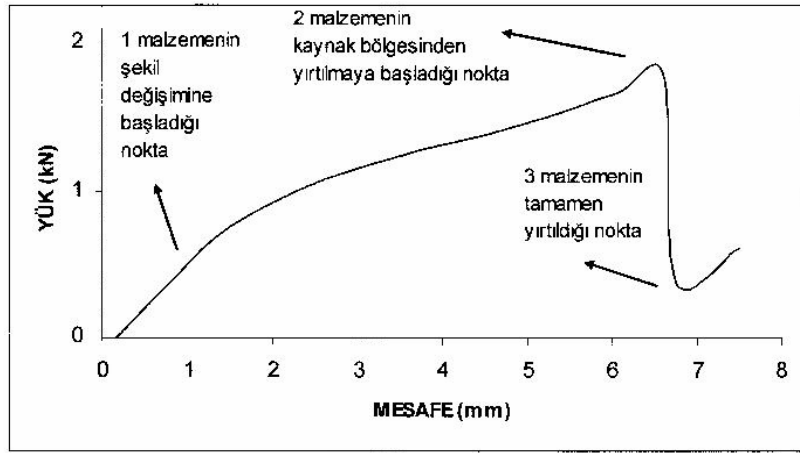
Tablo 5.10. Kaynak hızının değiştirilerek imal edildiği numunelere ait köşe genişletme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Kaynak Akımı (Amper)	Kaynak Hızı (m/dk)	Maksimum yük (kN)
8	625	50	41
9		55	41
1		60	40
10		65	41
11		70	40

### 5.3.2. Kaynak akımının etkisi

Köşe genişletme kaynak akım değerlerinin değiştirildiği deneyi numune kodu 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 olan numunelere uygulanmıştır. Kaynak akım değeri düşük olan 2 ve 3 numaralı numunelerde ve kaynak akım değeri yüksek olan 6 ve 7 numaralı numunelerin yük-mesafe eğrilerinde çatlakın kaynak dikişinden başladığı tespit edilmiştir. Şekil 5.8'de örnek olarak 2 numaralı numuneye ait yük-mesafe eğrisi verilmektedir. Diğer numunelerin eğrileri de benzer özellik gösterdiği için bölüm içerisine yerleştirilmemiştir. Şekilde de görüleceği gibi yük eğrisi 1 numaralı yerden sonra plastik şekil değişimini ifade eder. Yük yükselince (2 numaralı nokta) kaynak dikişinde yırtılma başlamış ve yırtılmanın devamıyla da yük düşüşü gerçekleşmiştir.

Tablo 5.11’de numune kodu 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 olan numunelere ait maksimum yük değerleri verilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere 2, 3, 6 ve 7 numunelerinin maksimum yük değerleri de azalmaktadır. Bu sonuçlar çekme deneyi sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Çünkü kaynak akım değeri belirli bir seviyeden düşük veya yüksek olursa yeterli birleştirme değerleri elde edilememektedir. Bu sonucu köşe genişletme deneyi de göstermektedir.



Şekil 5.8. Numune 2'nin köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

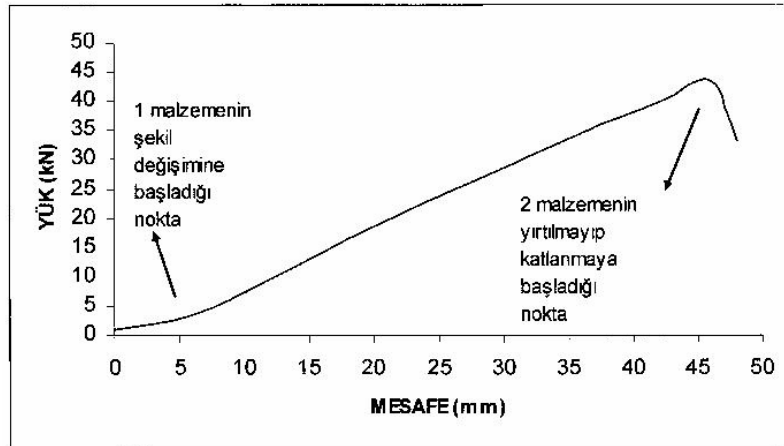
Tablo 5.11. Kaynak akımının değiştirilerek imal edildiği numunelere ait köşe genişletme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Kaynak Hızı (m/dk)	Kaynak Akımı (Amper)	Maksimum yük (kN)
2	60	500	2
3		550	25
4		600	45
1		625	41
5		650	40
6		700	17
7		750	14

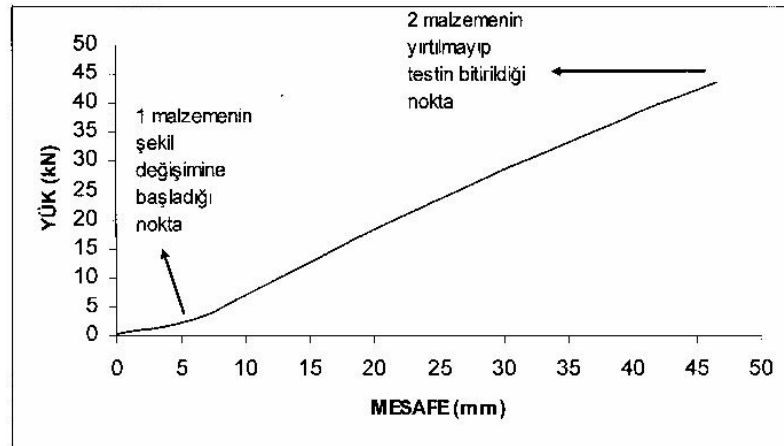
### 5.3.3. Kaynak rollerinin konumu, baskı etkisi ve eksenelliği

Köşe genişletme deneyi, kaynak rollerinin konumu ve baskısının etkisini değerlendirmek amacıyla imal edilen numune kodu 12 ve 13 olan numunelere

uygulanmıştır. Şekil 5.9’da kaynak rolleri iyice sıkılmamış 12 kodlu numunenin ve Şekil 5.10’da kaynak rollerinin aksenal kaçıklığının varlığı ile imal edilen 13 kodlu numunenin yük - mesafe eğrileri gösterilmektedir. Her iki numune de kaynak dikişinden yırtılmamış fakat numune katlanmıştır. Maksimum yük değerleri ise 40 kN civarındadır. Dolayısıyla kaynak rollerinin konumunu değiştirmek ve aksenal kaçıklık vermenin kaynak dikişine etkisini köşe genişletme deneyi ile yorumlamak mümkün olmamıştır.



Şekil 5.9. Numune 12'nin köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

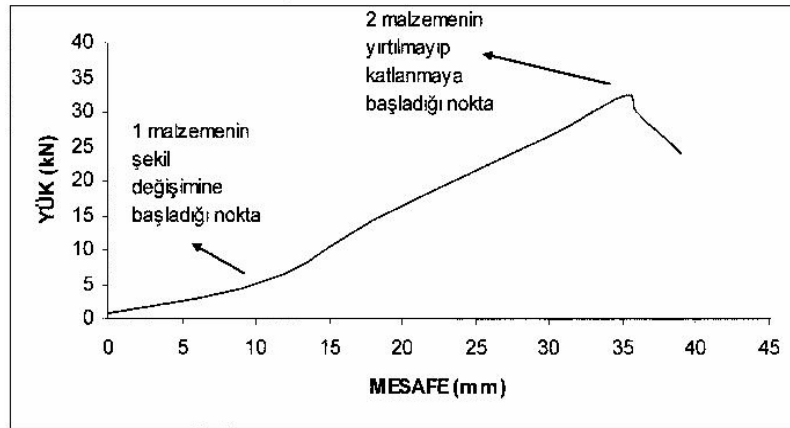


Şekil 5.10. Numune 13'ün köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

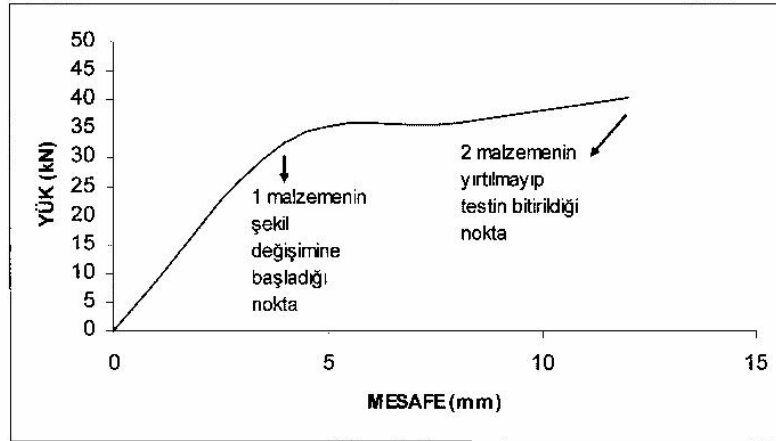
#### 5.3.4. Empederin konumu ve çapının etkisi

Köşe genişletme deneyi, empederin konumu ve çapının etkisini değerlendirmek amacıyla imal edilen numune kodu 14 ve 15 olan numunelere uygulanmıştır. Şekil

5.11’de empederin kaynak role merkezinden uzaklığının 60 mm olduğu 14 kodlu numunenin ve Şekil 5.12’de empeder çapının 12 mm ile imal edilen 15 kodlu numunenin yük-mesafe eğrileri gösterilmektedir. Her iki numune de kaynak dikişinden yırtılmamış fakat numune katlanmıştır. Maksimum yük değerleri ise 35 kN civarındadır. Dolayısıyla kaynak empederin konumunu ve çapını değiştirmek kaynak dikişine etkisini köşe genişletme deneyi ile yorumlamak mümkün olmamıştır.



Şekil 5.11. Numune 14’ün köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

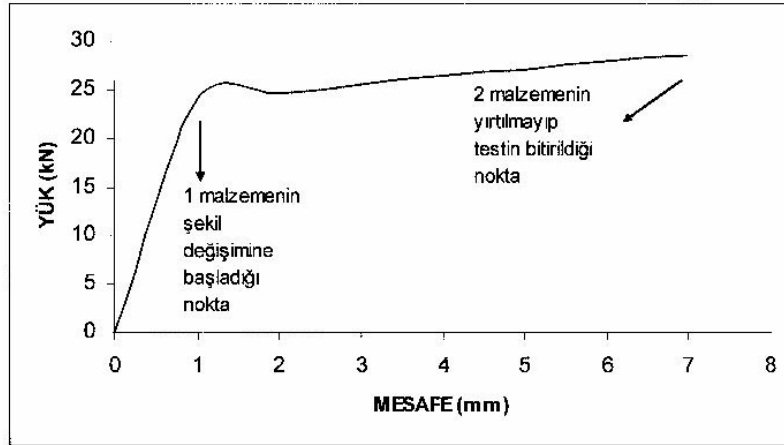


Şekil 5.12. Numune 15’in köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

### 5.3.5. İndüksiyon bobininin çapı ve konumunun etkisi

Köşe genişletme deneyi, indüksiyon bobininin konumu ve çapının etkisini değerlendirmek amacıyla imal edilen numune kodu 1 ve 16 olan numunelere

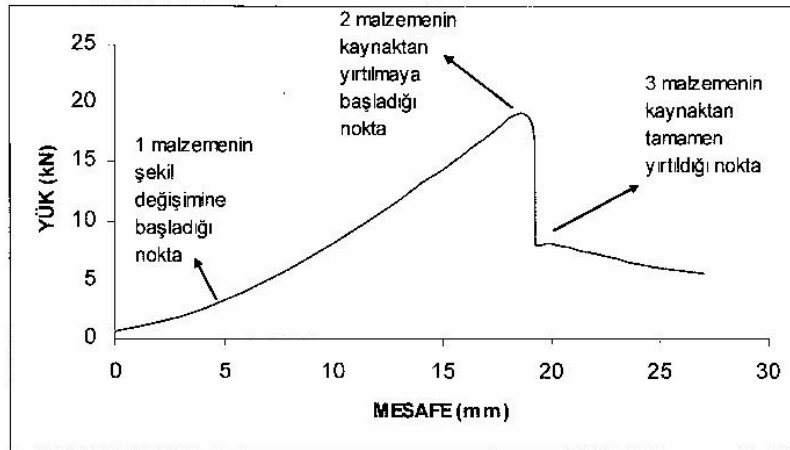
uygulanmıştır. Şekil 5.13’de indüksiyon bobin çapının 82 mm olduğu 16 kodlu numunenin yük - mesafe eğrisi gösterilmektedir. Profil kaynak bölgesinden yırtılmadığı için sona erdirilmiştir. İndüksiyon bobin çapının değiştirilmesi kaynak dikişinin mukavemetine çok büyük bir etki yapmadığı görülmüştür.



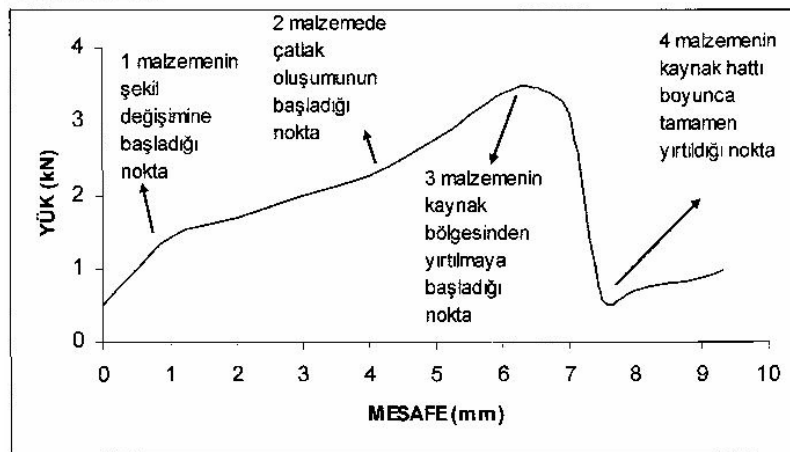
Şekil 5.13. Numune 16'nın köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

Şekil 5.14'te indüksiyon bobininin kaynak merkezinden uzaklığı 75 mm olan ve 17 kodlu numunenin yük - mesafe eğrisi gösterilmektedir. Şekil 5.15'te de indüksiyon bobininin kaynak merkezinden uzaklığı 150 mm olan ve 19 kodlu numunenin yük-mesafe eğrisi gösterilmektedir. Her iki profil de kaynak bölgesinden yırtılarak hasara uğradığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla indüksiyon bobini kaynak merkezinden uzaklaştıkça uygun kaynaklı birleştirmenin gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Çekme deney sonuçlarında da nispeten düşük mukavemet değerlerinin elde edilmesi bu sonucu desteklemektedir.





Şekil 5.14. Numune 17'nin köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği



Şekil 5.15. Numune 19'un köşe genişletme deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

#### 5.4. Yassılma Deneyi Sonuçları

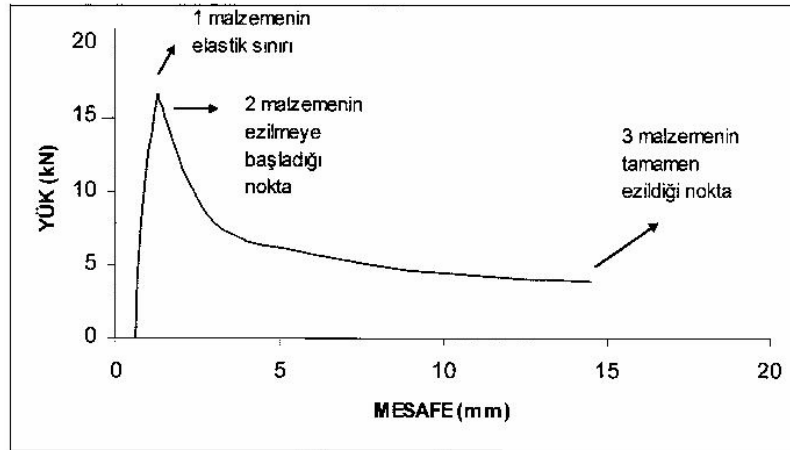
Yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile farklı kaynak parametreleri kullanılarak üretilen kutu kare profillerin baksa kuvveti etkisiyle ezilerek yırtılmanın kaynak dikişinde meydana gelip gelmediğine bakmak amacıyla yassılma deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda yük - mesafe eğrileri elde edilmiştir. Deney esnasında yırtılmanın nerenden gerçekleştiği gözle takip edilerek eğri üzerinde işaretlenmiştir. Yassılma deneyleri kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, empeder konumu, empeder çapı, indüksiyon bobin konumu, indüksiyon bobin çapı, kaynak role konumu ve kaynak role baskısı etkenleri dikkate alınarak üretilen profillere uygulanmıştır.

Şekil 5.16’da yassılma deney sonucunda plastik deformasyona uğramış kutu kare profilin fotoğrafı gösterilmektedir. Deney işleminde basma kuvveti üst yüzeyin alt yüzeye teması gerçekleştirilinceye kadar uygulanmaktadır.



Şekil 5.16. Yassılma deney sonucunda meydana gelen profilin şekil değişimi

Şekil 5.17’de numune kodu 8 olan kutu profile ait yassılma deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe eğrisi gösterilmektedir. Şekilde de görüleceği gibi eğri belirli bir yük değerine kadar lineer olarak çıkmıştır. Profil ezilmeye başladığı anda yük değeri düşmeye başlamıştır. Profilin üst yüzeyi alt yüzeye temas ettiği an basma kuvveti durdurulmuştur. Tüm numunelerde aynı eğri eğilimi görüldüğü için örnek olarak kodu 8 olan numunenin eğrisi bölüm içerisine yerleştirilmiştir. Numuneleri birbirinden ayırt etme hususunda en etkin faktör, yassılma deney sonucu elde edilen eğrinin maksimum yük değeridir. Tablo 5.12’de tüm numunelere ait maksimum yük değerleri verilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere maksimum yük değerleri düşük olan numunelerde yırtılma kaynak bölgesinden başlamıştır. Dolayısıyla yassılma deneyinde maksimum yük değeri kaynak dikişinin sağlamlığı hususunda bir değerlendirme verebilmektedir.



Şekil 5.17. Numune 8'in yassılma deneyi sonucu elde edilen yük-mesafe grafiği

Tablo 5.12. Yassılma deneyi sonucu elde edilen maksimum yük değerleri

Numune Kodu	Kaynak Hızı (m/dk)	Kaynak Akımı (Amper)	Maksimum yük (kN)	
2	60	500	15	
3		550	16	
4		600	21	
1		625	22	
5		650	19	
6		700	15	
7		750	15	
17		625		15
19				14
16				21
8				21
9	20			
10	65		20	
11	70		21	

Tablo 5.12'de görüleceği gibi maksimum yük değerleri düşük olan numuneler, gerek çekme deneyi gerekse köşe genişletme deneyi sonucunda da kaynak dikişlerinden hasara uğradıkları tespit edilmiştir. Dolayısıyla yassılma deney sonuçları ile diğer deney sonuçları birbirini desteklemektedirler.

### 5.5. Mikroyapı İnceleme

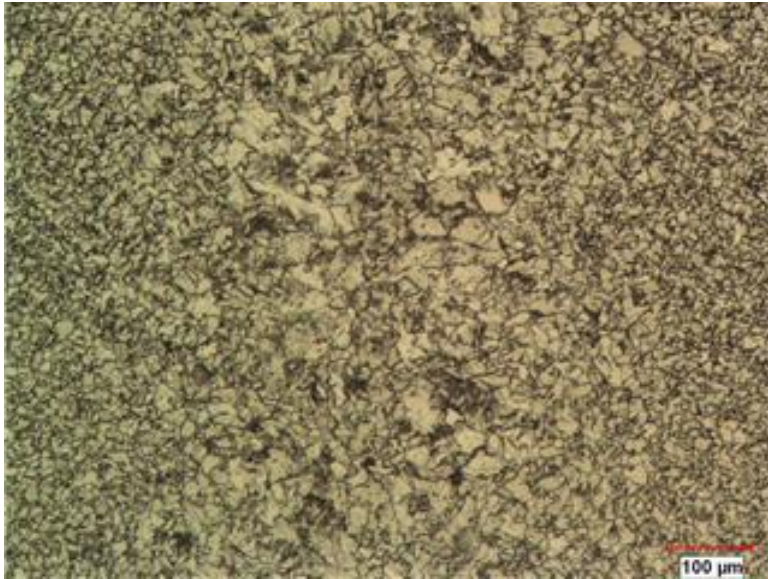
Yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile üretilen kutu kare profillerin kaynak bölgesinin mikroyapısı optik mikroskop altında incelenmiştir. Şekil 5.18'de kodu 8 olan profil numunesine ait kaynak bölgesinin makro boyuttaki mikroyapıları gösterilmektedir. Şekil 5.18 (a)'da profilin iç kısmına doğru kaynak dikişinin sarktığı gösterilmektedir. Düşük kaynak hızında kaynak dikişinin kök kısmında sarkma probleminin varlığı görülmektedir. Şekil 5.18 (b)'de ana metale göre nispeten kaba taneli olan kaynak bölgesi ayırt edilebilmektedir.

Şekil 5.19'da kodu 8 olan profil numunesine ait kaynak bölgesinin büyütülmüş mikroyapısı gösterilmektedir. Kaynak bölgesinin mikroyapısı çoğunluğu ferrit olmak üzere az miktarda da perlitik bir yapı görülmektedir.

Şekil 5.20'de kodu 1 olan profil numunesine ait kaynak bölgesinin makro boyuttaki mikroyapıları gösterilmektedir. Şekil 5.21 (a)'da profilin iç kısmına doğru kaynak dikişinin sarktığı görülmektedir. Normal kaynak hızında dahi kaynak dikişinin kök kısmında sarkma probleminin varlığı görülmektedir. Şekil 5.21 (b)'de ana metale göre nispeten kaba taneli olan kaynak bölgesi ayırt edilebilmektedir. Şekil 5.21'de kodu 1 olan profil numunesine ait kaynak bölgesinin büyütülmüş mikroyapısı gösterilmektedir. Kaynak bölgesinin mikroyapısı çoğunluğu ferrit ve perlitik bir yapı görülmektedir.

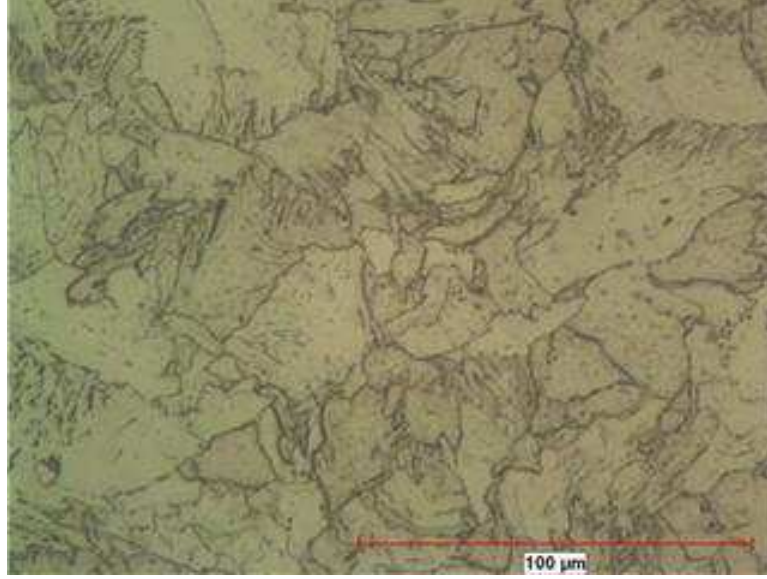


(a) Kök bölgesinde sarkmayı gösteren kaynak bölgesi

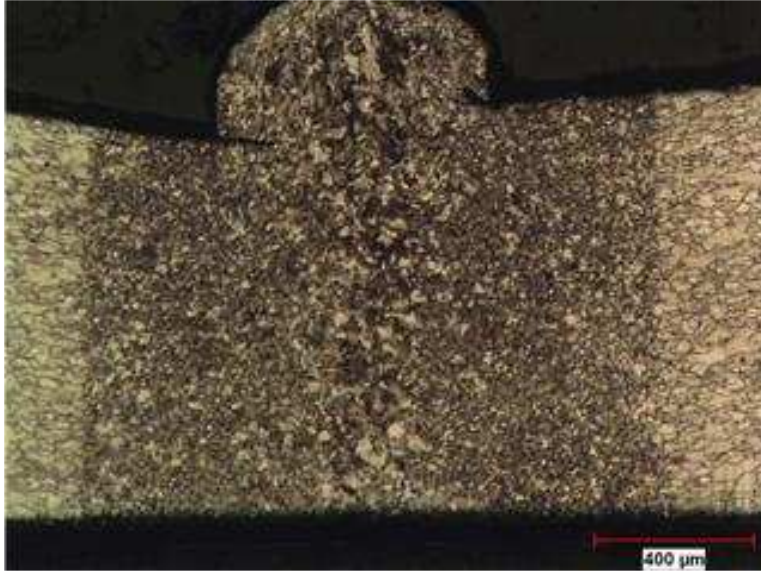


(b) Kaba taneli kaynak bölgesi

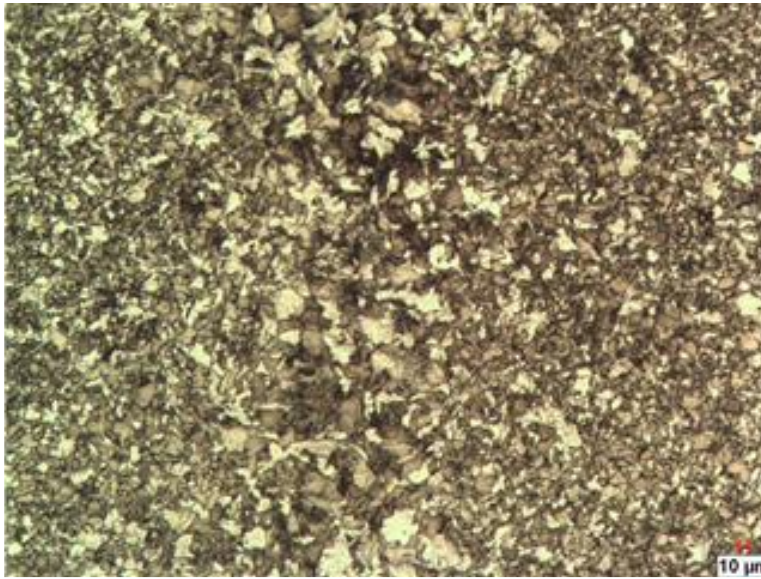
Şekil 5. 18. Kodu 8 olan numuneye ait kaynak bölgesi makroyapısı



Şekil 5. 19. Kodu 8 olan numuneye ait kaynak bölgesi mikroyapısı



(a) Kök bölgesinde sarkmayı gösteren kaynak bölgesi



(b) Kaba taneli kaynak bölgesi

Şekil 5. 20. Kodu 1 olan numuneye ait kaynak bölgesi makroyapısı



Şekil 5. 21. Kodu 1 olan numuneye ait değişik büyüklükteki kaynak bölgesi mikroyapıları



## BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Genel Sonuçlar

Kare kutu profiller, kaynak kalitesine etki eden kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı ve empeder konumu, empeder çapı, indüksiyon bobin konumu, indüksiyon bobin çapı, kaynak role konumu ve kaynak role baskısı değişken parametreleri kullanılarak yüksek frekans indüksiyon kaynak tekniği ile üretilmişlerdir. Üretilen profillerin çekme, köşe genişletme ve yassılma deneyleri yapılarak en uygun imalat şartlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma da elde edilen sonuçlar şunlardır:

- 1) Yüksek frekans indüksiyon kaynağı ile profillerin seri üretimine elverişli ekonomik bir yöntemdir.
- 2) Yüksek frekans kaynak tekniği ile kutu profil imalatında kullanılacak birbiriyle uyumlu en uygun kaynak parametreleri şunlardır:
  - a) Kaynak akımı 600-625 amper seçilmeli,
  - b) Kaynak hızı 60-65 m/dak olmalı,
  - c) Kaynak rolesine aksel kaçıklık verilmeden ayarlanmalı,
  - d) Kaynak roleleri iyice sıkıştırılmalı,
  - e) Empeder kaynak role merkezini 1/8 inç (3-4 mm) geçecek şekilde konumlandırılmalı,
  - f) Empeder çapı Ø 25 mm seçilmeli (boru çapına en yakın çapa sahip empeder seçilmeli), indüksiyon bobin çapı Ø 44 mm seçilmeli (imal edilecek boru çapından 6 mm daha geniş çapa sahip olmalı) ,
  - g) İndüksiyon bobini kaynak role merkezinden 4 mm uzaklığa konumlandırılmalı (indüksiyon bobini, kaynak rolelerine mümkün olan en yakın mesafede olmalı)

- 3) Kaynak işleminde kaynak akım değeri ne düşük ne de çok yüksek olmamalıdır.
- 4) Kutu kare profillerin mekanik testleri sonucu elde edilen eğriler birbirinden farklı özelliklerde olduğundan değerlendirme açısından çekme, yassılma ve köşe genişletme deneylerinin yapılarak sonuçların beraberce değerlendirilmesi yapılmalıdır.
- 5) Kutu kare profillerin genişletme ve yassılma deneylerinde sadece gerilim – uzama diyagramına bakılarak yorum yapılmamalı, deney işlemi yapılırken numune takip edilerek meydana gelen değişiklikler elde edilen eğri üzerinde belirtilmelidir.
- 6) Kaynak dikişlerinin kök kısmında sarkma (sakal) meydana geldiği mikroyapı fotoğraflarından belirlenmiştir.
- 7) Kaynak bölgesinin ana malzemeye göre kaba taneli olduğu, ferrit ve perlit yapılarından meydana geldiği tespit edilmiştir.

## 6.2. Öneriler

Yapılan çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

- 1) Mekanik deneyler farklı ebatlardaki kutu kare, kutu dikdörtgen ve boru profillerine de uygulanarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.
- 2) Bu çalışmada, empeder çapı Ø 25 mm ve indüksiyon bobin çapı Ø 44 mm olan şartlarda en uygun kaynak parametrelerinin seçimi yapılmıştır. Farklı empeder ve indüksiyon bobin çaplarına ait optimum kaynak parametreleri de belirlenebilir.
- 3) Kaynak dikişlerinin kontrolü açısından hidrostatik test kullanılarak deneysel çalışma yapıp sonuçlar değerlendirilebilir.
- 4) Yapılan imalatta ikili kaynak role grubu kullanılmıştır. Üçlü kaynak role grubu kullanılarak da aralarındaki olumlu veya olumsuz sonuçlar elde edilerek optimum kaynak parametreleri de belirlenebilir.
- 5) Birinci ve ikinci kalite çelik sac kullanılarak da malzeme kalitesinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.

- 6) İmal edilecek profil için iki farklı çapa sahip kaynak roleleri kullanılarak kaynak roleleri ile indüksiyon bobini arasındaki mesafe farkının kaynak kalitesine etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.e-pipe.co.kr> – Mart 2008.
- [2] Borusan Boru Ürün Kataloğu, 2007.
- [3] TS 5317 27.10.1987 Çelik Borular Dikişli, Kare ve Dikdörtgen Kesitli Profiller.
- [4] <http://www.vanleeuwenbuizen.com> – Mart 2008.
- [5] <http://www.cinarboru.com> – Mart 2008.
- [6] İŐERİ, U., Kare ve Dikdörtgen Profil Boruların İmalatı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Bitirme Ödevi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2003.
- [7] ÖZSOY, N., YÜKSEL, E., Birlik Makina San.& Tic. Ltd. Şti., 150-350 kW HF Welder, Empeder & İndüktör Dizaynı - 2006
- [8] Karadeniz Boru Profil San.ve Tic. Ltd. Şti., Çalışan Personeller ile Yapılan Görüşmeler, Mart 2008
- [9] Mannesmann Sümerbank Boru Endüstrisi A.Ő., Genel Tanıtım ve El Kitabı, 2004.
- [10] Paul F. Scott, An Introduction To High-Frequency Solid-State Pipe And Tube Welders, Thermatool Corp, East Haven, CT, USA.
- [11] <http://www.twi.co.uk> – Mart 2008.
- [12] Thermatool Yayınları, Yüksek Frekans Kaynak Teknolojisinin Esasları.
- [13] <http://www.impeder.com> – Mart 2008.
- [14] ROBERT K. Nichols, High Frequency Welding - The Process And Applications, PE Thermatool Corp. April 5, 1999.
- [15] ROBERT K. Nichols, Common Hf Welding Defects, PE Thermatool Corp., East Haven CT.
- [16] TS EN 10234, Metalik Borularda Köşe Genişletme Muayenesi 1997.

- [17] TS 237 EN 10233, Metalik Malzemeler – Borular- Yassiltma Deneyi 1992.
- [18] <http://www.erdemir.com.tr> – Mart 2008.

## ÖZGEÇMİŞ

Sezai Orhan, 07.11.1980 de Kdz. Ereğli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kdz. Ereğli’de tamamladı. 1997 yılında Ereğli Lisesi, Matematik-Fen Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü 2002 yılında bitirdi. 2006 yılı Mayıs ayından bu yana Zonguldak, Alaplı’da Karadeniz Boru Profil San. ve Tic. Ltd. Şirketinde Fabrika Müdürü olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki erkek çocuk babasıdır.