

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YASSI MALZEMEDEN KAYNAK YÖNTEMLERİYLE
PROFİL OLUŞTURMANIN ANALİZİ ve UYGUN
KOŞULLARIN ÇIKARILMASI**

Makine Mühendisi Emre GÜRSES

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Türkiye Çelik Boru-Profil Pazarı.....	2
1.2 Boyuna Kaynaklı Boru-Profil İç Pazar Payları.....	4
1.3 Boru-Profil Maliyetlerini Etkileyen Faktörler	6
2 PROFİL OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ.....	9
2.1 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemi ile Borudan Profil Oluşturma	9
2.2 Karesel Form Oluşturarak Elektrik Direnç Kaynağı ile Profil Oluşturma	10
2.3 Bindirme Ark Kaynağı ile Profil Oluşturma.....	10
2.4 Lazer Kaynağı ve Hibrid Proseslerle Profil Oluşturma	11
3 PROFİL MALZEMELERİ ve ÜRÜN TESLİM ŞARTLARI.....	14
3.1 Kare ve Dikdörtgen Biçimdeki Profil Özellikleri.....	15
3.1.1 Çelik Kalitesi	15
3.1.2 Sıcak Daldırma Galvanizleme İçin Uygunluk	16
3.1.3 Sonraki İşlemler İçin Yüzey Durumu	17
3.1.4 Kaynak Çizgisinin Yeri	17
3.1.5 İç Kaynak ve Dış Kaynak Yükseltisi	17
3.1.6 Yüzey Pürüzlülüğü.....	18
3.1.7 Uzunlamasına Kusurlar İçin Kaynak Dikişinin Tahribatsız Muayenesi.....	18
3.1.8 Et Kalınlığı Toleransı.....	18
3.1.9 Tam Uzunluk	18
3.1.10 Doğruluk	19
3.1.11 Kenarların Dikliği	19
3.1.12 Konkavlık ve Konvekslik	19
3.1.13 Burulma.....	20
3.1.14 Uç Perdahlama	20
3.1.15 Kaynak Muayenesi.....	20
3.1.16 Numune Alma-Deney Birimi	20
3.1.17 İşaretleme	21
3.1.18 Koruma ve Ambalajlama	21

3.1.19	Bir Sipariş Örneği	21
3.2	Özel Şekilli Profiller	22
4	YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI ile BORUDAN PROFİL OLUŞTURMA	24
4.1	Boru Üretiminde Kullanılan Kaynak Yöntemleri.....	24
4.2	Boru Üretiminde Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemi	24
4.3	Yüksek Frekans Kaynağının Açıklanması.....	25
4.3.1	İndüksiyon Uygulamanın Prensipleri	25
4.3.1.1	Yakınlaşma Etkisi	26
4.3.1.2	Yüzey Etkisi.....	26
4.3.2	Yüksek Frekans Temas Kaynağı	26
4.3.2.1	Standart Tipteki Temas Elemanları	27
4.3.2.2	Temas Elemanı Konstrüksiyonu	28
4.3.2.3	Temas Elemanları Uç Malzemeleri ve Büyüklükleri.....	28
4.3.2.4	Kaynak Temas Elemanlarının Montajı ve Esnek Adaptörler	29
4.3.2.5	Esnek Adaptörler ve Temas Elemanlarının Dahili Soğutması	30
4.3.2.6	Bant Köşelerinden Uzaklık.....	30
4.3.2.7	Eğiklik Açısı	31
4.3.2.8	Temas Elemanları Ömrünü ve Profil Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	32
4.3.3	Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynağı	33
5	YÜKSEK FREKANS KAYNAĞINI ETKİLEYEN PARAMETRELER	37
5.1	Isı Girdisi	37
5.1.1	Isıdan Etkilenen Bölge (IEB).....	37
5.1.2	İndüksiyon Kaynak Bobini	38
5.1.2.1	İndüksiyon Kaynak Bobin Tipleri	40
5.1.2.2	İndüksiyon Kaynak Bobini Onarım Bantları	41
5.1.3	İmpeder	42
5.1.3.1	Ferrit Karakteristikleri	44
5.1.3.2	İmpeder Çeşitleri.....	45
5.1.3.2.1	İçinden Akış Geçen İmpeder	45
5.1.3.2.2	Ferrit Açıkta İçinden Akış Geçen İmpeder	45
5.1.3.2.3	Dönüş Akışlı İmpeder	45
5.1.3.2.4	İntegral Mandrel Tip İmpeder.....	46
5.1.3.2.5	Mandrel Üzerinde İmpeder	46
5.1.3.3	İmpeder Grubunun Montajı	47
5.1.3.4	İmpeder Soğutması	47
5.1.4	Kaynak Hızı, “V” Açısı ve Frekansın Sıcaklık Dağılımına Olan Etkisi.....	48
5.1.4.1	“V” Açısı ve Makine Hızı.....	52
5.1.4.2	“V” Açısı ve Frekans	52
5.1.4.3	İndüksiyon Bobininin Konumu.....	53
5.1.4.4	Sonuçların Değerlendirilmesi	54
5.2	Form Verme	55
5.2.1	Form Verme Üniteleri.....	56
5.2.1.1	Giriş Masası ve Giriş Yeri	57
5.2.1.1.1	Bant Giriş Yerinin Önemi	57
5.2.1.1.2	Aşağı Kenar Eğme Modeli.....	58
5.2.1.1.3	Yukarı Kenar Eğme Modeli.....	59
5.2.1.1.4	Ark Yukarı Kenar Eğme Modeli.....	60
5.2.1.1.5	Ark Aşağı Kenar Eğme Modeli	61
5.2.1.1.6	Giriş Yeri Düzgünlüğünün Sağlanması Faydaları	61

5.2.1.2	Ön Form Verme Grubu	62
5.2.1.3	Kasetler	62
5.3	Kılıçlı Makaralar	64
5.3.1	Kılıçlı Makaranın Geometrik Yapısı	65
5.3.2	Kılıçlı Makaranın Tasarımı	65
5.4	Kaynak Makaraları	68
5.4.1	İki Makaralı Düzenekler	69
5.4.2	Üç Makaralı Düzenekler	69
5.4.3	Dört Makaralı Düzenekler	70
5.4.4	Düzenek Seçimi	71
5.4.5	Kaynak Makara Malzemesi	72
5.4.6	Kaynak Makara Soğutması	73
5.5	Kalibre Makaraları ve Türk kafaları	73
5.5.1	Yuvarlak Borunun Kare ve Dikdörtgen Profile Dönüştürülmesi	73
5.6	Makara Tipleri ve Malzemeleri	77
5.6.1	Yekpare Tip Makaralar	77
5.6.2	Ayrılabilir Tip Makaralar	77
5.6.3	Tungsten Karpit Tip Makaralar	78
5.6.4	Toplam Makara Maliyeti	79
5.6.5	Makara Ömrü	80
5.7	Profil Oluşturmada Makaralardaki Gerilimin İncelenmesi	81
5.7.1	Makaralardaki Gerilimin Dağılımı	82
5.7.2	Makine Ayarlarının Gerilim Üzerindeki Önemi	83
6	YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE BORUDAN PROFİL OLUŞTURMADA OLASI KAYNAK HATALARI	85
6.1	Kaynak Dikişinin Oluşumu	85
6.2	Kaynak Dikişinin Temizliği	86
6.3	Elektriksel Problemler	86
6.4	Mekanik Problemler	86
6.5	En Çok Görülen Yüksek Frekans Kaynağı Hataları	88
6.5.1	Siyah Nüfuziyet Hataları	90
6.5.2	Ön Arklar (Beyaz Nüfuziyet Hataları)	91
6.5.3	Ergime Eksikliği (Açık Dikiş)	92
6.5.4	Kenarlardaki Ergime Eksikliği (Buruşukluklar)	93
6.5.5	Merkezdeki Ergime Eksikliği (Soğuk Merkez)	94
6.5.6	Ezilmiş Kaynak (Soğuk Kaynak)	95
6.5.7	Gevrek Kaynak	95
6.5.8	Gözeneklilik (İğne Delikleri)	96
6.5.9	Birleşme Yüzeyi (Ferrit Çizgisi Hataları)	97
6.6	Kaynak Hatalarına Karşı Öneriler	99
6.7	Kaynak Hataları Sonuçlarının Değerlendirilmesi	99
7	BANT DİLME İŞLEMİ ve BANT GENİŞLİĞİNİN HESAPLANMASI	101
7.1	Bant Dilme İşlemi ve Dilme Hataları	102
7.2	Bant Kenarlarının Birleşme Durumu	104
7.2.1	Paralel Birleşme Durumu	104
7.2.2	İçe Doğru Birleşme Durumu	104
7.2.3	Dışa Doğru Birleşme Durumu	104
7.3	Bant Genişliğinin Hesaplanması	105
7.3.1	Nominal Çap ve Çevre Değerinin Hesaplanması	105

7.3.2	Kaynak Çapı ve Bant Genişliğinin Hesaplanması	106
7.3.3	Standartlara Göre Radyüs Ölçülerinin Belirlenmesi ve Optimizasyonu	107
8	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	109
8.1	Şekil Değişirme Miktarının Hesaplanması.....	109
8.2	Deneyisel Çalışma Hakkında Ön Bilgi	109
8.3	Deneyin Amacı	111
8.4	Deney Planı.....	112
8.5	Numune Alma.....	115
8.6	Test Sonuçları	117
8.7	Test Sonuçlarının İrdelenmesi	124
8.7.1	Kaynak Baskısı ile Dışarı Atılan Kaynak Çapağı Miktarının Belirlenmesi	124
8.7.2	Deformasyon Miktarının Hesaplanması	124
8.8	Sonuçlar ve Öneriler	132
KAYNAKLAR		135
EKLER.....		137
Ek 1	MTM makinesi için 40x40, 30x50, 50x50, 60x40 mm' lik profiller için makara grubunun belirlenmesi	137
Ek 2	Numune kodlarına bağlı çekme testi sonuçları.....	138
Ek 3	Malzeme kimyasal analiz test sonuçları	154
ÖZGEÇMİŞ		156

SİMGE LİSTESİ

a	Profil kenar ölçüsü
a_0	Çekme numunesi kesit genişliği
A	Kopma sonrası uzama
A_B	Bobin ve kaynak makarası merkezi arasındaki mesafe
AV	Kaynak "V" alanı
b	Profil kenar ölçüsü
b_0	Çekme numunesi kesit yüksekliği
B	Bant genişliği
B_i	İmpeder uzunluğu
B_P	Profil genişliği
B_n	Net bant genişliği
C_1, C_2	Profil radyüs köşe yarı çapı
CID	Bobin iç çapı
CL	Bobin uzunluğu
D	Dairesel borunun dış çapı
D_e	Eşdeğer nominal boru çapı (dış)
D_n	Nominal boru çapı (dış)
D_{nort}	Nominal ortalama boru çapı
D_S	Kaynak çapı
e	Profillerde doğruluktan sapma miktarı
E_p	Osilatör tüpü anot voltajı
f	Düzeltilme faktörü
F_m	En yüksek çekme kuvveti
GF	Kılıç makara çevresi
GW	Kaynaklı boru çevresi
H	Giriş yeri kılavuzu yüksekliği
H_P	Profil yüksekliği
H_{PY}	Yeniden şekillendirilen profil yüksekliği
I	Kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti
I_L	İndüktör ile birleşme noktası arasındaki mesafe
I_p	Osilatör tüpü anot akımı
K	Deformasyon oranı
K_Q	Sabit
K_1	Kalibre faktörü
K_2	Form faktörü
K_3	Kaynak faktörü
L	Kanal tarafı genişliği
L_P	Profil uzunluğu
N	Dairesel borunun profile dönüştürülmesi için gereken paso miktarı
OD	Boru dış çapı
Q	Üretilen ısı
R	Kanal tarafının radyüs değeri
R_a	Profil yüzey pürüzlülüğü
R_D	Kaynak yapılan parçanın elektrik direnci
R_{eH}	En üst akma dayanımı
R_m	Kopma dayanımı
$R_{p0,2}$	% 0,2'lik uzamada uzama sınırı
RL	Alt makara sıkıştırma radyüsü
R_{PR}	Profil kenar radyüsü
RW	Kaynak makarası sıkıştırma radyüsü

s	Kalınlık
S	Sıkıştırma dışı toleransı
S_0	Çekme numunesi başlangıç kesiti
t	Kaynak akımının devrede kalma zamanı
T	Profil et kalınlığı
t_B	Bant kalınlığı
TF	Kılıç kalınlığı
U_n	Nihai boru-profil çevresi (dış)
U_{nort}	Nihai boru-profil ortalama çevresi
U_S	Kaynak çıkışı ortalama çevresi
V	Profillerde burulma miktarı
V_K	Kaynak hızı
WGC	Sıkıştırma merkezleri arası genişliği
y	Makara flanş açıklığı
α	İlk pasodaki form verme açısı
ak	Kılıç açısı
ε	toplam % şekil değiştirme miktarı
ε_K	kaynak çıkışında oluşan % şekil değiştirme miktarı
θ	Profilin kenar dikliğinden sapma açısı
θ_B	Birleşme açısı

KISALTMA LİSTESİ

Euro-NACP (Avrupa Yeni Araç Değerlendirme Programı)

IEB Isıdan etkilenen bölge

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Çelik boru ve profillerde ürün tipine göre karlılık-satış değerleri ve üretici sayısı.....	3
Şekil 1.2	Türkiye’de profil ve endüstriyel boru üreten fabrikaların üretim yüzde oranları..	4
Şekil 1.3	Kaynak yöntemiyle üretilen boru ve profillerin iç pazardaki imalat miktarları	5
Şekil 1.4	Endüstriyel boru ve profillerin 1997-2005 arası üretim bazında birim olarak artışı	5
Şekil 1.5	Yapısal profilli yapılara verilen ruhsat sayıları	6
Şekil 1.6	Sıcak haddelenmiş sac fiyatının Avrupa pazarındaki seyri	7
Şekil 1.7	Sac fiyatlarına bağlı olarak boru ve profillerdeki ürün tiplerinin satış fiyatı	7
Şekil 1.8	2005 Yılı itibariyle Türkiye’deki çelik üretimi ve tüketimi	8
Şekil 1.9	Türkiye 1999 – 2006 sac tüketimi, 2006 – 2010 sac ihtiyacı tahmini.....	8
Şekil 2.1	Elektrik direnç kaynağı ile borudan profil oluşturmanın şematik gösterimi	9
Şekil 2.2	Kare dikdörtgen form oluşturarak elektrik direnç kaynağı ile profil oluşturma..	10
Şekil 2.3	Bindirme ark kaynağı ile profil oluşturma	10
Şekil 2.4	Özel şekilli profil formunun verilmesinin çiçek şeklinde gösterilmesi	11
Şekil 2.5a	1,5mm Kalınlığında, ince taneli, galvanizli, yüksek gerilim dayanımlı çelikten lazer kaynağı ile yapılmış özel şekilli profil.....	12
Şekil 2.5b	Lazer kaynağıyla profil oluşturmada kaynak kafasının konumu.....	12
Şekil 2.6	Hibrid proses (Lazer+MIG Kaynağı) kaynak kafası	12
Şekil 2.7a	TIG Kaynağı ile oluşturulan boru dikiş formu	13
Şekil 2.7b	Lazer ışın kaynağı ile oluşturulan boru dikiş formu.....	13
Şekil 3.1	Üretim yöntemlerine göre boru ve profil boyut gruplandırılması	14
Şekil 3.2	Çapı B, H ve T Boyutlarının ölçümü için sınırlayıcı kesit konumları.....	17
Şekil 3.3	Profillerde doğruluktan sapmanın (e) ölçülmesi	19
Şekil 3.4	Profillerde kenarların dikliği	19
Şekil 3.5	Profillerde burulmanın gösterilmesi	20
Şekil 3.6	Özel şekilli profil kesitlerinin gösterimi	23
Şekil 4.1	Boru üretiminde kullanılan kaynak yöntemleri	24
Şekil 4.2a	Dairesel iletkende yüksek frekans akımının akışı (yakınlaşma etkisi).....	26
Şekil 4.2b	Karesel iletkende yüksek frekans akımının akışı (yakınlaşma etkisi).....	26
Şekil 4.3	Bir boruda yüzey etkisinin gösterilmesi	27
Şekil 4.4	Yüksek frekans temas kaynağının ve kaynak elemanlarının şematik gösterimi	27
Şekil 4.5a	Yüksek frekans temas kaynağında kullanılan temas elemanları (uzatılmış burun tipli)	28
Şekil 4.5b	Yüksek frekans temas kaynağında kullanılan temas elemanları (düz tip).....	28
Şekil 4.6	Bir temas elemanının kaynak kafasına montajı	30
Şekil 4.7	Temas elemanlarının yerleşim düzeni	31
Şekil 4.8	Yüksek frekans yöntemiyle profil oluşturma yönteminin şematik gösterimi.....	34
Şekil 4.9	Yüksek frekans kaynağında kaynak bölümünün şematik gösterimi	35
Şekil 4.10	Bant kenarlarının birleşmesi ve kaynak dikişinin oluşumu.....	35
Şekil 4.11	Bant kenarlarının ergimesi ve birleşmesinin Şekil 4.10’ daki şekle bağlı olarak kesit görünüşleri	36
Şekil 5.1	Isıdan etkilenen bölgedeki mikroyapısal değişimler (% 0,3 C’lu çelik için)	38
Şekil 5.2	Kaynak bobini, imponder, kaynak makaraları ve borunun tezgahdaki konumu	39

Şekil 5.3	Yüksek frekans kaynağında en çok kullanılan bobin tipleri.....	40
Şekil 5.4	Bobin onarımında kullanılan bobin bantları.....	41
Şekil 5.5	Yüksek frekans kaynağında akımın izlediği yol.....	43
Şekil 5.6	Farklı yapıdaki ferritlerin manyetik akı yoğunluğu ile sıcaklık arasındaki ilişki grafiği.....	44
Şekil 5.7	Basit özellikteki bir impederin görünümü	45
Şekil 5.8	Ferriti açıkta olan içinden akış geçen impeder tipi.....	46
Şekil 5.9	Dönüş akışlı impeder	46
Şekil 5.10	İntegral mandrel tip impeder	46
Şekil 5.11	Mandrel üzerinde impeder tipi	47
Şekil 5.12	Kaynak bölgesi çevresinin 200 khz frekans sabit değeri için, farklı açılı ve tezgah hızı değerlerinde izotermal çizgiler ile gösterilmesi.....	49
Şekil 5.13	Kaynak bölgesi çevresinin 100 ve 300 khz frekans değeri için izotermal çizgiler ile gösterilmesi.....	50
Şekil 5.14	200 khz frekans değerinde “v” açısı ve geri yaylanmanın etkileri	51
Şekil 5.15	Eriyen malzeme – frekans arasındaki ilişki	52
Şekil 5.16	Eriyen malzeme – frekans ilişkisinde bobin mesafesinin etkisi	53
Şekil 5.17	Kaynak “V” sinin şematik olarak gösterimi	54
Şekil 5.18	Bant kenarlarının her bir makara grubunda şekillendirilme derecesi.....	55
Şekil 5.19	Bant şekillendirme sistemleri; a- tek radyüslü şekillendirme, b- kenar şekillendirme, c- çoklu kenar şekillendirme, d- ters kıvrıma ile şekillendirme ..	56
Şekil 5.20	Klasik sistem ile lineer form verme sisteminin karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.21	Giriş yeri kılavuzu yüksekliğinin bant kesitini etkilemesi	58
Şekil 5.22	Aşağı kenar eğme modelinin şekil üzerinde gösterilmesi	58
Şekil 5.23a	Yukarı kenar eğme modeli	59
Şekil 5.23b	Ark yukarı kenar eğme modeli	59
Şekil 5.23c	Ark aşağı kenar eğme modeli	59
Şekil 5.24	Form verme makara tipleri	63
Şekil 5.25	Bant kalınlığı ile makara açıklığı arasındaki uyum	63
Şekil 5.26	Bant kalınlığı ile kasetler arasındaki uyum	64
Şekil 5.27a	Kılıçlı makara tasarımları (daireseel tasarım)	64
Şekil 5.27b	Kılıçlı makara tasarımları (basık oval tasarım)	64
Şekil 5.27c	Kılıçlı makara tasarımları (sivri oval tasarım).....	64
Şekil 5.28	Kılıçlı makaranın geometrik yapısı	65
Şekil 5.29a	İki makaralı kaynak kutusunda basıncı sağlayan yatay kuvvet bileşenleri	69
Şekil 5.29b	İki makaralı kaynak kutusunun şematik gösterimi	69
Şekil 5.30	Üç kaynak makaralı düzeneğin şematik ve perspektif gösterimi	70
Şekil 5.31	Dört kaynak makaralı düzeneğin şematik gösterimi	71
Şekil 5.32	Yumuşak çelik boru ve profillerde boyut - kaynak makara düzeneği ilişkisi	72
Şekil 5.33	Türkkafalarının perspektif gösterimi	73
Şekil 5.34a	Kare profilin sonlu eleman modelinin gösterilmesi	75
Şekil 5.34b	Toplam form vermenin % 75’ inde oluşan gerilim dağılımı	75
Şekil 5.34c	Toplam form vermenin % 100’ ünde oluşan gerilim dağılımı	75
Şekil 5.34d	Köşe radyüsünün ölçülendirilmesi	75
Şekil 5.35	Dairesel borunun kare profil haline dönüştürülmesi	76
Şekil 5.36a	Ayrılabilir tip makara	78
Şekil 5.36b	Tungsten karpit tip makara	78
Şekil 5.37	Makara tasarımına bağlı olarak ayrıntılı makara maliyetinin gösterilmesi	79
Şekil 5.38	Makara tasarımına bağlı olarak makara ömrünün gösterilmesi.....	80
Şekil 5.39	Makara tahrik noktasının form verme, kılıç ve kalibre pasolarındaki gösterimi	81
Şekil 5.40	Gerilim dağılımının makaralara göre gösterimi	83

Şekil 6.1	Kaynak dikişinin oluşumu	85
Şekil 6.2	Yüksek frekans kaynağının metalürjik mikroskop altındaki görüntüsü	89
Şekil 6.3	Siyah nüfuziyet hatasında cep formunun oluşumu	90
Şekil 6.4	Siyah nüfuziyet hatalarının gösterimi	91
Şekil 6.5	Ön ark oluşumu	92
Şekil 6.6	Ön ark belirtisi	92
Şekil 6.7	Açık dikiş şeklinin gösterilmesi	93
Şekil 6.8	Kenarlardaki ergime eksikliği hatası	94
Şekil 6.9	Soğuk merkez hatasının gösterimi	94
Şekil 6.10	Soğuk kaynak hatasının gösterimi	95
Şekil 6.11	Gevrek kaynak hatası gösterimi	96
Şekil 6.12	Kaynakta gözeneklilik oluşumunun gösterimi	96
Şekil 6.13a	Düzgün olmayan kaynak	97
Şekil 6.13b	Düzgün kaynak	97
Şekil 6.14	Ferit çizgisi süreksizliğine ait bir kaynak hatası şekli	97
Şekil 6.15	Ferit çizgisinin çok geniş oluşması durumu	98
Şekil 6.16	Ferit çizgisinin eğri olması durumunda ortaya çıkan hata görüntüsü	98
Şekil 7.1	Düzeltilme faktörünün (f), kaynak çapı (D_s)/ et kalınlığına (s) bağlı olarak değişimi	102
Şekil 7.2	Bant dilme işlemi aşamaları	103
Şekil 7.3	Bant dilme işleminde boşluğa göre yüzey durumları	103
Şekil 7.4	Bant kenarlarının birleşme durumları	104
Şekil 8.1	Akma oranının profil oluşturma aşamaları boyunca değişimi	110
Şekil 8.2	Kalınlık artışı ve deformasyon arasındaki ilişkinin grafik üzerinde gösterimi	110
Şekil 8.3	Şekil değiştirmeye bağlı olarak malzemenin mekanik değerlerinin değişimi	111
Şekil 8.4	MTM makinesinin şematik resmi ve alınan numune resimleri	116
Şekil 8.5	Çekme testi cihazı ve çekme çubuklarının gösterimi	116
Şekil 8.6	Kaynak çıkışından alınan numunelere ait makro görüntüler	118
Şekil 8.7	Profilden alınan numunelere ait makro görüntüler	119
Şekil 8.8a	Kaynak çıkışından alınan numunelere uygulanan genişletme testi	120
Şekil 8.8b	Kaynak çıkışından alınan numunelere uygulanan açma kapama testi	120
Şekil 8.9	1 no' lu ve 2 no' lu numune grubu arasındaki şekil değiştirme ve akma kopma mukavemetleri değerlerinin grafik üzerindeki gösterimi	130
Şekil 8.10	1 no' lu ve 3 no' lu numune grubu arasındaki şekil değiştirme ve akma kopma mukavemetleri değerlerinin grafik üzerindeki gösterimi	131

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Profillerde kullanılan alaşımsız çelik kalitesine bağlı olan kimyasal bileşim değerleri	15
Çizelge 3.2	Elementlerin belirtilen sınırlardan izin verilen sapmaları.....	15
Çizelge 3.3	Teslim şartları	16
Çizelge 3.4	+CR1, +A ve +N Teslim şartlarında oda sıcaklığında mekanik özellikler	16
Çizelge 3.5	+CR2 Teslim şartında oda sıcaklığında mekanik özellikler (en düşük değerler)	16
Çizelge 3.6	Tam uzunluk toleransları	18
Çizelge 3.7	Karşılık gelen önceki çelik kısa gösterilişlerin listesi.....	22
Çizelge 3.8	Özel şekilli profillerde kullanılan çelik kalitelerinin özellikleri	22
Çizelge 4.1	Temas uç malzemesinin oluşturulacak ürün malzemesine göre seçimi	29
Çizelge 5.1	Tipik çoklu sarımlı bobin tasarımları (in-line ve ofset tipler)	41
Çizelge 5.2	En sık kullanılan bant şeklindeki bobin ölçüleri (sökülebilir konstrüksiyon)	42
Çizelge 5.3	En sık kullanılan iskelet şeklindeki bobin ölçüleri (sökülebilir konstrüksiyon)	42
Çizelge 5.4	İmpeder soğutmasına ait teknik değerler	48
Çizelge 5.5	Deney değerlerinin matris şeklinde gösterilmesi	49
Çizelge 5.6	İzotermal sıcaklık eğrilerinin yaklaşık değerleri	49
Çizelge 5.7	Aşağı kenar eğme modeli için (H/L) katsayıları.....	59
Çizelge 5.8	Yukarı kenar eğme modeli için (H/L) katsayıları.....	60
Çizelge 5.9	Ark Yukarı Kenar Eğme modeli İçin (H/R) Katsayıları.....	60
Çizelge 5.10	Ark aşağı kenar eğme modeli için (H/R) katsayıları	61
Çizelge 5.11	Anma çapına bağlı olarak önerilen kılıç makara tasarım değerleri	68
Çizelge 7.1	Bant genişliğinin hesaplanmasındaki işlem sırasının gösterimi	105
Çizelge 7.2	Nominal çap ve çevre değerinin hesaplanması.....	105
Çizelge 7.3	Aynı çap değerinde farklı et kalınlıklarındaki iki borunun ortalama çap ve çevresi	106
Çizelge 7.4	Farklı makine ve makara grupları için kaynak çapı ve bant genişliği hesabı	106
Çizelge 7.5	Aynı ebattaki profillerin farklı radyüs değerleri için çevre ve çap değerleri	107
Çizelge 7.6	Profil üretiminde kullanılan standartlara bağlı olan radyüs değerleri.....	108
Çizelge 7.7	Deneysel çalışma ve üretim kolaylığı için radyüs değerlerinin optimizasyonu	108
Çizelge 8.1	Profil ebatlarına bağlı olarak bant genişliğinin MTM, VAI ve NOKSEL' e göre değerleri ve bu değerlere bağlı olan deformasyon oranları	114
Çizelge 8.2	Malzeme cinsi ve bant genişliğine bağlı olan kodlama sistemi	115
Çizelge 8.3	Numunelerin alındığı yere göre oluşturulan kodlama sistemi ve numune sayısı	115
Çizelge 8.4	Numunelerin alındığı yer ve bant genişliğine bağlı olarak oluşturulan kodlama sistemi	115
Çizelge 8.5	Malzeme cinsine bağlı olan kimyasal analiz	117
Çizelge 8.6	Kimyasal analiz değerlerine bağlı olarak C _{eş} ve P _{CM} değerlerinin gösterimi	117
Çizelge 8.7	Dilinmiş saç numuneleri ölçüm değerleri sonuçları	120
Çizelge 8.8	Kaynak çıkışı numuneleri ölçüm değerleri sonuçları	121

Çizelge 8.9	Profil numuneleri ölçüm değerleri sonuçları	122
Çizelge 8.10	Malzeme, kaynak çıkışı ve profil numuneleri çekme deney sonuçları.....	123
Çizelge 8.11	Numune ölçüm sonucunda oluşan ortalama değerler	124
Çizelge 8.12	Çekme testi sonucunda oluşan ortalama değerler	124
Çizelge 8.13	Numune ölçüm değerleri sonucunda oluşan ortalama değerlere bağlı olarak hesaplanan deformasyon miktarları	129

ÖNSÖZ

Kaynak teknolojisi, üretim sektöründe sağladığı faydalar ve elverişli koşullar ile üretimin her aşamasında kullanılmaktadır. Gelişen teknolojik koşullara paralel olarak kaynak tekniği de giderek önem kazanmakta ve daha çok ihtiyaç duyulur hale gelmektedir. Ülkemizde ve globalleşen dünyada profil endüstrisi çok önemli bir yere sahip olup, inşaat, otomotiv ve yapı sektöründe sıklıkla kullanılan uygulamalara sahiptir. Bu kadar geniş bir alanda kullanıma sahip olan profillerin sürekli imalatını gerçekleştirmek için, çeşitli kaynak yöntemlerinden faydalanılarak yassı malzemeler ürün haline getirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, yassı malzemeden çeşitli kaynak yöntemleriyle profil oluşturulması, elektrik direnç kaynağı ile borudan profil oluşturmanın ayrıntılı olarak incelemesi yapılmış ve dilinmiş bant genişliğinin kabul edilebilir değerlerde daraltılması sonucu % deformasyon miktarının azaltılarak ürünün mekanik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübesi ile yol göstericiliğini esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Nurullah GÜLTEKİN' e, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan Noksel Çelik Boru Sanayi A.Ş' e ve geniş bilgi paylaşımının yanı sıra Noksel Çelik Boru Sanayi A.Ş' nin tüm imkanlarından faydalanmamı sağlayan Fabrika Müdürü sayın Dr. Müh. Kahraman ŞİRİN' e, ayrıca paylaşımları için sayın Mak. Y. Müh. Ertuğrul ARABACI' ya ve sayın Mak. Y. Müh. Serhan İzzet YÜREKLİ' ye teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Yassı malzemeden kaynak yöntemleriyle profil oluşturmanın çok geniş uygulama yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerin belirlenmesinde, ürünün seri üretim olup olmayacağı, ürünün kullanım yeri ve buna bağlı ürün özellikleri, ürün şekli ve ebadı belirleyicidir. Profil oluşturmada lazer kaynağı, lazer-MIG kaynağından oluşan hibrid prosesler, bindirme ark kaynağı, yüksek frekans temas kaynağı gibi yöntemler her ne kadar kullanılıyor olsa da, yüksek frekans kaynağı ile borudan profil oluşturma yöntemi en sık kullanılan yöntemdir.

Bu tez çalışmasında, profil imalat yöntemleri, profil özellikleri ve profil oluşturmada yassı malzeme bant genişliğinin etkisi incelenmiştir. Birinci bölümde; Türkiye'deki çelik boru-profil sektörü incelenerek kısaca açıklanmıştır. İkinci bölümde; profil oluşturma yöntemleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; profil malzemeleri ve ürün teslim şartları, dördüncü bölümde; yüksek frekans kaynağı ile borudan profil oluşturma, beşinci bölümde; yüksek frekans kaynağı ile profil oluşturmada kaynağı etkileyen parametreler, altıncı bölümde; yüksek frekans kaynağı ile borudan profil oluşturmada olası kaynak hataları, yedinci bölümde; bant dilme işlemi ve bant genişliğinin hesaplanması anlatılmıştır.

Deneysel çalışmada, MTM marka bir boru-profil makinesinde BS 6363 standardına bağlı olarak, kabul edilebilir farklılıklardaki bant genişliklerinde 50x50x4,8 mm boyutunda profil üretilmiş, bu üretim esnasında dilediği sac malzemeden, kaynak çıkışından ve nihai üründen deney numuneleri alınarak profildeki deformasyon miktarı ve ürünün mekanik özellikleri araştırılmıştır.

186, 188 ve 178 mm' lik bant genişlikleri için alınan numunelere çekme testi uygulanıp, kaynak çıkışındaki ara ürünün çevresi ölçülerek çekme testi uygulanmıştır. Nihai ürün olan profilin çevresi ölçülerek çekme testi uygulanmıştır. Böylece kabul edilebilir farklılıktaki bant genişliklerine bağlı olarak üründeki deformasyon araştırılmış, bant genişliğinin uygun değerde tutularak profilin mekanik özelliklerinin nasıl iyileştirilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik profil, profil imalatı, yüksek frekans kaynağı, bant genişliği.

ABSTRACT

There are a lot of applications to fabricate tubes from sheet metal with welding methods. Designating these methods, condition of mass production, usage position and product characteristic related with this position, product shape and dimensions are defined factors. Laser beam welding, laser beam-MIG arc welding hybrid process, submerged arc welding, high frequency contact welding methods are using frequently to fabricate tubes. But the most common method is high frequency induction welding method which fabricate to tubes from longitudinally welding pipes.

In this thesis work, tubes fabricating methods, tubes features and sheet metal band width effect on fabricating tubes have been investigated. In the first chapter, steel pipe and tube sector in Türkiye were explained. In the second chapter fabricating tubes methods were explained. In the third chapter, tube's materials and technical delivery conditions, in the fourth chapter, high frequency pipe and tube welding, in the fifth chapter, high frequency pipe and tube welding parameters, in the sixth chapter, the faults in the high frequency pipe and tube welding processes, in the seventh chapter, slitting strip and estimating strip width were explained.

In the experimental works, related to BS 6363 technical specification, dimensions of 50x50x4,8 mm tubes produced from strip width with acceptable difference, at a MTM electric welded tube production unit. At this production, took experiment sample from slitting strip sheet metal, immediately afterwards welding and final product as name by 50x50x4,8 tube. Deformation quantity of tube has been investigated with these taken experiment samples.

186, 188 and 178 mm width of strip have been applied of tensile test. At the end of the welding of product have been measured circumference and applied tensile test. The final product as name by 50x50x4,8 tubes have been measured circumference and applied tensile test. So, related to strip width with acceptable difference of tubes of deformation quantity have been investigated. And tried to indicated that how can we improve of tubes mechanical characteristics with right strip width.

Key Words: Steel tubes, fabricating steel tubes, high frequency welding, strip width.

1. GİRİŞ

Batı ülkelerinde şehirleşme ve altyapı tamamlanmış durumda olduğundan çelik boru ve profil dünyada olgunluk dönemini yaşayan bir üründür. Son yılların üretim ortalaması 65 milyon ton civarında seyretmekte olup, dünyada çelik boru ve profil sektöründe arz fazlalığı yönünde bir arz-talep dengesizliği mevcuttur. Bu yapı, değişken ve bu değişkenliğe bağlı dengesiz bir piyasa yapısına neden olmakta, bu nedenle iyi ve kötü yıllar periyodik olarak birbirini takip etmektedir.

Batı ülkeleri ile karşılaştırıldığında, ülkemizde kişi başına düşen (17 kg) demir-çelik ve çelik boru-profil tüketimi, gelişmiş ülkelerdeki kişi başına düşen (31 kg) tüketim miktarlarının yarısı kadardır. Bu oran diğer tüketimler ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir.

Ülkemizde çelik boru-profil talebi, tüm dünyada olduğu gibi, ülke ekonomisinin genel durumuna, altyapı yatırımlarına, nüfus artışına paralel konut ihtiyacına ve genel olarak inşaat sektörünün seyrine doğrudan bağlıdır.

Ülkemizde 40 yılın üzerinde bir geçmişe sahip olan çelik boru-profil sektöründe, mevcut kurulu üretim kapasitesi yurtiçi talebin çok üzerindedir. Buna rağmen, son yıllarda sektöre girişler devam etmekte, yeni yatırımlar devreye girmektedir. Aynı şekilde sektörden çıkışlar da vardır.

Çelik boru-profil talebi anlık ve değişken özelliklere sahiptir. Bu nedenle sürekli bir talepten söz edilememektedir. Bunun arkasındaki en önemli etkenlerden biri fiyat, diğeri ise bulunabilirliktir. Pazar ve ekonomik koşullara göre, sürekli değişen talebi yakalayabilen her üretici, sektördeki mevcudiyetini devam ettirebilmektedir.

Türk Çelik Boru-Profil Sektörü; üretim kapasitesi, ürün kalitesi ve maliyet yapısı itibarıyla, önemli ölçüde ihracat potansiyeli olan bir sektördür. İç pazardaki talebin canlı olup olmaması ve fiyat seviyeleri, üreticilerin ihracat pazarlarına yönelmesine etki etmektedir.

Demir-çelikten mamul boru ve profiller; kullanım alanlarına, boyutlarına ve üretim yöntemlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Kullanım Alanlarına Göre;

Standart su ve gaz boruları

Petrol ve doğal gaz boruları

Yüksek basınç ve ısıya dayanıklı borular,

Petrol sondaj ve koruyucu borular,

Mekanik borular ve profiller

Özel hassas borular

Boyutlarına Göre;

Küçük borular ve bu borulardan imal profiller (168,3mm dış çapa kadar)

Orta Büyüklükteki borular (168,3mm ve 406,4 mm dış çap arası)

Büyük borular (Dış çapı 406,4 mm.den büyük olanlar)

(Halen geçerli olan Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon numaralarına göre)

Üretim Yöntemlerine göre:

Dikişli borular

i. Boyuna dikişli borular ve bu borulardan imal profiller

ii. Spiral dikişli borular

Dikişsiz Borular

Döküm Borular

1.1 Türkiye Çelik Boru - Profil Pazarı

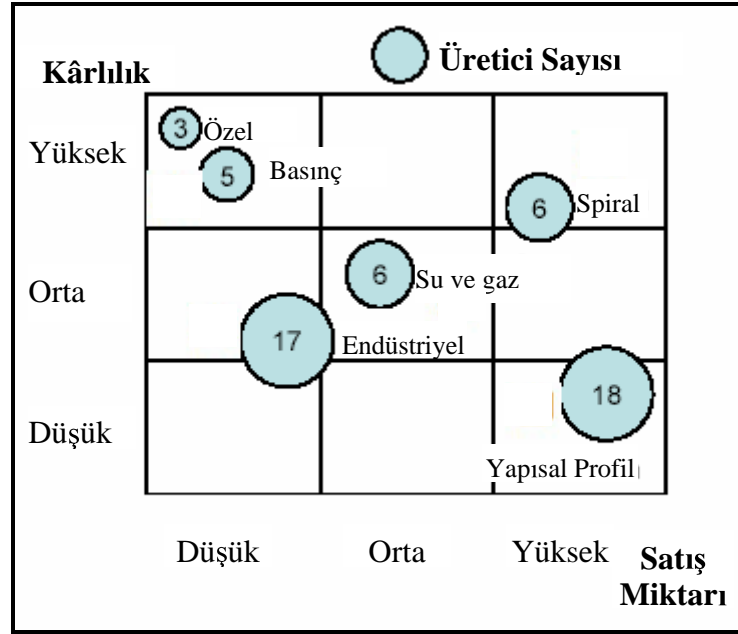
Türkiye'de 1955 yılında başlayan çelik boru-profil üretimi en hızlı büyümesini Ortadoğu pazarlarıyla başlayan ihracat hamlesi nedeniyle 1978–1985 yılları arasında gerçekleştirmiş ve bu dönemde birçok yeni tesis devreye girmiştir. Ancak bu pazarlarda meydana gelen daralma nedeniyle sektörde arz fazlası ortaya çıkmıştır. Türkiye'nin en büyük ihracat pazarı % 56 ile Avrupa'dır. Türkiye bugün yıllık 1.5 milyon tonu aşan üretimle İtalya, Almanya, İngiltere ve Fransa'dan sonra Avrupa'nın 5. büyük çelik boru-profil üreticisi konumundadır. Özellikle yurtiçi çelik boru-profil tüketimi öncelikle inşaat sektöründe, daha sonra ise otomotiv ve tarım aletleri sektöründe, son olarak mobilya sektöründe gerçekleşmektedir.

Sektörde önde giden kuruluşların boyuna kaynaklı çelik boru ve profil üretim kapasiteleri şu şekilde özetlenebilir; A firması 750.000 t, B firması 400.000 t, C firması 400.000 t, D firması 350.000 t, E firması 300.000 t, F firması 200.000 t, G firması 200.000 t, H firması 150.000 t, I firması 130.000 t, J firması 100.000 t, Diğer firmalar 100.000 t ayrıca A firması paslanmaz malzemedden 8.000 t' luk paslanmaz boru ve profil üretmektedir.

Ağırlıklı olarak Marmara Bölgesi'nde yoğunlaşan, çeşitli kapasitelerde yaklaşık 35 boru-profil üreticisi firma faaliyet göstermektedir. Bunların 25'i faaldır, diğerleri zaman zaman üretim yapmaktadır. Çelik boru-profil, mevcut kurulu kapasitesi ile yurtiçi talebin çok

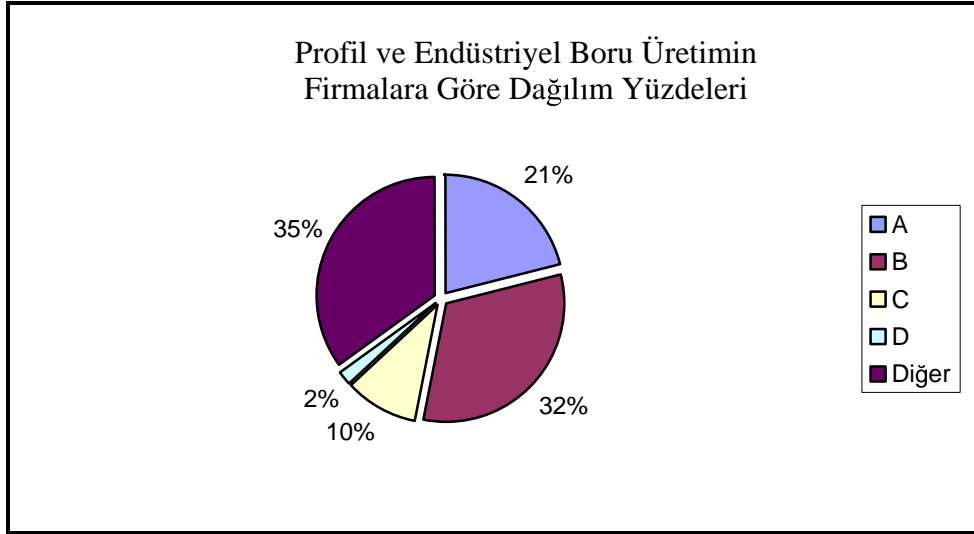
üzerinde bir üretim potansiyeline sahiptir. Sektörün genel kapasite kullanımı, arz fazlası nedeniyle yüksek ihracat potansiyeline rağmen % 50-60 civarında seyretmektedir.

Türkiye’de dikişsiz boru üretimi, yalnızca Makine Kimya Endüstrisi tarafından gerçekleştirilmektedir. Diğer üreticilerin tamamı spiral boru ve/ya boyuna dikişli boru-profil üretmektedir. Bu üreticilerin ilk üç tanesi, Türkiye çelik boru-profil üretiminin neredeyse %70’ini gerçekleştirmektedir. Yine bu üretici firmalardan 9 tanesinin kapasitesi 100.000 tonun üzerindedir. Şekil 1.1’ de çelik boru ve profillerde ürün tipine göre üretici firmaların sayısı, ürün satış miktarı ve karlılık grubu gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Çelik boru ve profillerde ürün tipine göre karlılık – satış değerleri ve üretici sayısı (Borusan Yatırım, 2005)

Şekil.1.2’ de Türkiye’de faaliyet göstermekte olan boyuna kaynaklı endüstriyel boru ve profil üreten fabrikaların üretim yüzde oranlarını gösteren grafik verilmiştir. Sektöre üç ana firma liderlik etmekte, üretim kapasitesinin geriye kalan % 35’lik grubunu da irili ufaklı firmalar oluşturmaktadır.



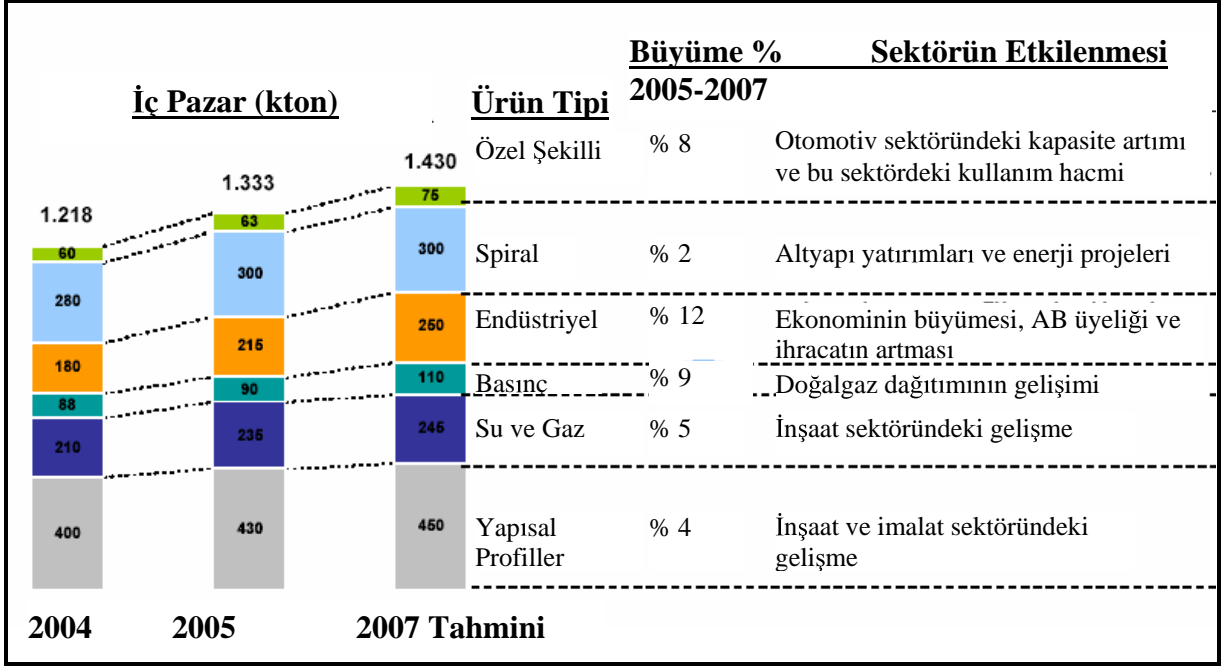
Şekil 1.2 Türkiye’de profil ve endüstriyel boru üreten fabrikaların üretim yüzde oranları

1.2 Boyuna Kaynaklı Boru – Profil İç Pazar Payları

Yurtiçi sektörde 2005 yılında oluşan üretim miktarına ait pazar payı, boyuna kaynaklı boru ve profillerde yaklaşık olarak 1,2 milyon tondur. Bu miktarın 900 bin tonu boyuna kaynaklı boru ve profillere, 300 bin tonu ise spiral borulara aittir. 2001 yılındaki krizden sonra makroekonomik istikrara bağlı olarak sektörün yerel pazar payının her sene 100 bin ton büyümesi beklenmektedir. 2007 yılına ait değerlendirmelerde boyuna kaynaklı olarak üretilecek ürünlerin miktarının 1,1 milyon tona ulaşması tahmin edilmektedir. Doğal gaz dağıtımının bu rakamı olumlu yönde etkileyeceği açıktır. Spiral kaynaklı boruların payı ise başlayan ve başlayacak olan proje yatırımları ile 0,3 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Şekil 1.3’ de ürün grubuna göre üretimi gerçekleştirilen boru ve profillerin payları gösterilmiştir. Endüstriyel imalatta kullanılan boru ve profiller ekonominin büyümesi ile doğru orantılıdır. Yapısal profiller ise inşaat sektöründeki gelişmelerden olumlu olarak etkilenmektedir.

Yapısal profiller inşaat sektöründe yapı elemanı olarak, çatı konstrüksiyonlarda, otomotiv sanayinde otobüs ve kamyon karoseri, kasa yapımında, mobilya sanayinde, makine ve tarım aletleri yapımında sıklıkla kullanılır.

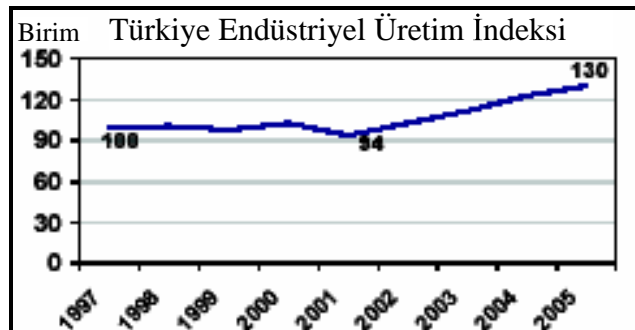
Endüstriyel (sanayi) tipi boru ve profiller ise otomotiv ve otomotiv yan sanayinde, beyaz eşya sektöründe, bisiklet yapımında, mobilya üretiminde, tekstil sektöründe, elektrikli ev aletlerinin yapımında ve diğer pek çok irili ufaklı sektörde kullanılır.



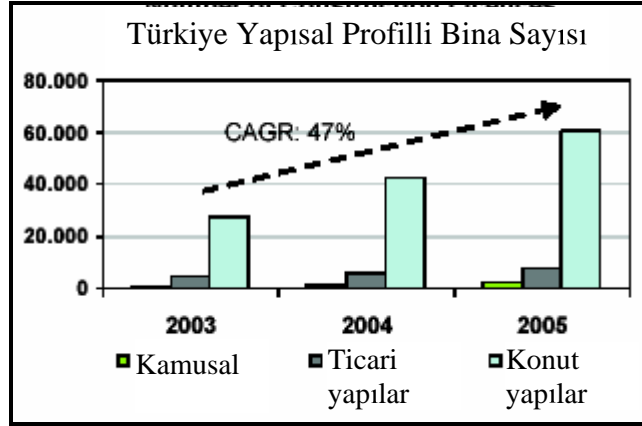
Şekil 1.3 Kaynak yöntemiyle üretilen boru ve profillerin iç pazardaki imalat miktarları (Borusan Yatırım, 2005)

Endüstriyel (sanayi) tipi boru ve profillerin 1997 yılı 100 birim olarak baz alındığında, 2005 yılına kadar olan talep seyri Şekil 1.4' te gösterilmiştir. 2001 krizinden itibaren sürekli olarak artan ülke ekonomisindeki büyüme, imalatçılar üzerinde olumlu etki yapmıştır. Yatırım harcamalarındaki miktar, gelecek yıllar için pozitif bir yaklaşım sunmaktadır.

Sabit makroekonomik durum, faiz oranlarının azalması, planlamanın mortgage sistemine göre yapılması ise yapısal profillerin kullanım miktarının ivmelenmesine neden olmuştur. Çelik konstrüksiyon ve çatı firmalarının artışı, ev, otel, havalimanı gibi yapıların fazlaşması çelik yapı profillerine yeni bir talep oluşturmuştur. Buna bağlantılı olarak Türkiye'de yapısal profil kullanımı ile oluşturulan ruhsatlı yapıların sayısını gösteren grafik Şekil 1.5' te verilmiştir.



Şekil 1.4 Endüstriyel boru ve profillerin 1997-2005 arası üretim bazında birim olarak artışı (Borusan Yatırım, 2006)



Şekil 1.5 Yapısal profilli yapılara verilen ruhsat sayıları (Borusan Yatırım, 2006)

1.3 Boru-Profil Maliyetini Etkileyen Faktörler

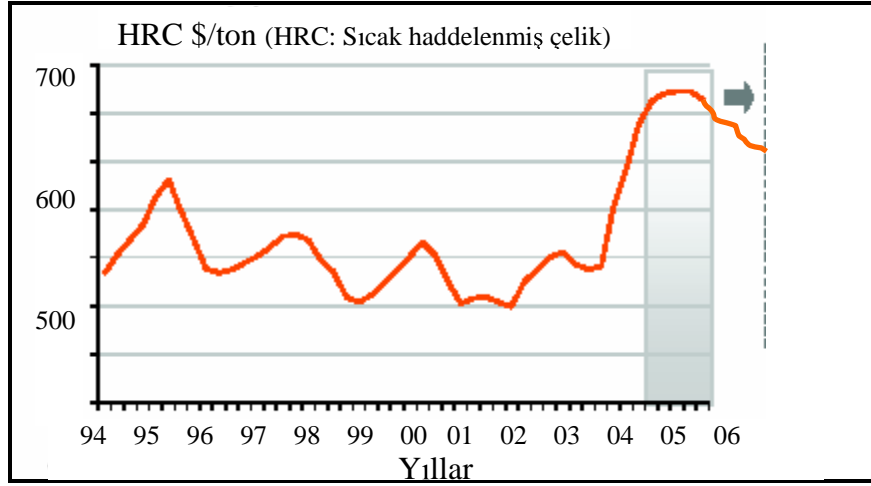
Demir-çelik boru-profil sektöründe, maliyetleri etkileyen en önemli unsur hammadde fiyatlarıdır. Sektörün en önemli hammaddesi rulo haldeki sıcak haddelenmiş çelik sacdır. Hammadde fiyatları, mamul fiyatlarının % 65-75' ini oluşturmaktadır. Dolayısıyla hammadde fiyatlarındaki dalgalanma nihai ürün fiyatını önemli bir şekilde etkiler. Yurtiçinde Erdemir' den tahsis edilen bu sac yurt dışından ise Rusya, Ukrayna, Slovakya başta olmak üzere çeşitli çelik üreticilerinden tedarik edilmektedir. Erdemir' den temin edilen ortalama sac miktarı gerek fiyat rekabeti, gerekse tüm imalat sektörü talepleri dolayısıyla % 30 civarındadır. Geriye kalan miktarın ise yurt dışından ithali söz konusudur.

Hammaddenin tek yerli üreticisi de Erdemir' dir. Bu sebeple Erdemir' in izleyeceği fiyat politikası, sektör maliyetlerine doğrudan yansımaktadır. Erdemir' in izleyeceği istikrarlı fiyat politikası, sektördeki fiyat istikrarı için gereklidir. Ancak, Erdemir gibi güçlü bir yerli üreticinin varlığına rağmen, yassı mamullerin ABD doları bazında satılması ve dünya demir çelik fiyatlarına uyum sağlaması, maliyetlerin önemli ölçüde YTL/\$ paritesine bağlı olmasına yol açmakta, devalüasyonun seyri iç pazar fiyatlarının seyri ile doğru orantılı olmaktadır.

Diğer maliyet unsurları (işçilik, işletme maliyetleri) AB ile karşılaştırıldığında düşük olduğundan sektörün rekabet gücü yüksektir. Buna karşılık düşük kapasite kullanımı, genel gider kalemlerini ve maliyetleri artırıcı rol oynamaktadır.

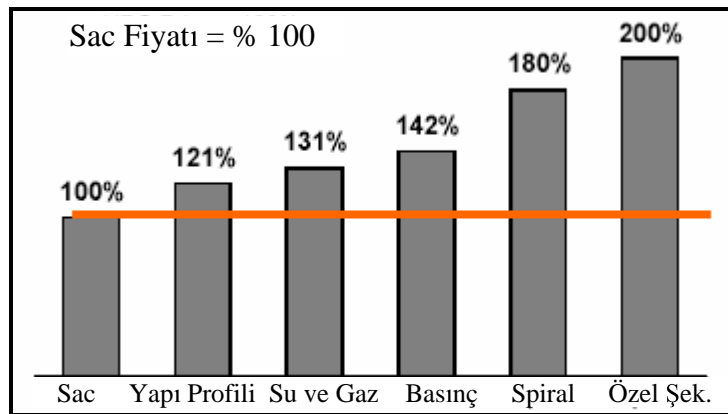
Sac fiyatlarında 2005 yılından itibaren hafif bir düşüş söz konusu olmuştur. Ancak ortalama fiyatın 2004 yılındaki değerden daha düşük olması beklenmemektedir. Yüksek hammadde fiyatlarının en önemli nedenlerinden biri doların küresel ekonomide değer kaybetmesidir.

Sıcak haddelenmiş sac fiyatların 400 \$/ton seviyesinin altına inmesi beklenmemektedir. Ancak fiyat seyrindeki gerileme bu şekilde devam edecek olursa kârlılık açısından iyileştirmelerin yaşanması olasıdır. Şekil 1.6' da 1994 yılı ve 2006 ilk çeyreği arasındaki sıcak haddelenmiş sac fiyatlarının Avrupa pazarındaki seyri gözükmemektedir.



Şekil 1.6 Sıcak haddelenmiş sac fiyatının Avrupa pazarındaki seyri (Borusan Yatırım, 2005)

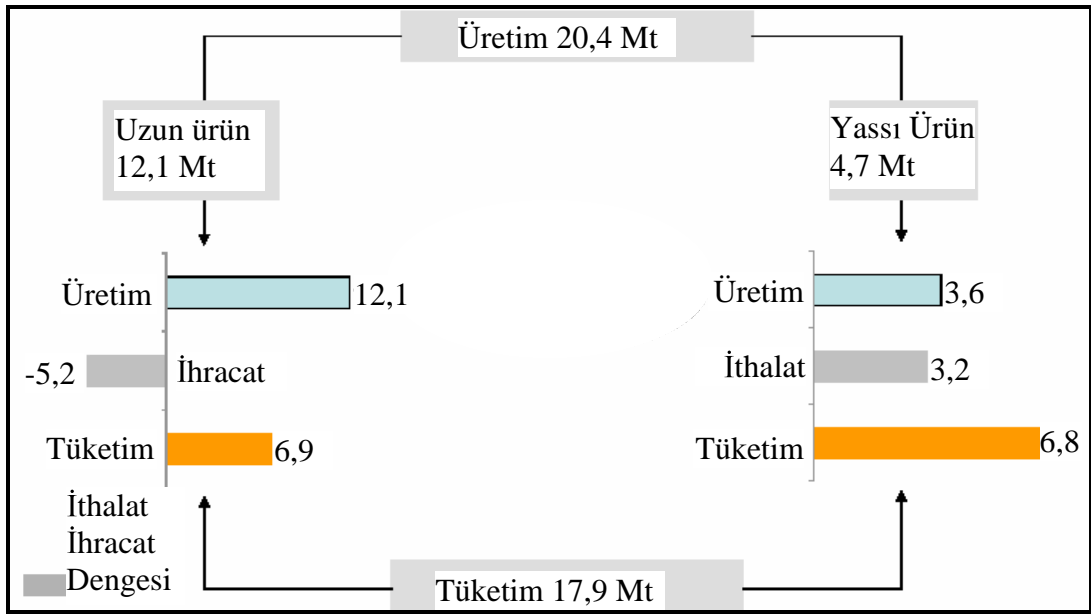
Seneler içinde ufak tefek değişiklikler olsa da sac fiyatına bağlı olarak ürün kârlılığını gösteren tablo Şekil 1.7' de verilmiştir. Şekle göre yapı profilleri en az kârlılığı sağlarken özel şekilli profillerde bu seviye oldukça yüksektir.



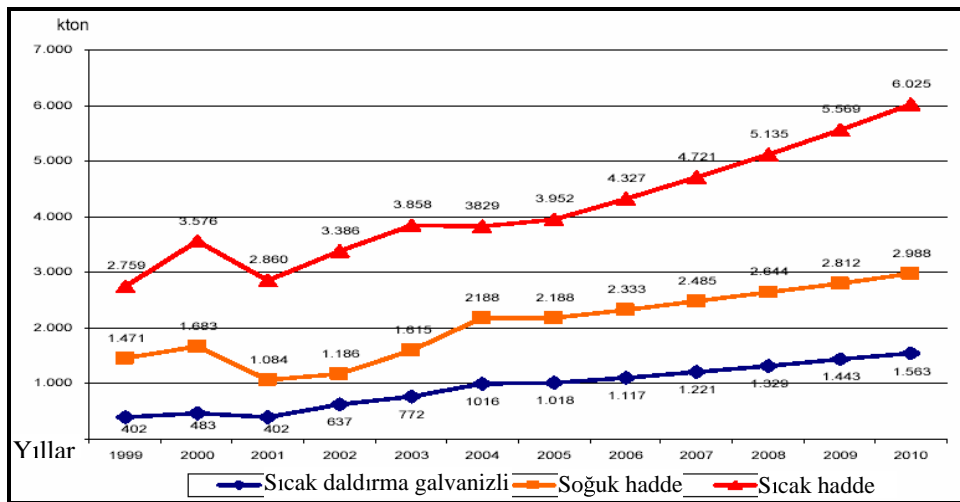
Şekil 1.7 Sac fiyatlarına bağlı olarak boru ve profillerdeki ürün tiplerinin satış fiyatı (Borusan Yatırım, 2005)

Türkiye'deki çelik üretimine ait grafik ise Şekil 1.8' de gösterilmiştir. Burada uzun ürün ile yassı ürün üretimi arasında bir dengesizlik söz konusudur. Yassı ürün yurt dışından ithal edilirken, fazla üretimi gerçekleştiren uzun ürün yurt dışına ihraç edilmektedir. Ulusal

tesislerimizdeki eksiklikten dolayı böyle bir durum söz konusudur. Türkiye’ de sac tüketiminde 1999 ile 2006 yılları arasında en büyük büyümeyi % 20 ile sıcak daldırma galvanizli sac oluşturmuştur. Önümüzdeki 5 sene içerisinde ekonomik istikrarlılık neticesinde yıllık % 8’ lik bir büyüme beklenmektedir. Türkiye, bu üretim kapasitesi ile çelik sektöründe Çin’ den sonra en fazla büyüyen ülke konumundadır. Profil üretiminde en sık kullanılan ürün grubundan sıcak haddelenmiş sac 1999 ile 2005 yılları arasında % 11’ lik bir büyüme sağlamıştır. 2005 ile 2010 yılları arasında ise % 8’ lik bir büyüme öngörülmektedir (Şekil 1.9) (Yazıcı, R.S., 2000; Borusan Yatırım 2005; Borusan Yatırım 2006).



Şekil 1.8 2005 Yılı itibarıyla Türkiye’deki çelik üretimi ve tüketimi (Borusan Yatırım, 2005)



Şekil 1.9 Türkiye 1999-2006 sac tüketimi, 2006-2010 sac ihtiyacı tahmini (Borusan Yatırım, 2005)

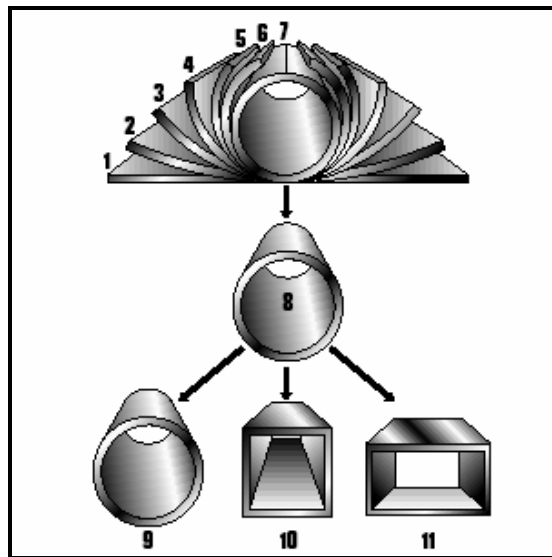
2. PROFİL OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ

Dilimlenmiş çelik şeridin, profil haline gelmesinde kullanılan yöntemler; form verme, kaynakla birleştirme, kalibre etme ve sonrasında Türk kafaları ile nihai form verme işlemlerini kapsar. Genellikle bu aşamaları kapsayan 3 tür yöntem kullanılmaktadır. Bu metotlar elektrik direnç kaynağı ve bindirme ark kaynağı esasına dayanmaktadır.

Bunun yanında özel şekilli, paslanmaz çelik veya alaşımlı çelik malzemelerden profillerin oluşturulmasında kullanılan lazer kaynak yöntemi ve lazer kaynakla beraber TIG kaynak yönteminin ortak olarak çalıştığı hibrid prosesler de mevcuttur.

2.1 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemi İle Borudan Profil Oluşturma

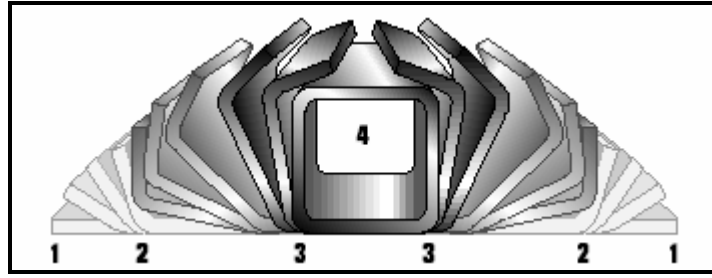
Boru makinesinde düz şerit haldeki yassı yapı sürekli olarak boylamasına akan bir hat üzerinde boru şekli almak için ilerler (1) (Şekil 2.1). Boru şekli alma işlemi form verme makaralarında tamamlanır (2-6). Şeritin köşeleri yüksek frekans indüksiyon veya yüksek frekans temas kaynağı yöntemlerinden biri ile sürekli olarak ısıtılır (7). Daha sonra kaynak baskı makaraları tarafından sürekli bir basınç uygulanarak boylamsal bir hat üzerinde ilave veya dolgu malzemesi olmaksızın kaynak işleminin gerçekleşmesi sağlanır. Daha sonra kaynak dikişi soğutulur (8). Bir dizi şekil verme makarası ve/veya kalibre pasajlarından geçerek soğuk şekil verme yöntemi ile istenilen özelliklerdeki yuvarlak boru (9), kare profil (10), dikdörtgen profil (11) hale gelmesi sağlanır. Türk kafalarındaki değişik makara şekilleri sayesinde oluşturulan özel şekilli profiller de bu yöntemle imal edilir.



Şekil 2.1 Elektrik direnç kaynağı ile borudan profil oluşturmanın şematik gösterimi
(<http://www.steeltubeinstitute.org>)

2.2 Karesel Form Oluşturarak Elektrik Direnç Kaynağı İle Profil Oluşturma

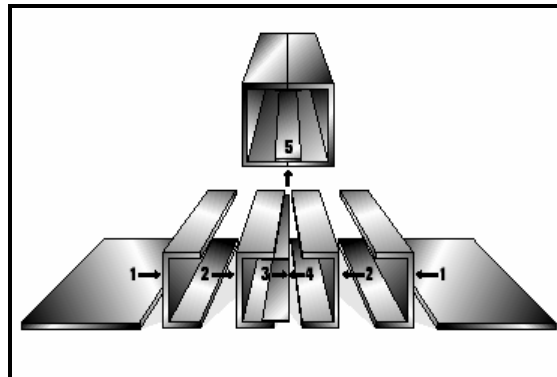
Boru-profil makinesindeki form verme makaraları ile kare veya dikdörtgen yapıdaki profilin ilk önce üstte kalacak kısımlarına şekil verilir (1-2) (Şekil 2.2). Daha sonra ise alt kısmındaki iki köşeden şekil alması sağlanır (3). Kaynak sonrasında herhangi bir soğuk şekil verme işlemi yapılmadan önce profilin şekil alması sağlanır ve sonra istenen form şekli ile ölçüsünün yakın değerlerine gelindiğinde dikiş yeri yüksek frekans kaynağı ile kaynak edilir (4). Daha sonra kaynaklı profil soğutulur ve istenilen kaliteye gelmesi için kalibre ve doğrultma işlemlerine tabi tutulur.



Şekil 2.2 Kare dikdörtgen form oluşturarak elektrik direnç kaynağı ile profil oluşturma (<http://www.steeltubeinstitute.org>)

2.3 Bindirme Ark Kaynağı İle Profil Oluşturma

İki eşit parçada şerit (1) (Şekil 2.3) soğuk şekil verilerek bir profili oluşturmak üzere hazır hale getirilir (2). Bir destek parçası punta kaynak yöntemiyle her iki yarım kesite de kaynaklanarak bu parçalara destek olur (3). İki yarım kesit birbirleriyle uç uca gelecek şekilde sabitlenir (4) ve bindirme ark kaynağı yöntemi ile kaynak edilerek kare veya dikdörtgen profil oluşturulmuş olunur (5). Bu yöntem seri bir imalat yöntemi olmamakla birlikte, düşük miktarlardaki üretim adetleri için kullanılabilir (<http://www.steeltubeinstitute.org>).



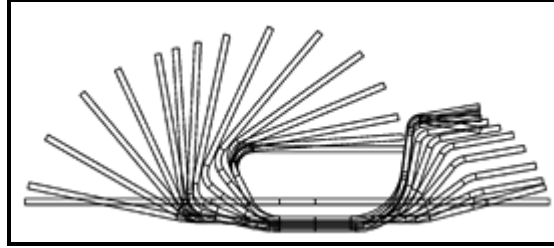
Şekil 2.3 Bindirme ark kaynağı ile profil oluşturma (<http://www.steeltubeinstitute.org>)

2.4 Lazer Kaynağı ve Hibrid Proseslerle Profil Oluşturma

Lazer ışın kaynağı veya hibrid kaynak prosesleri, seri olarak üretimi gerçekleşen krom ve krom-nikel çelikleri, dublex çelikler, nikel alaşımlarından yapılan boru ve profillerde kullanılabilecek yöntemlerdir. Kullanılan malzeme cinsine bağlı olarak ayarlanması gereken en önemli kaynak parametreleri, merkez noktası mesafesi, merkez noktası pozisyonu, temizleme gazı ve kaynak hızıdır.

Özel şekilli profillere form verilmesinin adımları Şekil 2.4' te açık olarak tanımlanabilir. Azalan form prosesi ile profil üzerindeki gerilme minimize edilebilir. Bu da gerilme yüzeylerinin azaltılmasını ve profilin istenen özelliklerinin sağlanması anlamına gelir.

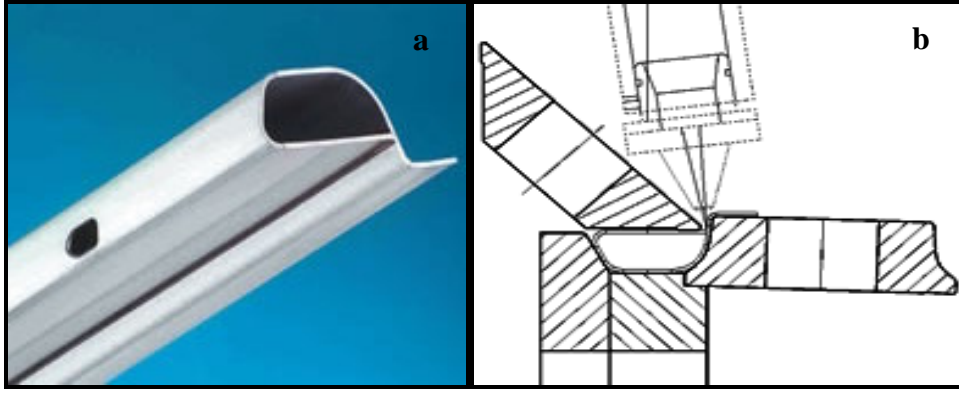
Lazer ışın kaynağının 1991 yılında Almanya'da ortaya çıkmasından itibaren et kalınlığı 4 mm' ye kadar olan boru ve profillerin imalatının optimizasyonunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. 1997 yılında beş Avrupa ülkesi ve Avrupa Komisyonu ile beraber hazırlanmış bir program olan Euro-NACP (Avrupa Yeni Araç Değerlendirme Programı) ile birlikte bu imalat yöntemi ivme kazanmıştır. Güvenlilik, bir aracın satışında en önemli gereklilik haline gelmiştir. Buna bağlı olarak da güvenlikle ilgili olan gövde parçalarının önemi giderek artmıştır. Gövde parçalarını oluşturan profillerin lazer kaynağı ile üretilmesi bu amacın başarıya ulaşmasında çok önemli bir rol oynamakta ve ekonomik bir üretim yöntemi olarak ilerleyişini sürdürmektedir.



Şekil 2.4. Özel şekilli profil formunun verilmesinin çiçek şeklinde gösterilmesi (Wasmer, 2004)

Şekil 2.5-a' da yüksek gerilmeye dayanımlı, galvaniz kaplı, ince taneli çelikten yapılmış 1,5 mm kalınlığında, yüksek gerilime dayanımlı lazer kaynakla üretilmiş özel şekilli profile bir örnek verilmiştir. İçi boş olan bölümün düzgün olarak elde edilmesi kolay değildir. Kaynak dikişi % 100 nüfuziyet sağlamalıdır. Bu yüzden lazer kafa form verme makaraları konumuna bağlı olarak hassas bir şekilde konumlandırılmalıdır. Özellikle kaynak alanındaki metalin kılavuz şerit kaynak köşesi kusursuz olmalıdır (Şekil 2.5-b). Aynı şekilde, kaynak dikişi hazırlığında da özen gösterilmelidir. Kenar sürtünme ve oluk aygıtı kombine bir şekilde

çalışarak kaynak alanındaki çinko katmanını tamamıyla uzaklaştırır. Çinko parçacıkları kaynak banyosu içinde arzu edilmeyen gözeneklere ve serpintilere neden olabilir. Bu prosesler lazer ışın kaynağı ve MIG kaynağının beraber uygulandığı hibrid proseslerdir. Burada CO₂ lazer ve MIG enerjilerinden faydalanarak Bremen Enstitüsü tarafından geliştirilmiş bir kaynak kafası mevcuttur. Bu hibrid proses süper martenzitik malzemelerin boylamasına kaynakla profil oluşturmasında kullanılmaktadır. Bu proses “Avrupa Komisyonu’nun” GDR1-1999-10278 numaralı araştırma projesidir. Şekil 2.6’ da bu hibrid procese ait bir kaynak kafası görülmektedir.



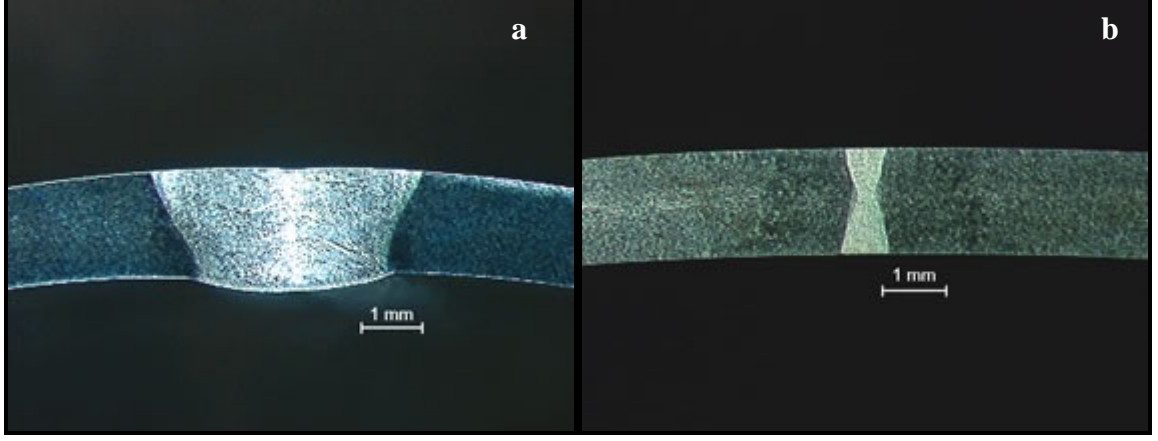
Şekil 2.5 a- 1,5mm Kalınlığında, ince taneli, galvanizli, yüksek gerilim dayanımlı çelikten lazer kaynağı ile yapılmış özel şekilli profil b- Lazer kaynağıyla profil oluşturmada kaynak kafasının konumu (Wasmer, 2004)



Şekil 2.6 Hibrid proses (Lazer+MIG Kaynağı) kaynak kafası (Sölch ve Hoffmann, 2004)

Kaynak derinliği/kaynak genişliği oranı lazer kaynağında 3:1 iken, bu oran TIG kaynağında yaklaşık olarak 2:1’dir. Benzer bir şekilde ısı tesiri altında kalan bölge de kaynak bölgesiyle sınırlıdır. Isı tesiri altında kalan bölge kaynak kalitesini direkt olarak etkileyeceği için lazer ışın kaynağı ile profil oluşturma geleneksel kaynak yöntemlerine göre tercih nedenidir.

Şekil 2.7’ de geleneksel TIG kaynağı yöntemi ve lazer ışın kaynağı yöntemiyle elde edilen kaynak dikişlerinin makro yapılarına ait görüntüleri verilmiştir (Wasmer, 2004; Sölch ve Hoffmann, 2004).



Şekil 2.7 a- TIG Kaynağı ile oluşturulan boru dikiş formu, b- Lazer ışın kaynağı ile oluşturulan boru dikiş formu (Sölch ve Hoffmann, 2004)

Bu anlatılan yöntemler profil oluşturmada etkin bir şekilde kullanılmasına rağmen, ülkemizde bir elektrik direnç kaynağı metodu olan yüksek frekans kaynağı ile borudan profil oluşturma yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Ben de, tez konumda bu yöntem ile yassı malzemedan profil oluşturma hakkında ayrıntılı olarak incelememi yaptım. Profiller ve malzemeleri hakkında bilgi verdikten sonra bu konu detaylarıyla birlikte “Bölüm 4” te incelenecektir.

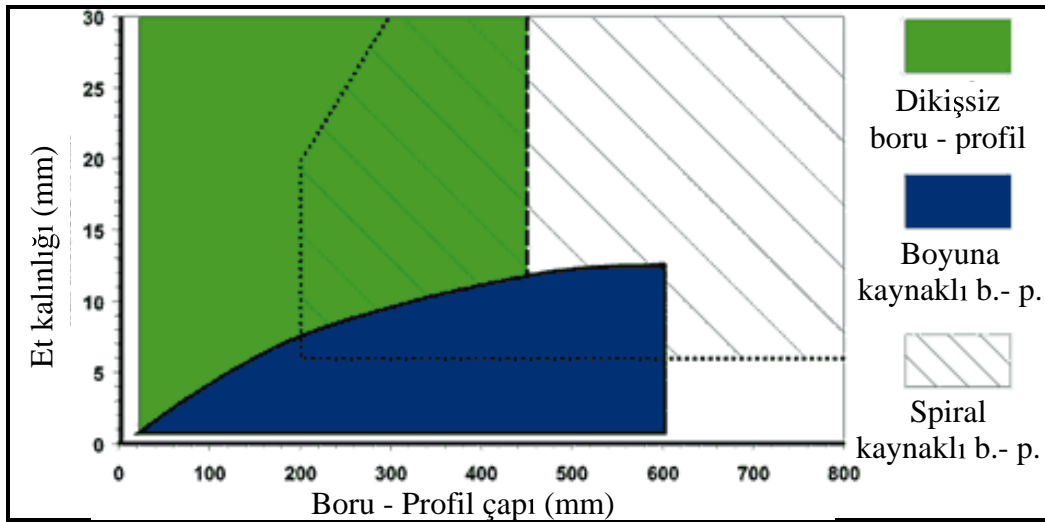
3. PROFİL MALZEMELERİ ve ÜRÜN TESLİM ŞARTLARI

Dünya standartlarına bağlı olarak ince et kalınlığına sahip profillerde EN 10305 – 5, kalın etli profillerde ise EN 10305 – 5’in yanı sıra, EN 10219, DIN 59411, ASTM A-500, BS 6363’e göre üretim yapılmaktadır. Bu standartlar dünya çapında geçerliliği olan standartlar olmasına rağmen müşteri talepleri doğrultusunda üretilebilirlik imkanı olan tüm profillerin uygulamaya geçirilmesi mümkündür.

Güçlendirilmiş ve soğuk olarak şekillendirilmiş kaynaklı çelik profillerin en önemli avantajlarından biri dayanım/ ağırlık oranının yüksek olmasıdır. Her iki eksene göre daha büyük olan atalet momenti ve atalet yarıçapı değerleri, soğuk şekillendirilmiş profillerin burulma, burkulma ve eğilmeye karşı, aynı ağırlıktaki açık kesitli profillere göre daha büyük bir dirence sahip olmalarına olanak vermektedir.

Kapalı kare ve dikdörtgen kesit elemanlarının dış yüzeyleri, açık elemanlara göre yaklaşık % 40 daha azdır. Bu nedenle, korozyondan korunacak ve boyanacak yüzeylerin az oluşu maliyeti önemli ölçüde düşürmektedir.

Kaynaklı ve daha sonra soğuk şekillendirilmiş kare ve dikdörtgen kesitli borular için daha önceden kullanılan DIN 2395-1, DIN 2395-2 yerine 2003 Ağustos ayında DIN EN 10305-5 normu geçmiştir. Buna paralel olarak bizim standartlarımız da DIN 2395-1 ve DIN 2395-2 normlarına karşılık olarak kullanılan TS 6475: 1989 yerine 2004 Şubat ayında TS EN 10305-5 uygulamaya alınmıştır. Şekil 3.1’de Üretim yöntemlerine göre boru ve profil boyut gruplandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Üretim yöntemlerine göre boru ve profil boyut gruplandırılması
(Sölch ve Hoffmann, 2004)

Bir profil siparişinde müşteri tarafından sağlanması zorunlu olan bilgiler, miktar, boyut, çelik kalitesi ve yüzey durumu teslim şartıdır. Eğer herhangi bir opsiyon belirtilmezse profiller bu şartlar altında tedarikçiye teslim edilebilir.

3.1 Kare ve Dikdörtgen Biçimdeki Profil Özellikleri

3.1.1 Çelik Kalitesi

Standart değerlerine uygun olarak kullanılan çelik kaliteleri olmakla birlikte, müşteri tarafından da kimyasal bileşim, mekanik özellikler ve teslim şartı belirtilebilir. Standartta bağlı çelik kaliteleri ve kimyasal analizleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir. Çizelge 3.2’ de bu kimyasal analizi verilen elementlerin belirtilen sınır değerlerinden izin verilen sapma miktarları, Çizelge 3.3’ te teslim şartları, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’ te teslim şartlarına bağlı olarak oda sıcaklığındaki mekanik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Profillerde kullanılan alaşımsız çelik kalitesine bağlı olan kimyasal bileşim değerleri^a (TS EN 10305-5,2004)

Çelik Kalitesi		Kütlece % (m/m)				
Çelik Adı	Çelik No	C en çok	Si en çok	Mn en çok	P en çok	S en çok
E 155	1.0033	0,11	0,35	0,70	0,025	0,025
E 190	1.0031	0,10				
E 195	1.0034	0,15	0,35	0,70	0,025	0,025
E 220	1.0215	0,14				
E 235	1.0308	0,17	0,35	1,20	0,025	0,025
E 260	1.0220	0,16				
E 275	1.0225	0,21	0,35	1,40	0,025	0,025
E 320	1.0237	0,20				
E 355b	1.0580	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025
E 370b	1.0261	0,21				
E 420b	1.0575	0,16	0,50	1,70	0,025	0,025

a: bu tabloda yer almayan elementler (dipnot b’de belirtilmiştir) dökümü iyileştirmek için ilave edilen elementler dışında müşterinin mutabakatı olmaksızın bilerek çeliğe ilave edilmemelidir.
b: Nb, Ti, ve V ilaveleri imalatçıya bırakılır. Bu elementlerin muhtevası rapor edilir.

Çizelge 3.2 Elementlerin belirtilen sınırlardan izin verilen sapmaları (TS EN 10305-5,2004)

Element	Çizelge 3.1’ e bağlı sınırlayıcı değer kütlece %	Ürün analizinin izin verilen sapması kütlece %
C	≤ 0,22	+ 0,02
Si	≤ 0,55	+ 0,05
Mn	≤ 1,70	+ 0,10
P	≤ 0,025	+ 0,005
S	≤ 0,025	+ 0,005

Çizelge 3.3 Teslim şartları (TS EN 10305-5,2004)

Kısa Gösteriliş	Sembol	Önceki Sembol	Gösteriliş
Kaynak edilmiş ve soğuk şekillendirilmiş	+ CR1 ^a	BKM	Normal olarak ısıtılma işlemine tabi tutulmamış ancak son tavlama için uygun
	+ CR2 ^b		Kaynak ve şekillendirme sonrası ısıtılma işlemi yok
Tavllanmış	+ A	GBK	Kaynak ve şekillendirme işleminden sonra borular kontrollü atmosferde tavlama
Normalize edilmiş	+ N	NBK	Kaynak ve şekillendirme işleminden sonra borular kontrollü atmosferde normalize edilir. Bu teslim şartına doğrudan ısıtılma yoluyla ulaşılabilir.
a: tavlama veya normalizasyondan sonra +A veya +N teslim şartı için Tablo 4.'te verilen mekanik özellikler normal olarak elde edilir.			
b: daha fazla ısıtılma uygulanırsa, elde edilen mekanik özellikler belirtilen özelliklerin dışında kalabilir.			

Çizelge 3.4 +CR1, +A ve +N Teslim şartlarında oda sıcaklığında mekanik özellikler (TS EN 10305-5,2004)

Çelik kalitesi		Teslim şartı için en düşük değerler a						
Çelik adı	Çelik numarası	+CR1 ^b		+A ^b		+N		
		R _m (N/mm ²)	A %	R _m (N/mm ²)	A %	R _m (N/mm ²)	R _{eH} (N/mm ²)	A %
E 155	1.0033	290	15	260	28	270-410	155	28
E 195	1.0034	330	8	290	28	300-440	195	28
E 235	1.0308	390	7	315	25	340-480	235	25
E 275	1.0225	440	6	390	21	410-550	275	21
E 355	1.0580	540	5	490	22	490-630	355	22
Not – kaynak bölgesinin mekanik ve teknolojik özellikleri, +CR1 ve +A teslim şartlarında, ana malzemeninkilerden farklılık gösterebilir.								
a: R _m : Kopma dayanımı; R _{eH} : en üst akma dayanımı; A : kopma sonrası uzama								
b: şerit malzemenin soğuk şekillendirme derecesine ve kaynak edilen borunun şekillendirilmesine bağlı olarak akma dayanımı kopma dayanımı kadar yüksek olabilir. Hesaplama açısından R _{eH} ≥ 0,7 R _m akma dayanım değerleri +CR1 durumunda tavsiye edilir.								

Çizelge 3.5 +CR2 Teslim şartında oda sıcaklığında mekanik özellikler (en düşük değerler) (TS EN 10305-5,2004)

Çelik kalitesi		Kopma Dayanımı R _m (N/mm ²)	Akma Dayanımı R _{eH} (N/mm ²)	Uzama Sonrası Kopma A %
Çelik adı	Çelik numarası			
E 190	1.0031	270	190	26
E 220	1.0215	310	220	23
E 260	1.0220	340	260	21
E 320	1.0237	410	320	19
E 370	1.0261	450	370	15
E 420	1.0575	490	420	12
Not – kaynak bölgesinin mekanik ve teknolojik özellikleri ana malzemeninkilerden farklılık gösterebilir.				

3.1.2 Sıcak Daldırma Galvanizleme İçin Uygunluk

Muhtemel yüzey durumları S1 (siyah), S2 (kimyasal olarak temizlenmiş), S3 (soğuk

haddelenmiş), S4 (belirlenen şekilde kaplanmış)'tır. Yüzey durumları S1 ve S3 şeride, S2 ve S4 şeride veya boruya uygulanabilir.

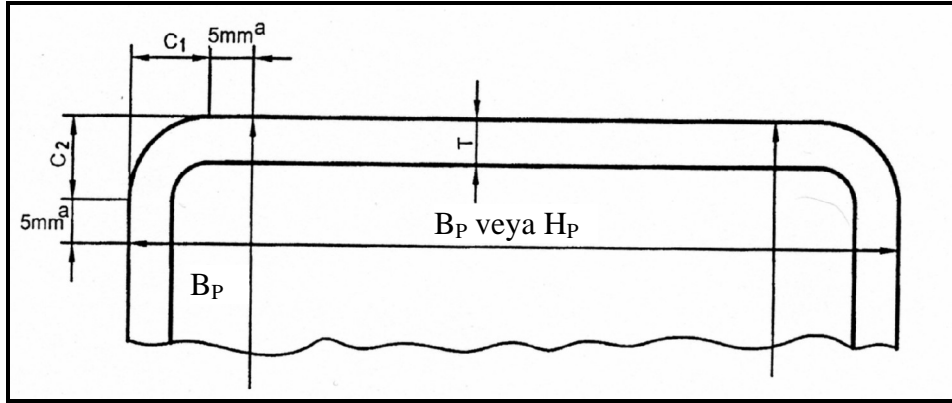
3.1.3 Sonraki İşlemler İçin Yüzey Durumu

Profillerin yüzey perdahı, imalat işlemine uygun ve uygulanabildiğinde ısıtma işlemine uygun olmalı ve kabartma, çukur gibi rötuş isteyen yüzey kusurları belirgin olmamalıdır. İsteğe bağlı olarak sonraki özel işlemleri için uygun olan bir yüzey durumu müşteri tarafından seçilir.

3.1.4 Kaynak Çizgisinin Yeri

Kaynak çizgisinin yeri, müşteri tarafından belirtilmemişse imalatçıya bırakılır. Ancak özel bir istek varsa, kaynak çizgisinin belirtilen bir yerden sapması aşağıdaki toleranslar dahilinde olmalıdır.

- Dar kenar (orta çizgiden): kenar uzunluğunun $\pm 10\%$ 'u veya ± 3 mm (hangisi büyükse)
- Geniş kenar (orta çizgiden): kenar uzunluğunun $\pm 10\%$ 'u veya ± 3 mm (hangisi büyükse)
- Köşe: Kaynak C1 ve C2 ile tarif edilen köşe yarıçapı içinde olmalıdır (Şekil 3.2)
- Başka herhangi bir yer: anlaşmaya varılan tolerans.



Şekil 3.2 B, H ve T Boyutlarının ölçümü için sınırlayıcı kesit konumları (a: bu boyut, T ölçülürken C1 ve C2'ye en kısa mesafe olup B_P veya H_P ölçülürken ise en uzun mesafedir.)
(TS EN 10305-5,2004)

3.1.5 İç Kaynak ve Dış Kaynak Yükseltisi

Dış kaynak yükseltisi yüzeye sıfır olmalıdır. İç kaynak yükseltisi ise müşteri talebi yoksa giderilmemelidir. Eğer müşteri iç kaynak yükseltisinin giderilmesini isterse, belirli bir yükseklikle sınırlanmalı veya giderilmelidir. Ancak kaynak alanındaki et kalınlığı belirtilen en düşük et kalınlığı değerinden daha düşük olmamalıdır.

3.1.6 Yüzey Pürüzlülüğü

Profillerin dış yüzeyleri $R_a \leq 4 \mu\text{m}$ pürüzlülükte düzgün olmalıdır. Eğer müşteri bu konuda herhangi bir talepte bulunursa anlaşmaya varılarak imalat gerçekleştirilmelidir. Pürüzlülük değerleri kaynak bölgesine uygulanmamalıdır ve özel taleplerde ölçülerek raporlanmalıdır. Ayrıca + A veya + N teslim şartlarındaki profiller gevşek tufaldan temizlenmelidir.

3.1.7 Uzunlamasına Kusurlar İçin Kaynak Dikişinin Tahribatsız Muayenesi

Kaynaklı bölgenin iç sağlamlığının doğrulanması müşteri tarafından talep edilebilir. Bu durumda EN 10246-3 normuna göre girdap akımı (eddy current) deneyi veya EN 10246-8 normuna göre ultrasonik deneyler yapılmalıdır.

3.1.8 Et Kalınlığı Toleransı

Et kalınlığına (T) bağlı olarak aşağıdaki toleranslar belirtilir:

- $T \leq 1,5 \text{ mm}$: $\pm 0,15 \text{ mm}$;
- $T > 1,5 \text{ mm}$: $\pm 0,1 T \text{ mm}$ veya $\pm 0,35 \text{ mm}$ (hangisi küçükse)

Artı tolerans kaynak bölgesine veya köşe tarafındaki $C_1 + 5\text{mm}$ ve $C_2 + 5\text{mm}$ boyutlarına uygulanmaz (Şekil 3.2).

Bu tolerans değerlerinin dışında müşteri siparişlerine bağlı olarak varılan anlaşma çerçevesinde bir et kalınlığı uygulanabilir. Köşe uzunlukları C_1 ve C_2 et kalınlığı $\leq 2,5 \text{ mm}$ olan profiller için $1,5 T'$ yi, et kalınlığı $2,5 < T \leq 4 \text{ mm}$ olan profiller için ise $2,2 T'$ yi geçmemelidir. Kare ve dikdörtgen kesitli profillerde keskin köşeli durumlarda dinamik ve statik değerler her zaman elde edilemez.

3.1.9 Tam Uzunluk

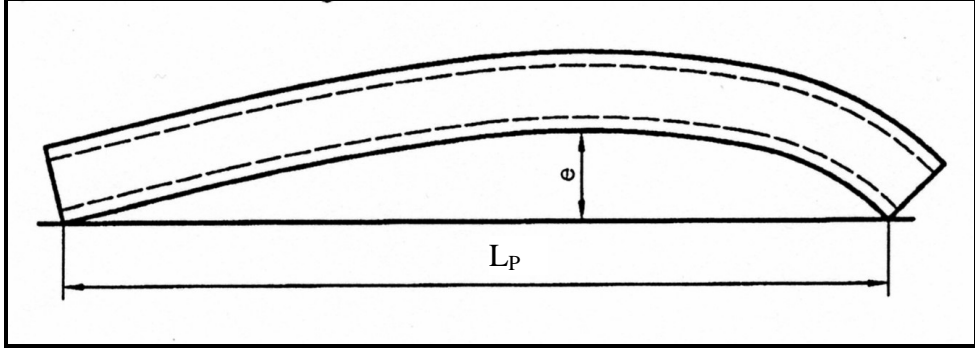
Eğer herhangi bir istek belirtilmemişse, profiller standart 6 m boyda, +100 mm, - 0 mm toleransla üretilmelidir. Müşterinin belirlediği tam uzunluk değerlerinde ise tolerans sınırları Çizelge 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Tam uzunluk toleransları (TS EN 10305-5,2004)

Uzunluk L_P (mm)	Tolerans (mm)
≤ 500	Müşteri tarafından belirlenir
$500 < L_P \leq 2\ 000$	+ 3 - 0
$2\ 000 < L_P \leq 5\ 000$	+ 5 - 0
$5\ 000 < L_P \leq 8\ 000$	+ 10 - 0
$> 8\ 000$	Müşteri tarafından belirlenir

3.1.10 Doğruluk

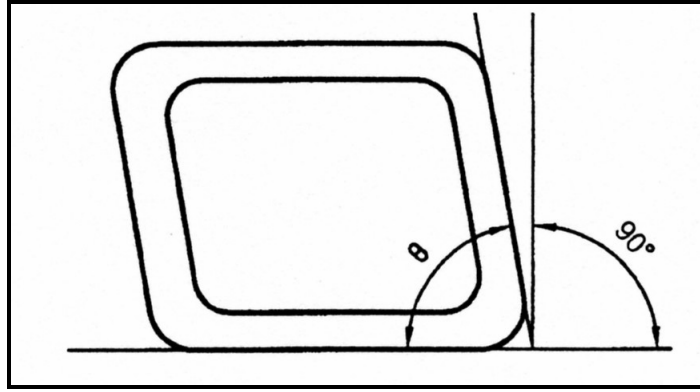
Şekil 3.3’ te uygun olarak ölçülen L_P uzunluğundaki bir borunun doğruluk sapması (e) kenar uzunlukları ≤ 30 mm için $0,0025 L_P$ ’ yi ve kenar uzunlukları > 30 mm için ise $0,0015 L_P$ ’ yi aşmamalıdır. Bir metre uzunluktaki doğruluktan sapma 3 mm’ yi aşmamalıdır.



Şekil 3.3 Profillerde doğruluktan sapmanın (e) ölçülmesi (TS EN 10305-5,2004)

3.1.11 Kenarların Dikliği

Kenarların diklikten sapması Şekil 3.4’ te gösterildiği gibi 90° ve θ arasındaki fark şeklinde ölçülür. Bu fark $\pm 1^\circ$ ’yi geçmemelidir. Diklikten sapma = $90^\circ - \theta$.



Şekil 3.4 Profillerde kenarların dikliği (TS EN 10305-5,2004)

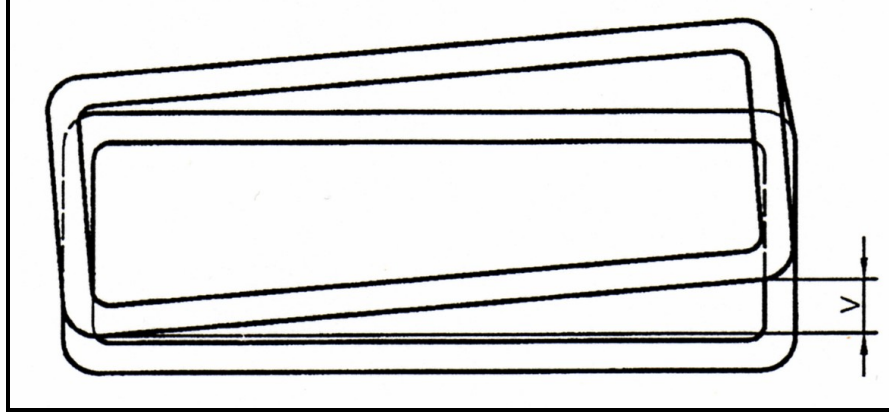
3.1.12 Konkavlık ve Konvekslik

Profiller kenarlarının (B_P ve H_P) toleranslarına konkavlık ve konvekslik dahildir. Bir başka deyişle profil boyutlarındaki tolerans değerleri sağlandığında konkavlık ve konvekslik sınırları içinde kalınır.

3.1.13 Burulma

“V” en büyük burulmayı göstermek üzere (Şekil 3.5).

- a) B_p veya $H_p \leq 30$ mm için ≤ 3 mm;
- b) B_p veya $H_p > 30$ mm için $\leq B_p/10$ veya $\leq H_p/10$ olmalıdır.



Şekil 3.5 Profillerde burulmanın gösterilmesi (TS EN 10305-5,2004)

3.1.14 Uç Perdahlama

Profiller, kare şeklinde kesilmiş uçlarla teslim edilmeli, aşırı çapaklar temizlenmelidir. Eğer müşteri talebi varsa belirtilen bir uç perdahlama işlemi yapılmalıdır.

3.1.15 Kaynak Muayenesi

Siparişin özelliklerine uygunluk özel muayene isteği belirtilmemiş ise özel olmayan muayene ile kontrol edilmelidir. Özel olmayan muayene ile tedarik edilen profiller, muayenenin uygulandığı ürünlerin tarifi, çekme deneyi raporu, kimyasal bileşim, işaretleme ve tanımlama, yüzey görünümü, şekil ve boyut özellikleri ve onaylama bilgilerini kapsamalıdır. Özel muayenelerde ise bunlara ek olarak diğer isteğe bağlı deneyler (örneğin pürüzlülük ölçümü) de raporlara ilave edilmelidir.

3.1.16 Numune Alma - Deney Birimi

Bir deney birimi aynı çelik kalitesi ve boyutlarda aynı işlemle sürekli olarak imal edilen ve aynı teslim şartında, uygulanabildiğinde aynı parti ve aynı ısıl işlem tesisinde ısıl işlem görmüş profiller olarak tarif edilir. Bir deney birimi 2 ton, 3000 metre veya 500 adet profilden veya ısıl işleme tabi tutulmuş ana bobin sacdan fazla olmamalıdır (hangisi daha büyük kütle ise). 50 adet profilden az kalan miktarlar deney birimlerine eşit olarak ilave edilebilir. Müşteri isteğine bağlı olarak, oluşturulan deney birimi sadece aynı imalat serisinden gelen profilleri

içermelidir. Numune profillerin sayısı ise her deney birimi için bir profildir.

3.1.17 İşaretleme

Eğer müşteri tarafından herhangi bir istekte bulunulmaz ise, demet halindeki profil üzerindeki etiket aşağıdaki tanımlamaları içermelidir.

- imalatçının adı ve ticari markası
- belirtilen boyutlar
- standart numarası (TS EN 10305-5)
- çelik adı veya numarası
- imalatın seri numarası (müşteri talebinde)
- teslim şartı
- özel muayene durumunda, ürün veya sevk biriminin ilgili dokümanla ilişkisine müsaade eden bir tanımlama numarası (sipariş numarası veya parça numarası gibi).

3.1.18 Koruma ve Ambalajlama

Profiller geçici bir korozyondan koruma ile teslim edilmelidir. Korozyona direnç stoklama şartlarına bağlıdır. Korunmayan profiller, depolamanın veya taşımanın herhangi bir aşamasında korozyona karşı eğilim gösterir. Uygun olduğunda profiller, bağlanmış demetler halinde teslim edilmelidir. Müşteri ile yapılan anlaşma sonucunda, korozyondan koruma olmaksızın, belirtilen bir korozyondan koruma işlemi yapılmış olarak, belirtilen bir ambalajlama metodu ile sevkiyat yapılmalıdır. Genellikle profiller, az miktarda yağlama ve demet halinde paketlenmiş olarak sevk edilir. Ambalajlama işleminde ise müşteri taleplerine cevap verilir.

3.1.19 Bir Sipariş Örneği

E 235 çelik kalitesinden yapılmış, normalize edilmiş ve S2 şerit yüzeyi (kimyasal olarak temizlenmiş) durumda, belirtilen opsiyon numarasına bağlı olarak EN 10204'e uygun 3.1.B muayene belgesi olan ve TS EN 10305-5 standarda uygun, 50 mm x 30 mm ve et kalınlığı 3 mm olan 12 000 m profil siparişi;

12 000 m profil – 50 x 30 x 3 – TS EN 10305-5 – E 235 + N, S2 – Opsiyon 14

şeklinde verilir. Çizelge 3.7' de TS EN 10305-5' teki uygun çelik adına göre karşılık gelen eski çelik adları verilmiştir.

Çizelge 3.7 Karşılık gelen önceki çelik kısa gösterilişlerin listesi (TS EN 10305-5,2004)

TS EN 10305-5'teki uygun çelik adı	Önce	
	Çelik Adı	Uluslararası Standart
E 155	ERW 1	BS 6323-5: 1982 (1990)
E 195	ERW 2	BS 6323-5: 1982 (1990)
	ES 185	NF A 49-646: 1977
E 220	ERW 1 KM	BS 6323-5: 1982 (1990)
	ES 200	NF A 49-646: 1977
E 235	EKW 2/ERW 3/ERW 4	BS 6323-5: 1982 (1990)
	RSt 37-2	DIN 2395-2: 1994
	ES 235	NF A 49-646: 1977
E 260	ERW 1 KM	BS 6323-5: 1982 (1990)
	ES 250	NF A 49-646: 1977
E 275	ERW 3/ERW 4	BS 6323-5: 1982 (1990)
	St 44-2	DIN 2395-2: 1994
	ES 275	NF A 49-646: 1977
E 320	ERW 3 KM	BS 6323-5: 1982 (1990)
	ES 320	NF A 49-646: 1977
E 355	ERW 5 (NKM/NZF)	BS 6323-5: 1982 (1990)
	St 52-3	DIN 2395-2: 1994
	ES 355	NF A 49-646: 1977
E 420	ERW 5 (KM)	BS 6323-5: 1982 (1990)
	ED 420	NF A 49-646: 1977


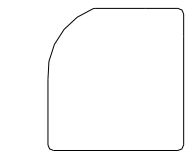
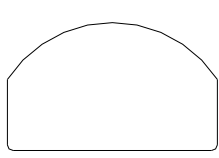
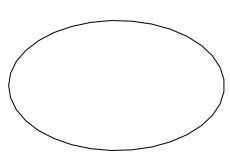
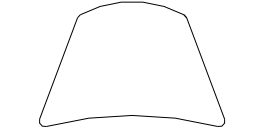
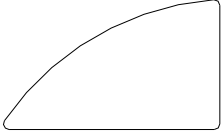
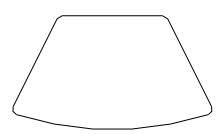
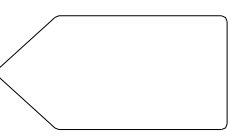
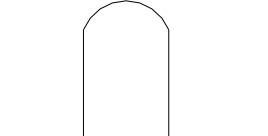
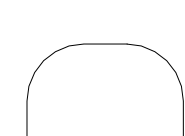
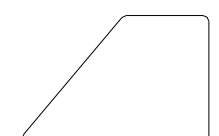
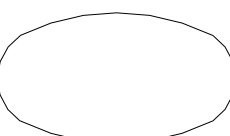
3.2 Özel Şekilli Profiller

Özel şekilli profillerde çelik kalitesi olarak Fe 120, Fe 340, Fe 370 ve Fe 440 malzemeler kullanılabilir. Eğer polisaja uygun yüzey isteniyorsa bunun için Fe 120 ve Fe 340 malzeme kalitesi tercih edilir. Herhangi bir yüzey şartı istenmiyorsa Fe 370 ve Fe 440 malzeme kalitesi kullanılır. Özel şekilli profillerde kullanılan malzeme kalite özellikleri Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Özel şekilli profillerde kullanılan çelik kalitelerinin özellikleri (Erdemir, 2001)

Çelik Kalitesi	Kütlece %				Normalize Edilmiş		
	C en çok	Mn en çok	P en çok	S en çok	R _m (N/mm ²)	R _{eH} (N/mm ²)	A %
Fe 120	0,12	0,60	0,045	0,045	270 – 350	200	38
Fe 340	0,15	1,20	0,025	0,020	310 – 410	205	28
Fe 370	0,17	1,40	0,045	0,045	340 – 470	235	25
Fe 440	0,21	1,50	0,045	0,045	410 – 540	255	21

a: R_m : Kopma dayanımı; R_{eH} : en üst akma dayanımı; A : kopma sonrası uzama

			
DÜZ OVAL	YARIM "D"	YARIM DAİRE	ELİPS
			
TEKSTİL PROFİL	HAVLU PROFİL	CAM PROFİLİ	BEŞGEN PROFİL
			
"D" PROFİL	DÜZ "D" PROFİL	TRAPEZ PROFİL	FIÇI PROFİL

Şekil 3.6 Özel şekilli profil kesitlerinin gösterimi

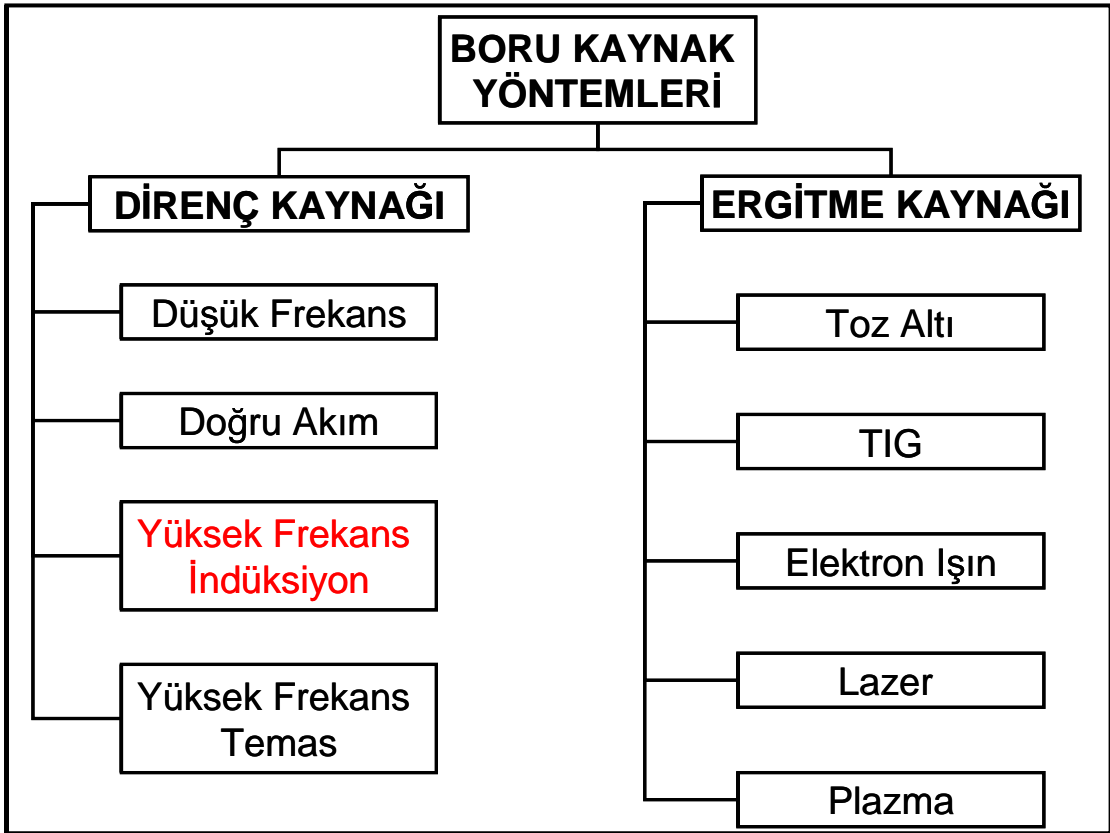
Kaynaklı boru veya kare – dikdörtgen haldeki profil yarı mamulden, Türk kafalarında istenilen hale getirilen özel şekilli profiller, ağırlıklı olarak mobilya, havlupan, çelik eşya ve dekorasyon sektörlerinde kullanılır. Bu tip profiller kullanım alanlarına göre düz oval, yarım oval, elips, beşgen ve çeşitli geometrik şekillerde üretilebilir. Şekil 3.6’da bazı özel şekilli profillerin kesit görüntülerine örnekler verilmiştir.

Özel şekilli profillerin boru ya da profilden şekillendirilmesinde dikkat edilecek en önemli nokta, soğuk şekillendirme kurallarıdır. İstenilen geometrik yapıda profilin elde edilebilmesi için kısa kenar ve uzun kenar arasındaki oranın çok yüksek olmaması, uygun radyüs değerlerinin verilmesi gerekir. Profili oluşturmadan önce malzeme özellikleri de göz önünde bulundurulur, işlemin kaç pasoda gerçekleştirileceği, her pasodaki deformasyon miktarı, Türk kafalarının tasarımı ve diğer ayarlamaların gerektiği gibi yapılması gerekir (TS EN 10305-5, 2004; Erdemir, 2001; www.borusan.com.tr).

4. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI ile BORUDAN PROFİL OLUŞTURMA

4.1 Boru Üretiminde Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Profil oluşturmanın ara ürünü olarak kabul edilebilecek dikişli borular, çelik levha veya bandın boru biçimine getirilerek, boyuna veya spiral dikişle kaynatılması yolu ile imal edilir. Dikişli boru üretiminde kullanılan kaynak yöntemleri temel olarak direnç kaynağı ve ergitme kaynağı olmak üzere iki ana grupta toplanabilir (Şekil 4.1). Direnç kaynağında, kaynak için gerekli olan sıcaklık malzemenin elektrik akımına karşı gösterdiği dirençten oluşan ısı vasıtasıyla elde edilir. Bu sistem kendi içinde, akımın cinsine, frekans değerine ve gücün kaynak noktasına iletilme şekline göre çeşitli alt gruplara ayrılır. Ergitme kaynağındaki temel esas ise, bir ark yardımı ile dikiş bölgesinde malzemenin ergimesidir.



Şekil 4.1 Boru üretiminde kullanılan kaynak yöntemleri (Şirin, 1997)

4.2 Boru Üretiminde Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemi

Bütün direnç kaynağı yöntemleri uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesi gerektirir. Akım kapalı bir devre boyunca akar ve akımın sürekliliği, kullanılan yöntemde uygun bir tarzda şekillendirilmiş elektrotların uyguladığı basma kuvveti sayesinde gerçekleşir.

Kaynak sırasında çeşitli işlemlerin sırası en genel halde şu şekilde ifade edilebilir; önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bundan sonra da bu metalin basınç altında yeniden katılaşması ile soğumasına olanak sağlamaktır. Direnç kaynağı, iş parçalarında elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği elektrik direncinden elde edilen ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Isı birleşme yerinde Joule kanununa göre oluşup ayrıca bir dış ısı kaynağı yoktur.

$$Q = K_Q \cdot I^2 \cdot R_D \cdot t \quad (4.1)$$

Burada; Q: üretilen ısı, K_Q : sabit, I: kaynak yapılan parçadan geçen akım şiddeti, R_D : kaynak yapılan parçanın elektrik direnci, t: kaynak akımının devrede kalma zamanını gösterir.

Denklem 4.1' den, elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyetinin malzemenin cinsine bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Elektrik direncinin düşük olması, ortaya çıkan ısı miktarını azaltacağından, kaynak yapılması güçleşir. Diğer bir ifade ile, elektrik iletkenliği yüksek bir malzemenin kaynak kabiliyeti, elektrik iletkenliği düşük olan bir malzemeye göre daha kötüdür. Isı iletkenliğinin yüksek olması, kaynak için gerekli ısı yoğunlaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ısı iletkenliği yüksek bir malzemenin elektrik direnç kaynağındaki kaynak kabiliyeti düşük olmaktadır.

4.3 Yüksek Frekans Kaynağının Açıklanması

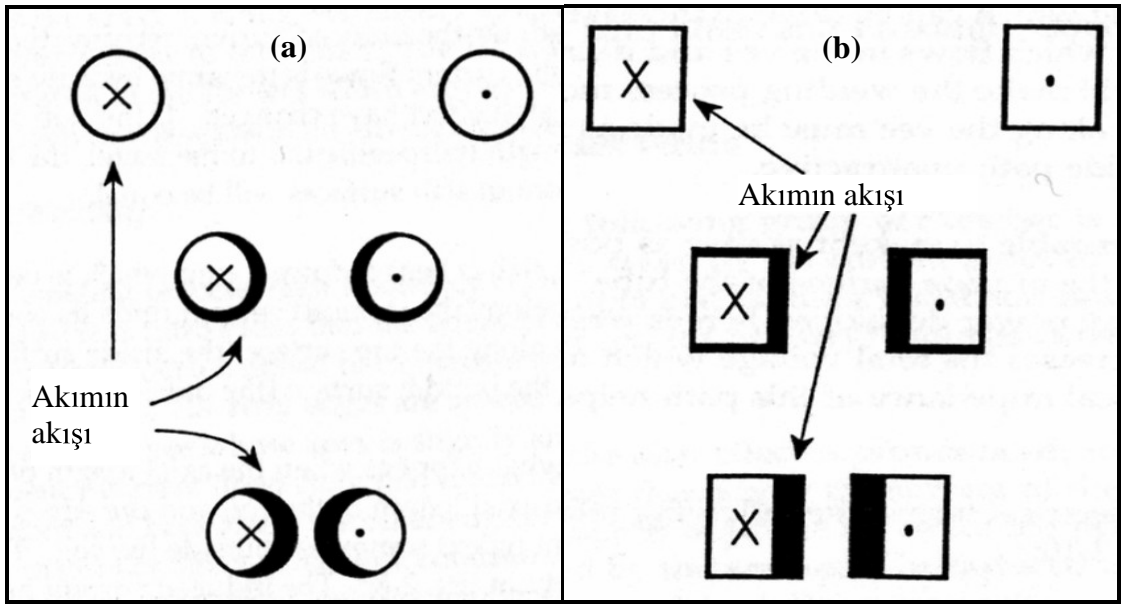
4.3.1 İndüksiyon Uygulamanın Prensipleri

Lenz kanunu ve Joule etkisinin direkt bir uygulaması olan indüktif ısıtma işlemi, iki fiziksel olay ile ilintili olup, bunlar sırasıyla, indüksiyon bobininden ısıtılacak olan parçaya enerji transferi ve Joule etkisi ile elektriksel enerjinin ısıya dönüşümüdür. İşlem, indüktör adı verilen özel bir aparattan değişken bir manyetik alan oluşturulması esasına dayanır. Lenz kanununun, elektriksel iletkenliği olan herhangi bir maddenin, değişken bir manyetik alan içinde olduğu zaman, elektrik motor kuvvetinin indüklenmesi ve dolayısı ile de akımın indüklenmesi prensibine dayanır. Faucault akımları olarak bilinen bu akımlar, Joule etkisi nedeni ile üretildikleri maddede ısı meydana getirirler. İlke olarak bobin ve malzeme bir transformatör gibi davranırlar. Bu davranışta, iletken ilk sarım ve kaynak yapılacak boru ise tek dönüşlü ikinci sarım olacaktır. İndüktif ısıtmanın etkinliği, ısıtılacak parça ve indüktörün geometrik yerleşimine, besleme akımına, iş parçasının elektriksel, ısıl ve manyetik özelliklerine bağlıdır. İndüktörün tip ve özellikleri, endüstriyel uygulama yerine (ergitme, homojen ısıtma, ısıl

işlem, kaynak) ve ısıtılacak malzeme tipine göre değişir. Yüksek frekans kaynağındaki en önemli iki fiziksel olay, yüksek frekans akımına özgü olan “yüzey etkisi” ve “yakınlaşma etkisi” dir (Şirin, 1997).

4.3.1.1 Yakınlaşma Etkisi

Gidiş ve geliş pozisyonundaki bir iletken çiftinde, yüksek frekans akımının iletken yüzeylerinin birbirlerine en yakın olduğu bölgedeki yoğunlaşma eğilimine yakınlaşma etkisi denir (Şekil 4.2 a-b). Yakınlaşma etkisinin arkasındaki fiziksel olay, iletken çiftini saran manyetik alanın, iletkenlerin oluşturduğu en dar bölgelerde yoğunlaşmasıdır.



Şekil 4.2 a- Dairesel iletkende yüksek frekans akımının akışı (yakınlaşma etkisi), b- karesel iletkende yüksek frekans akımının akışı (yakınlaşma etkisi) (Nichols, 1994)

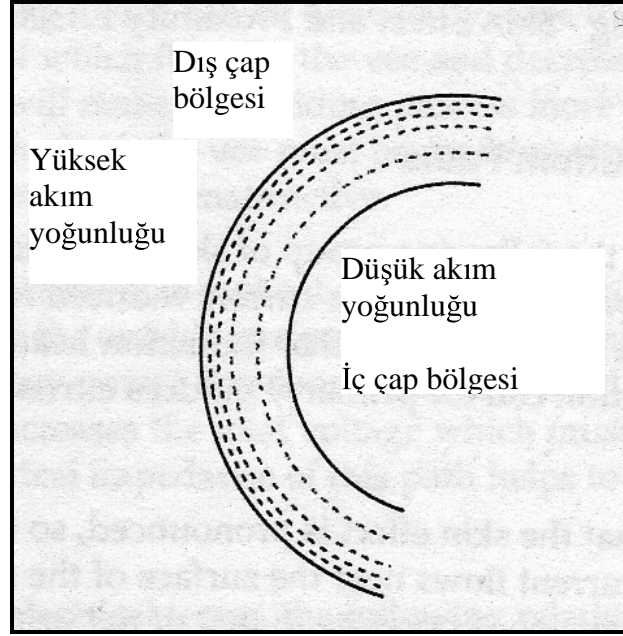
4.3.1.2 Yüzey Etkisi

Yüksek frekans akımının, iletken (açık boru) yüzeyinde yoğunlaşma eğilimidir. Yani, yüzey etkisi ile akımın nüfuziyeti sınırlandırılır ve akım yüzeye yakın bölgelerde yoğunlaşır (Şekil 4.3). Yüksek frekans akımına özgü olan bu özellik dolayısıyla, diğer kaynak yöntemlerine kıyasla, çok daha az bir bölge ısıtılarak (sadece bant kenarları), hem daha iyi bir kaynak kalitesine, hem de daha yüksek üretim hızlarına ulaşmak mümkündür (Nichols, 1994).

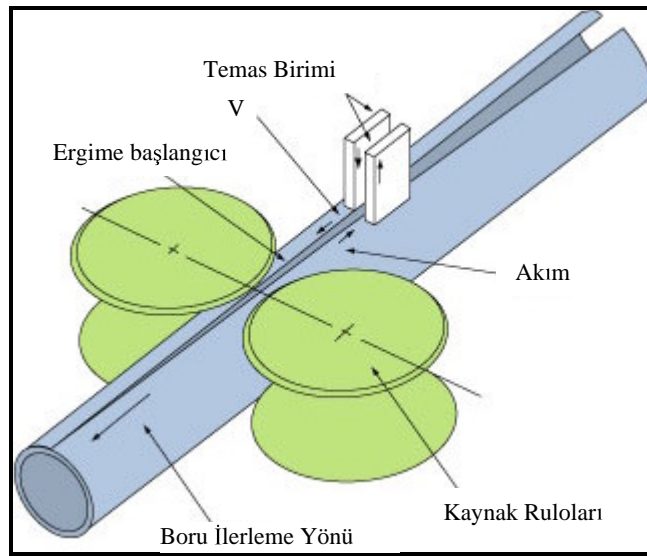
4.3.2 Yüksek Frekans Temas Kaynağı

Yüksek frekanslı temas kaynağı, malzemeden geçecek kaynak akımını, kaynak dikiş şeridi üzerindeki temas donanımından sağlar (Şekil 4.4). Kaynak gücünün, direkt olarak ürün

yüzeyine uygulanmasından dolayı bu prosesi elektriksel olarak yüksek frekanslı indüksiyon kaynağından daha verimli kılar. Daha verimli olmasının nedeni kalın cidarlı ve geniş çaplı boru imalatında daha iyi çalışma koşulları sağlamasıdır (Weimer ve Cagganello, 2002).



Şekil 4.3 Bir boruda yüzey etkisinin gösterilmesi (Nichols, 1994)



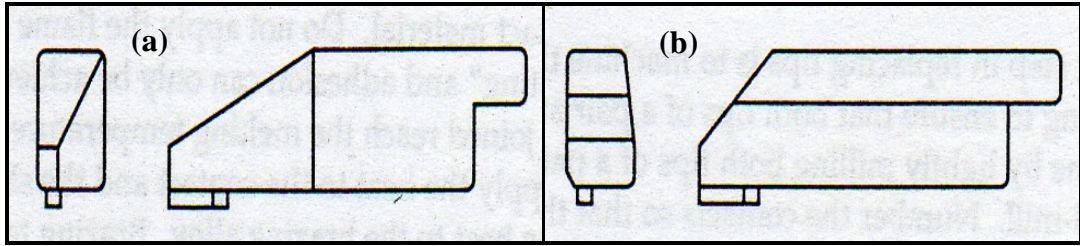
Şekil 4.4 Yüksek frekans temas kaynağının ve kaynak elemanlarının şematik gösterimi (Weimer ve Cagganello, 2002)

4.3.2.1 Standart Tipteki Temas Elemanları

Yüksek frekans temas kaynağı yönteminde genellikle iki tip temas elemanı standarttır. Bunlar

Şekil 4.5 a-b' de gösterilmiştir.

Standart temas elemanları hemen hemen bütün temas kaynağı donanımlarında kullanılır. Bununla beraber, bazı demirdışı malzemelerin kaynağında profil köşelerini kapatacak şekilde degen temas elemanları sıkıştırıcı makaralardan daha kullanışlı hale gelebilir. Uzatılmış burunlu temas elemanları isminden de anlaşıldığı üzere gövdesi burun şeklinde uzatılmıştır ve uçlar sıkıştırıcı makaralar arasına daha rahat bir biçimde uzanabilir. Standart tiplerde ise burada bir engellenme söz konusudur. Bu uzanabilme yeteneği daha kısa bir kaynak "V" uzunluğunun kullanımını olanaklı kılar.



Şekil 4.5 a-b Yüksek frekans temas kaynağında kullanılan temas elemanları.
a- uzatılmış burun tipli, b- düz tip (Nichols, 1994)

4.3.2.2 Temas Elemanı Konstrüksiyonu

Temas elemanı gövdesi bakırdandır, iç bölümlerinde soğutma sıvısı mevcuttur. Her temas elemanına sıvı girişi ve çıkışı bir O-Ring bağlantısı üzerinden geçecek şekilde bir adaptörden sağlanır. Temas elemanları üzerinde her hangi bir boru bağlantısı yoktur.

4.3.2.3 Temas Elemanları Uç Malzemeleri ve Büyüklükleri

Malzemeye direkt olarak temas eden uçlar, akım taşıma, kaliteli kullanım ve malzemeyi kaynak edebilme özelliğine göre seçilirler. Bu uçlar temas elemanının alt tarafındaki gövdenin ilerisine sert lehimlenmiştir. Malzemelerde kullanılan çeşitli farklı tipler Çizelge 4.1' de tanımlanmıştır.

Bakır temas uçlarının ark yanıklarından kaynaklanan bakır tortular bırakacağına dikkat edilmelidir. Bakır, çelik tane sınırlarına nüfuz edebilir ve kötü sonuçlara neden olabilir. Bu da boru veya profil kaynak edilirken yüksek miktarda H₂S içeren hidrokarbonların taşınması sorununa neden olur. Tungsten veya tungsten-gümüş alaşımı gibi bakır olmayan temas elemanları kullanılarak bu problemin önüne geçilebilir.

Çizelge 4.1 Temas uç malzemesinin oluşturulacak ürün malzemesine göre seçimi (Nichols, 1994)

İçerik	Kullanılan yerler
Bakır, Kadmiyum	Demirdışı Malzemeler, Galvanizli Çelik
Bakır, Zirkonyum	Alüminyum
Gümüş, Tungsten	Soğuk Haddelenmiş Çelik (CRS)
Gümüş, Molibden	Sıcak Haddelenmiş Çelik (HRS)
Bakır, Tungsten, Karpit	Galvanizlenmiş Çelik
Bakır, Tungsten	Sıcak Haddelenmiş Çelik (HRS)

Temas uçları çeşitli standart boyutlarda temin edilebilir. Optimum büyüklük bir takım faktörlere bağlıdır. Küçük çaptaki ürünler için temas genişliğinin olabildiğince dar olması örnek olarak verilebilir. Bu, şerit kısmın arka tarafında akan akımı düzgün bir şekilde azaltır. Büyük çaplı ürünlerde ise daha fazla temas genişliği istenilir. Böylelikle birim basınç azaltılır. Uçlar dikdörtgen biçimde çapraz bölümlerle donatılır, böylece uçlar temas gövdesine yanlamasına veya yataylamasına sert lehimleme yapılabilir. Optimum uç uzunluğu aynı zamanda özel durumlara da bağlıdır.

Temas uçları yeniden değiştirilebilir, ancak bu değiştirme işlemleri için gerekli donanımın mevcut olması ve istenilen ölçü sınır değerleri içinde işlemin gerçekleştirilmesi gerekir. Bunun yanında tamir edilmesi de olanaklıdır. Tamir yerine ise değiştirilmesi genellikle önerilen durumdur. Temas elemanlarının sert lehimlenme işlemi için prosese uygun fikstürler mevcuttur.

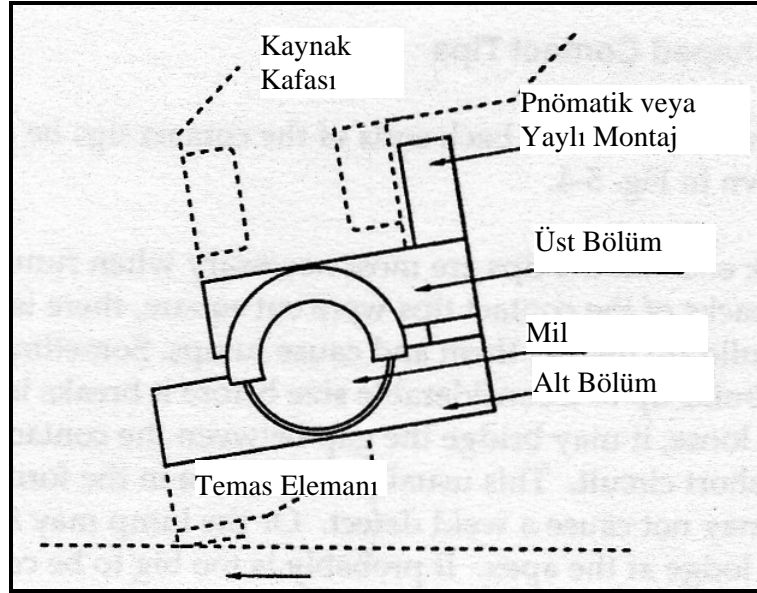
4.3.2.4 Kaynak Temas Elemanlarının Montajı ve Esnek Adaptörler

Kaynak temas elemanları genellikle esnek adaptörler üzerine monte edilirler. Adaptörler alt uç noktasından sabit şekilde cıvatalarla kaynak kafasına (kılavuzuna) bağlanır (Şekil 4.6). Esnek adaptörler, boru içindeki elektriksel temas kayıplarındaki düzensizliği azaltmada temas elemanlarına yardımcı olur. Aynı zamanda sabit temas basıncı sağlarlar.

Esnek adaptörlerin her iki tarafı da üç ana parçayı içerir:

- üst bölüm (sabit)
- mil
- alt bölüm (hareket edebilir)

Üst bölüm, direk olarak kaynak kılavuzunun altına cıvatalanmıştır. Soğutma sıvısının kılavuzdaki yolu bu bölümden geçen O-Ring bağlantılarıyla tamamlanır.



Şekil 4.6 Bir temas elemanının kaynak kafasına montajı (Nichols, 1994)

Mil, yüksek frekans akımının yüksek amper değerlerini taşıyabilmek için özel olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Genellikle gümüşten imal edilmektedir. Çoğu tasarımda milin ortasından geçen soğutucu bağlantısı mevcuttur. Bu akış boşluğu, adaptör arasındaki zararlı talaş artışını engellemek içindir.

Hareket edebilir alt bölüm, ön tarafta uç kısımdaki kaynak temas elemanlarına destek olur.

4.3.2.5 Esnek Adaptörler ve Temas Elemanlarının Dahili Soğutulması

Sabit üst bölüm, kaynak kılavuzundan akan su ile soğutulur. Hareket edebilir alt bölüm ise giriş ve çıkış hortum bağlantılarına sahiptir. Soğutma yolu, O-Ringlerden alt bölüme oradan da temas elemanlarına geçecek şekildedir. Esnek adaptörün alt bölümü ve temas elemanları için ılık akan suya oranla soğuk su tercih edilir. Bu da genellikle şebeke suyudur.

Akıtılmış suyun donanımın diğer parçalarında oluşabilecek yoğunlaşmasından kaçınmak için, su özellikle yoğunlaşma sıcaklığının üzerinde tutulur. Bu dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Bununla beraber akım yoğunluğu ve kayıp güç yoğunluğu temas elemanlarında çok fazladır. Yoğunlaşma temas elemanları üzerinde herhangi bir problem yaratmaz (temas elemanları harici bir şekilde soğutulabilir). Bazı tasarımlarda makine, kendi içindeki boşluklarla adaptörler arasından geçen soğutma sistemlerine sahiptir.

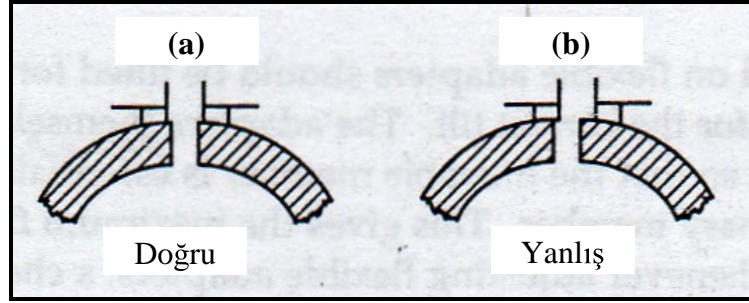
Harici soğutmada ise, makine soğutma sistemi kaynak kafasının belirli harici bölümlerine doğru püskürtme yapar. Bu özellikle temas elemanlarının uç kısımlarında etkili akışın

olmasından ötürü önem arz etmektedir. Bu ilave soğutma uç ömrünü olağanüstü bir şekilde artırır. Bu akışların yolu, direkt olarak, en az miktardaki soğutmanın kaynak “V” si üzerine gelmesi şeklinde olmalıdır.

4.3.2.6 Bant Köşelerinden Uzaklık

Temas elemanları uçları dikiş köşelerinden bir miktar geride olmalıdır (Şekil 4.7). Bu mesafenin en az çapı 50 mm’ ye kadar olan ürünlerde 0,4 mm, daha geniş boyutlar için 0.8 mm olması önerilir. Geniş borular için, temas elemanları uçlarının daha fazla ayrı olması amacıyla iç tarafı konik şekilde tasarlanır.

Temas elemanlarının köşenin üstüne binmesine kesinlikle müsaade edilmemesi gerekir. Bu, uç malzemedeki aşınmaya sebebiyet verebilir ve aşırı lokal ısınmalara neden olur. Kaynak olurken uçlar otomatik olarak profil gövdesine sürtünecektir. Köşelerle konumlanma ilişkisi düzgün bir şekilde sağlandığı zaman, uç kısımdaki yüzeyde izler ve oyuklar artmayacaktır.



Şekil 4.7 Temas elemanlarının yerleşim düzeni (Nichols, 1994)

4.3.2.7 Eğiklik Açısı

Yeni temas elemanları her zaman eğik olmalıdır, böylelikle uçların bitim noktasının ön kısmı, kaynak noktasında, malzemeye önce temas eder. Düz bir şekilde uzanmamalıdır. Eğer böyle olursa, elektrik akımı geçiş noktası geriye sapar ve uç malzemesi boyunca ileri gider.

Eğikliğin bir diğer nedeni de, uçların arka bitiş noktasındaki tortu ve yabancı madde oluşumunun azaltılmasına olan yardımıdır. Çoğu küçük partikül “V” dikişinden zararsızca gidecektir. Ancak bazı küçük partiküller düz temas elemanları tarafından tutulursa bunlar geniş yığınların oluşmasına neden olur. Bu yığın çok genişleyebilir ve temas elemanları ile boşluk arasında bir köprü oluşturarak kısa sürede hasara neden olabilir. Bu partiküller, aynı zamanda kırılmaya sebebiyet vererek kaynak “V” si içine düşer ve kaynağa ilave olur.

4.3.2.8 Temas Elemanları Ömrünü ve Profil Kalitesini Etkileyen Faktörler

Temas elemanları ömrünün belirlenmesinde elektriksel etmenler mekanik dayanıklılıktan daha önemlidir. Genellikle, elektrik akım mekanizmasının iki kayan yüzey arasındaki geçişi, bir dizi küçük arklarla olur. Bu arklardan kaynaklanan elektriksel aşınma genellikle temas elemanları ömrünün sınırlarını belirler. Temas elemanları uç ömrünü uzatmak üzere alınmış olan önlemler, bu arkın minimuma düşürülmesini amaçlamaktadır. Temas elemanları uç noktası ile malzeme arasındaki arkın şiddeti şunlara bağlıdır:

- a. temas akım büyüklüğü
- b. temas basıncı
- c. yüzey pürüzsüzlüğü
- d. temas sıcaklığı

Temas akım büyüklüğü için, temas elemanları kaynak “V” si için gerekli olan miktardaki akımı taşımalıdır. Bu ürün boyutu, malzemesi ve kaynak hızı ile ilgilidir. Ürün çevresindeki gereksiz akım akışı gibi her şey akımın azalmasına neden olabilir. Bunun anlamı önerildiği şekilde impeder kullanılmasına gelir, dikiş yeri hazırlanmalı ve temas elemanları uygun bir biçimde yerleştirilmelidir. Temas elemanları ömrünün önerilen şekilde impeder donatımı ve kullanımı ile basit bir şekilde iki katına çıktığını gösteren örnekler mevcuttur.

Temas basıncı, profille fiziksel temas kayıplarının önüne geçecek elverişlilikte olmalıdır. Büyük bir sıklıkla, tecrübesiz operatörler basıncı çok aza ayarlayacaktır, bunun nedeni mekanik sürtünmeyi azaltmak olacaktır. Mekanik sürtünme genellikle problem teşkil etmez.

Yüzey pürüzsüzlüğü temas basıncı ile ortak hareket eder. Genellikle, sıcak haddelenmiş çeliklerde olduğu gibi pürüzlü yüzeylerde, soğuk haddelenmiş çeliklerdeki pürüzsüz yüzeylerde olduğuna göre daha fazla temas basıncına ihtiyaç duyulur. Banttaki kırışıklık ve çıkıntılar, temas elemanları ömrünü aleyhte etkiler. Bunlar fiziksel temasta, gerçek temas noktasından geriye ve dışarı sapmalar gibi geçici zararlara neden olurlar. Temas elemanları uçlarının yüzeyi de önemlidir. Yüzey uç kısmın periyodik olarak denetlenmesine ve çukur, pürüzlü yerlerin uzaklaştırılmasına yardımcı olur.

Temas sıcaklığının temas elemanları üzerinde direkt olarak etkisi vardır. Soğuk su (genellikle şebeke suyu) dahili temas soğutma sistemi için kullanılmalıdır. Harici soğutma sistemi fışkırtma ile direk olarak uç kısımlarda etkili olur. Bu fışkırtma “V” alanı içine direkt olarak, mümkün olan minimum miktarda etkiyi göstermelidir. Yani fışkırtma sonucu “V” bölgesi etkileniyor olmamalıdır (Nichols, 1994).

4.3.3 Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynağı

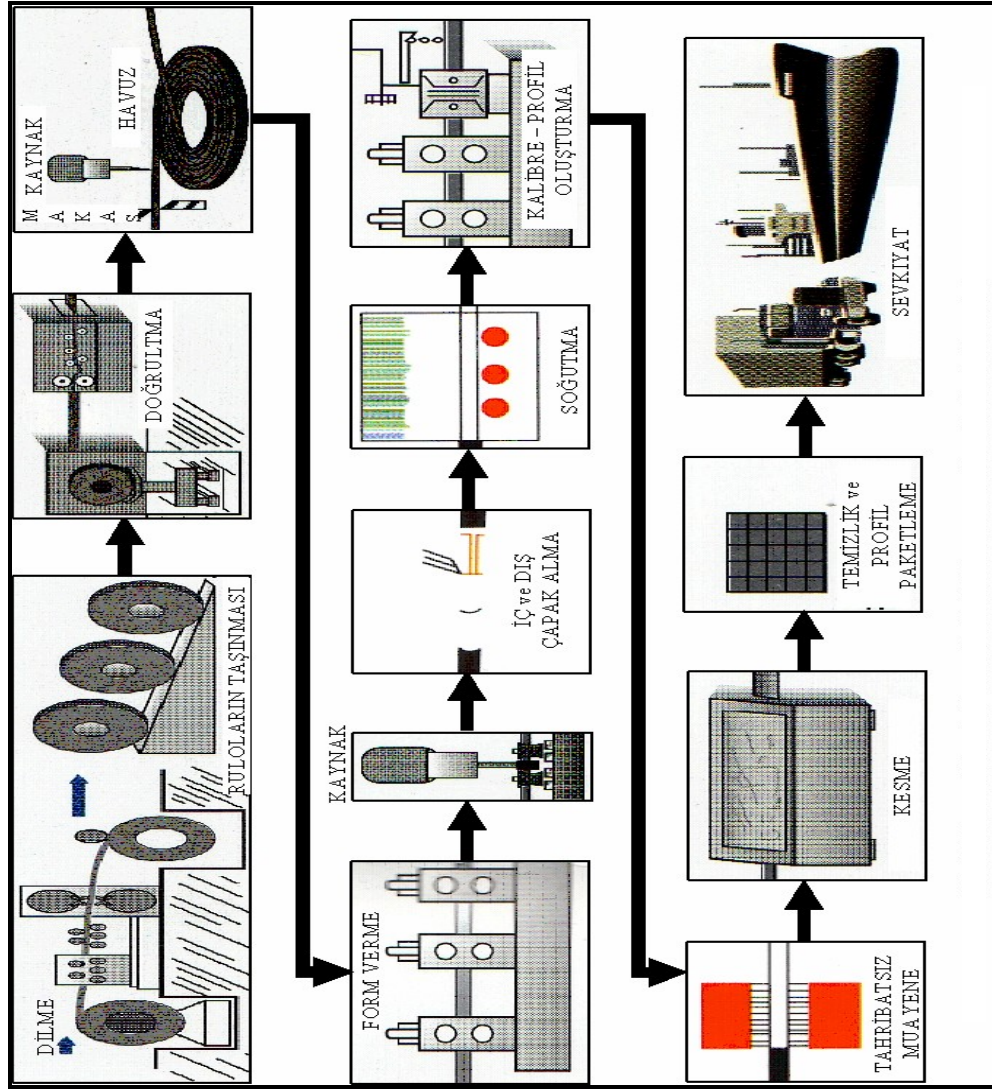
Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağında, kaynak akımı kaynak noktasının önündeki bir indüksiyon bobininden malzemeye doğru gönderilir. İndüksiyon bobini açık haldeki kaynaklanmamış boru şeklindeki yapıya temas etmez ve elektrik akımı bu yapı etrafında bir manyetik alan oluşturur. Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı, temas izini ortadan kaldırır ve boru boyutları değiştiği zaman ortaya çıkacak ayar gereksinimlerini en aza indirir. Aynı zamanda temas kaynağına oranla daha az bakım gerektirir. Bugün boyuna kaynaklı boru ve borudan profil üretme yöntemlerinin % 90'ında yüksek frekans indüksiyon kaynağının kullanıldığı bilinmektedir.

Üretilecek olan profilin et kalınlığında olan sıcak veya soğuk haddelenmiş bantlardan yüksek frekans kaynağı ile profil oluşturmak için, bant dilinir, daha sonra dilinmiş bant yüzeysel haddeleme işlemine tabi tutulur, bantların uç kısımları makasla kesilerek ark kaynağı ile birleştirilip bantın sürekli akış için sarıldığı akümülatör olarak adlandırılan şarj-deşarj havuzuna gelir, form verme işleminden sonra kaynak edilir, daha sonra eğer gerekliyse iç çapak, gerekmiyorsa sadece dış çapak alınır, soğutma işleminden sonra kalibrasyon kademesinde uygun ölçülere getirilir. Bu aşamaya kadar ara ürün olan dikişli boru üretimi tamamlanmıştır. Bundan sonra profil için ara ürün olan boru Türk kafalarında profil hale getirilir, kesme işleminden sonra, üründeki bor yağı, çapak gibi maddeler temizlenerek paketleme işlemi yapılır ve sevk edilir (Şekil 4.8).

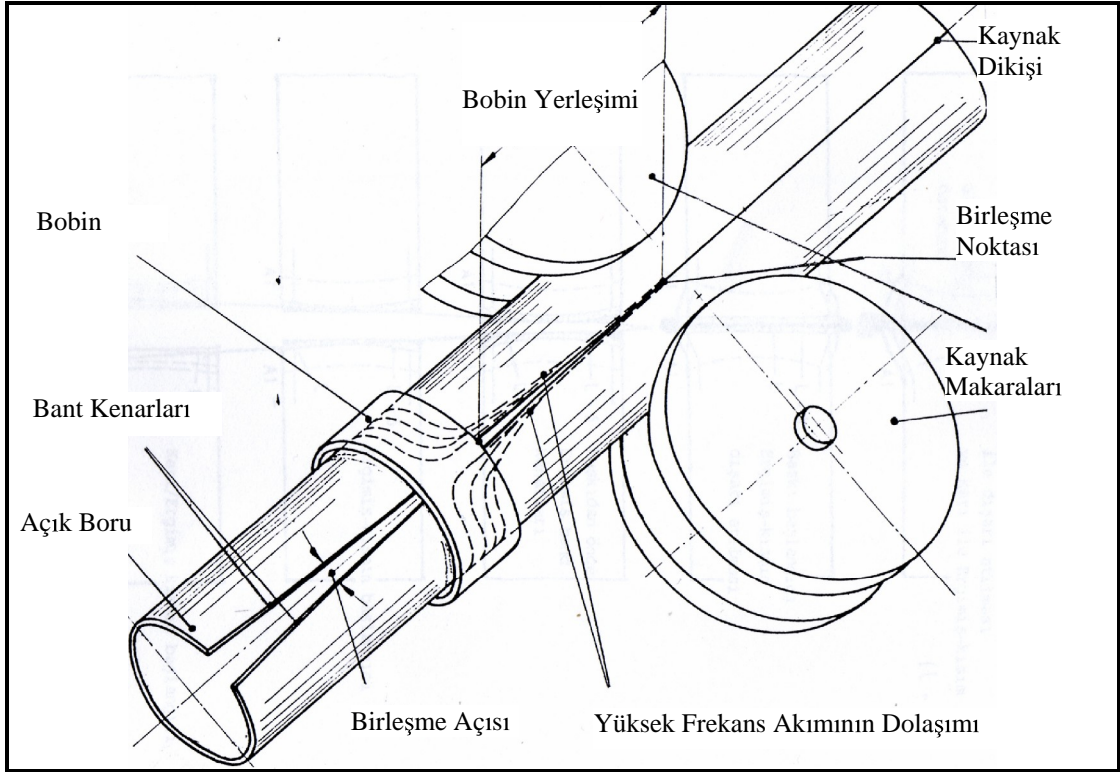
Sıcak haddelenmiş bantların kullanılması durumunda, malzeme yüzeyi oksit tabakasından arındırılmalıdır. Dekapaj olarak da isimlendirilen bu yüzey temizleme işlemi seyreltik sülfürik asit ile yapılır. Soğuk haddelenmiş bantlar ise, yüzeylerinde bulunan yağı ve kiri uzaklaştırmak amacı ile alkali çözeltilerinden geçirilir. Dilme işlemi, dilme makinesinde takım çeliklerinden yapılmış disk biçimindeki bıçaklar vasıtası ile yapılır. Kesintisiz üretimi sağlamak amacı ile, dilinmiş olan bu rulolar hat üzerinde birbirine kaynak edilerek eklenir. Malzeme kalınlığında azalma yaratmadan yapılan yüzeysel haddelemedeki amaç ise yüzey pürüzlülüğünü gidermek ve ürüne parlak bir görünüş kazandırmaktır.

Form verme işlemi, bantı kıvrılarak boru şeklini sağlayan form verme makaraları ile gerçekleştirilir. Kaynak noktasının hemen önüne yerleştirilen bir indüksiyon bobini vasıtası ile, form verme grubundaki bantın kıvrılması ile oluşturulan açık boruya yüksek frekanslı alternatif akım indüklenir (Şekil 4.9). Bobin, içinden geçen boruya temas etmez. Burada bobin, primer yüksek frekans transformatörü, açık boru ise sekonder yüksek frekans transformatörü gibi davranır. Yüksek frekans akımı, birleşme noktası civarındaki bant

kenarlarında ve birleşme noktasında yoğunlaşarak bu bölgelerde hızlı bir ısınma meydana getirir. Dolayısıyla, bu bölgelerde kaynak için gerekli olan sıcaklık değerine (malzeme ergime sıcaklığı) ulaşılır. Bunun hemen sonrasında, kaynak baskı makaraları ile ergitilmiş bant kenarlarına basınç uygulanarak kaynak oluşturulur. Diğer bir deyişle, kaynak işlemi, basınç ve sıcaklık etkisi ile herhangi bir katkı maddesi olmaksızın gerçekleştirilir. Kaynak sırasında uygulanan basınç etkisi ile boru iç ve dış yüzeyinde oluşan çapaklar temizlenir. Çapak alma sonrası soğutma işlemine tabi tutulan borular daha sonra boyutlandırılmak üzere kalibrasyon haddesinden geçilerek istenilen çap ölçüsüne getirilir. Bu aşamadan sonra ise Türk kafalarından geçirilen boru profil şeklini alır. Türk kafaları şekline bağlı olarak, kare, dikdörtgen, elips, oval veya özel şekilli profiller elde edilebilir. Daha sonra ise kesme işlemi ile istenilen uzunluklar elde edilir. Kesme hareketli mengeneye sahip uçur kafalı testere ile yapılabileceği gibi, yeni teknolojide kesme kalıbı set donanımları ile de yapılır (Şirin, 1997).

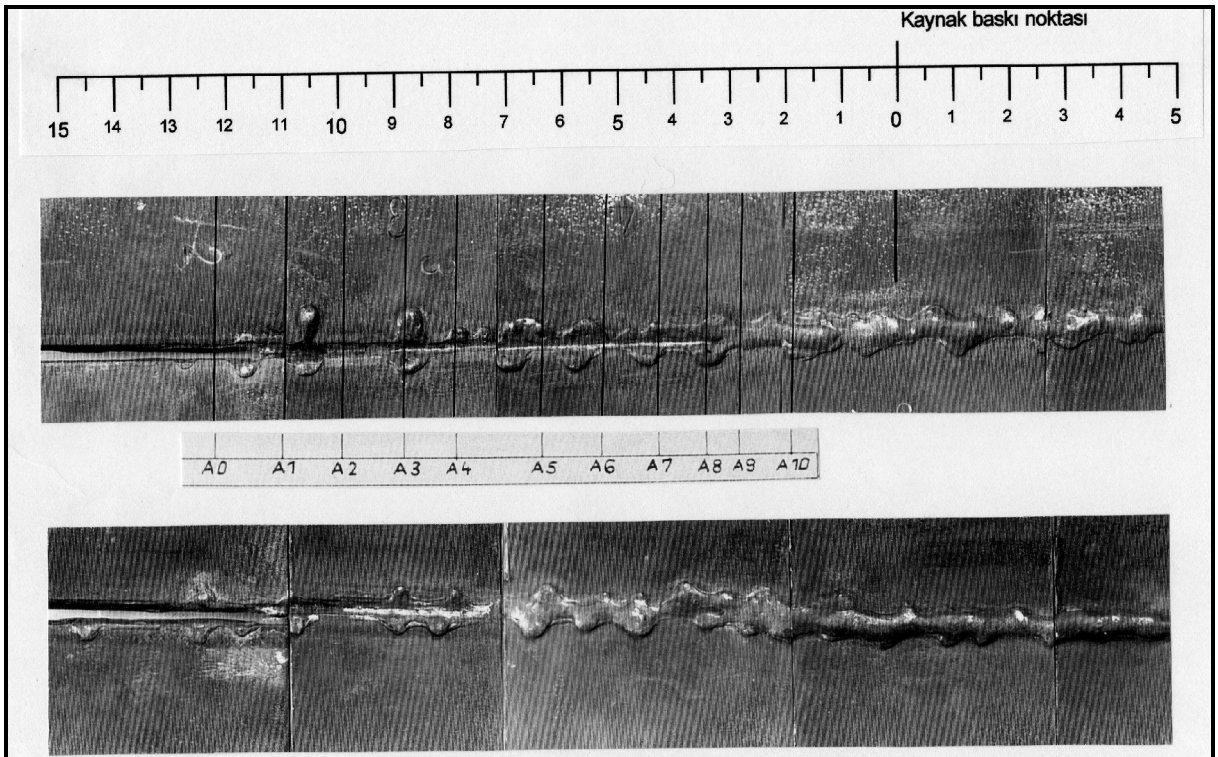


Şekil 4.8 Yüksek frekans yöntemiyle profil oluşturma yönteminin şematik gösterimi

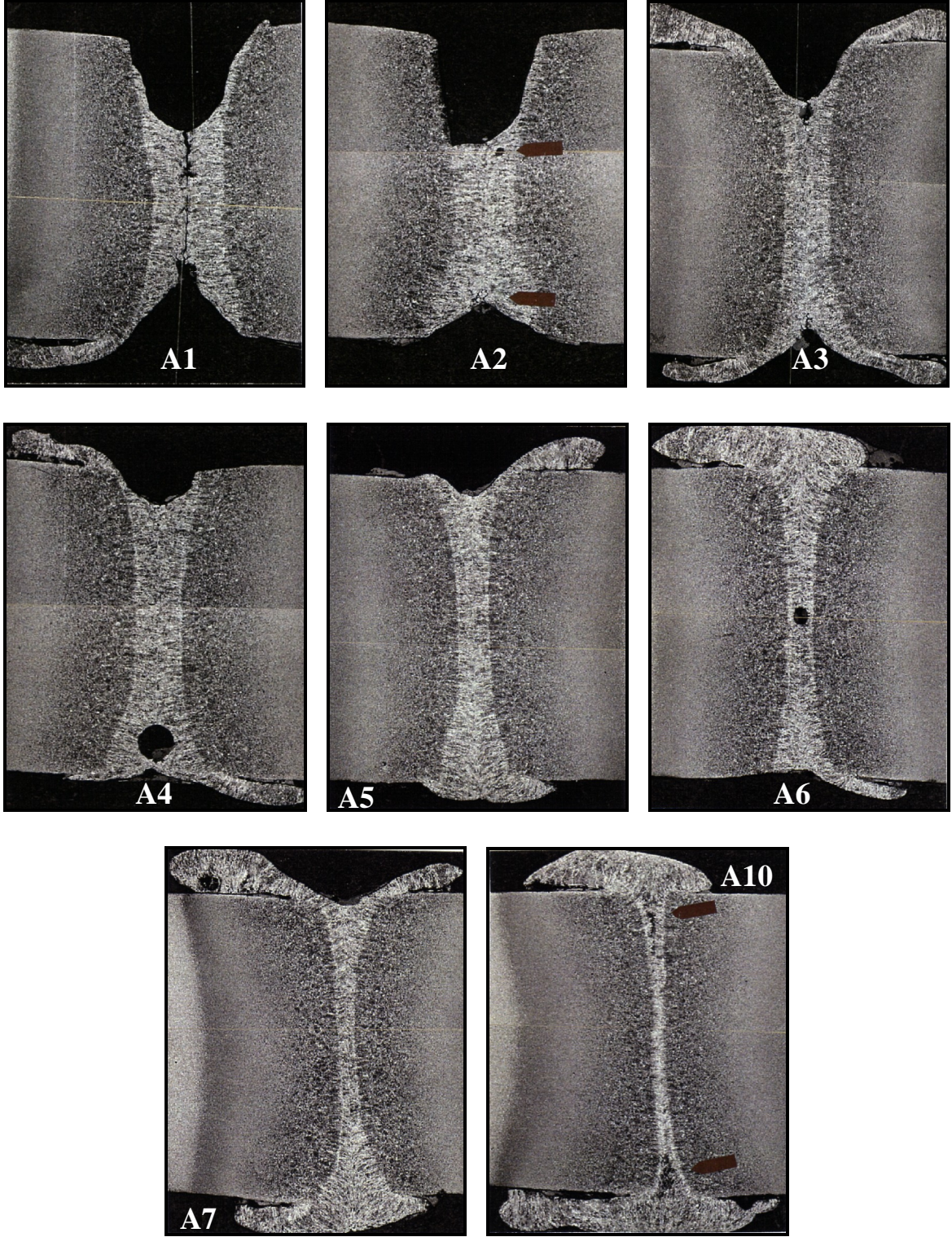


Şekil 4.9 Yüksek frekans kaynağında kaynak bölümünün şematik gösterimi (Şirin, 1997)

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de ise bant kenarlarının ergimesi ve kaynak oluşumu görülmektedir.



Şekil 4.10 Bant kenarlarının birleşmesi ve kaynak dikişinin oluşumu (Şirin, 1997)



Şekil 4.11 Bant kenarlarının ergimesi ve birleşmesinin Şekil 4.10' daki şekle bağlı olarak kesit görünüşleri (Şirin, 1997)

5. YÜKSEK FREKANS İNDÜKSİYON KAYNAĞINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Yüksek frekans indüksiyon kaynağını etkileyen parametreleri 3 ana grup altında toplayabiliriz. Bunlar ısı girdisini etkileyen parametreler, kaynak geometrisini etkileyen parametreler ve kaynak sıkıştırma miktarını etkileyen parametrelerdir. Bu bölümde bu parametrelerin ayrıntılı olarak incelenmesi ele alınacaktır.

5.1 Isı Girdisi

Isı iletim teorisine göre yapılan hesaplama yolu ile, ısı girdisini kaynak şartlarının bir fonksiyonu olarak Denklem 5.1’ de gösterildiği gibi ifade etmek mümkündür. Teorik olarak çıkartılan bu formül deneysel olarak da ispatlanmıştır.

$$Q = K_Q \cdot E_p \cdot I_p \cdot V_K^{-0.6} \cdot I_L^{-0.55} \cdot \theta_B^{-0.15} \cdot t_B^{-0.85} \quad (4.1)$$

Q: ısı girdisi

t_B: bant kalınlığı

I_L: indüktör ile birleşme noktası arasındaki mesafe

θ_B: birleşme açısı

V_K: kaynak hızı

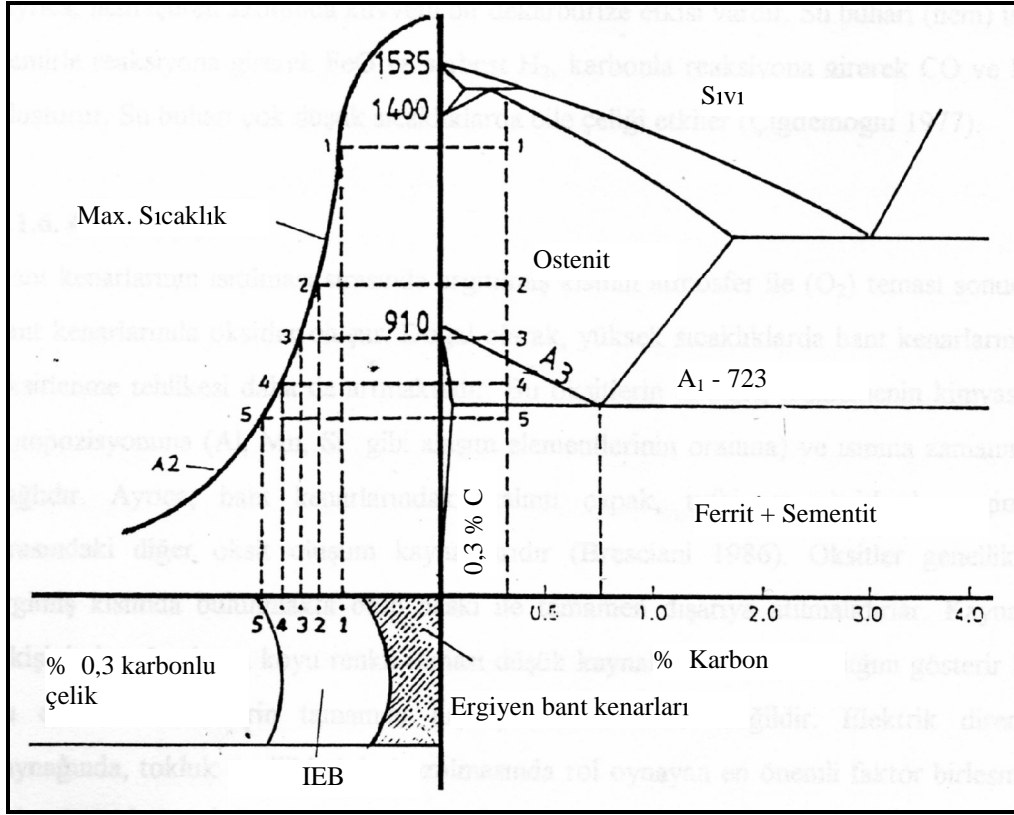
K_Q: sabit

E_p ve I_p: osilatör tüpü anot voltajı ve akımını ifade etmektedir.

5.1.1 Isıdan Etkilenen Bölge (IEB)

Bant kenarlarının ısıtılması sırasında, ergimiş kısımdan soğuk metale doğru olan ısı akışı, ergiyen kısma komşu bölgelerde önemli bir sıcaklık artışına neden olmaktadır. Malzemenin sıcaklık artışından etkilenerek mikroyapı dönüşümüne uğrayan kısmına “Isıdan Etkilenen Bölge (IEB)” denir. Bu bölge ergimenin olduğu bant kenarlarından başlayarak faz dönüşümünün olacağı en düşük sıcaklığa (çeliklerde A₁ sıcaklığı) kadar ısınan yerde sona erer. IEB genişliği elektrik direnç kaynağında akım frekansı azaldıkça artmaktadır. % 0,3 C içeren alaşımsız bir çelikte IEB içinde gerçekleşen mikroyapısal dönüşümleri Şekil 5.1’deki sıcaklık profiline göre FE-C denge diyagramı yardımı ile açıklamak mümkündür. Buna göre, 1. konumda sıcaklığın 1300 °C’ yi aşması nedeni ile östenit taneleri çok fazla irileşir. Sıcaklığın 990 °C mertebesinde olduğu 2. konumda, sıcaklık östenit dönüşüm sıcaklığının üstündedir ve yapıda çok küçük taneli östenit fazı mevcuttur. 4. konumda ise, sıcaklık 760 °C

mertebesinde olup mikroyapı kısmen ostenite dönüşür. 5. konum sıcaklığının A_1 sıcaklığının altında olması nedeni ile IEB dışındadır. Kaynak ısısı nedeni ile yüksek sıcaklıklara kadar ısınan ve östenite dönüşen IEB' de kaynak sonrası soğuma hızına bağlı olarak martenzit fazı oluşabilir.



Şekil 5.1 Isıdan etkilenen bölgedeki mikroyapısal değişimler (% 0,3 C' lu çelik için)
(Şirin, 1997)

Genel olarak ısıdan etkilenen bölge genişliğini, dış yüzeyde kaynak bobini ve iç yüzeyde impeder belirler. Eğer, kaynak bobini ve impederin her ikisi de kaynak noktasından geriye çekilirse (uzaklaştırılırsa) iç ve dışta daha geniş bir IEB elde edilir. Bu durumda, aynı kaynak hızını muhafaza edebilmek için daha fazla güç harcanır ve dolayısıyla ısıtılan malzeme miktarı artar. Bu ise IEB' nin genişlemesine neden olur ki böylesi bir durumda baskı miktarı arttırılmalıdır.

5.1.2 İndüksiyon Kaynak Bobini

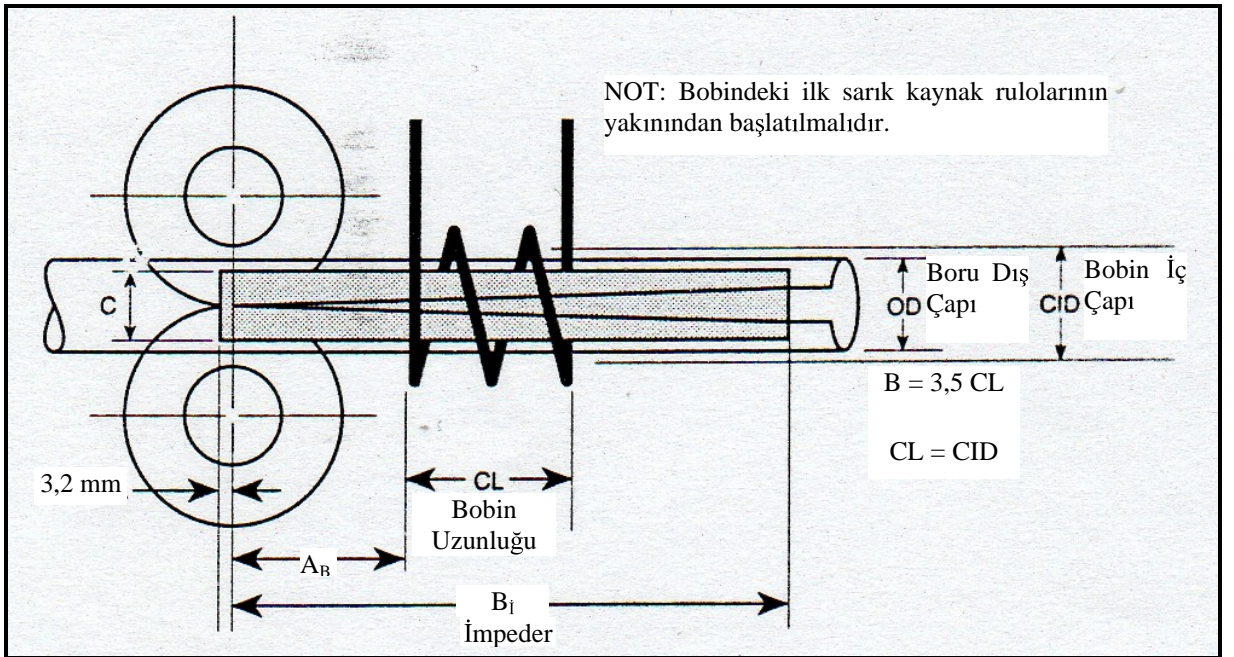
En basit kaynak bobini tipi bakırdan yapılan üç sarımlı bobindir. Bobin tasarımında göz önüne alınan parametreler, bakır boru boyutları, bobin iç çapı ile boru arasındaki raydal açıklık, yalıtım ile soğutma ve bobin sarımları arasındaki açıklık ile toplam açıklık olarak

sayılabilir. İçinden geçen akımın artması ile bakır boru çapı artar. Buna göre, akım 100 kW değerinden az ise bakır boru çapı 6,35 mm iken, 100 ile 300 kW arasındaki akımlar için 9,50 mm, 300 kW'tan büyük akımlar için 12,7 mm çapında bakır boru kullanılır.

Kaynak bobinleri, kaynak için belirli bir ısıtmanın üzerinde maksimum elektriksel verimle çalışacak çeşitli objelerden tasarlanırlar. Taşınması gereken özellikler şu şekilde özetlenebilir;

- engebesiz (pürüzsüz) olması
- donanımın kolay olması
- ayarlanmasının kolay olması
- boru-profil makinesine kolay montaj olması
- gerçek endüktif birleşmeyi sağlaması

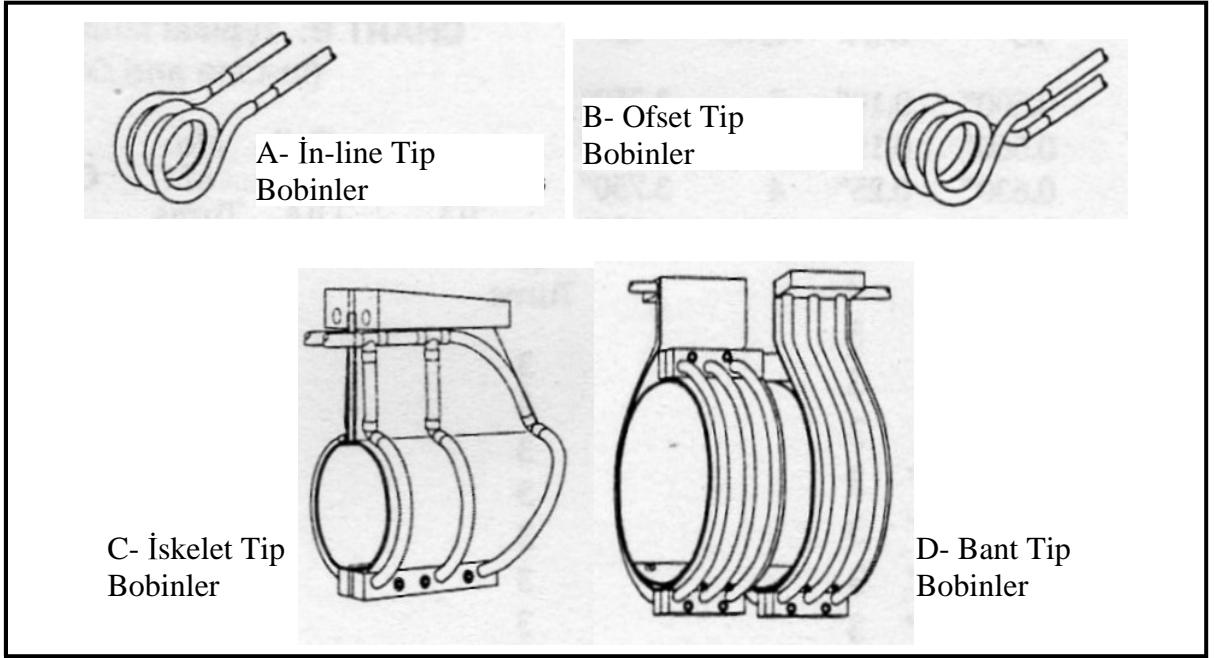
Maksimum verim için, endüksiyon bobinleri uygun bir biçimde seçilmelidir. A_B ölçüsü makinenin ve kaynak makaralarının tasarımına bağlıdır, ve olabildiğince küçük tutulmalıdır, tercihen boru çapı (OD) yi geçmemelidir. Bobin iç çapı (CID) ve bobin uzunluğu (CL) birbirine eşit olmalıdır ve bobin iç çapı boru dış çapından (OD) yaklaşık olarak % 20 daha büyük olmalıdır, ancak bu radyal açıklık 25 mm' yi geçmemelidir. İmpeder uzunluğu (B ölçüsü) bobin uzunluğunun 3-3,5 katı kadar olmalıdır. İmpederin ucu ise kaynak noktasını 3,2 mm kadar geçmelidir. Bu konumlama, akımın kaynak noktasında en üst seviyede yoğunlaşmasını sağlar (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Kaynak bobini, impeder, kaynak makaraları ve borunun tezgahdaki konumu (Nichols, 1994)

5.1.2.1 İndüksiyon Kaynak Bobin Tipleri

İndüksiyon kaynak bobinleri genellikle 4 şekilde olabilir: İn-line, ofset, iskelet ve bant (Şekil 5.3). İn-line tip bobinler, bir çizgi boyunca uzanır ve sonunda döner. Ofset tip bobinler, iki ucu da bir çizgi boyunca uzanır ve sonunda döner. İskelet tip bobinler geniş çaptaki boru ve profil üretimi için bobin uzunluğunu arttıracak şekilde tasarlanmıştır. Sökülebilir konstrüksiyon, bobindeki değişikliklere yardım eder. Bant tipi bobinler birkaç dönüş ile bobin uzunluğunu arttırmayı başarırlar. İn-line tip bobinler 12,5 mm çap değerindeki, ofset tip bobinler ise 10 mm çap değerindeki bakır borulardan üretilebilirler. İskelet ve bantlı tip bobinler ise geniş ebattaki boru ve profiller için 2 veya daha çok bobine ihtiyaç duyulduğu zamanda kullanılan tiplerdir. Bu tip bobinler, gerekli olan daha fazla bobin uzunluğunu (CL) elde etmeye müsaade eder. Bununla beraber sökülebilir konstrüksiyon ile makineye tekrar takılmadan bobin değişikliklerine müsaade eder.



Şekil 5.3 Yüksek frekans kaynağında en çok kullanılan bobin tipleri (Nichols, 1994)

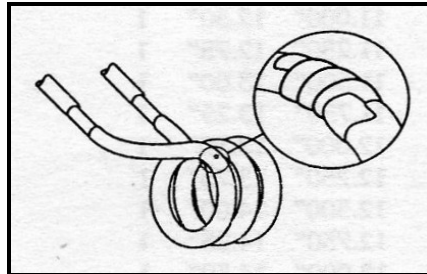
Boru makinesine montajı sırasında çarparak hasarlanmasından kaçınılmasında, talaş, gres ve pislik yığılmasından korunmasında, uygun soğutma ile soğutulması ile bobin kullanım ömrü uzatılır. Aksi takdirde kullanım ömrü beklenenden az olur. Çizelge 5.1’de in line ve ofset tip bobinler için, bobin iç çapına bağlı olarak bobin boru çapı ve sarım sayısı gösterilmiştir. Değerler uygulamada en çok kullanılan ölçülerdir.

5.1.2.2 İndüksiyon Kaynak Bobini Onarım Bantları

Bobin bantı indüksiyon bobininin yalıtımının tamiri için idealdir. Bant silikon malzemeden yapılıdır ve yapışkan değildir, kullanımını kolaydır, 260 °C' lik sıcaklığa kadar özelliğini korur. Şekil 5.4' te bobin onarım bantının bobin üzerindeki konumu gösterilmiştir. Çarpma ile hasarlanan bobinler bu bantın yapıştırılması ile eski halindeki çalışma özelliğine kavuşması sağlanır.

Çizelge 5.1 Tipik çoklu sarımlı bobin tasarımları (in-line ve ofset tipler) (Nichols, 1994)

Bobin İç Çapı (mm)	Bobin Boru Çapı (mm)	Dönüş (sarım) Sayısı	Bobin İç Çapı (mm)	Bobin Boru Çapı (mm)	Dönüş (sarım) Sayısı
12,7	4,8	5	82,5	9,65	3
14,2	4,8	5	88,9	9,65	3
16,0	6,35	4	95,2	9,65	3
17,5	6,35	4	101,6	9,65	3
19,0	6,35	4	107,9	9,65	3
20,5	6,35	4	114,3	9,65	3
22,3	6,35	4	120,6	9,65	3
23,8	6,35	4	127	12,7	3
25,4	6,35	4	133,3	12,7	3
28,7	7,8	3	139,7	12,7	3
31,75	7,8	3	146,0	12,7	3
35,0	7,8	3	152,4	12,7	3
38,1	9,65	3	158,7	2 x 12,7	3
41,4	9,65	3	165,1	2 x 12,7	3
44,4	9,65	3	171,4	2 x 12,7	3
47,7	9,65	3	177,8	2 x 12,7	3
50,8	9,65	3	184,1	2 x 12,7	3
54,1	9,65	3	190,5	2 x 12,7	3
57,1	9,65	3	196,8	2 x 12,7	3
60,4	9,65	3	203,2	2 x 12,7	3
63,5	9,65	3	209,5	2 x 12,7	3
66,8	9,65	3	215,9	2 x 12,7	3
69,8	9,65	3	222,2	2 x 12,7	3
73,1	9,65	3	228,6	2 x 12,7	3
76,2	9,65	3	234,9	2 x 12,7	3



Şekil 5.4 Bobin onarımında kullanılan bobin bantları (Nichols, 1994)

Çizelge 5.2’ de bant tipindeki bobinlerin, Çizelge 5.3’ te ise iskelet tipindeki bobinlerin en sık kullanılan biçimlerinin ölçüsel değerleri ve sarım sayısı verilmiştir.

Çizelge 5.2 En sık kullanılan bant şeklindeki bobin ölçüleri (sökülebilir konstrüksiyon)
(Nichols, 1994)

Profil Dış Çapı (OD) (mm)	Bobin İç Çapı (ID) (mm)	Dönüş Sayısı
139,7	193,6	2
168,2	222,2	2
193,6	273,0	2
273,0	333,3	2
323,8	384,1	2

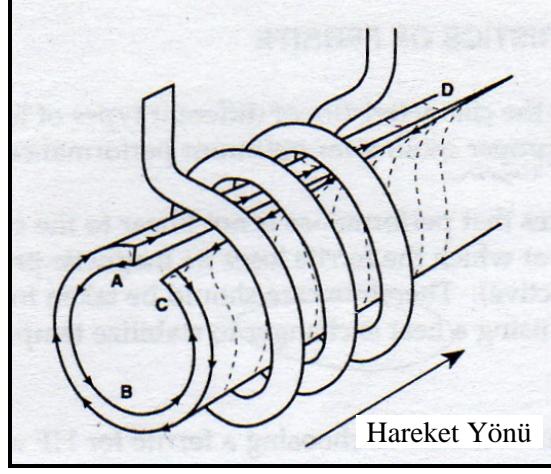
Çizelge 5.3 En sık kullanılan iskelet şeklindeki bobin ölçüleri (sökülebilir konstrüksiyon)
(Nichols, 1994)

Profil Dış Çapı (OD) (mm)	Bobin İç Çapı (ID) (mm)	Dönüş Sayısı	Profil Dış Çapı (OD) (mm)	Bobin İç Çapı (ID) (mm)	Dönüş Sayısı
165,1	203,2	1	254,0	292,1	1
171,4	209,5	1	260,3	298,4	1
177,8	215,9	1	266,7	304,8	1
184,1	222,2	1	273,0	311,1	1
190,5	228,6	1	279,4	317,5	1
196,8	234,9	1	285,7	323,8	1
203,2	241,3	1	292,1	330,2	1
215,9	254,0	1	298,4	336,5	1
222,2	260,3	1	304,8	342,9	1
228,6	266,7	1	311,1	349,2	1
234,9	273,0	1	317,5	355,6	1
241,3	279,4	1	323,8	361,9	1
247,6	285,7	1	330,2	368,3	1

5.1.3 İmpeder

İmpeder, belirli bir kütledeki ferriti içine alan bir veya iki ucunda soğutma akışkanı bağlantı elemanları bulunan bir ekipmandır. İndüksiyon kaynağında, kaynak bobininden kaynaklanan yüksek frekans manyetik alanı borunun açık dikiş yerlerinin dış yüzeyinde bir alternatif akıma neden olur. Akım iki paralel yoldan birini alır; “V” bölgesinde (ADC) veya boru iç yüzeyinde (ABC) hattı bu yollardır (Şekil 5.5). Yüksek frekans kaynağında temel amaç, mümkün olduğunca çok miktardaki akımı, kaynağı olacak dikiş köşeleri (ADC) boyunca geçirmektir. Bir miktar akım, iç yüzeyden akma eğilimindedir, bu kaynak noktasındaki sıcaklığı azaltır. İmpeder, iç çaptaki (ABC) yolundaki empedansın artırılmasında ve kaynak prosesi için mevcut olması gereken sıcaklığın maksimize edilmesini sağlamada, akımın dikiş köşeleri boyunca akışını oluşturacak (ADC) yolunu izlemesinde kullanılır. Daha büyük bir empedans kaynak operasyonunun oluşmasında verimi artırır. Üretime sağladığı niceliksel ve niteliksel

katkılardan dolayı, impederin yüksek frekans kaynağındaki önemi çok büyüktür. Boru çapı azaldıkça impederin önemi daha da artmaktadır. Bir kaynak jeneratörünün % 65 dolaylarında olan elektriksel verimliliği, impeder zafiyeti ile % 35'lere kadar düşebilmektedir.



Şekil 5.5 Yüksek frekans kaynağında akımın izlediği yol (Nichols, 1994)

Ferrit malzemesinin profil içerisine doğru bir şekilde yerleştirilmesi verim performansında çok önemli bir faktördür. İmpederin boru içerisindeki konumu, özellikle de yatay konumu impeder performansını etkileyen bir faktördür. Çoğu işletmelerde, impeder açık boru tabanına yakın olarak konumlandırılır, ancak bu konum impederin en etkisiz kaldığı pozisyonlardan biridir. İmpeder mümkün olduğunca bant kenarlarına yakın olmalıdır. Fakat bu durumda da, impederin ergimiş metal akıntılarında dolayı hasarlanma riski yüksektir. İdeal olanı, impeder üst noktası ile açık boru arasında bant kalınlığı kadar bir mesafe bırakılmasıdır. Şekil 5.2' de (sf.32) impederin boru tezgahındaki konumu gösterilmektedir. Ferrit bitimi kaynak rulolarının merkezini 3,2 mm geçmiş olmalıdır. Bu pozisyon, impederin, kaynak bölgesi üzerinde gerekli olan enerjinin sağlanması için akımın odaklanması kabiliyetini geliştirir. İmpeder, temas elemanları veya kaynak bobinini geçerek, akımın geri dönüş uzaklığına eşit mesafede uzanmalıdır.

Maksimum verimlilik için impeder çapı mümkün olduğunca geniş tutulmalıdır. Fakat pratikte bu genişlik boru dış çapının % 75'i ile sınırlıdır. Genellikle geniş çaptaki ferrit daha yüksek kaynak hızlarında kullanılır.

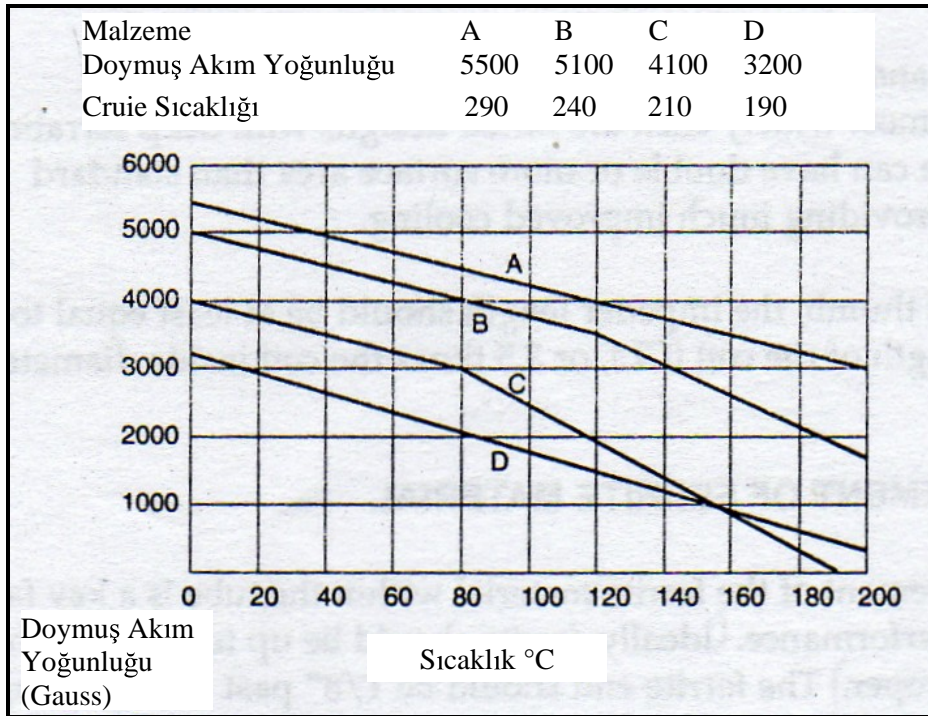
İmpeder kömürü olarak, manyetik akı yoğunluğu 3000 – 3500 gauss ve cruie noktası sıcaklığı 180 °C olan ferrit kullanılmalı ve kömür metalik olmayan bir malzeme ile (tercihan fiberglass) muhafaza altına alınmalıdır. Curie noktası, ferritin manyetik özelliklerini kaybedip etkisiz hale geldiği sıcaklık değeridir.

5.1.3.1 Ferritin Karakteristikleri

Yüksek frekans kaynağı için bir ferrit seçerken en önemli karakteristikler:

- yüksek manyetik akı yoğunluk doygunluğu
- yüksek cruie sıcaklığı
- çalışma sıcaklığı aralığının maksimum dengede tutulması
- operasyon frekansındaki dağıtma faktörü' dür.

Genel olarak, sert ve yumuşak olmak üzere iki tip ferrit vardır. Buradaki sert ve yumuşak kavramları fiziksel sertliği değil, ferritin miktarıslanabilme özelliğini ifade etmektedir. Yumuşak ferritler çok az bir oranda kalıcı manyetikliğe sahip olup, impeder kömürü olarak kullanılabilirler. Tüm ferritler Fe, Mn, Ni, Cr, Zn ve O iyonlarından oluşan seramik kristal yapıya sahip olup, metal karışımı veya alaşım içermezler. Fiziksel olarak sert, yoğun ve kırılğan olup elmas ile işlenebilirler. Yüksek frekans kaynağı 1950' li yıllarda gelişmeye başladığı zaman, ferrit çubuklar sadece Q kitle (nikel çinko) malzeme şeklinde bulunuyordu. Daha sonra teknolojinin gelişmesi H kitlelerin (manganez çinko) malzemelerin kullanımına liderlik etti. Manganez çinko (Mn-Zn) bazlı ferritler nikel çinko (Ni-Zn) bazlı ferritlere kıyasla, daha yüksek bir Cruie noktası sıcaklığına ve düzgün bir sıcaklık-geçirgenlik karakteristiğine sahiptir.



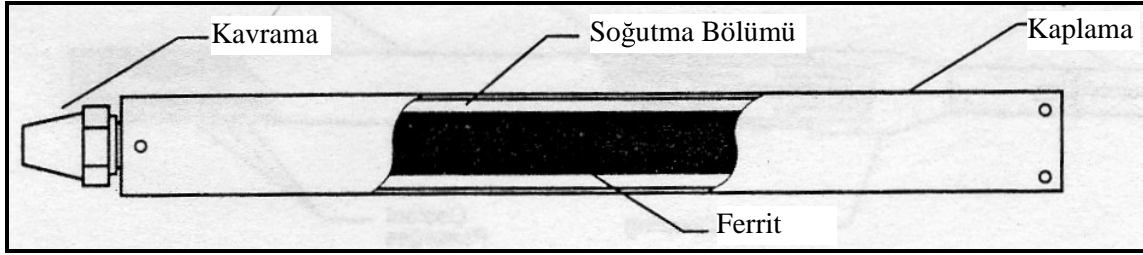
Şekil 5.6 Farklı yapıdaki ferritlerin manyetik akı yoğunluğu ile sıcaklık arasındaki ilişki grafiği (Nichols, 1994)

Şekil 5.6' da farklı tipteki ferrit malzemelerine ait manyetik akı yoğunluğu ile sıcaklık

arasındaki ilişkileri verilmiştir. Şekilden görülebilen en önemli kanı, ferritin manyetik özelliğini yitirdiği ve etkisizleştiği sıcaklık olan curie noktasına kadar ferrit performansının lineer olmamasıdır.

5.1.3.2 İmpeder Çeşitleri

Şekil 5.7’ de basit bir impederin yapısı gözükmemektedir.



Şekil 5.7 Basit özellikteki bir impederin görünümü (Nichols, 1994)

5.1.3.2.1 İçinden Akış Geçen İmpeder

İçinden akış geçen impeder, soğutma sıvısının girişine müsaade etmelidir. Soğutma sıvısı ferrit ile koruyucu kaplama arasında akar, ferrit soğutulur ve soğutma sıvısı ferrit bitiminde çıkar. Bazı durumlarda koruyucu kaplamaya bir kılıf ilave edilerek kaynak alanı bölgesinde köpürme hasarlarına karşı ekstra koruma sağlanır. Tipik koruyucu kaplama malzemeleri şu şekilde özetlenebilir :

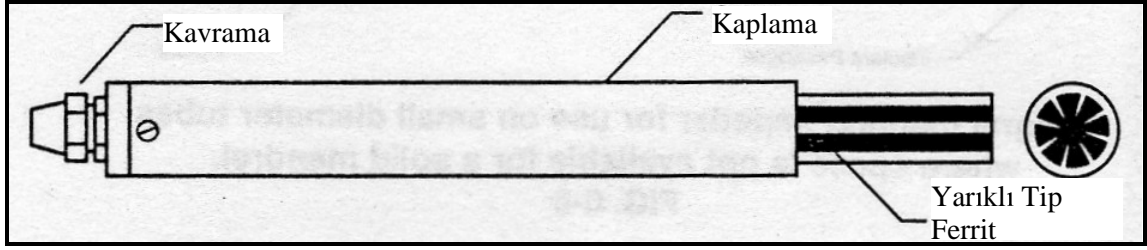
- Epoksi/ Fiberglas – iyi performans, düşük maliyetli
- Silikon/ Fiberglas – daha iyi performans, yüksek sıcaklık dayanımı, orta maliyetli
- Manyetik Cam (cam ferrit ile takviye edilmiştir.) – çok yüksek performans, çok yüksek kaynak hızı, yüksek maliyetli

5.1.3.2.2 Ferrit Açıkta İçinden Akış Geçen İmpeder

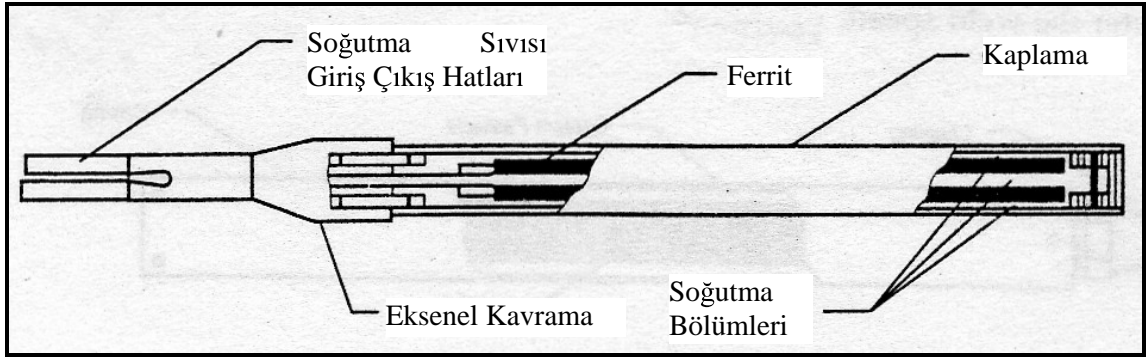
Ferrit açıkta impederler, yarıklı tip ferrit çubukları kullanırlar, bunlar koruyucu kaplamanın bitiminin ilerisinden dışarı çıkarlar. Ferritten geçen soğutma sıvısının akışı köpürme yığılmasını engeller ve impeder ömrü ile performansını çok fazla artırır. İmpederin bitimindeki açıklık kaynak sıcaklığından kaynaklanan yanma durumlarının ve köpürmenin önüne geçer (Şekil 5.8).

5.1.3.2.3 Dönüş Akışlı İmpeder

Dönüş akışlı impederler kaynaklanmış borunun içinin kuru tutulmasının önemli olduğu zamanlarda kullanılır. İmpeder soğutma sıvısı, impederin içinden geçen eksenel kavrama bölümünden giriş-çıkış yapar ve ikisinden biri boru dışına veya yeniden çevrimin dışına sıvı akıtır (Şekil 5.9).



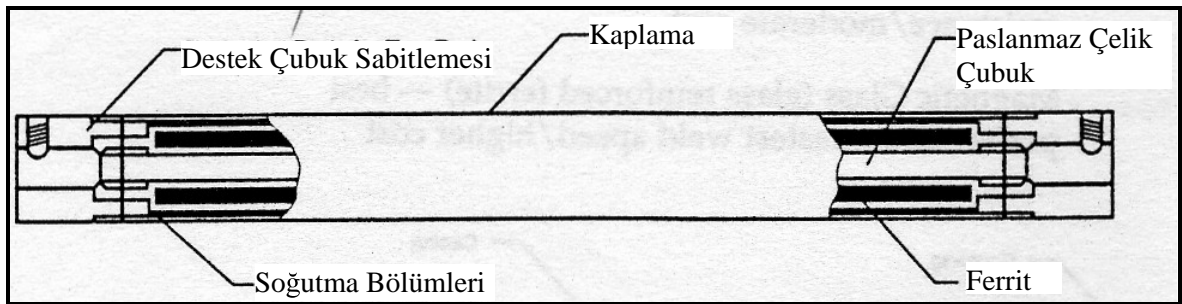
Şekil 5.8 Ferriti açıkta olan içinden akış geçen impedör tipi (Nichols, 1994)



Şekil 5.9 Dönüş akışlı impedör (Nichols, 1994)

5.1.3.2.4 İntegral Mandrel Tip İmpeder

İntegral mandrel tip impedörler eğilme ve gerilme yüklerini taşıyabilmek için paslanmaz çelik bir parçaya sahiptir. Ağır pirinç tıkaçlar her iki bitimde çekme çubuğuna vidalanarak yerleştirilmiştir ve vidalar rotasyonun önüne geçmeyi sağlar. Çekme çubuğu malzemesi bobin akış alanı içindeki indüksiyon ısınmasını minimize etmek için manyetik olmamalıdır (Şekil 5.10).



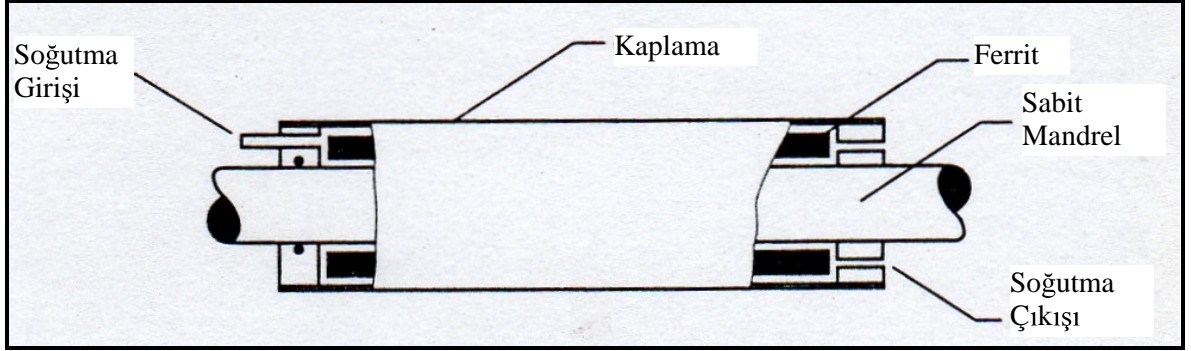
Şekil 5.10 İntegral mandrel tip impedör (Nichols, 1994)

5.1.3.2.5 Mandrel Üzerinde İmpeder

İç ekyerleri için daha fazla rijitliğin gerektiği ve yeterli boşlukların olduğu yerlerde mandrel üzerinde impedörler tavsiye edilirler (Şekil 5.11).

5.1.3.3 İmpeder Grubunun Montajı

Geniş çaplı borularda, impeder grubunun kullanılması tavsiye edilir. Bu, standart içinden akış geçen impederlerin bir manifolda yerleştirilmesi ile oluşan montajdır, bu mandrel üzerini çevreleyen veya konsol çubuk ile desteklenir. Bir impeder grubu, ekonomik olarak geniş çapta ferritin alınmasının çok pahalı olduğu durumlarda kullanılmalıdır. İmpeder grupları ferritin soğutulmasının geliştirilmesini sağlar ve ferrit hasarlarında değiştirme yapmak daha kolay ve ekonomiktir.



Şekil 5.11 Mandrel üzerinde impeder tipi (Nichols, 1994)

5.1.3.4 İmpeder Soğutması

Kuvvetli bir manyetik alana maruz kalması halinde ferrit, manyetik akımının daha fazla artmayacağı bir noktaya ulaşır ki bu noktaya ferritin doygunluk noktası adı verilir. Bu noktadan sonra boruya indüklenen ilave akımlar impeder tarafından etkilenmez. Akım yoğunluğunun doygunluğu ferrit sıcaklığının artması ile düşer (Şekil 5.6). Bu nedendir ki ferrit sıcaklığı kontrol altına alınmalıdır. Etkin bir soğutmanın sağlanması için tüm önlemler alınmalı ve hatta gerekli ise sıcaklık kararlılığını sağlamak için soğutma eşanjörü kullanılmalıdır. Soğutma akışkanı olarak hava ve gaz kullanımı tavsiye edilmez. Çünkü, oluşan ısıyı alabilmek için oldukça yüksek debi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (suya kıyasla yaklaşık 800 kat daha fazla debi).

Teorik olarak, mükemmel bir ferritin elektriksel ve manyetik özelliklerini yitirmemesi ve ayrıca herhangi bir soğutma işlemine ihtiyaç hissetmemesi gerekir. Ancak, henüz bu niteliklere sahip malzeme bulunamadığından uygulamada kullanılan tüm ferritler soğutma işlemine tabi tutulmaktadırlar. Soğutma akışkanı içerisindeki pisliklerden dolayı soğutucu akışı engellenmemelidir, aksi halde impeder devre dışı kalabilir. Bunun için filtrasyon işlemi tavsiye edilir. İmpederin tıkanmaması için, impeder soğutmasında form verme grubundaki soğutma akışkanı kullanılmamalıdır. Birçok parametreye bağlı olduğundan, soğutma akışkan

miktarını standardize etmek oldukça zor olmakla birlikte, Çizelge 5.4’ teki değerlerden bazı ipuçları yakalamak mümkündür. Soğutma suyu debisinde herhangi bir nedenle gelen azalma, impederin curie noktası üzerindeki sıcaklıklara çıkarak ısınmasına ve fonksiyonlarını yitirmesine neden olur. Bu durumda, gözle görülür bir şekilde kaynak ısısında düşme meydana gelir. Bu problem, soğutma suyu sıcaklığının yüksek olması, sızıntı, kaçak, impederin hasarlanması, yetersiz filtrasyon, pompalama hatası veya impeder tasarımının uygun olmaması gibi birçok farklı nedenden kaynaklanabilir (Nichols, 1994).

Çizelge 5.4 İmpeder soğutmasına ait teknik değerler (Nichols, 1994)

İmpeder dış çapı (mm)	En az soğutucu akışkan miktarı (l/dak)	Basınç (atm)	Soğutucu sıcaklığı (°C)
< 10	5	6,5	10 – 20
10 – 13	7	6,5	10 – 20
13 – 17	10	6,5	10 – 20
17 – 20	15	5	10 – 20

5.1.4 Kaynak Hızı, “V” Açısı ve Frekansın Sıcaklık Dağılımına Olan Etkisi

Soğuk kaynak durumundan kaçınmak için profilin en kesitindeki merkezde ihtiyaç duyulan minimum sıcaklık, kaynak makaralarının uyguladığı basıncın bir fonksiyonudur. Kaynak hızı, “V” açısı ve frekansın sıcaklık dağılımına olan etkisi ve eriyen malzeme miktarını nasıl etkilediği konusunda deneysel bir çalışma yapan John Inge ve Bjørnar Grande bu parametrelerle ilgili net değerlendirmeler ortaya çıkarmıştır.

Farklı sıcaklık dağılımlarını karşılaştırabilmek için bir referans noktası alınmalıdır. Inge ve Grande bu durum için merkez noktasında 1250 °C sıcaklık değerini kullanmıştır. Makine bu sıcaklık değerini sağlaması için ilgili akım değerine ayarlanmıştır. Et kalınlığı bütün denemeler için 12,7 mm’ dir.

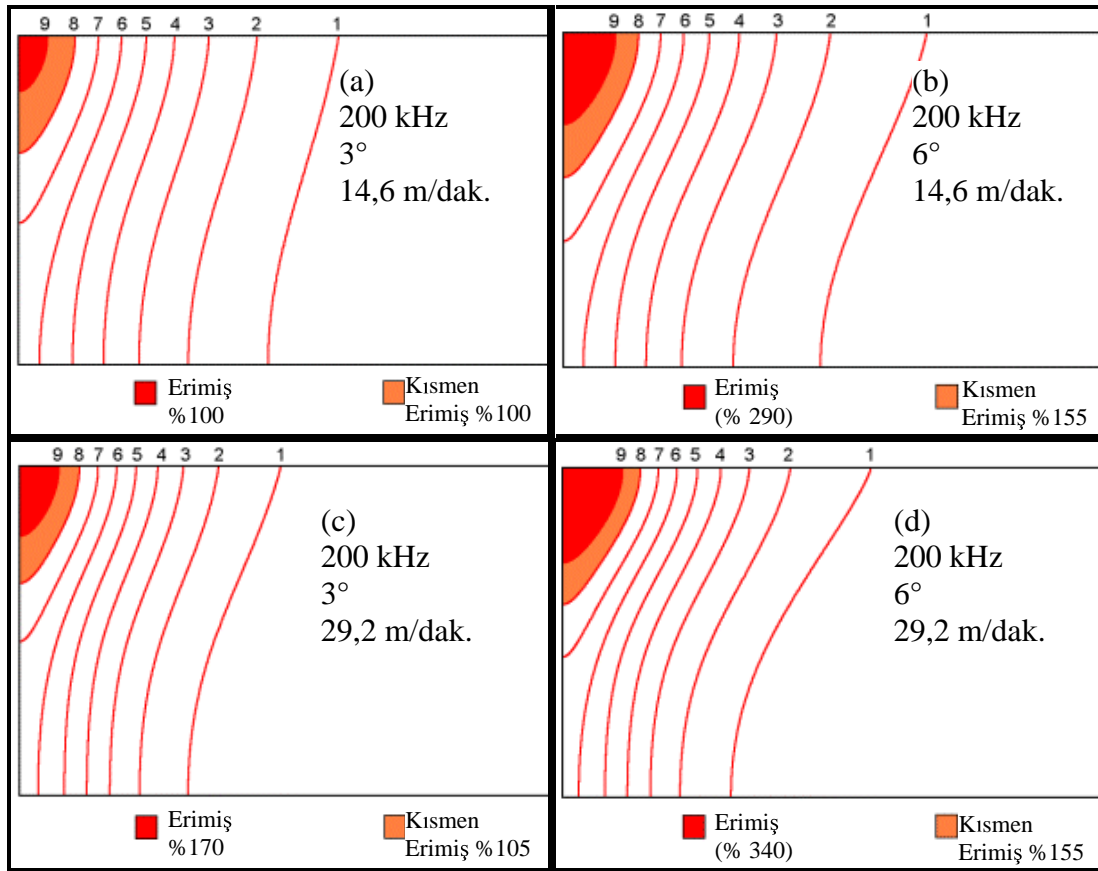
Yapılan deneylerde üç farklı “V” açısı, iki farklı tezgah hızı ve üç farklı frekans değeri incelenmiştir. Buna ek olarak 200 kHz frekans değerinde, 14,6 m/ dak. tezgah hızı ve 3°’lik “V” açısında geri yaylanma incelemesi yapılmıştır. Çizelge 5.5’ te deneylerde kullanılan değerlerin ayrıntıları sunulmaktadır.

Sonuçların açıklanması için ise kaynak bölgesi etrafında oluşan izotermal çizgilerden faydalanılmıştır (Şekil 5.12). Sıcaklık değerleri, erime işlemi tamamlanmadan erime sıcaklığının üzerine çıkmamaktadır. Erime, boru et kalınlığının geometrisine bağlı olarak değişmektedir ve sonuç olarak güç dağılımını etkilemektedir. Sonuçları irdelerken bu

değerlerin göz önünde tutulması gerekir. Burada anlatılmak istenilen, parametrelerin sıcaklık dağılımını nasıl etkilediğidir, erimenin nasıl oluştuğunu açıklamak değildir.

Çizelge 5.5 Deney değerlerinin matris şeklinde gösterilmesi (Asperheim ve Grande 2000)

Frekans (kHz)		100		200			300	
Açı (°)		3°	6°	3°	4,5°	6°	3°	6°
Tezgah Hızı (m/dak)	14,6	X	X	X	X	X	X	X
	29,2	X		X		X	X	



Şekil 5.12 Kaynak bölgesi çevresinin 200 khz frekans sabit değeri için, farklı açı ve tezgah hızı değerlerinde izotermal çizgiler ile gösterilmesi (Asperheim ve Grande 2000)

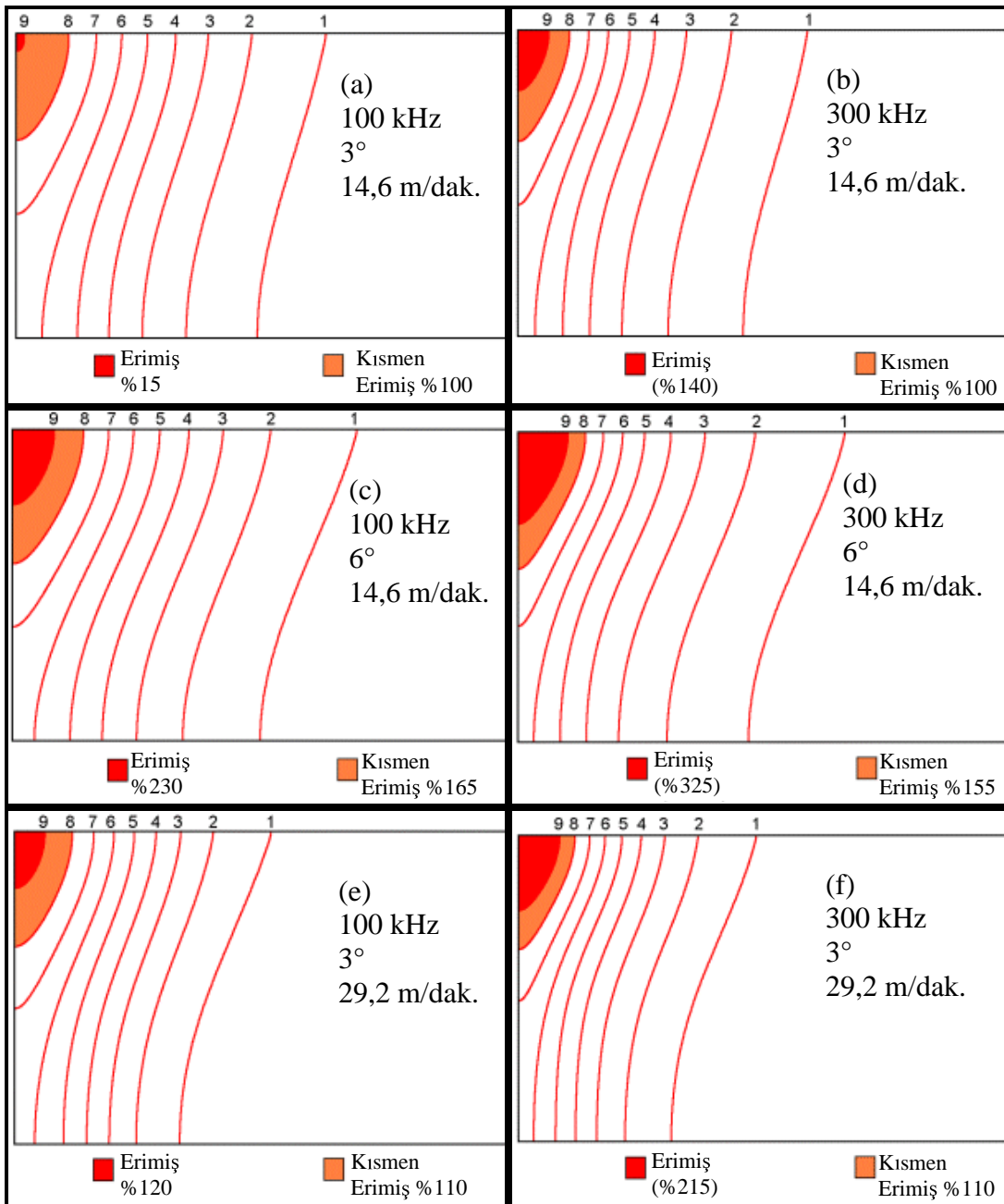
Çizelge 5.6' da izotermal sıcaklık eğrilerinin yaklaşık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 İzotermal sıcaklık eğrilerinin yaklaşık değerleri (Asperheim ve Grande 2000)

Eğri No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
°C	325	500	675	850	1025	1200	1375	1550	1725

Farklı değerlerin karşılaştırılabilmesi için, erimiş bölge ve kısmen erimiş bölge malzemesi

izotermal bölümlere ayrılmıştır. Her şekil için göstermiş olduğumuz yüzde değerleri referans ayar olan 200 kHz frekans değerinde, 14,6 m/ dak. tezgah hızı ve 3° lik “V” açısında elde edilen değerlerin % 100 kabul edilmesi sonucu bulunan değerlerdir. Şekil 5.12 boru kesitinin üst kısmında kalan bölgesi için, 200 kHz frekans değerlerinde izotermal bölgeleri göstermektedir. “V” açısındaki 3°’den 6°’ye yükseltilen bir artış, düşük hız değerlerinde malzemenin erimiş metalinde (1725 °C’ nin üzerinde) yaklaşık 3 kat bir artış, yüksek hız değerlerinde ise iki kat bir artış sağlamaktadır. Kısmen erimiş (1550 °C’ nin üzerinde) malzeme miktarı ise her iki hız değerinde de yaklaşık olarak % 55 artmaktadır.

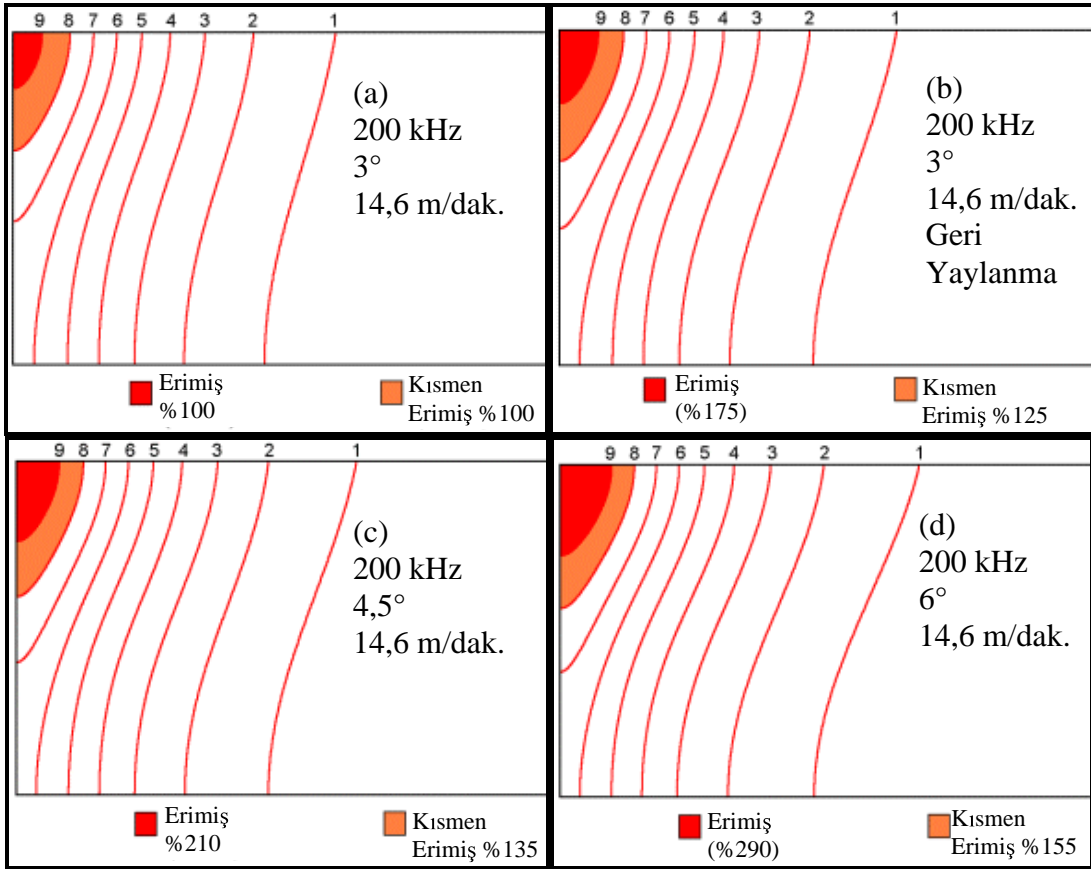


Şekil 5.13 Kaynak bölgesi çevresinin 100 ve 300 khz frekans değeri için izotermal çizgiler ile gösterilmesi (Asperheim ve Grande 2000)

Boru cidarının yatay kesidindeki merkez çizgisi (x-ekseni) üzerindeki sıcaklık dağılımı, temel olarak hız ile etkilenir. Hız, ısıtma zamanını etkileyen bir faktördür. Açı değerindeki ve hızdaki artış, açık boru cidarındaki kenarların daha fazla ısınmasına neden olacaktır. Bu sonuç, ısı etkisi altında kalan bölgenin daha fazla olarak kum saati şeklindeki bir yapıya benzemesi ile adlandırılır. Bu etkiyi en iyi bir biçimde Şekil 5.12-d’ de görebiliriz. Burada yüksek hız ve geniş açı kombinasyonu söz konusudur.

Şekil 5.13’de 100 kHz ve 300 kHz için sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. İki frekans arasında kesit bölgesindeki kısmen erimiş malzeme açısından çok büyük farklılıklar yoktur. Ancak erimiş malzeme miktarı açısından belirgin bir farklılık gözükmemektedir.

Sonuçlara baktığımızda, 3° ve 29,2 m/dak. hız değerleri için oluşan durumun, 6° ve 14,6 m/dak. hız değerleri için oluşan duruma nazaran, kaynak bölgesindeki alanda daha az bir ısı farklılığı meydana getirdiği görülmektedir. Şekil 5.14-c ve Şekil 5.13-c’ yi karşılaştırdığımızda “V” açısındaki 1,5 derecelik bir azaltmanın daha iyi neticeler verdiğini görebiliriz (Asperheim ve Grande, 2000).



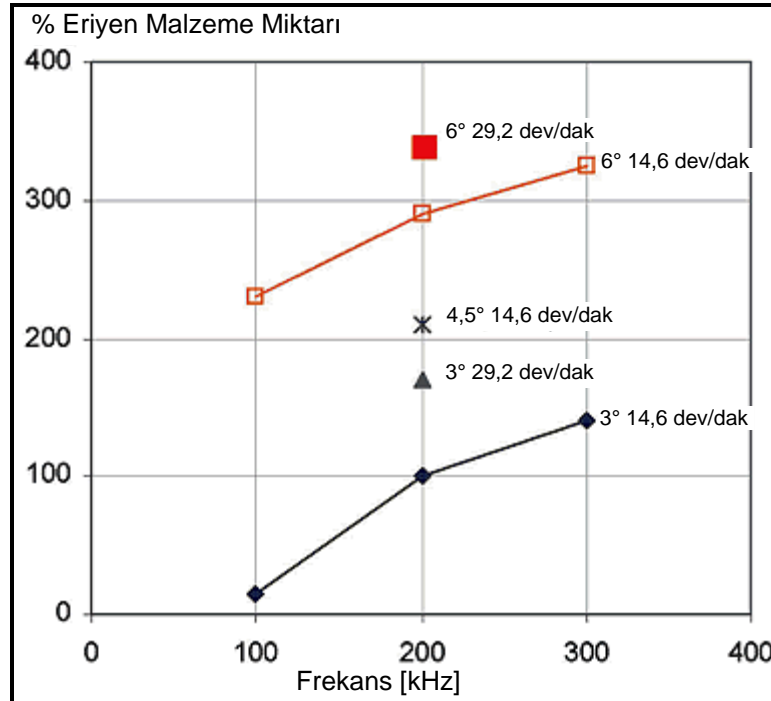
Şekil 5.14 200 khz frekans değerinde “v” açısı ve geri yaylanmanın etkileri (Asperheim ve Grande 2000)

5.1.4.1 “V” Açısı ve Makine Hızı

Borunun yatay merkez eksen (X-ekseni) boyunca, merkez çizgisi üzerinde dağılan ısı, çoğunlukla hızdan etkilenir ve bu nedenle ısınma zamanı da etkilenir. Hızın artırılması şerit köşelerinde daha fazla ısınmalara neden olmuştur. Sonuç olarak, ısınan bölge daha çok bir kum saatini andıran yapıda göze batar. Bunun etkisi, en iyi şekilde Şekil 5.12-d’ de yüksek hız ve geniş açının kombinasyonunda görülebilir. Sonuçlar bize, 3°-29.2 dev/dak değerlerinin kaynak bölgesinde 6°-14.2 dev/dak değerlerinden daha az sıcaklık değişimi verdiğini göstermektedir. Şekil 5.15’ te “V” açısında 1.5° lik bir azalma değeri için daha iyi sonuçların ortaya çıktığını görebiliriz. “V” kaynağı için sabit bir güç miktarı olduğunu varsaydığımızda açı değerinin 6°’den 3°’ye düşmesi güç tüketimini % 12 oranında azaltacaktır. Bu aynı kaynak için, tezgah gücü ve hız arasındaki ilişkiye bağlı olarak hızın, %18 ile %20 arasında artmasına neden olacaktır. İlave bir avantaj olarak da kaynak “V” si üzerinde daha düzgün bir sıcaklık dağılımı söz konusu olacaktır (Asperheim v.d., 1998).

5.1.4.2 “V” Açısı ve Frekans

“V” açısındaki artışa dikkat edecek olursak, (Bakınız Şekil 5.15) “V” açısının 2 katına çıkması frekansın 3 katına çıktığındaki etkiyle eşdeğer bir sonuç ortaya çıkartmaktadır. Sonuçlar yüksek frekans değerlerinde ısınan bölgenin daraldığını göstermektedir. Yüksek frekans değerlerinde, aşırı ısınmış kaynak dikişi köşesi enerji tüketimini artırır .

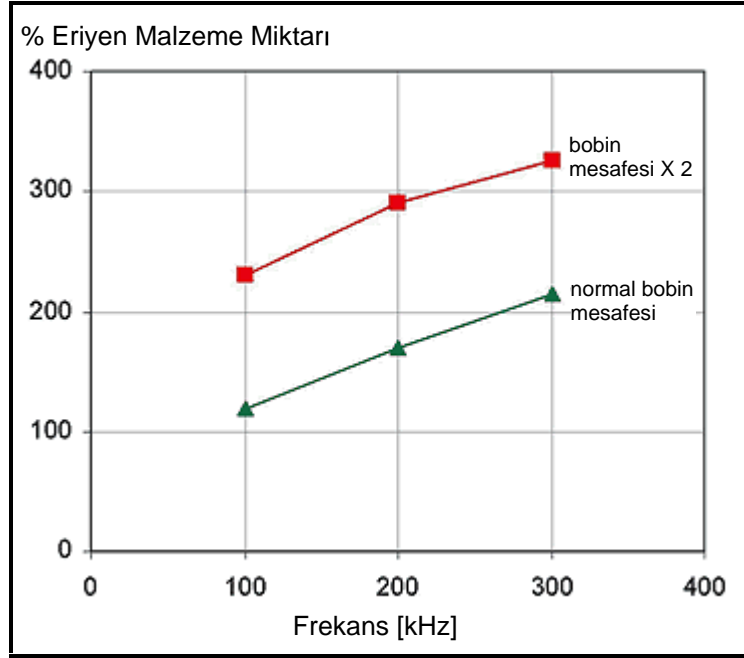


Şekil 5.15 Eriyen malzeme – frekans arasındaki ilişki (Asperheim v.d., 1998)

5.1.4.3 İndüksiyon Bobininin Konumu

Şekil 5.16’ da eriyen malzeme miktarı ve frekans etkileşiminde, mesafenin bir parametre olduğu gösterilmektedir. İndüksiyon bobininin gereksiz yere, frekanstan bağımsız olarak, kaynak noktasından uzaklaştırılmaması gerektiği açık olarak görülmektedir.

Uzun “V” şekli kaynak noktasından ısı akışının uzaklaşmasını ve impedans üzerindeki baskıyı artırır. Bu da daha fazla enerji girişine neden olur.



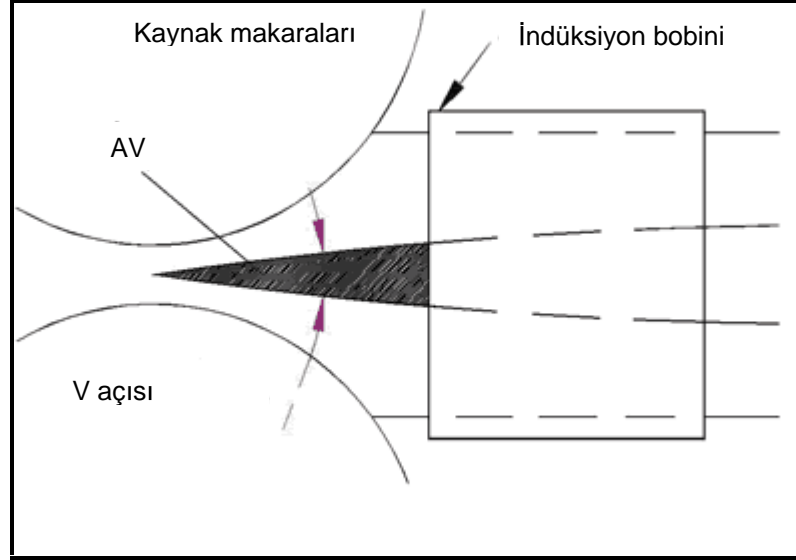
Şekil 5.16 Eriyen malzeme – frekans ilişkisinde bobin mesafesinin etkisi (Asperheim v.d., 1998)

Düşük açı değerlerinin şerit köşeleri arasındaki ilave ark oluşumunu engellediği bilinmektedir. Bu deneyim genellikle yüksek frekans kaynağında (400 kHz üzerinde) yüksek açı ayarı ile çalışılması durumundaki olumsuz tecrübelerden edinilmiştir. Geri yaylanmanın beklenenden daha fazla açı değerinde gerçekleşmesi durumunda voltajın %15 değerinde artırılması uygun olacaktır.

“V” şeklindeki kesitteki voltaj ve frekans ile gerekli olan impedans boyutu hesaplanabilir. Enerji girişi ve kesit için gerekli olan impedansın boyutu, aşağıdakilerden biri veya bir kaçını üzerinde yapılacak değişikliklerle minimize edilebilir.

- “V” açısının azaltılması
- Daha düşük geri yaylanmanın sağlanması
- Daha kısa “indüksiyon bobini – kaynak noktası” mesafesinin oluşturulması

Bu üç değişiklik beraber veya yalnız olarak kaynak dikişi alanını “(AV) alanını” azaltabilir (Şekil 5.17). Bu alanın küçültülmesi ile de soğuk merkez ve aşırı ısınmış köşe probleminin azaltılması ve toplam kaynak veriminin artırılması sağlanır. Bu pozitif gelişmeler frekanstan bağımsız olarak “V” kaynak alanının azaltılmasıyla ortaya çıkar.



Şekil 5.17 Kaynak “V” sinin şematik olarak gösterimi (Asperheim v.d., 1998)

Aynı makine hızı ve ayarları için, düşük frekans geniş bir kesit impederi gerektirir. Bu azaltılmış bir kaynak alanı ile elde edilebilir. “V” açısındaki 1.5° lik bir azalma frekanstaki 100kHz’lik bir iniş değerine eşittir.

Düşük frekanslar geniş impeder kesiti gerektirir, ancak büyük ebatlı boru-profil üretiminde bu sınırlayıcı bir faktör değildir. Bazı durumlarda (kaynak bölgesinde ısı tesiri altında kalan bölgede daha düşük sıcaklık farklılıkları istendiğinde) bu elverişli bir durum olabilir.

Büyük et kalınlıklı küçük anma çaplı ürünlerde, impeder sınırlayıcı olabilir. Buna ek olarak impederin konumunun, büyüklüğünün ve soğutulmasının optimizasyonu kaynak “V” dikişi alanının azaltılması, düşük frekanslarda yüksek performansta üretimin gerçekleştirilmesi için önemlidir (Asperheim v.d., 1998).

5.1.4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Hesaplanan sıcaklık dağılımı dikkate alındığında, küçük bir “V” açısının önemi ortaya çıkmaktadır. Aşırı büyük açı neticesinde, şerit kenarlarının köşeleri çok fazla miktarda ısınmakta ve boru merkezinde soğuk kaynak özelliği ortaya çıkmaktadır. Hesaplamalar aynı zamanda “V” açısı ile erimiş malzeme arasında hemen hemen doğrusal bir ilişki olduğunu

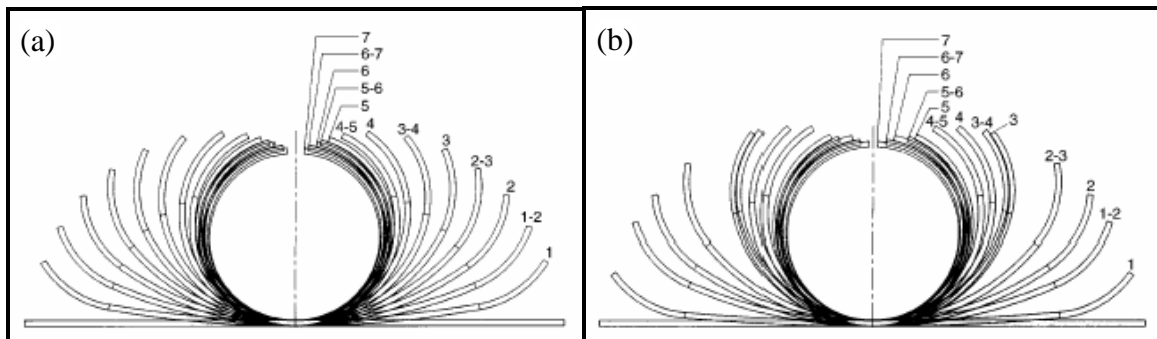
göstermektedir. Ayrıca, “V” açısının azaltılması ile daha az enerji giriş ihtiyacı ve daha küçük impede en kesiti ortaya çıkacaktır. Böylece açı değeri azaltıldığında tezgah hızının artırılması söz konusu olacaktır. Tüm bunlar frekanstan bağımsız olarak gerçekleşen avantajlardır.

Geri yaylanma, “V” açısının artırılması ile oluşan kaynak problemleri ile aynı etkiyi göstermektedir. Geri yaylanma miktarı, uygulamada lineer “V” açısından yaklaşık olarak 1° büyüktür. Sonuç olarak, geri yaylanma güç ihtiyacını artırır ve impede en kesitinin artırılmasını gerektirir.

Düşük frekans değerleri için ısı etkisi altında kalan bölgede daha az sıcaklık farklılıkları mevcuttur. İhtiyaç duyulan impede kesiti daha büyüktür. Böylece, kalın cidarlı, düşük boyutlu boru veya profil imalatı yapılırken dikkatli olunmalıdır. İmpede pozisyonunun optimize edilmesi, boyutu ve soğutulması, yüksek performansta üretim koşulları için en can alıcı noktadır. Azaltılmış bir “V” açısı impede üzerindeki yükü hafifletecektir. (Asperheim v.d., 1998; Asperheim ve Grande, 2000)

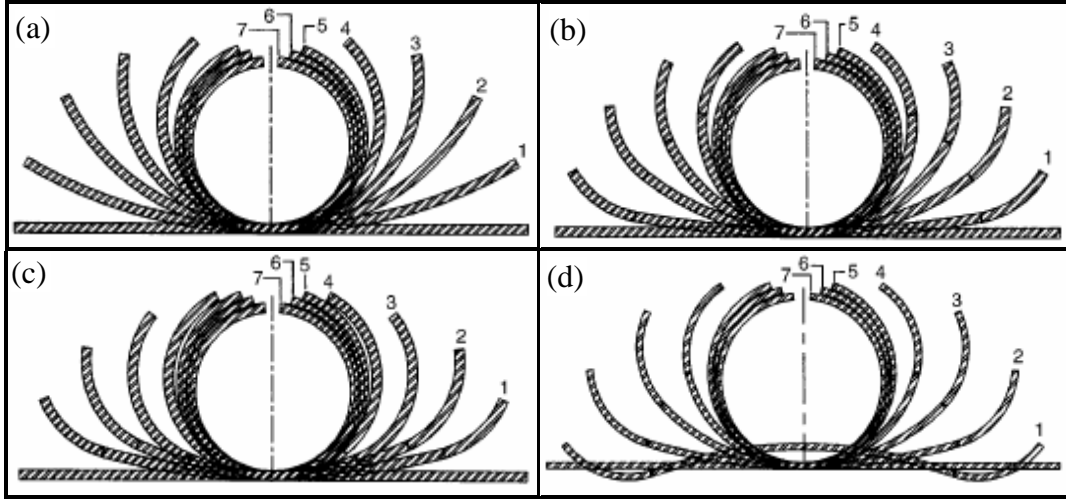
5.2 Form Verme

Dilinmiş olan çelik levhaların, çeşitli form verme makaraları yardımıyla, kıvrılarak kaynak öncesi istenen şekle getirilmesi işlemine genel olarak form verme adı verilir. Form verme işlemi, eşit aralıklarla yerleştirilmiş olan makara grupları ile, her bir kademede eşit oranlarda ve kademeli olarak gerçekleştirilmelidir (Şekil 5.18-a). Uygun olmayan form verme işlemi sonucunda, Şekil 5.18-b’ de de görüleceği gibi kademelerde aşırı şekillendirme yapılırken bazı kademelerde ise çok az bir şekillendirme gerçekleşir. Tasarımdan kaynaklanan böylesi bir hatalı şekillendirme işlemi, bant yüzeyinin hasarlanması ve kaynak hata oluşumu gibi bir takım kaçınılmaz problemleri de beraberinde getirir.



Şekil 5.18 Bant kenarlarının her bir makara grubunda şekillendirilme derecesi (Gehrisch v.d, 2005)

Günümüzde endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta olan dört farklı şekillendirme tasarımı vardır (Şekil 5.19). Bu tasarımlardan her biri, tek bir makara grubu ile (kılıçlı makaralar hariç) birden fazla ebatta boru üretimine olanak sağlamaktadır. Yüksek mukavemete sahip saçların şekillendirilmesinde çoklu kenar şekillendirme ile ters kıvrıma tasarımları tercih edilmelidir. Malzemenin elastik geri şekil değişme miktarında sağlanan azalma ve bant kenarlarının kılıçlı makaralara daha iyi hazırlanabilmesi bu tasarımların üstünlükleri arasında sayılabilir.

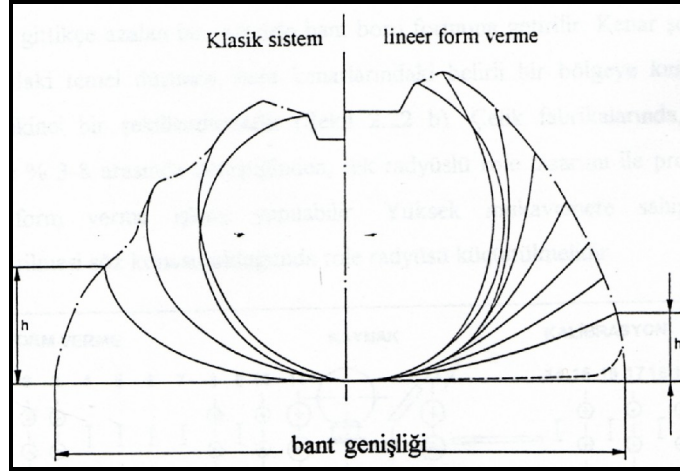


Şekil 5.19 Bant şekillendirme sistemleri; a- tek radyüslü şekillendirme, b- kenar şekillendirme, c- çoklu kenar şekillendirme, d- ters kıvrıma ile şekillendirme (Gehrisch v.d, 2005)

5.2.1 Form Verme Üniteleri

Form verme üniteleri genellikle iki sınıfta ele alınabilir. Klasik form verme sistemleri oldukça uzun olup, sahip oldukları makara geometrisi ve makara gruplarının yerleşimi tekrarlanabilir form verme açısından zorluk yaratır. Bant kalınlığı ve malzemenin akma dayanımındaki değişimler form verme işleminde düzensizliklere ve bu düzensizlikler de kaynak kalitesi ve üretim toleranslarında istenmeyen bozunmalara yol açar. Klasik form verme sistemlerinde, makaraların bir kısmı direkt olarak şaftlarla tahrik edilmektedir. Makara aşınmalarından kaynaklanan farklı temas etkinliği, makaralarda farklı bir yük dağılımına neden olur. Bu olay da, hem daha fazla güç sarfiyatına hem de makaralarda daha fazla aşınmaya sebep olur. Ayrıca bant ilerleme hızında ani değişimler meydana gelir. Lineer form verme üniteleri ise, klasik sistemlere kıyasla daha kısa olur ki, bu da daha homojen ve tekrarlanabilir şartlara haiz bir form verme imkanı yaratır. Lineer form verme sistemlerinin aksine, klasik sistemlerde bant kenarlarının izlediği yol, makara gruplarının fazlalığından dolayı lineer değildir. Her bir form verme aşamasını malzemenin elastik geri şekil değişimi (geri yaylanma) izler

(Şekil 5.20).



Şekil 5.20 Klasik sistem ile lineer form verme sisteminin karşılaştırılması (Şirin, 1997)

5.2.1.1 Giriş Masası ve Giriş Yeri

Hatasız profil üretmek için, hatasız boru üretmek gerekir. Bunun için de bantın düzgün şekilde hizalanması ilk şart olmaktadır. Giriş masası, bu amaç doğrultusunda çalışan kısımdır. Giriş masası kaynak hattına giren bantı merkezleyerek bantın form vermeye girmeden önceki kaçıklığını engeller. Giriş masasının bir diğer önemli görevi de kenar kesmedir. Kenar kesme ile bant kenarlarındaki çapak, tufal ve benzeri uygunsuzluklar yok edilir.

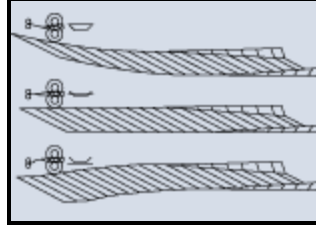
5.2.1.1.1 Bant Giriş Yerinin Önemi

Makara ile form verme hattında giriş yeri kılavuzu (giriş yeri masası) metal bantın optimum açı ve yükseklikte başlangıç yapmasını sağlar.

Doğru bir besleme açısını elde etmek için, giriş yeri kılavuzunun metal form verme yönüne paralel olması gerekmektedir. Herhangi bir yatay dönüş bantın yatay eksene yönde kaçıklığına neden olacaktır. Doğru yükseklik bant kenarlarında oluşacak ilave gerilmeleri elemine edecektir.

Şekil 5.21’ de ilk form verme pasosundan önceki, giriş yeri kılavuzu yüksekliği ile şerit kesidi arasındaki ilişki gösterilmiştir. En üstteki çizimde giriş yeri çok yüksektir, dolayısıyla metal şerit bant ilk pasoya gelmeden önce üst kısma doğru eğilebilir. En alttaki çizimde ise giriş yeri çok alçaktır, böyle bir durumda ise metal ilk pasoya gelmeden aşağıya doğru eğilebilir. Orta kısımdaki çizimde gösterildiği gibi giriş yeri kılavuzu uygun biçimde ayarlanırsa, kenar kesitlerinde herhangi bir uzama gerçekleşmez ve metal şerit herhangi bir kıvrılma veya

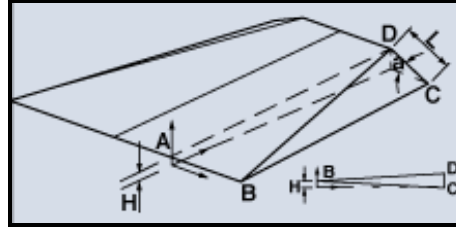
eğilme olmaksızın düzgün bir şekilde ilk pasoya girişini sağlar.



Şekil.5.21 Giriş yeri kılavuzu yüksekliğinin bant kesitini etkilemesi (Li ve Xu Li, 2005)

Giriş yeri kılavuzu yüksekliğini hesaplamada kullanılan bir hesap yöntemi mevcuttur. Bu metot her iki kıvrırma kenarına bağlı olarak oluşturulmuştur.

AD ve BC uzunlukları şeridin giriş yerinden itibaren aynı mesafede ilerlerler, bir başka deyişle AD ve BC uzunlukları eşittir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22 Aşağı kenar eğme modelinin şekil üzerinde gösterilmesi (Li ve Xu Li, 2005)

5.2.1.1.2 Aşağı Kenar Eğme Modeli

Şekil 5.22' de aşağı kenar eğme modeli gösterilmiştir. AD ve BC mesafelerinin aynı uzunlukta olmasından faydalanılarak kurulan eşitlikte;

$$\frac{H}{L} = \frac{\cos \alpha (1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha} \quad (5.1)$$

H: giriş yeri kılavuzu yüksekliğini,

L: kanal tarafının genişliğini,

α : ilk pasodaki form verme açısını ifade etmektedir.

Örneğin, kanal tarafı genişliğinin 20,32 mm olduğu, ilk pasodaki form verme açısının 17° olduğunda (5.1)' e bağlı olarak H yüksekliği hesaplanabilir.

$$\frac{H}{L} = \frac{\cos \alpha (1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha}$$

$$H = 20,32 \frac{\cos 17^\circ (1 - \cos 17^\circ)}{\sin 17^\circ} \rightarrow H \approx 2,8956 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.6' da aşağı kenar eğme modeli için H/L katsayıları gösterilmektedir.

Örneğin kanal tarafı genişliğinin 20,32 mm olduğunu varsayalım ve kanal tarafı ilk pasoda 25° form verme açısı ile şekillendiriliyor olsun. Bu durumda 25°'lik açı değeri için H/L oranı Çizelge 5.6.'dan 0,201 olarak bulunur.

$$\frac{H}{L} = 0,201 \rightarrow H = 0,201 \times 20,32 = 4,0843 \text{ mm olarak bulunur.}$$

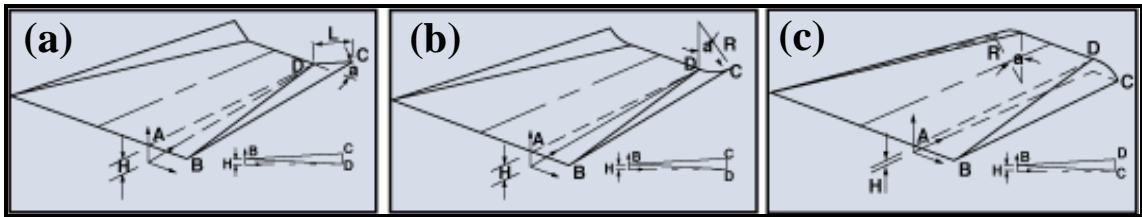
Çizelge 5.7 Aşağı kenar eğme modeli için (H/L) katsayıları (Li ve Xu Li, 2005)

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
H/L	0,043	0,086	0,127	0,166	0,201	0,232	0,258	0,279	0,293
α	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
H/L	0,300	0,299	0,289	0,269	0,240	0,199	0,146	0,080	0,000

5.2.1.1.3 Yukarı Kenar Eğme Modeli

Şekil 5.23-a' da yukarı kenar eğme modeli gösterilmiştir. AD ve BC uzunluklarının eşitliğinden (5.2) elde edilir.

$$\frac{H}{L} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \quad (5.2)$$



Şekil 5.23 a-Yukarı kenar eğme modeli, b-Ark yukarı kenar eğme modeli, c-Ark aşağı kenar eğme modeli (Li ve Xu Li, 2005)

Örneğin, kanal tarafı genişliğinin 20,32 mm olduğu, ilk pasodaki form verme açısının 17° olduğunda (5.2)' ye bağlı olarak H yüksekliği hesaplanabilir.

$$\frac{H}{L} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\frac{H}{L} = L \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = 20,32 \frac{1 - \cos 17^\circ}{\sin 17^\circ} \rightarrow H \approx 3,0368 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.8'de yukarı kenar eğme modeli için H/L katsayıları gösterilmektedir.

Çizelge 5.8 Yukarı kenar eğme modeli için (H/L) katsayıları (Li ve Xu Li, 2005)

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
H/L	0,044	0,087	0,132	0,176	0,222	0,268	0,315	0,364	0,414
A	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
H/L	0,466	0,521	0,577	0,637	0,700	0,767	0,839	0,916	1,000

5.2.1.1.4 Ark Yukarı Kenar Eğme Modeli

Şekil 5.23-b' de ark yukarı eğme modeli gösterilmiştir. AD ve BC uzunluklarının eşitliğinden (5.3) elde edilir.

$$\frac{H}{R} = \frac{1}{2(1 - \cos \alpha)} \left[2(1 - \cos \alpha) + \frac{\alpha^2 \pi^2}{180^2} - \frac{\alpha \pi}{90} \sin \alpha \right] \quad (5.3)$$

R: kanal tarafının radyüs değerini ifade etmektedir.

Örneğin, ilk pasodaki form verme açısının 17°, radyüs değerinin ise 12,7 mm olduğu varsayıldığında giriş yeri kılavuz yüksekliği H (5.3)' ten hesaplanabilir.

$$\frac{H}{R} = \frac{1}{2(1 - \cos \alpha)} \left[2(1 - \cos \alpha) + \frac{\alpha^2 \pi^2}{180^2} - \frac{\alpha \pi}{90} \sin \alpha \right]$$

$$H = \frac{R}{2(1 - \cos \alpha)} \left[2(1 - \cos \alpha) + \frac{\alpha^2 \pi^2}{180^2} - \frac{\alpha \pi}{90} \sin \alpha \right]$$

$$H = \frac{0,5}{2(1 - \cos 17^\circ)} \left[2(1 - \cos 17^\circ) + \frac{17^2 \pi^2}{180^2} - \frac{17 \pi}{90} \sin 17^\circ \right] \rightarrow H \approx 0,2794 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.9'da ark yukarı kenar eğme modeli için H/R katsayıları gösterilmektedir.

Çizelge 5.9 Ark Yukarı Kenar Eğme modeli için (H/R) Katsayıları (Li ve Xu Li, 2005)

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
H/R	0,000	0,008	0,016	0,030	0,048	0,069	0,094	0,124	0,157
α	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
H/R	0,194	0,236	0,283	0,334	0,389	0,450	0,516	0,587	0,662

5.2.1.1.5 Ark Aşağı Kenar Eğme Modeli

Şekil 5.23-c' de ark yukarı eğme modeli gösterilmiştir. AD ve BC uzunluklarının eşitliğinden (5.4) elde edilir.

$$\frac{H}{R} = \frac{1}{2(1-\cos\alpha)} \left[(1-\cos\alpha)^2 - \left(\sin\alpha - \frac{\alpha\pi}{180} \right)^2 \right] \quad (5.4)$$

Örneğin, ilk pasodaki form verme açısının 17° , radyüs değerinin ise 12,7 mm olduğu varsayıldığında giriş yeri kılavuz yüksekliği H (5.4)' ten hesaplanabilir.

$$\frac{H}{R} = \frac{1}{2(1-\cos\alpha)} \left[(1-\cos\alpha)^2 - \left(\sin\alpha - \frac{\alpha\pi}{180} \right)^2 \right]$$

$$H = \frac{R}{2(1-\cos\alpha)} \left[(1-\cos\alpha)^2 - \left(\sin\alpha - \frac{\alpha\pi}{180} \right)^2 \right]$$

$$H = \frac{0,5}{2(1-\cos 17^\circ)} \left[(1-\cos 17^\circ)^2 - \left(\sin 17^\circ - \frac{17 \times 3,14}{180} \right)^2 \right] \rightarrow H \approx 0,2794 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.10'da ark aşağı kenar eğme modeli için H/R katsayıları gösterilmektedir.

Çizelge 5.10 Ark aşağı kenar eğme modeli için (H/R) katsayıları (Li ve Xu Li, 2005)

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
H/R	0,000	0,008	0,018	0,030	0,046	0,065	0,088	0,110	0,136
α	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
H/R	0,163	0,190	0,217	0,243	0,269	0,291	0,311	0,326	0,337

5.2.1.1.6 Giriş Yeri Düzgünlüğün Sağlanması Faydaları

Giriş yeri kılavuz yüksekliğinin doğru bir şekilde ayarlanmasının sağlanmasıyla, form parçaları üzerinde oluşabilecek gerilmeler azaltılabilir. Aynı zamanda kesitteki farklı boyamsal uzama miktarları azaltılır. Yüksekliğin doğru bir şekilde belirlenmesi yöntemiyle, ikinci form verme bölümüne geçerken ve işlemin takip aşamalarında düzgünlük sağlanacağından herhangi bir yardımcı donanıma ihtiyaç duyulmaz.

Giriş yeri kılavuzu, takımlandırma işlemi ile direkt olarak alakalı değildir. Ancak, form verme prosesinin başlangıcında çok önemli bir yardımcı araçtır. Çünkü form verme işleminde

oluşabilecek istenmeyen bir durum, kaynak işlemini doğrudan etkileyecektir. Düzgün bir başlangıcın yapılması bütün prosesin düzgün bir şekilde işlenmesine yardımcı olacaktır (Li ve Xu Li, 2005).

5.2.1.2 Ön Form Verme Grubu

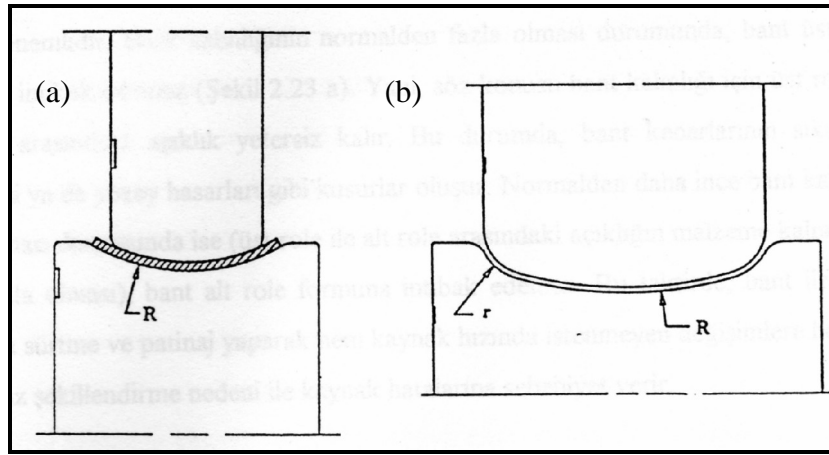
Bantın şekil almaya başladığı ilk kısım olup, her bir makara grubunda belirlenmiş olan form, banda verilir. Her bir makara grubundan sonra radyüs küçülerek, bant kaynak öncesi silindirik forma getirilir (Şekil 5.24). Genel olarak form verme grubu yan avare makara grubu içeren veya içermeyen 3 ile 4 dişi/erkek gruptan (Gerüst) oluşur. Gerüstler belirli bir çap aralığındaki üretim için kullanılırlar. Çap derecesi bazı faktörlere bağlı olmakla birlikte, 3:4 veya 4:5' tir. Söz konusu bu rakamlar, bir makara grubu ile yapılabilecek en küçük boru çapının en büyük boru çapının % 75-80' i kadar olabileceğini ifade etmektedir. Form verme makaralarının bu özelliği, tek bir ebatla sınırlandırılmış olan kılıç makaralar ve kaynak baskı makaraları ile zıtlık oluşturur. En basit ve en yaygın olarak kullanılan makara tasarımı, tek radyüslü sistemlerdir (Şekil 5.24-a). Bu sistemde, gittikçe azalan bir radyüsle, bant boru formuna getirilir. Kenar şekillendirme tasarımıdaki temel düşünce, bant kenarlarındaki belirli bir bölgeye kenar radyüsü verilerek ikinci bir şekillendirmedir (Şekil 5.24-b). Çelik fabrikalarında, s/D oranı genellikle % 3-8 arasında değiştiğinden, tek radyüslü makara tasarımı ile problemsiz bir şekilde form verme işlemi yapılabilir. Yüksek mukavemetli bantların şekillendirilmesi söz konusu olduğunda, makara radyüsü küçültülmelidir.

Form verme işlemindeki en önemli kriterlerden birisi de bant kalınlığıdır. Diğer bir deyişle, üst baskı makarası ile bantın kalınlık açısından uyumu, şekillendirme açısından son derece önemlidir. Bant kalınlığının normalden fazla olması durumunda, bant üst rulo formuna intibak edemez (Şekil 5.25-a). Yani, söz konusu bant kalınlığı için üst makara ile alt makara arasındaki açıklık yetersiz kalır. Bu durumda, bant kenarlarının sıkışarak incilmesi ya da yüzey hasarları gibi kusurlar oluşur. Normalden daha ince bant kalınlığı kullanılması durumunda ise (üst makara ile alt makara arasındaki açıklığın malzeme kalınlığına göre fazla olması), bant alt makara grubuna intibak edemez. Bu takdirde, bant ilerleme sırasında sürtünme ve patinaj yaparak hem kaynak hızında istenmeyen değişimlere hem de uygunsuz şekillendirme nedeni ile kaynak hatalarına sebebiyet verir.

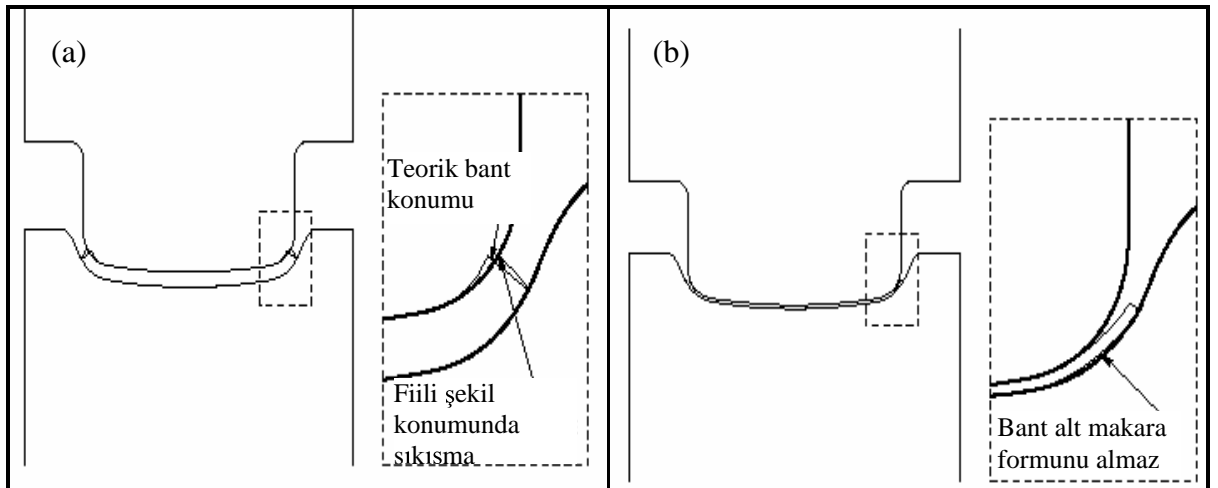
5.2.1.3 Kasetler

Kaynak öncesi çelik bantların şekillendirilmesindeki temel düşünce, eskiden yan makaraların (kasetlerin) şekillendirme işleminde rol oynamadığı, sadece bantın ilerlemesi sırasında

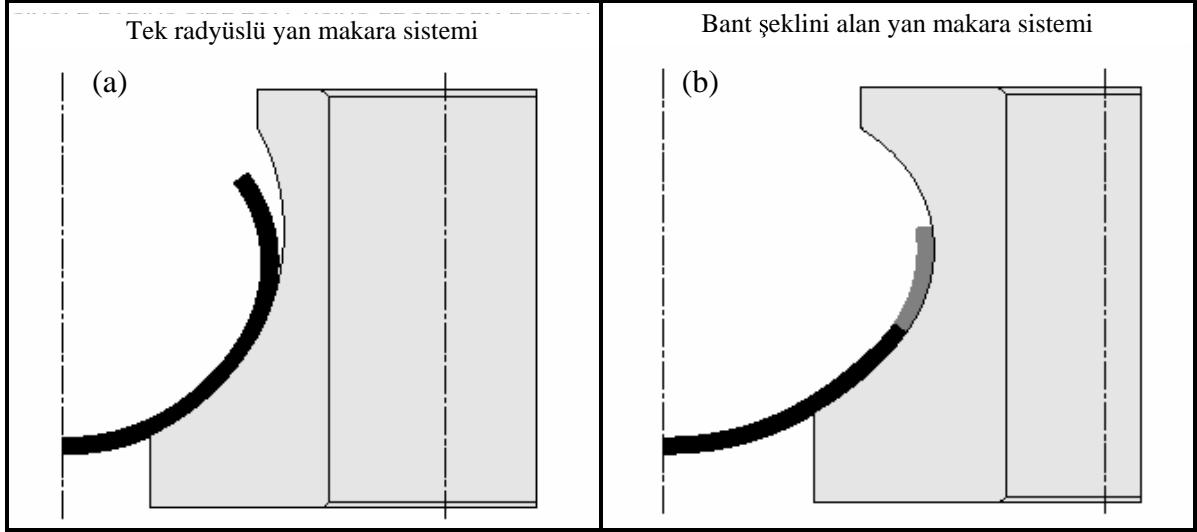
kılavuzluk yaptığı şeklinde idi. Ancak, günümüzde yan makaralar şekillendirme işleminin önemli bir parçası haline gelmiştir. Ön şekillendirme sırasında, yan makaralar tün bantı kavrayarak verilen formun korunmasını sağlar. Dairesel forma göre tasarlanmış kılıçlı makara grubunda ise yan makaralar hem daireselliğin korunmasını, hem de bantın hasarsız bir şekilde kaynak noktasına ulaşmasını sağlar. Şekil 5.26-a' dan da görüldüğü gibi, tek radyüslü yan makaralar bantı tam olarak kavrayamamakta ve dolayısı ile malzemenin elastik geri şekil değişimi sonucunda bant kenarlarında hasarlar meydana gelmektedir. Şekil 5.26-b' deki durum ise ideal olup, burada yan makaralar bantı tam olarak kavrayarak verilen formu muhafaza etmekte yani bir anlamda şekillendirme görevi üstlenmektedir (Şirin, 1997).



Şekil 5.24 Form verme makara tipleri (Şirin, 1997)



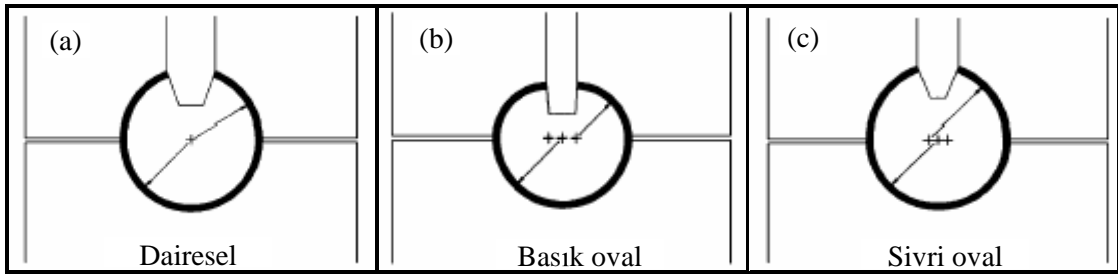
Şekil 5.25 Bant kalınlığı ile makara açıklığı arasındaki uyum (Gehrisch v.d, 2005)



Şekil 5.26 Bant kalınlığı ile kasetler arasındaki uyum (Gehrisch v.d, 2005)

5.3 Kılıçlı Makaralar

Kılıçlı makaraların tasarımı, kullanılacak olan bant malzemesine ve kaynak yöntemine bağlı olarak değişir. Günümüzde, dairesel, basık oval ve sivri oval olmak üzere kullanılmakta olan üç farklı tasarım söz konusudur. Dairesel tasarım, düşük karbonlu çelikler için oldukça uygun olup, en önemli avantajı, bant kenarlarının paralel birleşmesi ile kaynak masasına girişte borunun sahip olduğu daireseliktir (Şekil 5.27-a). Form verilen malzemedeki elastik geri şekil değişim miktarının yüksek olduğu durumlarda, yani yüksek mukavemete sahip ya da et kalınlığı/çap oranı yüksek veya düşük olan malzemelerin şekillendirilmesinde basık oval tasarım sıkça kullanılan bir yöntemdir. Burada, alt makara çift radyüslü olabilir. Açık borunun kaynak masasına dairesel girmemesi şeklindeki dezavantajına karşın, bant kenarlarının paralelliği bu tasarımda en ideal seviyededir (Şekil 5.27-b). Sivri oval tasarımda ise et kalınlığı/çap oranı çok yüksek olan (% 15' ten büyük) veya kılıçlı makara grubunda yan makara içermeyen tasarımlar için söz konusudur (Şekil 5.27-c) (Şirin, 1997).



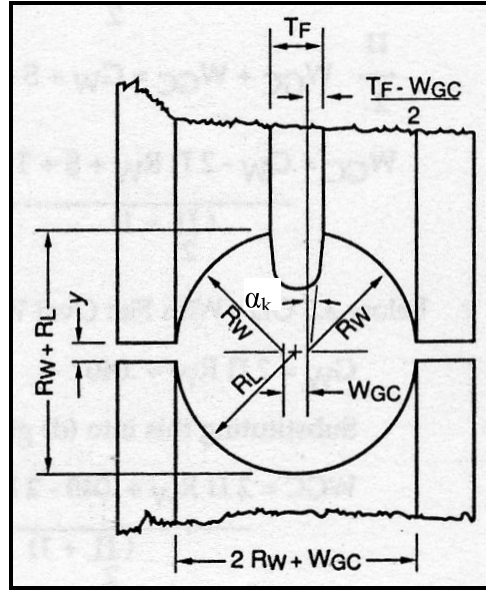
Şekil 5.27 Kılıçlı makara tasarımları a- dairesel tasarım, b- basık oval tasarım, c- sivri oval tasarım (Gehrisch v.d, 2005)

5.3.1 Kılıçlı Makaranın Geometrik Yapısı

Önerilen yapı Şekil 5.28’ de gösterilmiştir. Alt makara merkezden itibaren sabit bir radyüse sahiptir. Her iki üst makara da sabit bir radyüsün yarısına eşittir. Bununla beraber, üst makara radyüsleri RW , alt makara radyüsüne RL eşit değildir ve merkezden WGC mesafesi kadar uzaktadır. Kılıç diye nitelendirebileceğimiz kısım uca doğru “ α_k ” açısı kadar sivrilir.

5.3.2 Kılıçlı Makaranın Tasarımı

Şekil 5.32 göz önünde bulundurulduğunda, üst makara sıkıştırma radyüsleri, kaynak makarası sıkıştırma radyüslerine eşit olmalıdır. GF çevresi GW çevresinden S kadar büyük olmalıdır. Kılıç şeklindeki yapının kalınlığı köşelerin arasındaki açıklıkla uyumlu olmalıdır. Kılıç şeklindeki yapının tepe açısı açık boru köşelerinin tanjantına eşit olmalıdır. Alt ve üst makara flanşları arasındaki y boşluğu seçilen banta bağlıdır ve aynı zamanda bazı işletme ayarlarını sağlamak zorundadır.



Şekil 5.28 Kılıçlı makaranın geometrik yapısı (Nichols, 1994)

- a. Şekil 5.32’ deki form çevresinden GF ,

$$GF = \pi RL + 2 \left[\frac{\pi}{2} RW - \left(\frac{TF - WGC}{2} \right) \right] \quad (5.5)$$

$$GF = \pi RL + \pi RW + WGC - TF \quad (5.6)$$

- b. Şekil 5.32’ deki yatay merkez çizgisi,

$$2RL = 2RW + WGC$$

$$RL = RW + \frac{WGC}{2} \quad (5.7)$$

c. son kılıç paso geçiş çevresi GF, kaynak rulo çevresi GW' ye sıkıştırma dışı oluşan S toleransının eklenmesi kadar olmak zorundadır.

$$GF = GW + S \quad (5.8)$$

d. (5.7) ve (5.8) eşitliğini (5.6)' da yerine koyar ve WGC için çözüm yaparsak,

$$GW + S = \pi \left(RW + \frac{WGC}{2} \right) + \pi RW + WGC - TF \quad (5.9)$$

$$\frac{\pi}{2} WGC + WGC = GW + S - \pi RW - \pi RW + TF \quad (5.10)$$

$$WGC = \frac{GW - 2\pi RW + S + TF}{\frac{\pi}{2} + 1} \quad (5.11)$$

e. 89 mm Dış çapın altında – basık oval kaynak makaraları ile:

$$GW = 2\pi RW + 1.016 \quad (5.12)$$

bu yazılan eşitlik (5.11)' de yerine konulursa:

$$WGC = \frac{2\pi RW + 1.016 - 2\pi RW + S + TF}{\frac{\pi}{2} + 1} \quad (5.13)$$

$$WGC = \frac{1.016 + S + TF}{2.5708} \quad (5.14)$$

$$WGC = .3962 + .3890(S + TF) \quad (5.15)$$

f. (TF-WGC) arkının (TF-WGC) kirişine eşit olduğu varsayılarak hesaplama yapıldığında, kılıç açısı α raydan olarak:

$$\alpha_k = \frac{TF - WGC}{2RW} \text{ raydan ve derece cinsinden ise} \quad (5.16)$$

$$\alpha_k = \frac{28,65(TF - WGC)}{RW} \text{ derece bulunur.} \quad (5.17)$$

g. 89 mm Dış çapın üzerinde – yuvarlak kaynak makaralarında :

$$GW = 2\pi RW \quad (5.18)$$

(5.18) eşitliği (5.11)'de yerine yazılırsa

$$WGC = \frac{2\pi RW - 2\pi RW + S + TF}{\frac{\pi}{2} + 1} \quad (5.19)$$

$$WGC = \frac{S + TF}{2.5708} \quad (5.20)$$

$$WGC = .3890(S + TF) \quad (5.21)$$

h. (TF-WGC) arkının (TF-WGC) kirişine eşit olduğu varsayılarak hesaplama yapıldığında, kılıç açısı α raydan olarak:

$$\alpha_k = \frac{TF - WGC}{2RW} \text{ raydan ve derece cinsinden ise} \quad (5.22)$$

$$\alpha_k = \frac{28,65(TF - WGC)}{RW} \text{ derece bulunur.} \quad (5.23)$$

Eşitlik (5.5) ve (5.23) arasındaki semboller ile Şekil 5.32' de belirtilen semboller;

GF: kılıç makaranın çevresini

RL: alt makara sıkıştırma radyüsünü

RW: kaynak makarası sıkıştırma radyüsünü

TF: kılıç kalınlığını

WGC: sıkıştırma merkezleri arasındaki genişliği

S: sıkıştırma dışı toleransını

GW: kaynaklı borunun çevresini

α_k : kılıç açısını

y: makara flanş açıklığını

ifade etmektedir.

Kılıç kalınlığı, "V" açıklığına göre seçilmiş olmalıdır. Bu seçim aşağıdaki değerlere bağlıdır,

- Son kılıç makarası ile kaynak baskı makarası merkezi arasındaki mesafe
- Tahmin edilen elastik geri şekil değişim miktarı. Bu, malzemenin fiziksel özelliklerine bağlıdır.
- Yan kaynak makaralarının tipi.

Yüksek frekans diğer proseslere göre, örneğin elektrik direnç kaynağı veya gazaltı kaynağı,

daha geniş bir “V” açısı kullanır. Bu yüzden de kılıç kalınlığı TF genellikle daha geniş olur. Yüksek frekans kaynağında diğer proseslere göre daha az metalin ısınması gerekmektedir. Bu yüzden, sıkıştırma dışı toleransı olan S değeri genellikle düşüktür.

Eğer form verme işlemi ve kaynak bölgesi alanı ideal şeklinde olursa ve bant köşeleri kaynak noktasında birbirine paralel şekilde uzanırsa “S” minimize edilebilir. Ancak köşeler birbirine paralel olmazsa ve kaynak “V” si çok uzun olursa daha büyük bir “S” değerine ihtiyaç duyulur. Bunun sebebi ise, uzun kaynak “V” si ve paralel olmayan köşelerde gerekenden daha fazla ısınma ihtiyacının ortaya çıkmasıdır.

Makara flanş açıklığı ürün üzerine iz yapmayacak kadar küçük ama aynı zamanda da gerekli ayarlamaları yapacak kadar da geniş olmalıdır. Bu açıklık miktarı, ürün çapına, et kalınlığına ve ürün malzemesinin fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Büyük y değerlerini kullanmaktansa, küçük y değerlerini kullanmak daha iyidir, çünkü küçük makara çapları ile sıkıştırma yapmak daha kolaydır. Burada küçük makara çaplarının kullanılmasının uygun olduğu durumlar göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 5.11’ de boru anma çapına bağlı olarak, kılıçlı makaranın tasarım hesaplarında bulunan değerler verilmiştir (Nichols, 1994).

Çizelge 5.11 Anma çapına bağlı olarak önerilen kılıç makara tasarım değerleri (Nichols, 1994)

Anma Çapı	Adım 1 RW	Adım 2 TF	Adım 3 S	Adım 4 WGC	Adım 5 RL	Adım 6a GW	Adım 6b GF	Adım 6c GF-GW	Adım 7 α_k	Adım 8 y
19,05	9,37	5,71	1,01	3,02	10,87	59,84	60,85	1,01	8.2	1,01
25,40	12,54	6,35	1,01	3,25	14,17	79,80	80,81	1,01	7.1	1,01
31,75	15,72	6,68	1,01	3,40	17,39	99,74	100,75	1,01	6.0	1,01
38,10	18,89	6,98	1,01	3,53	20,65	119,68	120,69	1,01	5.2	1,01
44,45	22,07	7,31	1,01	3,63	23,87	139,64	140,65	1,01	4.8	1,01
50,80	25,24	7,62	1,01	3,75	27,12	159,58	160,59	1,01	4.4	1,27
63,50	31,59	8,25	1,01	4,01	33,57	199,49	200,59	1,01	3.3	1,27
76,20	37,94	8,89	1,01	4,24	40,05	239,39	240,40	1,01	3.5	1,27
88,90	44,29	10,16	1,01	4,74	46,65	279,27	280,28	1,01	3.5	1,52

5.4 Kaynak Makaraları

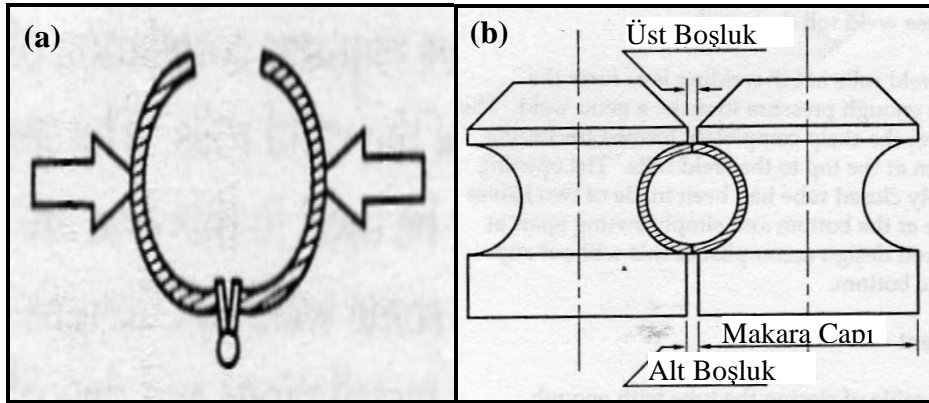
Yüksek frekans kaynağında, kaynak makaralarının tek fonksiyonu, ısınan köşelerde yeterli basıncın oluşarak iyi kaynak yapılabilmesi için kuvvet uygulamaktır.

5.4.1 İki Makaralı Düzenekler

Kaynak makaraları, açık olan boru şeklini kapatabilmek için yeterli basıncın uygulanmasını sağlayabilir özellikte olmalıdır. Bu şekil 5.29-a’ da oklarla gösterildiği üzere, büyük yatay kuvvet bileşenleri gerektirir. Şekil 5.29-b’ de gösterildiği gibi, iki taraflı makaraları kullanmak bu kuvvetlerin elde edilmesinde kullanılan basit bir yöntemdir.

İki makaralı kaynak kutusu oldukça ekonomik bir yapıdır. Sadece tek bir vida ile ayarlama yapılabilir. İkisi beraber hareket edebilir. Bu düzenek yaygın olarak küçük çapta ve ince cidarlı borular için kullanılır. İkili makara konstrüksiyonu önemli bir avantaja sahiptir. Bu avantaj, geliştirilmiş olan düz oval kaynak makarası boyun gövdesi ile bant kenarlarının paralelliğinin garanti altına alınmasıdır.

Bazı koşullar altında ikili makara düzenekleri boru üzerinde istenmeyen işaretlere neden olabilir. Bunun genel nedeni, uygun olmayan form vermeden dolayı, makaraların normal basınçtan daha fazlasını vermek için güç sarf etmesidir. Bu girdap şeklindeki işaretler, daha fazla kaynak basıncı ihtiyacı duyan sert malzemelerde de ortaya çıkabilir. Genellikle kaynak makaralarının yüzey pürüzlülüğü taşlama yapılarak sağlanır ve bu istenmeyen işaretlemeler en aza indirilebilir.



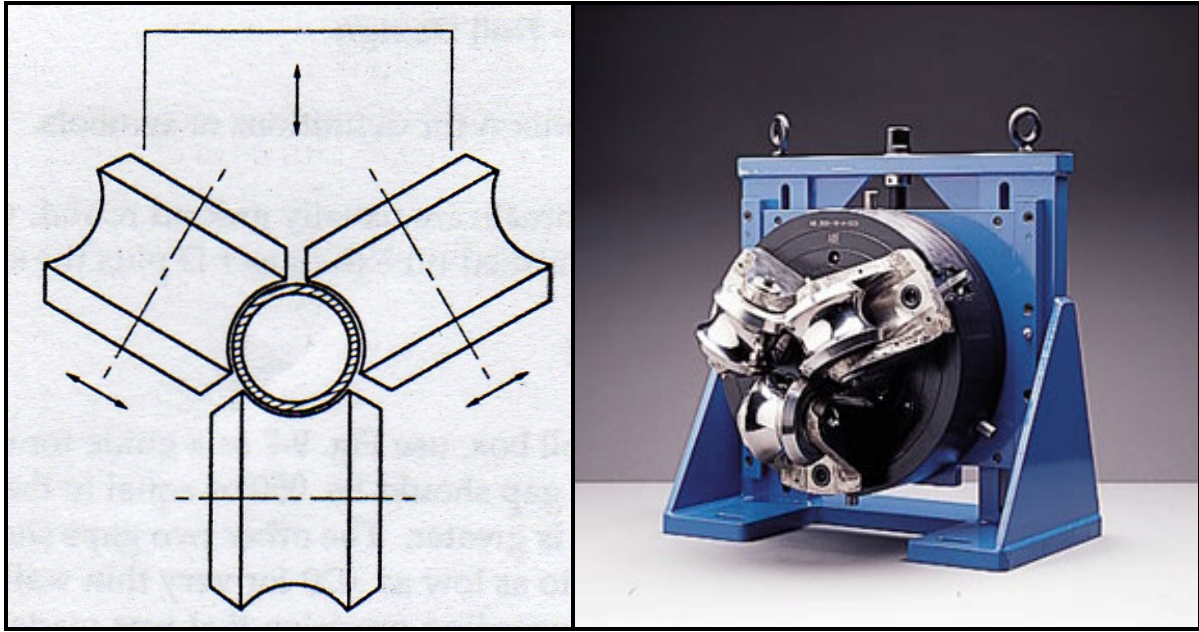
Şekil 5.29 a- İki makaralı kaynak kutusunda basıncı sağlayan yatay kuvvet bileşenleri, b- iki makaralı kaynak kutusunun şematik gösterimi (Nichols, 1994)

5.4.2 Üç Makaralı Düzenekler

Bazı üreticiler, küçük çapta (15 mm – 100 mm arası dış çap değerlerinde) 3 makaralı düzenekleri tercih ederler (Şekil 5.30). Üç ve üzeri kaynak makaralı düzenekleri kullanmanın en büyük avantajı, malzeme yüzeyinde oluşan girdap şeklindeki istenmeyen işaretlerin, hemen hemen tamamıyla ortadan kaldırılmasıdır.

Üçlü makaraların her biri arasındaki açı 120° ' dir. Kaynak makaraları bağlantı demirleri ile üçlü çene kayan mandrele monte edilmiştir. Mandrel vidası ile içeri veya dışarı ayarlaması beraber olarak yapılabilir. Mandrel, sağlam ve ayarlanabilir arka plakaya yerleştirilmiştir. İlk önce üçlü kaynak makaraları ayarlanır ve sabitlenir. Arka plaka dikey olarak ayarlanır ve böylelikle alt makara milin geçeceği hassas yükseklik ölçüsüne ve milin merkezine ayarlanır. Ve daha sonra arka plaka sabitlenir ve bir sonraki makara değişikliğine kadar ayarlanmaya gerek duyulmaz.

Bağlantı demirleri iki üst makarayı tutar. Bu makaralar radyal sürgüler üzerine ayarlanabilir vidalarla monte edilmiştir. Her iki makara da ayrı ayrı ayarlanabilir. Bu ayarlama türü, genellikle üç makaranın çene yardımıyla beraber ayarlanmasını sağlayan duruma bir ilavedir.



Şekil 5.30 Üç kaynak makaralı düzeneğin şematik ve perspektif gösterimi (Nichols, 1994; www.roll-kraft.com)

5.4.3 Dört Makaralı Düzenekler

Dört makaralı düzenek biçimi Şekil 5.31' de gösterilmiştir. Bu düzenekler fonksiyonellik olarak, iki makaralı düzenekler gibi çalışırlar. Yan taraftaki makaralar yatay kaynak gücü oluşturmak için çaba gösterirler, üst taraftaki makaralar (yana yatmış makaralar) ise öncelikle köşelerin birbiriyle olan ilişkisini sürdürmesi içindir. Dörtlü makara kutusu, düzgün bir şekilde ayarlandığı zaman, üst kısımdaki makaralar genellikle hafifçe yüklenir. Bunlar ya çok

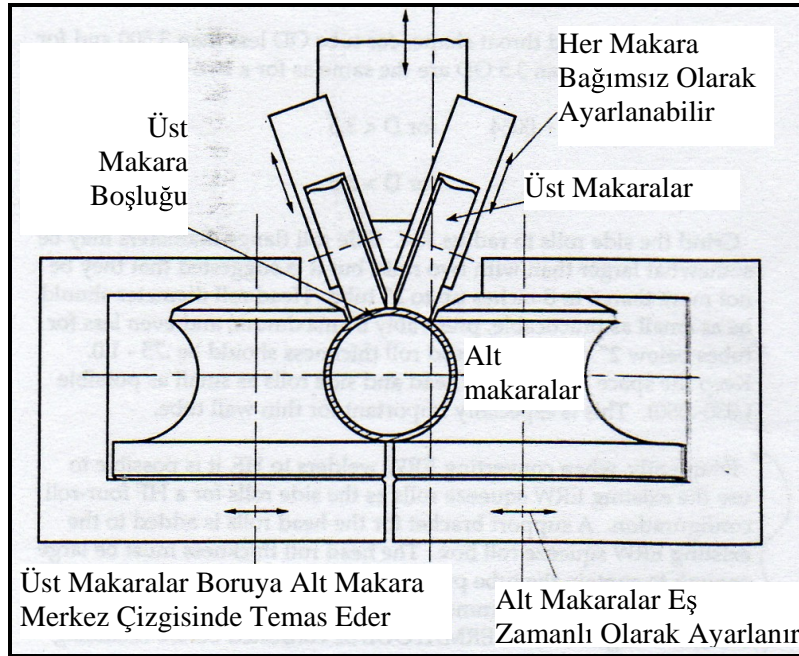
az form verir veya vermez. Esasen, köşelere kılavuzluk ederler ve yan taraftaki makaraların basıncından ötürü borunun dışarıya doğru gerçekleşecek hareketinin önüne geçerler.

Dört makaralı düzenekler, genellikle geniş çapta ve kalın cidarlı boru ve profil imalatı için kullanılırlar. Makara kenarlarının aşınmasını azaltma ve girdap şeklindeki istenmeyen işaretlerin oluşma eğilimini azaltma konusunda büyük avantajlara sahiptir.

5.4.4 Düzenek Seçimi

Seçim işleminde ürünün dış çapına ve et kalınlığına bağlı olarak üçlü kaynak makarasının kullanılmasının yeterli olacağı bir aralık vardır. Bununla birlikte geniş dış çaplı ve kalın cidarlı boru ve profiller için dört makaralı bir kutunun kullanılması tavsiye edilir.

Ufak ebatlardaki ürünler için, girdap şeklindeki izlerden kurtulmak önemlilik arz ediyorsa, üçlü kaynak makarası kullanılması tavsiye edilir. Ekonomik etmenler ve operatörün tercihi de seçim faktörü olabilir. Bazı operatörler daha az ayar işlemi olmasından memnun olurlar (iki makaralı kutularda olduğu gibi), bir diğer kısmı ise detaylı kaynak makarası kutuları ile ekstra kontrole ulaşabilmeyi isterler.



Şekil 5.31 Dört kaynak makaralı düzeneğin şematik gösterimi (Nichols, 1994)

Şekil 5.32' de yumuşak çelikler için dış çap ve et kalınlığına bağlı olarak en çok kullanılan kaynak makaraları biçimleri verilmiştir. Kaynak makaralarının ürünü tam olarak çevrelemesi de bir diğer tasarım kriteridir. İki makara arasındaki boşluk mümkün olduğunca az olmalıdır,

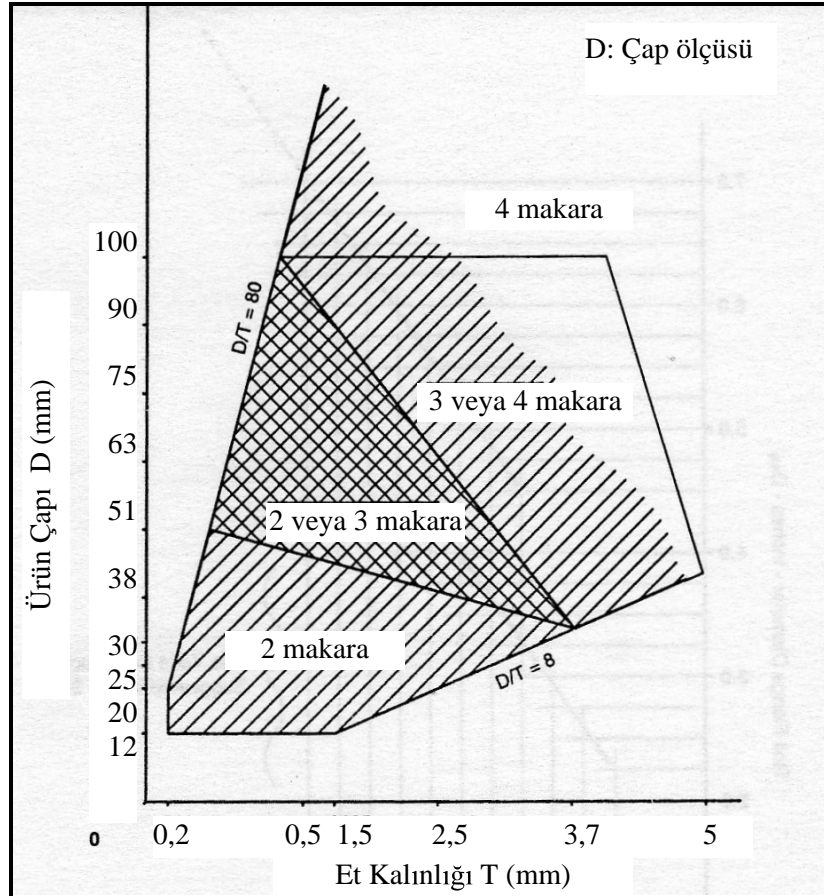
bu mesafe özellikle de ince cidarlı borularda daha da az olmalıdır. Bu sayede borulardaki şişkinlik ve çizgilerden kaçınılır.

5.4.5 Kaynak Makara Malzemesi

Çelik profil ve borular için sertleştirilmiş çelik kaynak makaraları tavsiye edilir. Genellikle takım çeliği kullanılır. Demirdışı, örneğin alüminyum gibi boru ve profiller kaynak edilirken sert bronz makaralar önerilir. Bunun nedeni, Demirdışı malzemelerin yüksek amper değerlerinde temas yerlerinde ve “V” noktasında düşük direnç göstermesidir. Kaynak makaraları, doğru ve uygun soğutma ile uzun ömürde kullanılırlar.

Sertleştirilmiş çelik makaralar demirdışı profillerde kullanılabilir ancak ekstra güç kaybı ve aşırı ısınma oluşur. Bazen, bunun neticesinde flanş kenarlarının üstünde çatlaklar bile oluşabilir. Yeterli soğutma da problemi gideremeyebilir.

Seramik malzemelerde yaşanan gelişmeler neticesinde, yumuşak demirdışı malzemeler için seramik makaraların kullanımı da yaygın hale gelmiştir.



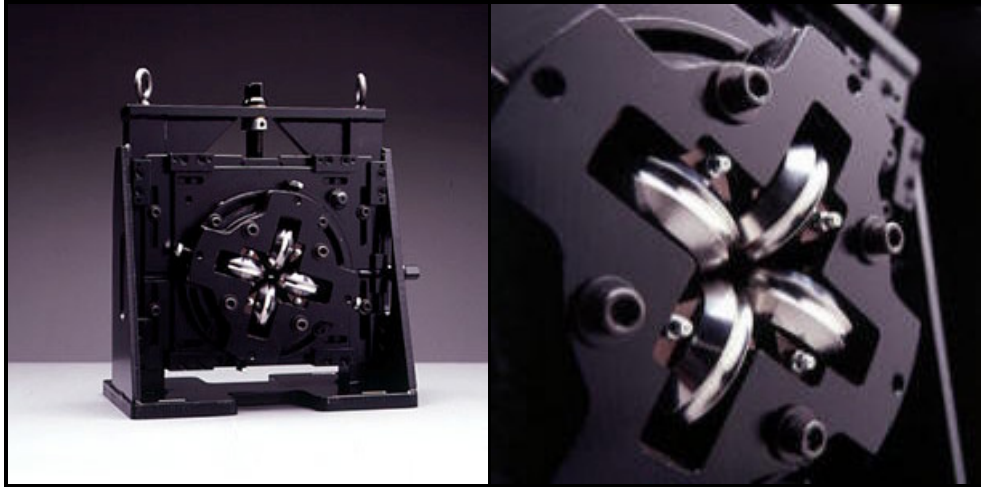
Şekil 5.32 Yumuşak çelik boru ve profillerde boyut - kaynak makara düzeneği ilişkisi (Nichols, 1994)

5.4.6 Kaynak Makara Soğutması

Kaynak makaraları genellikle akışın alt tarafındaki yüzeyler (kaynak noktasından uzaktaki tarafta bulunan yüzeyler) üzerindeki makinenin püskürtme soğutma sistemi ile soğutulurlar. Düzenli soğutma termal gerilmeleri azaltır ve çatlakların önüne geçer. Makine soğutma sisteminin kaynak bölgesine akışı kesinlikle önerilmez. Birçok durumda kaynak makaraları, kaynak bölgesinde aşırı soğutma olmadan yeterli miktarda soğutulur (Nichols, 1994)..

5.5 Kalibre Makaraları ve Türkkafaları

Kalibrasyon makaraları, kaynaklanan borunun çok hassas toleranslar içinde son kalibrasyon işleminin yapılmasını sağlar. Türkkafaları ise yuvarlak haldeki boruyu dörtgen, elips, oval veya özel şekilli halde yeniden şekillendirilmesini sağlar. Şekil 5.33' te türkkafalarına ait perspektif görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.33 Türkkafalarının perspektif gösterimi (www.roll-kraft.com)

5.5.1 Yuvarlak Borunun Kare ve Dikdörtgen Profile Dönüştürülmesi

Profiller çok çeşitli malzemelerden (soğuk haddelenmiş sac, paslanmaz çelik, alüminyum, titanyum v.b.), çeşitli boyutlarda ve et kalınlıklarında bir hat boyunca imal edilirler. Bununla birlikte, form verme parametrelerini (köşe radyüsü, boyut toleransları) kontrol etmek her zaman çok kolay değildir. Bunun sebebi farklı malzemelerin ve farklı et kalınlığı/ boyut oranının kullanılmasıdır. Gelişmiş takım tasarımını kullanmakla birlikte, ki bu genellikle malzeme deformasyonunu bulurken nümerik analiz yapılmasına dayanır, bu tarz problemler elimine edilebilir ve takım performansı geliştirilerek yüksek kalitede kare ve dikdörtgen şekilli profiller imal edilebilir.

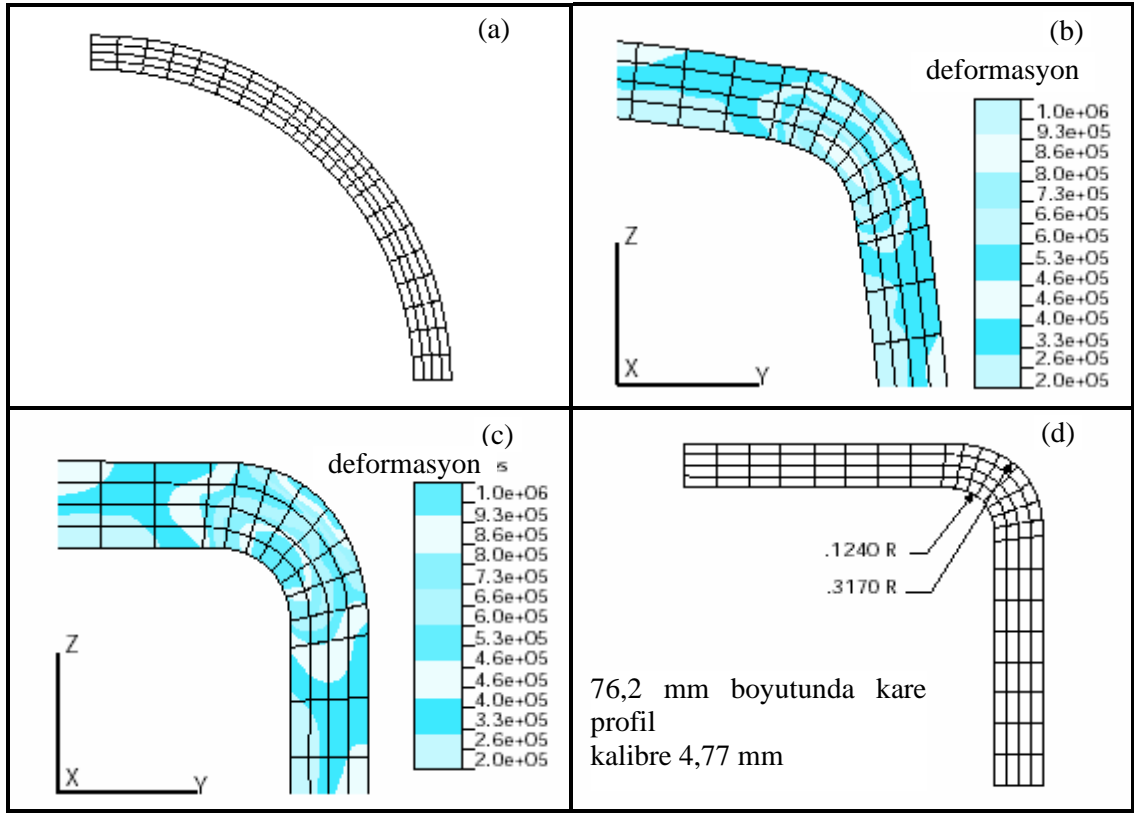
Türk kafalarının tasarımında iki parametre tanımlanmış olmalıdır. Bunlardan birincisi profili üretebilmek için gerekli olan dairesel borumuzun çapının ne kadar olacağı, ikincisi ise her form verme ünitesindeki malzeme deformasyonunun ne kadar olacağıdır.

Borunun yeniden şekillendirilmesinde, dairesel büzülmenin ve kesit alanda meydana gelecek azalmanın hesaba katılması gerekir. Teorik olarak, dairesel borunun çevresi kare veya dikdörtgen profilin çevresine yeniden şekillendirme esnasında oluşacak büzülmenin (ençekme) ilave edildiği duruma eşittir. Malzeme büzülmesi genellikle profil köşelerinde meydana gelir. Malzeme deformasyonunun analizi, büzülme miktarının hesaplanmasına ve gerekli olan dairesel boru çevresini bulmamıza yardımcı olacaktır. Ancak malzeme deformasyonunun karmaşıklığından (eğilmeden kaynaklanan deformasyon, sıkıştırmadan kaynaklanan deformasyon, doğrusal olmayan deformasyon ve yüzey sürtünmesi) dolayı analitik bir çözüm olmayacaktır. Büzülme miktarının hesaplanmasında nümerik simülasyonun kullanılması pratik bir çözüm yöntemi olacaktır.

Sonlu eleman yöntemi, birçok form verme işleminde başarıyla kullanılmıştır. Bu işlemlerde malzemenin akması hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Şekil 5.34-a' da dairesel bir borunun kare şeklindeki bir profil haline getirilmesindeki sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Burada sadece en kesitte meydana gelen deformasyonun dikkate alındığını ve profil görüntüsünün çeyreğinin verildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 5.34-b ve Şekil 5.34-c' de yeniden şekillendirme prosesindeki iki farklı adımdaki gerilim (uzama) dağılımları gösterilmiştir. Profilin son köşe radyüsü bu sonuçların analiz edilmesiyle oluşturulabilir. Şekil 5.34-d' deki model ise yeniden şekillendirilmiş ve son halini almış profilin köşe radyüs değerlerini göstermektedir. Şekil 5.34-b ve Şekil 5.34-c deformasyonun profil köşelerinde odaklandığını göstermektedir. Bu çizimden de anlaşılacağı gibi büzülme en çok profil köşelerinde meydana gelir. Bunun sonucunda, profil boyutunun ve kalibre miktarının artırılmasıyla, köşelerde odaklanan gerilimin artacağı görülür. Eğer dairesel boru çok büyük ise gerekli olmayan miktarda deformasyon oluşacak ve yüzeyde istenmeyen işaretler ortaya çıkacaktır. Zıttı olarak dairesel boru çok küçük olursa böyle bir durumda da istenen profil radyüs boyutu sağlanamayacaktır.

Bazı faktörler malzemenin deformasyonunu etkileyebilir. Bunlar, takım tasarımı, tezgah ayarları, yüzey finiş işlemleri ve bant genişliğidir. Dairesel borunun çapı belirlenmeden önce, bu faktörlerin dikkate alınması gerekir. Yaygın olarak kullanılan uygulamalardan biri de aynı set takımlarla farklı kalibrede malzemenin yeniden şekillendirilmesinin yapılmasıdır. Malzeme kalibre değeri arttıkça köşe radyüs değerinde de artma olacaktır. Böyle durumlarda,

aynı köşe radyüsünü elde etmek için dairesel borunun çapının azaltılması gerekir.



Şekil 5.34 a- kare profilin sonlu eleman modelinin gösterilmesi, b- toplam form vermenin % 75' inde oluşan gerilim dağılımı, c- toplam form vermenin % 100' ünde oluşan gerilim dağılımı, d- köşe radyüsünün ölçülendirilmesi (Wen, 2005a)

Farklı takımlandırma ve tezgah ayarlamaları, yeniden şekillendirmede farklı aksenal kuvvetler oluşturur. Basınca bağlı yeniden şekillendirmede, çekmeye bağlı yeniden şekillendirmedekine göre daha küçük bir köşe oluşur. Her ayarda aynı köşe radyüsünü elde etmek için, dairesel boru çapını azaltmak gerekir.

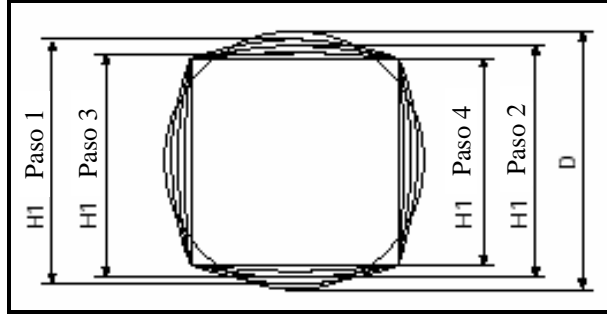
Profil ile takım arasındaki yüzey sürtünmeleri de önemlidir. İyi bir finiş yüzeyi elde etmek için, takımın malzemenin akışını sağlayacak düşük bir yüzey sürtünme değeri üretmesi gerekir. Bunun sonucunda, yüksek sürtünme kuvvetlerinde düşük çaplı dairesel boru ihtiyacı ortaya çıkar.

Dairesel borunun çapı hesaplandıktan sonra, her pasoda ne kadar şekillendirmenin yapılacağı hesaplanmalıdır. Genellikle ilk birkaç geçişte şekillendirme tamamlanır. Şekil 5.35 dikkate alındığında, H_{PY} yeniden şekillendirilen profil yüksekliğini, D dairesel borunun dış çapını, N ise dairesel borunun profil haline dönüşebilmesi için gerekli olan paso miktarını gösterdiği varsayılırsa, her i . pasodaki yükseklik şu şekilde hesaplanabilir.

$$H_{PYi} = \frac{D}{K^i} \quad (5.24)$$

burada K deformasyon oranını ifade etmektedir.

$$K = \left(\frac{D}{H_{PY}} \right)^{\frac{1}{N}} \quad (5.25)$$



Şekil 5.35 Dairesel borunun kare profil haline dönüştürülmesi (Wen, 2005a)

Örneğin, 63,5 mm çapındaki bir boruyu 50,8 mm' lik bir profile 4 pasoda dönüştürmek için;

$D= 63,5$, $H_p=50,8$ $N=4$ ve $K=1,0574$ ise

$H_{PY1}= 60,05322$, $H_{PY2} = 56,79186$, $H_{PY3} = 53,63464$, $H_{PY4} = 50,8$ bulunur.

Formül ve hesaplamalar sayesinde, profil kesit yüksekliğinin her pasodaki yüksekliği rahatlıkla görülebilir. Çoğu boru üretici firma, aynı zamanda kare ve dikdörtgen profili de üretmektedir. Bu profil tezgahları genellikle iki tip makara standına (dikey sürücü geçişler ve yatay boş geçişler) sahiptir. Teorik olarak yeniden şekillendirme her pasoda sadece tek yönde gerçekleştirilir ve böylelikle H_{PY} değeri her geçiş için hesaplanabilir.

İnce et kalınlıklı yüksek gerilimli profillerde, H_{PY} değerindeki azaltma daha yüksek tutulabilir, ancak kalın ve yüksek gerilimli profillerde bu değer daha düşük tutulmalıdır. Bu değer düşük tutulması sayesinde, köşe kısımlardaki malzemenin form verme zorlukları giderilmiş olur. H_{PY} değerinin azaltılmasıyla birlikte, yüzey kalitesinde de artış görülür.

Form verme prosesi boyunca, profilin kesit alanında değişiklik olur. Profil uzunluğu da değişir. Değişim uzunluğu kesit alanındaki değişime bağlı olarak hesaplanabilir. Form vermede karşılaşılan en önemli problemlerden biri yüzey kusurlarıdır. Özellikle de çok ince ve kalın cidarlı profiller için bu durum geçerlidir. İnce cidarlı profil oluşturulurken, profil ve takımlar arasındaki sürtünme ve basınç kuvvetlerinin artmasıyla, ön form verme işleminden

daha fazla bir geri elastik şekil değiştirme ortaya çıkar.

Kalın cidarlı profiller oluşturulurken köşe kısımdaki direnç artar ve profil ile takım arasındaki yüksek basınçtan ve sürtünmeden dolayı istenmeyen yüzey işareti oluşur.

Tezgah ayarları da yeniden şekillendirme işleminde önemli bir rol oynar. İstenilen kesitteki profili elde etmek için tezgah ayarlarında değişiklik yapmak çoğu zaman takım tasarımını değiştirmekten veya yeniden takımlandırma yapmaktan daha kolaydır. Tezgah ayarlarını farklı çaptaki dairesel boru elde edecek şekilde ayarlanması ile farklı köşe radyüsünde nihai ürünler elde edilebilir. Aynı zamanda her pasodaki iş miktarını azaltmak yüzeyde oluşacak istenmeyen işareti ortadan kaldırır (Wen, 2005a).

5.6 Makara Tipleri ve Malzemeleri

Her üretim dalında olduğu gibi, boru ve profil üretiminde de en önemli amaç üretim maliyetlerini azaltarak kârlılığı arttırmaktır. Boru ve profil endüstrisinde bu amaca, üretim öncesindeki doğru takımlandırma seçimi ile ulaşılır. Bu şekilde takım ömrü uzatılır, makine verimliliği artar ve arıza maliyetleri azalır.

Boru ve profil oluştururken üç ana makara çeşidi kullanılır. Bunlar yek pare, ayrılabilir ve tungsten karpit tip makaralardır. Bu üç tip makara, ilk maliyet, yeniden işleme maliyeti ve arıza maliyeti olarak, toplam maliyetlerde birbirinden farklılık gösterir (Wen, 2005b).

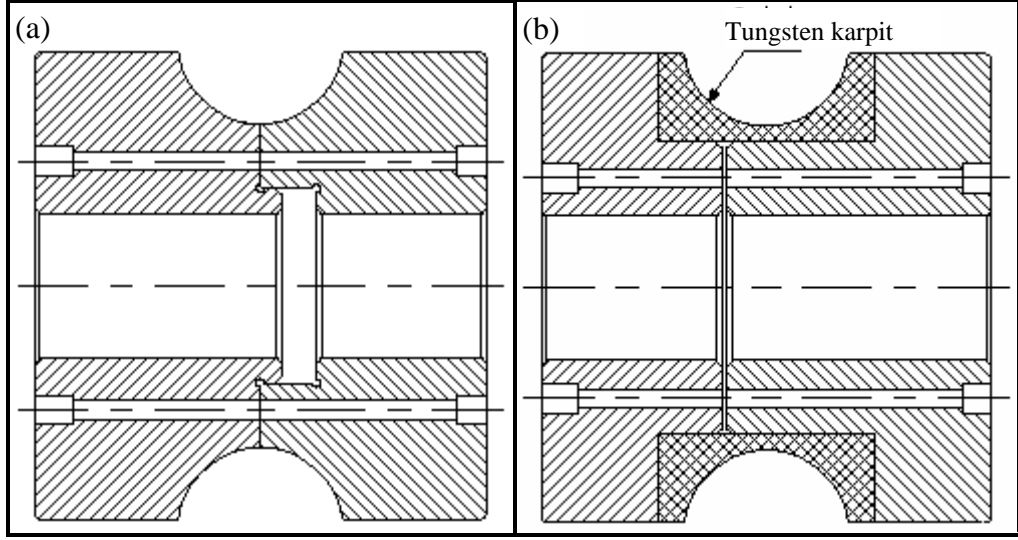
5.6.1 Yekpare Makaralar

Yekpare tip makaralar, boru ve profil oluşturmada en yaygın olarak kullanılan makara tipidir. Tek parça olarak oluşturulmuş tasarımı sayesinde, ilk maliyetinde ve konstrüksiyonunda büyük avantaj sağlar. Yekpare makaralarının tercih edilmesinin nedenleri sadece bunlar değildir. Küçük çaplı boru ve profil üretiminde, yüksek tahrik kuvvetleri ile makine verimliliğini artırır. Ayrıca makine özelliklerine bağlı olarak, dikey merkez mesafesi, makara boşluğu gibi sınırlayıcı parametrelerin, küçük makaraların kullanılmasını zorunlu kıldığı hallerde yekpare makaralar tercih edilir. Son olarak sınırlı miktarda üretimin istendiği durumlarda daha ekonomik olan yakpare makaraların kullanılması avantajlıdır. Yekpare makaraların kullanılmasının en önemli dezavantajı yeniden işleme maliyetleridir. Makine ayarlamaları, yeniden işleme maliyetlerinin içindedir.

5.6.2 Ayrılabilir Tip Makaralar

Bu tip makaralar iki parçalıdır. Bu parçalar, birbirine cıvata ile bağlanır ve ayrılabilir

makaralar yek pare makara izlenimi verir (Şekil 5.36-a). Bu tip makaralar aynı tipteki boru veya profili üreten yekpare makara tiplerine göre daha geniştir. Bunun nedeni, makine üzerinde daha geniş flanşlardan kaynaklanan makara boşluğu ihtiyacıdır.



Şekil 5.36 a- Ayrılabilir tip makara, b- Tungsten karpit tip makara (Wen, 2005b)

Ayrılabilir bir makara yeniden işlendiği zaman, orijinal çap değeri ve genişliğe bağlı olarak çap değeri azalır. Ancak bunun sonucunda, makine ayarları etkilenmez, makine ve üretim hızı azalmaz. Arıza maliyeti ise yekpare tip makaraya göre daha azdır. Makine üzerinde, makara genişlik azalmasına bağlı olarak oluşacak ayar ihtiyacı için boşluk bırakmak yeterli olacaktır. Böylelikle yek pare makaralara göre çok önemli bir avantaj sağlanmış olur.

Bu tip makaraların kullanılmasının en büyük dezavantajı ise maliyetli olmasıdır. Özellikle küçük miktarda üretim yapılması söz konusu ise tercih edilmemesi önerilir. İlk yatırım ve yeniden işleme maliyetleri, klasik tasarımlı yekpare tip makaralara göre birkaç kat daha fazladır. Bunun yanında, kullanım ömrü açısından maliyet miktarı yekpare tip makaralara göre daha azdır (Wen, 2005b).

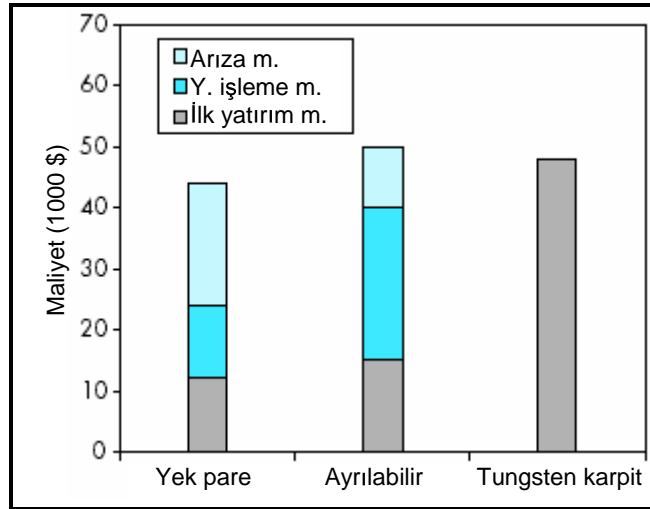
5.6.3 Tungsten Karpit Tip Makaralar

Tungsten karpit tip makaralar, ayrılabilir çelik tip makaraların çalışma alanı içersine karpit şeklindeki parçaların yerleştirilmesi ile elde edilir (Şekil 5.36-b). Tungsten karpit yerleştirimi, bu makara tipini, ilk maliyet açısından en fazla maliyete sahip makara tipi yapmaktadır. Ancak büyük miktarlardaki üretim koşulunda, uzun ömürlülüğü ile en önemli avantajı da beraberinde getirir. Takım çeliklerinden imal bir makaraya göre 15-20 kat daha dayanıklıdır. Çelik makaralar, zamanla yeniden işleme ihtiyacı doğururken, tungsten karpit tip makaralar

orijinal yapısını uzun süre korumaktadır. Diğer tip makaralarla karşılaştırıldığında, bir diğer büyük avantajı da takım ömrü süresince hassas tolerans değerlerinde çalışabilmesidir. Bunun yanında tungsten karpit tip makaralardaki sürtünme katsayısı çeliklere oranla daha düşüktür. Böylece nihai ürünün kalitesi ölçüsel ve yüzeysel olarak geliştirilmiş olunur.

5.6.4 Toplam Makara Maliyeti

İlk maliyet tasarıma bağlı olduğundan, tungsten karpit tip makaralar bu üç tip makara arasında en pahalı olanıdır. Ancak toplam maliyeti etkileyen tek unsur ilk maliyet değildir. İlk maliyetin yanı sıra yeniden işleme ve arıza maliyetleri de önemlidir. İlk yatırım maliyeti açısından ayrılabilir makaralar yek pare tip makaralara göre % 33 daha pahalıdır. Buna rağmen, yekpare tip makaralar, değiştirilmeden önce, makinenin biçimine bağlı olarak ortalama 3 kere yeniden işlenebilir. Oysaki ayrılabilir tip makaralar, değiştirilmeden önce, en az 15 kere yeniden işlenebilir. Böyle bir durumda, bir takım ayrılabilir tip makara seti kullanım ömrü açısından beş takım yekpare tip makaraya eşit olacaktır.



Şekil 5.37 Makara tasarımına bağlı olarak ayrıntılı makara maliyetinin gösterilmesi (Wen, 2005b)

Tungsten karpit tip makaraların ilk yatırım maliyeti, yekpare tip makaralara göre 4 kat daha fazla olmasına rağmen, yeniden işleme ve arıza maliyeti olmadığından çok büyük avantajları beraberinde getirir. Şekil 5.37’ de bu üç tip makara için maliyetlerin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Arıza maliyetleri de toplam maliyetler hesaplanırken dikkate alınması gereken bir unsurdur. Yekpare tip makaraların bu maliyet giderindeki miktarı ayrılabilir tiplere göre 2 kat daha

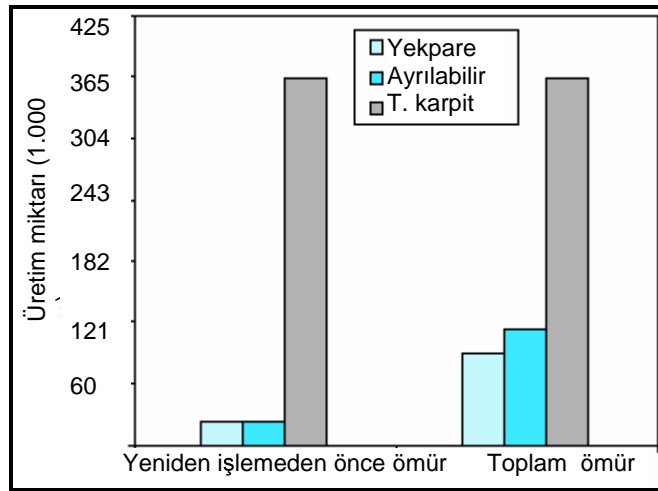
fazladır. Arıza maliyeti ve ilk maliyet beraber olarak değerlendirildiğinde ayrılabilir tip makaralar, yekpare tip makaralara yaklaşık % 20'lik bir avantaj sağlar (Wen, 2005b).

5.6.5 Makara Ömrü

Makara ömrü, makaraların ilk çalışmaya başladığı andan, yeniden işleme veya değiştirilme zamanına kadar üretmiş olduğu ürün ölçülerek hesaplanır. Makara malzemesi, makara tasarımı ve üretimi yapılan malzemenin bazı mekanik özellikleri, makara ömrünü etkiler. Şekil 5.38' de makara tasarımlarına bağlı olarak takım ömrü verilmiştir.

Şekil 5.38' den de görüleceği gibi en yüksek makara ömrünü tungsten karpit makara tipi sağlamaktadır. Bunun yanında ayrılabilir tip makaralar, yeniden işleme yapılmadan hemen hemen yekpare tip makaralarla aynı ömrü gösterirken, yeniden işleme neticesinde yekpare tip makaralardan daha uzun süre kullanılabilir.

Verimlilik, metre başına maliyet olarak alındığında, tungsten karpit makaraların diğer tip makaralara göre yaklaşık olarak 5-6 kat verimli olduğu göze çarpar. Özellikle yüksek metrajlarda üretim yapılacaksa metre başına önemli bir maliyet avantajı sağlayan tungsten karpit makaralar tercih edilmelidir.



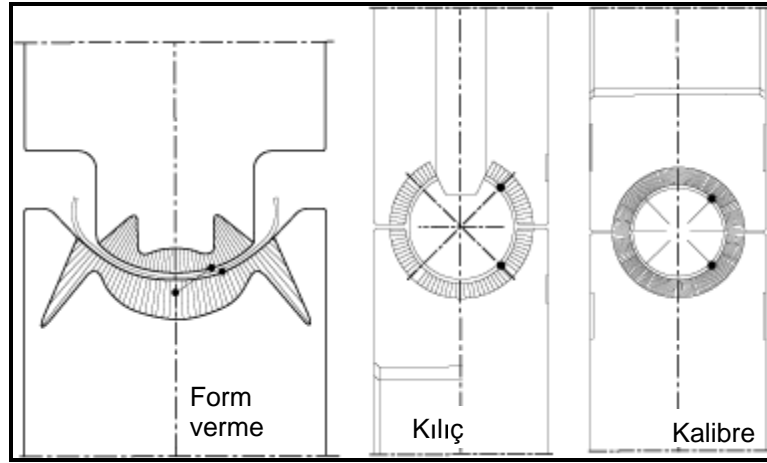
Şekil 5.38 Makara tasarımına bağlı olarak makara ömrünün gösterilmesi (Wen, 2005b)

Üretici firmalar genellikle tek tip makara kullanmaktansa, değişik makara kombinasyonlarını tercih etmektedir. Örneğin kılıçlı makara ve kalibre veya türk kafaları bölümünde ayrılabilir tip makaralar kullanılırken, makinenin geri kalanında yekpare tip makara kullanılabilir (Wen, 2005b).

5.7 Profil Oluşturmada Makaralardaki Gerilimin İncelenmesi

Profil ve boru makaraları düz değildirler, hepsinin bir profil derinliği vardır. Makaralar dakikadaki devir miktarına bağlı olarak dönerken, yüzey hızı makara profili üzerindeki çeşitli noktalarda farklılık gösterir. Yüzey hızı çapın en küçük olduğu yerde yani merkezde en küçük, çapın en büyük olduğu yerde yani kenarda ise en büyüktür. Ancak, şeridin hızı tüm noktalarda aynıdır. Böylece, makara yüzey hızı profilin hızına sadece bir spesifik noktada eşit olur. Bu nokta tahrik noktası olarak adlandırılır.

Form verme, kılıç ve kalibre makaraları için yaklaşık tahrik noktası Şekil 5.39' da gösterilmiştir.



Şekil 5.39 Makara tahrik noktasının form verme, kılıç ve kalibre pasolarındaki gösterimi (Li ve Focht, 2005)

Alt form verme makaralarının tahrik noktası çapı genellikle merkez çapından daha büyüktür. Bununla birlikte, üst form verme makaralarının tahrik çapı merkez çapından daha küçüktür. Kılıç ve kalibre makaralarında tahrik noktası çapları 45° civarında konumlanmıştır. Makara yüzey hızının profil hızından yüksek olduğu yerde, tahrik noktası, ileri kayma bölgesi olarak adlandırılır. Makara yüzey hızının profil hızından düşük olduğu yerde tahrik noktası, geri kayma bölgesi olarak adlandırılır.

İleri kayma bölgesi, bir ilerletme kuvveti sağlar. Bu, profilin ileri çekilmesine neden olur. Bu noktada ileri kayma bölgesinin ilerletme kuvveti geri kayma bölgesindeki ilerletme kuvvetini yener.

Bütün hareketli makaralar profili hareket ettirmez. Bazı hareketli makaralar profilin geri çekilmesine neden olur. Bu durum geri kayma bölgesinin, ileri kayma bölgesinden daha büyük olduğu zamanlarda meydana gelir.

Genellikle form verme bölümündeki üst makaralar tahriksiz olabilir. Bu makine yapım maliyetini de azaltır. Ancak bazı durumlarda şeritteki gerilimi uygun değerlerde tutmak için üst makaralar tahrikli yapılır.

İleri ve geri kayma bölgelerine ilave olarak, makara üzerindeki temas basınç dağılımı makaranın ilerletme kuvvetini etkiler.

Temas basınç dağılımı genellikle kılıç makaralar ve kalibre makaralarında üniformdur. Ancak, form verme makaralarında üniform değildir. Temas basıncı, sadece şerit ve rulo tasarımına bağlı değildir. Aynı zamanda ayarlama ile de ilgilidir. Eğer operatör üst makarayı daha fazla bastırırsa, merkez basıncı artacaktır. Zıttı olarak, köşe basıncı sadece şerit ve makara tasarımına bağlıdır (Li ve Focht, 2005).

5.7.1 Makaralardaki Gerilimin Dağılımı

Gerilme, form verme makaralarında 1 nolu bölümden 6 nolu bölüme kadar artar. Kılıç makaralarda ise giderek azalır. Kaynak grubunda çok önemli bir değişim olmazken, kaynak sonrasında kalibre bölümünde birden artış gösterir. Gerilim dağılımı ile ilgili olarak Şekil 5.40' tan daha ayrıntılı bilgi çıkarılabilir.

Gerilim dağılımı üç bölüme ayrılabilir:

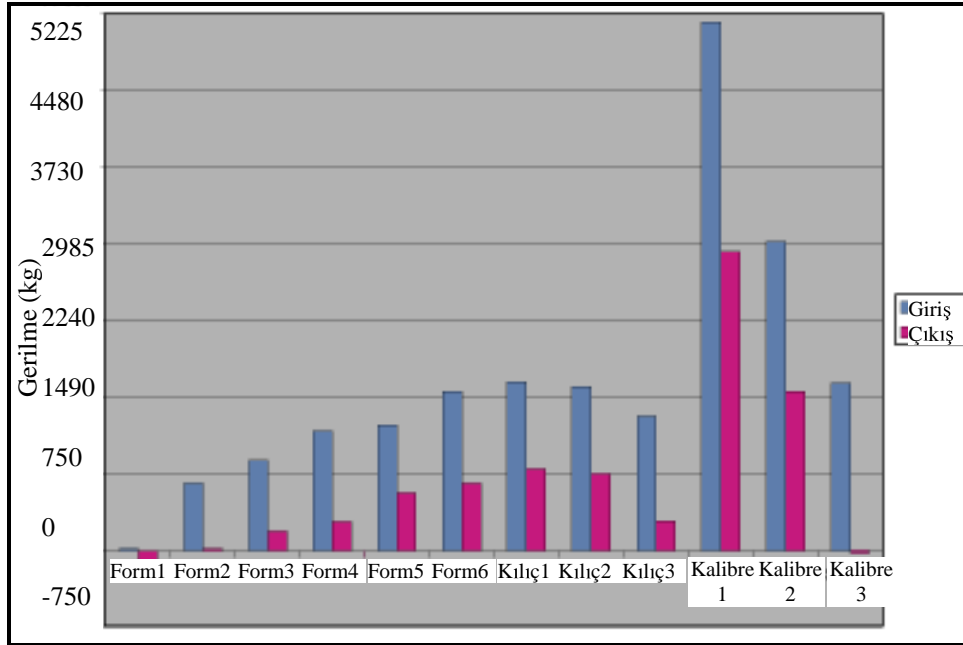
1.Kalibre Bölümü; bu bölüm kaynak makaraları, kalibre yan taraf ve tahrik makaralarını ve türk kafası makaralarını kapsar. Profil türk kafalarından itilerek çıkarılmak zorundadır, bundan dolayı bu makaralardan önce gerilim negatif olacaktır. Genellikle bu bir problem teşkil etmez. Buradaki kritik faktör, kalibre bölümü makaralarının, kaynak makaralarından profili çekerken kılıç makara bölümünden herhangi bir destek almadan işlemi gerçekleştirmesidir. Eğer bu böyle olursa, kaynak makaralarından önceki gerilim pozitif olur.

Kaynak makaralarından önceki pozitif gerilim yuvarlak boru üretiminde genellikle problem teşkil etmez. Ancak kare, dikdörtgen veya özel şekilli profil oluşturmada yeniden şekillendirme boyunca problem yaratabilir.

2.Kılıç Makara Bölümü: bu bölüm yan taraftaki sıkıştırma makaraları ile kılıç paso makaralarını kapsar. Kılıç paso makara tasarımı, profilin sıkıştırma makaralarından çekilmesi sırasında form verme bölümünden herhangi bir destek görmeden işlemi gerçekleştirecek şekilde yapılmalıdır.

3.Form Verme Bölümü: Sürücü bölümler yan taraftaki makaraların direncini

dengeleyebilmelidir. Kılıç ve kalibre bölümlerinden farklı olarak, form verme bölümü profili çok az bir miktar geri çekmelidir, bu şekilde ilk sıkıştırma makarasından önce pozitif bir gerilim oluşturulur. Eğer form verme bölümünden sonraki sıkıştırma bölümüne negatif bir gerilme ile geçiş söz konusu olursa, bu, proseste güçlük yaratır.



Şekil 5.40 Gerilim dağılımının makaralara göre gösterimi (Li ve Focht, 2005)

5.7.2 Makine Ayarlarının Gerilim Üzerindeki Önemi

İyi bir ayarlama düzgün profil üretiminde oldukça önemlidir.

Ekstra direncin oluşmaması için, alt hattın düz olması gerekmektedir. Tahrik milleri düzgün olarak hizalanmalıdır. Eğer üst ve alt makaraların tahrik milleri hizalanması düzgün olmazsa, temas basınç dağılımı tek bir noktaya yönelme eğilimi gösterecektir. Bu da tahriki etkileyerek profilin bir yöne dönmesine neden olacaktır.

Boşluklar doğru bir şekilde verilmelidir. Normal bir ayarlama, form verme tahrik makaralarına malzeme kalınlığı kadar boşluk verilmelidir. Bu işlem yapıldıktan sonra yan taraftaki makaralara gerekli boşluğun verilmesi işlemi ayar tablosundan bakılarak yapılır. Kalibre bölümünde verilecek boşluklar için de aynı işlem gerçekleştirilir. Kılıçlı makaraların ayarı ise, malzeme ölçüsüne de bağlıdır. Değişik bir ölçüde üretime geçildiğinde, ayar tablosunun dışında operatör tarafından kılıç makaralara hassas ayar da yapılmalıdır.

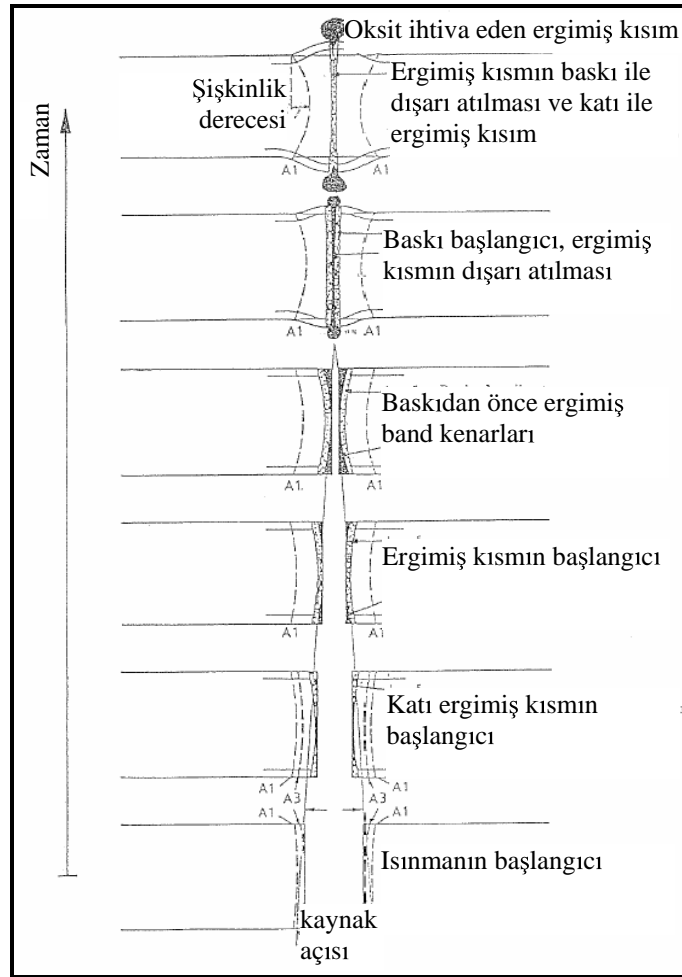
Form verme, kılıç ve kalibre makara motorlarının bağlı hız oranları belirlenmelidir. Kalibre bölümünün motor hızı, kılıç bölümüne göre %2 ile %5 arasında daha hızlı olmalıdır. Form

verme motorunun hızı ise kılıç makara motorunun hızına eşit veya %0,5 ile %1 arasında daha yavaş olmalıdır (Li ve Focht, 2005).

6. YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI İLE BORUDAN PROFİL OLUŞTURMADA OLASI KAYNAK HATALARI

6.1 Kaynak Dikişinin Oluşumu

Yüksek frekans kaynağının oluşumu Şekil 6.1’ de gösterilmektedir. Bant kenarlarındaki % 100 erimiş bölge; baskı ile tamamen dışarıya atılmakta olup kenarların birleşimi katı-sıvı fazında oluşmaktadır. Bu katı-sıvı fazındaki katı kısım, peritektik reaksiyondan dolayı karbon ve diğer elementlerle (Mangan) zenginleştirilmiş olan sıvı kısma nazaran daha az karbon içerir. Kaynak makaraları ile uygulanan baskı ile bu sıvı kısım dışarı atılırken, karbonca fakir katı kısım kalır. Bu nedenle birleşme yüzeyi (kaynak dikişinde) Nikrik asit ve Pikrin asidi ile asitlemeden sonra daima biraz açık renkli veya aynı malzeme rengini gösterirler ki, tavlانmadan önce alkolik nikrik asit ile asitlendikten sonraki kaynak çizgisinin açık rengi, malzeme ile kaynak çizgisi arasındaki tane büyüklüğü farkını gösterir. Kaynak çizgisi içindeki tane büyüklüğü, malzemeninkine nazaran daha küçüktür.



Şekil 6.1 Kaynak dikişinin oluşumu (Şirin, 1997)

6.2 Kaynak Dikişinin Temizliği

Bant kenarlarının ısıtılması ve sıvı haline getirilmesi sırasında atmosfer ile (Oksijen) teması esnasında bant kenarlarında oksitler oluşur. Bu oksitlerin miktarı, malzemenin kimyasal yapısına ve ısınma zamanına bağlıdır.

Oksitler, genellikle sıvı kısımda bulunurlar ve baskı ile tamamen dışarı atılmalıdırlar. Bu oksitlerin oluşumları malzeme içindeki Al-Mn-Si gibi alaşım elemanlarının oranına bağlıdır. Kaynak dikişinin pikrin asidi ile asitlendikten sonra gösterdiği koyu renk, dikişin içinde kalan artıkları ve oksitleri gösterir. Kaynak dikişinin boydan boya koyu renkli olması genellikle alçak kaynak ısısı ile çalışıldığını gösterir. Bu durumda, ergimiş kısım az olduğu için baskı ile oksidi yeteri kadar dışarı atmak mümkün değildir. Bu durumda, kaynağın kırılma özelliği gösterme olasılığı vardır. Bant kenarlarında kalan çapak ve tufallar ergime safhasında kaynak dikişinde oksit oluştururlar (Şirin 1997).

6.3 Elektriksel Problemler

Kaynak akımındaki anlık değişiklikler ve bu yüzden kaynak “V” sinin ısınması birçok varyasyona neden olabilir. Bunlar güç ünitesinde, osilatörde, kontrol sisteminde, makine üzerinde, takımlarda ve profilin kendisinde meydana gelebilir.

Voltajdaki ani değişimler akımda azalmalara neden olacağından, kaynakta soğuk bölgeler oluşabilir.

İmpederden geçen soğutma suyunun azaltılması “curie noktasının” üzerinde ısınmasına neden olur ve böylece gerçekten bir impede gibi çalışmasını engeller. Tıkanmış kanallar ve filtreler, düşük soğutma seviyesi, kötü pompalar, impederin soğutma sistemine bu etkileri yapabilir. Aynı zamanda impederin yanlış tasarımı ve hasar görmesi çok ısınmasına neden olur.

Ön arklar çok kısa bir zaman diliminde ortaya çıkabilir. Ön arklar işini iyi yapan bir operatör tarafından mavi ışımalar şeklinde rahatlıkla görülebilir. Deneyimler “V” bölgesinde meydana gelen mavi ışımaların, ürünün birleşme yüzeyinde metal olmayan şeylerle bağlantısı olduğunu göstermektedir. Burada şüphe götürmez olgu, korelasyonun kolaylıkla ortaya çıkarılabilmesidir ve eğer hatasız malzeme sağlanmış olursa ön arklar elimine edilir.

6.4 Mekanik Problemler

Bir profil makinesi çok büyük ve komplike yapıdadır. Demonte edilebilecek birçok parçayı içerir. Malzemenin tezgahtan geçişi tam olarak üniform değildir. Form verme takımlarının

tasarımı ve tezgahın ayarlanması malzemenin geçişinde aksaklıklara neden olabilir.

Kaynak “V” uzunluğu ve “V” deki bozukluğun miktarı birçok nedene bağlıdır. Dilimlemeden kaynaklanan, dilinmiş haldeki rulonun çevre çeşitliliğinden veya kılıç final pasosu makarasındaki eksantriklikten, ya da diğer makaraların eksantrikliğinden “V” ritmik olarak açılıp kapanabilir. Bu genellikle “V” nin nefes alması şeklinde adlandırılır. Bu etki “V” mesafesini kısaltır veya uzatır. Şeritin daraldığı yerlerde “V” uzun olacaktır ve akım genellikle azalacak, uygunsuzluk olacaktır. Şeritin geniş olduğu yerlerde “V” kısalacak ve akım artacaktır böylelikle ısınma artacak ve sıkışmış kaynak oluşacaktır.

Kaynak makaralarının eksantrikliği de aynı etkiyi yapar. Eğer kaynak makaralarının her ikisi de eksantrik olursa, etki makaralar farklı hızlarda çalışmazsa periyodik düzenlilikte ortaya çıkmayabilir.

Kaynak makaraları, son kılıç paso makarası eksantrikliği ve dikiş genişliği kombinasyonları “v” uzunluğunun nasıl düzensiz olduğunun anlaşılmasını güç hale sokar. Ancak sadece tek bir etki söz konusu olursa sorun kolaylıkla çözülür.

Dikiş kenarının gerilmesi ve sonradan ortaya çıkan kenar eğilmesi “V” de sık rastlanan ve önemli bir durumdur. Bazı özel işler bize dikiş kenarının nasıl gerildiğini ve bunun makinedeki form verme işleminden kaynaklandığını gösterir. Bir kenar gerildiği zaman bunu basınç uygulayarak eski haline getirmek oldukça zordur. Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da, yüksek gerilme dayanımı olan malzemelerin düşük gerilme dayanımlı malzemelere göre “V” de daha fazla eğilme göstermesidir. Bazı hallerde köşe gerilmesi tekrar basınç uygulanarak düzeltilebilir. Bu durumlardan biri de son kılıç paso işlemidir.

Gerilmiş kenar “V” haline gelmek için, son kılıç paso işleminden geçer ve burada köşelerdeki malzeme kalkmak zorundadır. Eğer aşırı gerilme olmuşsa, sivri uçlar ve oyuklar oluşacaktır. Bu sivri uçlar temas elemanları ve “V” geometrisi üzerinde ters etki oluşturacaktır. Bu makaslama da “V” üzerinde değişkenliğe, bu da uygunsuzluk ve ısınmalara sebebiyet verecektir.

“V” deki kenarların ısınması genişlemeye ve bunların eğilmesine sebebiyet verecektir. Buna bir örnek olarak, küçük radyatör borularının kaynağında ortaya çıkan eğilmeler verilebilir.

“V” içindeki çökelmelerde, yabancı malzemelerin kaynak birleşme yüzeyinde birikmesi kaynak hatalarına neden olabilir. Bu yabancı malzemelerin oluşmasının birçok nedeni olabilir. Kaynak prosesinin metal olmayan maddeler üretmesi, kaynak prosesiyle ilişkisi olan diğer

yerlerden bu maddelerin prosese dahil olması olasıdır. Bu dış kaynaklardan ötürü, bu bölgede yabancı madde kaplaması gözükabilir.

Tufal oluşumunda ise, sıcak haddelenmiş şerit yüzeylerinde kalan az miktarda tufal eğer temizlenmezse problem yaratabilir. Bu tufallanma kolay kırılır bir yapıya sahiptir ve form verme kesitinde çatlaklara neden olabilir. Tufallar, soğutma sıvısı vasıtasıyla, boru yüzeylerinden alınır ve kaynak makaraları, temas elemanları gibi yerlerde birikir. Eğer bu tufallar kaynak boyunca kaynak “V” sine bulaşırsa, kaynak oksitlenmesi gibi davranış gösterirler. Bu da yeterli elektriğin hareket etmesini engelleyerek ön ark oluşumuna sebebiyet verebilir. Eğer ön ark oluşursa bu soğuk nokta kaynağına neden olacaktır. Aksi durumda “V” nin doruk noktasından geçerek burada çok büyük sıkıştırmalara neden olacaktır.

Serbest metal parçacıkların çeşitli oluşma nedenleri olabilir. En yaygın olanı, bant kenarlarında mekanik temas ve sürtünme yolu ile oluşan kıymıklardır. Bu kıymıklar genellikle, bant kenarlarının form verme makaraları veya kılıç makara ile teması sırasında oluşan istenmeyen sürtünmelerden kaynaklanır. Ayrıca, iyi bir dilme yüzeyine sahip bantlar, kötü stoklama veya taşıma ile kıymık oluşumu veya çentik gibi bir takım hasarlara uğrayabilirler. Kaynak baskısı sırasında ergimiş metalin sıçrayarak, bir şekilde V-ağız açıklığının içine düşmesi de bu istenmeyen ve kaynak hata oluşumlarına neden olan metal parçacıklarına kaynak teşkil edebilir. Kıymıklar ana malzemeye kıyasla çok hızlı ısındıkları gibi çok çabuk bir şekilde soğurlar. Bu neden ile kaynak noktasındaki sıcaklıklarının gerekli kaynak sıcaklığı değerinin altında kalma tehlikesi vardır.

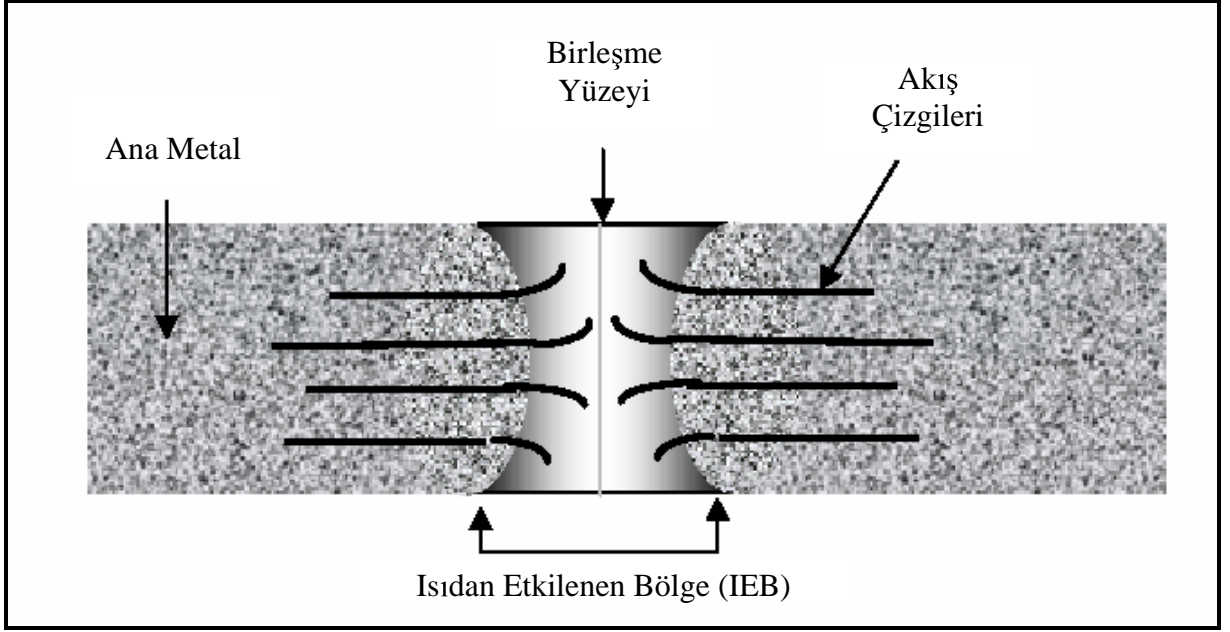
Çapaklar, bant dilme sırasında meydana gelip, hem üretim hem de kaynak problemlerine neden olur. Bant çapakları çok büyük ise (ince bir tel parçası gibi) indüktöre temas ederek, kaynak öncesi kısa devre oluştururlar. Dolayısı ile, yine enerjinin bir kısmı kaynak için kullanılamayarak lokal kaynak hata oluşumlarına neden olurlar. Ayrıca, bu çapaklar kimi durumda indüktörün hasarlanmasına, dolayısı ile üretim kayıplarına yol açmaktadır (Nichols, 1994).

6.5 En Çok Görülen Yüksek Frekans Kaynağı Hataları

Boru ve profil oluşturmada, yüksek frekans kaynağı hiç şüphesiz en hızlı ve en verimli yöntemdir. Bununla birlikte, birçok hatanın oluşmasına sebebiyet verebilir. Aşağıda en çok rastlanan 9 hatanın oluşma nedenleri ve bunların önüne nasıl geçileceği anlatılmaktadır.

Yüksek frekans kaynağında kaynak bölgesi kesilip, parlatılıp, asitle yakıldıktan sonra

metalürjik mikroskop altında incelendiğinde, yüksek frekans kaynak alanı Şekil 6.2' de gösterildiği gibi gözükür.



Şekil 6.2 Yüksek frekans kaynağının metalürjik mikroskop altındaki görüntüsü (Nichols, 2000)

Yüksek frekans kaynağında Isıdan Etkilenen Bölge (IEB) yapısı kum saati şekline benzer. Bunun nedeni yüksek frekans akımı ile oluşturulan ısının, şerit köşelerinin üst tarafından yan tarafına doğru giriş yapmasıdır. IEB bölgesi ana metale oranla daha koyu renktedir. Çünkü çelik içindeki karbon, kaynak prosesi boyunca sıcak kenarlara doğru yayılır ve kaynak soğuduğu zaman kenarlar üzerinde kalır. Birleşme yüzeyi düşük miktarda karbon içerdiğinden açık renklidir.

Endüstride yüksek frekans kaynağı ile ilgili olarak farklı isimlerle bilinen birçok hata vardır. Ancak bu hatalardan aynı tip olanları, teknikte farklı isimlerle adlandırılmıştır. Herkes tarafından bilinen bu hatalar kişiden kişiye farklı isimlerle adlandırılabilir. Aşağıdaki maddeler hataları ayrıntılı bir şekilde anlatmasa da en yaygın hataları kapsamaktadır.

- 1- siyah nüfuziyet hataları
- 2- ön arklar (beyaz nüfuziyet hataları)
- 3- ergime eksikliği (açık dikiş)
- 4- kenarlardaki ergime eksikliği (buruşukluklar)
- 5- merkezdeki ergime eksikliği (soğuk merkez)

6- ezilmiş kaynak (soğuk kaynak)

7- gevrek kaynak

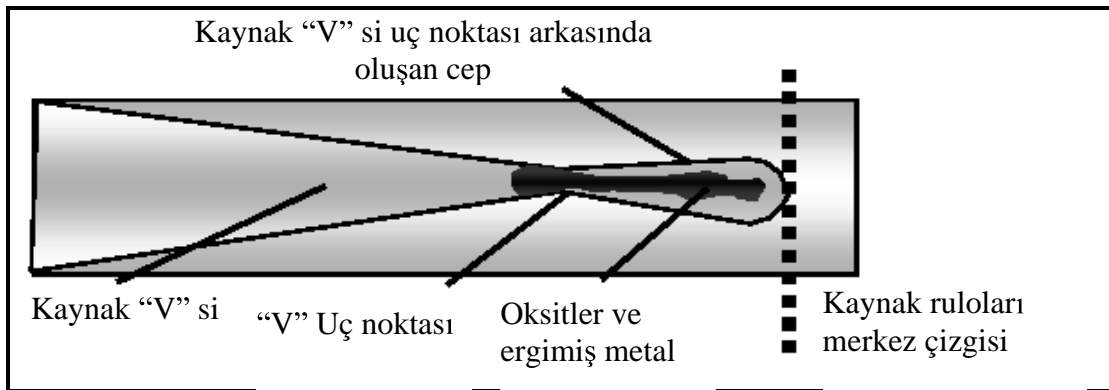
8- gözeneklilik (iğne delikleri)

9- birleşme yüzeyi (ferrit çizgisi) hataları

Hataların daha iyi bir şekilde anlatılabilmesi için, oluşan hataların gerçek resimlerinin yerine taslak resimleri çizilmiştir. Bu şekilde daha iyi bir tanımlama yapılacağı gibi, sadece bir kaynak parametresi hatasına bağlı olarak ortaya çıkmayan hataya özgü görüntüden kaynaklanabilecek karışıklıkların da önüne geçecektir. Hata görüntüleri, kaynak kenarlarına yapılan tahribatlı muayene neticesinde ortaya çıkarılmıştır.

6.5.1 Siyah Nüfuziyet Hataları

İsminden de anlaşılacağı üzere bu tip hatalar, metal oksitlerin sıkıştırma fazlası olarak dikiş dışına çıkması yerine, birleşme yüzeyinde sıkışması neticesinde ortaya çıkar. Bu oksitler dikiş kenarlarındaki ergimiş metalin yüzeyinde oluşurlar. Kaynak “V” sindeki ilerleme hızı ergime hızından daha düşük olursa, kenarlardaki ergime sıkıştırmadan daha hızlı gerçekleşecektir. Böylece “V” nin uç noktasının arkasında kalan ve ergimiş metalle, metal oksitleri içeren bir cep formu oluşacaktır (Şekil 6.3). Normal sıkıştırma dışı ergimiş metal çıkartılması tamamlanmadan, daha geniş hacimde likit metal ortaya çıkacak ve neticesinde bu hata türü yaşanacaktır.



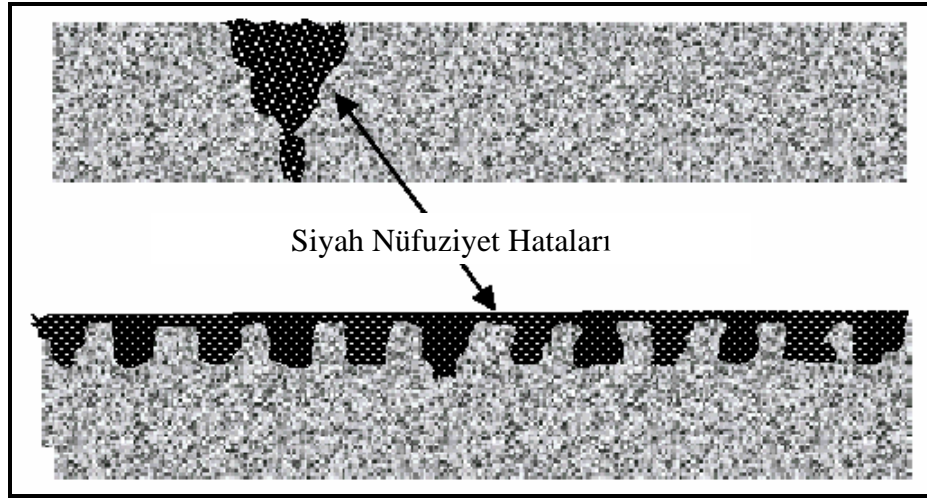
Şekil 6.3 Siyah nüfuziyet hatasında cep formunun oluşumu (Nichols, 2000)

Kaynak bölgesi kesilip açıldığında bu hata türü rahatlıkla görülebilir. Kaynak çizgisi yüzeyi genellikle koyu bir renk halindedir. Şekil 6.4’ te gösterildiği gibi tek tek veya bir dizi halinde meydana gelebilir. “V” nin çok dar olduğu durumlarda (açının 4°’den daha az), mangan/silisyum oranının 8/1 den daha az olduğu durumlarda bu hatanın tekrarlanma miktarı

artmaktadır.

Siyah nüfuziyet hatalarının önüne geçmek için;

1. 4° ile 6° arasında bir “V” açısı oluşturmak.
2. kusursuz bir tezgah ve takımlandırma yöntemiyle, sabit bir “V” uzunluğunun belirlenmesi
3. sağlam bir kaynak için mümkün olan en düşük kaynak sıcaklığı ile çalışmak
4. çelik kimyasal özelliklerinde, Mn/Si oranının 8/1 den daha az olduğu durumlardan kaçınmak, gereklidir.



Şekil 6.4 Siyah nüfuziyet hatalarının gösterimi (Nichols, 2000)

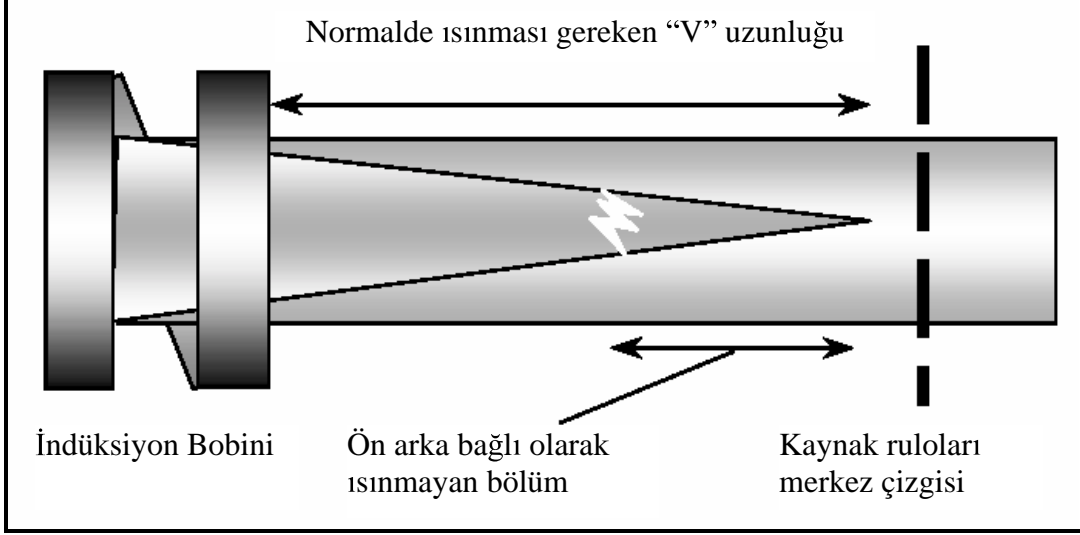
6.5.2 Ön Arklar (Beyaz Nüfuziyet Hataları)

Nüfuziyet hatası terimi bu tür hatalar için kullanımı pek de uygun olmayan bir terimdir. Çünkü birleşme yüzeyinde herhangi bir sıkışma olmaz. Bir ön ark neticesinde çok kısa süreli bir ergime eksikliği söz konusudur. Genellikle kenar bölgesindeki bir kıymık (çapak) neticesinde, “V” uç noktası önünde yüksek frekans akımının karşı yöne sıçraması ile ön ark meydana gelir. Kısa devre akımı çok kısa bir süreliğine saptırır ve “V” deki ısının azalmasına neden olur (Şekil 6.5).

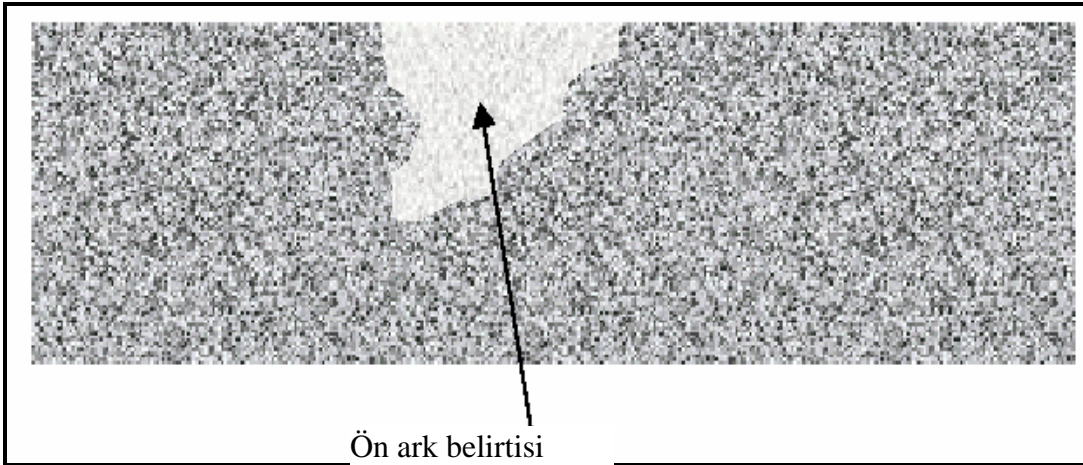
Akımın çok kısa süreli olan sapması çok kısa uzunlukta bir hata oluşmasına neden olur, hata uzunluğu genellikle et kalınlığı ölçüsünü geçmeyecek uzunluktadır. Kaynak bölgesi kesildiğinde, düzgün kaynağın geriye kalan bölgesinde, odunsu çatlakların etrafını çevirdiği düzlemsel parlak bir şekil halinde rahatlıkla görülebilir.

Ön ark hatalarının önüne geçmek için;

1. 4° ile 6° arasında bir "V" açısı oluşturmak.
2. düzgün bir kesme ile kesme çapaklarının oluşumunun engellenmesi
3. iyi bir taşıma ve yükleme sistemi ile şerit kenarlarında oluşabilecek hasarlanmaların önüne geçilmesi
4. soğutma sıvısının temiz olması ve direk olarak "V" bölgesinin uzağına uygulanması.



Şekil 6.5 Ön ark oluşumu (Nichols, 2000)

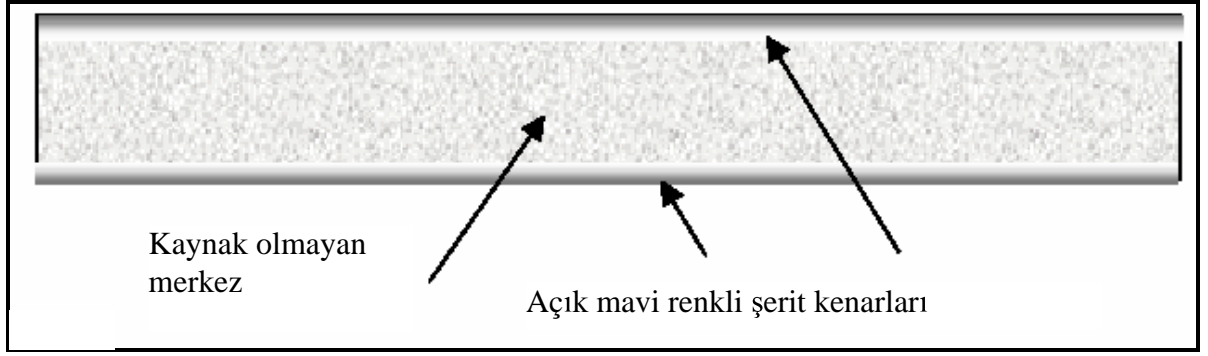


Şekil 6.6 Ön ark belirtisi (Nichols, 2000)

6.5.3 Ergime Eksikliği (Açık Dikiş)

İki şerit kenarının sağlam kaynağı oluşturmak için eriyerek birleşmesi sırasındaki yetersizlikten kaynaklanan hata türüdür. Açık dikişte kenarlar genellikle açık mavi bir renk özelliğindedir (Şekil 6.7). Kenar yüzeyleri düz ve pürüzsüzdür, erimiş malzemeyi gösteren bir

işaret yoktur. Bu hatanın en belirgin nedeni yetersiz kaynak ısıdır. Güç ayarı, “V” açısı ve uzunluğu, impederin konumu, bobin boyutu kaynak gücünü etkiler. Bütün bu faktörlerin bağımsız olarak oluşması veya beraber olarak meydana gelmesi bu tarz bir hatanın nedenidir. Bazen de uygun ısı girişi olmasına rağmen açık dikiş hatası oluşur. Bu genellikle yetersiz sıkıştırma ile ilgilidir. Burada şerit kenarlarının eridiğini, ancak birleşmenin gerçekleşmediğini görürüz, bunun nedeni de yüzeyde kalan oksit metallerinin birleşmeyi engellemesidir. Kaynak makaraları geçildikten sonra doğal olarak oluşan geri yaylanma ile kaynak dikişi açılır.



Şekil 6.7 Açık dikiş şeklinin gösterilmesi (Nichols, 2000)

Ergime eksikliği (açık dikiş) hatasının önüne geçmek için;

1. fiili güç hızı ve malzeme cinsine bağlı olarak uygun ve değişmez bir şekilde ayarlanmalıdır
2. impeder kaynak makaralarını merkez çizgisini 3,2 mm kadar geçecek şekilde konumlandırılmalı ve sürekli olarak düzgün bir şekilde soğutulmalıdır
3. “V” uzunluğu boru çapının çevresinden büyük olmamalıdır
4. “V” açısı 7° yi geçmemelidir
5. indüksiyon bobini iç çapı boru dış çapından en çok 6,35 mm kadar büyük olmalıdır
6. şerit genişliği üretilecek olan profil veya boru çapına bağlı olarak uygun ve sürekli sabit bir değerde olmalıdır.

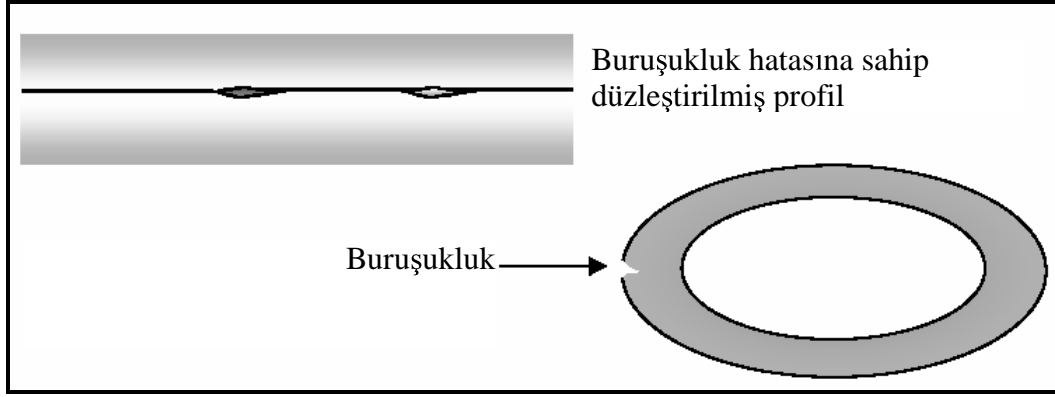
6.5.4 Kenarlardaki Ergime Eksikliği (Buruşukluklar)

Kenarlardaki ergime eksikliğine genellikle birleşme yüzeyindeki metalik olmayan elementler neden olur. Bu hata ismini, boru veya profil saat 3:00 pozisyonunda ezildiği zaman ortaya çıkan görüntüsünden alır (Şekil 6.8). Bozuk kısım açıldığında, koyu ve mat bir halde gözükür. Dış çap kenarlarının iç çap kenarları kadar ısınmadığı yerlerde, kenar formunda oluşan

buruşukluğun rengi gümüşü bir renk alır. Buruşukluklar ergime eksikliği ve siyah nüfuziyet hatalarının bir varyasyonudur.

Kenarlardaki ergime eksikliği (buruşukluklar) hatasının önüne geçmek için;

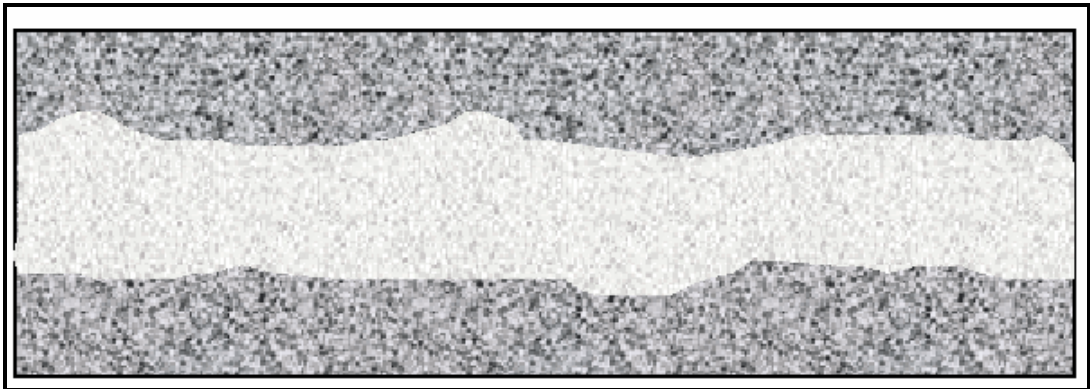
1. kenarların düzlemselliğini ve birbirine paralel olmasını sağlamak gerekir
2. daha hafif bir sıkıştırma yapmak gerekir
3. eğer buruşukluk gümüşü bir renk alırsa daha fazla kaynak ısısı kullanılmalıdır



Şekil 6.8 Kenarlardaki ergime eksikliği hatası (Nichols, 2000)

6.5.5 Merkezdeki Ergime Eksikliği (Soğuk Merkez)

Bu tarz bir hata ortaya çıktığında, merkezde koyu, mat, gümüşü bir renkte çatlak şeklinde bir bant oluşur (Şekil 6.9). Kenarların görüntüsü tahtamsı ve lifsi şekildedir. Böyle bir durum genellikle kaynak gücü oranına göre daha fazla bir hızda üretim yapıldığında görülür. Böyle durumlarda sağlam bir kaynak için, bütün kesitte, istenen ısı değerinin ve nüfuziyetinin sağlanmasının gerçekleşmediği kolaylıkla görülür. Merkezdeki ergime eksikliği yetersiz sıkıştırma sonucunda da oluşabilir.



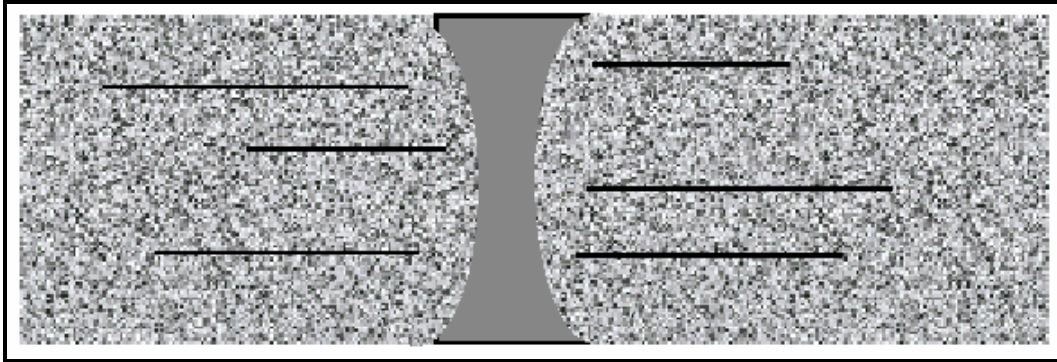
Şekil 6.9 Soğuk merkez hatasının gösterimi (Nichols, 2000)

Merkezdeki ergime eksikliği hatasının önüne geçmek için;

1. kaynak gücünün artırılması
2. kaynak sıkıştırma miktarının artırılması
3. “V” uzunluğunun artırılması veya kaynak hızının azaltılması gereklidir.

6.5.6 Ezilmiş Kaynak (Soğuk Kaynak)

Soğuk kaynak hatası yüksek frekans hatalarından en tehlikeli olanıdır, çünkü bu hata tahribatsız muayene yöntemleri ile hemen hemen hiç görünmez. Soğuk kaynak ultrason işaretlerinden geçecek kadar yeterli birleşmeye sahiptir, ancak düzleştirme veya ezme testlerinden geçecek sağlamlıkta değildir. Elektromanyetik inceleme ile bu hatanın görülememesinin sebebi, birleşme yüzeyinde açıklık olmamasıdır. Kırılıp açıldığında, soğuk kaynak mat ve kırılımandır, tamamıyla erimiş kaynak yapısına benzeyen çok az odunsu, lifli bir yapısı vardır. Enine kesitin metalografik yapısına bakıldığında, çok dar bir IEB gözükür, beyaz birleşme yüzeyi yoktur ve akış çizgilerinde çok az sıkıştırma olduğu göze çarpar (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 Soğuk kaynak hatasının gösterimi (Nichols, 2000)

Soğuk kaynak hatasının önüne geçmek için;

1. tezgah hızı ve özelliklerine bağlı yeterli kaynak gücünün kullanılması
2. yeterli sıkıştırmanın kullanılması ve/ veya şerit genişliğinin artırılması gerekmektedir.

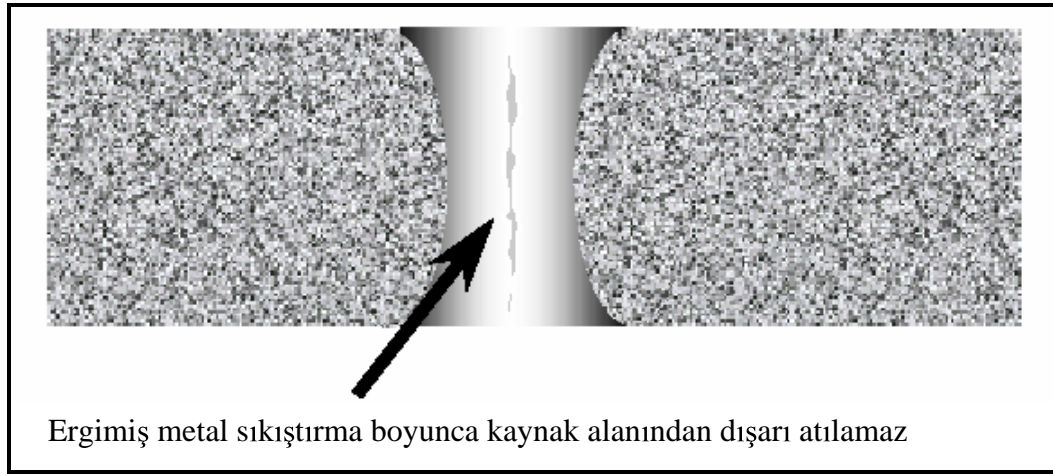
6.5.7 Gevrek Kaynak

Gevrek kaynak hatası, ergimiş tüm metalin birleşme yüzeyinden atılmaması sonucunda oluşan bir hata türüdür. Birleşme yüzeyinde geriye kalan gevrek metal muhtemelen nüfuziyet hatalarında olduğu gibi metal oksitleri içerir. Yüzeyde oluşan çatlakın boyutu genellikle artı kalan gevrek metal miktarına bağlıdır, ancak genellikle mat ve gevrek yapıdadır. Metalografik

yapısı incelendiğinde, birleşme yüzeyi üzerindeki gevrek metal, Şekil 6.11.' de olduğu gibi gözükür. Gevrek kaynak, genellikle ezme veya düzleştirme testlerinde ortaya çıkan hata türüdür. Kenarları eritmek için gerektiğinden fazla gücün verilmesi neticesinde oluşan bu hata türünün oldukça basit bir çözümü vardır.

Gevrek kaynak hatasının önüne geçmek için;

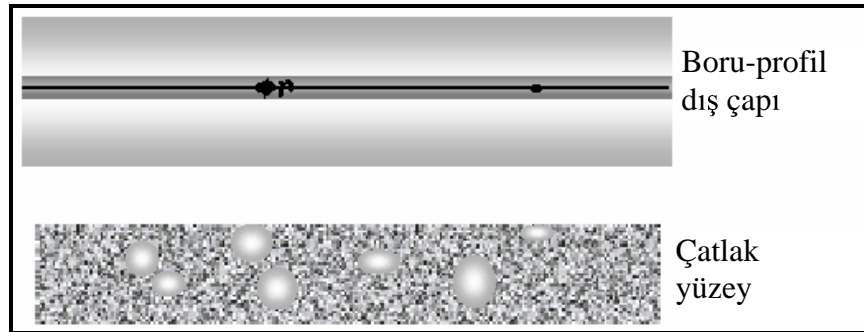
1. Sıkıştırma miktarının arttırılması
2. Şerit genişliğinin arttırılması gereklidir.



Şekil 6.11 Gevrek kaynak hatası gösterimi (Nichols, 2000)

6.5.8 Gözeneklilik (İğne Delikleri)

Birleşme yüzeyinde ortaya çıkan gözenekli yapı, yüksek kaynak sıcaklıklarının ve yetersiz sıkıştırmanın sonucudur. Çatlak yüzeyde tahtamsı, lifli ve parlak bir görünüm oluşur. Kenar kesiti üzerinde rasgele oluşan küresel boşluklar göze çarpar. Dış çap üzerindeki boşluklar birbiri üzerine geçerek kesişebilir. Oksidasyona bağlı olarak yüzey üzerindeki boşluklar siyah renkte oluşabilir (Şekil 6.12).



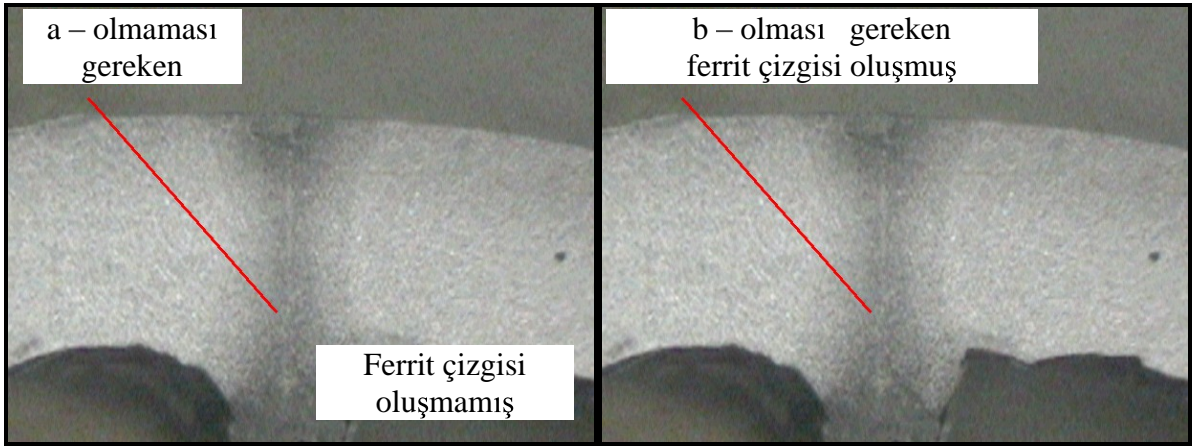
Şekil 6.12 Kaynakta gözeneklilik oluşumunun gösterimi (Nichols, 2000)

Gözenekliliğin önüne geçmek için;

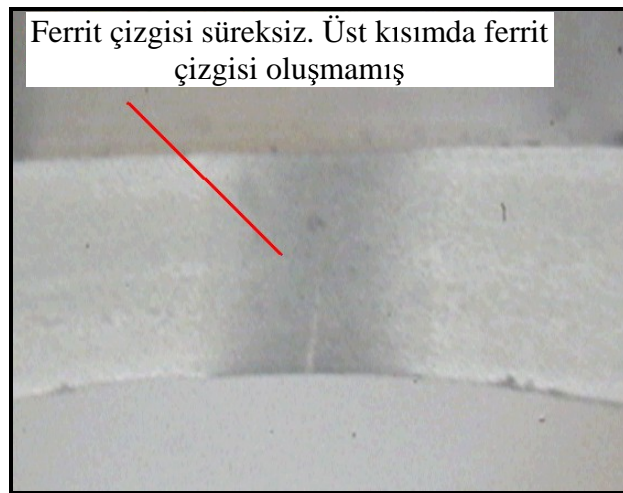
1. kaynak sıcaklığının azaltılması
2. sıkıştırma miktarının artırılması gerekir.

6.5.9 Birleşme Yüzeyi (Ferrit Çizgisi) Hataları

Eğer kaynakta ferrit çizgisi oluşmamış ise bunun nedeni, kaynak gücünün zayıf olması, kaynak hızının yüksek olması, indüktör iç çapının büyük olması, imponder çapının küçük olması, imponderin işlevini yitirmiş olması (aşırı ısınma veya kırılma gibi) veya aşırı soğutma sıvısı verilerek kaynak “V” bölgesinin çok soğutulma durumu söz konusu olabilir. Böyle durumlarda ortaya çıkan şekil Şekil 6.13-a’ da, uygun kaynakta olması gereken durum ise Şekil 6.13-b’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.13 a-düzgün olmayan kaynak, b-düzgün kaynak (Özkaya, 2005)

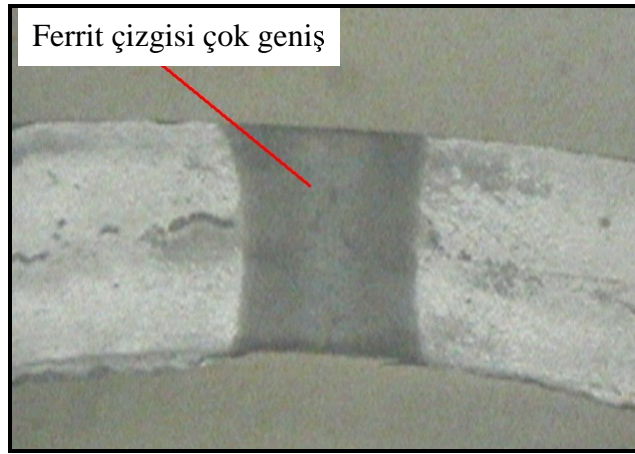


Şekil 6.14 Ferrit çizgisi süreksizliğine ait bir kaynak hatası şekli (Özkaya, 2005)

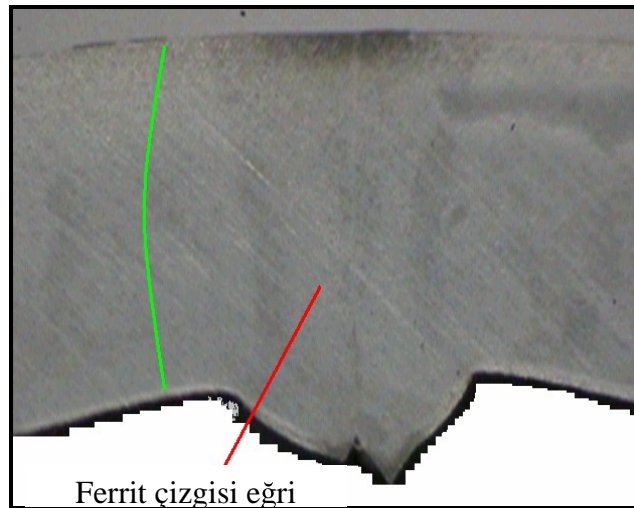
Eğer ferrit çizgisinde süreklilik yok ise bu tarz durumlarda, kaynak makaralarının ayarından kaynaklanan bir hata olabilir veya bant paralel olmayabilir. Baskı miktarı az olabilir ya da kaynak hızı yüksek olabilir. Bu tarz hataya ait bir görüntü Şekil 6.14' te verilmiştir.

Eğer ferrit çizgisi çok geniş ise, ya kaynak gücü fazladır ya da baskı miktarı azdır. Bu tarz hatalarda kaynak gücünün azaltılması veya baskı miktarının arttırılması uygulamaları yapılabilir. Bu tarz bir hataya ilişkin görüntü Şekil 6.15' te verilmiştir.

Ferrit çizgisinin eğri olması durumunda ise, kaynak makaralarında kaçıklık olabilir, bant paralelliğini kaybolmuş olabilir veya bant kenarlarında bindirme söz konusu olabilir. Bu tarz eksikliklerden kaynaklanan hatanın görüntüsü Şekil 6.16' da gösterildiği gibidir (Özkaya, 2005).



Şekil 6.15 Ferrit çizgisinin çok geniş oluşması durumu (Özkaya, 2005)



Şekil 6.16 Ferrit çizgisinin eğri olması durumunda ortaya çıkan hata görüntüsü (Özkaya, 2005)

6.6 Kaynak Hatalarına Karşı Öneriler

Muhtemel birkaç değişken bir araya gelerek, karşılaşılan hatalara sebebiyet verebilir. Biraz daha dar bir kaynak “V” si nüfuziyet hatalarına neden olmaz, tabi burada sıkıştırma miktarının gerektiğinden daha az olmaması gerekmektedir. Az olan sıkıştırma miktarı aşınmış takım (kaynak makaraları) veya kötü ayarlama neticesinde oluşabilir.

Problemin kökeninde kaynak alanı haricindeki bir yanlışlık da yatabilir. Örneğin soğuk kaynağın bir diğer sebebi de impederi soğutmak için kullanılan soğutma sıvısını gönderen pompanın düzgün çalışmaması olabilir. Eğer pompa yeterli miktarda soğutma sıvısını göndermezse, impeder çok çabuk bir şekilde ısınacaktır. İmpeder ısındığı zaman, “V” ye odaklanması gereken akım miktarında bir verimsizlik oluşacaktır. Akımın boru veya profilin arka tarafına doğru yayılmasına müsaade edilince de kaynak “V” sindeki ısı miktarı düşecek ve böylelikle soğuk kaynak gerçekleşecektir. İmpederin sağlıklı bir şekilde çalışması sağlanana kadar, kaynak ısısının yukarı çekilmesi, soğuk kaynak oluşumunu engelleyebilir.

Genel eğilim en iyi takımlandırmanın yapılarak, problemin kaynağına ulaşılabileceğidir. Bir hatayı içeren bütün işletme parametreleri hakkındaki bilgileri toplamak önemlidir. Şerit genişliği, hat hızı, yüzey akımı ve voltajı, kaynak kutusundaki redüksiyon ve buna benzer parametrelerin yer aldığı bir ayar formunun tutularak verilerin biriktirilmesi oldukça önemlidir. Bu şekilde bir raporlamanın tutulması sayesinde herhangi bir değişiklik olması durumunda ayarlardan kaynaklanan hataların tespiti çok kolay bir şekilde ortaya çıkar.

Bazı üretici firmalar, yaygın hatalar ve bunların oluşum nedenleri hakkında bir katalog oluştururlar. Bu katalog sayesinde, yeni veya tecrübesiz bir operatör, problemleri kendi başına çözebilir. Aynı zamanda bu şekilde çok değerli olan üretim zamanı ve maliyetten tasarruf edilmiş olunur (Nichols, 2000).

6.7 Kaynak Hataları Sonuçlarının Değerlendirilmesi

1. çoğu kaynak hatasının kökeninde makinenin ya da kaynak alanı bölgesinin yanlış ayarlanması yatmaktadır.
2. standart ayar dokümanları, prosesin sürekli kayıt altında tutulması ve operatörün yüksek frekans kaynağı hakkındaki eğitimi hataların minimize edilmesini sağlar.
3. düzgün dilimleme, taşıma ve dilinmiş rulonun iyi bir şekilde depolanması, şerit kenarı hasarlanmasından kaynaklanan hataların önüne geçecektir.

4. önleyici bakım programı ile takım aşınmasından veya hasarlanmasından kaynaklanan hataların oluşmadan engellenmesi sağlanabilir.

7. BANT DİLME İŞLEMİ ve BANT GENİŞLİĞİNİN HESAPLANMASI

Dilinmiş bant genişliği ile çevre ölçüsü, farklı değerlere sahip iki ayrı kavramdır. Bant dilme genişliği form verme öncesi, yani dilme sonrası bant genişliğini ifade eder. Çevre ölçüsü ise, kaynak hattındaki herhangi bir noktada bantın dış yüzeyi boyunca yapılan bir ölçümdür ve hat boyunca farklı değerlere sahiptir. Örneğin, baskı miktarından dolayı son kılıç makara çıkışındaki bantın çevresi, kaynak baskı makara çıkışındaki boru çevresinden daha büyük olmalıdır. Benzer şekilde, çevre ölçüsü son kılıçlı makaraya gelinceye kadar form verme hattı boyunca farklı değerlere sahiptir. Makara ayarları yapılırken, çevre ölçüsü olarak bant kalınlığı da dikkate alınarak ortalama çevre ölçüsü kullanılır. Profil çapına bağlı olarak bant dilme genişliğinin belirlenmesi sırasında izlenecek yol ana hatları ile şu şekilde açıklanabilir:

1- Nihai profil ebadına ve kalibre-türk kafaları grubundaki toplam deformasyona bağlı olarak kaynaklı borunun ortalama çevresi (dolayısı ile ortalama çapı) bulunur.

2- Belirlenmiş olan kaynak payı ve kaynaklı borunun ortalama çevresinden son kılıçlı makaradaki açık borunun ortalama çevresi ve bu değere de profil ebadına bağlı olarak 0,5 – 1 mm ilave edilerek diğer kılıçlı makaralardaki ortalama çevreler bulunur. İlk kılıçlı makara ortalama çevre ölçüsü değerine 0,5 – 1 mm ilave edilerek bant genişliği hesaplanır.

3- Kaynak noktasına kadar olan deformasyon ile kalibre ve türkkafalarındaki deformasyonun toplanması ile toplam deformasyon miktarı bulunur. Denklem 7.1’ de verilen formül yardımı ile teorik olarak hesaplanan bant genişliği ile 3. adım sonunda makara ölçüleri üzerinden hesaplanan bant genişliği toplam deformasyonda göz önüne alınarak mukayese edilir. Gerekliyse düzeltme yapılarak bant dilme genişliği belirlenir.

$$B = [\pi.(D_s - s) + 0,5s].f \quad (7.1)$$

$$f = 1,042 - [1,59 \times 10^{-3}(D_s - s)] + [5,78 \times 10^{-5}(D_s - s)^2] - [1,27 \times 10^{-6}(D_s - s)^3] + [1,19 \times 10^{-8}(D_s - s)^4]$$

Burada;

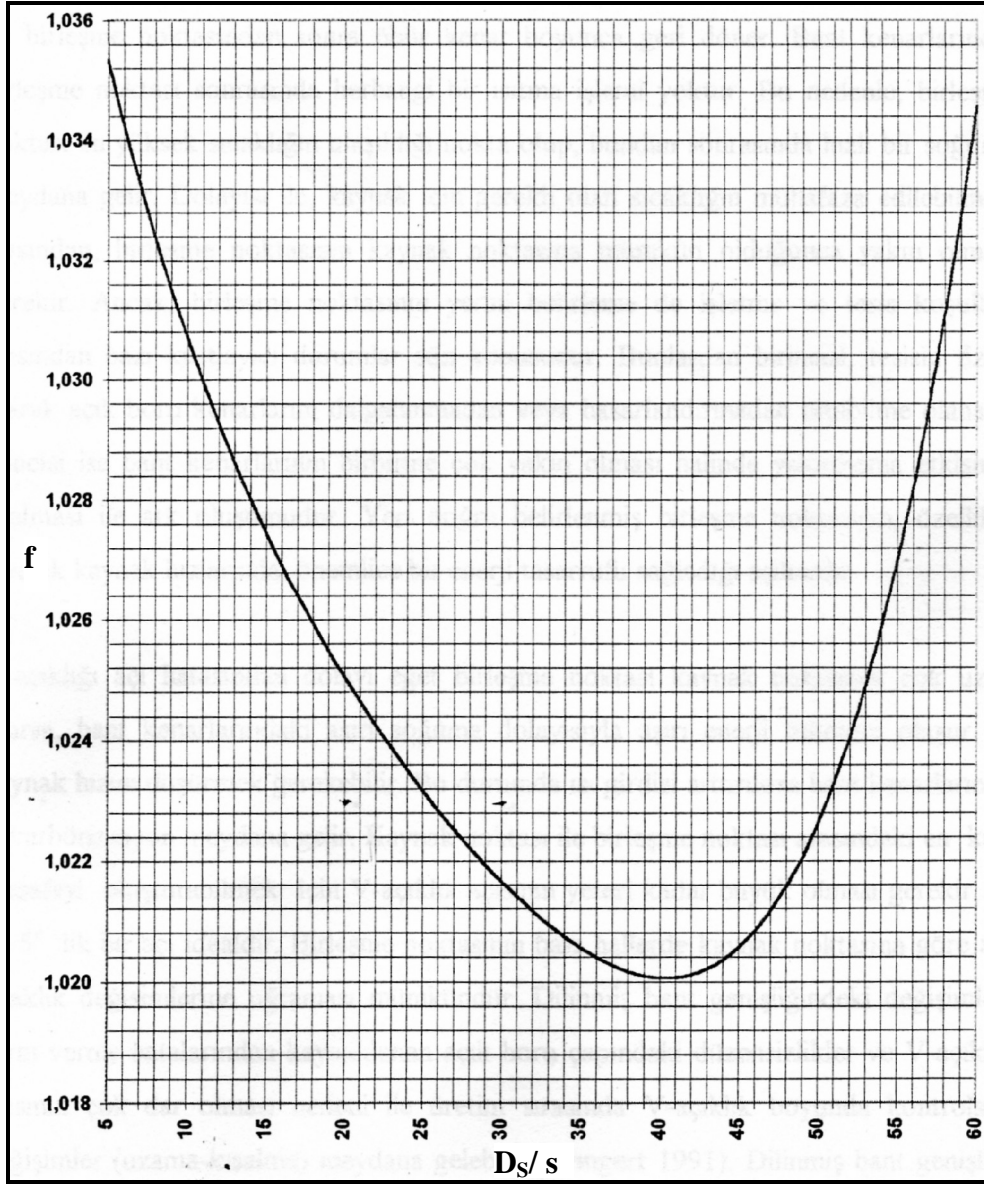
B: Bant genişliği (mm)

D_S: Kaynak çapı (mm)

s: Kalınlık (mm)

f: düzeltme faktörü’ nü ifade eder.

Düzeltilme faktörünün, kaynak çapı ve kalınlık ile alacağı değerler Şekil 7.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Düzeltme faktörünün (f), kaynak çapı (D_s)/ et kalınlığına (s) bağlı olarak değişimi (Şirin, 1997)

7.1 Bant Dilme İşlemi ve Dilme Hataları

Bant dilme işlemi üç ayrı aşamada gerçekleşir. Buna göre, metal şerit bıçaklara girdikten sonra (Şekil 7.2-a) bıçaklar şeridi kesmeye başlar (Şekil 7.2-b). Bu kesme işlemi, gerilme malzemenin çekme mukavemetine ulaşıncaya kadar devam eder ve bu noktadan sonra şerit ayrılır (Şekil 7.2-c). Burada, kesme genel olarak çentik veya kırılma olarak adlandırılır. Kaliteli bir dilme yüzeyi elde etmede en önemli faktörlerden birisi de alt ve üst yüzeylerin birbirleri ile olan dikey konumları ve yatay boşluktur (C). Doğru dikey pozisyon, şeridin kalınlığına, çekme mukavemetine ve donanımın özelliklerine bağlıdır. Yatay boşluğun çok

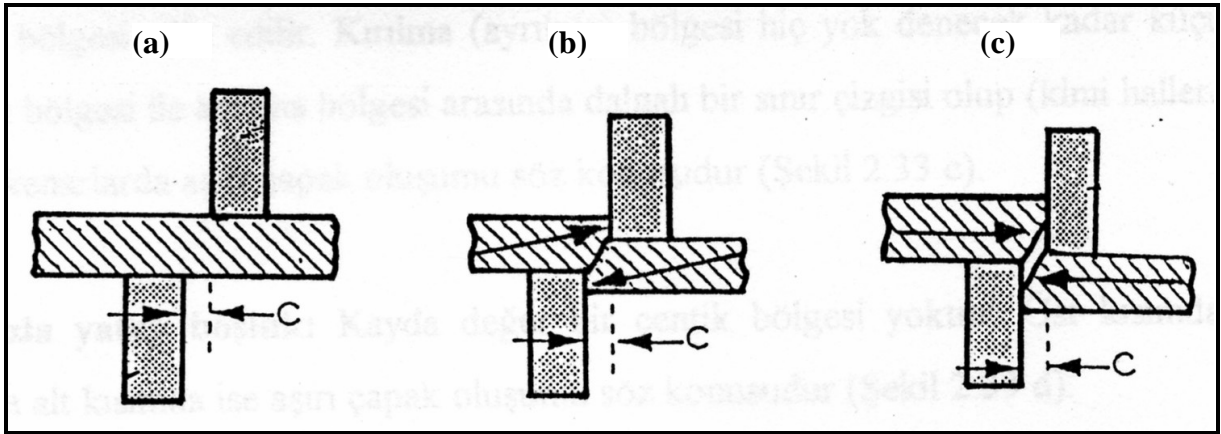
fazla veya az olması durumunda, şeridi dilmek için daha fazla dikey bindirmeye ihtiyaç duyulacaktır ki bu da dilme işleminde problem yaratır. Yatay boşluk durumuna göre aşağıdaki dilme yüzeyleri elde edilir;

1- İdeal dilme yüzeyi: üst kısımda parlak bir kesim yüzeyi (çentik), alt kısımda düzgün mat bir gri ayrılma yüzeyi (kırık) ve iki bölge arasında düz bir sınır çizgisi bulunur (Şekil 7.3-a).

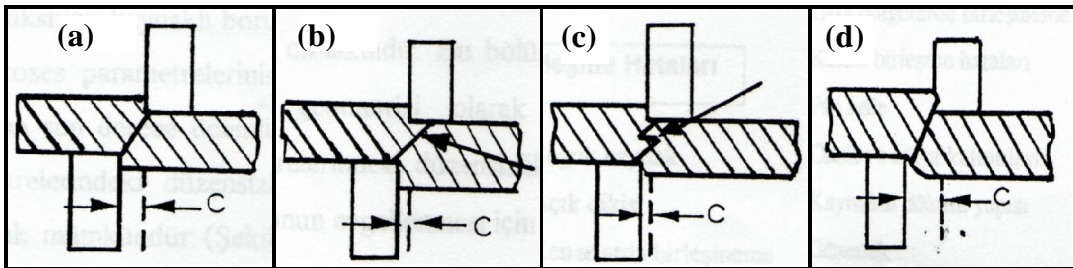
2- Yetersiz yatay boşluk: bıçakların birbirine çok yakın yerleştirilmesi durumunda, dilme yüzeyinde normalden daha derin bir çentik, daha küçük bir kırık ve her iki bölge arasında sivri uçlu bir hat ve alt kenarda çapak oluşumu meydana gelir (Şekil 7.3-b).

3- Aşırı sık yerleştirilmiş bıçaklar: iki ayrı kırılma yüzeyi oluşup, çok büyük bir çentik bölgesi elde edilir. Kırılma (ayrılma) bölgesi hiç yok denecek kadar küçüktür. Çentik bölgesi ile kırılma bölgesi arasında dalgalı bir sınır çizgisi olup (bazı durumlarda hiç oluşmaz), kenarlarda aşırı çapak oluşumu söz konusudur (Şekil 7.3-c).

4- Fazla yatay boşluk: kayda değer bir çentik bölgesi yoktur. Üst kısımda aşırı sıvama, alt kısımda ise aşırı çapak oluşumu söz konusudur (Şekil 7.3-d).



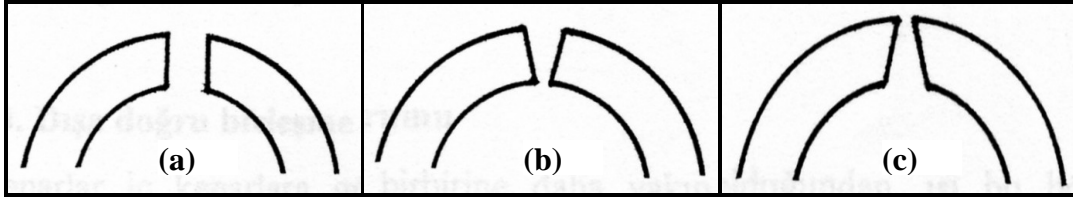
Şekil 7.2 Bant dilme işlemi aşamaları (Şirin, 1997)



Şekil 7.3 Bant dilme işleminde boşluğa göre yüzey durumları (Şirin, 1997)

7.2 Bant Kenarlarının Birleşme Durumu

Bant kenarlarının birleşme anındaki durumu, kaynak kalitesi ve verimlilik açısından oldukça önemlidir. Şekil 7.4’ te üç farklı birleşme durumu görülmektedir.



Şekil 7.4 Bant kenarlarının birleşme durumları (Nichols, 1994)

7.2.1 Paralel Birleşme Durumu

Bant kenarları, tüm et kalınlığı boyunca birbirleri ile paralel bir şekilde temas etmekte olup, en ideal birleşme durumudur (Şekil 7.4-a). Akım dağılımının homojen olması nedeni ile bant kenarlarında homojen bir ısınma meydana gelir. Yüksek frekans induksiyon kaynağının sağladığı en büyük avantajlardan biri de sadece bant kenarlarının ısıtılması (yani ısıtılan malzemenin minimum düzeyde olması) dolayısı ile oksitlerin ve istenmeyen yabancı maddelerin baskı vasıtası ile kaynak bölgesinden dışarıya atılarak temiz ve yüksek kalitede kaynak elde edilmesidir. Bant kenarlarının paralelligi ile, oksitlerin her iki yönde (iç ve dış) atılma olanağı elde edilir. Başka bir deyişle, paralel kenar birleşmesi oksit kalıntı riskini minimize eder. İç ve dış yüzeyde oluşan çapaklar birbirine benzer.

7.2.2 İç Doğru Birleşme Durumu

İç kenarlar, dış kenarlara göre birbirine daha yakın olup (Şekil 7.4-b), burada çift “V” açıklığı oluşur. Dış yüzeyde oluşan “V” açıklığı iç yüzeydekine kıyasla daha uzun olup, buna ait olan birleşme noktası kaynak noktasına daha yakındır. Yüksek frekans akımının önemli bir kısmı daha kısa ve kenarları birbirine daha yakın olan içteki “V” açıklığı boyunca akar. Bunun sonucunda da, bu bölgede aşırı ısınma nedeni ile kaynakta döküm yapısı, oksit kalıntıları, gözenek oluşumu, iç yüzeyde aşırı miktarda çapak, kaynak hızında azalma ve ısı etkisi altında kalan bölgede genişleme meydana gelir.


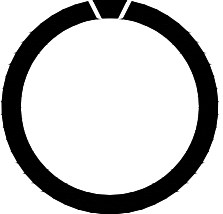

7.2.3 Dış Doğru Birleşme Durumu

Dış kenarlar iç kenarlara göre birbirine daha yakın olduğundan, ısı bu bölgede yoğunlaşır ve dış yüzeydeki ısıdan etkilenen bölgede genişleme, dış yüzeyde aşırı çapak ve oksit oluşumu meydana gelir (Şekil 7.4-c).

7.3 Bant Genişliğinin Hesaplanması

Bant genişliğinin hesaplama sırası üretim akışının tam tersi yönünde yapılır. Öncelikle nominal çap, daha sonra kaynak çapı ve son adımda da bant genişliği bulunur. Çizelge 7.1’de işlem sırası ve hesaplanması gereken değerler gösterilmiştir.

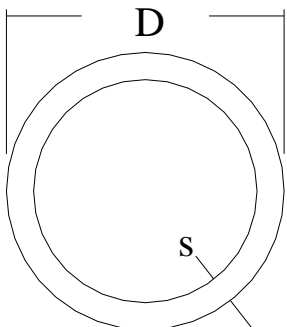
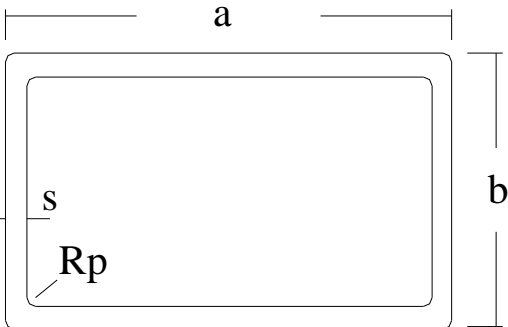
Çizelge 7.1 Bant genişliğinin hesaplanmasındaki işlem sırasının gösterimi

Sıra	İşlem	Gösterim	Şekil
1	Nominal çap değerinin hesaplanması	$D_n - U_n$	
2	Kaynak çapının hesaplanması	$D_s - U_s$	
3	Bant genişliğinin hesaplanması	B	

7.3.1 Nominal Çap ve Çevre Değerinin Hesaplanması

Nominal çap, üretilen boru ya da profil ile eşdeğer çevreye karşılık gelen çap değeridir. Yuvarlak borularda nominal çap, üretilecek olan borunun çapı demektir. Profillerde ise öncelikle profilin dış çevresi hesaplanır. Daha sonra hesaplanan bu çevrenin π sayısına bölümü ile profile eşdeğer borunun nominal çapı bulunur (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2 Nominal çap ve çevre değerinin hesaplanması

Yuvarlak boru	Profil
	
$D_n = D$ $U_n = D_n \cdot \pi$	$U_n = 2(a+b) + R_p(2\pi - 8)$ $D_n = U_n / \pi$

Bant genişliği hesaplarında et kalınlığının etkisini görebilmek için hesaplamalar genellikle ortalama çap ve ortalama çevre üzerinden yapılır. Aksi halde, çapı aynı olan ama et kalınlığı farklı olan boru ya da profillerde hatalı sonuçlar elde edilebilir. Örneğin, 60,3x4,0 mm' lik boru ile 60,3x1,0 mm' lik boruların dış çapları aynı olmasına rağmen ortalama çapları ve ortalama çevreleri Çizelge 7.3'den de görülebileceği gibi farklıdır. Bu nedenle, aynı çapta et kalınlığı azaldıkça kullanılan bant genişliği artar. Çünkü çap sabit iken et kalınlığının azalması ile birlikte ortalama çap ve buna bağlı çevre değeri artar.

Çizelge 7.3 Aynı çap değerinde farklı et kalınlıklarındaki iki borunun ortalama çap ve çevresi

Boru Ebadı	Ortalama Çap	Ortalama Çevre
60,3 x 4,0 mm	56,3 mm	176,9 mm
60,3 x 1,0 mm	59,3 mm	186,3 mm

7.3.2 Kaynak Çapı ve Bant Genişliğinin Hesaplanması

Kaynak çapı ve buna bağlı olarak bant genişliğinin hesaplanmasında, makine üretici firmaların makine özelliklerine bağlı olarak hazırlamış oldukları formüller hesaplanarak kullanılır. Bu hesaplamalarda makine özellikleri ve makaralara bağlı olarak üretimdeki denemeler sonucunda ortaya çıkartılmış bazı katsayılar vardır. Çizelge 7.4'te ,“MTM” ve “VAI” marka iki makine için kaynak çapı ve bant genişliğinin hesaplanmasına ilişkin formüller ve bu formüllerde kullanılan katsayılar verilmiştir.

Çizelge 7.4 Farklı makine ve makara grupları için kaynak çapı ve bant genişliği hesabı

VAI	MTM
$K_1 = (0,02 \cdot D_n) + (0,1 \cdot s) + 0,5$ $K_2 = (0,1 \cdot D_n^{1/2}) + (0,2 \cdot s) + (15 \cdot s / D_n)$ $K_3 = 0,7 + (0,1 \cdot s)$	$D_e \leq 25 \rightarrow K_1 = 1,030$ $25 < D_e \leq 40 \rightarrow K_1 = 1,025$ $40 < D_e \leq 50 \rightarrow K_1 = 1,020$ $D_e > 50 \rightarrow K_1 = 1,015$ $s \leq 1 \rightarrow K_2 = 2,0$ $1 < s \leq 1,5 \rightarrow K_2 = 1,5$ $1,5 < s \leq 2,5 \rightarrow K_2 = 1,2$ $s > 2,5 \rightarrow K_2 = 1,0$
Yuvarlak boru	
$D_n = D$ $D_s = D_n + (K_1 / \pi)$ $B = (D_s - s) \cdot \pi + K_1 + K_2 + K_3$	$D_n = D, D_e = D_n$ $D_s = D_n \cdot K_1$ $B = (D_s - s) \cdot \pi + (s \cdot K_2)$
Profil	
$U_n = 2(a+b) + R_{PR}(2\pi - 8)$ $D_s = (U_n + 2 \cdot s) / \pi$ $B = U_n + 2$	$U_n = 2(a+b) + R_{PR}(2\pi - 8)$ $D_n = U_n / \pi, D_e = D_n \cdot 1,015$ $D_s = D_e \cdot K_1$ $B = (D_s - s) \cdot \pi + (s \cdot K_2)$

Teorik olarak bant genişliği hesaplanırken “s” kalınlık değeri tüm formüllerde (radyüs değerinin hesaplanması hariç);

$$s < 2,1 \rightarrow 0,99.s, \quad (7.2)$$

$$s \geq 2,1 \rightarrow 0,95.s \quad (7.3)$$

olarak alınır.

Çizelge 7.4’te belirtilen değerler;

B: bant genişliği, s: et kalınlığı, a,b: profil kenar ölçüleri, R_{PR} : profil kenar radyüsü, D_s : kaynak çıkış çapı (dış), D: nihai boru dış çapı (dış), D_n : nominal boru çapı (dış), D_e : eşdeğer nominal boru çapı (dış), U_n : nihai boru-profil çevresi (dış), K_1 : kalibre faktörü, K_2 : form faktörü, K_3 : kaynak faktörü’nü ifade etmektedir.

Deney çalışmasında kullanılacak olan makine de “MTM” marka bir makinedir. Makara grubu da “MTM” dir. Deney çalışmasında teorik bant genişliği hesaplanırken bu formüller esas alınacaktır (Noksel, 2006).

7.3.3 Standartlara Göre Radyüs Ölçülerinin Belirlenmesi ve Optimizasyonu

Çap değerinin sabit kalması durumunda, borularda ortalama çevre değerini etkileyen tek faktör et kalınlığı iken, profillerde et kalınlığı ile birlikte radyüs değeri de ortalama çevre üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. 40x40x2,0 mm ebadında bir profilin köşe radyüsünün 2 mm ve 5 mm olması durumundaki ortalama çevre değerleri Çizelge 7.5’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, radyüsün küçülmesi ile ortalama çevre yaklaşık 5mm daha artmıştır. Bunun anlamı, radyüs ölçüsü 2 mm olan profilde kullanılacak olan bant genişliğinin diğerine göre 5 mm daha fazla olacağıdır. Profil üretiminde, radyüs ölçüsü, bant genişliğine etki eden faktörlerin başında gelmektedir.

Profil üretim standartları aynı kalınlık için farklı radyüs değerlerini öngörmektedir. Bu standartlara bağlı olarak öngörülen radyüs değerleri Çizelge 7.6’de verilmiştir (Noksel, 2006).

Çizelge 7.5 Aynı ebattaki profillerin farklı radyüs değerleri için çevre ve çap değerleri

40x40x2 mm profil	$R_{PR}= 2\text{mm}$	$R_{PR}= 5\text{mm}$
Nominal çevre (U_n)	156,57	151,42
Nominal çap (D_n)	49,84	48,20
Nominal ortalama çap (D_{nort})	47,84	46,20

Nominal ortalama çevre (U_{ort})	150,3	145,1
---	-------	-------

Çizelge 7.6 Profil üretiminde kullanılan standartlara bağlı olan radyüs değerleri

Standart	Radyüs (R_p)	
	$S \leq 2,5$ mm	$S > 3$ mm
DIN 2395	s	2.s
TS EN 10305-5	max. 1,5.s	max. 2,2.s
EN 10219-2	(1,6-2,4).s	(1,6-2,4).s
BS 6363	max. 3.s	max. 3.s
ASTM A-500	max. 3.s	max. 3.s
TS 6475	2.s	3.s

Çizelge 7.6' da belirtilen değerler profil üretim standartlarına bağlı olarak belirlenen radyüs değerleridir. Burada tüm değerleri dikkate alarak üretim için optimizasyon yapmak mümkündür. Burada hazırlanmış olan optimum değerler aynı zamanda deneysel çalışmada kullanılacak olan tüm formüllerdeki radyüs değerleri için belirleyici olacaktır. Radyüs değerlerini bu şekilde optimize etmek üretim açısından da hangi standart grubu olursa olsun kolaylık sağlayacaktır. Çizelge 7.7' de profil üretiminde kullanılan tüm standartlara bağlı olarak elde edilen optimum radyüs değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.7 Deneysel çalışma ve üretim kolaylığı için radyüs değerlerinin optimizasyonu

Radyüs (R_{PR})		
$s \leq 2,0$ mm	$2,0 < s \leq 3,5$ mm	$s > 3,5$ mm
1,7.s	2.s	2,3.s

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1 Şekil Değiştirme Miktarının Hesaplanması

Dilinmiş olan sacların, çeşitli form verme makaraları yardımı ile kıvrılarak, kaynak öncesi dairesel şekle getirilmesi işlemine genel olarak form verme adı verilir. Form verme ünitesi, ön form verme, kasetler ve kılıçlı makaralardan oluşur. Düz bant açısı 0° ve kaynak noktasındaki açı 360° kabul edilirse, ön form vermeden itibaren çıkıştaki açının 220° ve kılıçlı makara girişindeki açının da 300° civarında olması gerekir. Kılıçlı makaralar, açık boru kenarları arasındaki açıklığı daraltmak ve dairesel formun oluşturulmasını yani bir anlamda kaynak öncesi form verme işini tamamlamasını sağlar. Kalibrasyon grubu, kaynaklanan boruya hassas toleranslar içinde son kalibrasyon işlemini yaparken, türk kafaları borudan dörtgen, elips ve özel şekilli diğer profillerin yeniden şekillendirilmesi görevini üstlenir.

1- Öncelikle üretilecek olan boru ya da profilin nominal ortalama çevresi hesaplanır (U_{nort}).

2- Kaynak baskısı ile kaynak çapağı olarak dışarıya atılan kısım hesaplanır. Teorik olarak bu değer malzeme et kalınlığının $2/3$ ' ü olarak kabul edilir.

3- Kullanılan bant genişliğinden (B) baskı yardımı ile dışarıya çıkarılan miktar çıkarılarak net genişlik hesaplanır.

$$(B_n = B - (2 \cdot s / 3)) \quad (8.1)$$

B_n : Net bant genişliği

B : Bant genişliği

4- B_n ve U_{nort} yardımı ile şekil değiştirme miktarı hesaplanır.

$$\% \varepsilon = ((B_n - U_{nort}) / B_n) \cdot 100 \quad (8.2)$$

ε : Şekil değiştirme miktarı

B_n : Net bant genişliği

U_{nort} : Profilin ortalama çevresi

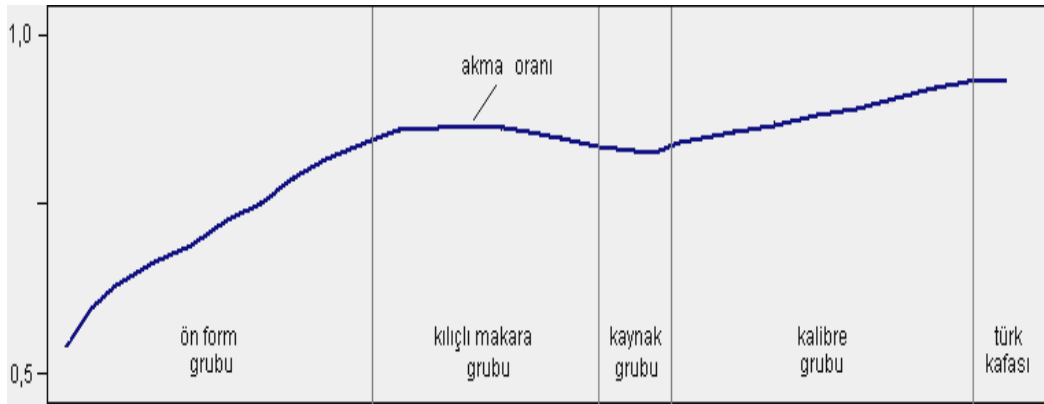
Şekil 8.4'te St 42 ve St 34 malzemeleri için şekillendirme miktarına bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim görülmektedir (Noksel, 2006).

8.2 Deney Çalışması Hakkında Ön Bilgi

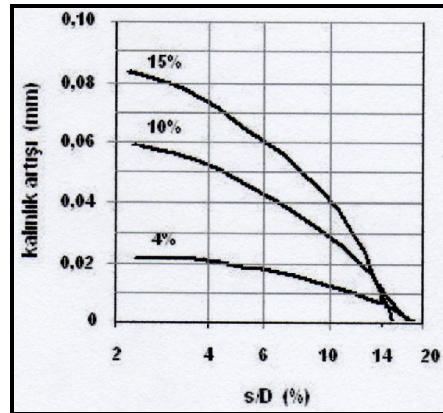
Ön form grubunda verilen form verme işlemi malzemedeki sertlik artışına yol açarken tokluğu azaltır. Kılıçlı makara ve kalibre grubunda ise bant sıkıştırmaya maruz kalır, bu ise akma

mukavemetinin yükselmesine yol açar. Kaynak baskı grubunda yüksek sıcaklığın etkisi ile kısmen de olsa meydana gelen tavlama etkisi nedeni ile akma mukavemetinde çok az bir düşme meydana gelir. Akma mukavemetinin kopma mukavemetine olan oranına “akma oranı” denir. Bitmiş üründe (boru veya profil) bu oranın en fazla 0,91 olması istenir. Söz konusu bu değer, herhangi bir ısıl işleme gerek kalmaksızın belirli bir oranda bükme işleminin yapılmasına olanak sağlar. Akma oranının azalması ile birlikte malzemenin tokluk özellikleri iyileşir.

Kaynak öncesi form verme ve kaynak sonrası kalibrasyon işlemleri aslında bir nevi soğuk şekillendirme işleminden başka bir şey değildir. Çeliklerde, şekillendirme işleminin derecesine bağlı olarak, deformasyon sonrası sertlik artarken süneklik azalır. Burada önemli olan husus şekillendirme derecesidir. Şekil 8.1’ deki grafikte akma oranının profil oluşturma aşamaları sırasındaki değişimi gözükmektedir. Şekil 5.40, Şekil 8.1’ i anlamamıza yardımcı olacaktır.

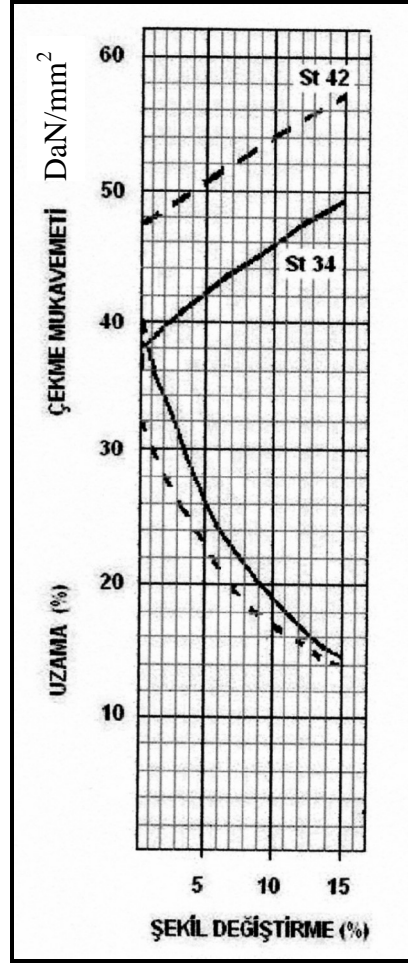


Şekil 8.1 Akma oranının profil oluşturma aşamaları boyunca değişimi (Noksel, 2006)



Şekil 8.2 Kalınlık artışı ve deformasyon arasındaki ilişkinin grafik üzerinde gösterimi (Noksel, 2006)

Şekil 8.2' de kalınlık artışı ve % deformasyon arasındaki ilişki, Şekil 8.3' te ise % deformasyona (şekil değiştirmeye) bağlı olarak malzemenin mekanik değerlerindeki değişim gösterilmiştir.



Şekil 8.3 Şekil değiştirmeye bağlı olarak malzemenin mekanik değerlerinin değişimi (Noksel, 2006)

8.2 Deneyin Amacı

Deneysel çalışmada, uygulamada geniş olan dilinmiş bantların kabul edilebilir değerlerde daraltılması sonucu % deformasyon miktarının azaltılarak ürünün mekanik özelliklerinde değişimin görülmesi amaçlanmaktadır.

Tecrübelerle dayanılarak edinilmiş ve sürekli imalatı gerçekleştirilen profillerde uygulanan bant genişliği ile, profil imalatında kullanılan boru makinesi üretici firmanın vermiş olduğu formüllere bağlı olarak ortaya çıkan bant genişliği esas alınarak oluşan değerlerin karşılaştırılması yapılacak ve bu şekilde nihai ürün için dilinmesi uygun olan bant genişliği

ortaya çıkarılacaktır.

8.3 Deney Planı

Deneyler MTM firmasına ait olan MTM 70C kodlu makinada yapılacaktır. Fabrikada üretilen profillerin ebatları ve bunlar için uygulamada kullanılan bant genişliği değerleri ile MTM firmasının formülleri esas alınarak hesaplanan bant genişliği değerleri ve bu bant genişliklerine bağlı olarak oluşan % deformasyon miktarları Çizelge 8.1’de verilmiştir. Ortaya çıkan bu deformasyon oranlarından en fazla farka sahip olanlardan biri de 50x50x5,0 mm olan kare profildir. Dolayısıyla deney çalışmasında BS 6363 standardına bağlı olarak 50x50x4,8 mm’ lik profil üretimi yapılacaktır. Çizelge 8.1 incelendiğinde fabrikada bu profili üretmek için dilinen bant genişliğinin 186-189 mm olduğu, buna bağlı deformasyon miktarının ise % 11,1 şeklinde ortaya çıktığı, MTM makinesindeki formüllere bağlı kalarak bu profili üretmek için gerekli olan bant genişliğinin ise 176 mm olduğu, buna bağlı deformasyon miktarının ise %4,4 şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir. Aradaki 10-13 mm’ lik fark ise kısaca şuradan kaynaklanmaktadır. Ek bölümünde sunulan “Ek-1 Layout for NOKSEL – MTM70C (H51AC)” de gösterildiği üzere, 50x50 mm’ lik profil üretilirken Ø 63,3 mm’ lik kalıp setleri kullanılabilir. Ancak burada bant kalınlığının 3 mm sınır değer olma koşulu söz konusudur. 3 mm’ den daha kalın bant söz konusu ise, kılıçlı makara ve kalibre bölümlerinde Ø 60,0 mm’ lik kalıp setinden makaraları kullanmak gerekmektedir. Dolayısı ile kalıp setlerindeki 3,3 mm’ lik çap değeri farklılığı π ile çarpıldığında ortaya çıkan 10,3 mm’ lik değer 186 ile 176 mm’ lik bant genişlikleri arasındaki farklılığa yaklaşmaktadır. Kalıp setlerindeki aşınmaların dikkate alınması ve formül (7.1)’ e bağlı olarak bant genişliğinin hesaplanması neticesinde, 2 mm’ lik emniyet payı 176 mm üzerine ilave edilerek 178 mm’ lik bant genişliği esas alınmıştır.

Çizelge 8.1’ de verilen değerlerin hesaplamalarında Bölüm 7.’ de anlatılan formüller kullanılmaktadır. 50x50x4,8 mm boyutlarındaki profilin MTM boru-profil makinesinde üretilmesi neticesinde oluşan bant genişliği ve toplam deformasyon miktarını şu şekilde hesaplayabiliriz.

$$U_n = 2 \cdot (a + b) + R_{PF} (2\pi - 8) \quad (8.3)$$

$$R_{PF} = 2,3 \cdot s = 5 \cdot 2,3 = 11,5 \text{ mm} \quad (s > 3,5 \text{ mm} \rightarrow R_{PR} = 2,3 \cdot s \text{ Çizelge 7.7})$$

$$U_n = 2 \cdot (50 + 50) + 11,5(2\pi - 8) = 180,3 \text{ mm}$$

$$D_n = \frac{U_n}{\pi} \quad (8.4)$$

$$D_n = \frac{180,3}{\pi} = 57,40 \text{ mm}$$

$$D_{nort} = D_n - s \quad (s = 0,95 \cdot s, \quad s \geq 2,1 \text{ formül (7.3)}) \quad (8.5)$$

$$D_{nort} = 57,4 - 4,75 = 52,6 \text{ mm}$$

$$U_{nort} = D_{nort} \cdot \pi \quad (8.6)$$

$$U_{nort} = 52,6 \cdot \pi = 165,3 \text{ mm}$$

$$D_e = 1,015 \cdot D_n \quad (8.7)$$

$$D_e = 1,015 \cdot 57,4 = 58,2 \text{ mm}$$

$$D_s = D_e \cdot K_1 \quad (D_e \geq 50 \text{ mm} \rightarrow K_1 = 1,015 \text{ Çizelge 7.4}) \quad (8.8)$$

$$D_s = 58,2 \cdot 1,015 = 59,1 \text{ mm}$$

$$B = (D_s - s) \cdot \pi + s \cdot K_2 \quad (s > 2,5 \text{ mm} \rightarrow K_2 = 1,0 \text{ Çizelge 7.4}) \quad (8.9)$$

$$B = (59,1 - 4,75) \pi + 4,75 \cdot 1 = 175,5 \cong 176 \text{ mm}$$

$$B_n = B - (2 \cdot s / 3) \quad (8.1)$$

$$B_n = 176 - (2 \cdot 4,75 / 3) = 172,8 \text{ mm}$$

$$\% \varepsilon = \left(\frac{B_n - U_{nort}}{B_n} \right) \cdot 100 \quad (8.2)$$

$$\% \varepsilon = \left(\frac{172,8 - 165,3}{172,8} \right) \cdot 100 = \%4,4$$

Elde edilen D_s çapına bağlı olarak teorik bant genişliği ise şu şekilde hesaplanabilir;

$$B = [\pi \cdot (D_s - s) + 0,5s] \cdot f \quad (7.1)$$

f değeri Şekil 7.1' den D_s/s oranına bağlı olarak 1,029 olarak bulunur.

$$B = [\pi \cdot (59,1 - 4,75) + 0,5 \cdot 4,75] \cdot 1,029 = 178,14 \cong 178 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Çizelge 8.1 Profil ebatlarına bağlı olarak bant genişliğinin MTM, VAI ve NOKSEL'e göre değerleri ve bu değerlere bağlı olan deformasyon oranları

Kalıp (mm)	Ebat (mm)		MTM		VAI		NOKSEL	
			Bant G. mm	Deformas. %	Bant G. mm	Deformas. %	Bant G. mm	Deformas. %
25	20 x 20	1,0	79	5,6	79	5,6	79	5,6
		1,5	77	6,7	78	7,9	78	7,9
		2,0	73	6,7	75	9,2	76	10,4
		2,5	70	6,6	73	10,4	75	12,9
32	30 x 20	1,0	100	5,4	99	4,5	99	4,5
		1,5	97	5,3	98	6,3	98	6,3
		2,0	93	5,2	95	7,2	96	8,2
		2,5	90	5,1	93	8,1	95	10,2
38	40x 20	1,0	121	5,3	119	3,7	119	3,7
		1,5	118	5,2	118	5,2	118	5,2
		2,0	114	5,1	115	6,0	117	7,6
		2,5	111	5,0	113	6,7	116	9,2
		3,0	108	5,1	112	8,5	115	11,0
45	40 x 30	1,0	141	4,5	139	3,2	139	3,2
		1,5	138	4,4	138	4,4	138	4,4
		2,0	134	4,4	135	5,1	137	6,5
		2,5	131	4,2	133	5,6	136	7,8
		3,0	128	4,3	132	7,2	135	9,3
48	50 x 25	1,5	148	4,1	148	4,1	148	4,1
		2,0	144	4,1	145	4,7	147	6,0
		2,5	142	4,6	143	5,2	146	7,3
		3,0	139	4,7	142	6,6	145	8,7
51	40 x 40	1,0	161	4,0	159	2,8	159	2,8
		1,5	158	3,9	158	3,9	158	3,9
		2,0	155	4,4	155	4,4	157	5,7
		2,5	152	4,3	153	4,9	156	6,8
		3,0	149	4,4	152	6,2	155	8,1
		3,5	146	4,4	150	6,9	154	9,4
		4,0	141	4,5	146	7,8	153	12,1
57	50 x 40	2,0	175	3,9	175	3,9	177	5,0
		3,0	169	3,8	172	5,5	176	7,7
		4,0	161	4,0	166	6,8	174	11,2
63	50 x 50	1,5	199	3,6	198	3,1	198	3,1
		2,0	195	3,5	195	3,5	197	4,5
		2,5	193	3,9	193	3,9	196	5,4
		3,0	189	3,4	192	4,9	195	6,4
		3,5	187	4,0	190	5,4	192	6,5
		4,0	182	4,0	186	6,1	191	8,6
		5,0	176	4,4	182	7,5	189	11,1
76	60 x 60	1,5	240	3,4	238	2,6	238	2,6
		2,0	236	3,3	235	2,9	237	3,7
		2,5	234	3,7	233	3,2	236	4,5
		3,0	231	3,7	232	4,0	235	5,3
		4,0	223	3,7	226	5,0	231	7,1
		5,0	217	4,0	222	6,1	230	9,5
83	80 x 50	2,0	257	3,4	255	2,7	257	3,4
		3,0	251	3,4	252	3,7	256	5,3
89	60 x 80	2,0	278	3,5	275	2,5	277	3,2
		3,0	272	3,5	272	3,4	275	4,5
		4,0	264	3,5	266	4,2	273	6,8
		5,0	258	3,8	262	5,2	270	8,1
95	100 x 50	2,0	298	3,3	295	2,3	297	3,0
		2,5	296	3,6	293	2,5	296	3,6
		3,0	292	3,2	292	3,2	295	4,2
		4,0	285	3,6	286	3,9	293	6,3
		5,0	279	3,8	282	4,8	290	7,5
		6,0	272	3,7	278	5,7	286	8,5
102	80 x 80	2,0	319	3,4	315	2,2	316	2,5
		2,5	316	3,3	313	2,4	316	3,3
		3,0	313	3,3	312	3,0	315	4,0
		4,0	305	3,4	306	3,7	313	5,9
		5,0	299	3,6	302	4,5	310	7,0
		6,0	293	3,8	298	5,3	308	8,5
114	90 x 90	2,0	360	3,3	355	1,9	357	2,5
		3,0	354	3,2	352	2,7	355	3,5
		4,0	346	3,3	346	3,2	353	5,2
		5,0	340	3,4	342	4,0	348	5,7
		6,0	334	3,6	338	4,7	345	6,7
127	100 x 100	2,0	401	3,2	395	1,7	397	2,2
		3,0	395	3,2	392	2,4	395	3,2
		4,0	388	3,4	386	2,9	392	4,4
		5,0	382	3,6	382	3,5	389	5,3
		6,0	375	3,5	378	4,2	380	4,8

8.4 Numune Alma

BS 6363 normuna göre üretilen 50x50x4,8 mm ebatındaki kare profillerden, dilinmiş banttandır yani malzemedendir, kaynak çıkışı ve profilden numuneler alınmıştır. Bu numunelerden ölçü kontrolü olarak, malzeme için bant genişliğinin ve et kalınlığının ölçülmesi, kaynak çıkışı ve kaynak çapının, et kalınlığının ölçülmesi, çevre hesaplaması, 50x50x4,8 mm'lik profilden 4 kenarın, et kalınlığının, radyüslerin ölçülmesi ve çevre hesaplaması yapılmıştır.

Kaynak ve profillerden her bir malzeme türü için kaynak dikiş bölgesini gösteren 2'şer adet makro görüntü alınmıştır. Dilinmiş bant yani malzeme için kimyasal analiz yapılmıştır. Dilinmiş bant, kaynak çıkışı ve nihai üründen alınan numunelerden çekme testi için örnekler hazırlanmış ve çekme deneyi uygulanmıştır. Alınan numunelerin için belirtilen kodlama sistemi Çizelge 8.2, Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4'te, gösterilmiştir.

Çizelge 8.2 Malzeme cinsi ve bant genişliğine bağlı olan kodlama sistemi

Kod No	Bant Genişliği (mm)	Malzeme Cinsi
1	186	KP08
2	178	KP08
3	188	PS
4	178	KP05

Çizelge 8.3 Numunelerin alındığı yere göre oluşturulan kodlama sistemi ve numune sayısı

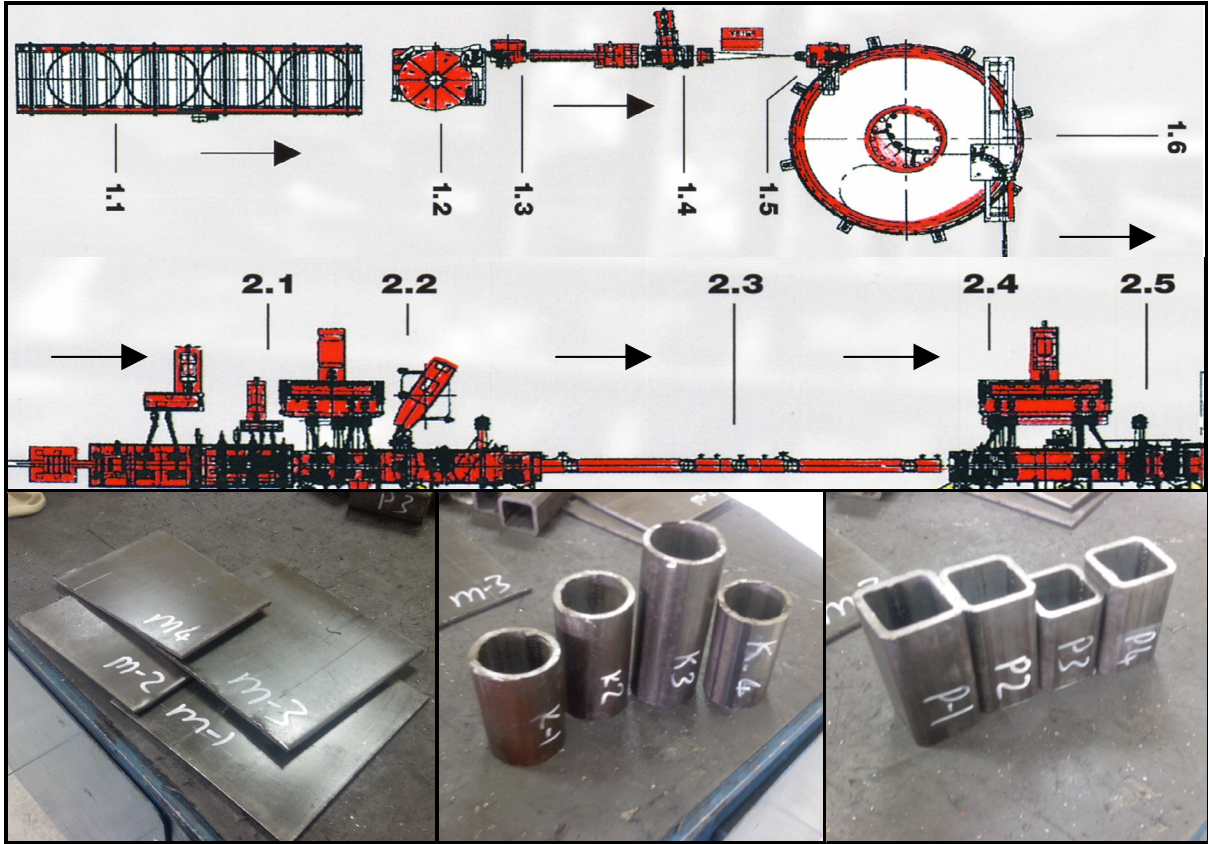
Kod	Numunenin Alındığı Yer	Numune Sayısı (adet)			
		Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
ML	Dilinmiş bant malzemesi	10	10	5	5
KÇ	Kaynak çıkışı	10	5	5	3
PR	Profil	10	10	10	10

Çizelge 8.4 Numunelerin alındığı yer ve bant genişliğine göre oluşturulan kodlama sistemi

Numunenin Alındığı Yer	Bant Genişliği (mm) – Malzeme Cinsi			
	186 (KP08)	178 (KP08)	188 (PS)	178 (KP05)
Dilinmiş bant malzemesi	ML1	ML2	ML3	ML4
Kaynak çıkışı	KÇ1	KÇ2	KÇ3	KÇ4
Profil	PR1	PR2	PR3	PR4

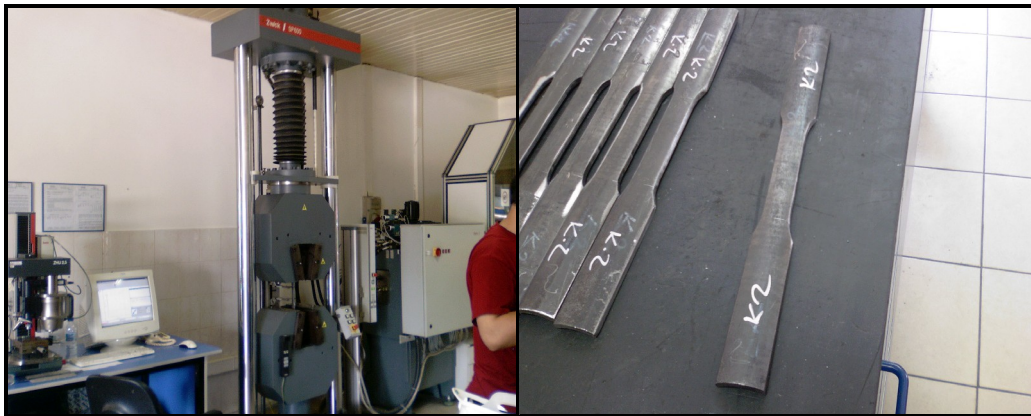
MTM 70C makinesinin krokisine bağlı olarak şematik resmi ile test ve ölçümler için makinenin giriş kısmı, kaynak çıkışı ve nihai ürün bölgelerinden alınan numunelerin resimleri Şekil 8.4' te gösterilmiştir. MTM 70C makinası dış çap değeri 12 mm ile 76 mm aralığında ve et kalınlığı 0,5 ile 5,0 mm arasında üretim yapabilen, toplamda 27 adet makara grubu ile final ürünü oluşturabilen, dakikada 200 metreye kadar üretim kapasitesine sahip bir makinedir.

Çekme testi EN 10002 normuna göre yapılmıştır. Çekme testine ait parametreler ise; test hızı 0,008 1/s, E modülü hızı 30 N/ mm²s, akma ve çekme değerleri tespit hızı 0,0025 1/s' dir.



Şekil 8.4 MTM makinesinin şematik resmi ve alınan numune resimleri

Şekil 8.4' e göre, malzeme haldeki sac numuneler 1.4 no' lu şerit kesme bölgesinden, kaynak çıkışı numuneleri 2.2 no' lu yüksek frekans kaynak ünitesi bitiminden, profil numuneleri ise 2.5 no' lu türk kafalarından hemen sonra alınmıştır. Alınan bu numunelerden hazırlanan çekme test çubuklarına ait şekiller ve çekme testi cihazı Şekil 8.5'te gösterilmiştir.



Şekil 8.5 Çekme testi cihazı ve çekme çubuklarının gösterimi

8.5 Test Sonuçları

Çizelge 8.5'te malzemeden alınan numuneler için yapılan kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Çizelge 8.5' ten ML1 Ve ML2' nin aynı cins malzeme olduğu gözükmektedir.

Çizelge 8.5 Malzeme cinsine bağlı olan kimyasal analiz

Kod No	Kimyasal Analiz Değerleri (kütlece %)												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Co	Sn	Al	V
ML1	0,049	0,007	0,295	0,009	0,024	0,022	0,036	0,007	0,058	0,010	0,010	0,032	0,002
ML2	0,043	0,024	0,324	0,009	0,024	0,021	0,032	0,007	0,055	0,008	0,011	0,064	0,002
ML3	0,139	0,010	0,357	0,022	0,014	0,023	0,052	0,007	0,035	0,004	0,008	0,032	0,002
ML4	0,045	0,000	0,335	0,006	0,018	0,005	0,022	0,007	0,045	0,006	0,008	0,032	0,002

Alaşımız çeliklerin sertleşme kabiliyetleri üzerinde oldukça etkin olan başlıca elementler C ve Mn' dir. Az alaşımlı çeliklerde ise Cr, Mo, V ve Mn gibi alaşım elementleri düşük C oranlarında bile kaynak sonrası ısı tesiri altında kalan bölgede sertlik artışına neden olurlar. Kaynak sırasında çeliğin sertleşme eğilimini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla çeliğin bileşimine dayanarak, kaynak kabiliyetini belirten bir formülün elde edilmesi için birçok çalışma yapılmış ve alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eşdeğer sertliği sağlayacak C miktarı hesaplanmıştır. Bu şekilde saptanan ve çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliği veren C miktarına karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) adı verilmiştir. Bunun dışında boru ve profil çelikleri için Ito ve Bessyo tarafından geliştirilmiş olan P_{CM} formülü de çelik boru-profil sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. P_{CM} değeri malzemenin sertleşebilme özelliğini göstermektedir. $C_{eş}$ ve P_{CM} şu şekilde hesaplanabilir.

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (8.10)$$

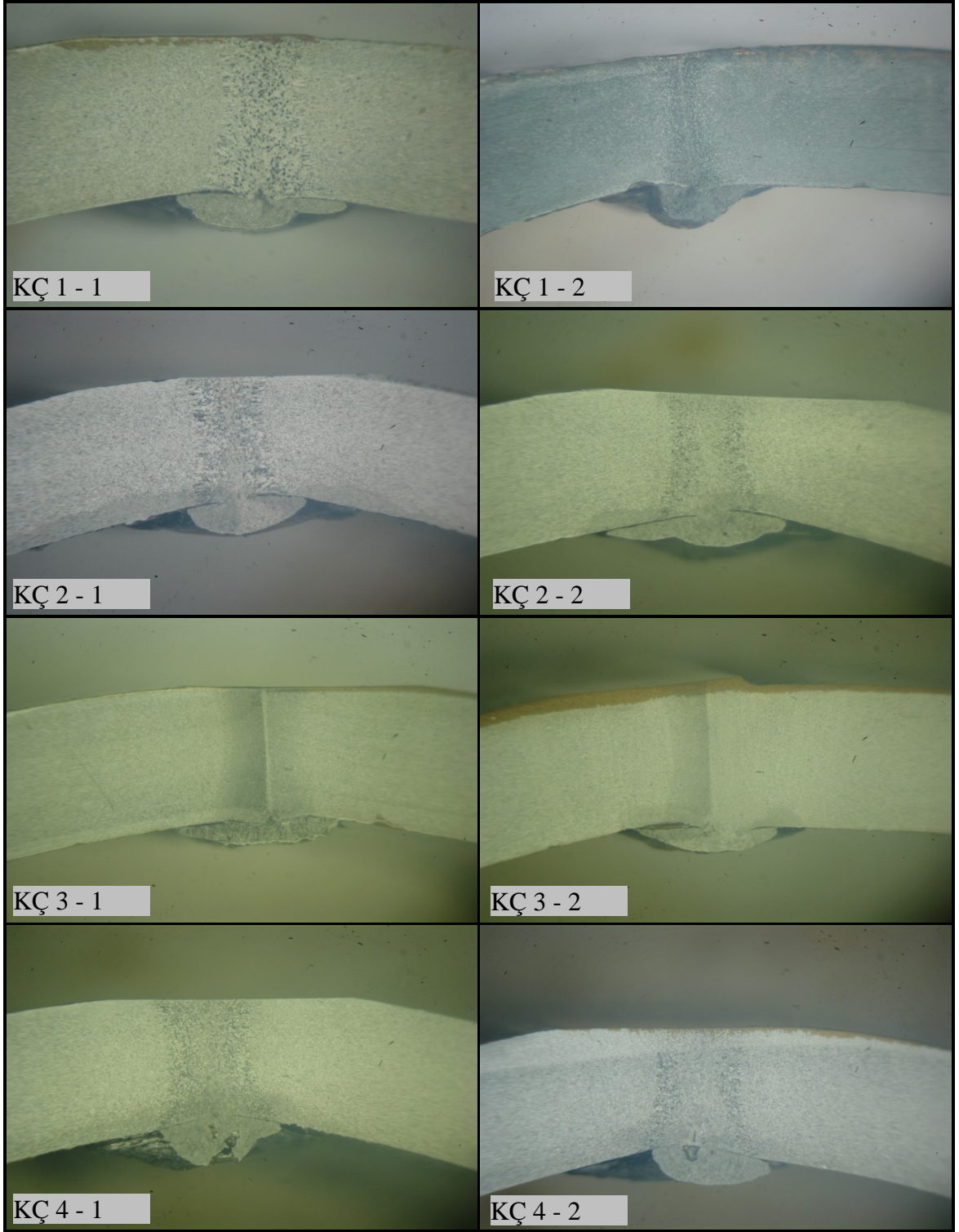
$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cu + Cr)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (8.11)$$

Çizelge 8.5' te malzeme testlerinden elde edilen değerleri $C_{eş}$ ve P_{CM} değerlerini hesaplayarak Çizelge 8.6'da gösterildiği gibi özetleyebiliriz. ML1 ve ML2 kodlu malzemeler aynı cins olduğundan ortalama değerleri alınarak tek bir değer olarak kabul edilebilir.

Çizelge 8.6 Kimyasal analiz değerlerine bağlı olarak $C_{eş}$ ve P_{CM} değerlerinin gösterimi

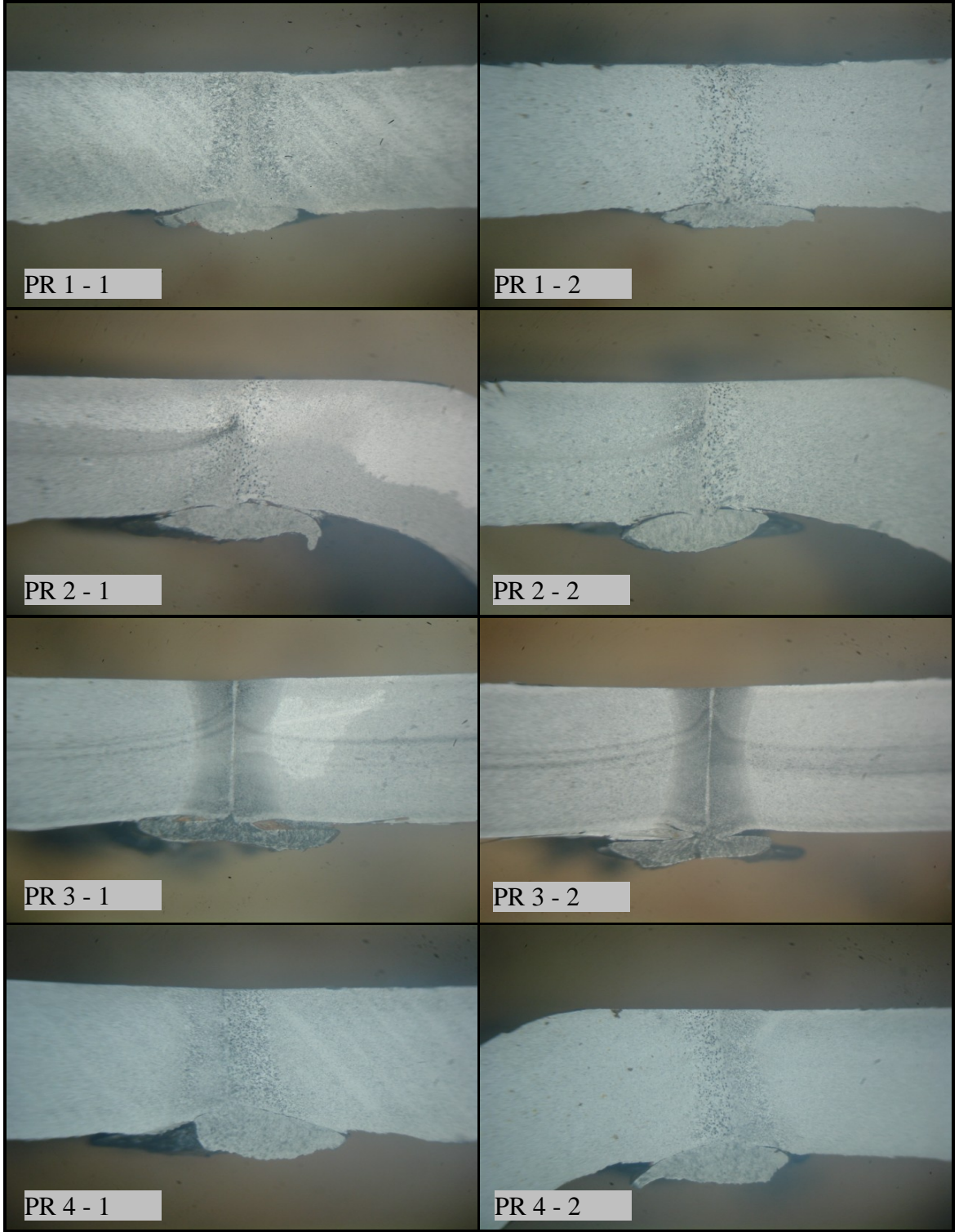
Kod No	C	Si	Mn	P+S	Cu+Ni+Cr	Al	$C_{eş}$	P_{CM}
ML1-2	0,046	0,016	0,31	0,033	0,11	0,048	0,11	0,07
ML3	0,139	0,010	0,36	0,036	0,11	0,032	0,21	0,16
ML4	0,045	0,000	0,34	0,024	0,05	0,032	0,11	0,07

Kaynak çıkışından alınan numunelere ait makro görüntüler Şekil 8.6' te verilmiştir.



Şekil 8.6 Kaynak çıkışından alınan numunelere ait makro görüntüler

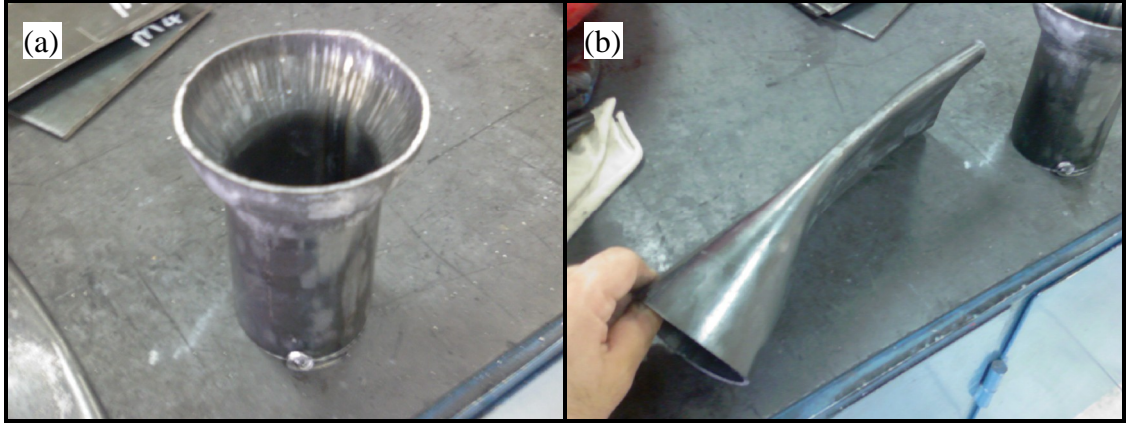
Profilden alınan numunelere ait makro görüntüler Şekil 8.7' de verilmiştir.



Şekil 8.7 Profilden alınan numunelere ait makro görüntüler

Kaynak çıkışından ve profilden alınan numunelere ait makro görüntüler, kaynak bölgesinin düzgün bir şekilde oluştuğunu ve numunelerde kaynak açısından herhangi bir problemin

olmadığını göstermektedir. Ayrıca, kaynak çıkışından alınan numunelere yapılan genişletme ve açma-kapama testleri kaynağın doğruluğunu göstermiştir. Deney sonrasında kaynak bölgesinden herhangi bir hata vermeyen deformasyonlu parçaların görüntüleri Şekil 8.8' de gösterilmiştir.



Şekil 8.8 a-Kaynak çıkışından alınan numunelere uygulanan genişletme testi, b- kaynak çıkışından alınan numunelere uygulanan açma kapama testi

Çizelge 8.7' de dilinmiş sac'tan alınan numunelerin ölçüm değerleri sunulmuştur. Numunelere bant genişliği ölçümü, et kalınlığının belirlenebilmesi için ölçülen en küçük ve en büyük değerler dikkate alınmıştır. ML3 ve ML4 kodlu malzemeler için yapılan et kalınlığı ölçümleri ML1 kodlu malzeme değerlerine yaklaşık olduğundan tabloda yer verilmemiştir.

Çizelge 8.7 Dilinmiş sac numuneleri ölçüm değerleri sonuçları

DİLİNMIŞ SAC							
Numune Kodu	Genişlik	Et Kalınlığı		Numune Kodu	Genişlik	Et Kalınlığı	
		min	max			min	max
ML1	186	4,78	4,82	ML2	178	4,80	4,84
	186	4,75	4,87		178	4,80	4,82
	186	4,65	4,69		178	4,65	4,67
	186	4,68	4,69		178	4,65	4,68
	186	4,66	4,69		178	4,61	4,63
	186	4,64	4,66		178	4,65	4,70
	186	4,78	4,85		178	4,70	4,73
	186	4,72	4,74		178	4,79	4,82
	186	4,65	4,66		178	4,60	4,62
	186	4,70	4,72		178	4,68	4,70
ort	186	4,70	4,74	ort	178	4,70	4,72
ML3 (ort)	188	Et kalınlığı ortalama değeri malzeme 1 ile aynıdır.		ML4 (ort)	178	Et kalınlığı ortalama değeri malzeme 1 ile aynıdır.	

Çizelge 8.8’ de kaynak çıkışı numunelerden alınan ölçüm değerleri sunulmuştur. Alınan numunelerin dış çapı ölçülmüş ve en düşük, en yüksek iki değeri kayıt altına alınmıştır. Yapılan et kalınlığı ölçümleri için de aynı yöntem kullanılarak en düşük ve en yüksek değerler göz önünde tutulmuştur. Çevre ölçümleri için ise kağıt sarma yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 8.8 Kaynak çıkışı numuneleri ölçüm değerleri sonuçları

KAYNAK ÇIKIŞI											
Num. Kodu	Çap (mm)		Et Kal. (mm)		Çev. (mm)	Num. Kodu	Çap (mm)		Et Kal. (mm)		Çev. (mm)
	min	max	min	max			min	max	min	max	
KÇ1	61,6	62,6	4,75	4,78	195	KÇ2	60,0	61,0	4,65	4,68	191
	61,6	62,6	4,80	4,92	195		59,8	60,9	4,80	4,87	191
	61,5	62,6	4,80	4,85	195		59,9	60,8	4,78	4,84	191
	61,6	62,6	4,70	4,85	195		60,0	60,8	4,60	4,70	191
	61,6	62,6	4,78	4,84	195		60,0	60,6	4,75	4,85	191
	61,4	62,6	4,74	4,80	195		60,0	60,6	4,65	4,72	191
	61,4	62,6	4,75	4,82	195		60,0	60,6	4,78	4,90	191
	61,4	62,5	4,60	4,65	195		60,0	60,6	4,70	4,78	191
	61,4	62,5	4,65	4,70	195		60,0	60,7	4,70	4,82	191
	61,4	62,5	4,68	4,75	195		60,0	60,7	4,75	4,82	191
ort	61,5	62,5	4,73	4,80	195	ort	60,0	60,7	4,72	4,80	191
KÇ3	61,6	62,7	4,70	4,90	195	KÇ4	60,3	61,0	4,80	4,91	191
	61,6	62,7	4,72	4,84	195		60,4	61,1	4,88	4,95	191
	61,6	62,8	4,70	4,77	195		60,6	61,1	4,81	4,89	191
	61,6	62,7	4,70	4,84	195		60,2	61,1	4,83	4,89	191
	61,6	62,6	4,80	4,84	195		60,4	61,1	4,80	4,89	191
ort	61,6	62,7	4,72	4,83	195	ort	60,4	61,1	4,80	4,90	191

Çizelge 8.9’ da nihai ürün profil numunelerinden alınan ölçüm değerleri sunulmuştur. Profil haldeki ürünlerin dört kenarı, et kalınlığı ve tüm dış radyüs değerleri ölçülmüştür. Çevre ölçüm değerleri ise kaynak çıkışı numunelerinde olduğu gibi kağıt sarma yöntemi ile elde edilmiştir.

Çizelge 8.10’ da malzeme, kaynak çıkışı ve nihai ürün profillerden alınan numunelere ait çekme deneyine bağlı değerler sunulmuştur. Ayrıca ortalama akma ve kopma gerilmeleri değerlerine bağlı olarak akma oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 8.7, Çizelge 8.8, Çizelge 8.9’ daki deney sonuçlarına bağlı olarak elde edilen ve hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama değerler Çizelge 8.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.12’ de ise Çizelge 8.10’ daki çekme deney sonuçlarının ortalaması görülmektedir.

Çizelge 8.9 Profil numuneleri ölçüm değerleri sonuçları

PROFİL										
Num. Kodu	EBAT (mm)				Et Kal. (mm)	Radyüsler (mm)				Çevre (mm)
	1	2	3	4		1	2	3	4	
PR1	49,7	49,8	49,9	50,0	4,70	10,5	11,0	11,5	11,0	186
	49,7	49,7	49,9	49,9	4,78	10,5	11,0	11,5	11,0	186
	49,7	49,8	49,9	50,0	4,77	10,5	11,5	11,5	11,5	186
	49,7	49,7	49,9	50,0	4,77	10,5	12,0	11,5	12,0	186
	49,7	49,7	49,9	50,0	4,87	10,5	12,0	11,5	11,0	186
	49,7	49,8	49,9	50,0	4,80	10,5	12,5	11,5	11,5	186
	49,7	49,7	49,9	50,0	4,82	10,5	12,0	11,5	11,5	186
	49,7	49,7	49,9	50,0	4,82	10,5	11,5	11,5	12,0	186
	49,7	49,7	49,9	50,0	4,77	10,0	11,0	11,0	11,5	186
	49,7	49,7	49,9	50,0	4,75	10,5	11,0	11,0	12,0	186
ort	49,7	49,7	50,0	50,0	4,79	10,5	11,6	11,4	11,5	186
PR2	49,6	49,7	49,7	49,7	4,80	15,0	13,5	10,5	13,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,85	12,0	15,0	14,0	11,0	182
	49,6	49,7	49,6	49,7	4,70	11,5	14,0	14,0	12,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,75	11,5	12,0	12,5	12,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,80	11,5	13,5	13,5	12,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,78	12,0	14,5	14,0	11,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,71	12,5	13,5	13,0	12,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,82	11,5	12,5	13,5	12,5	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,70	11,5	12,0	13,0	12,0	182
	49,6	49,6	49,6	49,7	4,85	11,5	12,0	12,5	12,0	182
ort	49,6	49,6	49,6	49,7	4,78	12,0	13,2	13,0	12,0	182
PR3	50,0	50,0	50,1	50,2	4,96	11,5	11,5	11,5	10,5	185
	50,0	50,0	50,1	50,2	4,98	11,5	11,5	11,5	10,5	185
	50,0	50,0	50,1	50,1	4,87	12,0	11,0	11,5	10,5	185
	49,9	50,0	50,1	50,1	4,81	11,5	11,0	11,5	10,5	185
	50,0	50,0	50,1	50,2	4,89	11,0	12,5	11,5	12,0	185
	49,5	49,6	49,7	49,8	4,92	11,5	10,5	11,5	10,5	185
	49,9	49,9	50,0	50,1	4,77	11,5	11,0	11,5	10,5	185
	50,0	50,0	50,0	50,0	4,74	11,5	11,0	11,5	10,5	185
	49,9	49,9	50,1	50,0	4,77	11,5	11,0	12,0	10,5	185
	49,9	49,9	50,1	50,0	4,86	11,5	11,0	12,0	10,5	185
ort	49,9	49,9	50,0	50,1	4,86	11,5	11,2	11,6	10,7	185
PR4	49,8	49,8	49,8	49,9	4,92	12,5	12,5	13,0	12,5	183
	49,8	49,8	49,8	49,9	5,00	11,5	12,5	11,0	12,5	183
	49,8	49,8	49,8	49,9	4,94	12,0	13,5	13,0	11,0	183
	49,8	49,7	49,7	49,8	4,94	12,0	12,5	11,5	12,5	183
	49,9	49,8	49,8	49,9	4,93	12,0	13,5	12,5	12,5	183
	49,7	49,7	49,8	49,8	4,90	12,5	11,5	12,0	11,5	183
	49,8	49,8	49,8	49,9	4,92	12,5	14,0	12,0	12,5	183
	49,3	49,3	49,3	49,4	4,87	12,0	10,5	11,0	10,5	183
	49,8	49,8	49,8	49,9	4,98	12,0	12,5	12,0	13,0	183
	49,8	49,8	49,8	49,9	4,89	11,5	12,0	11,5	12,5	183
ort	49,8	49,7	49,8	49,8	4,93	12,1	12,5	12,0	12,1	183

Çizelge 8.10 Malzeme, kaynak çıkışı ve profil numuneleri çekme deney sonuçları

	Rp _{0,2}	Rm	%A	A. Or.		Rp _{0,2}	Rm	%A	A. Or.		Rp _{0,2}	Rm	%A	A. Or.
ML1-1	221,6	323,0	25,3		KÇ1-1	329,0	374,8	12,5		PR1-1	342,4	384,8	12,2	
ML1-2	259,5	357,6	23,1		KÇ1-2	336,0	384,4	14,4		PR1-2	364,3	415,1	9,3	
ML1-3	258,7	352,8	23,1		KÇ1-3	328,4	388,5	11,7		PR1-3	354,0	401,0	13,4	
ML1-4	225,0	340,0	27,4		KÇ1-4	321,0	360,3	14,6		PR1-4	352,9	395,5	9,2	
ML1-5	218,3	332,0	27,6		KÇ1-5	309,1	352,6	16,1		PR1-5	343,2	382,3	11,4	
ML1-6	231,6	330,3	22,2		KÇ1-6	327,7	405,8	13,9		PR1-6	347,5	388,4	9,8	
ML1-7	242,3	359,2	22,3		KÇ1-7	336,0	401,7	14,4		PR1-7	358,6	398,7	9,3	
ML1-8	229,6	331,1	24,2		KÇ1-8	327,6	386,7	17,5		PR1-8	373,8	413,0	7,8	
ML1-9	237,8	327,6	21,0		KÇ1-9	312,1	378,4	17,3		PR1-9	349,5	388,7	10,0	
ML1-10	268,6	368,0	21,3		KÇ1-10	316,5	386,4	16,9		PR1-10	352,1	390,2	9,0	
ML1-ort	239,3	342,2	23,8	0,70	KÇ1-ort	324,0	382,0	15,0	0,85	PR1-ort	354,0	396,0	10,1	0,89
ML2-1	216,6	320,4	28,7		KÇ2-1	331,6	397,6	14,6		PR2-1	353,2	397,3	11,7	
ML2-2	217,9	334,2	24,8		KÇ2-2	327,6	394,5	16,4		PR2-2	348,3	391,1	10,1	
ML2-3	212,1	321,8	29,9		KÇ2-3	330,0	376,3	16,1		PR2-3	344,1	392,1	11,6	
ML2-4	212,8	324,1	27,5		KÇ2-4	333,7	393,3	16,4		PR2-4	339,0	382,4	12,2	
ML2-5	264,3	358,6	22,4		KÇ2-5	335,9	385,4	15,2		PR2-5	352,4	402,5	13,0	
ML2-6	244,5	351,2	20,4							PR2-6	337,8	386,9	8,8	
ML2-7	264,0	364,2	19,7							PR2-7	350,4	392,0	8,9	
ML2-8	226,3	342,3	25,4							PR2-8	349,9	389,9	10,1	
ML2-9	230,7	349,7	23,5							PR2-9	346,6	389,7	9,3	
ML2-10	227,0	339,0	22,8							PR2-10	356,7	396,7	10,5	
ML2-ort	231,6	340,6	24,5	0,68	KÇ2-ort	332,0	390,0	15,8	0,85	PR2-ort	348,0	392,0	10,6	0,89
ML3-1	263,6	405,5	26,2		KÇ3-1	337,5	400,0	16,9		PR3-1	378,4	464,6	11,3	
ML3-2	264,2	415,5	23,5		KÇ3-2	338,9	496,9	17,4		PR3-2	449,9	500,8	9,7	
ML3-3	250,0	397,9	25,7		KÇ3-3	327,5	488,8	15,5		PR3-3	438,3	497,1	9,3	
ML3-4	252,5	381,9	24,1		KÇ3-4	314,7	460,0	15,5		PR3-4	464,2	507,0	11,5	
ML3-5	303,1	397,6	24,9		KÇ3-5	306,0	374,5	16,7		PR3-5	425,5	471,7	10,1	
ML3-6										PR3-6	443,8	502,1	9,4	
ML3-7										PR3-7	427,3	480,3	8,4	
ML3-8										PR3-8	444,7	484,8	12,0	
ML3-9										PR3-9	441,0	489,2	10,7	
ML3-10										PR3-10	467,7	515,1	6,1	
ML3-ort	267,0	400,0	24,9	0,67	KÇ3-ort	325,0	444,0	16,4	0,73	PR3-ort	438,0	491,0	9,9	0,89
ML4-1	242,2	340,7	21,2		KÇ4-1	328,5	399,0	17,5		PR4-1	355,0	394,8	12,2	
ML4-2	230,1	338,8	24,8		KÇ4-2	323,5	385,8	16,5		PR4-2	355,8	399,9	13,3	
ML4-3	260,0	377,1	23,3		KÇ4-3	331,2	399,7	15,4		PR4-3	371,0	406,2	9,3	
ML4-4	237,7	341,8	22,6							PR4-4	348,9	393,7	11,5	
ML4-5	276,6	375,0	18,1							PR4-5	360,5	399,4	11,9	
ML4-6										PR4-6	372,0	411,0	7,3	
ML4-7										PR4-7	360,8	393,2	8,2	
ML4-8										PR4-8	370,3	411,9	10,5	
ML4-9										PR4-9	356,4	395,0	9,2	
ML4-10										PR4-10	369,6	412,2	8,3	
ML4-ort	249,0	355,0	22,0	0,70	KÇ4-ort	328	395	16,4	0,83	PR4-ort	362,0	402,0	10,2	0,90

Çizelge 8.11 Numune ölçüm değerleri sonucunda oluşan ortalama değerler

Malzeme			Kaynak çıkışı				Profil				
Kod no	Gen.	Et kal.	Kod no	Et kal.	Çap	Çevre dışı	Kod no	Et kal.	Ort. ken	Ort. rad.	Çevre dışı
ML1	186	4,72	KÇ1	4,77	62,0	195	PR1	4,79	49,8	11,3	186
ML2	178	4,71	KÇ2	4,76	60,4	191	PR2	4,78	49,7	12,6	182
ML3	188	4,72	KÇ3	4,78	62,1	195	PR3	4,86	50,0	11,3	185
ML4	178	4,72	KÇ4	4,85	60,7	191	PR4	4,93	49,8	12,2	183

Çizelge 8.12 Çekme testi sonucunda oluşan ortalama değerler

Kod no	Rp _{0,2}	Rm	%A	Akma Oranı	Kod no	Rp _{0,2}	Rm	%A	Akma Oranı	Kod no	Rp _{0,2}	Rm	%A	Akma Oranı
ML1	235	341	24,1	0,69	KÇ1	324	382	15,0	0,85	PR1	354	396	10,1	0,89
ML2					KÇ2	332	390	15,8	0,85	PR2	348	392	10,6	0,89
ML3	267	400	24,9	0,67	KÇ3	325	444	16,4	0,73	PR3	438	491	9,9	0,89
ML4	249	355	22,0	0,70	KÇ4	328	395	16,4	0,83	PR4	362	402	10,2	0,90

8.6 Test Sonuçlarının İrdelenmesi

8.6.1 Kaynak Baskısı ile Dışarı Atılan Kaynak Çapağı Miktarının Belirlenmesi

% deformasyon miktarı hesaplanırken, teoride bant kalınlığının üçte ikisi (2.s/3) olarak alınan dışarı atılan kaynak çapağı miktarının deformasyon üzerinde önemli bir etkisi vardır. Teoride kabul edilen bu değer her zaman aynı şekilde gerçekleşmeyebilir. Bunun nedeni işletim sırasındaki koşullar veya operatörün yapmış olduğu ayarlamalar olabilir. Kaynak çapına (D_s) bağlı olarak oluşan nihai boru-profil ortalama dış çevresinin (U_{ort}), bant genişliğinden (B) çıkarılması neticesinde pratikte ortaya çıkan bu değer hakkında fikir sahibi olunabilir. Yapmış olduğum deney çalışması için her bir bant genişliğine bağlı olarak bu değer hesaplanmış, en düşük değer sıkıştırma miktarı olarak kabul edilmiştir.

4 no' lu grup için bu değer aşağıdaki değerlere bağlı olarak;

$$D_s = 60,8 \text{ mm}, B = 178 \text{ mm}, s = 4,75 \text{ mm}$$

Kaynak çapağı miktarı = $B - (D_s - s) \cdot \pi = 178 - (60,8 - 4,75)\pi = 1,91 \text{ mm}$ olarak bulunur.

1 no' lu grup için bu değer 6,15 mm, 2 no' lu grup için bu değer 3,17 mm, 3 no' lu grup için bu değer 7,83 mm olduğundan en küçük değer olan 1,91 mm tüm gruplar için kaynak baskısı ile dışarı atılan kaynak çapağı miktarı olarak kabul edilecektir.

8.6.2 Deformasyon Miktarının Hesaplanması

Deformasyon miktarının hesaplanmasında gruplara bağlı olarak tüm ölçüm değerlerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen Çizelge 8.11' deki değerler esas alınacaktır.

1 no' lu malzeme grubu için;

Bant genişliği (B) =186 mm, profil dış çevresi (U_n) =186 mm, profil et kalınlığı (s) =4,79 mm kaynak çapı (D_s) = 62,0 mm, kaynak çıkışı et kalınlığı (s_K) =4,76 mm.

$$D_n = \frac{U_n}{\pi} \quad (8.4)$$

$$D_n = \frac{186}{\pi} = 59,20 \text{ mm}$$

$$D_{nort} = D_n - s \quad (8.5)$$

$$D_{nort} = 59,20 - 4,79 = 54,41 \text{ mm}$$

$$U_{nort} = D_{nort} \cdot \pi \quad (8.6)$$

$$U_{nort} = 54,41 \cdot \pi = 170,9 \text{ mm}$$

$$D_{sort} = D_s - s_K \quad (8.12)$$

$$D_{sort} = 62 - 4,76 = 57,24 \text{ mm}$$

$$U_{sort} = D_{sort} \cdot \pi \quad (8.13)$$

$$U_{sort} = 57,24 \cdot \pi = 179,82 \text{ mm}$$

$$B_n = B - (2 \cdot s / 3) \quad (8.1)$$

Teoride $2 \cdot s / 3$ olan kaynak çapağı miktarının 1,91 mm olarak alınacağı açıklanmıştır.

$$B_n = 186 - 1,91 = 184,09 \text{ mm}$$

Elde edilen bu değerlere bağlı olarak, toplam deformasyon miktarı ve kaynak çıkış ile malzeme arasındaki deformasyon miktarı sırasıyla,

$$\% \varepsilon = ((B_n - U_{nort}) / B_n) \cdot 100 \quad (8.2)$$

$$\% \varepsilon_1 = ((184,09 - 170,90) / 184,09) \cdot 100 = \% 7,2$$

$$\% \varepsilon_K = ((B_n - U_{sort}) / B_n) \cdot 100 \quad (8.14)$$

$$\% \varepsilon_{K1} = ((184,09 - 179,82)/184,09) \cdot 100 = \%2,3 \quad \text{bulunur.}$$

2 no' lu malzeme grubu için;

Bant genişliği (B) =178 mm, profil dış çevresi (U_n) =182 mm, profil et kalınlığı (s) =4,78 mm kaynak çapı (D_S) = 60,4 mm, kaynak çıkışı et kalınlığı (s_K) =4,76 mm.

$$D_n = \frac{U_n}{\pi} \quad (8.4)$$

$$D_n = \frac{182}{\pi} = 57,93 \text{ mm}$$

$$D_{nort} = D_n - s \quad (8.5)$$

$$D_{nort} = 57,93 - 4,78 = 53,15 \text{ mm}$$

$$U_{nort} = D_{nort} \cdot \pi \quad (8.6)$$

$$U_{nort} = 53,15 \cdot \pi = 166,9 \text{ mm}$$

$$D_{sort} = D_S - s_K \quad (8.12)$$

$$D_{sort} = 60,4 - 4,76 = 55,64 \text{ mm}$$

$$U_{sort} = D_{sort} \cdot \pi \quad (8.13)$$

$$U_{sort} = 55,64 \cdot \pi = 174,79 \text{ mm}$$

$$B_n = B - (2 \cdot s / 3) \quad (8.1)$$

Teoride 2.s/3 olan kaynak çapağı miktarının 1,91 mm olarak alınacağı açıklanmıştır.

$$B_n = 178 - 1,91 = 176,09 \text{ mm}$$

Elde edilen bu değerlere bağlı olarak, toplam deformasyon miktarı ve kaynak çıkış ile malzeme arasındaki deformasyon miktarı sırasıyla,

$$\% \varepsilon = ((B_n - U_{nort}) / B_n) \cdot 100 \quad (8.2)$$

$$\% \varepsilon_2 = ((176,09 - 166,9) / 176,09) \cdot 100 = \%5,2$$

$$\% \varepsilon_K = \left((B_n - U_{sort}) / B_n \right) \cdot 100 \quad (8.14)$$

$$\% \varepsilon_{K2} = \left((176,09 - 174,79) / 176,09 \right) \cdot 100 = \% 1,1 \quad \text{bulunur.}$$

3 no' lu malzeme grubu için;

Bant genişliği (B) =188 mm, profil dış çevresi (U_n) =185 mm, profil et kalınlığı (s) =4,86 mm
kaynak çapı (D_s) = 62,1 mm, kaynak çıkışı et kalınlığı (s_K) =4,78 mm.

$$D_n = \frac{U_n}{\pi} \quad (8.4)$$

$$D_n = \frac{185}{\pi} = 57,88 \text{ mm}$$

$$D_{nort} = D_n - s \quad (8.5)$$

$$D_{nort} = 57,88 - 4,86 = 53,02 \text{ mm}$$

$$U_{nort} = D_{nort} \cdot \pi \quad (8.6)$$

$$U_{nort} = 53,02 \cdot \pi = 166,7 \text{ mm}$$

$$D_{sort} = D_s - s_K \quad (8.12)$$

$$D_{sort} = 62,1 - 4,78 = 57,32 \text{ mm}$$

$$U_{sort} = D_{sort} \cdot \pi \quad (8.13)$$

$$U_{sort} = 57,32 \cdot \pi = 180,07 \text{ mm}$$

$$B_n = B - (2 \cdot s / 3) \quad (8.1)$$

Teoride 2.s/3 olan kaynak çapağı miktarının 1,91 mm olarak alınacağı açıklanmıştır.

$$B_n = 188 - 1,91 = 186,09 \text{ mm}$$

Elde edilen bu değerlere bağlı olarak, toplam deformasyon miktarı ve kaynak çıkışı ile malzeme arasındaki deformasyon miktarı sırasıyla,

$$\% \varepsilon = \left((B_n - U_{nort}) / B_n \right) \cdot 100 \quad (8.2)$$

$$\% \varepsilon_3 = ((186,09 - 169,7) / 186,09) \cdot 100 = \% 8,8$$

$$\% \varepsilon_K = ((B_n - U_{sort}) / B_n) \cdot 100 \quad (8.14)$$

$$\% \varepsilon_{K3} = ((186,09 - 180,07) / 186,09) \cdot 100 = \% 3,2 \quad \text{bulunur.}$$

4 no' lu malzeme grubu için;

Bant genişliği (B) =178 mm, profil dış çevresi (U_n) =183 mm, profil et kalınlığı (s) =4,93 mm
kaynak çapı (D_S) = 60,7 mm, kaynak çıkışı et kalınlığı (s_K) =4,85 mm.

$$D_n = \frac{U_n}{\pi} \quad (8.4)$$

$$D_n = \frac{183}{\pi} = 58,25 \text{ mm}$$

$$D_{nort} = D_n - s \quad (8.5)$$

$$D_{nort} = 58,25 - 4,93 = 53,32 \text{ mm}$$

$$U_{nort} = D_{nort} \cdot \pi \quad (8.6)$$

$$U_{nort} = 53,32 \cdot \pi = 167,5 \text{ mm}$$

$$D_{sort} = D_S - s_K \quad (8.12)$$

$$D_{sort} = 60,7 - 4,85 = 55,85 \text{ mm}$$

$$U_{sort} = D_{sort} \cdot \pi \quad (8.13)$$

$$U_{sort} = 55,85 \cdot \pi = 175,45 \text{ mm}$$

$$B_n = B - (2 \cdot s / 3) \quad (8.1)$$

Teoride 2.s/3 olan kaynak çapağı miktarının 1,91 mm olarak alınacağı açıklanmıştır.

$$B_n = 178 - 1,91 = 176,09 \text{ mm}$$

Elde edilen bu değerlere bağlı olarak, toplam deformasyon miktarı ve kaynak çıkış ile malzeme arasındaki deformasyon miktarı sırasıyla,

$$\% \varepsilon = \left(\frac{B_n - U_{nort}}{B_n} \right) \cdot 100 \quad (8.2)$$

$$\% \varepsilon_4 = \left(\frac{176,09 - 167,5}{176,09} \right) \cdot 100 = \%4,8$$

$$\% \varepsilon_K = \left(\frac{B_n - U_{sori}}{B_n} \right) \cdot 100 \quad (8.14)$$

$$\% \varepsilon_{K4} = \left(\frac{176,09 - 175,45}{176,09} \right) \cdot 100 = \%0,4 \quad \text{bulunur.}$$

Hesaplanan bu deformasyon değerlerini Çizelge 8.11'e eklersek Çizelge 8.13' deki veriler oluşur.

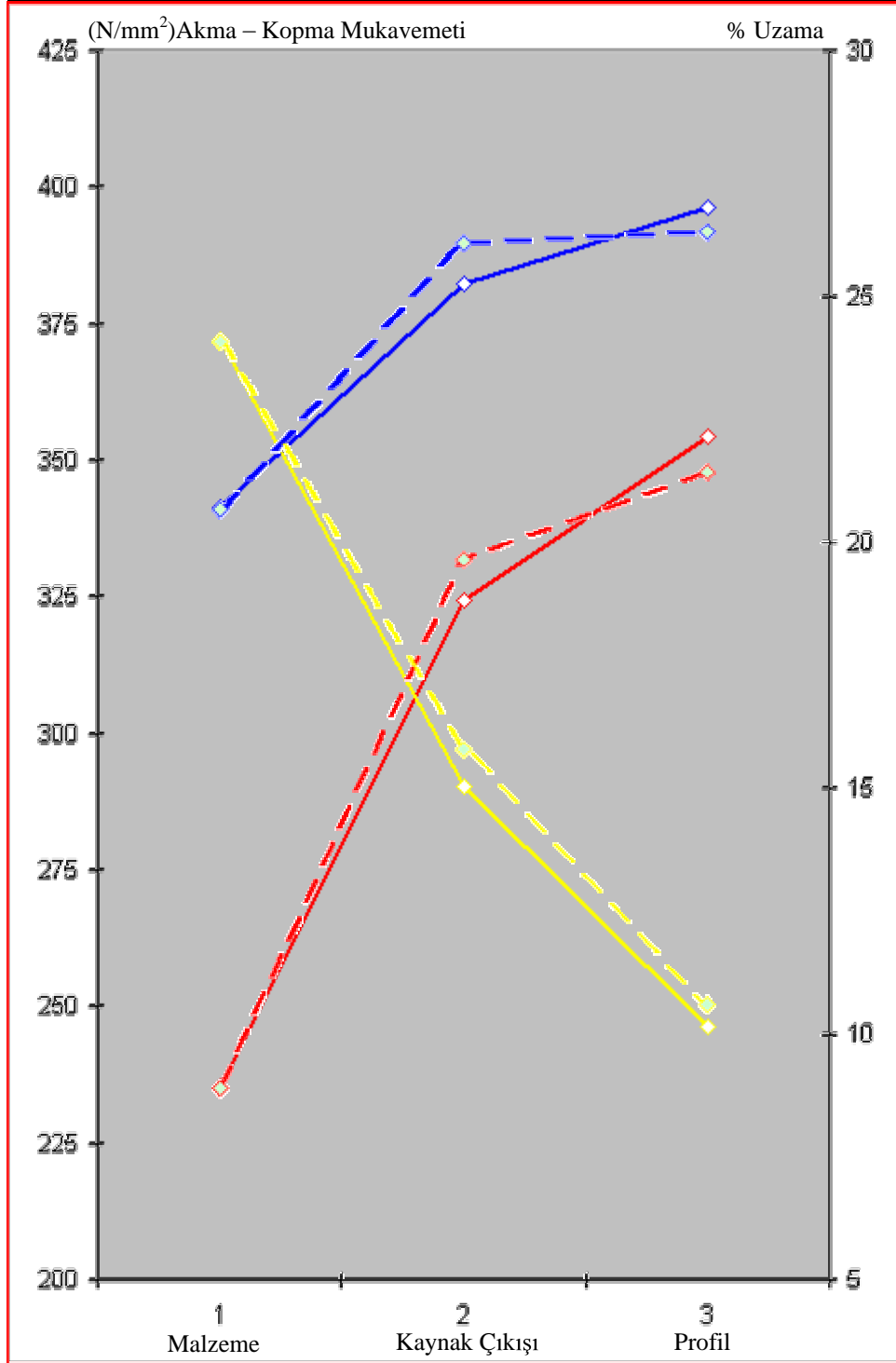
Çizelge 8.13 Numune ölçüm değerleri sonucunda oluşan ortalama değerlere bağlı olarak hesaplanan deformasyon miktarları

Malzeme		Kaynak Çıkışı					Profil					
Kod no	Gen. (mm)	Kod no	Et kal. (mm)	Çap (mm)	Çev. ort. (mm)	% şek. değ.	Kod no	Et kal. (mm)	Çev. dış (mm)	Çev. ort. (mm)	% şek. değ.	Top.% şek. değ.
ML1	186	KÇ1	4,77	62,0	179,82	2,3	PR1	4,79	186	170,90	4,9	7,2
ML2	178	KÇ2	4,76	60,4	174,79	1,1	PR2	4,78	182	166,90	4,1	5,2
ML3	188	KÇ3	4,78	62,1	180,07	3,2	PR3	4,86	185	169,70	5,6	8,8
ML4	178	KÇ4	4,85	60,7	174,45	0,4	PR4	4,93	183	167,50	4,4	4,8

Çizelge 8.12 incelendiğinde her bir grup için ortalama akma ve kopma mukavemeti değerlerini, % uzama katsayılarını ve akma oranları görebiliriz.

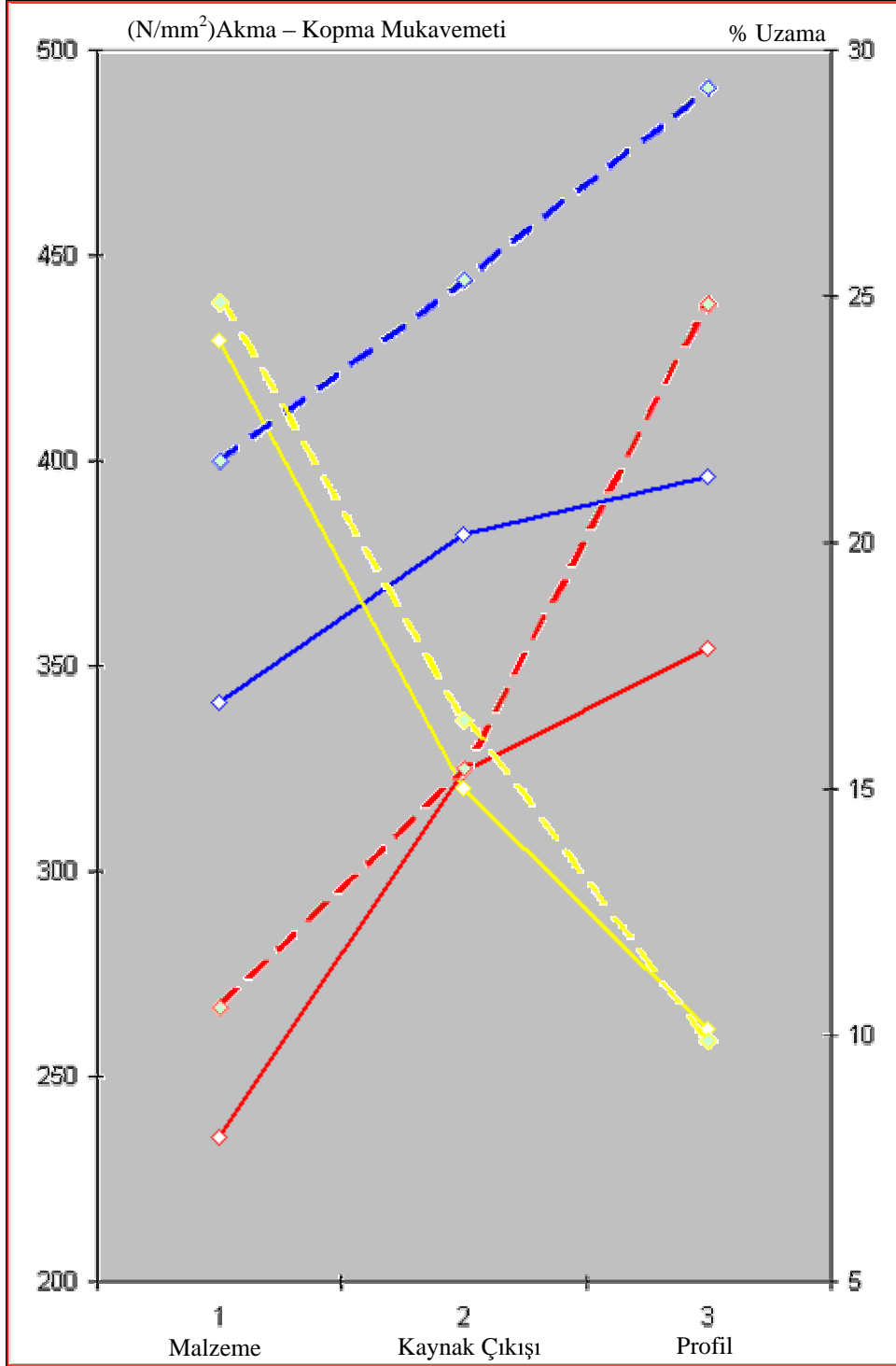
Çizelge 8.12' deki değerlerden faydalanarak numune grupları arasında oluşan mekanik özelliklerdeki değişimi incelenmesinde Şekil 8.9 ve Şekil 8.10'da gösterilen grafikler elde edilir. Şekil 8.9'da mavi renkli çizgiler kopma mukavemetini, kırmızı renkli çizgiler akma mukavemetini, sarı renkli çizgiler ise % uzama miktarını göstermektedir. Düz dolu çizgi ile belirtilen değerler ML1, KÇ1 ve PR1' den oluşan 1 numaralı numune grubunu, kesikli çizgi ile belirtilen değerler ise ML2, KÇ2 ve PR2' den oluşan 2 numaralı numune grubunu işaret etmektedir.

Şekil 8.10 da Çizelge 8.12' deki akma mukavemeti, kopma mukavemeti ve % uzama değerlerinden faydalanılarak elde edilmiştir. Şekil 8.10' da düz dolu çizgi ile belirtilen değerler ML1, KÇ1 ve PR1' den oluşan 1 numaralı numune grubunu, kesikli çizgi ile belirtilen değerler ise ML3, KÇ3 ve PR3' ten oluşan 3 numaralı numune grubunu işaret etmektedir.



- | | |
|------------------------|----------------------------|
| — ML1 Akma mukavemeti | - - - ML2 Akma mukavemeti |
| — ML1 Kopma mukavemeti | - - - ML2 Kopma mukavemeti |
| — ML1 % Uzama | - - - ML2 % Uzama |

Şekil 8.9 1 no' lu ve 2 no' lu numune grubu arasındaki şekil değiştirme, akma ve kopma mukavemetleri değerlerinin grafik üzerindeki gösterimi



- ML1 Akma mukavemeti
- ML1 Kopma mukavemeti
- ML1 % Uzama
- - - ML3 Akma mukavemeti
- - - ML3 Kopma mukavemeti
- - - ML3 % Uzama

Şekil 8.10 1 no' lu ve 3 no' lu numune grubu arasındaki şekil değiştirme, akma ve kopma mukavemetleri değerlerinin grafik üzerindeki gösterimi

8.7 Sonuçlar ve neriler

Yassı malzemededen, kaynak yöntemleriyle profil üretiminde bant genişliğinin, ürünün mekanik özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Bant genişliği bulunurken tüm hesaplamalarda ortalama çap ve ortalama evre değerleri dikkate alınır. Bant genişliği ve evre ls birbirinden farklı iki kavram olup, evre ls hat boyunca değişkendir. Bant genişliğinin hesaplanmasındaki işlem sırası; profilin nominal evre değerinden nominal çap değerinin hesaplanması, buna bağlı olarak kaynak çapının bulunması ve kaynak çapı değerine istinaden bant genişliğinin elde edilmesi şeklindeydir. Profil et kalınlığı ve radyüs değerlerindeki değişkenlik aynı ebatlı profiller için farklı bant genişliklerinin elde edilmesine neden olacaktır. Bunun nedeni, profilin radyüs değerinin ortalama çevreye, et kalınlığının ise ortalama kaynak çapına olan etkisidir. Profilin radyüs değeri ve et kalınlığı arttıkça bant genişliği azalacaktır. 7.3 no' lu bölümde, bant genişliğinin hesaplanması ve et kalınlığı ile radyüsün bu değer üzerindeki etkisi açıklanmıştır. % şekil değiştirme miktarı ise net bant genişliği ve profil ortalama çevresine bağlıdır. Net bant genişliği kaynak sırasında sıkıştırma ile dışarı atılan metalle etkileşimli, profil ortalama çevresi ise radyüs ve et kalınlığı ile etkileşimli olduğundan, % şekil değiştirme miktarı bu değerlere bağlı olarak değişmektedir. 8.1 no' lu bölümde, % şekil değiştirme miktarının net bant genişliği ve profil ortalama çevresi yardımıyla hesaplanması açıklanmıştır.

Deneysel çalışmada, 50x50x4,8 mm ebatlarında profil için, bant genişliğinin 186 mm değerinden, 178 mm değerine düşürülerek % şekil değiştirme miktarının azaltılabileceği ve böylelikle profil için iyileştirilmiş mekanik özelliklerinin elde edilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca 188 mm ve 186 mm bant genişliğine sahip iki farklı malzeme için, malzeme cinsinin ürün mekanik özellikleri üzerine olan etkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

Konu ile ilgili olarak yapılan literatür taraması, teorik çalışmalar ve bu tez çalışmasında yapılan deneysel çalışmalar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- % şekil değiştirme miktarının teorik olarak hesaplanan değerlerinde, 189 mm bant genişliği değeri için % 11,1, 176 mm bant genişliği için % 4,4 olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada ise aynı cins rulo malzemededen dilinmiş olan 186 mm bant genişliği için şekil değiştirme miktarının % 7,2, 178 mm bant genişliği için ise % 5,2 olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada uygulaması yapılan, bant genişliğindeki 8 mm değerindeki bir azalma % şekil değiştirme miktarını % 2 oranında azaltmıştır. Bu değer teoride hesaplanan yaklaşık % 6,7' lik şekil değiştirme miktarı farkına pek yakın bir değer olmasa da teoride hesaplanan % 6,7' lik şekil değiştirme miktarının 13 mm' lik bir bant genişliği farkı değeri

için oluşturduğu göz önünde bulundurulduğunda deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar teorik sonuçları destekler nitelikte olmuştur.

- Teoride geniş dilinmiş banttın imal edilen profile göre, kabul edilebilir derecede genişliği azaltılmış banttın imal edilen profil üründen beklenen mekanik özellikler, akma mukavemeti ($R_{p0,2}$) ve kopma mukavemeti (R_m) değerlerinin düşük % uzama (% A) miktarının ise yüksek olmasıdır. Şekil 8.9' daki grafik incelendiğinde; aynı tip malzemedan dilinmiş olan, 178 mm' lik genişliğe sahip olan banttın imal edilen profilin $R_{p0,2}$ ve R_m (Şekil 8.9' daki kesikli kırmızı ve kesikli mavi çizgi ile ifade edilen 3 numaralı nokta) değerlerinin, 186 mm' lik genişliğe sahip olan banttın imal edilen profilin $R_{p0,2}$ ve R_m (Şekil 8.9' daki dolu kırmızı ve dolu mavi çizgi ile ifade edilen 3 numaralı nokta) değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Yine Şekil 8.9' daki grafik incelendiğinde, 178 mm' lik genişliğe sahip olan banttın imal edilen profilin % A (Şekil 8.9' daki kesikli sarı çizgi ile ifade edilen 3 numaralı nokta) değerinin, 186 mm' lik genişliğe sahip olan banttın imal edilen profilin % A (Şekil 8.9' daki dolu sarı çizgi ile ifade edilen 3 numaralı nokta) değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerlerin tümü Çizelge 8.12' deki PR1 ve PR2 kodlu satırlardan görülebilir.
- Teoride, formül (8.11)' de verilen P_{CM} değerinin yüksek olması sertleşme özelliğine neden olur. Aynı genişlikte dilinen bantlar için, yüksek P_{CM} değerine sahip olan ürünün akma mukavemeti ($R_{p0,2}$) ve kopma mukavemeti (R_m) değerlerinin, düşük P_{CM} değerine sahip olan ürüne nazaran daha yüksek olması beklenir. Şekil 8.10' daki grafik incelendiğinde; 188 mm genişliğe ve 0,16 P_{CM} değerine sahip olan banttın imal edilmiş profilin $R_{p0,2}$ ve R_m (Şekil 8.10' daki kesikli kırmızı ve kesikli mavi çizgi ile ifade edilen 3 numaralı nokta) değerlerinin, 186 mm genişliğe ve 0,07 P_{CM} değerine sahip olan banttın imal edilmiş profilin $R_{p0,2}$ ve R_m (Şekil 8.10' daki dolu kırmızı ve dolu mavi çizgi ile ifade edilen 3 numaralı nokta) değerlerinden yaklaşık % 24 daha fazla olduğu görülmüştür. Bu değerlerin tümü Çizelge 8.12' deki PR1 ve PR3 kodlu satırlardan görülebilir.
- Akma oranı olarak bilinen, akma mukavemetinin kopma mukavemetine olan oranı bitmiş üründe 0,91 üst sınır değeri ile sınırlıdır. Nihai ürün olan profilin imalatından sonraki soğuk şekil verme işlemlerinde bu sınır değer önemlilik arz eder. Teoride, Şekil 8.1' den de görülebileceği üzere akma oranının ön form grubu (malzeme), kılıçlı makara grubu, kaynak grubu (kaynak çıkışı), kalibre grubu ve türk kafası grubundaki (profil) değişim

verilmiştir. Bu oranın, malzeme için yaklaşık 0,60 – 0,70, kaynak çıkışı için 0,70 – 0,85, profil için ise 0,85 – 0,90 arasında olması istenir. Deneysel çalışmada bu oranların malzeme için 0,67 – 0,70, kaynak çıkışında 0,73 – 0,85, profilde ise 0,89 – 0,90 aralığında olduğu görülmüştür. Akma oranının, bant genişliğinden bağımsız olarak profildeki tüm numune grupları 0,91 değerini sağladığı tespit edilmiştir.

Yukarıda açıklanan maddeler göz önüne alınarak, yüksek frekans kaynağı ile borudan profil oluştururken;

- Malzeme, profil et kalınlığı ve radyüs değeri gibi profil boyutları aynı kalmak koşulu ile % şekil değiştirme miktarının azaltılabilmesi için, bant genişliğinin kabul edilebilir değerler içerisinde azaltılması gerekmektedir. Bant genişliğinin azaltılmasında tezgah için sınırlayıcı değerler dikkate alınmalıdır.
- Malzeme ve profil boyutları aynı kalmak koşulu ile ürünün mekanik özelliklerinden akma ve kopma mukavemet değerlerinin azaltılması, % uzama değerinin arttırılması için bant genişliğinin kabul edilebilir değerler içerisinde azaltılması gerekmektedir. Böylece yüksek % uzama değerine sahip ürünlere daha kolay form verilebilir.
- P_{CM} değerinin, profilin mekanik özellikleri üzerinde bant genişliğinden çok daha önemli bir etkisi vardır. Ürünün akma ve kopma mukavemeti değerlerinin azaltılması istendiğinde malzeme seçiminin P_{CM} değerini düşük tutacak şekilde yapılması gerekmektedir.
- Akma oranının, bant genişliğinin kabul edilebilir farklılıktaki tüm değerleri için, sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Bant genişliği kabul edilebilir değerler içerisinde alındığında akma oranı açısından herhangi bir problem oluşmayacağından, % şekil değiştirme miktarının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalarda bu sınır değerinin sağlanamayacağına dair şüpheye düşülmemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Asperheim, J.I., Grande, B., Markegård, L., Buser, J.E., Lombard, P., (1998) "Temperature Distribution In The Cross-Section Of The Weld Vee", Tube International, November 1998.
- Asperheim, J.I., Grande, B., (2000) "Temperature Evaluation of Weld Vee Geometry and Performance", Tube International, October 2000.
- Borusan Yatırım (2006), Investor Presentation, 1-2 Mart 2006, London.
- Borusan Yatırım (2005), Investor Presentation, 7 Nisan 2005, London.
- Erdemir, (2001), Erdemir Ürün Kataloğu, Rota Yayınları, İstanbul.
- Gehrisch, C., Sladky, A.R., Watt, A.G., (2005), "Design Analysis Of Tube Roll Tooling", Roll-Kraft Profit Pointers, Ohio,U.S.A.
- Halmos, G., (2001), "Selecting the Right Materials for Roll Forming", Tube International, September 2001.
- Kulaksız, Ö., (2000) Metal Mesleğinde Tablolar, Devlet Kitapları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Li, H., Xu Li, K., (2005) "A Good Start Makes A Difference How To Set The Entrance Guide Elevation For Best Results In Roll Forming", Tube International, March 2005.
- Li, Y., ve Focht, H., (2005) "Tension Control in Tube and Pipe Production Getting It Right for Smooth, Steady Mill Operation" Tube International, April 2005.
- Nichols, R.K., (2000), "Common High Frequency Welding Defects", Thermatool Corp, U.S.A.
- Nichols, R.K., (1994), High Frequency Pipe and Tube Welding, Thermatool Corp, U.S.A.
- Noksel, (2006), "Noksel Bant Genişliği Hesaplama Notları", Nisan 2006, Sakarya.
- Özkaya, Ç., (2005), "Borusan Mannesmann Boru Halkalı Fabrikası Eğitim Notları", Kasım 2005, Revizyon 0, İstanbul.
- Sölch, R. ve Hoffmann, R., (2004) "Laser Beam Welding for Continuous Production of Longitudinally Welded Pipes in Chromium-Nickel Steels", Tube International, March 2004.
- Şirin, K., (1997) Yüksek Frekans İndüksiyon Boru Üretiminde Proses Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Wasmer, W., (2004), "Producing Side-Impact Profiles", Tube International, January 2004.
- Wegst, C., Wegst, M., (2004) Stahlschlüssel, Verlag Stahlschlüssel Wegst GMBH D-7162 Marbach, Almanya.
- Weimer, G. ve Cagganello R., (2002), "Electric Resistance Welding At A Glance Process, Power Supply, And Weld Roll Basics", Tube International, June 2002.
- Wen, B., (2005a) "Using Advanced Tooling Designs to Reshape Round Tube into Square and Rectangular Tubes" Roll-Kraft Profit Pointers, Ohio,U.S.A.
- Wen, B., (2005b) "Selecting the Correct Style of Tooling to Minimize Production Costs" Roll-Kraft Profit Pointers, Ohio,U.S.A.

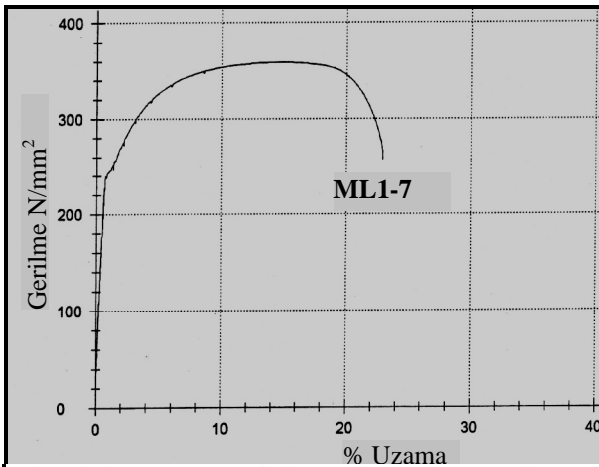
Yazıcı, R.S., (2000), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Demir Çelik Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.

INTERNET KAYNAKLARI

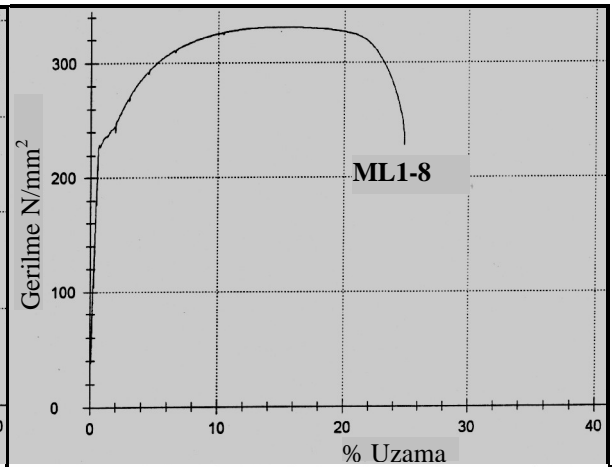
- [1] <http://www.borusan.com.tr>
- [2] <http://www.fmanet.org>
- [3] <http://www.roll-kraft.com>
- [4] <http://www.sciencedirect.com>
- [5] <http://www.tubenet.org>
- [6] <http://www.thefabricator.com>
- [7] <http://www.thermatool-europe.com>

Ek 2 Numune Kodlarına Bağlı Çekme Testi Sonuçları

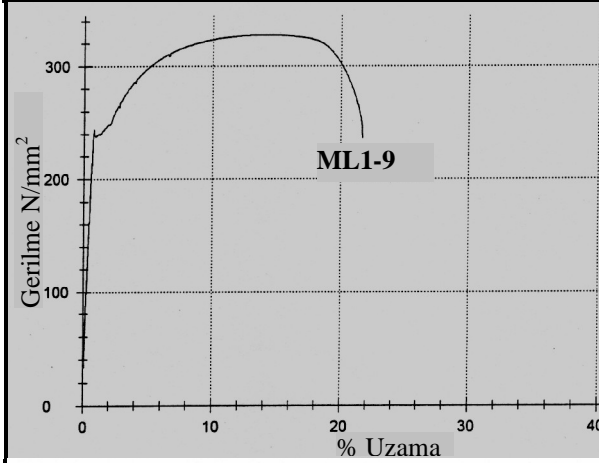
<p style="text-align: center;">ML1-1</p>									<p style="text-align: center;">ML1-2</p>								
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A		a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A	
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%		mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%	
4,7	20,1	94,47	221,60	198,91	323,03	30516,33	25,28		4,7	20,1	94,47	259,46	151,66	357,56	33778,34	23,07	
<p style="text-align: center;">ML1-3</p>									<p style="text-align: center;">ML1-4</p>								
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A		a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A	
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%		mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%	
4,7	20,1	94,47	258,66	159,46	352,78	33327,00	23,10		4,7	20,1	94,47	225,01	153,29	340,06	32125,87	27,36	
<p style="text-align: center;">ML1-5</p>									<p style="text-align: center;">ML1-6</p>								
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A		a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A	
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%		mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%	
4,7	20,1	94,47	218,29	167,62	332,05	31368,75	27,56		4,65	19,87	92,4	231,58	207,43	330,33	30520,98	22,16	



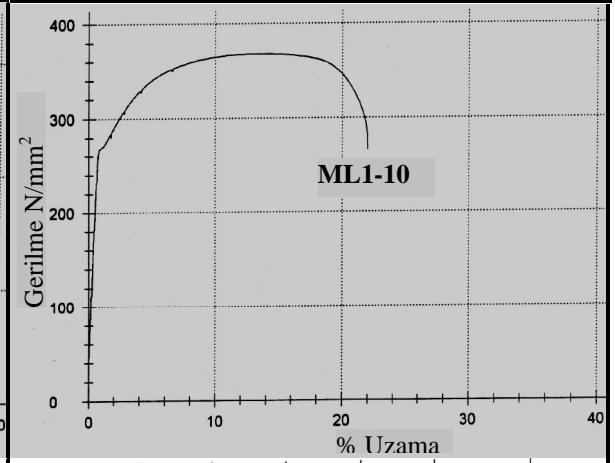
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,68	19,54	91,45	242,25	195,01	359,17	32844,75	22,25



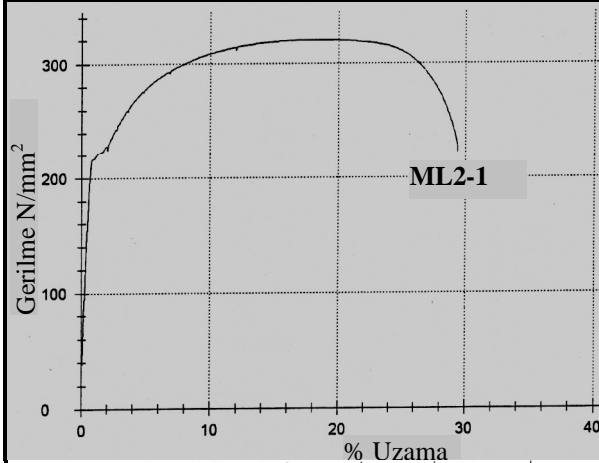
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,64	19,78	91,78	229,57	194,59	331,09	30386,94	24,23



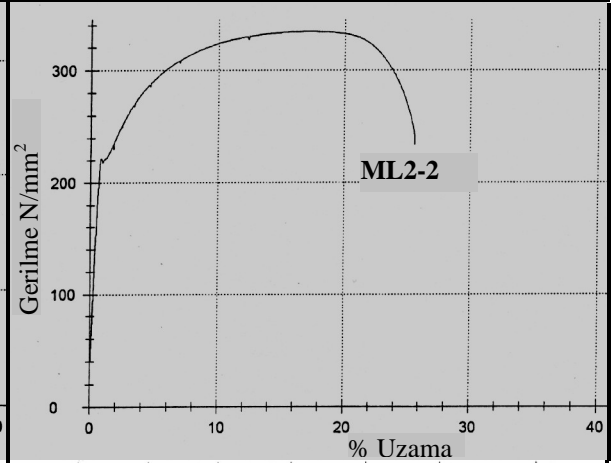
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,69	19,81	92,91	237,81	178,65	327,64	30440,35	21,01



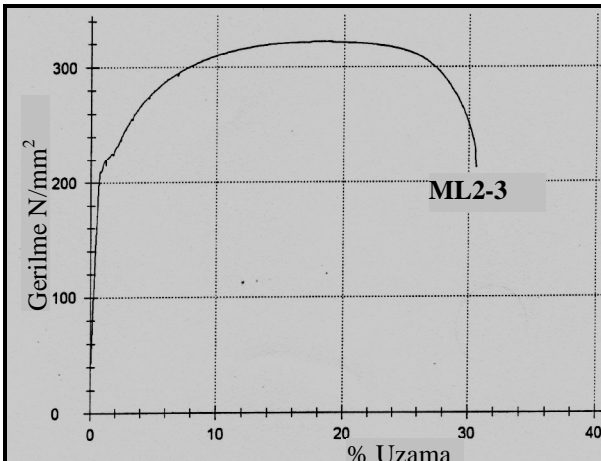
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,72	19,65	92,75	268,61	199,11	367,95	34126,54	21,28



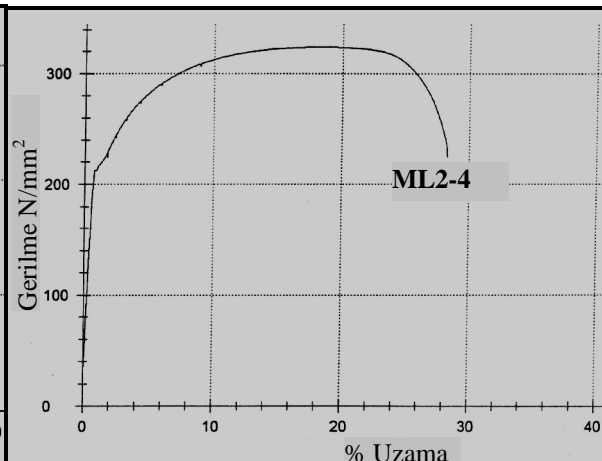
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,7	20,1	94,47	216,57	168,07	320,40	30268,14	28,66



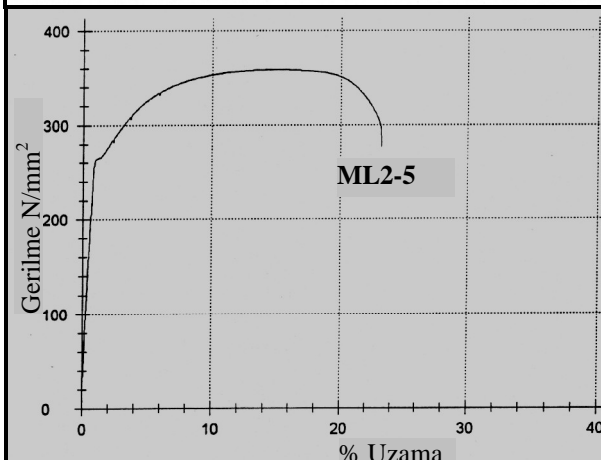
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,7	20,1	94,47	217,88	167,58	334,19	31570,85	24,84



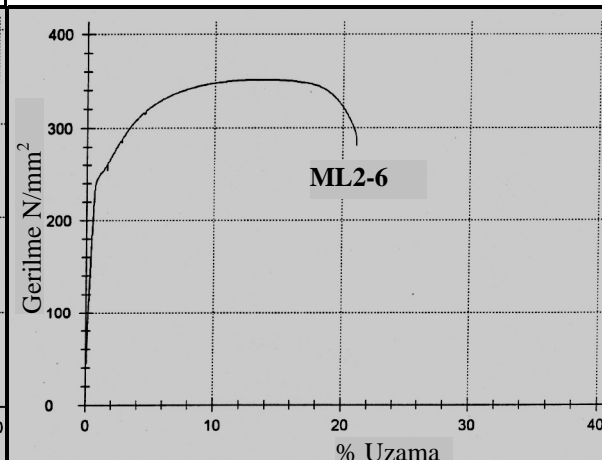
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,7	20,1	94,47	212,12	169,94	321,82	30402,18	29,88



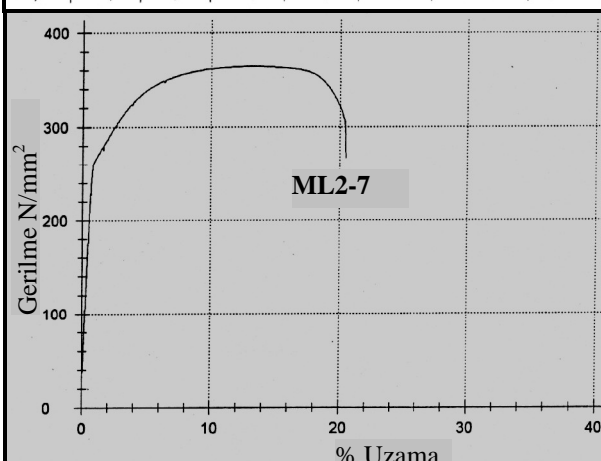
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,7	20,1	94,47	212,81	164,64	324,09	30616,86	27,51



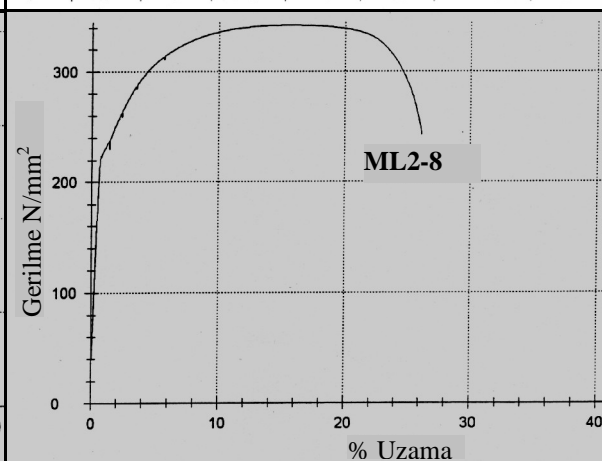
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,7	20,1	94,47	264,34	174,12	358,61	33877,82	22,38



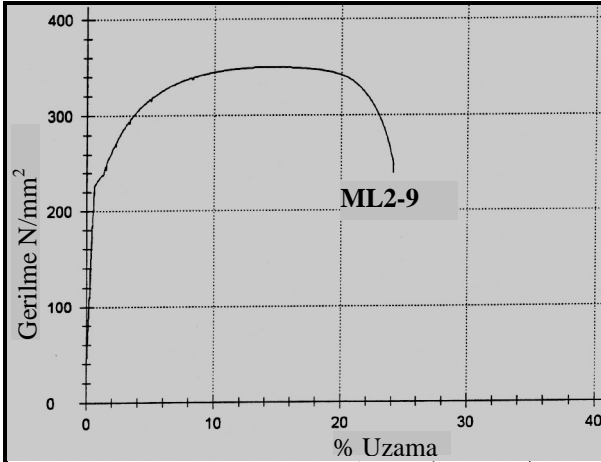
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,74	20,13	95,42	244,50	201,88	351,16	33506,59	20,35



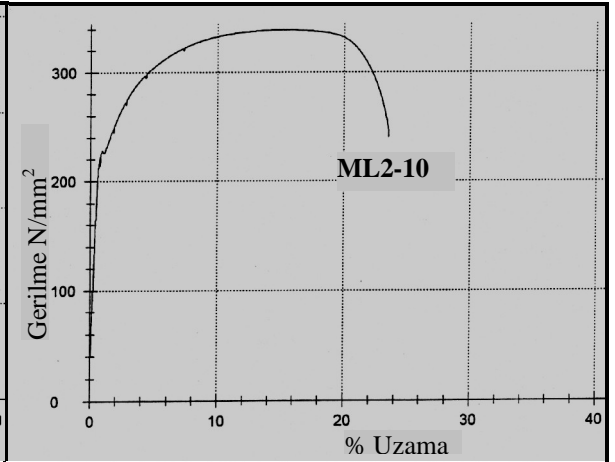
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,71	20,02	94,29	264,01	193,16	364,23	34344,35	19,74



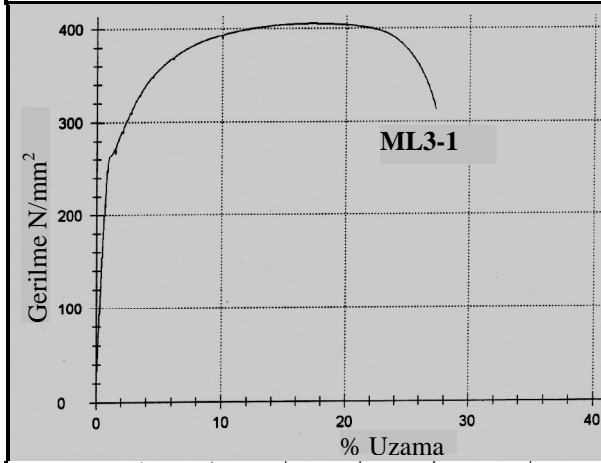
a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,66	19,87	92,59	226,26	180,69	342,32	31697,00	25,42



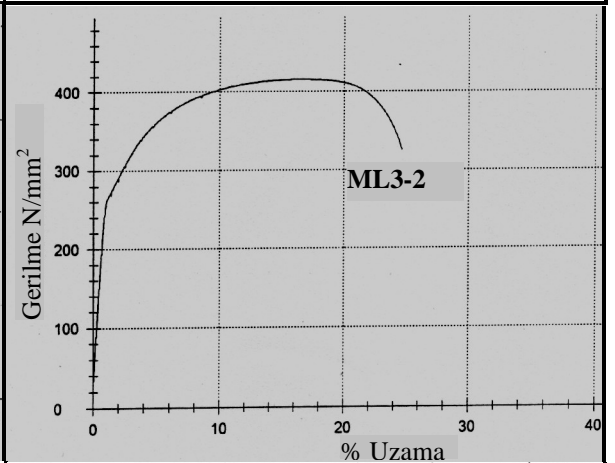
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,62	20,05	92,63	230,74	201,45	349,67	32390,26	23,50



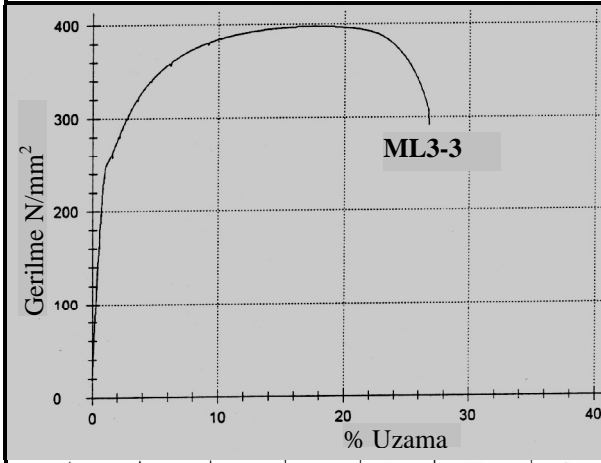
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,64	19,93	92,48	226,97	176,36	339,00	31349,33	22,83



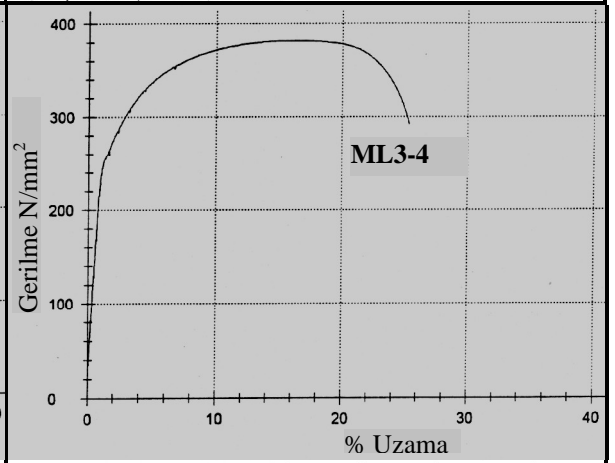
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	263,61	169,07	405,54	41571,57	26,22



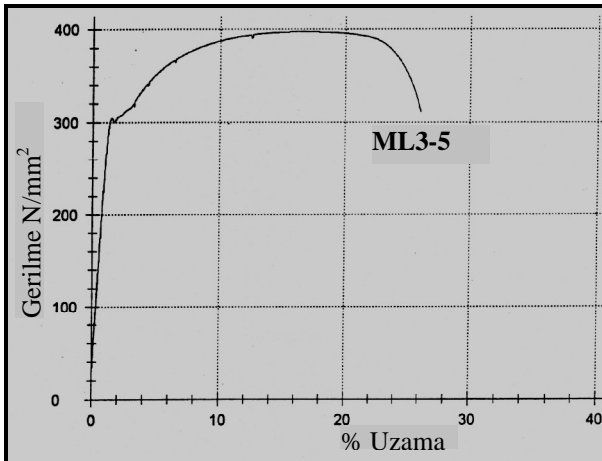
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	264,16	164,45	415,53	42595,73	23,54



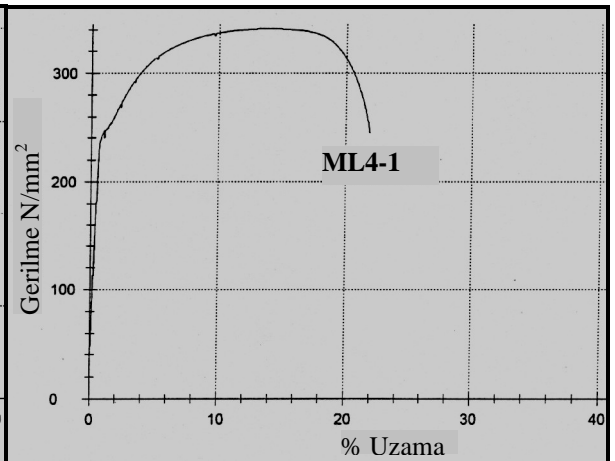
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	250,02	160,49	397,86	40785,13	25,68



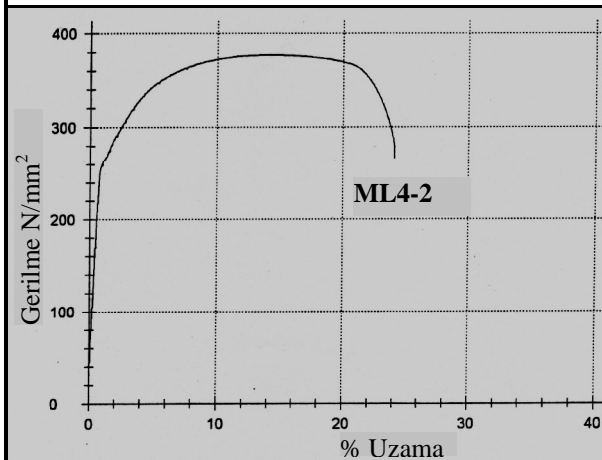
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	252,53	141,83	381,93	39151,50	24,14



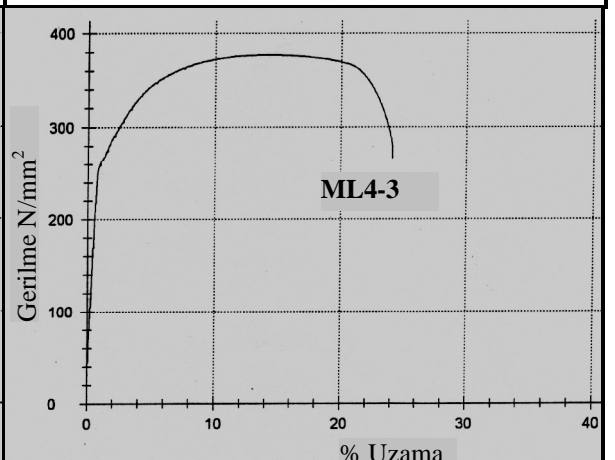
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	303,11	149,99	397,60	40757,90	24,90



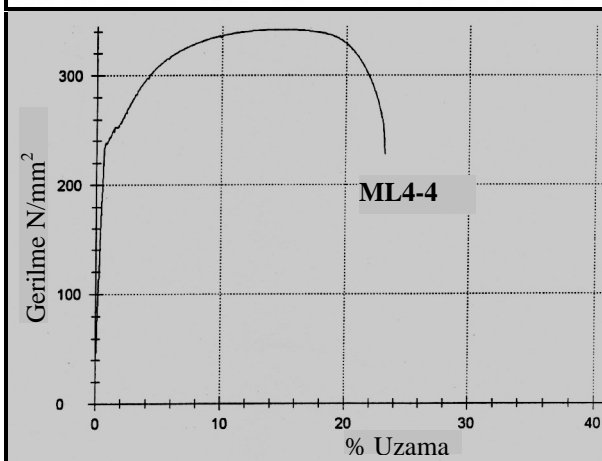
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,85	20,03	97,15	242,20	197,89	340,74	33101,31	21,24



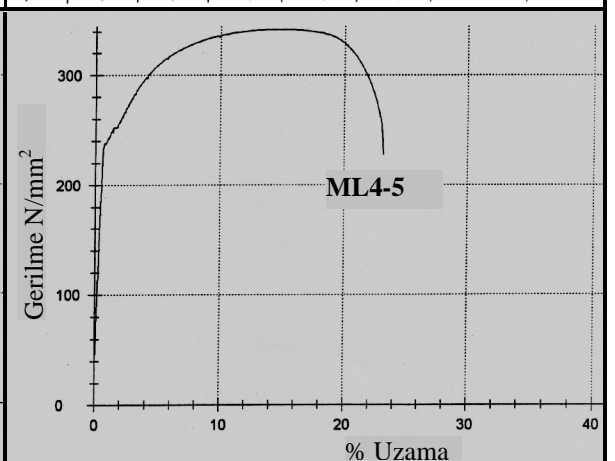
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,84	20,07	97,14	259,98	184,16	377,08	36629,37	23,34



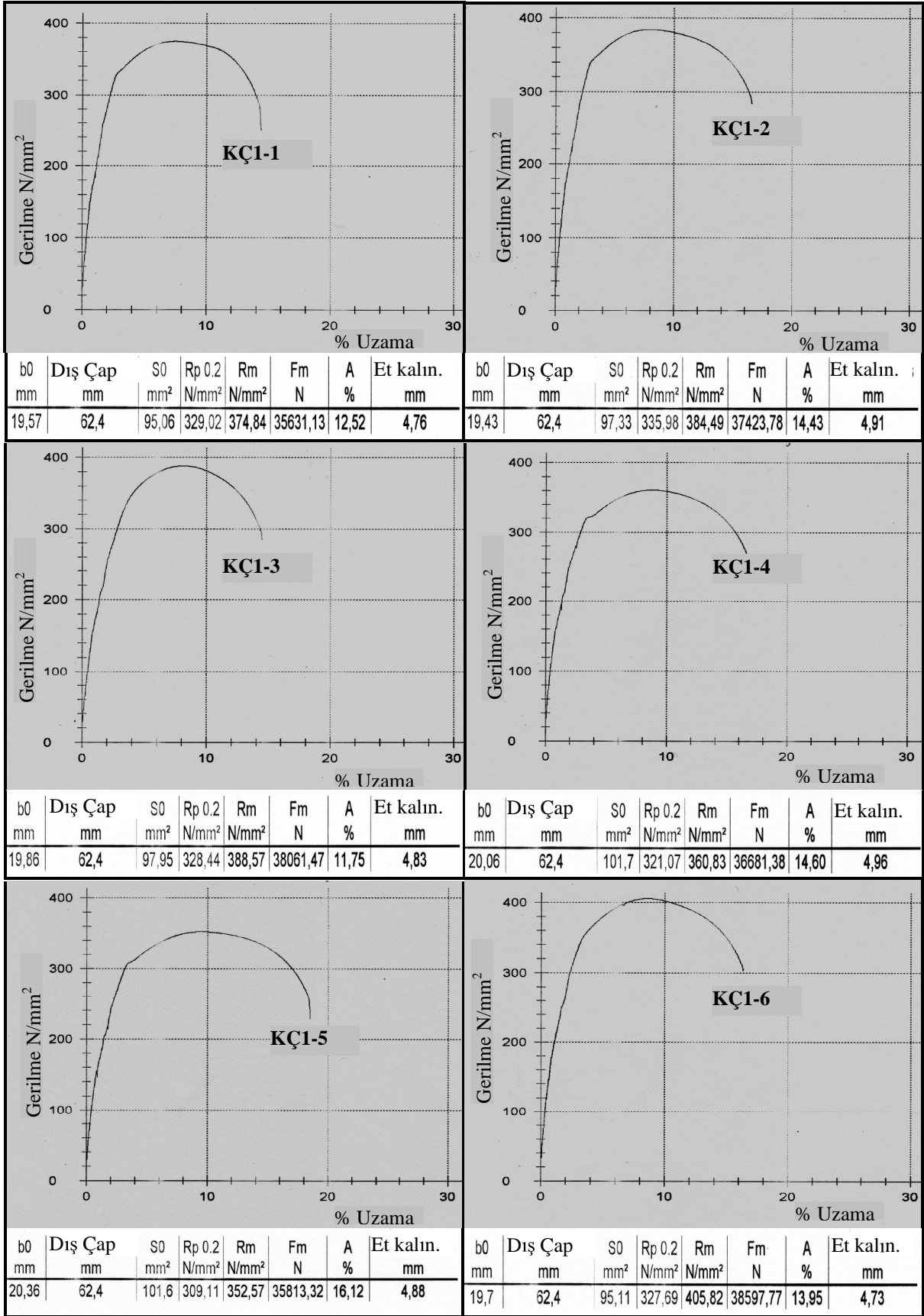
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,84	20,07	97,14	259,98	184,16	377,08	36629,37	23,34

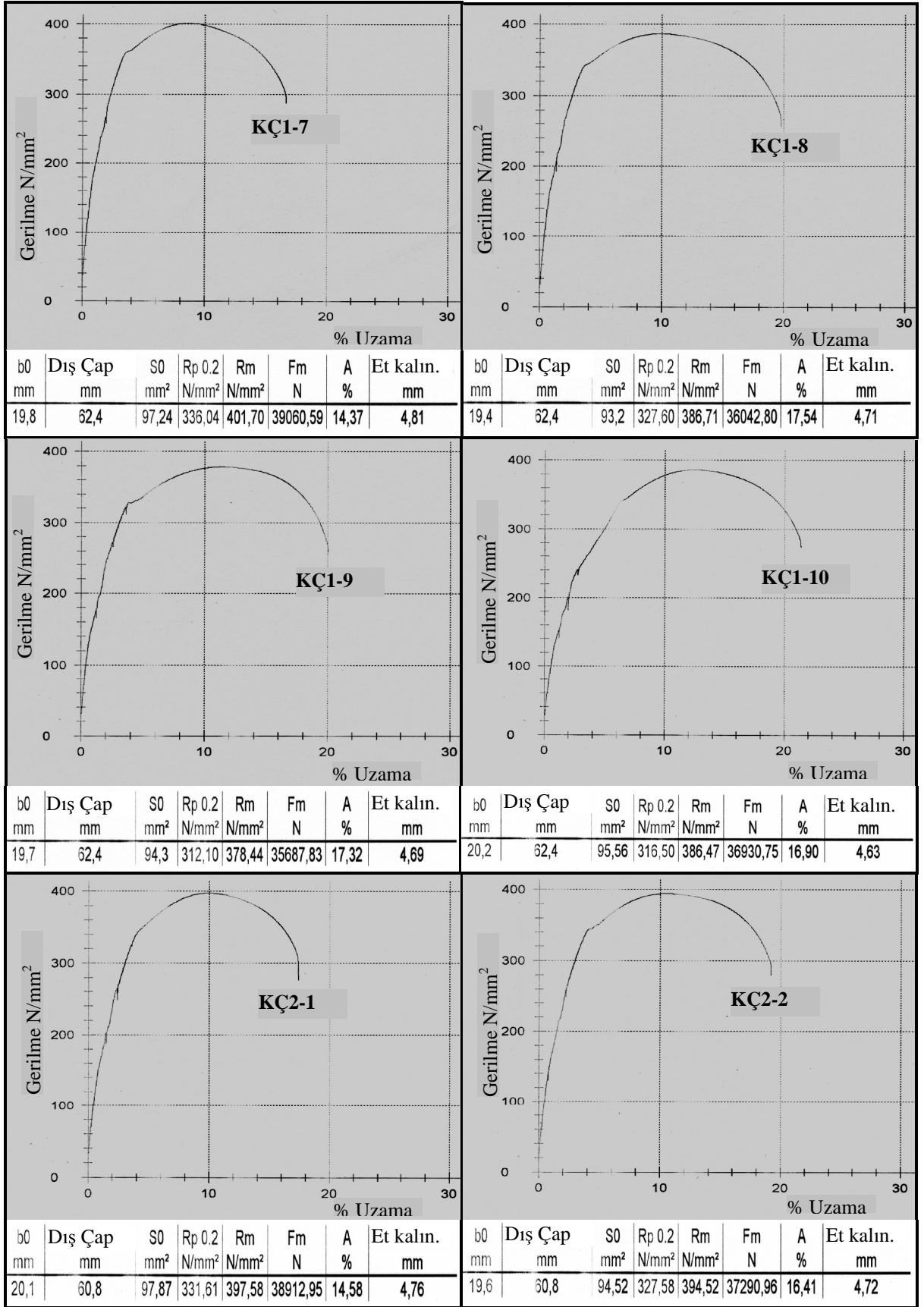


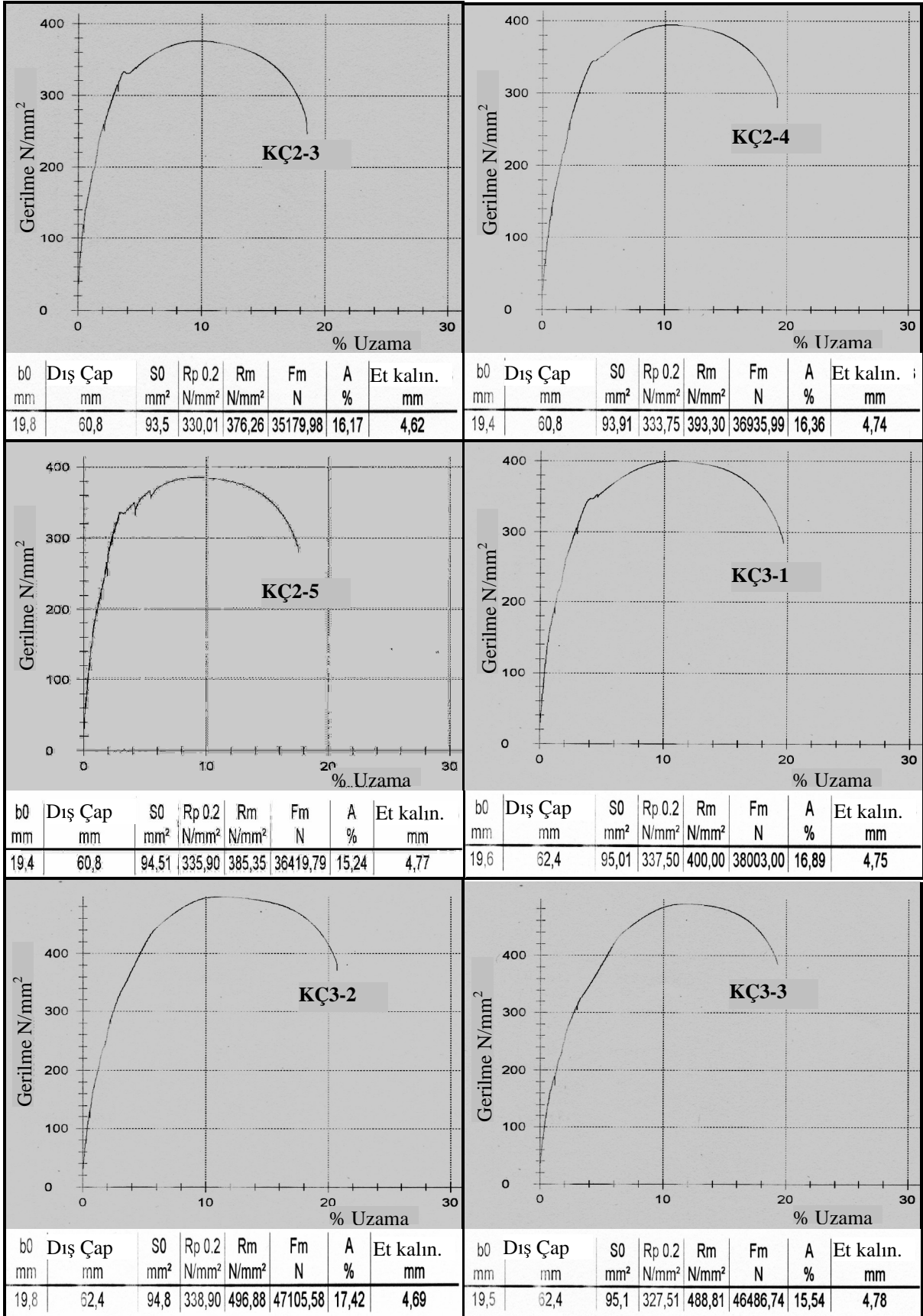
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,81	19,97	96,06	237,71	201,56	341,75	32826,95	22,61

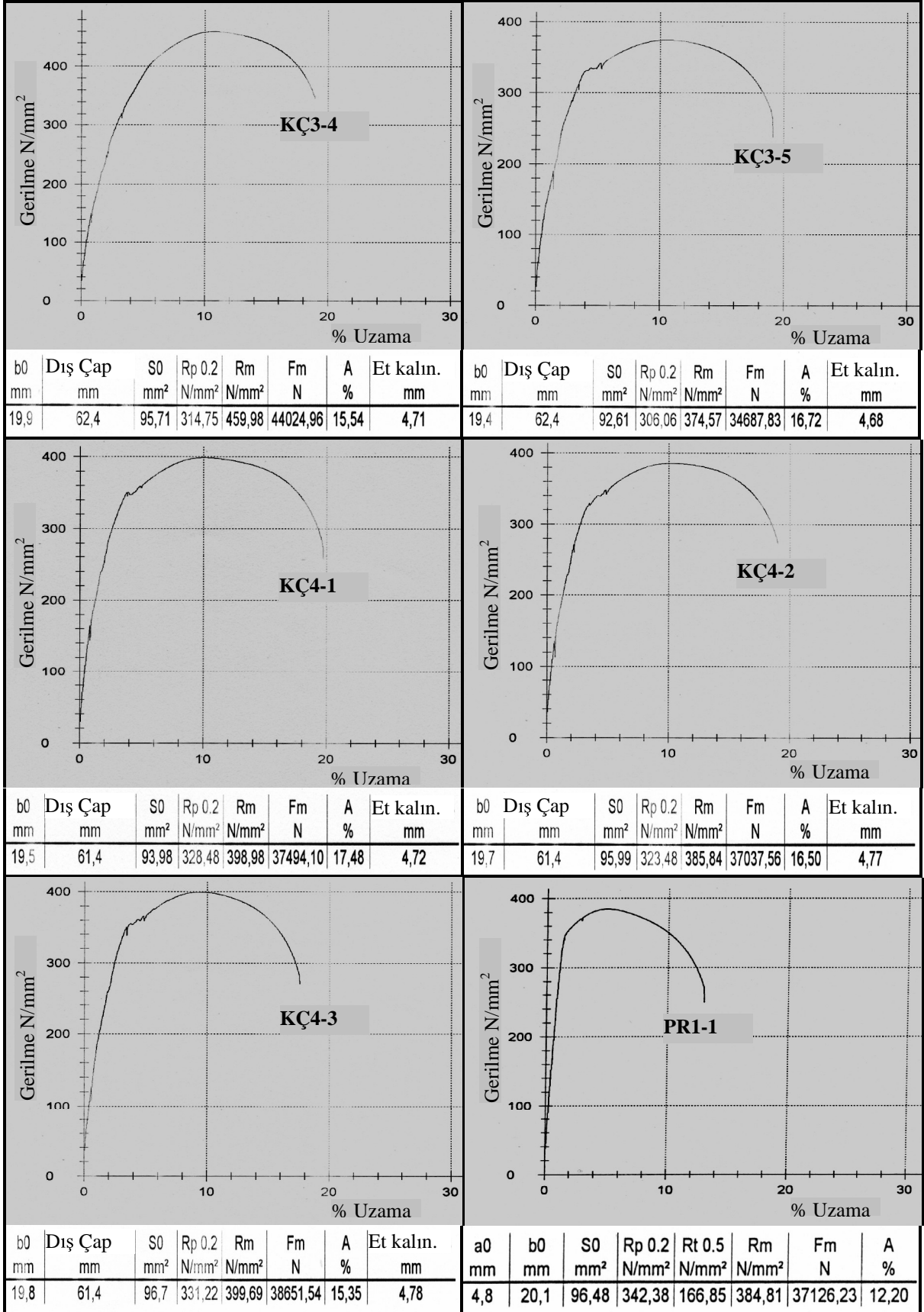


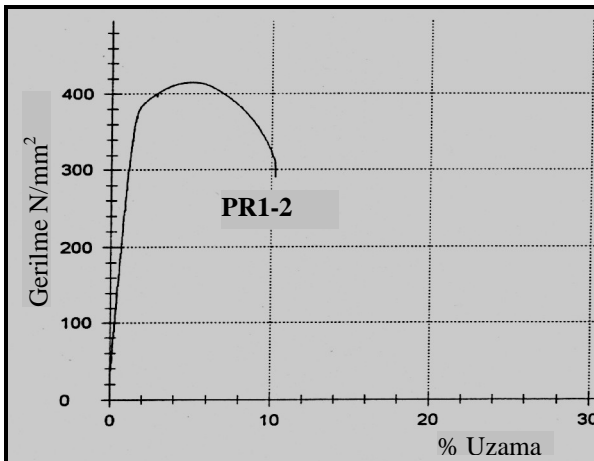
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,88	20,09	98,04	276,63	193,82	375,03	36767,60	18,09



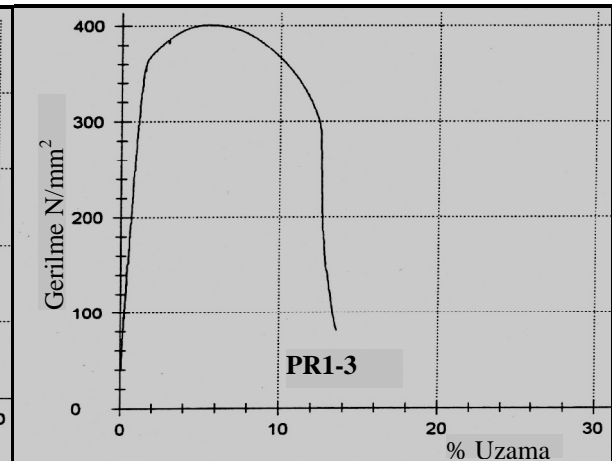




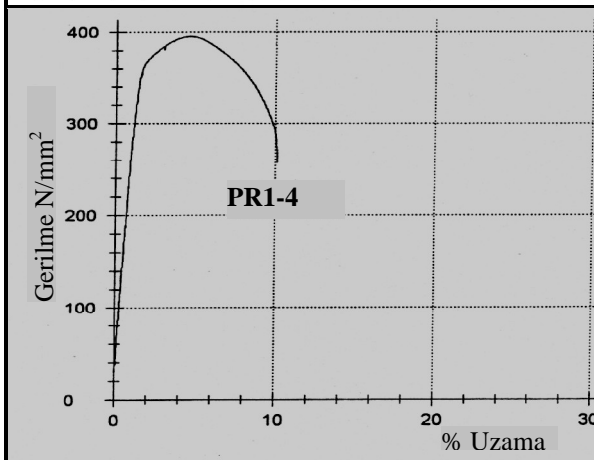




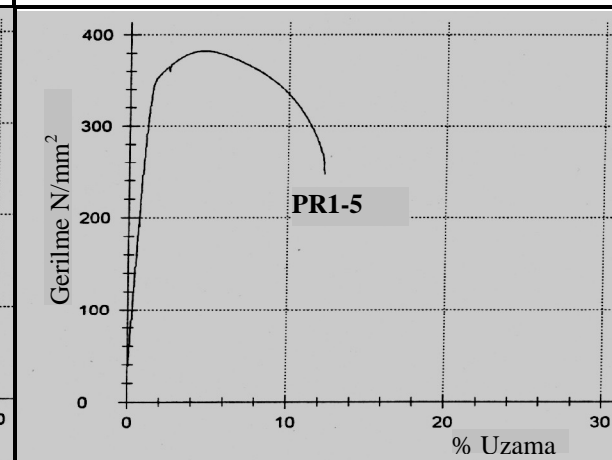
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	364,29	163,42	415,10	40048,95	9,27



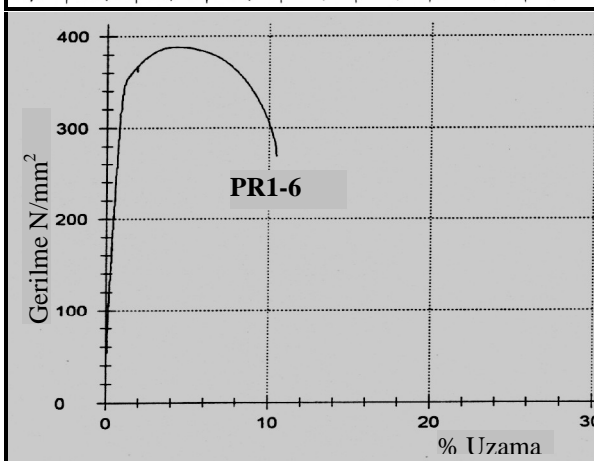
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	353,96	165,69	400,95	38683,41	13,43



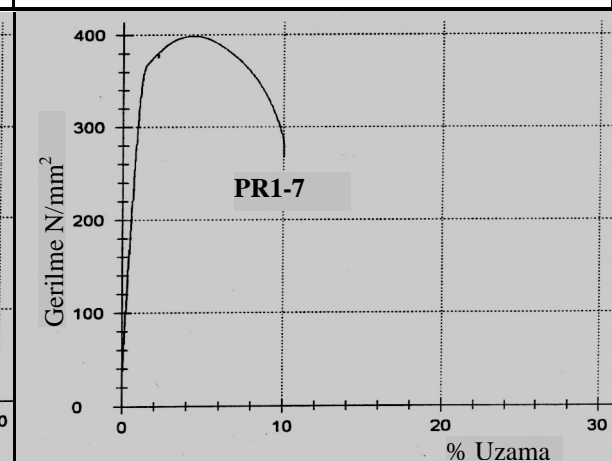
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	352,93	157,44	395,47	38154,57	9,19



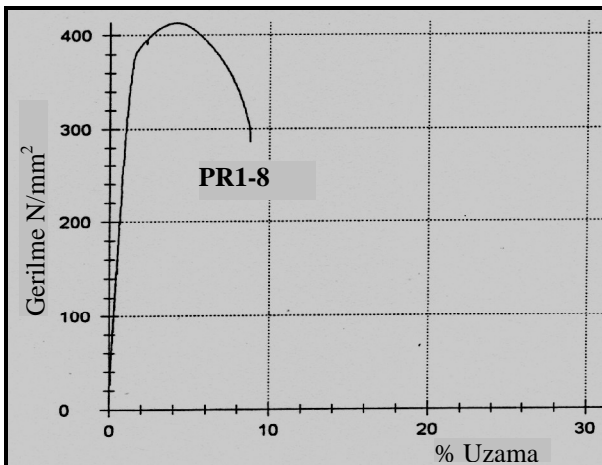
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	343,21	160,89	382,32	36886,42	11,42



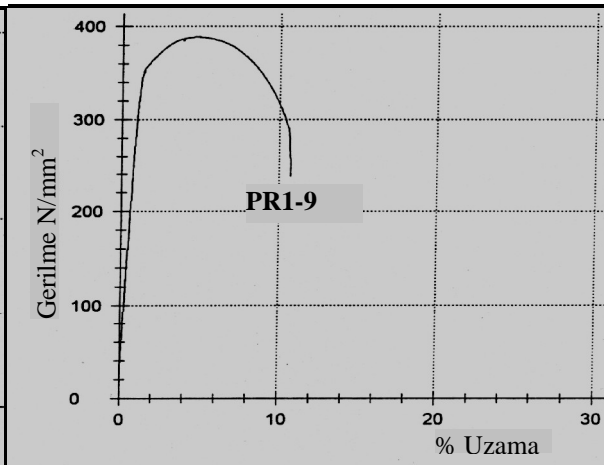
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,85	19,91	96,56	347,54	221,55	388,42	37506,93	9,81



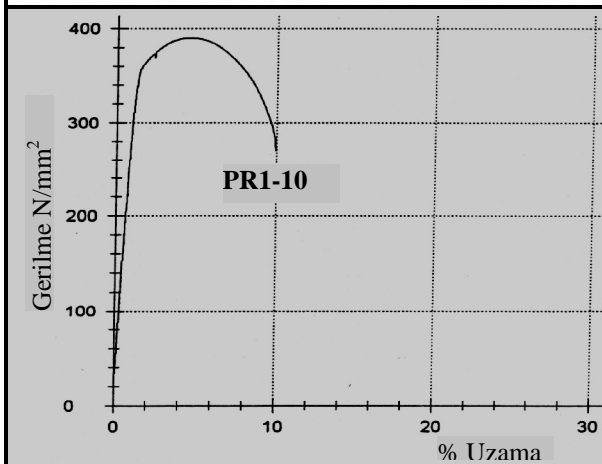
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,89	20,05	98,04	358,64	180,81	398,65	39085,07	9,27



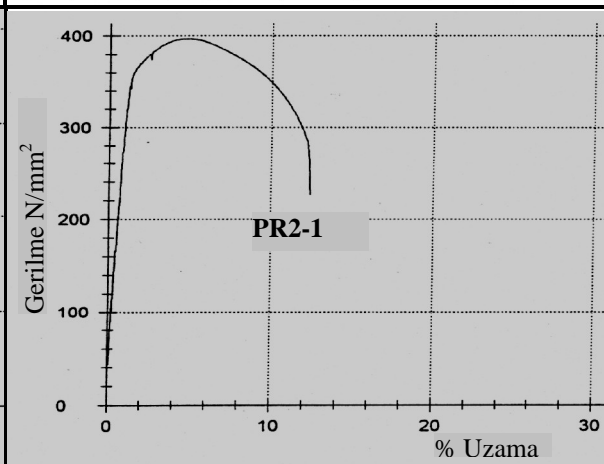
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,79	20,16	96,57	373,80	158,51	413,02	39884,09	7,83



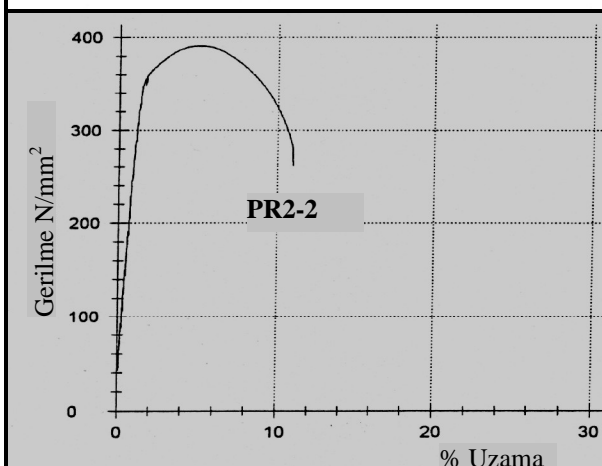
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,97	19,98	99,3	349,48	176,12	388,69	38597,07	10,00



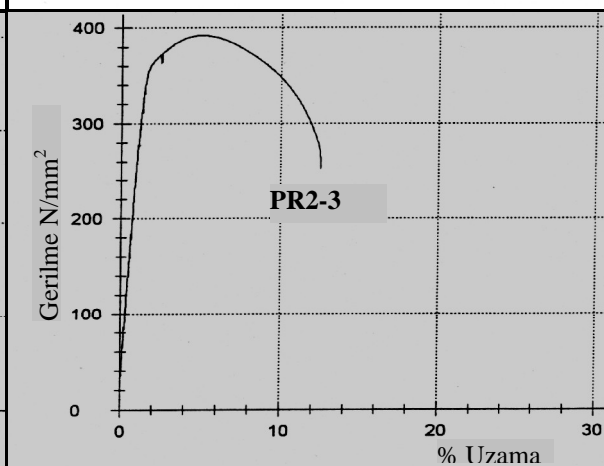
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,11	20,14	102,9	352,08	168,89	390,15	40152,18	9,04



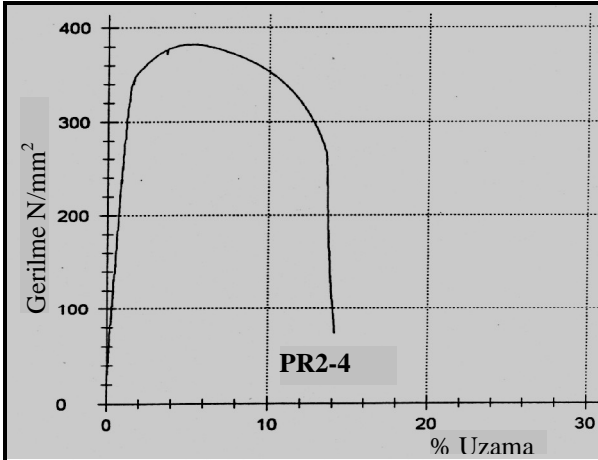
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	353,19	180,15	397,27	38328,41	11,72



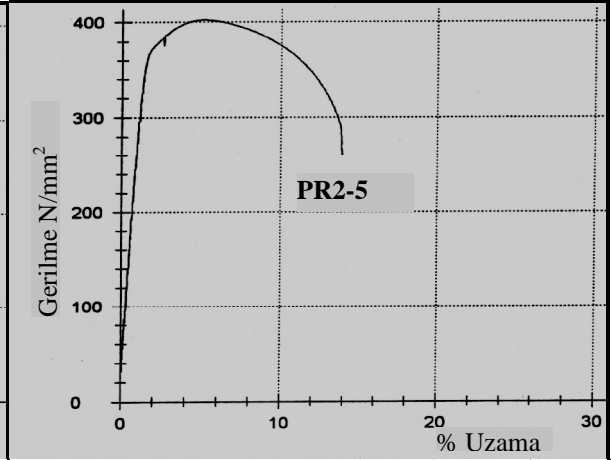
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	348,33	163,38	391,09	37732,55	10,06



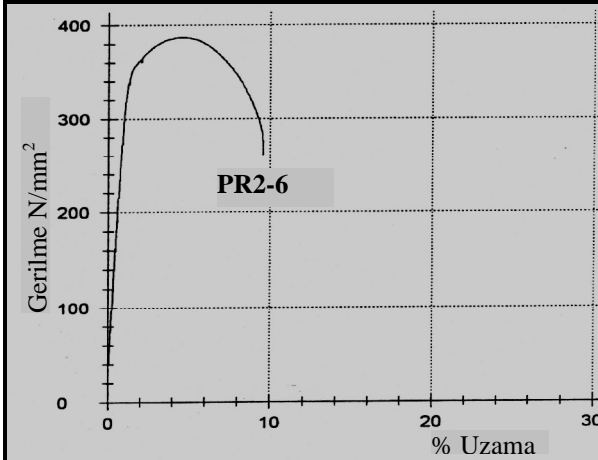
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	344,12	149,23	392,13	37833,09	11,60



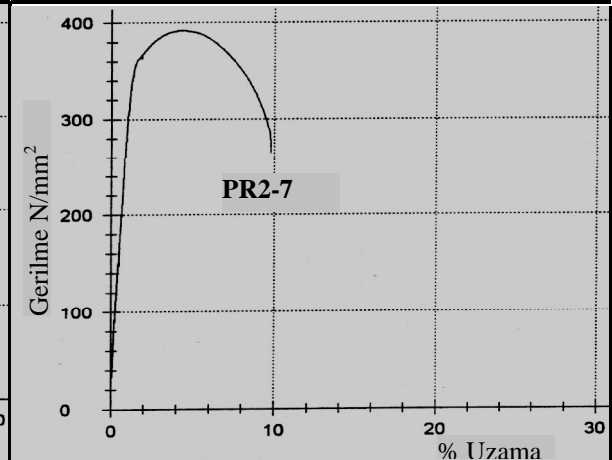
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	339,03	150,77	382,43	36896,89	12,22



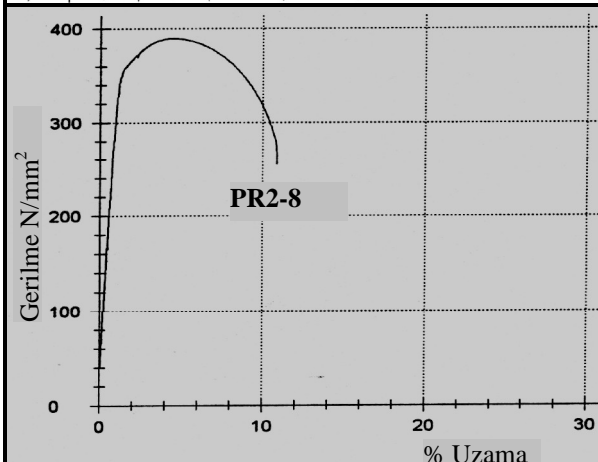
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	352,36	156,07	402,51	38834,20	13,02



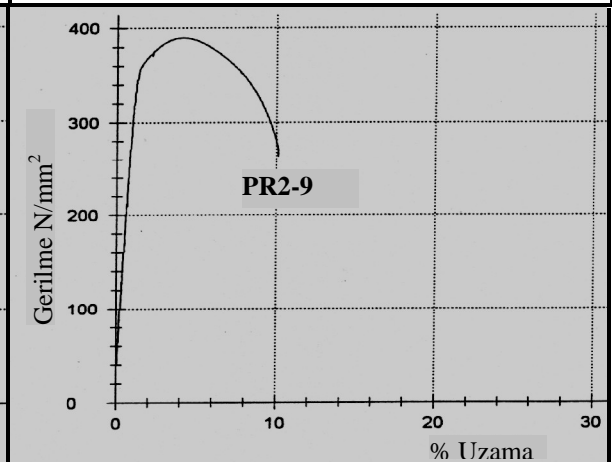
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,77	20,04	95,59	337,77	174,24	386,90	36984,37	8,77



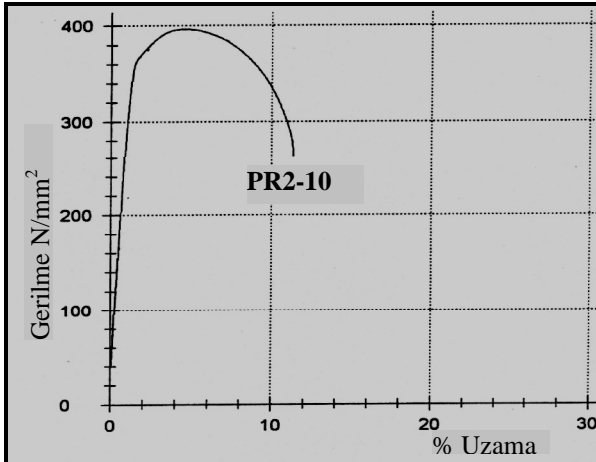
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,94	19,85	98,06	350,35	164,09	391,96	38434,75	8,92



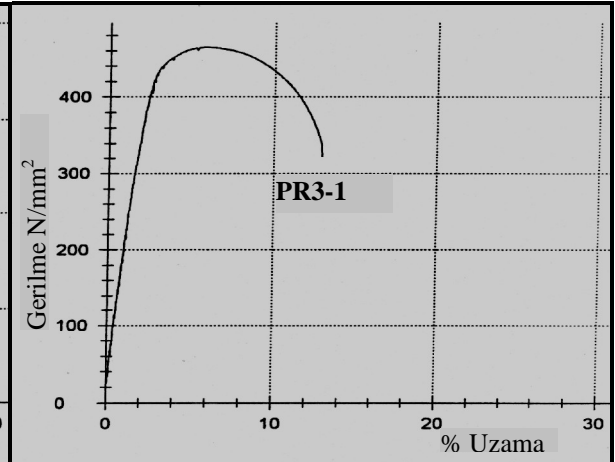
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,81	19,96	96,01	349,87	180,78	389,88	37431,53	10,14



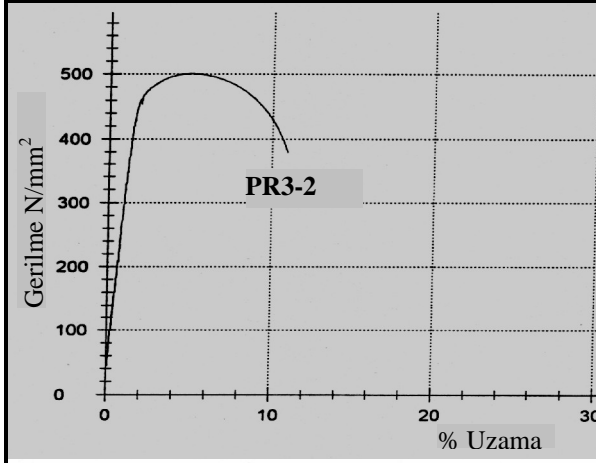
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,91	19,87	97,56	346,56	176,27	389,72	38022,15	9,32



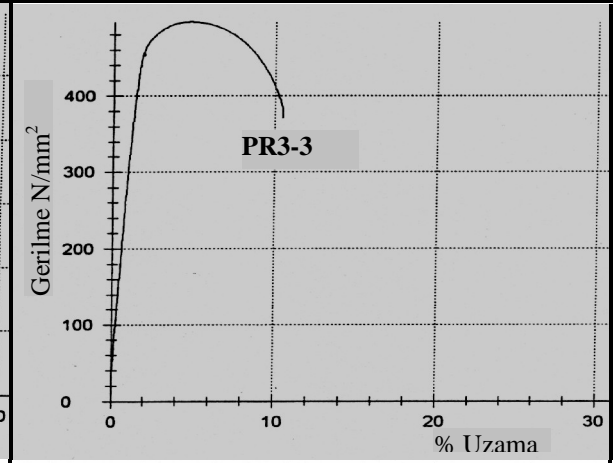
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,86	20,09	97,64	356,66	168,31	396,65	38727,97	10,50



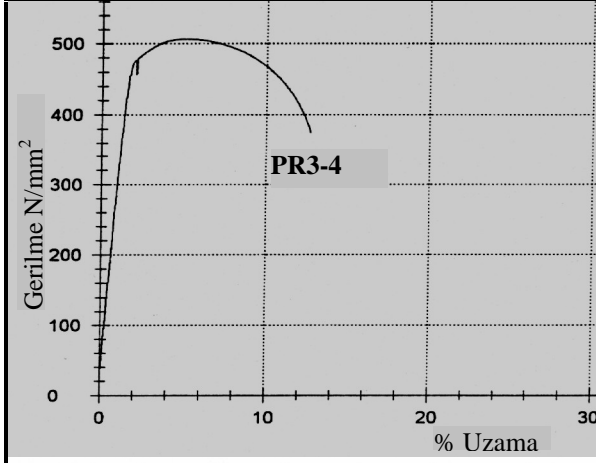
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	378,37	123,61	464,61	44825,21	11,25



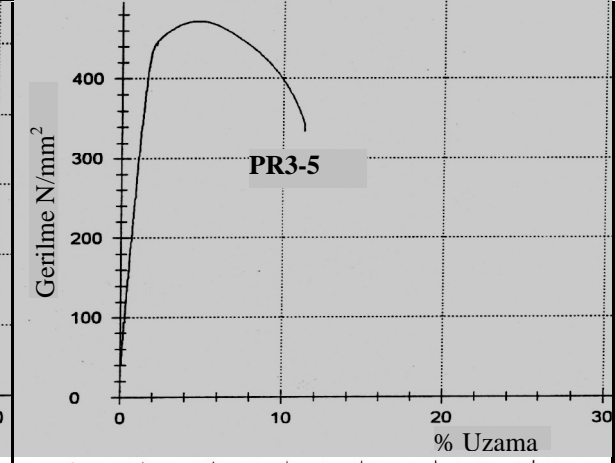
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	449,86	173,44	500,76	48313,41	9,68



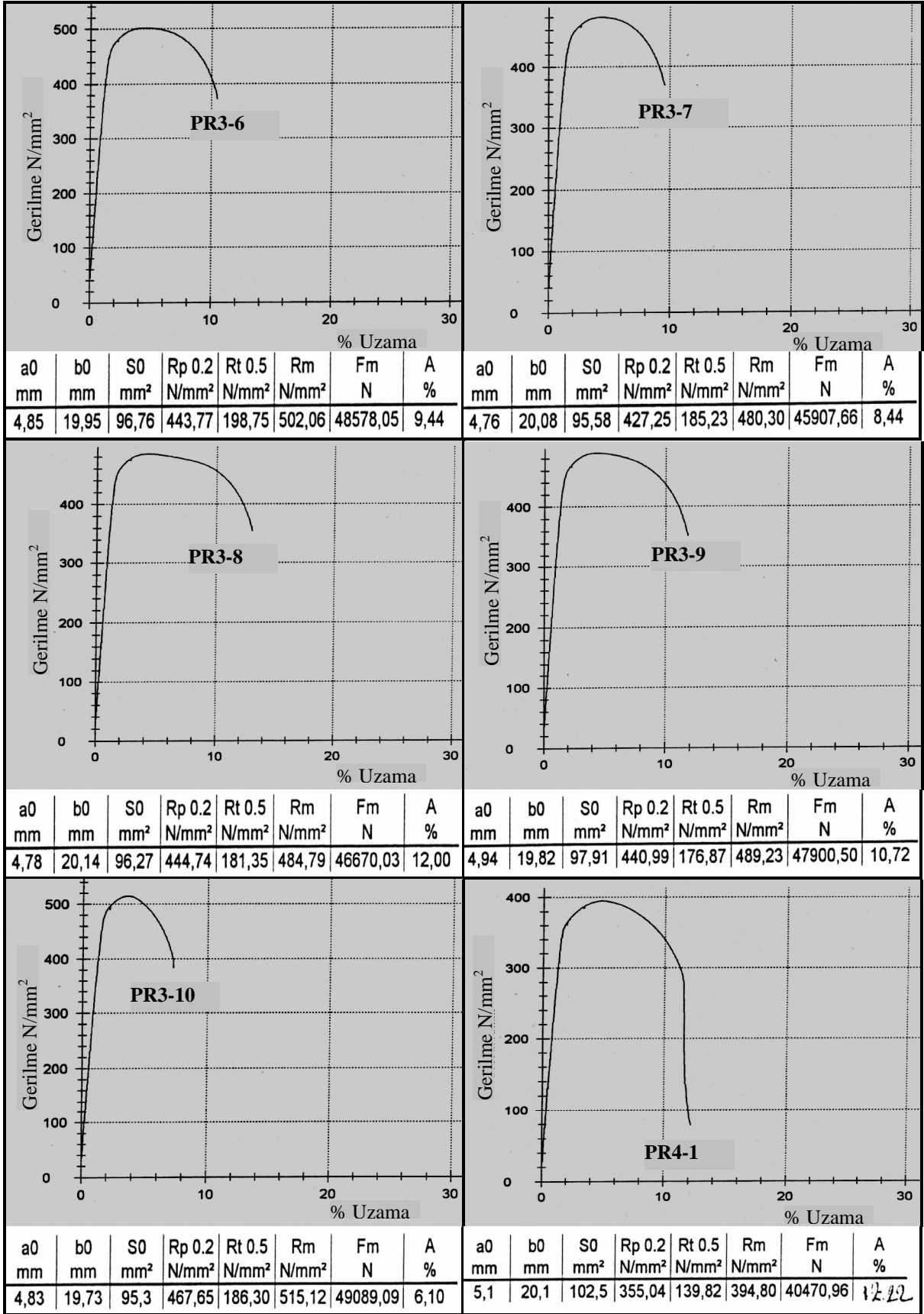
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	438,27	175,39	497,12	47962,60	9,27

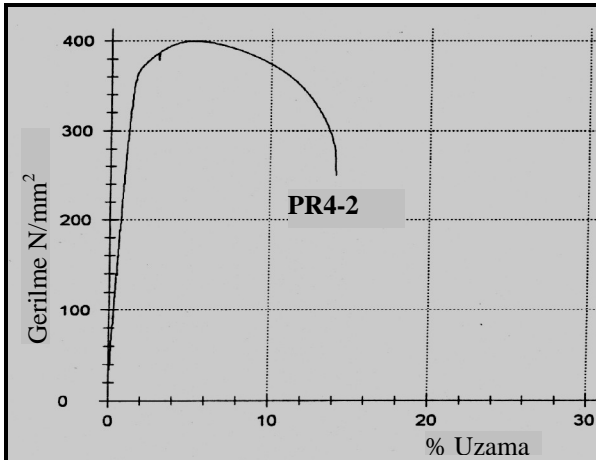


a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	464,19	173,42	506,95	48910,32	11,48

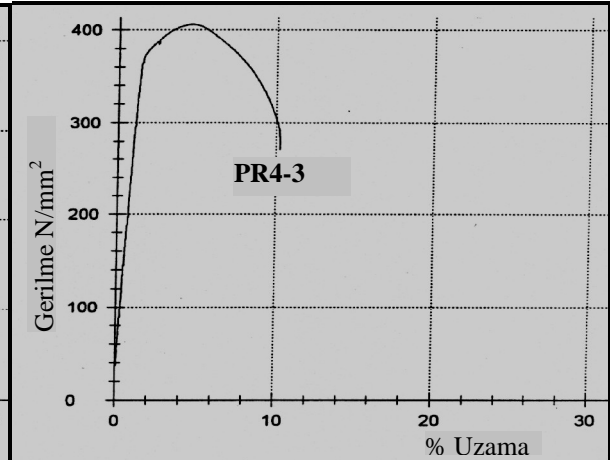


a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,8	20,1	96,48	425,51	164,26	471,69	45509,02	10,12

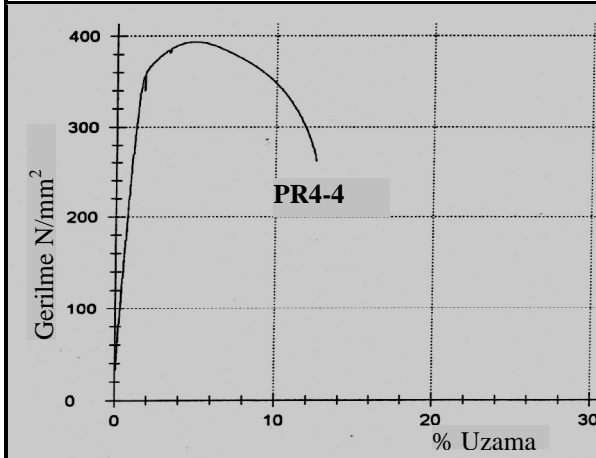




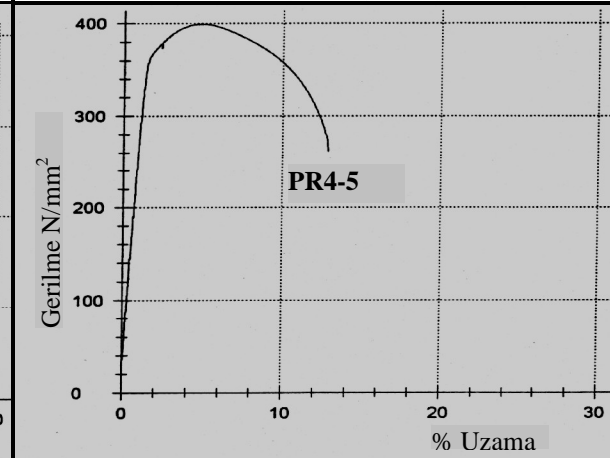
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	355,82	151,95	399,86	40989,33	13,27



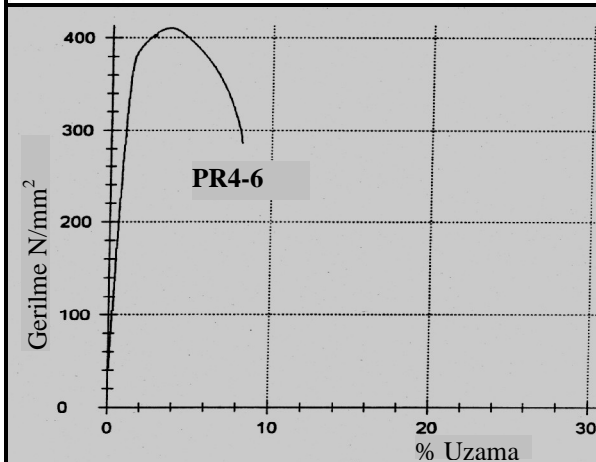
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	370,99	156,96	406,15	41634,41	9,31



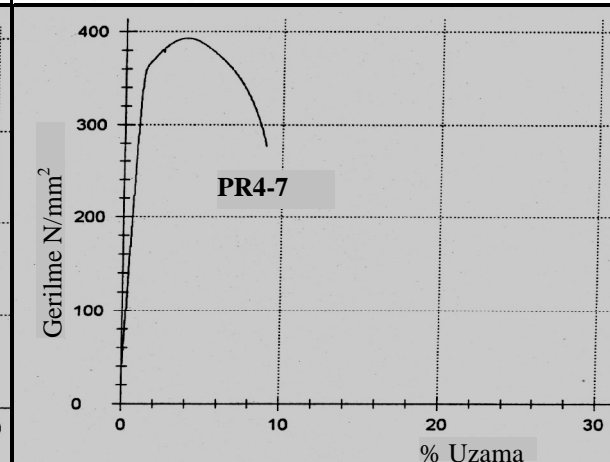
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	348,85	147,52	393,70	40357,88	11,51



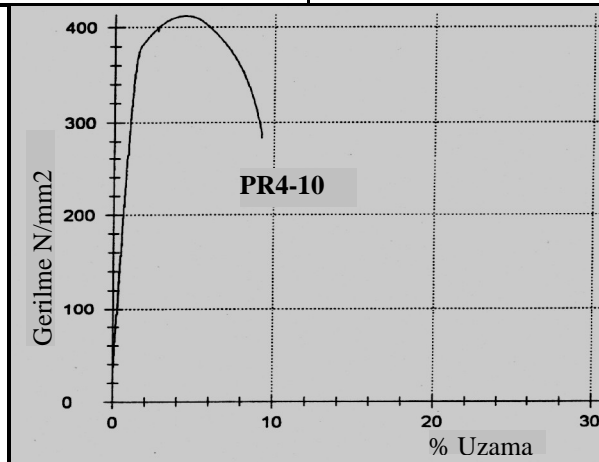
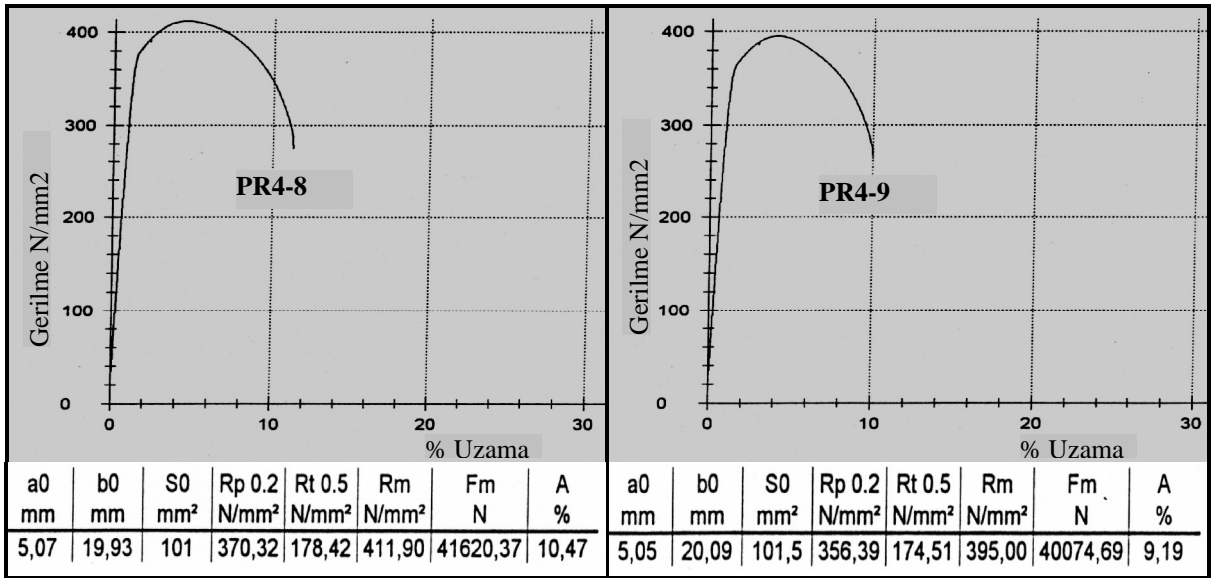
a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,1	20,1	102,5	360,47	154,88	399,38	40940,11	11,91



a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
4,98	20,18	100,5	372,02	186,58	410,97	41300,97	7,34



a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	Rt 0.5 N/mm ²	Rm N/mm ²	Fm N	A %
5,09	19,82	100,9	360,77	185,18	393,18	39665,23	8,15



a0	b0	S0	Rp 0.2	Rt 0.5	Rm	Fm	A
mm	mm	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N	%
4,96	20,22	100,3	369,61	172,82	412,23	41342,86	8,34

Ek 3 Malzeme kimyasal analiz test sonuçları

** CONT **		AN= 1896TAN= 5982		Date Jun-21-06 Time 13					
ST-No. :LA STEEL	AG-No. :LA STEEL			[Malzeme 1 (ML1)					
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
N= 1	0.044	0.000	0.289	0.009	0.022	0.021	0.036	0.007	0.051
N= 2	0.055	0.014	0.302	0.010	0.026	0.023	0.037	0.007	0.051
ortalama	0.049	0.007	0.295	0.009	0.024	0.022	0.036	0.007	0.051
	Co	Sn	Al	Nb	W	Ti	V	Cev	Pcm
N= 1	0.009	0.010	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.106	0.06
N= 2	0.012	0.010	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.120	0.07
ortalama	0.010	0.010	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.112	0.07
	Nb+V	NbVTi	CuNiC						
N= 1	0.002	0.002	0.114						
N= 2	0.002	0.002	0.119						
ortalama	0.002	0.002	0.116						

** CONT **		AN= 1889TAN= 5975		Date Jun-21-06 Time 13					
ST-No. :LA STEEL	AG-No. :LA STEEL			[Malzeme 2 (ML2)					
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
N= 1	0.039	0.015	0.325	0.009	0.023	0.021	0.030	0.007	0.054
N= 2	0.048	0.033	0.324	0.010	0.026	0.021	0.034	0.007	0.056
ortalama	0.043	0.024	0.324	0.009	0.024	0.021	0.032	0.007	0.051
	Co	Sn	Al	Nb	W	Ti	V	Cev	Pcm
N= 1	0.007	0.011	0.067	0.000	0.000	0.000	0.002	0.106	0.06
N= 2	0.009	0.011	0.060	0.000	0.000	0.000	0.002	0.116	0.07
ortalama	0.008	0.011	0.064	0.000	0.000	0.000	0.002	0.110	0.06
	Nb+V	NbVTi	CuNiC						
N= 1	0.002	0.002	0.105						
N= 2	0.002	0.002	0.111						
ortalama	0.002	0.002	0.108						

** CONT **		AN= 1893TAN= 5979		Date Jun-21-06 Time 13					
ST-No. :LA STEEL	AG-No. :LA STEEL			[Malzeme 3 (ML3)					
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
N= 1	0.127	0.014	0.355	0.021	0.013	0.022	0.051	0.007	0.034
N= 2	0.152	0.005	0.359	0.023	0.015	0.025	0.054	0.007	0.036
ortalama	0.139	0.010	0.357	0.022	0.014	0.023	0.052	0.007	0.035
	Co	Sn	Al	Nb	W	Ti	V	Cev	Pcm
N= 1	0.002	0.008	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.202	0.152
N= 2	0.006	0.008	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.228	0.177
ortalama	0.004	0.008	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.215	0.164
	Nb+V	NbVTi	CuNiC						
N= 1	0.002	0.002	0.107						
N= 2	0.002	0.002	0.115						
ortalama	0.002	0.002	0.110						

** CONT **		AN= 1891TAN= 5977		Date Jun-21-06		Ti		
ST-No. :LA STEEL	AG-No. :LA STEEL			[Malzeme 4 (ML4)			
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
N= 1	0.044	0.000	0.333	0.006	0.018	0.006	0.023	0.007
N= 2	0.046	0.000	0.337	0.006	0.017	0.004	0.022	0.007
ortalama	0.045	0.000	0.335	0.006	0.018	0.005	0.022	0.007
	Co	Sn	Al	Nb	W	Ti	V	Cev
N= 1	0.007	0.008	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.108
N= 2	0.005	0.007	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.110
ortalama	0.006	0.008	0.032	0.000	0.000	0.000	0.002	0.109
	Nb+V	NbVTi	CuNiC					
N= 1	0.002	0.002	0.047					
N= 2	0.002	0.002	0.045					
ortalama	0.002	0.002	0.045					

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	14.09.1979	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1993-1997	Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi
Lisans	1998-2002	Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usülleri Programı

Çalıştığı Kurumlar

2003-Devam ediyor Ramazanoğlu Otomotiv Yan Sanayi

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.