

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYNAK AŞAMASINDA KALİTE GÜVENCESİNİN  
ARTTIRILMASI**

Makine Müh. Yıldızhan KILIÇ

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN**

**İSTANBUL, 2006**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖNSÖZ .....	xii
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1 GİRİŞ.....	1
2 KALİTE ve KALİTE GÜVENCESİ .....	3
2.1 Kalite .....	3
2.2 Kalite Güvencesi.....	4
3 KAYNAK KALİTESİ ve KALİTEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	5
3.1 Kaynağa Yatkınlık.....	12
3.1.1 Malzemelerin kaynak edilebilirliği.....	14
3.1.1.1 Çelik gruplarının kaynak edilebilirliği.....	15
3.1.1.2 Alüminyum ve alaşımları.....	16
3.1.1.3 Nikel ve alaşımları.....	18
3.1.1.4 Bakır ve alaşımları.....	18
3.1.1.5 Titanyum ve alaşımları .....	19
3.1.1.6 Dökme demirler.....	19
3.1.2 Kaynak malzemesi (ara malzeme).....	20
3.2 Kaynak İşleminin Olabilirliği.....	23
3.2.1 Kaynak öncesi hazırlıklar.....	23
3.2.1.1 Kaynakçıya rahat çalışma ortamı .....	24
3.2.1.2 Ön tavlama .....	25
3.2.1.3 Puntalama.....	26
3.2.1.4 Genleşme ve çekilme serbestliği .....	27
3.2.1.5 Yüzey hazırlama ve ağız açılması .....	28
3.2.1.5.1 Az karbonlu ve düşük alaşımlı birleşmelerin tasarım ve hazırlığı .....	29
3.2.1.5.2 Alüminyum ve alüminyum alaşımlı birleşmelerin tasarım ve hazırlığı .....	29
3.2.1.5.3 Paslanmaz çelik birleşmelerin tasarım ve hazırlığı .....	29
3.2.2 Kaynak yöntemi.....	30
3.2.2.1 Kaynak parametreleri.....	31
3.2.2.2 Çevresel faktörler .....	34
3.2.2.3 Mekanikleştirilme derecesi .....	36
3.2.2.4 Isı girdisi .....	39
3.2.3 Kaynak sonrası işlemler .....	43
3.2.3.1 Isıl işlemler.....	43
3.2.3.2 Gerilme giderme için mekanik yöntemler .....	48

3.2.3.2.1	Aşırı yükleme tekniği (overloading).....	49
3.2.3.2.2	Titreşim teknikleri .....	49
3.2.3.2.3	Parçacık püskürtme tekniği .....	50
3.2.3.3	Şekil bozukluklarının giderilmesi.....	50
3.2.3.3.1	Mekanik yöntemler.....	50
3.2.3.3.2	Termal yöntemler .....	51
3.3	Kaynak Emniyeti.....	53
3.3.1	Tasarım .....	54
3.3.2	Zorlama durumu ve çeşitleri .....	70
3.4	Kaynak Personelinin Eğitimi .....	73
3.5	Kaynak Hataları ve Muayene İşlemleri .....	75
3.5.1	Kaynak hataları.....	75
3.5.1.1	Boyutsal tutarsızlıklar .....	75
3.5.1.2	Yapısal süreksizlikler.....	77
3.5.1.3	Kusurlu özellikler (ana malzeme ve ilave malzemeye ait) .....	81
3.5.2	Tahribatsız muayene yöntemleri .....	82
3.5.2.1	Görsel muayene .....	82
3.5.2.2	Sıvı penetrant muayenesi .....	82
3.5.2.3	Manyetik parçacık muayenesi .....	82
3.5.2.4	Radyografik muayene .....	83
3.5.2.5	Ultrasonik muayene .....	83
3.5.2.6	Akustik emisyon muayenesi.....	83
3.5.2.7	Eddy akımları muayenesi.....	83
4	KAYNAK AŞAMASINDA KALİTE GÜVENCESİNİN SAĞLANMASI ve ARTTIRILMASI.....	84
4.1	Kaynakla Eşzamanlı Görsel Muayene .....	84
4.2	Otomatikleştirilmiş Tahribatsız Muayene Sistemleri .....	86
4.2.1	Kaynak profilinin ultrasonik olarak on-line muayenesi .....	87
4.2.2	Seri üretimde kaynak muayenesinde dijital X-ışını TV sistemi kullanımı .....	89
4.3	Kaynakla Eşzamanlı Uygulanan Diğer Kontrol ve Muayene Teknikleri.....	92
4.3.1	Gazaltı kaynak yönteminin akustik olarak incelenmesi .....	92
4.3.2	Otomatikleştirilmiş kaynak yüzeyi muayene sistemi .....	93
4.3.3	Gazaltı kaynak yöntemi için proses kontrolü ve kalitenin izlenmesi .....	93
4.3.3.1	Gazaltı kaynağının izlenmesi ve kontrolü için sensörler .....	95
4.3.3.1.1	Kaynak pozisyonunun algılanması.....	95
4.3.3.1.2	Birleşme konumunun kaynak öncesi algılanması .....	96
4.3.3.1.3	Kaynak arkının algılanması.....	96
4.3.3.1.4	İndüktif algılama .....	97
4.3.3.1.5	Optik sensörler .....	97
4.3.4	Spiral ve düz dikişli borular için lazer esaslı dikiş takipçisi .....	99
4.3.5	Yüksek güçlü lazer kaynağının on-line kalite kontrolü .....	101
4.3.5.1	Seri imalatta hata kategorileri.....	102
4.3.5.2	Dikiş izleme.....	104
5	GÖZLEM ÇALIŞMASI .....	106
5.1	Bojinin Tanıtımı ve Teknik Özellikleri.....	106
5.2	Boji İskeletine Ait Kaynakların İncelenmesi .....	112
5.3	Gözlem Çalışmasına Ait Sonuçlar ve Değerlendirme .....	127
6	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	128

KAYNAKLAR.....	131
EKLER.....	133
Ek 1 Y 25 Lsd tipi bojinin kaynaklı şasi iskeleti.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	134

## SİMGE LİSTESİ

a	Köşe dikişi boğaz kalınlığı
$A_3$	Üst dönüşüm sıcaklığı
b	Kaynak edilen parça genişliği
C	Köşe kaynağı konvekslik değeri
$C_{eş}$	Karbon eşdeğeri
d	Elektrot çapı
F	Kaynak dikişinin taşıdığı kuvvet (yük)
I	Kaynak akımı
$l_k$	Kaynak dikişi uzunluğu
$M_s$	Martenzit oluşumu başlangıç sıcaklığı
P	Silindirik basınçlı kaplardaki kaynak dikişleri için emniyetli basınç değeri
Q	Birim dikiş enerjisi
$Q_{ısı}$	Isı girdisi
R	Kaynak kepi yüksekliği
$R_{eh}$	Akma mukavemeti
$R_s$	Soğuma hızı
s	Kaynak edilen parça kalınlığı
S	İlerleme hızı
$S_{eş}$	Kalınlık eşdeğeri
$t_A$	Oda sıcaklığına soğuma zamanı
$T_A$	Bekleme sıcaklığı
$T_{A1}$	Çalışma sıcaklığı
$T_{hava}$	Kaynak yapılan mahaldeki hava sıcaklığı
$t_h$	Bekleme süresi
$T_{metal}$	Verilen bir anda ana metal yada elektrotun sıcaklığı
$t_N$	Son tavlama zamanı
$T_N$	Son tavlama sıcaklığı
$t_{öntav}$	Ön tavlama sıcaklığı
$t_R$	Bekleme zamanı
$t_S$	Kaynak zamanı
$T_S$	Malzemenin ergime sıcaklığı
$t_V$	Ön tavlama zamanı
$T_V$	Ön tavlama sıcaklığı

$T_1, T_2$	Kaynak edilen parça et kalınlıkları
$U$	Kaynak gerilimi
$V$	Ark gerilimi
$V_k$	Kaynak hızı
$V_z$	Zayıflatma faktörü
$V_1$	Kaynak dikiş faktörü
$V_2$	Kaynak kalitesi faktörü
$V_3$	Darbe faktörü
$\sigma_{em}$	Kaynak edilen malzemenin emniyet gerilmesi
$\sigma_k$	Kaynak dikişinin maruz kaldığı normal gerilme
$\sigma_{kem}$	Kaynak dikişi için emniyetli normal gerilme
$\sigma_{maks}$	Kaynak dikişinin maruz kalabileceği en büyük eşdeğer gerilme
$\tau$	Kaynak yöntem katsayısı
$\tau_{em}$	Kaynak edilen malzemenin kayma emniyet gerilmesi
$\tau_k$	Kaynak dikişinin maruz kaldığı kayma gerilmesi
$\tau_{kem}$	Kaynak dikişinin maruz kalabileceği en büyük kayma gerilmesi
$\omega$	Köşe kaynağı dik kenar uzunluğu

## **KISALTIMA LİSTESİ**

ASM	American Society for Metals
AWS	American Welding Society
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	European Norms
EFW	European Federation for Welding, Joining and Cutting
IAB	International Authorization Board
IIS	Institut International de la Soudure
IIW	International Institute for Welding
ISO	International Organization for Standardization
ITAB	Isının Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
NDT	Non-destructive Testing
Nd:YAG	Neodymium-doped Yttrium Aluminium Garnet
SPC	Statistical Process Control
TIFF	Tagged Image File Format
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standardı
TÜLOMSAŞ	Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi Anonim Şirketi
UIC	International Union of Railways
WPS	Welding Procedure Specification

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Kaynağın gerçekleştirilebilme yeteneği .....	11
Şekil 3.2	Gazaltı kaynağında kullanılan terimler .....	33
Şekil 3.3	DIN 1910, bölüm 1' e göre kaynakta mekanizasyon dereceleri .....	37
Şekil 3.4	Manuel kaynak.....	37
Şekil 3.5	Kısmi mekanize kaynak .....	38
Şekil 3.6	Tam mekanize kaynak.....	38
Şekil 3.7	Otomatik kaynak.....	39
Şekil 3.8	Soğuma hızının ısı girdisine bağlı değişimi .....	40
Şekil 3.9	Kaynakla ilgili ısı işlemler.....	44
Şekil 3.10	Farklı kaynak koşullarında zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı .....	45
Şekil 3.11	Basit ön tavlama ile yapılan kaynak.....	46
Şekil 3.12	Ön ve son tavlama kaynak.....	47
Şekil 3.13	Çok pasolu kaynakta sıcaklığın zamana bağlı değişimi.....	48
Şekil 3.14	T şeklindeki bağlantıda oluşan eğilmenin presleme ile giderilmesi .....	51
Şekil 3.15	Distorsiyonun giderilmesi için bölgesel ısıtma.....	51
Şekil 3.16	Bombeleşmenin düzeltilmesi için noktasal ısıtma .....	52
Şekil 3.17	Plakanın düzleştirilmesinde kama şekilli ısıtma uygulanması .....	53
Şekil 3.18	Köşe kaynağındaki açısız distorsiyonun giderilmesinde çizgisel ısıtma uygulanması.....	53
Şekil 3.19	Kaynak boyutunun tespit edilmesi.....	54
Şekil 3.20	Tasarımın ulaşılabilirlik üzerindeki etkisi .....	55
Şekil 3.21	Bindirme kaynağının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi .....	56
Şekil 3.22	Kaynak dikişi, kuvvetin yön değiştirme bölgesinde olmamalıdır .....	56
Şekil 3.23	Kaynak dikişlerinin yük taşıma kapasiteleri.....	57
Şekil 3.24	Kaynak dikişi içindeki kuvvet akış çizgileri.....	57
Şekil 3.25	Kuvvet akış çizgilerinin kaynak dikişindeki dağılımı.....	57
Şekil 3.26	Farklı kalınlıktaki malzemelerin kaynağı.....	58
Şekil 3.27	Kaynak dikiş kökü çekme etkisinde kalmamalıdır .....	58
Şekil 3.28	Kaynak dikiş kökleri çekmeye karşı hassastır .....	59
Şekil 3.29	Kaynak dikişinin yeri uygun seçilmelidir .....	59
Şekil 3.30	Kaynakta çentik etkisi .....	60
Şekil 3.31	Kaynakta düğüm noktasından kaçınılmalıdır .....	60
Şekil 3.32	Düğüm noktaları mukavemeti olumsuz etkiler.....	60
Şekil 3.33	Kaynak dikiş boyutları arasındaki ilişki.....	61
Şekil 3.34	Kapalı kesitlerin kaynak özellikleri .....	61
Şekil 3.35	Silindirik basınçlı kapların N/mm <sup>2</sup> cinsinden emniyetli basınç değeri.....	62
Şekil 3.36	İşlenecek yüzeylerde kaynak dikişi olmamalıdır .....	62
Şekil 3.37	İç köşe dikişler çift yapılmalıdır .....	63
Şekil 3.38	İnce levha yerine kalın levha tercih edilmelidir.....	63
Şekil 3.39	Delik açılarak gaz sıkışması önlenmelidir.....	63
Şekil 3.40	Kaynak dikişi az zorlanan yerlere konmalıdır .....	64
Şekil 3.41	Kaynak ağzı keskin köşeye neden olmamalıdır.....	64
Şekil 3.42	Kaynak yapılacak bölgeye kolay ulaşılmalıdır.....	65
Şekil 3.43	Ön deformasyonla kaynak sonrası çekilmelerin önlenmesi .....	65
Şekil 3.44	Kaynakta paso sırası.....	66
Şekil 3.45	Kaynakta kaynak pasosu sırası.....	66
Şekil 3.46	Takviyeli kaynak dikişi .....	66
Şekil 3.47	Kaynakta işlenecek yüzeyler birbirine dik olmalıdır .....	67
Şekil 3.48	Kaynak dikişi kolay ulaşılacak yerlere konmalıdır.....	67



Şekil 3.49	Ön şekillendirme işçilik ve maliyeti arttırır.....	68
Şekil 3.50	Ucuz malzeme pahalı işçilik gerektirir.....	68
Şekil 3.51	Dinamik zorlanmalar iç köşe dikişler için tehlikelidir .....	68
Şekil 3.52	Kaynak ağzı gövdeye değil flanşa açılmalıdır.....	69
Şekil 3.53	Dairesel parçaların kaynağı .....	69
Şekil 3.54	Köşe kaynağında bindirme yapmak zorunludur .....	69
Şekil 3.55	Bir sıvı deposunun kaynaklı tasarımı.....	70
Şekil 3.56	Aynı ve farklı et kalınlıklarında eksenden kaçıklık .....	76
Şekil 3.57	Köşe kaynağı profili .....	76
Şekil 3.58	Alın kaynağı profili .....	77
Şekil 3.59	Yanma oluşu ve soğuk kaynak.....	78
Şekil 3.60	Cüruf inklüzyonu .....	79
Şekil 3.61	Gözeneklilik.....	79
Şekil 3.62	Ergime eksikliği .....	79
Şekil 3.63	Nüfuziyet noksanlığı .....	80
Şekil 3.64	Dolgu eksikliği.....	80
Şekil 3.65	Çatlaklar .....	80
Şekil 4.1	Dış ve iç dikiş profilleri ile kırmızı çizgilerle gösterilen tolerans sınırları .....	87
Şekil 4.2	On-line ultrasonik muayene sisteminin genel görünüşü .....	88
Şekil 4.3	İşaretlenen eksen boyunca hata görüntüsü ve penetrametre parlaklığının uzunluğa bağlı değişimi.....	90
Şekil 4.4	Fon ve hata bölgesinin histogramı ile birlikte kaynağın görüntüsü .....	91
Şekil 4.5	Fon ve hata bölgesinin toplam histogramı ile birlikte kaynağın görüntüsü .....	91
Şekil 4.6	Kaynak yönteminin bilgi tabanlı sistemlerle kontrolünde ve izlenmesindeki temel basamaklar.....	98
Şekil 4.7	Tozaltı kaynak yöntemiyle üretilen spiral dikişli boruda dış kaynak dikişinin lazer kontrolü .....	99
Şekil 4.8	Tozaltı kaynak yöntemiyle üretilen spiral dikişli boru iç kısmında punta kaynağının kontrolü .....	99
Şekil 4.9	Tozaltı kaynak yöntemi ile iç dikişin imalatı ve kontrolü.....	100
Şekil 4.10	Düz dikişli kaynaklı boruda dikişin kontrolü .....	100
Şekil 4.11	Düz dikişli kaynaklı boruda dikiş kontrol sisteminin genel ve detay görünümü.....	100
Şekil 4.12	On-line kalite kontrolde bölgeler.....	102
Şekil 4.13	Dikiş takip kamerasının Nd:YAG lazer kaynak kafasına kılavuzluk edişi ....	104
Şekil 4.14	Çatı dikişinin CO <sub>2</sub> lazer kaynağı ile kaynak edilmesinde; dikiş takip kamerası kaynak kafasına yatay, baskı tekerleği ise dikey kılavuzluk eder .....	105
Şekil 4.15	Lazer kaynak uygulamalarının kalite kontrolü için kesin bir çözüm olarak, iki eksende kayma yeteneğine sahip dikiş takip kamerası ve izleme sensörleri ile donatılmış yüksek güçlü Nd: YAG lazer kaynak kafası .....	105
Şekil 5.1	Cevher taşıma vagonu .....	106
Şekil 5.2	Kapalı yük vagonu .....	107
Şekil 5.3	Hububat taşıma vagonu .....	107
Şekil 5.4	Kayan duvarlı vagon .....	107
Şekil 5.5	Sarnıç vagon .....	108
Şekil 5.6	Y 25 Lsd tipi boji ve iskelet yapısı .....	109
Şekil 5.7	Y 25 Lsd tipi bojinin ölçüleri.....	109
Şekil 5.8	Y 25 Lsd tipi boji .....	110
Şekil 5.9	Cevher taşıma vagonu altındaki Y 25 Lsd tipi boji .....	110
Şekil 5.10	Bakım atölyesindeki Y 25 Lsd tipi boji .....	111
Şekil 5.11	Y 25 Lsd tipi bojinin önden görünüşü.....	111

Şekil 5.12	1 numaralı kaynak (H-H kesiti) .....	113
Şekil 5.13	2 numaralı kaynak (E-E kesiti) .....	113
Şekil 5.14	3 numaralı kaynak (C-C kesiti).....	114
Şekil 5.15	4 numaralı kaynak (B-B kesiti).....	114
Şekil 5.16	5 numaralı kaynak (A-A kesiti) .....	115
Şekil 5.17	6 numaralı kaynak (A-A kesiti) .....	115
Şekil 5.18	Karbon eşdeğeri ve kalınlık eşdeğerine bağlı olarak birim dikiş enerjisinin değişimi .....	121

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kaynağa yatkınlık ve etkilendiği faktörler .....	12
Çizelge 3.2 Önemli alaşım elementlerinin çeliğin bazı mekanik özelliklerine etkisi.....	12
Çizelge 3.3 Karbon miktarının yumuşak çeliklerin ergitme kaynağına etkisi .....	13
Çizelge 3.4 Gerilme giderme koşuluna göre sınıflandırılan dolgu metali şartnameleri .....	21
Çizelge 3.5 Gerilme giderme uygulanacak kaynaklarda kullanılacak elektrotlara ait son ekler .....	22
Çizelge 3.6 Çeşitli sıcaklıklarda su yoğunlaşmasının oluşacağı bağıl nem oranları .....	35
Çizelge 3.7 Elle elektrik ark kaynağı için malzeme özelliklerinin artan ısı girdisi ile değişimi.....	42
Çizelge 3.8 Dinamik zorlanmalar için $V_1$ , kaynak dikiş faktörü.....	72
Çizelge 3.9 EWF/IIW kılavuzları .....	73
Çizelge 4.1 Lazer kaynağında hata türleri ve uygun kalite kontrol teknikleri .....	103
Çizelge 5.1 Şasi iskeletini oluşturan parçaların adetleri ve montaj numaraları .....	111
Çizelge 5.2 İncelenen altı adet kaynağın şasi iskeletinin teknik resmindeki yerleşimi.....	112
Çizelge 5.3 Altı adet kaynağın imalat ve tasarımına ilişkin bilgiler.....	117
Çizelge 5.4 Boji malzemesinin kimyasal bileşimi.....	119
Çizelge 5.5 Karbon eşdeğerine göre ön tavlama gereksinimi ve sıcaklık değerleri.....	119
Çizelge 5.6 Kaynak yöntem katsayısı.....	120
Çizelge 5.7 Kaynak dikişleri için karbon ve kalınlık eşdeğerleri.....	122
Çizelge 5.8 Altı kaynak dikişi için diyagram yardımıyla hesaplanan birim dikiş enerjileri..	122
Çizelge 5.9 Ana metal ve ilave metalin mekanik özellikleri.....	124

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, kaynaklı konstrüksiyonların kendilerinden beklenen özellikleri karşılayabilme yeteneklerinin bir ölçüsü olan kaynak kalitesi kavramı ve kalite güvencesinin kaynağın yapılışı esnasında arttırılması araştırılmıştır. Öncelikle kaynak kalitesine etki eden faktörler tespit edilmiş, daha sonra bu faktörlerin kaynak anında kontrol edilmesi için uygulanan yöntemler ve geliştirilmiş sistemler incelenmiştir.

Gözlem çalışması bölümünde, demiryolu taşımacılığındaki yük vagonlarında kullanılan ve boji olarak adlandırılan kaynaklı konstrüksiyonun iskeletinin imalatı gözlemlenmiş olup, kalitenin sağlanması ve arttırılması amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

Tez çalışmamın hazırlanmasında engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Nurullah GÜLTEKİN' e, gözlem çalışmalarındaki ilgi ve yardımlarından dolayı TÜLOMSAŞ Kaynak ve Laboratuvarlar Şube Müdürü Kimya Mühendisi Murat GÖRÜR' e ve çalışma boyunca manevi desteğini daima arkamda hissettiğim değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

Kaynaklı birleştirmeler günümüz dünyasında taşıt araçları, endüstriyel tesisler, mimari yapılar, demiryolu köprüleri ve boru hatları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerin bu geniş kullanımda güvenli ve verimli çalışabilmeleri için kendilerinden beklenen bazı özellikleri taşıması gerekir. Tamamı kaynak kalitesi olarak adlandırılabilen bu özellikler; mekanik, metalurjik, boyutsal ve görünüş ile ilgili olabilir. Gelişen teknoloji ve artan uluslararası ticaret sebebiyle kaynak kalitesinin önemi her geçen gün artmaktadır.

Bu tez çalışmasında kaynak kalitesinin ve kalite güvencesinin, kaynağın yapılışı anında ne şekilde artırılabilceğı araştırılmıştır. Öncelikle kaynak kalitesine etki eden faktörler tespit edilmiş, daha sonra bu faktörlerin kaynak esnasında kontrol edilmesi araştırılmıştır. Bu amaç için geliştirilmiş otomatik tahribatsız muayene sistemleri incelenmiştir.

Gözlem çalışmasında, demiryollarında yük taşımacılığında kullanılan vagonlara ait bir bojinin kaynaklı şasi iskeletinin imalatı gözlemlenmiştir. Bu imalatta kullanılan parametrelerin uygunluğu kontrol edilerek kalitenin artırılması ve kalite güvencesinin geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda, kaynağın bir süreç olarak algılanıp, sistemli bir kontrol mekanizması ile bu sürecin her aşamasının dikkatli bir şekilde kontrol edilmesinin gerekliliğı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak kalitesi, kalite güvencesi, kaynak parametreleri, kalite kontrol, görsel kontrol, otomatikleştirilmiş tahribatsız muayene sistemleri.

## **ABSTRACT**

Nowadays, welded joints are used in a lot of fields such as vehicles, industrial foundations, architectural buildings, railway bridges and pipelines. They must have some features that are expected from themselves in order to serve in safety and with productivity in these fields. These features that can be called weld quality at all, can be related with mechanical, metallurgical, dimensional and exteriors of welded joints. Improving technology and increasing international trade cause to be giving more and more importance to weld quality day by day.

In this study, how to be improved that weld quality and quality assurance during welding has been studied. Firstly, the factors that affect weld quality were determined and than the controlling of these factors during welding was investigated. The automated non-destructive testing systems that have been improved for the purpose of controlling the factors that affect weld quality during welding were researched.

In the study of observation, the manufacturing of welded chassis of a bogie of the railway cars that are used in freight transporting on the railways was observed. By controlling of the appropriateness of the parameters that are used for this manufacturing, there were given some advices to develop the quality of welding and quality assurance.

Consequently, the necessity of consideration of welding as a process and controlling of each phase of this process in attention by a systematic controlling mechanism was determined.

**Keywords:** Weld quality, quality assurance, weld parameters, quality control, visual inspection, automated NDT systems.

## 1. GİRİŞ

Kaynak tekniği günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmakta olan birleştirme yöntemlerinden birisidir. Diğer birleştirme teknikleri (perçinleme, yapıştırma, döküm v.b.) ile kıyaslandığında ortaya çıkan üstünlükleri, hemen her çeşit metal ve metal dışı malzemeye uygulanabilirliği kaynağın kullanımı yaygınlaştırmıştır. Bu üstünlüklerden öne çıkanlar; üretilen konstrüksiyonun hafifliği, daha yüksek sızdırmazlık, daha yüksek dayanım, ucuz imal edilebilirlik, işçilikten ve zamandan tasarruftur.

Kaynak ile birleştirme işleminin bu üstünlüklerinden yararlanılabilmesi için imal edilen kaynaklı birleştirmenin kendisinden beklenen belirli özellikleri sağlaması gerekir. Bu özelliklerden en önemlileri mekanik ve metalurjik olanlardır. Mekanik özellikler düşünöldüğünde ilk akla gelen kaynaklı yapının mukavemetidir. Bu doğal bir beklentidir çünkü kaynaklı yapıların tamamına yakını, yüklerin yada kuvvetlerin taşınması ve iletilmesi amacıyla üretilir. Metalurjik özellikler ise mekanik özellikleri etkileyen ve kaynağın iç yapısı ile ilgili olanlardır.

Kaynaklı birleştirmeden beklenen özellikler, birleştirmenin çalışacağı koşullara, maruz kalacağı yükleme durumuna ve sıcaklığa bağlıdır. Bu sebeple her kaynaklı birleştirmeden veya konstrüksiyondan beklenen özellikler farklıdır. Örneğin kaynaklı olarak imal edilmiş bir su deposundaki dikişler ile uçak motorunun yanma odalarındaki kaynak dikişlerinden aynı özellikler beklenemez. Burada esas olan kaynağın “amaca uygunluğu” dur.

Kaynaklı birleştirmenin yaygın olan kullanımı ve kendisinden beklenen amaca uygun olarak imal edilmesinin gerekliliği düşünöldüğünde kalite kavramı ile karşılaşılır. Çünkü kaynaklı birleştirmeler kullandığımız birçok üründe (taşıt araçları, ısıtma-soğutma ekipmanları v.b.) ve endüstriyel amaçlı birçok yapıda (petrol boru hatları, fabrika ekipmanları, köprü ve mimari yapılar v.b.) karşımıza çıkmaktadır.

İnsan hayatını dolaylı yada dolaysız olarak etkileyen ürün ve tesislerin sağlıklı ve güvenli bir biçimde hizmet vermeleri; bünyelerinde barındırdıkları kaynaklı birleştirmelerin hatasız ve güvenilir olmasını, bir anlamda kaliteli olmasını gerektirir.

Kaynak kalitesi, kaynağın kendisinden beklenen özellikleri karşılama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Yöntem olarak birçok bileşeni (kaynak tüketilenleri, kaynak makinesi v.b.) ve insan faktörünü içeren kaynak tekniğinde kalite birçok parametrenin etkisi altındadır. Bu parametrelerin bir kısmı kaynağın yapılmaya başlandığı ana kadar olan süreçte, bir kısmı kaynak yapılırken, bir kısmı da kaynağın yapımı tamamlandıktan sonra ön plana çıkar.

Kaynak ağız hazırlığı, yüzey temizliği, ön tavlama, kaynak tüketilenlerinin seçimi ve depolanması, kaynağın elektriksel parametreleri, kaynak hızı, dikişin yapılış tarzı gibi çoğu parametre kaynak işlemi öncesinde ve esnasında etkilidir. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra bu parametrelerde herhangi bir değişiklik yada düzeltme yapılması söz konusu değildir.

Kaynak bitimindeki parametreler arasında değerlendirilen muayene ve kontrol işlemleri ise ortaya çıkan kalitenin ölçülmesinde ve hata tespitinde kullanılır. Bu aşamada yapılacak faaliyetler belirleyici niteliğe sahip olup meydana çıkmış olan kaynaklı birleşirmenin özelliklerini değiştirmez, sadece onların tespitini ve değerlendirilmesini sağlar.

Bu açıdan kaynaklı imalata bakıldığında kaynak özelliklerinin çok büyük bir kısmı kaynak öncesinde ve kaynak yapılırken ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla kaynak kalitesi de büyük ölçüde kaynak işlemi tamamlanmadan son halini almaktadır.

Kaynak kalitesinin kaynak anı ve öncesine bu derecede bağımlı oluşu kaynak işleminin yapım öncesinin ve yapım anının etkili bir şekilde kontrol edilmesini gerektirmektedir.

Kaynak öncesine göre daha dinamik bir evre olan kaynak anında gerçekleşen değişiklik ve oluşumlar kaynak kalitesine direkt etkide bulunur. Bu evrenin kontrol edilerek mümkün olduğunca doğru parametrelerle ve hatasız çalışmanın sağlanması kaynak kalitesini büyük ölçüde arttır.

Bu çalışmada kaynak kalitesinin ve kalite güvencesinin kaynağın yapılış anında arttırılması araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında özel bir kaynak yöntemi ve kaynaklı konstrüksiyon gözetilmemiştir. Uygulamadaki yaygınlık bakımından ergitme esaslı kaynak yöntemleri ve çelik malzemelerin kaynağı ön planda tutulmuştur.



## 2. KALİTE ve KALİTE GÜVENCESİ

Günümüzde mal ve hizmetlerin üretiminde ve pazarlanmasında en çok kullanılan anahtar sözcük kalitedir.

Kalite isteği insanlık kadar eskidir ve başlangıcı insanların başkalarının kullanması için bir şeyler üretmeye başladığı zamanlara kadar uzanmaktadır. Kalite kontrol ise o kadar eski değildir. Orta çağda bir loncanın kontrol şefinin üretilmiş bir malı muayene edip, kalite gereksinimini karşıladığında, üzerine belli bir işaret koymasıyla başlar. Bu işaretlemeden, imalat yeri işareti ve kalite garantisi kavramları ortaya çıkmıştır. Yüzyıllar içerisinde en önemli kalite önlemi konumunda bulunan kalite kontrol ve kalite muayenesi, endüstriyel üretimin artmasıyla birlikte daha ileri giderek “istatistiksel kalite kontrolüne (SPC)” kadar geliştirilmiştir.

Otomobil üretimi gibi bir seri üretim çerçevesinde veya nükleer reaktör elemanları gibi güvenlik açısından oldukça önemli parçaların üretiminde, kalitenin sadece muayene edilmesi ve buna bağlı olarak hataların ayrılması veya onarılarak tekrar muayene edilmesinin varılacak son nokta olmayacağı gayet açıktır. Buradan yola çıkılarak “kalite halkası” geliştirilmiştir. Kalite halkası, kalite yönetiminin tüm işletmenin görevi olduğunu ve üretimin her basamağında organize edilmesinin zorunluluğunu sergilemektedir.

Kalite yönetimindeki yeni düşünce tarzı hata oluşumunun önlenmesidir.

### 2.1 Kalite

Gelişimi yukarıda anlatılan kalite kavramı, çoğu kez tanımlanmaya çalışıldığı gibi “mutlak anlamda en iyi” demek değildir. Bu durum, bir örnekle daha iyi anlaşılabilir.

Bir makinede, hareketi iletme görevi yapan milin çapı  $50 \pm 0,05$  mm toleransla işlenmektedir. İmalatçı mili  $50 \pm 0,005$  mm tolerans ile ürettiğinde kaliteyi yükseltmiş olur mu? Bu soru cevaplanmadan önce, ilk toleransa göre işlenen milin kendinden beklenen işi yeterince yapıp yapmadığını araştırmak gerekir. Eğer  $50 \pm 0,05$  mm lik tolerans yeterli ise, milin gereksiz yere işlenmesi maliyeti artırmaktan başka bir işe yaramaz (Ural, 2001).

Yukarıdaki örnekten de anlaşıldığı gibi, kalitenin genel olarak “**amaca uygunluk derecesi**” olarak tanımlanması daha doğru olacaktır. Dolayısıyla bir ürünün kalitesinden söz edildiğinde önce onun;

- a) Fonksiyonu ve kullanım amacını
- b) Fiyatını göz önüne almak gerekir.

Bu iki ana faktörden sonra aşağıda sıralanan faktörlerinde eldeki veri ve imkanlar çerçevesinde kalınarak en ekonomik biçimde dengelenmesi söz konusudur. Bu alt faktörler;

- 1- Ürünün fiziksel özellikleri ve çalışma karakteristikleri
- 2- Ömür ve güvenilirlik karakteristikleri
- 3- Dizayn ve imalat maliyetleri
- 4- Üretim yöntemleri ve teknolojik olanakları
- 5- Tamir, bakım ve servis ihtiyaçlarıdır.

ISO 8402 Kalite Sözlüğü' nde ise kalite "Bir ürün veya hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerinin toplamıdır" şeklinde tanımlanmıştır.

Kalite içerisinde iki esas öge bulunmakta olup bunlar;

- Müşteri memnuniyeti
- Üretimde (hizmette) hatasızlıktır.

## **2.2 Kalite Güvencesi**

Kalite güvencesi; ürün veya hizmetin, kalite için belirlenen istekleri karşılamak amacıyla yeterli güveni sağlamak için gerekli olan planlı ve sistematik faaliyetlerin bütünüdür. Örneğin, ISO 9000 serisi standartlar bu faaliyetleri organize eden kalite güvencesi standartlarıdır.

Kalite güvencesi esas itibarı ile üretim sistemi üzerinde odaklanmıştır ve amaç kaliteyi güvenceye almaya yöneliktir.

Kalite güvenliğinin sağlanmasında bir araç olan kalite kontrol; tüketici isteklerinin en ekonomik biçimde karşılanması için, işletmedeki tüm birimlerin sorumluluk taşıdığı, hammadde girişinden ürün stok ambarına kadar, hatta satış sonrası hizmetleri de içine alacak şekilde yer alan, kalitenin kurulması, sürdürülmesi ve geliştirilmesi amacıyla yapılan faaliyetler topluluğudur.

### 3. KAYNAK KALİTESİ ve KALİTEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kaynak, içindeki kalite muayene edilemeyen ancak kalitenin bizzat oluşturulması gereken bir üretim yöntemidir. Kaynağa ne kadar iyi tahribatsız muayene yöntemi uygulanırsa uygulansın, kaynaklı bağlantının dayanımı, çentik darbe tokluğu, metalurjik yapısı veya korozyon direnci tespit edilemez. Bu faktörler kullanılan kaynak ilave malzemelerinden etkilenir. Kaynaklı imalat; tasarım, malzeme seçimi, malzeme temini, seçilen yöntemin uygulanışı ve bunu izleyen muayene işlemiyle bir süreçtir. Bu yüzden kontrol edilebilir bir kalite; ancak sürecin her bir elemanının doğru bir şekilde kontrol edilmesiyle üretilebilir. Buradan anlaşılmaktadır ki, kaynak işleminin bir kalite sistemi tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir.

Kaynaklı imalatta kalite, tanımına benzer şekilde göreceli bir kavramdır. Çalışma şartlarına göre yapılan bir değerlendirme onun iyi yada kötü olduğunu belirler. Kaynak işlerinde kalite güvencesi sözünden, kaynaklı yapı elemanlarının usulüne uygun olarak donatılmış bir işletmede, uzman personel tarafından üretilmesi anlaşılır. Kalite güvencesi, sadece kaynak dikişlerine uygulanan muayene ve kontrol ile sınırlı değildir. Bu işlemler sadece mevcut kaynak dikişinin kalitesini belirlemektedir. Buna ilave olarak, konstrüksiyon, imalat planı ve kaynak tekniğiyle ilgili imalat aşamasındaki kontrolleri de kapsamalıdır. Kaynak kalitesinin temin edilmesinde ilk adım çalışma koşulları tarafından ihtiyaç duyulan kalite düzeyini tespit etmektir. Çalışma ihtiyaçlarına dayanan bir standart kurulmalıdır. Bu noktada, ilgili mühendis hem kalite güvencesi ve kalite kontrol aşamalarının rollerini, hem de projeden beklenen yapısal ve kalite ile ilgili istekleri tanımlayarak belirli kontrol kriterlerini temin etmelidir. Kalite standardı tesis edildikten sonra, başarılması en önemli adım en iyi yöntem ve prosedürün seçimidir. Aşağıdaki beş maddeye dikkat edildiğinde kaynak kalitesi hemen hemen kendiliğinden meydana gelir [8]:

- 1- Yöntem seçimi: Yöntem iş için doğru olmak zorundadır.
- 2- Hazırlık: Bağlantı konfigürasyonu doğru ve kaynak yöntemiyle uyumlu olmalıdır.
- 3- Prosedürler: Aynı sonuçları elde etmek için prosedürler detaylı bir şekilde açıklanmalı ve kaynak esnasında çok dikkatlice takip edilmelidir.
- 4- Ön test: Kaynak anı şartlarının büyük ölçekli uyarlanması veya simule edilmiş numuneler vasıtasıyla yöntem ve prosedürlerin istenen kalite standardını karşıladığı ispatlanmalıdır.
- 5- Personel: İş için kalifiye edilmiş kişilere görev verilmelidir.

Yukarıdan da anlaşılacağı gibi kaynaklı bağlantılar için kalite güvencesi prosesinin temel elemanları; kaynak dolgu malzemesinin, ana malzemenin ve kaynak öncesi şartların kontrolü, kaynak prosedürünün doğrulanması ve muayene işlemleridir. Buradaki kontrol kavramı; ön ısıtma, pasolar arası sıcak tutma ve son ısıtma (eğer gerekli ise) kontrollerini, bağlantı hizalanma kontrolünü ve prosedürlere bağlılığı kapsamaktadır.

Kontrol göz önüne alındığında; etkili ve üç aşamalı (kaynak öncesi, kaynak esnasında ve kaynak sonrası) bir görsel muayene önemli parametrelerin kontrol edilmesini sağlayabilir ve dolayısıyla kaliteli kaynaklar elde etmeyi kolaylaştırır. Bu sebeple tüm kaynak uygulamalarında, kaynak kalitesinin temini için etkili görsel kontrol kullanılmak zorundadır.

Kalite bütünüyle uygulanabilir spesifikasyonlara bağlı olduğundan, kontrol ve kabul kriterleri ürün üzerinde büyük etkiye sahiptir. Alternatif kabul kriterlerinin incelenmesi ve uygulanmasıyla gelişmiş kaliteli ürünler makul bir maliyetle üretilebilir.

Kaynak tekniğinde kaliteyi etkileyen faktörler IIW-Doc. 902-86' da (Kaynak teknolojisindeki kalite güvencesi için kılavuzlar) belirtilmiştir. Buna göre faktörler şunlardır (Anık, 1996):

- Kaynaklı bağlantının tasarımı
  - o Kaynak edilecek parçanın konstrüktif şekillendirilmesi
  - o Konstrüksiyondaki kaynak bağlantılarının sıralanması
  - o Kaynaklı bağlantının şekli (birleştirme türü, dikiş formu)
  - o Kaynaklı bağlantının boyutlandırılması
  - o Kaynak dikişinin değerlendirme grubu
- Malzeme
  - o Esas metalin tür ve özellikleri
  - o İlave ve sarf malzemesinin tür ve özellikleri
  - o Esas ve ilave malzemenin durumu
- Kaynak yöntemi
  - o Kaynak yöntemi (elle elektrik ark, tozaltı, direnç vb.)
  - o Mekanikleştirilme derecesi
  - o Kaynak parametreleri
  - o Isı girdisi

- Kaynak personeli
  - o Kaynak mühendisi
  - o Kaynak konstrüktörü
  - o Kaynak teknikeri
  - o Kaynakçı, kaynak operatörü
- Kaynak ağız hazırlığı
  - o Çalışma koşulları, makine donanımı
  - o Kaynak atölyesi
- Kaynaktan sonraki ısı işlemler
  - o Yöntem
  - o Uygulama şekli
- Muayene
  - o Muayene yöntemi
  - o Muayene personeli
- Kontrol
  - o Kalite güvence sistemi
  - o Dış kontrol
  - o Dokümantasyon

Kaynak kalitesine etki eden faktörler kısa olarak şu şekilde açıklanabilir.

### **Kalite Faktörü 1 : Tasarım**

Kaynaklı bir yapı elemanının tasarımında, imalatçı ve/veya müşterinin deneyimleri yanında, tüm yasal düzenleme ve kurallara (basınçlı kap talimatları, boru hatları yapım talimatları, mesleki kuruluşların talimatları, Avrupa standartları vs.) mümkün olduğu kadar dikkat edilmeli ve yerine getirilmelidir. Bunun gerçekleşmesi, ancak konstrüksiyon kurallarının ve çalışma standartlarının yerine getirilmesiyle mümkündür. Ancak, bir teknik resim veya bazen bir eskiz dahi yeterli olabilir. Burada önemli olan nokta, tasarım sırasında geçerli kalite kriterlerine uyulması ve bunların uygulanacakları yerlerin gösterilebilmesidir.

**Kalite Faktörü 2 : Malzeme**

Mümkün olduğu kadar, standartlaştırılmış ve sertifikalı esas ve ilave malzemeler kullanılmalıdır. Bu mümkün değilse, kural olarak müşteri ile üzerinde anlaşılmış bir kabul yöntemi veya yeri tercih edilir. Kullanılan malzemenin ispatında, tarafların uygun bir sistem üzerinde anlaşmaları gerekir. Bu sistem, standartlara uygunluk belgesi olabileceği gibi, bir kabul muayenesi sonucunda alınan bir sertifika da olabilir. Taraflar ayrıca uygun bir standarda göre, doğru nakliye ve depolama yöntemi ve koşullarını belirlemelidir.

**Kalite Faktörü 3 : Kaynak Yöntemi**

Kaynaklı yapı elemanının imalatçısının kullandığı kaynak yöntemini ve tüm uygun kaynak parametrelerini tanımlayabilmesi ve yöntemin ispatını sağlayabilmesi gerekir. Burada EN 288 (Metalik Malzemelerin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Onayı) standardı kullanılabilir.

**Kalite Faktörü 4 : Kaynak Tekniği Personeli**

Kaynak tekniği personeli, kaynakçı, kaynak öğretmeni, kaynak uzmanı, kaynak teknikeri, kaynak konstrüktörü ve kaynak uzman mühendisinden oluşur. Bu personel içinde, kaynak uzmanı, kaynak teknikeri, kaynak konstrüktörü ve kaynak uzman mühendisi “ kaynak gözlem personeli ” olarak adlandırılır. Bu personelin görev ve sorumlulukları aşağıda verilmiştir.

- a- Sözleşmenin kontrolü
- b- Tasarımın kontrolü
- c- Malzeme
  - Esas malzeme
  - İlave ve sarf malzemeleri
- d- Üretim planlama
- e- İşletme donanımları
- f- Kaynaklı imalat
  - Ön çalışmalar
  - Kaynak
- g- Muayene
  - Gözle muayene
  - Tahribatlı ve tahribatsız muayene

h- Kaynak dikişlerinin kabulü

i- Dokümantasyon

Kaynak uzmanı, kaynak teknikeri ve kaynak mühendisi gibi kaynak gözlem personeli ile birlikte, EN 287' ye göre kalifiye edilmiş ve sertifikalandırılmış kaynakçıların varlığı gerekir.

İmalatçı, tüm bu personelin uygun şekilde sertifikalandırılmasını sağlamalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi amacıyla, gerekli sınavlara, eğitim kurslarına başvurulabilir. Bir imalat yerinde sadece kaynakçıların kalifiye edilmesi yeterli olmaz. Ayrıca kaynak edilecek parçaları hazırlayan diğer talaşlı imalat personelinin (tornacı, tesviyeci vs.) de kalifiye edilmesi gerekir.

### **Kalite Faktörü 5 : Kaynak Ağız Hazırlığı**

Ağızların hazırlanması, dikiş kalitesinin nüvesidir. Bu nedenle kaynak ağızları özenle planlanmalı ve hazırlanmalıdır. Ayrıca ağızların yapılış şekli, temizliği ve türü de çok önemlidir. Bu konuda standartlardaki verilere uyulması gerekir. Bu noktada, konstrüksiyon bürosu ile atölye arasında sıkı bir işbirliği olmasının önemi büyüktür.

### **Kalite Faktörü 6 : Çalışma Koşulları, İşyeri Donanımı, İşyeri Denetimi**

Kaynak atölyesi, her bir imalat konusuna uyacak minimum donanımına sahip olmalıdır. Donanımın uygunluğu ve fonksiyonlarını yerine getirmesi garanti altına alınmalı veya muayene edilmelidir. Ayrıca gerekli emniyet koşullarının da yerine getirilmesi gerekir.

### **Kalite Faktörü 7 : Kaynaktan Sonraki Isıl İşlemler**

Kaynaktan sonraki ısıl işlem tanımlaması, 3. kalite faktörü olan kaynak yöntemi ile birlikte yapılabilir. Bu durumda parametrelerin tolerans sınırlarının belirlenmesi gerekir. Bu konuda uygun standartların, malzeme tablolarının veya üretici talimatlarının göz önünde bulundurulması gerekir.

### **Kalite Faktörü 8 : Muayene**

Bir kaynaklı bağlantının veya kaynaklı bir yapı elemanının muayenesi, çok farklı durumlarda ortaya çıkarabilir. Bir kaynaklı bağlantının dayanımı, bağlantı türüne ve maruz kaldığı zorlama seviyesine bağlıdır. Bu nedenle muayene yöntemi ve muayene ortamı, sadece üretici ile kullanıcı arasındaki veya konstrüksiyon ile imalat arasındaki, kaynak dikiş özellikleri için kabul sınırlarına uyumlu olmalıdır. Bu şekilde oluşturulacak uyum, teknik resimlere, kaynak planına, muayene talimatına veya muayene yöntemine göre tespit edilebilir. Görsel kontrol, dış bulguların EN 25817 (DIN 8563, TS 7830, ISO 5817)' ye göre kontrolü, tahribatsız

muayeneler, basınç deneyi, dayanım deneyi, sızdırmazlık deneyi vs. gibi tüm uygun muayeneler dikkatle yapılmalıdır.

Muayene personelinin kalifikasyonu tanımlanmalı ve kontrol edilmelidir. Bu konuda EN 473 “NDT Personelinin Kalifikasyonu ve Sertifikalandırılması” Avrupa standardı esas alınmalıdır. Ayrıca muayene cihazlarının da kontrolü gerekir.

### **Kalite Faktörü 9 : Kontrol**

Kontrol deyiminden, bağımsız bir kontrol kuruluşu ve eğitimli personel aracılığıyla yapılan kontrol anlaşılmalıdır. Dokümantasyon, bir yapı elemanındaki tüm kalite güvencesi önlemlerinin sonuçlandırılmasıdır. Bunun çerçevesi, müşteri ile ilk başta çizilmelidir. Dokümantasyon görevi konusundaki önlemlerin, çalışma planında, muayene planı veya dengi bir planda belirtilmesi unutulmamalıdır.

Bu faktörleri, aşağıdaki “Kaynağın gerçekleştirilebilme yeteneği” diyagramı çerçevesinde değerlendirdiğimizde, kaynak kabiliyetini oluşturan üç temel bileşenle karşılaşırız. Bunlar;

- Kaynağa yatkınlık
- Kaynağın olabilirligi
- Kaynak emniyetidir.

Üretim kavramının yapıtaşı olarak malzemeyi ve üretim yöntemi olarak da kaynağı düşündüğümüzde bu ikilinin etkileşimi sonucunda “kaynak kabiliyeti” ortaya çıkar. Buradan hareketle alt bölümlerde; yukarıda sayılan kaynak kalitesini etkileyen faktörler kaynak kabiliyeti esas alınarak gruplanmış ve incelenmiştir. Şekil 3.1’ de kaynağın gerçekleştirilebilme yeteneği ile ilgili diyagram görülmektedir.





### 3.1 Kaynağa Yatkinlık

Malzemenin, kaynak edilebilirliğe etkisi şeklinde tanımlanan kaynağa yatkinlık, yürütülen kaynak yönteminden de etkilenmektedir. Kaynağa yatkinlık üç alt başlıkta incelenebilir:

Çizelge 3.1 Kaynağa yatkinlık ve etkilendiği faktörler [6].

Kaynağa Yatkinlık		
Kimyasal özellikler	Metalurjik özellikler	Fiziksel özellikler
Sertleşme eğilimi	Segregasyonlar	Genleşme davranışı
Yaşlanma hassasiyeti	İnklüzyonlar	Isıl iletkenlik
Sıcak çatlama hassasiyeti	Tane boyutu	Ergime noktası
Kaynak banyosu davranışı	Yapı	Mukavemet
	Anizotropi	Tokluk

Bir malzemenin kimyasal kompozisyonu ve aynı zamanda metalurjik özellikleri, esas olarak üretimi esnasında ona kazandırılır. Bu iki özellik malzemenin fiziksel özellikleri üzerinde çok güçlü bir etkiye sahiptir. Çelik üretim sürecinin adımları, işlenebilir ve kullanılabilir bir malzeme elde etmedeki temel adımlardır [6].

Çeliğin arzu edilen kimyasal kompozisyonu ve metalurjik özellikleri üretimi sırasında elde edilir (örneğin, kimyasal kompozisyon alaşımlama ile, metalurjik özellikler ingota dökülme tipi ile).

Malzeme davranışının bir diğer değişimi; ham malzemenin şerit, levha, çubuk ve profil gibi yarı-bitmiş mamule haddelendiği bir sonraki uygulama esnasında meydana gelir. Haddeme prosesi ile birlikte malzemenin tipik dönüşüm, sertleştirme ve çökelti oluşturma proseleri, optimize edilmiş malzeme karakteristiklerini ayarlamak için kullanılır [6].

En önemli alaşım elementlerinin bazı mekanik özelliklere etkisi ile ilgili bir inceleme aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Önemli alaşım elementlerinin çeliğin bazı mekanik özelliklerine etkisi [6].

	C	Si	Mn	P	S	O	Cr	Ni	Al
Çekme mukavemeti	+	+	+	+	(-)	+	+	+	+
Sertlik	+	+	+	+		+	+	+	
Charpy-V	-	-	+	-	-	-	(-)	++	

tokluğu									
Sıcak çatlama hassasiyeti			-		++				
Sürünme dayanımı	+	(+)		(+)	(-)		+	+	
Kritik soğuma hızı	-	-	-				-	-	
Segregasyon oluşumu	+	++	++	++	+				
İnklüzyon oluşumu		+ (Mn ile)	+ (Si ile)		+	+ (Al ile)			+

Karbon miktarının, yumuşak çeliklerin ergitme kaynağına uygunluğu üzerindeki açık önemi Çizelge 3.3' de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.3 Karbon miktarının yumuşak çeliklerin ergitme kaynağına etkisi [6].

Malzeme	% C miktarı	Ergitme kaynak edilebilirliği
S185 (St 33) [EN 10 025]	sınırsız (0,30' a kadar)	Garanti edilmez, bununla birlikte çoğu zaman düşük C miktarı ile sorun yaşanmaz.
S250GT (St 34), S235JR (St 37) S275JR (St 42) [EN 10 025]	0,21' e kadar	% 0,22 C oranına kadar: İyi kaynak edilebilir (0,5 mm den ince levhalar hariç, özel şartlar altında), P ve S gibi katışkı miktarları da çok fazla olmamalıdır.
L235GT (St 35), L375GT (St 45) [Tüp/boru için olan çelikler EN 10 208]	0,17' ye kadar	
P235GH (H I), P265GH (H II), P285NH (H III) [Basıncılı tank kons. için çelikler EN 10 028]	0,22' ye kadar	
C10 (C 10), C15 (C 15), C22 (C 22) [EN 10 083]	0,18' e kadar (0,24' e kadar)	-
S355J0 (St 52)	0,22' ye kadar ve yüksek Mn ve Si ile	Kaynak edilebilir.
E295 (St 50) Mak. müh. için çelik.	sınırsız (yaklaşık 0,30)	Elektrik ark yöntemleri ile sınırlı kaynak edilebilir. İnce levhaların gaz altı kaynağı mümkün değildir.
E355 (St 60), C35 (C 35)	yaklaşık 0,40	Özel elektrotlarla kaynak edilebilir. Çoğu zaman kaynak öncesi ve sonrası ısıl işlem gerekir.
E360 (St 70), C45 (C 45)	yaklaşık 0,50	Özel önlemlere rağmen çok sınırlı

		kaynak edilebilir.
--	--	--------------------

Kusursuz ergitme kaynak edilebilirliği için, kılavuz niteliğindeki değer, C miktarının % 0,22' den az olmasıdır. Daha yüksek C miktarlarında sertleşme tehlikesi vardır ve kaynak ancak ön ve son ısıl işlem gibi özel önlemlerin alınmasıyla mümkün olabilir.

### 3.1.1 Malzemelerin kaynak edilebilirliği

Ark kaynağında, kaynak metalinin mekanik özelliklerinin ana malzemeninkine yakın seçilmesinin gerekliliği kadar kaynakçı da kaynakta hata oluşumundan kaçınmalıdır. Kusurlar temel olarak aşağıdaki faktörlerden kaynaklanır [23]:

- Kaynakçının teknik yetersizliği
- Malzeme ve kaynak yönteminin birbirine uygun hale getirilmesindeki yetersizlik
- Parçadaki yüksek gerilme durumu

Kaynakçının yetenek eksikliğinden kaynaklanan ergime eksikliği ve cüruf inklüzyonu gibi kusurları önleme teknikleri göreceli olarak iyi bilinir. Bununla birlikte kaynakçı, kaynak yönteminden kaynaklanan kusurların oluşumuna karşı malzemenin kendi hassasiyetinin farkında olmalıdır [23].

Kaynak edilebilirlik kavramı düşünüldüğünde yaygın olarak kullanılan malzemeler aşağıdaki sınıflara ayrılabilir:

- Çelikler
- Alüminyum ve alaşımları
- Nikel ve alaşımları
- Bakır ve alaşımları
- Titanyum ve alaşımları
- Dökme demirler

Ergitme esaslı kaynak yöntemleri bu malzemelerin kaynağında geniş bir kalınlık aralığında kullanılabilir. Kusurlar, kaynak metalinde veya ona komşu ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) meydana gelir. Kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunun kusur oluşma riskini belirlediği gibi, dolgu malzemesinin seçimi de sadece yeterli mekanik özelliklerin ve korozyon direncinin başarılmasını değil sağlam bir kaynak yapılabilmesi açısından da çok

önemli olabilir. Bununla birlikte ITAB kusurları kaynak esnasında üretilen enerjinin olumsuz etkilerinden kaynaklanabilir ve sadece kaynak prosedürüne sıkı bir şekilde bağlı kalınarak önlenabilir.

### **3.1.1.1 Çelik gruplarının kaynak edilebilirliği**

PD CR ISO 15608: 2000 standardı, aynı metalurjik özelliklere ve kaynak karakteristiklerine sahip çelik gruplarını tanımlamaktadır. Bu gruplarda kaynak için ana riskler şunlardır:

#### **1. Grup: Düşük karbonlu, alaşımsız, belirli yöntem şartlarına tabi olmayan, belirlenmiş minimum akma mukavemeti $R_{ch} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ olan çelikler**

İnce kesitler ve alaşımsız malzemeler sorunsuz olarak kaynak edilebilir. Ancak, kalın kesitlerin flaks ile kaynak edildiği yöntemlerde ITAB' da, daha sıkı hidrojen kontrolünü yada ön ısıtmayı gerekli kılan hidrojen çatlaması riski vardır [23].

#### **2. Grup: Termomekanik işlem görmüş, ince taneli çelikler ve belirlenmiş akma mukavemeti $R_{ch} > 360 \text{ N/mm}^2$ olan dökme çelikler**

Verilen bir mukavemet derecesi için, termomekanik işlem görmüş bir çelik normalize edilmiş bir çelikten daha düşük alaşım oranına sahip olacaktır ve böylece ITAB' da hidrojen çatlamasından kaçınılması ve maksimum sertlik sınırlarının başarılabılması hususlarında daha kolay kaynak edilebilir. Bununla birlikte, termomekanik işlem görmüş çeliklerde kaynak sonrası ITAB' da daima bir miktar yumuşama ve kullanılan ısı girdisinde bir sınırlama (örneğin, 15 mm plaka kalınlığı için 2,5 kJ/mm' lik ısı girdisi üst sınırı) vardır. Bu sebeple birleşme bölgesinin özelliklerinde bir azalma olmaz [23].

#### **3. Grup: Su verme yoluyla sertleştirilmiş çelikler ve akma mukavemeti $R_{ch} > 360 \text{ N/mm}^2$ olan çökeltme yoluyla sertleştirilmiş çelikler**

Bu gruptaki malzemeler kaynak edilebilir ancak çoğu kez yüksek karbon içeriği sebebiyle yüksek miktarda sertleştiklerinden ve sertliği yüksek ITAB' ın çatlama riski olduğundan kaynak prosedürlerine sıkı sıkıya bağlı kalınması gerekmektedir.

#### **4., 5., ve 6. Gruplar: Krom-molibden ve krom-molibden-vanadyumlu sürünme direncine sahip çelikler**

Bu gruptaki malzemeler hidrojen çatlamasına karşı hassastır ancak uygun ön tavlama ve çatlama riskini minimuma indiren düşük hidrojenli kaynak tüketilenleri ile uygun bir şekilde kaynak edilebilirler. Bu çeliklerde ITAB tokluğunu geliştirmek için kaynak sonrası ısı uygulaması kullanılabilir.

### **7. Grup: Ferritik, martenzitik ve çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler**

Kaynak metali ile eşleşen bir mukavemete sahip dolgu malzemesi kullanıldığında, ITAB' da çatlama oluşumunu önlemek için ön tavlama yapılması gerekir.

### **8. Grup: Östenitik paslanmaz çelikler**

Bu çelikler genellikle ön tavlama gerektirmezler ancak kaynakla ilgili olarak katılma ve ergiyerek ayrışma problemlerinden kaçınmak için kaynak tüketilenleri, düşük safsızlıkta bir kaynak metali verecek şekilde seçilmelidir.

### **9. Grup: Nikel ve alaşımları, $Ni \leq \%10$**

Bu gruptaki malzemeler 4, 5 ve 6. gruptakiler ile aynı özelliklere sahiptir.

### **10. Grup: Östenitik ferritik paslanmaz çelikler (duplex)**

Bu çeliklerin kaynağında kaynak metali ve ITAB' da faz dengesinin korunması için kaynak tüketilenleri doğru seçilmelidir. Ön tavlama yapılmaması, maksimum pasolar arası sıcaklığın kontrol edilmemesi, yüksek ısı girdisi kullanımı ve yavaş soğuma ITAB' da östenit oluşumunu teşvik eder.

### **11. Grup: Yüksek karbonlu çelikler**

Bu çelikler 1. gruba oranla daha yüksek miktarda karbon içerdiklerinden kaynak edilebilirlikleri daha düşüktür. Bu sebeple kaynak tüketilenleri dikkatli seçilmeli ve yüksek sıcaklık değerleri ile ön tavlama yapılması gerekmektedir [23].

#### **3.1.1.2 Alüminyum ve alaşımları**

Alüminyumun kaynağı çeliğin kaynağına göre farklılıklar ve zorluklar gösterir. Çeliğe göre daha yüksek ısı iletkenliğe ve daha düşük ergime sıcaklığına sahip olan alüminyum, gösterdiği zorluklara rağmen tel besleme hızı, ark voltajı, ark uzunluğu, gaz tüketimi, kullanılan tel çapı gibi kaynak parametrelerinin kaynaktan önce makine kontrollü olarak ayarlanabilmesi sayesinde MIG kaynak yöntemi ile daha kolay bir şekilde kaynak edilebilmektedir [12].

Alüminyum; kaynak metodu, birleştirme şekli ve dolgu metali belirlendikten sonra kolay kaynak edilebilen bir metaldir. Alüminyumun kaynağında daha yoğun olarak kullanılan MIG ve TIG metodunun dışında gaz kaynağı, örtülü elektrot kaynağı, plazma kaynağı ve direnç kaynağı metotları kullanılmaktadır. Basit ekipman ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-

asetilen) kaynağı kullanılmaktadır. Kaynak gazları (yanıcı gaz-oksijen) olarak genellikle asetilen ve oksijen gazları kullanılmaktadır. Alüminyum örtülü elektrotlar ile elle kaynak yaparak daha yüksek kaynak hızları elde edilir. 8 mm' den kalın malzemeleri kaynak yaparken, gözeneksiz ve iyi bir birleştirme sağlayabilmek için en az 200° C' de ön tavlama yapılması tavsiye edilir. Kaynak dikişinin korozyon direncini korumak için, tüm cüruf kalıntılarının temizlenmesi gereklidir. Alüminyumun kaynağında kullanılan bir diğer önemli kaynak metodu ise gaz altı kaynağıdır. Bu kaynak metodu TIG ve MIG yöntemlerini içermektedir. Bu metotların havayı kaynak banyosundan uzak tutmanın yanında, koruyucu gazın arkın kararlılığı ve sonuçtaki kaynak kalitesi üzerinde çok büyük etkisi vardır. Şu ana kadar argon ve helyum asal gazları ayrı ayrı veya karışım halinde alüminyumun kaynağında çok iyi sonuçlar vermiştir. Fakat saf argonun, Ar + He karışımına göre daha sessiz ve kararlı bir arkı vardır. Diğer taraftan Ar + He karışımı kullanımı, aynı kaynak parametrelerinde daha yüksek performanslı kaynak arkı sağlar. Ancak MIG veya TIG kaynak yöntemlerinin kullanımı parça kalınlığı, akım şekli gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Ayrıca alüminyumun kaynağında plazma ve direnç kaynağı yöntemleri de kullanılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımları 550 - 660° C sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır. Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları, şiddetli gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların olmasına neden olur. Alüminyumun üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum ve alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında, malzemenin kalınlığı göz önüne alınmaksızın sprey ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprey arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısıyla kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir. Yalnız burada oksit tabakasının giderilebilmesi için sola kaynak yöntemi seçilmeli ve dikey pozisyonundaki kaynaklar aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır. Böylece hem kaynak edilecek bölgelerdeki oksit tabakaları temizlenmiş olur hem de kaynak ağızları iyi bir şekilde ergiyerek uygun bir şekilde kaynak yapılmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığında ve dik kaynaklarda yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapıldığında gözenekli, kötü görünüşlü ve yetersiz ergimeden dolayı tam kaynamamış bölgeler meydana gelir. Kaynak dikişi düz veya dar zikzaklarla çekilmelidir. Geniş zikzaklar kaynak dikişinin aşırı

oksitlenmesine neden olduğundan kullanılmamalıdır. İnce alüminyum levhaların gerek yarı otomatik gerekse mekanize edilmiş MIG kaynağında genellikle argon gazı kullanılır. Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyet elde etmek için helyum gazı veya helyum-argon gaz karışımı kullanılır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması, özellikle kalın parçalarda kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur. Bu bakımdan kalın ve özellikle döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi ön tavlama uygulanması gerekir. Genellikle 15 mm' den daha kalın parçalara uygulanan ön tavlama sıcaklığı 200° C' yi geçmemelidir. Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak ön tavlama yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlanır. Soğuk şekil değiştirme veya ısı iletkenliği ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısı iletkenliği ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi, bir çözeltiye alma tavı uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısı iletkenliği uygulanarak sertleştirilir [12].

### **3.1.1.3 Nikel ve alaşımları**

Çoğu nikel alaşımı TIG veya MIG gibi gaz korumalı kaynak yöntemleri kullanılarak ergitme kaynağı ile birleştirilebilir. Nikel ve alaşımlarının kaynağında, diğer kaynak yöntemlerinden örtülü elektrot ark kaynağı kullanılabilir ancak katı çözeltili alaşımlar için sınırlandırılmış olması sebebiyle tozaltı kaynak yöntemi daha seyrek bir kullanıma sahiptir.

Katı çözeltili alaşımlar normalde tavlama koşuluyla kaynak edilirken çökeltme sertleşmeli alaşımlar ise çökelti oluşturma koşuluyla kaynak edilir [23].

Nikel ve alaşımları nem yoğunlaşmasından kaynaklanan porozite riski olmadıkça ön tavlama gerektirmezler.

Kaynak sonrası ısı iletkenliği korozyon dayanımının yeniden oluşturulması için genellikle gerekmez ancak gerilmeli korozyon çatlamasından kaçınmak için çökeltme sertleşmesi veya gerilme giderme yapılması için ihtiyaç duyulabilir [23].

Nikel ve alaşımlarının kaynağında kullanılan dolgu malzemeleri normalde ana metalin özelliklerine eş özellikler taşıyacak şekilde seçilir. Çoğu dolgu metali porozite ve çatlama riskinin minimuma indirilmesine yardımcı olması için az miktarda titanyum, alüminyum ve/veya niyobyum içerir.

### **3.1.1.4 Bakır ve alaşımları**

Kaynak edilebilirlik konusunda bakır alaşımları oldukça farklı özellikler göstermektedir. Bakır, yüksek ısı iletkenliği sebebiyle oluşan ısı kaçışının olumsuz etkilerinin giderilmesi



amacıyla önemli ölçüde ön tavlama ihtiyacı gösterir. Bununla birlikte, cupro-nikel gibi düşük karbonlu çeliğin ısı iletkenliğine benzer bir ısı iletkenliğe sahip olan bazı alaşımlar ön tavlama olmaksızın ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilir [23].

### 3.1.1.5 Titanyum ve alaşımları

Mikroyapılarına göre titanyum alaşımları üçe ayrılır:

1. Titanyum: Ticari saflıkta (% 98 – 99,5 Ti) veya düşük miktarlarda oksijen, azot, karbon ve demir ilavesi yapılmış titanyumdur. Ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile kolayca kaynak edilebilir.

2. Alfa alaşımları: % 7' ye kadar alüminyum ve düşük miktarda (<% 0,3) oksijen, azot ve karbon içeren çoğu durumda tek fazlı alaşımlardır. Ergitme esaslı kaynak yöntemleriyle ön tavlama koşulu ile kaynak edilebilirler.

3. Alfa – beta alaşımları: % 6' ya kadar alüminyum ve çeşitli miktarlarda beta yapıcı bileşenler (vanadyum, krom, molibden) içeren iki fazlı mikroyapıya sahip alaşımlardır. Ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile ön tavlama koşuluyla kolaylıkla kaynak edilebilirler.

Yüksek miktarda beta fazı içeren, krom gibi elementler ile stabilize edilmiş alaşımlar kolaylıkla kaynak edilemez [23].

### 3.1.1.6 Dökme demirler

Dökme demirler görece ucuz olmaları, karmaşık şekillere kolayca dökülebilmeleri ve rahatlıkla işlenebilmeleri sebebiyle önemli bir mühendislik ve yapısal malzeme grubudur. Ancak bütün türleri kaynak edilebilir değildir ve kaynak edilebilir olarak adlandırılan türleri dahi özel önlemler alınmasını gerektirir.

Dökme demirlerin kaynaklanabilirliği mikro yapıya ve mekanik özelliklere bağlıdır. Örneğin, kır dökme demir doğası gereği gevrek ve kaynağın soğuması esnasında oluşan gerilmelere karşı koyamaz. Sünekliğin yeterli olmamasının sebebi kaba grafit taneleridir. Dövülebilir dökme demirlerdeki grafit öbekleri ve küresel grafitli dökme demirdeki noduler grafitler malzemeye önemli ölçüde süneklik kazandırır. Süneklik artışı da kaynak edilebilirliği artırır [23].

Demir karbür ve martenzit içeren malzemelerde ITAB' da sert ve gevrek bir mikroyapı oluşumu kaynak edilebilirliği azaltır. Küresel grafitli ve dövülebilir dökme demirler özellikle de ferrit miktarı yüksek ise daha düşük martenzit oluşturma eğilimine sahip olduklarından daha kolay kaynak edilebilirler.

Beyaz dökme demir yüksek sertliği ve demir karbür içeriği sebebiyle kaynak edilemez olarak nitelendirilmektedir.

### 3.1.2 Kaynak malzemesi (ara malzeme)

Dolgu malzemesinin seçiminde yaygın kanı, dolgu metalinin minimum çekme mukavemetinin daima ana metalin minimum çekme mukavemetine eşit yada daha büyük olmasının gerektiğidir. Tanımlanmış minimum özelliklerin kıyaslanması piyasadaki gerçek çeliğin yada yığılan kaynak metalinin özelliklerinin kıyaslanması değildir. Bu değerler minimum değerler olduklarından, gerçek çelik üzerine yığılan kaynak bu değerleri aşmaktadır (Funderburk, 1999).

Çekme mukavemetlerinin eş seçilmeye çalışılması, sıcak haddelenmiş çeliklerin akma muk./çekme muk. oranı, çoğu yığılan kaynağın akma muk./çekme muk. değerinden düşük olması sebebiyle akma mukavemetlerinin eş seçilmeye çalışılmasıyla sonuçlanmaz. Bu yüzden hem akma hem de çekme mukavemetlerinin eşlenmesi ihtimal dahilinde değildir. Bununla birlikte, daha yüksek mukavemetli çelikler için akma muk./çekme muk. oranı kaynakların değerine yaklaşır ve hem akma hem de çekme mukavemetlerinin daha yakın bir şekilde eşlenmesini sağlar.

Eş seçilme işlemi, kaynak metali ve ana metalin özelliklerini mukayese eder. Böyle olmasına rağmen aslında kaynaklar değil dolgu malzemeleri tanımlanır. Bu yüzden ürün eşleme tabloları genellikle “kaynak metallerinin eşlenmesi” şeklinde değil “dolgu metallerinin eşlenmesi” olarak adlandırılır (Funderburk, 1999).

Dolgu metallerinin eşlenmesi ihtiyacı birleştirme tipine ve yükleme koşullarına bağlıdır.

Ana malzemenin çekme mukavemetinden daha yüksek mukavemetli dolgu metali seçilmesi yaklaşımı çatlama hassasiyetinin minimuma indirildiği daha düşük mukavemetli dolgu metali kullanma gibi daha iyi kombinasyonları engelleyebilir. Yaygın olarak yapılan, dolgu metali eşleme tablolarının yanlış kullanılması diğer opsiyonlar göz önüne alınmadığında meydana gelir. Özellikle yüksek mukavemetli malzemeler için (akma mukavemeti 480 MPa’ dan büyük) ana metalden daha düşük mukavemetli dolgu metali kullanımı çatlama hassasiyetini önemli ölçüde azaltır.

Teorik olarak, tanımlanmış servis yükleri minimum akma yada çekme mukavemetinin belirli bir yüzdesi ile sınırlandırılmış olabilir. Eğer gerçekte de böyle bir durum olsaydı, konstrüksiyondaki zayıf bileşen tasarımı maksimum dizayn yükünü dahi sınırlandırmazdı.

Bu durum, elastik olmayan bölgede yükleneceği varsayılan kaynaklı elemanlar için geçerli değildir. Buna dair örnekler büyük depremlerdeki plastik deformasyona maruz bina bileşenlerini ve konstrüksiyon ekipmanlarındaki yuvarlanma-devrilme önleme aygıtlarını içerir. Akmanın beklendiği bu tür muhtelif yükleme koşulları altında, bu tür deformasyonların ana metale boydan boya dağıtılması tercih edilir ve bu yüzden düşük mukavemetli dolgu metali ile eşleme yapılması kabul edilemez niteliktedir. Özelliklerin eşlenmesinin gerçek malzemelerin bir fonksiyonu olarak daha gelişmiş biçimde tanımlanması gerekebilir.

Sonuç olarak kabul gören yorum; dolgu malzemesinin çekme mukavemetinin ana metalinkine eşit yada ondan daha yüksek seçilmesidir. Dolgu metalinin ana metal ile eş seçilmesi ihtiyacı birleşmenin türüne ve yükleme koşullarına bağlıdır ve genellikle çekme gerilmelerine maruz tam nüfuziyetin istendiği alın kaynakları için gereklidir. Eşleme pek çok uygulama için kullanılabilir ancak bazı durumlarda en ekonomik yada ılımlı seçenek olmayabilir.

Dolgu metalinin ana metal ile mukavemet açısından kıyaslanarak seçilmesinin yanı sıra kaynak sonrası uygulanan gerilme giderme ısı işlemi de kaynak malzemesi seçimindeki bir diğer önemli kriterdir [7].

Çoğu dolgu metali kaynak edilecek ana malzeme için kimyasal bileşim ve mukavemet değeri açısından sınıflandırılır. Bu durum kaynak işlemini müteakip bir ısı işlem uygulanmamasını tanımlamaktadır. Bu sınıflandırma dışında kalan kaynak ara malzemeleri gerilme giderme koşuluna göre sınıflandırılır. Uygun elektrotun seçimi kaynaklı parçanın gerçek durumuna göre (sadece kaynak yada gerilme giderme ısı işlemi içeren kaynak) seçilmelidir.

Çizelge 3.4, yığılan kaynak metalinin gerilme giderme koşuluna göre sınıflandırılabildiği AWS dolgu metali şartnamelerini göstermektedir.

Çizelge 3.4 Gerilme giderme koşuluna göre sınıflandırılan dolgu metali şartnameleri (Funderburk, 2001).

Şartname	Uygulama
AWS A5.5	Örtülü elektrotla ark kaynağı için düşük alaşımlı elektrotlar.
AWS A5.23	Tozaltı kaynak yöntemi için düşük alaşımlı dolgu metali ve tozlar.
AWS A5.28	Gazaltı kaynak uygulamaları için düşük alaşımlı dolgu metalleri.
AWS A5.29	Özlu elektrotla ark kaynağı için düşük alaşımlı elektrotlar.

Eğer dolgu metali sınıflandırmasında elektrot, Çizelge 3.5' de listelenmiş son eklerden birini içeriyorsa o elektrot gerilme giderme şartına göre sınıflandırılmıştır. Bu tabloda her son ek

için bir gerilme giderme sıcaklığı tanımlanmıştır ve farklı elektrot tipleri için değişik değerler mevcuttur.

Çizelge 3.5 Gerilme giderme uygulanacak kaynaklarda kullanılacak elektrotlara ait son ekler (Funderburk, 2001).

AWS sınıflandırma son eki	Kaynak sonrası ısıtıl işlem sıcaklığı (°C)
A1	620
A2	620
A3	620
A4	620
B1, B1L	690
B2, B2L, B2H	690
B3, B3L, B3H	690
B4, B4L	690
B5	690
B6, B6L, B6H	740
B7, B7L	740
B8, B8L	740
B9	740
C1, C1L	605
C2, C2L	605
C5L	579
D1	620
D2	620
D3	620
Ni1	620
Ni2	620
Ni3	620
Ni4	620
Ni5	620
F1	620
F2	620
F3	620

Gerilme giderme ısıl işleminin genellikle kaynağın mukavemetini % 10-15 oranında azaltır. Bu yüzden, ısıl işlemsiz kaynak için olan bir elektrot kullanıldıktan sonra gerilme giderme yapılması belirlenen minimum çekme mukavemetinin altına düşülmesine sebep olabilir. Bu durum beklenilenden daha zayıf bir kaynak oluşmasına neden olur.

Diğer taraftan gerilme gidermeli kaynak için olan bir elektrotla kaynaktan sonra gerilme giderme uygulanmadığı takdirde kaynak metalinin mukavemetinin ana metalden yüksek olması söz konusudur. Bu oluşum kesin olarak zararlı değildir ancak ana metalden daha yüksek mukavemete sahip kaynak metalleri; daha yüksek kalıntı gerilmelere, daha düşük sünekliğe ve daha yüksek çatlama hassasiyetine sebep olabilir (Funderburk, 2001).

Çoğu durumda çentik darbe tokluğu gerilme giderme ısıl işlemi sonrası artış gösterir. Eğer sadece kaynak amaçlı bir dolgu metali kullanıldıktan sonra gerilme giderme işlemi uygulanırsa, darbe tokluğu daha da artacaktır. Bununla birlikte eğer dolgu malzemesi gerilme giderme koşuluna ait bir sınıfta ise ve Charpy-V çentik özellikleri minimum değerlerin az bir miktar üzerinde ise kaynaktan sonra gerilme giderme uygulanmadığı takdirde bu durum bir problem teşkil edebilir. Bu durumda kaynağın Charpy-V enerjisi minimum gerekliliklerin altına inebilir. Buna ilaveten aşırı yüksek gerilme giderme sıcaklıkları, ölçülen Charpy-V tokluk değerlerini azaltabilir. Bu sebeple gerilme giderme esnasında sıcaklık ve bu sıcaklıkta tutma zamanına dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak gerilme giderme ısıl işlemi yapılacaksa nihai kaynak özellikleri ve kalitesi incelenmeli ve dolgu metali gerilme gidermeli kaynak işlemi için sınıflandırılmış olanlardan seçilmelidir. Isıl işlemin; kaynak metali, ITAB ve ana metal özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmelidir. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı dolgu metali sınıflandırmasının öngördüğünden farklı ise bu farkların muhtemel etkileri araştırılmalıdır (Funderburk, 2001).

### **3.2 Kaynak İşleminin Olabilirliği**

Bu imalat özelliği hem malzeme hem de konstrüksiyondan etkilenir. Kaynak işlemi eğer verilen koşullar altında belirli bir işçilik ile yürütülebiliyorsa kaynak olabilirliğinin var olduğu anlaşılır. Konstrüksiyon ve malzemenin özel önlem (örneğin ısıl işlem) gereksinimi azaldıkça kaynak işleminin olabilirliği artar [15].

#### **3.2.1 Kaynak öncesi hazırlıklar**

Kaynak öncesi hazırlık aşaması, kaliteli kaynaklı bağlantılar oluşturmanın anahtar şartıdır. Bu bölümün alt başlıklarında incelenen kaynak öncesi hazırlıklarına ilave olarak kaynağa

başlamadan önce bir takım faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörlerden birkaçı aşağıdaki gibidir [9].

**Emniyet :** Kaynağın yapılacağı mekan incelenerek tüm güvenlik tedbirleri alınmalıdır. Bu tedbirler; gerekli fiziksel düzenlemeleri, yanıcı ve parlayıcı maddelerin ortamdaki uzaklaştırılmasını, uçak, deniz taşıtı ve karayolu araçlarında yakıt depolarının boşaltılmasını içerir. Ayrıca kalın kurşun kaplamalar v.b. zehirli malzemeler ve metal üzerindeki plastik kaplamalarda kaynaktan önce sökülmalıdır.

**Temizlik :** Kaynatılacak parçalar, kir, gres, yağ, pas, boya, plastik kaplama v.b. maddelerden arındırılmalıdır. Temizleme yöntemi, giderilecek malzemeye ve iş parçasının konumuna bağlıdır. Çoğu konstrüksiyon ve ekipman için buharla temizleme önerilir. Bu mümkün olmadığında solventle temizleme yada aşındırıcı partikül püskürterek temizleme kullanılabilir. Küçük parçalar için asitle temizleme veya solvente daldırma kullanılabilir. Son aşamada ise mekanik enerji kullanılarak gerçekleştirilen fırçalama, taşlama diskleri ve zımparalamadan yararlanılabilir [9].

**Kesme ve ağız açma :** Bu iş için çoğu kez oksijenle kesme yada talaşlı işleme yöntemleri kullanılır. Belirli birleşme hazırlığı geometrisine göre özel ağız açma aparatları kullanılmalıdır. Kesme ve alevle ağız açma işlemlerinde mümkün mertebede yüzey görsel olarak incelenmelidir. Oluşması muhtemel çatlaklar ve çatlak kenarları, kesilen yada ağız açılan parça soğuduktan sonra görülebilir. Kaldırılacak metal hacmine göre uygun güç kaynağı seçilmelidir. Seçilen teknik, hazırlanan metal yüzeyinde karbon çökmesi oluşturmamalıdır. Hazırlık sonucu oluşan yüzeyler istenen pürüzsüzlükte olmayabilir ve yanmış yada oksitlenmiş alanlar içerebilir. Kaynağa başlamadan önce yüzey parlak metal görünümü alana kadar taşlanmalıdır. Kritik parçalarda veya çatlak oluşumu şüphesi durumunda yüzeydeki hataların giderildiğinden emin olmak için manyetik parçacık yada sıvı penetrant yöntemiyle muayene yapılmalıdır.

### **3.2.1.1 Kaynakçıya rahat çalışma ortamı**

Günümüz endüstrisindeki kaynak işlerinin bir kısmı otomobil imalatında olduğu gibi tam yada yarı otomatik hale getirilmiştir. Ancak ağır sanayide ise gerek ürün çeşitliliği ve gerekse birleşme pozisyonlarının otomatik kaynak makinelerinin ulaşabilirliğine imkan vermemesi sebebiyle otomasyon oranı diğer endüstrilere nazaran daha düşüktür. Bu sebeple, bazı durumlarda otomasyonla verimi artırmak zordur. Halen manuel kaynaklı imalatın güvenilirliğine olan talep devam etmektedir [3].

Otomatik kaynak uygulamalarında, kaynak kalitesinin tekrarlanabilir şekilde elde edilmesi bazı sabit parametreler ile kaynağı yapmaya bağlı iken, manuel kaynakta kaynak kalitesi ciddi biçimde kaynakçının yetenek ve tecrübesine bağlıdır.

İşkoluna bağlı olmaksızın, işin yapılacağı yerin uygun olarak tasarlanmış olması, görevi icra eden kişinin kendisini fiziksel ve psikolojik olarak rahat hissetmesini, yetenek ve becerilerini daha kolay kullanmasını sağlar. Dolayısıyla kalite ve verimlilik artar.

Ergonomi bilimi ve işçi sağlığı-iş güvenliği standartları kapsamında değerlendirilmesi gereken işyeri koşulları, uygun olmadığında aşağıdaki problemlerle karşılaşılabilir [3];

- Tekrarlanan hareket düzensizliği
- Gittikçe artan yaralanma riski
- Verimlilik ve kalitede düşüş
- Çalışan (işçi) memnuniyetsizliği

Bu bilgiler ışığında kaynaklı imalat yapılan yerin düzenlenmesi aşamasında aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır:

- İşçinin fiziksel yeteneği
- Torç (üfleç) ağırlığı
- Kullanılan araç gerecin tasarımı
- Çalışma pozisyonu
- Kaynakçının kullandığı koruyucu ekipmanın türü
- Çalışma alanının büyüklük, ışıklandırma, sıcaklık, havalandırma, gürültü, titreşim v.b. koşulları
- İş için gerekli zihinsel şartlar (motivasyon, farkında olma durumu, konsantrasyon)

İstenen kaynak kalitesine ulaşılabilmesi, kaynakçının bilgi ve becerisini işine yansıtmasını kolaylaştırmak için yukarıdaki şartların uygunluğu sağlanmalıdır.

### **3.2.1.2 Ön tavlama**

Ön tavlama, kaynaktan önce ana metalin bütünüyle yada sadece birleşme bölgesinin etrafının, ön tavlama sıcaklığı olarak adlandırılan bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır. Ön tavlama pek çok faydalar sağlamanın yanı sıra temel çalışma bilgileri olmaksızın maliyet artışı veya kaynak bütünlüğünün bozulmasına yol açabilir (Funderburk, 1997).

Ön tavlama uygulamasının 4 temel amacı vardır :

1. Kaynak metali ve ana metaldeki soğuma hızının azaltılarak daha yüksek toklukta ve süneklikte metalurjik yapı oluşturulması.
2. Soğuma hızının azaltılarak, hidrojenin yapıya zarar vermeden difüze olabilmesinin sağlanması ve çatlak oluşma riskinin azaltılması.
3. Özellikle yüksek mertebede hareketi kısıtlanmış bağlantılarda, kaynak metali ve ona komşu ana metalde kendini çekme gerilmelerinin düşürülmesi.
4. Bazı çeliklerin, imalat aşamasında gevrek kırılma olabilecek sıcaklığın üzerine çıkarılması.

Bunlara ilave olarak ön tavlama, kaynak metalinin çentik darbe tokluğu gibi belirli mekanik özelliklerinin sağlanmasına yardımcı olabilir.

Yukarıda sayılan faktörler göz önüne alındığında, ön tavlamanın kaynak kalitesi konusundaki önemi daha kolay anlaşılmaktadır.

Ön tavlamanın uygulanması konusunda; şartname koşulları, et kalınlıkları, ana metalin kimyasal durumu, sınırlandırılma durumu, ortam sıcaklığı, dolgu malzemesinin hidrojen içeriği ve çatlama problemleri belirleyici rol oynar.

### **3.2.1.3 Puntalama**

Puntalama çoğu işletmede genellikle pek ciddiye alınmadan yapılan bir kaynak olmasına rağmen normal bir kaynak ile aynı kalite şartlarına tabi olmalıdır. Bu durum AWS standardının (AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel), ilgili maddeleri 5.18.1 ve 5.18.2' de açıkça ifade edilmiştir (Miller, 2003).

İlgili standartlara göre punta dikişinin boyutları, yeri ve adedi seçilmeli, düşük sıcaklık ve malzeme türüne göre ön tavlama sıcaklığı tespit edilmeli ve çatlama karşı önlem alınmalıdır. Tasarım prensibi olarak gerilme yığılma bölgeleri puntalanmamalı ve kalın et kalınlıkları puntalanırken simetrik ilerleme sağlanmalıdır. Punta kaynakları, konu ile ilgili ve kalifiye edilmiş köşe yada alın kaynağı prosedürü kullanılarak kalifiye edilmiş bir kaynakçı tarafından yapılmalıdır.

Punta kaynakları da normal kaynak dikişleri gibi hata varlığı açısından gözle kontrol edilmelidir. Özellikle dinamik ve periyodik yüklemelere karşı hassas olan punta kaynakları çatlak başlangıcına sebep olabilir (Miller, 2003).



Punta kaynağının yeri, kaynağın dolgu pasoları (nihai kaynağın dolgu pasoları) ile ilişkisi ve nihai olarak sökülmesi, nihai kaynağa yaklaşımı etkiler. Eğer punta kaynağı nihai kaynağın kökü olacaksa bu punta kaynağına uygulanacak her şey, kök pasoya uygulananlar ile aynı olmalıdır. Ön tavlama, dolgu malzemesi seçimi, kaynak prosedürü parametreleri, kaynak boyutları, ısı girdisi ve yığılma kalitesi kök pasoya uygulanan standartları karşılamalıdır. Buradaki kaliteden; yanma oluğu mertebeleri, porozite limitleri, dikiş şekil kriterleri ve çatlak içermeme anlaşılmalıdır.

İleteceği yüke karşı yeterli dayanıma sahip olması gereken punta kaynaklarının boyutları ve yığılmasındaki ısı girdisi iyi bir ergimeyi sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Punta kaynağının uç kısımları, kaynak kökündeki ergitmeyi başarmanın zor olduğu noktalar olabilir. Bu yüzden punta kaynağının kabul edilebilir geometrisi, nihai kaynağa ait prosedürün punta kaynağını, nihai kaynağa uygun bir şekilde birleştirme yeteneğine bağlıdır. Bu sebeptendir ki; AWS D1.1-5.18.2.1, çok pasolu punta kaynaklarının uç kısımlarının kademelendirilmiş olmasını gerektirir (Miller, 2003).

Punta kaynaklarının sökülmesi gerektiğinde kaynağın ana metale zarar vermeden tamamıyla ortadan kaldırılması esastır.

Sonuç olarak; punta kaynakları ve geçici kaynaklar özellikle dinamik yüklenen kaynaklı yapılarda önemsiz, ikincil kaynaklar olarak görülmemelidir. Punta kaynakları yapılırken, punta ile sonraki dolgu pasoları arasında, kaynak yöntemi ve dolgu malzemesi bakımından olabilecek farklılıklar iyi etüt edilmelidir. Elde edilen kaynak metalindeki kimyasal ve metalurjik etkileşimlerin mekanik özelliklerdeki potansiyel etkisi göz ardı edilmemelidir. Her elektrot tipi ve kaynak yöntemi için ayrı bir değerlendirme yapılmalıdır.

### **3.2.1.4 Genleşme ve çekilme serbestliği**

Kaynakta distorsiyon, kaynak işleminin ısınma ve soğuma döngüsü esnasında kaynak metali ve ona komşu bölgenin genleşmesi ve kendini çekmesi sonucu oluşur. Bu ısınma ve soğuma döngüsü esnasında uygulanan ısının etkisi ile değişen fiziksel ve mekanik özellikler gibi bir çok faktör metalin kendini çekmesini etkileyerek distorsiyona yol açar. Örneğin, kaynak bölgesinin sıcaklığı arttıkça, ısıl genleşme artarken çelik malzemenin akma mukavemeti, elastikliği ve ısıl iletkenliği azalır. Tüm bu değişimler ısı akışını ve ısı dağılımının düzgünlüğünü etkiler [11].

Kaynak distorsiyonunu azaltmak ya da önlemek için, ısınma ve soğuma döngüsü etkilerini bertaraf edecek önlemler hem tasarım hem de kaynak aşamasında uygulanmalıdır. Kendini

çekme engellenemez ancak kontrol edilebilir. Kendini çekme sonucu oluşan distorsiyonu minimuma indirmek için çeşitli metotlar kullanılabilir.

Bu metotlardan biri de birleşmenin genleşme ve çekilme serbestliğinin temin edilmesidir. Kaynaklı bir birleştirmede, kaynak metali ve ana metale genleşme ve kendini çekme kuvvetleri etki eder. Kaynak metali katılarak ana metal ile birleştiğinde, kaynak metali maksimum genleşme durumuna ulaşmıştır. Soğuma başladığında, kaynak metali kendisini çekerek küçülme eğilimine girer ancak kendisine komşu ana metal bölgesinde gerilme oluşumu başlar. Bu noktada, kaynak plastik şekil değiştirerek inceler (alın birleştirmelerde) ve böylece düşük sıcaklığın gerektirdiği ölçülere geriler. Akma mukavemetini aşarak plastik şekil değişimine sebep olan gerilmeler bu gerinim ile değer kaybeder. Kaynak oda sıcaklığına ulaştığında, metalin akma mukavemetine yakın çekme gerilmelerinin etkisinde kalmaya devam eder. Eğer sınırlandırmalar (iş parçasını tutan bağlama aparatları veya zıt yöndeki bir kendini çekme kuvveti) kaldırılırsa ana metali zorlayarak distorsiyona yol açan kalıntı gerilmeler kısmi olarak giderilmiş olur [11].

### **3.2.1.5 Yüzey hazırlama ve ağız açılması**

Kaynaklı birleşmeler, birleştirilen elemanlar arasında gerilme iletiminin sağlanması için tasarlanır. Kuvvetler ve yükler farklı noktalardan etkir ve kaynaktan geçerek farklı alanlara taşınır. Yüklemin tipi ve kaynağın kullanım şartları gerekli birleşme tasarımı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Tüm kaynaklı birleştirmeler iki ana gruba ayrılabilir: Tam nüfuziyetli birleştirmeler ve kısmi nüfuziyetli birleştirmeler [6].

Tam nüfuziyetli bir birleşme kaynaklı birleşmenin tüm kesiti boyunca kaynak metali içerir. Kısmi nüfuziyetli bir birleşme ise ergiyerek birleşmemiş bölgeye sahiptir ve kaynak birleşmeye tamamıyla nüfuz etmez. Birleşme oranı, kaynak metali derinliğinin tüm birleşmeye yüzde olarak oranıdır. Örneğin, % 50 kısmi nüfuziyetli birleşme, birleşmenin yarısına kadar kaynak metaline sahiptir.

Birleşmeler dinamik yüklemeye, ters yüklemeye ve darbeleri etkilere maruz olduğunda kaynak yeterli dayanıma sahip olmak zorundadır. Kaynaklı yapı düşük sıcaklıkta çalışmaya maruz ise bu durum daha fazla önem arz eder. Bu gibi servis koşulları tam nüfuziyetli kaynak gerektirir. Kısmi nüfuziyetli birleşme sebebiyle gerilme artışına sebep olan tasarımlar bu tür çalışma koşulları için kabul edilemez niteliktedir [6].

Kaynaklı birleşmenin mukavemeti sadece kaynağın boyutuna değil, kaynak metalinin mukavemetine de bağlıdır.

Az karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler kaynak açısından, birleştirilen diğer malzemelerden daha elverişlidir. Yüksek alaşımlı veya ısıl işlem görmüş malzemelerin kaynağında, kaynağa komşu ana malzeme bölgesinin düşük dayanım değerlerine geri dönmesine sebep olarak ana malzemenin ısıl işlem üstünlüklerini geçersiz kılmasını engellemek için özel önlemler alınmalıdır.

Kaynaklı birleşme, kesit alanı mümkün olan en düşük değere sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kesit alanı birleşmeyi gerçekleştirmek için kullanılması gereken kaynak metali miktarı yada ağırlığının bir ölçüsüdür. Birleşmeler, mekanik olarak kesme, ısıl kesme veya talaşlı işleme yapılarak hazırlanmalıdır.

#### **3.2.1.5.1 Az karbonlu ve düşük alaşımlı birleşmelerin tasarım ve hazırlığı**

Bu tür kaynaklı birleştirmeler, birleşme detaylarına göre alevle kesme yoluyla yada talaşlı işleme veya taşlama vasıtasıyla mekanik olarak hazırlanır. Kaynaktan önce birleşme yüzeyleri; boya, kir yada pas gibi tüm yabancı maddelerden temizlenmelidir. Temizleme için uygun solvent çözeltileri yada taşlama kullanılabilir. Temizleme esnasında, kaynak işlemine zarar verebilecek çentik yada oyuk oluşturulmamalıdır [6].

#### **3.2.1.5.2 Alüminyum ve alüminyum alaşımlı birleşmelerin tasarım ve hazırlığı**

Kaynaklı birleşme tasarımları çoğu kez uygulanabilirlik açısından yapılması mümkün olmayan kaynaklar içerebilir. Kaynak tasarımı bu ve benzeri hatalardan kaçınmak için kontrol edilmelidir. Kaynaktan önce, birleşme yüzeyleri; boya kir, pas veya oksit gibi tüm yabancı maddelerden solventle temizleme veya hafif taşlama yapılarak temizlenebilir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları kostik soda veya pH' ı 10 dan fazla olan güçlü temizleyicilerle temizlenmemelidir. Alüminyum veya alaşımları bu tür temizleyicilerle kimyasal reaksiyona girebilir. Diğer demir dışı metaller ve alaşımları, bu tür temizleyiciler kullanılmadan önce etkileşimleri bakımından araştırılmalıdır.

#### **3.2.1.5.3 Paslanmaz çelik birleşmelerin tasarım ve hazırlığı**

Bu kaynaklı birleştirmeler, alaşımın cinsine göre plazma arkıyla kesme, talaşlı işleme veya taşlama yapılarak hazırlanabilir. Kaynaktan önce birleşme yüzeyleri boya, kir, veya oksit gibi yabancı maddelerden arındırılmalıdır. Temizleme, uygun solvent (örneğin aseton veya alkol) veya hafif taşlama ile yapılmalıdır. Birleşme yüzeyinde, kaynak işlemine zarar verebilecek

çentik yada oyuk oluşturulmamasına özen gösterilmelidir [6].

### 3.2.2 Kaynak Yöntemi

Bazı kaynak yöntemleri belirli tipteki kaynak süreksizliklerinin oluşumuna karşı daha hassastır ve bazı kaynak süreksizlikleri de sadece birkaç çeşit kaynak yöntemi ile ilgilidir. Aksine bazı kaynak yöntemleri de hemen hemen belirli tip süreksizlikleri hiç içermez. Yaygın kaynak yöntemleri ve onların kaynak kalitesi ile ilgili hassasiyetleri aşağıda incelenmiştir.

**Elle elektrik ark kaynağı:** Elle elektrik ark kaynağının sınırlamaları 3 kategoriye ayrılır. Ark boyu ile ilgili süreksizlikler, başlama-bitirme ile ilgili süreksizlikler ve örtü nemi ile ilgili problemler. Elle elektrik ark kaynağında ark uzunluğunu kaynakçı kontrol eder. Aşırı kısa ark boyları, elektrotun iş parçasına yapışmaya başladığı ark bozulmasına yol açabilir. Elektrot iş parçasından mekanik olarak ayrıldığında eksiklik olan kısmın (yani son çekilen dikişin uç kısmının) sonra çekilecek pasoların ergimesine yardımcı olabilmesi için dikkatli bir şekilde temizlenmesi gerekir. Elektrot iş parçasından ayrıldığında, bir miktar örtü elektrottan kırılarak ayrıldığından elektrot genellikle atılır. Aşırı uzun ark boyları gözeneklilik, yanma oluşu ve aşırı sıçramaya sebep olur. Elle elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotların sınırlı boyları sebebiyle, zorunlu olarak birçok başlangıç ve bitiş noktası oluşur. Bu yöntemde elektrot ateşlendiği anda, yeterli bir koruma oluşmadan önce ve ark yandıktan hemen sonraki kısa zaman diliminde gözenek oluşmaya başlar. Arkın sona erdiği yerlerde, doldurulmamış kaynak kraterleri, krater çatlamasına sebep olabilir. Elektrot örtüleri nem almaya karşı hassastır. Elektrotlardaki yeni gelişmeler, atmosfere maruz kalan elektrotların düşük hidrojenli kaynak koşullarını sağlamak için kuru kaldıkları süreyi genişletmektedir. Düşük hidrojenli elektrotların uygun olmayan şekillerde korunması, hidrojen destekli çatlama, dikiş altı veya enine çatlak oluşumuna yol açabilir.

**Özlu Elektrotla Gaz Korunmalı Ark Kaynağı:** Özlu elektrotla ark kaynağında da diğer gaz korunmalı yöntemlerde olduğu gibi yığılan kaynak dolgusunun çevresinin gazla korunması önemlidir. Eğer özlu elektrot ark kaynağında gaz korunması rüzgar, fan veya duman emme sistemi tarafından bozulursa gözeneklilik meydana gelebilir. Özlu elektrot ark kaynağının derin nüfuziyet karakteristikleri genellikle avantaj sağlar, ancak aşırı nüfuziyet, kaynak dikiş kesitinde düşük genişlik/derinlik oranı oluşturduğundan dikiş ortası çatlamasına yol açabilir (Blodgett, 1999).

**Özlu Elektrotla Kendinden Korunmalı Ark Kaynağı:** Aşırı fazla ark gerilimi veya uygun olmayan şekilde kısa serbest elektrot uzunluğu özlu elektrotla kendinden korunmalı ark

kaynağında gözenekliliğe yol açabilir. Gereğinden yüksek gerilim kullanıldığında koruma gereksinimi de artar ancak koruma miktarı halihazırda göreceli olarak sabit (sınırlı) olduğundan gözeneklilik ortaya çıkabilir. Serbest elektrot uzunluğu çok kısa olduğunda elektrotun özündeki bileşenlerin arka girmeden (yanmadan) önce kimyasal olarak görevlerini yerine getirebilmeleri için yeterli zaman olmayabilir. Bu durum da gözenekliliğe sebep olur. Bazı kendinden korumalı özlü elektrot ark kaynağı elektrotlarının son derece yüksek yığma oranı yetenekleri buna karşılık gelen bir ilerleme hızı ile dengelenemediği takdirde, ergimede azlığa yol açan aşırı geniş kaynak dikişleri ile sonuçlanan kaynak metalinin yığılması olasıdır.

**Tozaltı Ark Kaynağı:** Tozaltı ark kaynağı elektrotun hizalanması konusunda hassastır. Olması gereken yerden kaçık dikişler uygun olmayan dikiş yerleşimi sebebiyle meydana gelebilir. Tozaltı yönteminin derin nüfuziyeti, dikiş kesitinde (enine kesit) uygun olmayan genişlik/derinlik oranına sebep olduğundan dikişte boylamasına çatlama sebep olabilir.

**Gazaltı Kaynağı:** Katı elektrotlar ve özellikle zor pozisyonda kaynakta kullanıldığında çoğu kez kısa ark iletimi kullanılır. Bu olay, direkt olarak; kaynak metali ve ana metal arasında tam (bütün) ergimenin elde edilemediği koşul olan soğuk yapışmaya yol açabilir. Bu, gazaltı kaynak prosesinin en büyük sorunlarından biridir ve ön kalifiye edilmiş durumda AWS D1.1 tarafından uygulamasının sınırlandırılmasının sebeplerinden biridir. Tüm gaz korumalı yöntemlerde olduğu gibi, gazaltı kaynağı da gaz koruması kaybına karşı hassastır.

### 3.2.2.1 Kaynak parametreleri

Kaynak değişkenlerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri bir dereceye kadar kullanılmakta olan kaynak yöntemine bağlıdır. Ancak genel eğilimler tüm yöntemler için geçerlidir.

**Kaynak Akımı:** Elektrottan iş parçasına geçen akım miktarıdır. Isı girdisinin tespitindeki temel değişkenlerden biridir. Genellikle akımdaki artış, daha yüksek yığma oranı, daha derin nüfuziyet ve daha iyi bir karışma anlamına gelir. Akım, ısı girdisi ve akım yoğunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sabit gerilimli kaynak için, tel besleme hızındaki bir artış direkt olarak akımı artırır. Elle elektrik ark kaynağı için, kaynakçı tarafından kontrol edilen ark uzunluğundaki değişiklikler, akımı ayrıca değiştirecekse de asıl akımı kaynak makinesinin ayarı tespit eder. Artan ark boyu akımı düşürür.

**Ark Gerilimi:** Direkt olarak ark uzunluğu ile ilgilidir. Gerilim artınca, ark uzunluğu artar, arkın korunması ihtiyacı da artar. Sabit gerilimli kaynak için, gerilim esas olarak makine ayarları tarafından belirlenir. Bu yüzden sabit gerilimli kaynakta ark uzunluğu göreceli olarak sabittir. Elle elektrik ark kaynağı için ark gerilimi, kaynakçı tarafından manipüle edilen ark

uzunluğu tarafından belirlenir. Elle elektrik ark kaynağında ark uzunluğu artarsa, ark gerilimi artar ve akım azalır. Ark gerilimi kaynak dikiş genişliğini de kontrol eder. Artan ark gerilimi ile daha geniş dikişler oluşur. Ark gerilimi, ısı girdisi hesabında direkt bir etkiye sahiptir. Bir kaynak devresindeki gerilim sabit değildir ancak gerilim değerlerinin toplamından oluşur. Örneğin; 40 voltluk bir toplam sistem gerilimi dağıtan bir güç kaynağı göz önüne alalım. Güç kaynağı ve kaynak torcu arasında; kablo direnci sebebiyle yaklaşık 3 voltluk gerilim düşüşü vardır. İş parçasının güç kaynağına bağlandığı noktada 7 voltluk ilave bir düşüş daha yaşanır. Başlangıç geriliminden 10 volt düşülmesiyle ark için 30 volt kalır. Bu örnek, kaynak şartnamesinin kontrolünde kullanılan gerilimin, kaynak devresindeki kayıplar göz önüne alınarak, doğru bir şekilde tespit edilmesinin önemine işaret etmektedir (Blodgett, 1999).

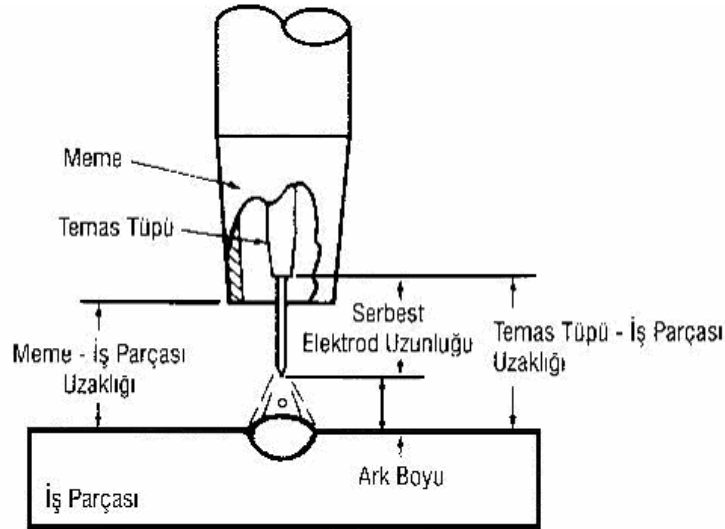
Ark gerilimini tespit etmenin en doğru yolu, temas ucu ve iş parçası arasındaki gerilim düşüşünün ölçülmesidir. Elle elektrik ark kaynağında, voltaj sürekli olarak değişir ve sadece kaynakçı tarafından kontrol edilir. En iyi kaynak kalitesi için ark uzunluğu kısa tutulmalıdır.

**İlerleme Hızı:** Elektrotun, yapılan birleştirmeye göre bağlı hareketinin oranı olan bu hız, mm/dk olarak ölçülmektedir. Diğer tüm değişkenler sabit olduğunda, ilerleme hızı ile dikiş ölçüleri arasında bir ters orantı söz konusudur. İlerleme hızı arttığında kaynak dikişinin ölçüleri azalır. Özellikle düşük ilerleme hızlarında; ark kalın bir ergimiş metal tabakasına çarptığından ve ergimiş kaynak banyosu arkın önünde yuvarlandığından, yetersiz nüfuziyet meydana gelebilir. İlerleme hızı, ısı girdisinin hesaplanmasında kullanılan temel değişkenlerden biridir. İlerleme hızının azalması ısı girdisini artırır (Durgutlu, 1999).

**Tel Besleme Hızı:** Bu hız, torcun içinden geçen ve arka verilen elektrot miktarının ölçüsüdür. Genellikle mm/dk olarak ölçülen tel besleme hızı, yığılma oranı ile direkt orantılı ve akım ile doğrudan ilgilidir. Diğer tüm kaynak parametreleri (elektrot çapı, tipi, serbest elektrot uzunluğu, ark gerilimi), sabit tutulduğunda, tel besleme hızındaki artış direkt olarak akımda bir artışa sebep olur. Düşük tel besleme hızları için, tel besleme hızının akıma oranı göreceli olarak sabittir ve lineerdir. Daha yüksek tel besleme hızlarında, akımdaki artışa nazaran tel besleme hızını orantısız olarak yüksek bir şekilde artırmak mümkündür. Bu koşullar mevcut olduğunda, amper başına yığılma oranı artar ancak nüfuziyet azalır.

Tel besleme hızı, diğer kaynak şartları ne olursa olsun, bağımsız olarak ayarlanabilir ve direkt olarak ölçülebilir.

**Serbest Elektrot Uzunluğu:** Temas ucundan elektrotun ucuna kadar olan mesafedir. Sadece tel beslemeli sistemlerde mevcuttur.



Şekil 3.2 Gaz altı kaynağında kullanılan terimler (Blodgett, 1999).

Sabit gerilimli bir sistemde, serbest elektrot uzunluğu arttığında, elektrotun elektriksel direnci artar. Bu durum elektrotun ısınmasına yol açar. Direnç ısıtması yada " $I^2.R$ " ısıtması olarak bilinen bu ısı arttıkça elektrotu eritmek için gerekli ark enerjisi azalır. Yüksek serbest elektrot uzunluğu değerleri, belirli akım miktarında daha yüksek yığıma oranlarına ulaşmak için kullanılabilir. Tel besleme hızında herhangi bir değişme olmaksızın serbest elektrot uzunluğu arttığında akım düşer. Bu durum daha az nüfuziyet ve daha az karışım ile sonuçlanır. Sabit gerilimli sistemlerde, akımın sabit kalması için aynı anda serbest elektrot uzunluğu ve tel besleme hızını dengeli bir şekilde arttırmak mümkündür. Bu yapıldığında daha yüksek yığıma oranlarına ulaşılabilir. Gerilim ve ilerleme hızı gibi diğer kaynak değişkenleri, stabil bir ark ve kaliteli kaynak elde etmek için uygun değerlere ayarlanmak zorundadır (Blodgett, 1999).

**Elektrot Çapı:** Kalın elektrotlar, ince elektrotlara nazaran daha yüksek akım taşıyabilirler. Sabit bir akım değeri için, ince elektrotlar daha yüksek yığıma oranı sağlarlar. Bunun sebebi ileriki kısımlarda incelenmiş olan akım yoğunluğunun etkisidir.

**Kutuplama:** Akım geçişinin yönünü tarif eden bir tanımdır. Pozitif kutuplama (ters kutuplama), elektrot; doğru akımlı güç kaynağının pozitif kutbuna bağlandığında meydana gelir. Negatif kutuplama (düz kutuplama) da ise elektrot, güç kaynağının negatif kutbuna bağlıdır. Alternatif akım durumunda ise elektrot sırasıyla pozitif ve negatif olur. Toz altı kaynak yöntemi, aynı elektrotun ya pozitif yada negatif kutuplanarak yaygın bir şekilde kullanıldığı tek yöntemdir. Sabit bir tel besleme hızı için toz altı elektrotu, pozitif kutuplamada negatif kutuplamadakinden daha fazla akım gerektirir. Sabit bir akım içinse,

negatif kutuplama ile pozitif kutuplamaya nazaran daha yüksek tel besleme hızları ve yığma oranları kullanmak mümkündür. Alternatif akım, pozitif ve negatif kutuplama özelliklerinin her ikisinin bir karışımını gösterir ve ark üflemesine daha az eğilimlidir.

**Akım Yoğunluğu:** Kaynak akımının, elektrotun kesit alanına bölünmesiyle bulunur. Dolu elektrotlar için  $I/d^2$  olarak tanımlanır. Akımın bir örtü tarafından iletildiği tüp şeklindeki elektrotlar için akım yoğunluğu metalik kesit alanı ile orantılıdır. Akım yoğunluğu arttığında nüfuziyette olduğu gibi yığma oranlarında da bir artış meydana gelir. Nüfuziyet, verilen bir birleşme için karışım miktarını artırır. Bu durumun, akımı artırarak yada elektrot çapını azaltarak yapılabileceğine dikkat edilmelidir. Elektrot çapı ikinci derece bir fonksiyon olduğundan, çaptaki küçük artışlar yığma oranları ve nüfuziyette önemli bir etkiye sahiptir (Blodgett, 1999).

**Ön Isıtma ve Pasolar Arası Sıcaklık:** Genel olarak ana metaldeki çatlama hassasiyetini kontrol etmede kullanılır. Kaynak metali özellikleri ile ilgili olarak, çoğu C-Mn-Si içeren çelikler için orta derecedeki bir pasolar arası sıcaklık yeterli bir çentik darbe tokluğu gelişimine yardımcı olur. Ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık  $290^{\circ} C$  den fazla ise çentik darbe tokluğu negatif etkilenir. Ana malzeme çok az bir ön ısıtma gördüğünde yada hiç görmediğinde meydana gelen hızlı soğuma, çentik darbe tokluğunda bir gerilemeye de sebep olabilir. Bu yüzden ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklığın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekir.

### 3.2.2.2 Çevresel faktörler

Kaynak parametrelerinin yanı sıra kaynağın yapıldığı ortamın fiziki özellikleri de kaynak kalitesine etkide bulunmaktadır. Fiziki özellikler denince ilk akla gelenler, ortamın sıcaklık durumu, hava koşulları, rüzgar, nem v.b. çevresel faktörlerdir. Bu konu ile ilgili olarak AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel' in 5.12. maddesi kaynak ortamı ile ilgili bilgi vermektedir. Bu maddede maksimum rüzgar hızı ve minimum ortam sıcaklığından bahsedilmektedir. Buna göre, MIG, MAG, TIG, elektro gaz kaynağı ve gaz korumalı özlü elektrotla ark kaynağının, kaynak bölgesi bir örtü aracılığıyla korunmadıkça rüzgarlı ortamda yapılmamasını öngörür. Bu tür bir örtü, kaynak yapılan ortamda rüzgarın hızını maksimum 8 km/saat olacak şekilde azaltabilecek biçimde ve uygun malzemeden yapılmış olmalıdır [3].

Aynı maddeye göre aşağıdaki koşullarda kaynak yapılmamalıdır;

- Ortam sıcaklığı  $-18^{\circ} C$  den az olduğunda



- Yüzeyler ıslak olduğunda yada yağmur, kar ve yüksek rüzgar hızlarına maruz kaldığında
- Kaynak personeli kötü hava koşullarına maruz kaldığında

Burada kastedilen  $-18^{\circ}\text{C}$ , hava (yeryüzü) sıcaklığı değil kaynağa en yakın olan bölge ve kaynağın yapılacağı noktanın sıcaklığıdır. Bu sebeple, hava sıcaklığı  $-18^{\circ}\text{C}$ ' dan daha düşük olabilir ancak yapının ısıtılması veya kaynağın yapılacağı yerde bir koruyucu örtü kullanılması kaynağa komşu bölge sıcaklığını  $-18^{\circ}\text{C}$  veya üzerinde muhafaza edebilir.

Rüzgar hızı ve ortam sıcaklığına ilave olarak nem de kaynak kalitesine etki eden bir diğer faktördür. Çünkü nem en önemli hidrojen kaynağıdır. Ark sıcaklığında, hidrojen atomlarına ayrışarak gözenekliliğe ve çatlamalara sebep olur. Koruyucu gaz beslemesi çok düşük hidrojen içeriği bakımından kontrol edilmelidir. Aynı şekilde, imalat koşulları da elektrot yada ana malzeme üzerinde nem yoğunlaşmasını önlemek için kontrol altında tutulmalıdır.

Yoğunlaşma sebebiyle ana metal yada elektrot üzerinde ortaya çıkacak nem kaynak esnasında iki probleme sebep olur [1];

- Metal yüzeyler üzerinde suyun yada metal oksitin parçalanmasıyla sonucu oluşan gözeneklilik.
- Metal yüzeyinde var olan metal oksitin kaynağın iç kısımlarında sıkışıp kalması.

Nem konusu ile ilgili bazı terimler aşağıda tanımlanmıştır.

**Bağıl nem oranı:** Belirli bir sıcaklıktaki hava kütesinin içinde bulunan nem miktarının , o sıcaklıkta alabileceği en fazla nem miktarına oranıdır. Bağıl nem bir yüzde oranı şeklinde ifade edilir ve kaynak yapılacak bölgede denetlenmesi gerekir. Derin tanklar ve temizleme istasyonları gibi yerler bağıl nemi etkiler.

**Çiğ noktası:** Havadaki su buharının yoğunlaşmasının meydana geldiği sıcaklıktır. Metal yüzeyin sıcaklığı çiğ noktası sıcaklığına eşit yada daha az olduğunda nem metal yüzey üzerinde yoğunlaşacaktır. Her bir bağıl nem oranı için bir çiğ noktası sıcaklığı mevcuttur.

**Hava sıcaklığı:** Verilen anda kaynak yapılan bölgedeki havanın sıcaklığıdır.

**Metal yada elektrot sıcaklığı:** Verilen bir anda ana metal yada elektrotun sıcaklığıdır.

Çizelge 3.6 Çeşitli sıcaklıklarda su yoğunlaşmasının oluşacağı bağıl nem oranları [1].

<b>Bağıl nem miktarına karşılık gelen çiğ noktası sıcaklıkları</b>			
$(T_{\text{hava}}-T_{\text{metal}})$	<b>Bağıl Nem (%)</b>	$(T_{\text{hava}}-T_{\text{metal}})$	<b>Bağıl Nem (%)</b>

°C/°F			°C/°F		
0	0	100	12	21.6	44
1	1.8	93	13	23.4	41
2	3.6	87	14	25.2	38
3	5.4	81	15	27.0	36
4	7.2	75	16	28.8	34
5	9.0	70	18	32.4	30
6	10.8	66	20	36.0	26
7	12.6	61	22	39.6	23
8	14.4	57	24	43.2	21
9	16.2	53	26	46.8	18
10	18.0	50	28	50.4	16
11	19.8	48	30	54.0	14

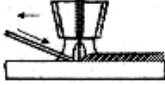
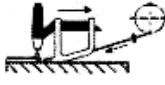

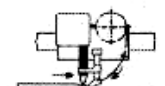

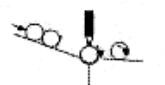

Örneğin yukarıdaki çizelgeye göre, eğer kaynak bölgesindeki nem % 70 ise nem yoğunlaşmasını önlemek için ana metal veya elektrot sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki fark 9° C' den fazla olmamalıdır [1].

Genel olarak bir kaynak atölyesinde, özellikle bağıl nem yüksek olduğunda metal sıcaklıklarının birbirine yakın olması önemlidir. Elektrot ve ana metalin kaynak bölgesi sıcaklığına stabilize edilmesine imkan verilmelidir. Elektrot daha soğuk bir yerden getirilmişse kaynak bölgesinde uzun süre açık havaya maruz bırakılmamalıdır. Ana metal kaynak işlemi öncesi temizlenmeli ve temiz bir fırça ile fırçalanmalıdır. Bu amaç için kaynak esnasında zehirli duman oluşturmeyen yumuşak alkali çözeltiler önerilir. Tüm yüzeyler temizleme sonrası dikkatli bir şekilde kurulanmalıdır.

### 3.2.2.3 Mekanikleştirilme derecesi

Günümüzde metal işleme endüstrisinin üretim maliyetleri esas itibariyle işçilik maliyetleri tarafından belirlenir ve bu sebeple çoğu fabrika imalat sistemini, kısmi yada tam mekanize edilmiş yöntemlere doğru geliştirmek zorundadır. Bu sebeple, tekrarlanabilir ve yeterli bir kalite seviyesinin maksimum verimlilik ile sağlanması gereken kaynaklı imalat alanında da otomasyon durumlarının göz önüne alınması gerekir.

Kaynakta mekanikleştirilme dereceleri, DIN 1910' un birinci bölümünde maddeler halinde belirtilmiştir. Dereceler arası farklar torç kontrolü, dolgu malzemesi beslemesi ve yöntem sırası konularında mevcuttur. Parçaların kaynağın yapılacağı yere taşınması bu duruma bir örnektir. Şekil 3.3 mekanizasyonun dört derecesini açıklamaktadır.

Dizayn	örnekler gaz korumalı ark kaynağı		Hareket / çalışma döngüsü		
	TIG	GAZALTI	Torç /iş parçası kontrolü	Dolgu malz. beslemesi	İş parçası taşınması
Manuel kaynak		—	Manuel	Manuel	Manuel
Kısmi mekanize kaynak			Manuel	Mekanik	Manuel
Tam mekanize kaynak			Mekanik	Mekanik	Manuel
Otomatik kaynak			Mekanik	Mekanik	Mekanik

Şekil 3.3 DIN 1910, bölüm 1' e göre kaynakta mekanizasyon dereceleri [7].



Şekil 3.4 Manuel kaynak [7].

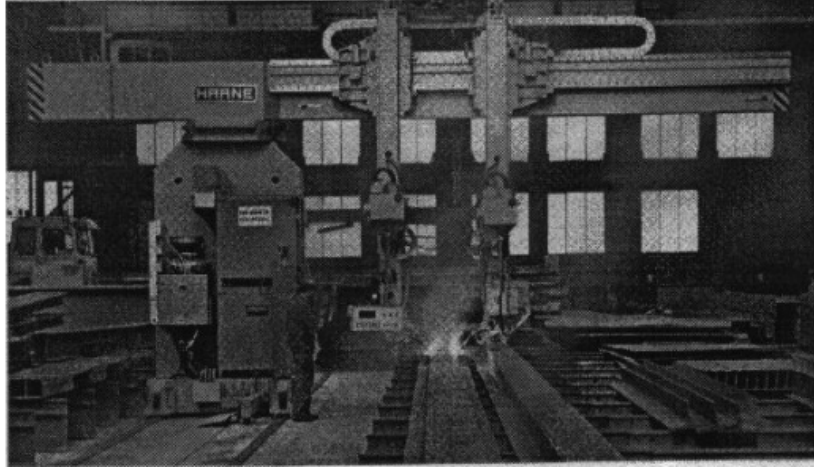
Şekil 3.4 manuel kaynağı göstermektedir. Elektrot ve/veya arkın kontrolü manuel olarak yapılır. Dolgu metali (harcanan elektrot) de kaynak bölgesine manuel olarak beslenir.

Kısmi mekanize kaynakta, örneğin MIG ve MAG kaynak yöntemlerinde, ark manipasyonu manuel olarak yapılırken, dolgu metali ilavesi bir tel besleme motoru vasıtasıyla mekanik olarak yapılır, Şekil 3.5.



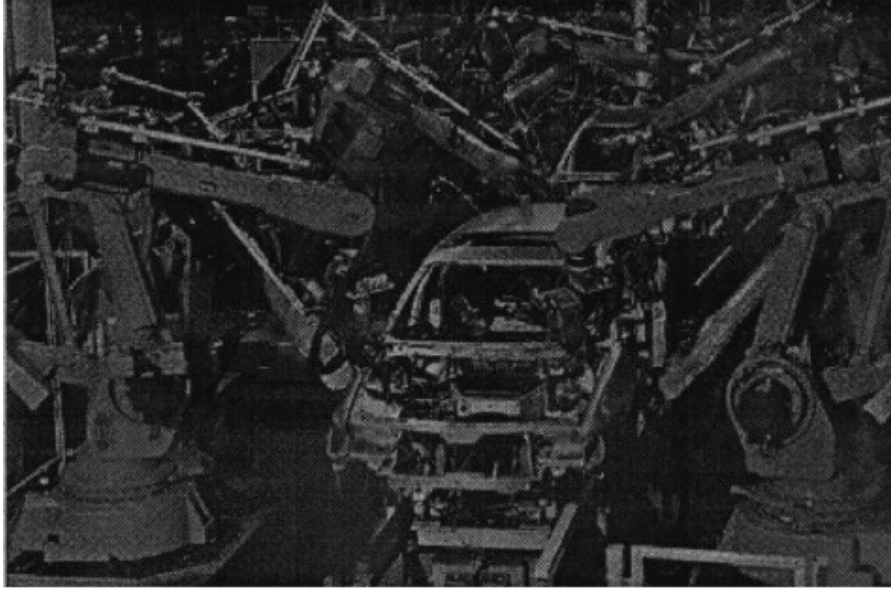
Şekil 3.5 Kısmi mekanize kaynak [7].

Tam mekanize kaynakta, Şekil 3.6, kaynak ilerlemesini ve dolayısıyla torç kontrolünü bir otomatik ekipman mekanizması yürütür. Tel beslemesi, tel besleme üniteleri tarafından gerçekleştirilir. İş parçası hareket eden makinenin desteği ile uyum içerisinde mekanik olarak konumlandırılmalıdır.



Şekil 3.6 Tam mekanize kaynak [7].

Otomatik kaynakta, yukarıda tanımlanan yöntem aşamalarına ilave olarak iş parçaları, kaynak yapılan yerde mekanik olarak konumlandırılır ve kaynak sonrasında bir sonraki iş istasyonuna otomatik olarak taşınır. Şekil 3.7 otomatik kaynak uygulamasına bir örnek göstermektedir (otomotiv endüstrisindeki montaj hattı).



Şekil 3.7 Otomatik kaynak [7].

Mekanize kaynak aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Birim maliyetlerde azalma
- İş ortamının gelişmesine katkı
- Gelişmiş yöntem kontrolü
- İstikrarlı ve tekrarlanabilir kalite
- Yüksek nitelikli kaynakçı ihtiyacında azalma

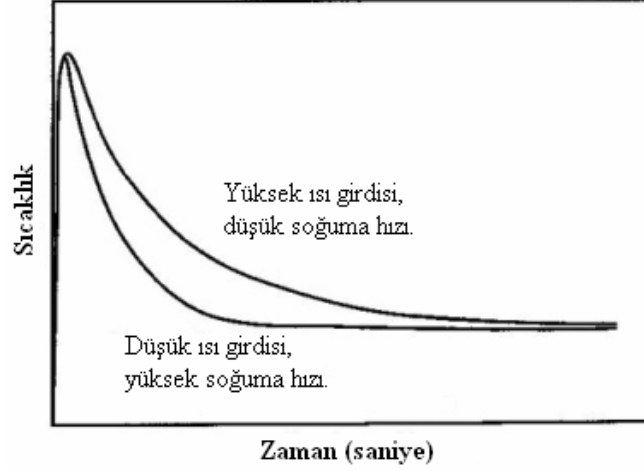
Bunların yanı sıra aşağıdaki dezavantajlarda mekanize kaynağa geçişi zorlaştırmakta ve kullanımını sınırlandırmaktadır [19]:

- Potansiyel faydaların, sadece donanımın kurulmasıyla elde edilemeyişi
- Teknolojik yenilik sürecinde yönetim kademesinin daha önemli rol oynaması
- Robotik uygulamalar için gerekli kontrol maliyetlerinin şuan mevcut olan sistemlerden daha yüksek olması.

#### 3.2.2.4 Isı girdisi

Ark kaynağında, enerji elektrottan ana malzemeye elektrik arkı vasıtasıyla iletilir. Kaynakçı arkı başlattığında, hem ana malzeme hem de dolgu malzemesi kaynağı oluşturmak için ergir. Bu ergime, belirli miktarda enerji (birim zamanda transfer edilen enerji) ve elektroda uygulanan enerji yoğunluğunda mümkün olur (Funderburk, 1999).

Isı girdisi birim kaynak uzunluğu başına transfer edilen enerjinin göreceli olarak ölçümüdür. Önemli bir karakteristiktir çünkü ön tavlama ve pasolar arası sıcaklık gibi kaynağın ve ITAB'ın mekanik özelliklerini ve metalurjik yapısını etkiler (Şekil-3.8).



Şekil 3.8 Soğuma hızının ısı girdisine bağlı değişimi (Funderburk, 1999).

Isı girdisi genellikle, gücün (örneğin akım ile gerilimin çarpımı) ısı kaynağının (örneğin kaynak arki) hızına oranı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_{ısı} = \frac{60 \cdot V \cdot I}{1000 \cdot S} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte,

$Q_{ısı}$  : Isı girdisi (kJ/mm)

V : Ark gerilimi (volt)

I : Akım (amper)

S : İlerleme hızını (mm/dk) göstermektedir.

Bu eşitlik, verilen bir yöntem için kaynak şartnamelerini kıyaslamada son derece uygundur. Bununla birlikte ısı girdisi, ısı iletim verimliliği gibi ilave bilgiler mevcut olmadan farklı yöntemlerin (örneğin elle elektrik ark kaynağı ve gaz altı kaynağı) kıyaslanması için mutlak olarak uygulanabilir değildir (Funderburk, 1999).

Bir kaynağın kesit alanı genellikle ısı girdisi miktarı ile orantılıdır. Bu durum sezgisel olarak insan da bir kanı oluşturur çünkü arka daha fazla enerji uygulandığında birim uzunluk başına ilave ve ana malzemedan daha fazla ergir ve bu durum daha geniş bir kaynak dikişi ile sonuçlanır. Eğer bir kaynakçı aynı kaynağı yüksek ve düşük ilerleme hızı ile aynı akım ve

gerilim değeri ile yaparsa düşük ilerleme hızı ile yapılan hızlı yapılandan daha geniş olacaktır. Aşağıdaki eşitlik, köşe kaynağının dik kenar uzunluğunun ısı girdisine bağlı olarak yaklaşık bir hesabıdır:

$$\omega = \frac{Q_{ISI}}{500} \quad (3.2)$$

Burada;

$\omega$  : Köşe kaynağı dik kenar uzunluğu (mm)

$Q_{ISI}$  : Isı girdisi (kJ/mm) ni tanımlamaktadır.

Isı girdisi ve köşe kaynağı boyutu arasındaki bu hassas ilişkinin yanı sıra, yöntem ve kutuplamayı içeren diğer değişkenler de kaynak boyutunu etkiler, bu eşitlik özellikle kaynak şartnamelerinin oluşturulması ve gözden geçirilmesinde yardımcı bir araçtır. Örneğin, bir minimum köşe kaynak boyutu tanımlandığında buna karşılık gelen ısı girdisi belirlenebilir ve kontrol edilebilir.

Isı girdisinin soğuma hızı üzerindeki etkisi ön tavlama sıcaklığının etkisine benzer. Verilen bir ana metal kalınlığı için, ısı girdisi veya ön tavlama sıcaklığı arttığında soğuma hızı azalır. Bu ise yüksek karbonlu malzemelerdeki martenzit oluşma eğilimini, dolayısıyla çatlama riskini ve çarpılma şiddetini azaltır. Bu iki değişken (ısı girdisi ve ön tavlama sıcaklığı), soğuma hızını etkileyen malzeme kalınlığı, özgül ısı, yoğunluk ve ısıl iletkenlik gibi diğer değişkenler ile etkileşim halindedir. Aşağıdaki orantı bağıntısı, ön tavlama sıcaklığı, ısı girdisi ve soğuma hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir:

$$R_s \propto \frac{1}{T_V \cdot Q_{ISI}} \quad (3.3)$$

Bu bağıntıda,

$R_s$  : Soğuma hızı (°C/saniye)

$T_V$  : Ön tavlama sıcaklığı (°C)

$Q_{ISI}$  : Isı girdisi (kJ/mm) ni temsil etmektedir.

Soğuma hızı, kaynağın ve ısıdan etkilenmiş bölgenin nihai metalurjik yapısını belirleyen ana faktörlerden birisidir ve özellikle ısı işlem uygulanmış çelikler için önemlidir. Örneğin, su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin kaynağında, düşük soğuma hızları (yüksek ısı girdisinden kaynaklanan), kaynağa yakın bölgedeki malzemeyi yumuşatabilir ve bağlantının yük taşıma kabiliyetini azaltır.

Isı girdisinin değişimi genellikle kaynağın malzeme özelliklerini etkiler. Çizelge 3.7 listelenmiş özelliklerin artan ısı girdisi ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Yukarı ok, artan ısı girdisi ile özellikteki artışı, aşağı ok ise artan ısı girdisi ile özellikteki azalışı göstermektedir. Okun yanındaki sayı, test edilen ısı girdisinin maksimum ve minimum değeri arasındaki yaklaşık değişimi göstermektedir.

Çizelge 3.7 Elle elektrik ark kaynağı için malzeme özelliklerinin artan ısı girdisi ile değişimi (Funderburk, 1999).

Özellik (15-110 kJ/inç lik ısı girdisinde yapılan elle elektrik ark kaynağı)	Değişim
Akma mukavemeti	↓ 30 %
Çekme mukavemeti	↓ 10 %
Yüzde uzama	↑ 10 %
Çentik tokluğu	↑ 10 %, 15<Q<50 kJ/inç için ↓ 50 %, 50<Q<110 kJ/inç için
Sertlik	↓ 10 %

Çentik tokluğu dışındaki diğer mekanik özellikler ısı girdisi ile, mekanik özelliğin ısı girdisindeki artışa karşılık sadece artması yada azalması şeklinde bir tekdüze ilişki içerisinde. Buna karşılık, çentik tokluğu, ısı girdisindeki artışa karşılık az bir artış ve ciddi miktarda bir azalma göstermektedir. Çentik tokluğundaki değişim sadece ısı girdisine bağlanamaz ve kaynak dikiş boyutundan önemli ölçüde etkilenmektedir. Dikiş boyutu arttığında, ki bu artış daha yüksek bir ısı girdisi demektir, çentik tokluğu azalma eğilimindedir. Çok pasolu kaynakta, her paso altındaki kaynak metalini temperlediğinden bir önceki kaynak pasosunun bir kısmı yenilenmiş olur ve tokluk gelişmiş olur. Diğer faktörler aynı olduğunda, dikişler daha küçük olursa daha fazla tane yenilenmesi meydana gelir ve daha iyi bir çentik tokluğu elde edilir.

Isı girdisindeki değişimler yukarıdaki çizelgedekinin aksine göreceli olarak küçükse mekanik özelliklerde önemli bir değişiklik olmaz.

Sonuç olarak, kaynaklı konstrüksiyonlarda yüksek kalite temini için, çentik tokluğunun ve ITAB özelliklerinin kontrol edilmesi gerektiğinde ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağı durumunda yukarıda anlatılan prensiplerin anlaşılması ve uygulanması önem arz etmektedir.



### **3.2.3 Kaynak sonrası işlemler**

Kaynak işleminin tamamlanmasının ardından kaynağın amaca uygunluğunun sağlanması, yapısal bütünlüğünün korunması ve beklenen mekanik özelliklerin temini için bir takım işlemler yapılması gerekebilir. Bu gereklilik kaynak işleminin, ana malzeme ve kaynak metali üzerinde yarattığı olumsuz etkiler sebebiyle ortaya çıkabilir.

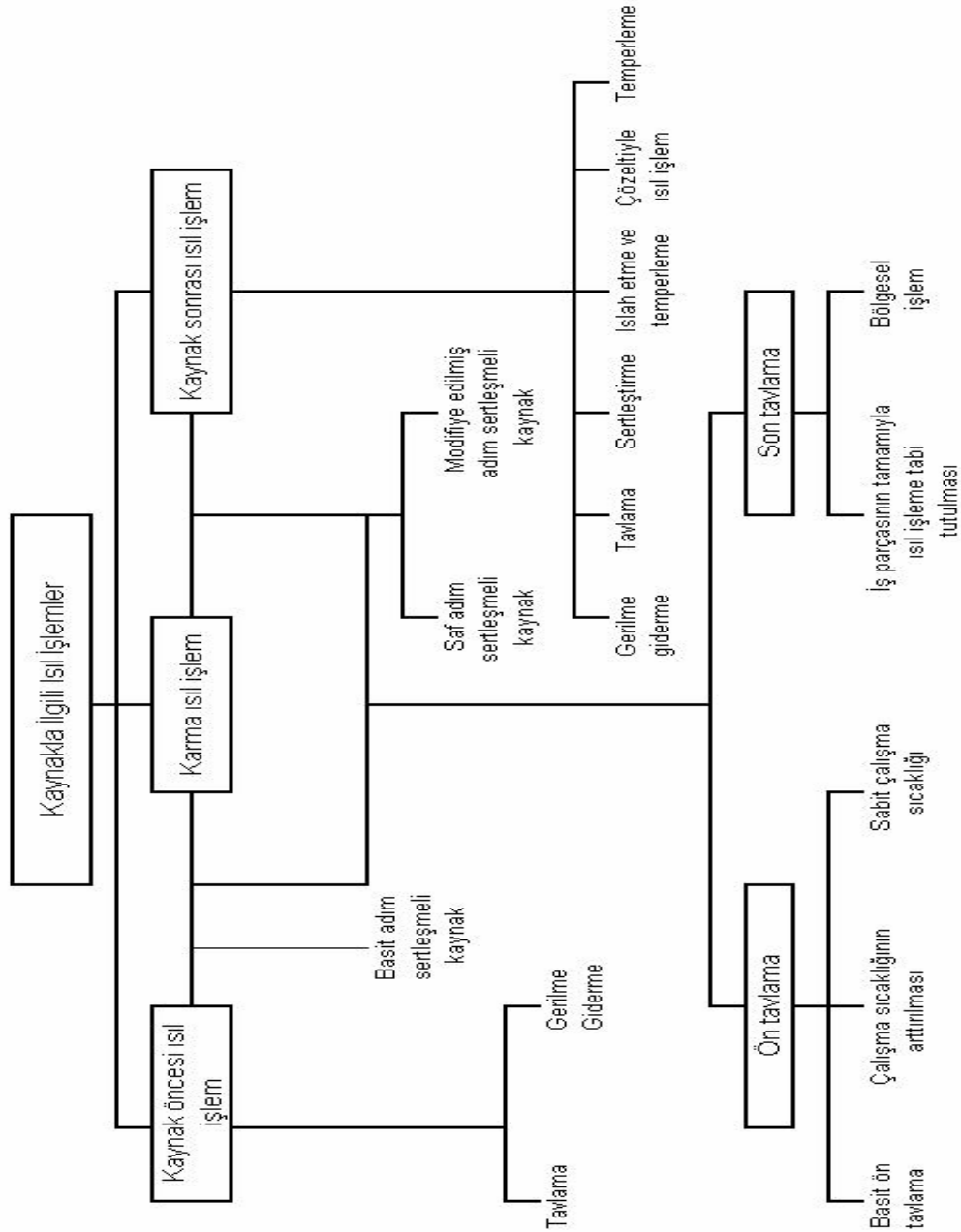
İç yapıdaki dönüşümler sonucu sertlikteki artış, ısıl genleşme ve kendini çekme neticesinde meydana gelen gerilmeler ve hareket imkanının kısıtlanması sebebiyle bu gerilmelerin sebep olduğu çarpılma ve şekil bozuklukları kaynak kalitesini olumsuz etkiler. Kaynaklı yapının bu tür olumsuz özelliklerden arındırılarak kendisinden beklenen nitelikleri karşılayabilecek kapasiteye getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple yürütülen faaliyetler genel olarak üç başlıkta toplanır:

1. Isıl işlemler.
2. Gerilme giderme işlemleri.
3. Şekil bozukluklarının giderilmesi.

Aşağıdaki alt bölümlerde kaynak sonrası gerekli görüldüğü takdirde yürütülen işlemler incelenmiştir.

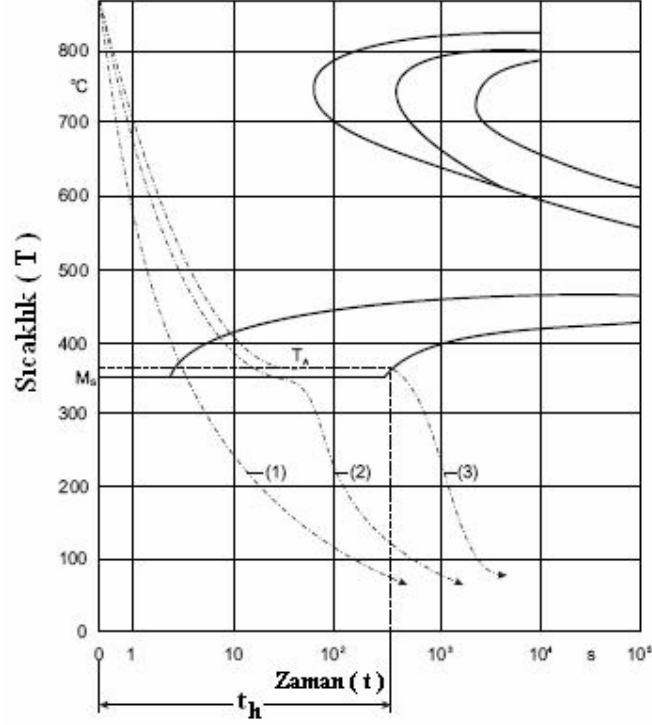
#### **3.2.3.1 Isıl işlemler**

Kaynakla ilgili ısıl işlemler, kaynak öncesi, kaynak esnasında ve kaynak sonrası olmak üzere 3 gruba ayrılır. Şekil 3.9' da kaynakla ilgili ısıl işlemler görülmektedir.



Şekil 3.9 Kaynakla ilgili ısı işlemler [7].

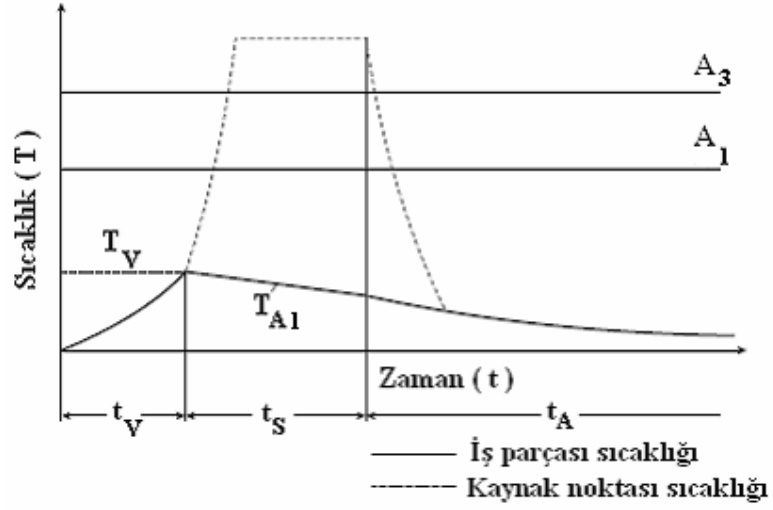
Normalde gerilme giderme veya normalizasyon ısı işlemleri, kaynaktan önce kaynağa uygun malzeme özelliklerinin sağlanması için yapılır. Kaynak sonrası yapılan herhangi bir ısı işlem ise sadece iş parçası boyutları, şekilleri ve maliyet artışıyla sınırlanır. Özellikle yüksek mukavemetli ince taneli çelikler ve örneğin belirli saldırgan ortamlara karşı korozyon direnci gibi özel kalite beklenen yüksek alaşımlı malzemelerde kaynak sonrası ısı işlem uygulaması büyük öneme sahiptir. Şekil 3.10’ da verilen “zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı” kaynak yaparken kullanılan farklı ısı işlemlerinin etkilerini göstermektedir.



Şekil 3.10 Farklı kaynak koşullarında zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı [7].

Şekil 3.10' da; (1) numaralı soğuma eğrisi, ön tavlama yapılmadan yapılan kaynak, (2) numaralı soğuma eğrisi  $380^{\circ}\text{C}$ ' de ve bu sıcaklıkta bekleme yapılmadan yapılan kaynak, (3) numaralı soğuma eğrisi de, yine  $380^{\circ}\text{C}$ ' de ve yaklaşık 10 dk. bu sıcaklıkta bekleme yapılmadan yapılan kaynak temsil etmektedir.  $T_A$ , bekleme sıcaklığını,  $t_h$ , bekleme süresini ve  $M_s$  'de martenzit oluşumu başlangıç sıcaklığını göstermektedir. En hızlı soğuma, ön tavlama yapılmadan yapılan kaynak sonucu oluşur, esas olarak martenzit olan yapı çok az miktarda beynit içerir (1 nolu eğri). Kaynak öncesi bekleme süresi yapılmadan yapılan basit bir ön tavlama soğuma hızını 2 nolu eğrideki gibi azaltır. Oluşan martenzitin azalmasına bağlı olarak sertlik de azalır. Eğer malzeme kaynak esnasında, martenzit oluşum sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta bir süre tutulursa (3 nolu eğri), martenzit oluşumu tamamen önlenmiş olur [7].

Şekil 3.11' de, basit ön tavlama ile yapılan kaynak esnasındaki sıcaklık-zaman eğrisi görülmektedir.



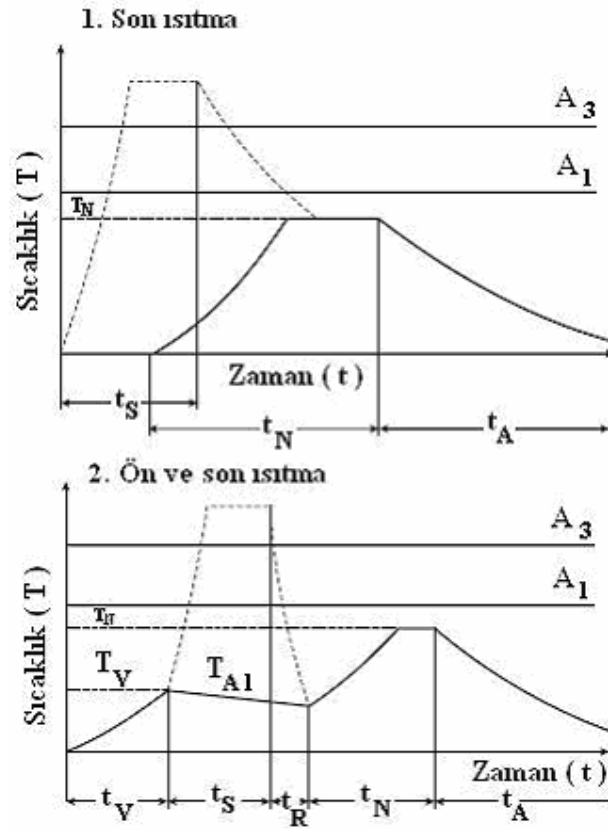
Şekil 3.11 Basit ön tavlama ile yapılan kaynak [7].

- $T_V$  : Ön tavlama sıcaklığı       $t_S$  : Kaynak zamanı  
 $T_{A1}$  : Çalışma sıcaklığı       $t_A$  : Oda sıcaklığına soğuma zamanı  
 $t_V$  : Ön tavlama zamanı

$t_S$  kaynak zamanı içerisinde, çalışma sıcaklığı  $T_{A1}$ ' de bir düşüş meydana gelir. Daha sonra havada soğuma periyodu başlar ve soğuma hızının düşük tutulabilmesi için ısı yalıtım malzemeleri ile kaplama yapılabilir.

Şekil 3.12' de ise kaynak sonrası sıcak tutma uygulamasındaki sıcaklık-zaman diyagramı görülmektedir. Bu şekilde kullanılan simgeler aşağıda açıklanmıştır.

- $T_V$  : Ön tavlama sıcaklığı       $t_S$  : Kaynak zamanı  
 $T_{A1}$  : Çalışma sıcaklığı       $t_A$  : Oda sıcaklığına soğuma zamanı  
 $T_N$  : Son tavlama sıcaklığı       $t_N$  : Son tavlama zamanı  
 $t_V$  : Ön tavlama zamanı       $t_R$  : Bekleme zamanı

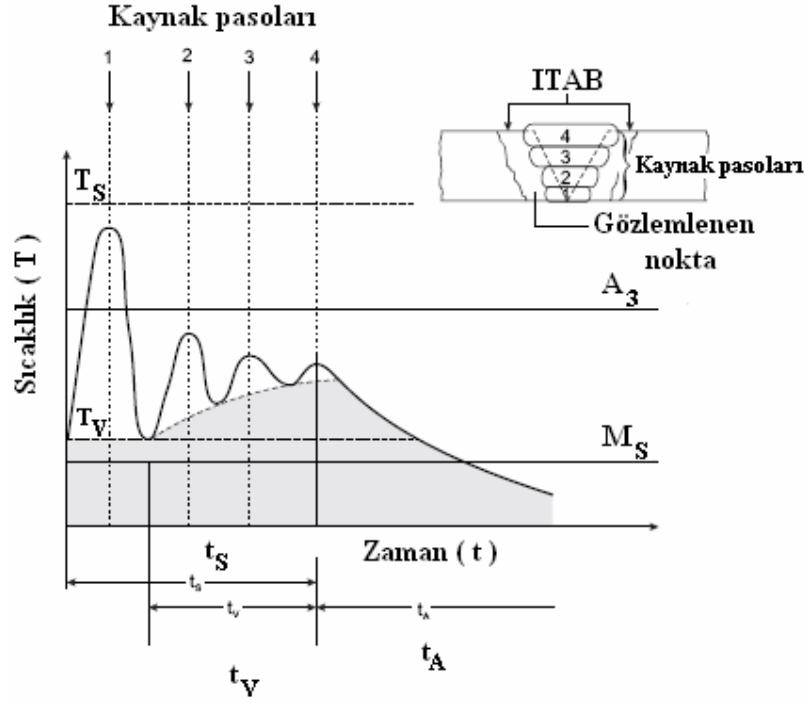


Şekil 3.12 Ön ve son tavlama kaynak [7].

Bu tür bir uygulama, oksijen-asetilen torcu ile bölgesel ısıtma yapılarak kolayca başarılabilir. Bu yolla bazı çeliklerin tokluk özellikleri önemli ölçüde geliştirilebilir. Şekil 3.12' de alttaki çizim ise kaynak öncesi ve sonrası ısı uygulamasının bir arada yapılmasını göstermektedir. Bu şekilde bir uygulama; çalışma sıcaklığından direkt olarak soğuduklarında kaynak öncesi basit tavlamaya rağmen yüksek sertleşme ve çatlama riski giderilemeyen çeliklerde kullanılır. Bu hassasiyete sahip malzemeler, kaynaktan sonra ara verilmeksizin  $600^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$  arasındaki bir sıcaklıkla ısıtmaya tabi tutulurlar. Böylece martenzit oluşumu önlenmiş ve kaynak sonrası kalıntı gerilmeler eş zamanlı olarak giderilmiş olur [7].

Şekil 3.13' de çok pasolu kaynakta sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bu şekilde;

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| $T_V$ : Ön tavlama sıcaklığı        | $t_A$ : Oda sıcaklığına soğuma zamanı          |
| $T_S$ : Malzemenin ergime sıcaklığı | $A_3$ : Üst dönüşüm sıcaklığı                  |
| $t_V$ : Ön tavlama zamanı           | $M_S$ : Martenzit dönüşümü başlangıç sıcaklığı |
| $t_S$ : Kaynak zamanı               |  |



Şekil 3.13 Çok pasolu kaynakta sıcaklığın zamana bağlı değişimi [7].

Sürekli eğri, ilk pasoda ITAB' daki bir noktanın sıcaklığının zamana göre değişimini göstermektedir. Kök paso ön ısıtma uygulanmadan yapılmıştır. Sonraki pasolar belirli bir sıcaklık değerinin altına soğuma olmasına fırsat verilmeden çekilmiştir. Sonuç olarak çalışma sıcaklığı, artan paso sayısı ile doğru orantılı olarak artmıştır. İkinci paso martenzit oluşum sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta ön ısıtma etkisi altında yapılmıştır. İş parçasında absorbe edilen ısı, kaynağın üst pasoları üzerinde ön ısı etkisi yaratmıştır. Kök paso da üzerindeki pasoların tavlama etkisiyle ısıtılma maruz kalmıştır. Son pasonun kaynağında, ön tavlama sıcaklığı kritik soğuma hızının aşılmayacağı kadar yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Çok pasolu kaynağın en önemli faydası her pasonun ITAB' ının yeniden kristalleşmesine sıcaklığının üzerine ısıtılması ve kristalleşme etkilerinin giderilmesidir. Böylece, kaba taneli bölgenin ve bunun getirdiği istenmeyen özelliklerin sadece son pasonun ITAB' ında kalması sağlanmış olur.

### 3.2.3.2 Gerilme giderme için mekanik yöntemler

Kaynak sonrası kalıntı gerilmeler, ısıtılma ihtiyacı olmaksızın mekanik uygulamalar ile azaltılabilir. Mekanik yöntemler kaynaklı birleşmenin metalurjik mikroyapısını yenilemez ancak bunun yerine mevcut kalıntı gerilmeler ve uygulanan gerilmeler ile bölgesel akmaya sebep olma prensibine dayanır [10].

Gerilme giderme amacıyla uygulanan mekanik yöntemler üç gruba ayrılır.

1. Aşırı yükleme teknikleri
2. Titreşim teknikleri
3. Parçacık püskürtme tekniği

### **3.2.3.2.1 Aşırı yükleme teknikleri**

Aşırı yükleme teknikleri, hidrostatik test veya basınç testi vasıtasıyla oluşturulan kalıcı akma gerilmeleri kullanılarak kalıntı gerilmelerin giderilmesini içerir. Bu teknikler, dış basınç tarafından oluşturulan yüklemeyi mevcut kalıntı gerilmeler ile birleştirir. Akma gerilmesi üzerindeki bir tekil aşırı yükleme, kalıntı gerilmelerde bir azalmaya sebep olur. Aşırı yükleme tekniği mevcut hatalar üzerinde basma gerilemeleri oluşturur ve gevrek kırılmaya karşı da olumlu bir etkisi vardır.

Basınç artarken dış yükler bölgesel plastik deformasyona sebep olan mevcut kalıntı gerilmelere eklenir. Basınç kaldırıldığında, elastik alıkoyma, ön gerilmede faydalı bir rol oynayan kalıntı gerilmeler üretir [10].

### **3.2.3.2.2 Titreşim teknikleri**

Gerilme giderme için kullanılan titreşim teknikleri, kaynaklı yapıda uygun kuvvet oluşturucular kullanılarak, uygulanan yüzeyde elastik gerinimlere sebep olan bir yada daha fazla rezonans yada rezonans altı durum oluşturulmasından ibarettir.

Titreşim kullanılarak uygulanan gerilme giderme tekniklerinin başarısı, dengeli bir gerilme halinin kalıntı gerilmelerin azaltılmasından çok daha önemli olduğu; yapının tipi, boyutları ve karmaşıklığına bağlıdır. Eğer yapının ölçüleri ve karmaşıklığı müsait ise bu tekniğin alışıl gelmiş ısı uygulamalardan avantajı daha ucuz ve daha etkili olabilmesidir [10].

Titreşim teknikleri ile gerilme gidermenin dezavantajları ise şunlardır:

- Sertleşmiş ITAB' da yumuşama meydana gelmez.
- Gevrek kırılmanın ciddi bir risk olduğu yerlerde tavsiye edilmez.
- Mekanik bir yöntem olduğundan faydalı metalurjik değişimler oluşturmaz.
- Hidrostatik test gibi aşırı yükleme tekniklerinin ötesinde herhangi bir avantaj sağlamaz.

### 3.2.3.2.3 Parçacık püskürtme tekniği

Parçacık püskürtme tekniği, yorulma, gerilmeli korozyon çatlama ve diğer hata türlerinin oluşma potansiyelini azaltmak için kullanılan bir soğuk yüzey uygulamasıdır. Püskürtme, parçacık olarak adlandırılan küresel şekilli malzemenin yüksek hızla gönderildiği parçanın yüzey tabakasında kalıcı basma gerilmeleri oluşturulması esasına dayanır. Basma gerilmeleri etkisi altındaki bölgelerde çatlak başlangıcı yada hata oluşumu meydana gelmez. Sayısız tipte hata, parçaların yüzeyinde başladığından parçacık püskürtme yoluyla basma gerilmeleri oluşturulması parçanın ömrünü oldukça arttırabilir [10].

### 3.2.3.3 Şekil bozukluklarının giderilmesi

Kaynakta gerek tasarım aşamasında ilgili tedbirleri alarak, gerekse uygun imalat prosedürleri kullanılarak çarpılma oluşumunu önlemek için her türlü gayret sarfedilmelidir. İmalat aşamasında çarpılma oluşumunu önlemek her zaman mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda, doğru seçilmiş düzeltici metotlar kullanılabilir. Oluşmuş şekil değişimlerinin giderilmesi hafife alınmamalıdır, çünkü bu tür düzeltmeler hem pahalıdır hem de parçaya zarar vermeden yapılabilmesi için tecrübe gerektirir [23].

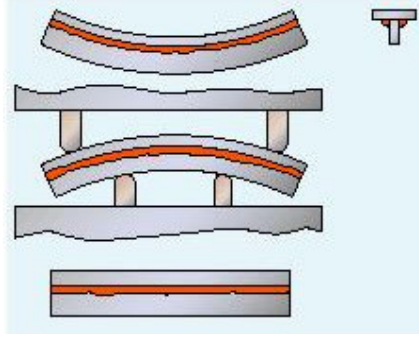
Şekil değişimlerinin giderilmesinde genellikle mekanik ve termik yöntemler kullanılır.

#### 3.2.3.3.1 Mekanik yöntemler

Kullanılan mekanik yöntemler başlıca iki adettir. Çekiçleme ve presle düzeltme. Çekiçleme yüzeyde hasar oluşumuna ve sertleşmeye sebep olabilir.

Eğilme yada açılma çarpılma durumunda, parçanın bütünü preste, çekiçlemenin dezavantajları olmaksızın düzeltiler. Parça ve pres basma uçları arasına kaplama (koruyucu) malzemesi yerleştirilir. Presleme yönteminde; parçaya verilen deformasyon ona alması gereken şekli kazandıracak miktardan fazladır. Bunun sebebi geri yaylanma olayıdır. Presleme yönteminde, bu geri yaylanmadan sonra parçayı olması gereken boyutlarına ulaştırabilecek deformasyonun parçaya verilmesi esastır. Şekil 3.14' de T şeklindeki bağlantıda oluşan eğilmenin giderilmesi görülmektedir.





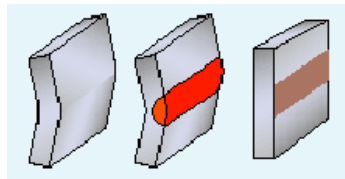
Şekil 3.14 T şeklindeki bağlantıda oluşan eğilmenin presleme ile giderilmesi [23].

Uzun parçalarda distorsiyon, artımsal presleme prosesleriyle kademe kademe giderilir; bu presleme proseslerinin her biri kısa uzunluklara etki etmektedir. Artımsal nokta yükleme sadece hemen hemen düz bir yüzey oluşturur. Düz bir eleman oluşturabilmede yada düzgün bir eğim elde etmede bu tekniği kullanmak daha iyi sonuçlar verir. Mekanik uygulamalarda aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Geri yaylanmanın parçayı doğru şekline getirmesi için gerekli olandan fazla düzeltme sağlayan kaplama parçalarının kullanılması
- Parçanın presleme esnasında istenmeyen şekilde eğilip bükülmesini önlemek için yeterli derecede desteklendiğinin kontrol edilmesi
- Bir eğim yada düzgün bir eleman oluşturmak için şekillendirici yada merdane kullanılması
- Güvenliği sağlanmamış parçalar prestan saçılabilir; bu sebeple parça pres çenelerine cıvata ile bağlanmalı, hata oluşumunu önlemek için yeterli kalınlıkta metal kullanılmalı, çalışan personel tehlikeli alan dışında tutulmalıdır [23].

### 3.2.3.3.2 Termal yöntemler

Termal tekniklerin altında yatan temel prensip; soğuma esnasında bileşenin kendini çekerek olması gereken şeklini almasına yardımcı olacak, uygun nitelikte, bölgesel gerilmeler oluşturmaktır.



Şekil 3.15 Distorsiyonun giderilmesi için bölgesel ısıtma [23].

Bu oluşum malzemenin; sıcakken plastik şekil değiştirmenin gerçekleşebileceği bir sıcaklığa kadar ısıtılması ve düşük akma mukavemetli bölgenin, kendisinden daha soğuk ve daha yüksek akma mukavemetli bölgeye doğru genişlemeye çalışması ile sağlanır. Oda sıcaklığına soğuma esnasında ısıtılmış bölge, ısıtılmadan önceki küçük şekline dönmek amacıyla kendisini çeker. Bu çekme sonucu oluşan gerilmeler malzemeyi olması gereken şekline kavuşturur.

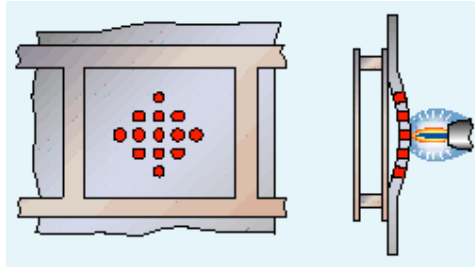
Bölgesel ısıtma bu mantıkla düşünüldüğünde göreceli olarak basit olmasına rağmen kaynak distorsiyonlarının düzeltilmesinde etkili bir yöntemdir. Kaynakta kendini çekmenin derecesi; ısıtılan bölgelerin boyutu, adedi, yerleşimi ve sıcaklığı tarafından belirlenir. Et kalınlığı ve parça boyutları ısınan bölgeyi belirler. Isınan bölgelerin sayısı ve yerleşimi büyük ölçüde deneyimle ilgili bir husustur. Çoğu kez, süregelen konstrüksiyonlar dışında bir imalat yapılacağı zaman kendini çekmenin derecesini tespit etmek amacıyla bir takım testler yapılması gerekir.

Termal düzeltme teknikleri kullanılmasındaki sakıncalar, kendini çekme bölgesinin dışındaki bölgelerin ısınması veya yüksek sıcaklığa ısıtma sebebiyle metalurjik değişimlerin ortaya çıkmasıdır. Genel bir kural olarak, çeliklerdeki distorsiyonların düzeltilmesinde ısıtılan bölge sıcaklığı, yaklaşık olarak  $600^{\circ}\text{C}$  -  $650^{\circ}\text{C}$  (mat kırmızı sıcaklık) ile sınırlandırılmalıdır.

Isıtma esnasında bir süreksizlik yada ısı kaybı yaşanması durumunda operatör metalin soğumasını beklemeli ve ısıtmaya yeniden başlamalıdır [23].

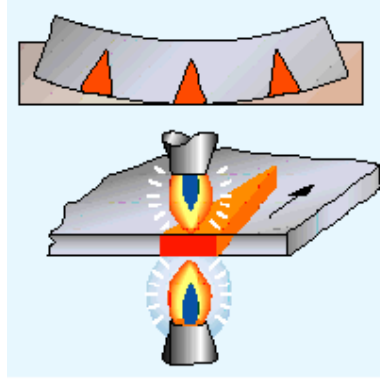
Termal yöntemle distorsiyon düzeltilmesinde en iyi sonuçları elde etmek için aşağıdaki uygulamalar gerçekleştirilmelidir:

- Levha malzemelerdeki bombeleşmeyi gidermek için noktasal ısıtma uygulanmalıdır.



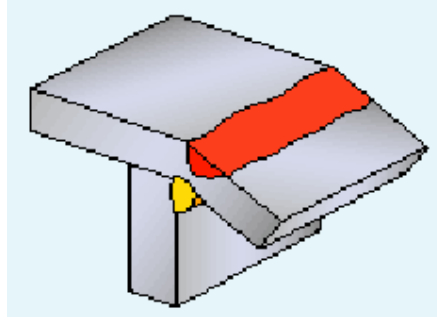
Şekil 3.16 Bombeleşmenin düzeltilmesi için noktasal ısıtma [23].

- İnce panellerin noktasal ısıtılması dışında, kama şekilli ısıtma tekniği kullanılmalıdır.



Şekil 3.17 Plakanın düzleştirilmesinde kama şekilli ısıtma uygulanması [23].

- Plakalardaki açılal distorsiyonların giderilmesinde çizgisel ısıtma kullanılmalıdır.



Şekil 3.18 Köşe kaynağındaki açılal distorsiyonun giderilmesinde çizgisel ısıtma uygulanması [23].

- Isıtma alanı parçanın daha fazla çarpılmasını engellemek amacıyla sınırlandırılmalıdır.
- Çeliklerde metalurjik değişimlerden kaçınmak için sıcaklık  $600^{\circ}\text{C}$  -  $650^{\circ}\text{C}$  (mat kırmızı sıcaklık) sınırlandırılmalıdır.
- Kama şekilli ısıtmada, ısıtma kamanın tabanından tepesine doğru yapılmalı, levha kalınlığının tamamına nüfuz etmesi sağlanmalı ve belirli bir sıcaklık değeri korunmalıdır.

### 3.3 Kaynak Emniyeti

Eğer kullanılan malzeme ile konstrüksiyonun gerektirdiği özelliklere karşılık veren, geçerli bir kaynaklı bileşen elde ediliyorsa kaynak emniyeti sağlanmıştır. Kaynak emniyeti; konstrüksiyondan ve bileşenin sonraki kullanımları esnasında ortaya çıkacak gerilmelerden etkilenir. Bileşenin maruz kalacağı gerilmenin tipi ve miktarı önemlidir. Yüksek gerilme yüklenme kapasitesine sahip bir malzeme, kaynak hataları oluşturulmaksızın kontrollü bir

şekilde kaynak edildiğinde, uygun olmayan bir konstrüksiyon bile uzun bir çalışma ömrünü gerçekleştirebilir [6].

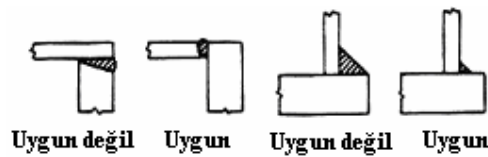
### 3.3.1 Tasarım

Kaynaklı bir birleştirme, birleştirilen parçalar ve mevcut yapı arasındaki gerilme aktarımını sağlamaya hizmet eder. Farklı noktalara etkiyen kuvvetler ve yükler, kaynak bölgesinden geçerek farklı alanlara taşınır. Kaynaklı bağlantının yükleme ve çalışma koşulları, onun tasarımını etkiler. Kaynaklı bağlantılar öncelikli olarak çalışmak zorunda oldukları koşulların gerektirdiği mukavemet ve emniyeti karşılayacak şekilde tasarlanır. Tasarım yapılırken, çalışma aşamasında uygulanacak çekme, kayma, eğilme veya burulma gibi gerilmeler göz önünde bulundurulmak zorundadır. Yüklemenin statik yada dinamik oluşu ve ayrıca yorulma da düşünülüyorsa farklı tasarımlar gerekebilir. Bağlantılar; gerilme yığılmaları oluşturmayacak yada azaltacak ve bir optimum gerilme aktarımı elde edilecek şekilde tasarlanmalıdır. Erozyon yada korozyona maruz kalacak bağlantılar, düzensizlik, yarık, çatlak ve bağlantıyı bu tür etkilere karşı hassaslaştıracak bölgeler içermeyecek şekilde yapılmalıdır.

Yukarıdakilere ilaveten, bağlantılar, yapım aşamasında ekonomik ve ulaşılabilir olacak şekilde detaylandırılmalıdır. Tasarımda göz önüne alınacak faktörler; distorsiyonun ve kendini çekme çatlama kontrolü, iyi bir işçiliğin kolaylaştırılması ve kusursuz kaynaklar yapılmasında büyük öneme sahiptir. Yapım aşamasındaki ulaşılabilirlik sadece maliyetlerin düşürülmesini sağlamaz, aynı zamanda daha iyi işçilik, hataların azalmasını, distorsiyon ve kalıntı gerilmelerin kontrolünü de sağlar.

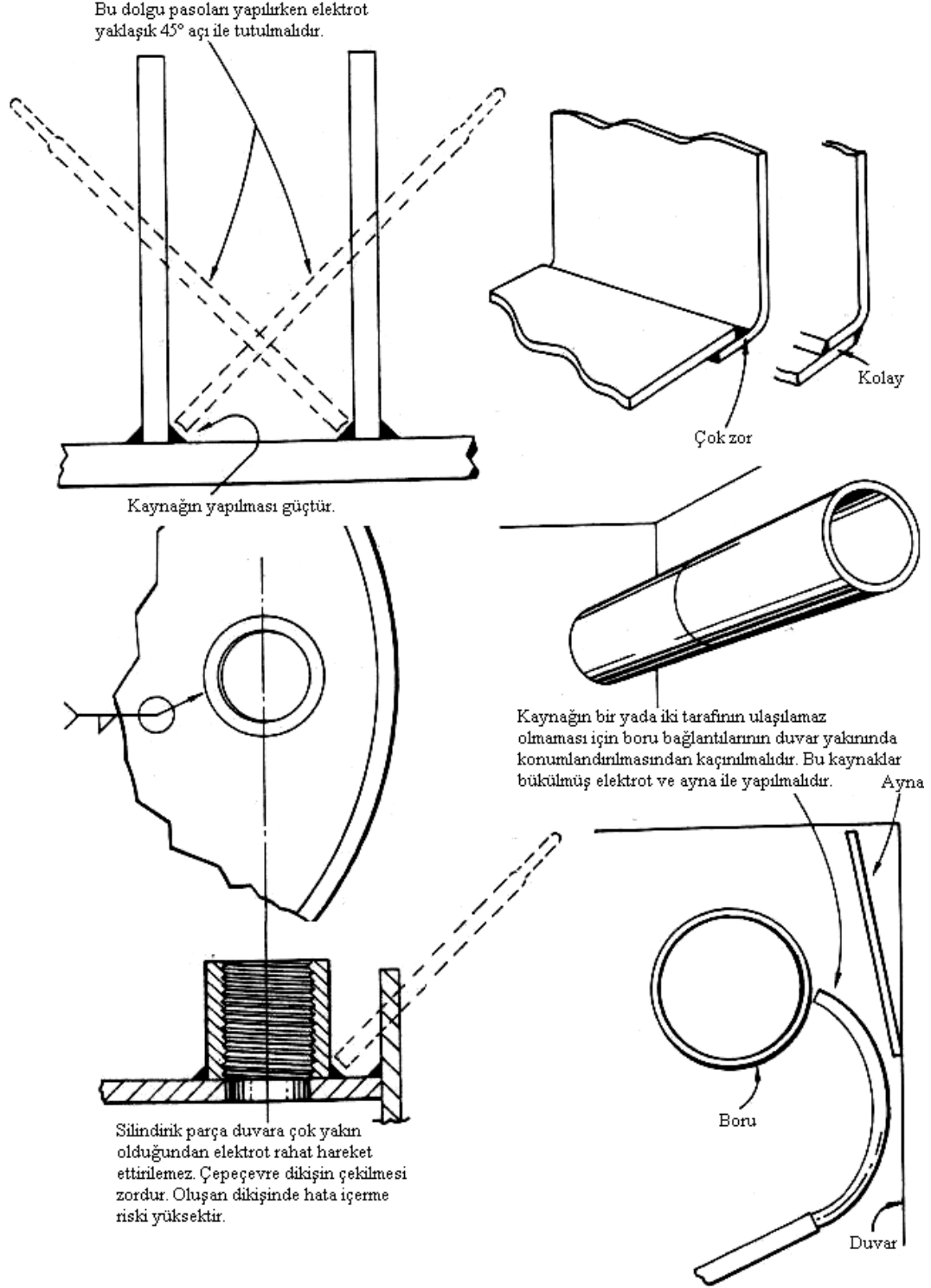
Bir kaynağın mukavemeti için en önemli kriter birleşme nüfuziyeti derecesidir. Tasarım yapılırken, istenen derecede birleşme nüfuziyeti ile sonuçlanan birleşme tasarımı seçilmelidir.

Mukavemetin yanı sıra ekonomiklik de tasarımda önem arz eden bir diğer parametredir. Buna göre ideal kaynaklı bağlantı, maruz kaldığı yükü tatmin edici bir emniyet payı ile taşırken hala minimum maliyetle imal edilebilir. Genellikle, belirlenen birleştirme ve kaynak tipleri, gereksiz maliyetten kaçınmak için en az miktarda dolgu malzemesi gerektirmelidir. Birleştirme; kaynak boyutunu, daha fazla miktarda kaynak metali gerektiren daha kalın elemanınkine eşleyerek daha mukavemetli yapılamaz (Şekil 3.19), (Nippes, 1983).



Şekil 3.19 Kaynak boyutunun tespit edilmesi (Nippes, 1983).

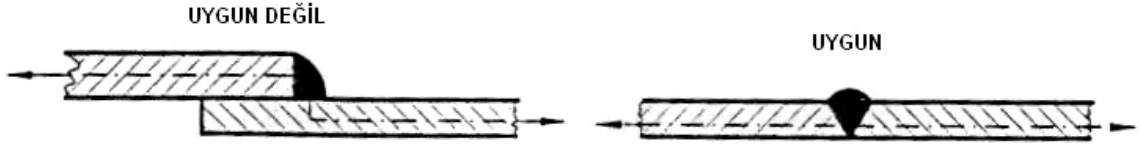
Bir kaynağın tasarımındaki önemli bir faktörde kaynak edilecek parçalara ulaşılabilirliktir. Kaynakçı kaynağı yaparken elektrotu hareket ettirebilmek için bir boşluğa ihtiyaç duyar. Şekil 3.20 yapılması genellikle zor olan bağlantı yerleşim örneklerini göstermektedir.



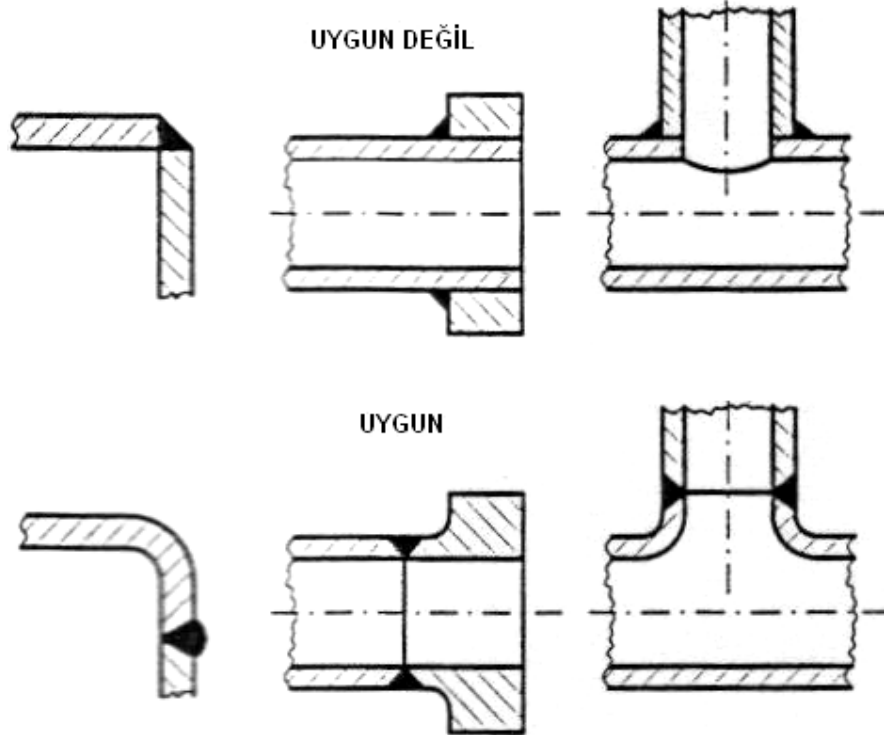
Şekil 3.20 Tasarımın ulaşılabilirlik üzerindeki etkisi (Nippes, 1983).

Tüm bu sayılan hususlar göz önüne alındığında, kaynaklı bağlantıların tasarımında dikkat edilmesi gereken noktaları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

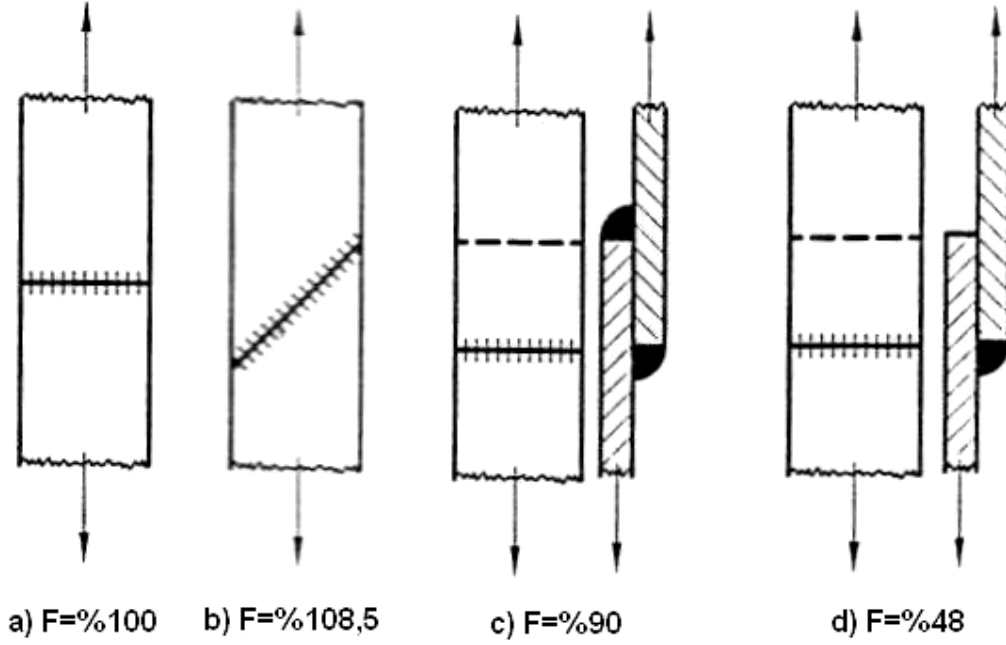
1- Kuvvet çizgileri kaynak dikişi içinde yön değiştirmemelidir. Örneğin alın kaynağı yerine bindirme kaynağı kullanılırsa, kayma gerilmesi oluşacağından dikiş kesiti fazla zorlanır ve taşıma kapasitesi düşer. (Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23). Şekil 3.23’ de kaynak dikişinin kuvvet taşıma durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Bindirme kaynağının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi (Cürgül, 2001).

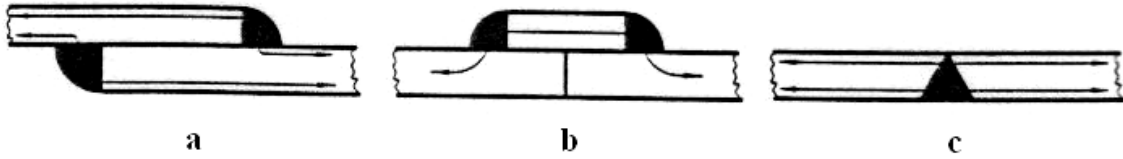


Şekil 3.22 Kaynak dikişi, kuvvetin yön değiştirme bölgesinde olmamalıdır (Cürgül, 2001).

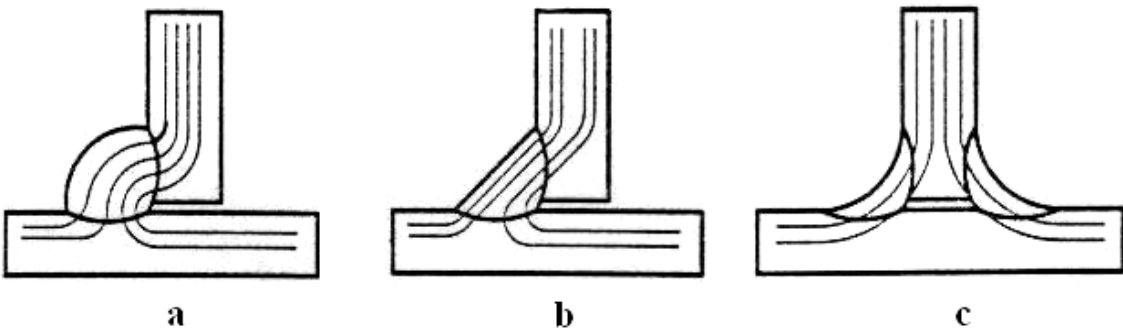


Şekil 3.23 Kaynak dikişlerinin yük taşıma kapasiteleri (Cürgül, 2001).

2- Kaynak dikişlerinde kuvvet akış çizgilerinin düzgün olmasına dikkat edilmelidir. Buna göre alın kaynağı (Şekil 3.24, a) bindirme kaynağına (Şekil 3.24, a ve b), köşe kaynağında oyuk köşe dikişi (Şekil 3.25, c) düz köşe dikişine (Şekil 3.25, b) ve bu da bombeli köşe dikişine (Şekil 3.25, a) tercih edilmelidir.

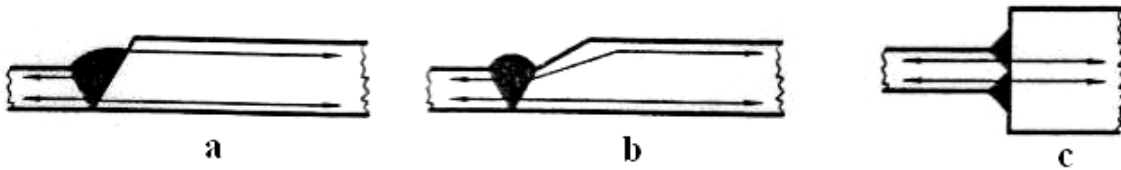


Şekil 3.24 Kaynak dikişi içindeki kuvvet akış çizgileri (Cürgül, 2001).



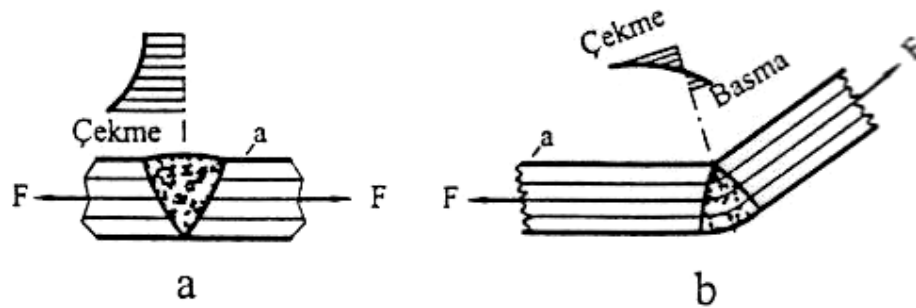
Şekil 3.25 Kuvvet akış çizgilerinin kaynak dikişindeki dağılımı (Cürgül, 2001).

3- Birbirinden farklı kalınlıktaki iki parçanın alın kaynağında, kalın olan parça kaynak dikişine doğru küçük bir eğimle inceltilerek, kaynak bölgesinde kalınlık değişiminin kademe şeklinde keskin olmaması sağlanmalıdır (Şekil 3.26, a ve b) veya ince olan parçanın her iki tarafı kaynak edilmelidir (Şekil 3.26, c). Kaynak bölgesinde ani kalınlık değişimi, mukavemet bakımından sakıncalı olup çentik etkisini artırır. Özellikle dinamik yük etkisinde bu durum daha büyük öneme sahiptir. Farklı kalınlıktaki sacların alın kaynağında; kalın sac, ince sac kalınlığına kadar işlenerek, bağlantının dinamik yük taşıma yeteneği artırılır. İnceltilmiş kısmın uzunluğu, ince sac parça kalınlığının üç katından az olmamalıdır.



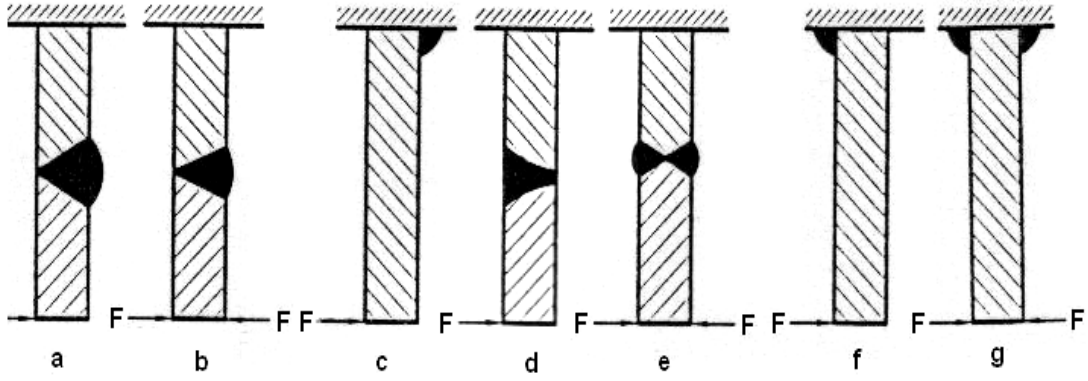
Şekil 3.26 Farklı kalınlıktaki malzemelerin kaynağı (Cürgül, 2001).

4- Kaynak dikişinin kök kısmında oldukça büyük çekme gerilmesi yığılmaları meydana gelmektedir (Şekil 3.27, a ve b). Bu nedenle eğilme etkisindeki parçalarda kaynak dikişi kökü çekme gerilmesi etkisinde kalmamalıdır. Çünkü kaynak kökü kaynağın kalitesi yönünden en zayıf bölgedir ve bu yüzden çekmeye karşı çok hassastır. Bu bölgeler genellikle basma etkisinde kalacak şekilde zorlanmalıdır (Şekil 3.28). Şekil 3.28' deki a,b ve c uygun olmayan; d,e,f ve g uygun kaynak dikişleridir.



Şekil 3.27 Kaynak dikiş kökü çekme etkisinde kalmamalıdır (Cürgül, 2001).



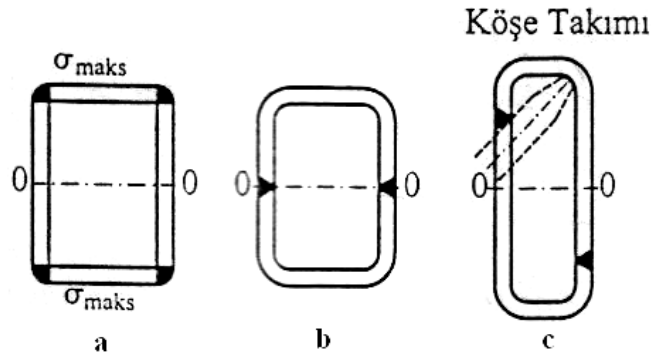


Şekil 3.28 Kaynak dikiş kökleri çekmeye karşı hassastır (Cürgül, 2001).

5- Kaynak işlemi sırasında parçaların maruz kaldığı farklı sıcaklıklar nedeni ile dikiş bölgesinde ısıl gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler ise kaynak edilen parçalarda şekil değiştirme ve çarpılmalara sebep olur. Bunu önlemek için:

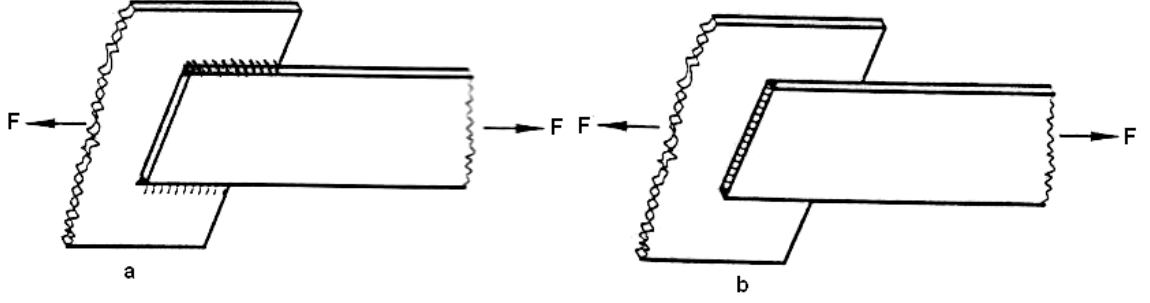
- Kaynak dikişleri az ve basit olmalıdır. Bu amaçla kaynak edilecek parçalar şekil bakımından basit (levha, silindir, profil vb.) ve yeteri kadar büyük olmalıdır.
- Kalın ve kısa kaynak dikişleri yerine, ince ve uzun dikişler tercih edilmelidir.
- Nispeten büyük parçalar kaynak işleminden sonra gerilme giderme tavlmasına tabi tutulmalıdır.

6- İşletme anında gelecek kuvvetlerin oluşturacağı gerilmeleri doğru değerlendirip, tasarımda kaynak dikişinin yeri, gerilmelerin sıfır veya çok az olduğu bölgeler olacak şekilde seçilmelidir (Şekil 3.29). Kaynak dikişi hatalı bir şekilde gerilmelerin en çok olduğu bölgeye yapılacak olursa, kaynağın sebep olabileceği çentik ve iç gerilmeler nedeniyle gerçekte karşılaşılabilecek gerilmeler, hesaplanandan çok daha büyük olacak ve emniyet sınırı aşılabilecektir. Şekil 3.29, b veya c tercih edilmelidir.



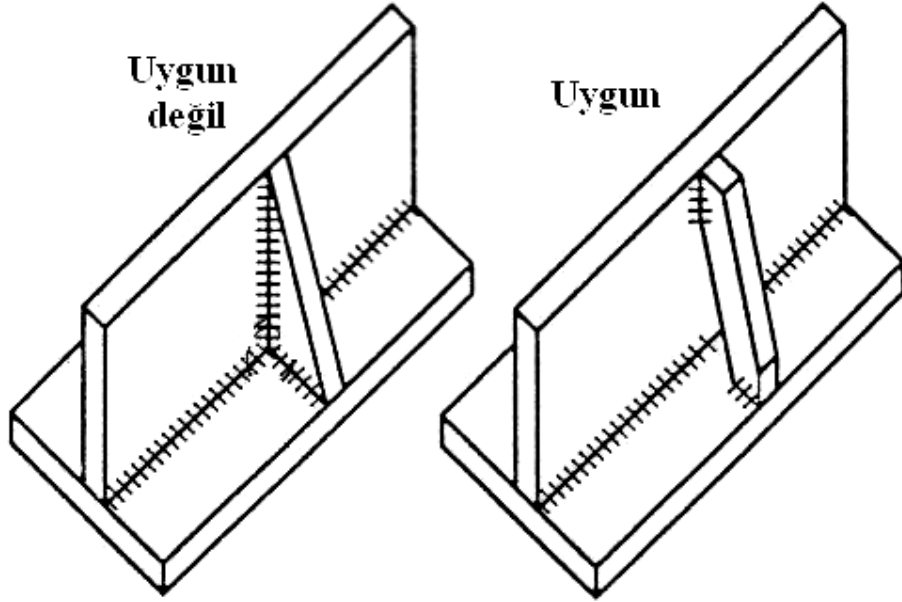
Şekil 3.29 Kaynak dikişinin yeri uygun seçilmelidir (Cürgül, 2001).

- 7- Çentik etkisi bakımından yan köşe kaynağı (Şekil 3.30, a), alın köşe kaynağından (Şekil 3.30, b) daha uygundur.

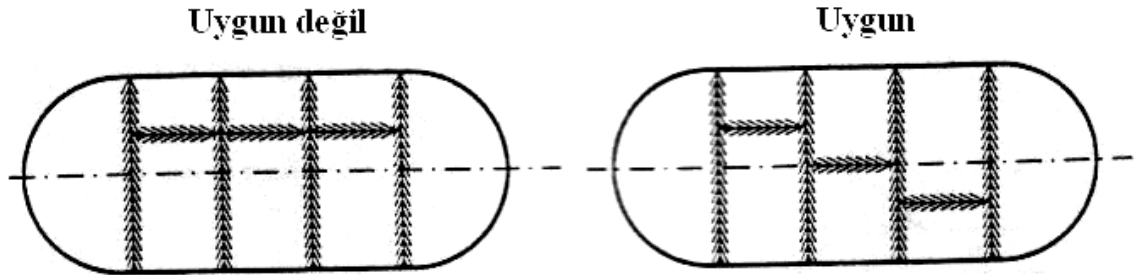


Şekil 3.30 Kaynakta çentik etkisi (Cürgül, 2001).

- 8- Mukavemetin düşürülmemesi için düğüm noktalarından kaçınılmalıdır. Şekil 3.31 deki köşe birleştirme ile Şekil 3.32 deki kazan konstrüksiyonu buna örnek gösterilebilir.

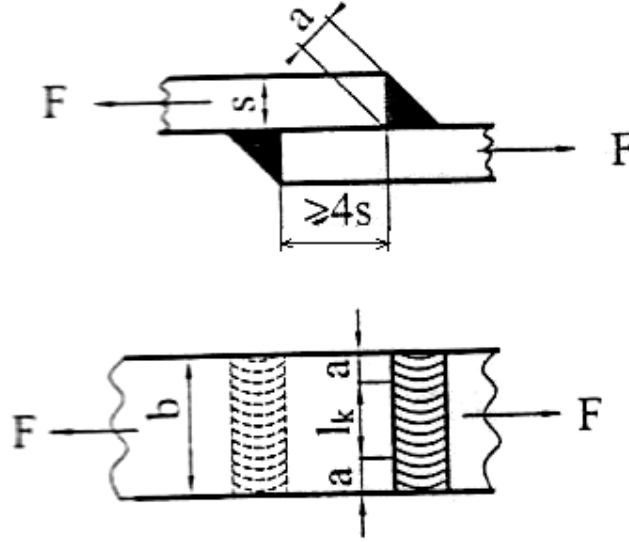


Şekil 3.31 Kaynakta düğüm noktasından kaçınılmalıdır (Cürgül, 2001).



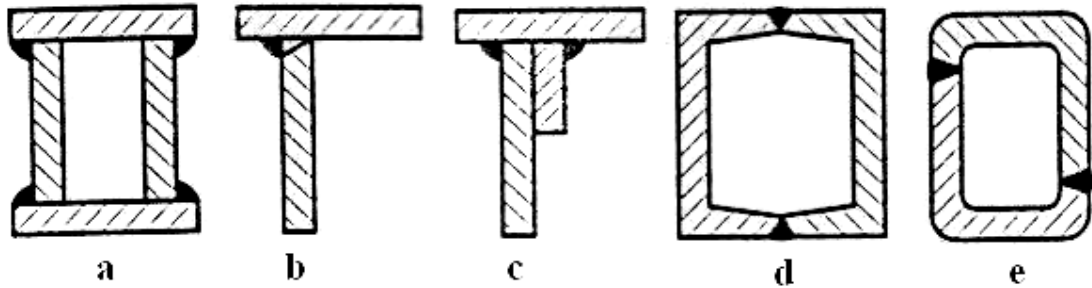
Şekil 3.32 Düğüm noktaları mukavemeti olumsuz etkiler (Cürgül, 2001).

9- Kuvvet taşıyan dikişlerin kalınlığı en az 4 mm olmalıdır. Ayrıca alın köşe kaynağında kuvvet çiftinin oluşturduğu momentin etkisini azaltmak için kaynak dikişlerinin arası  $4s$  uzunluğundan daha büyük olmalıdır (Şekil 3.33).



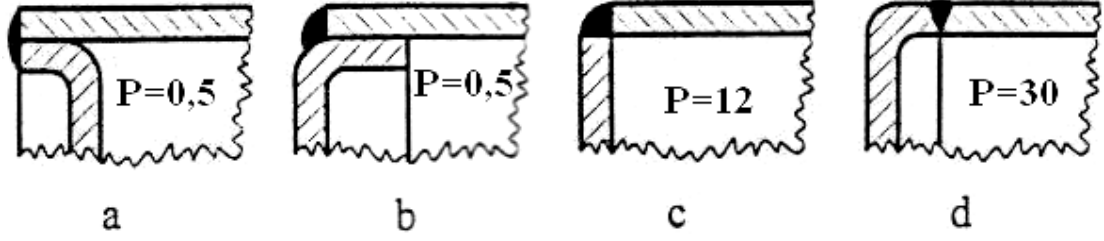
Şekil 3.33 Kaynak dikiş boyutları arasındaki ilişki (Cürgül, 2001).

10- Kapalı ve içi boş kesitler elde etmek için Şekil 3.34' deki örneklerden yararlanılabilir. İç kısımdan kaynak yapılamayan küçük içi boş kesitler için (a) örneğindeki gibi yalnız dış köşe dikişleri kullanılabilir. Daha büyük kesitler için (b) deki gibi kaynak yapma veya (c) deki gibi önceden yardımcı parça kaynak edilmesi daha uygundur. Ayrıca içi boş kesitler için (d) deki gibi profil parçalardan yararlanılabilir. İnce cidarlı içi boş kesitler için ise (e) deki yöntem seçilmelidir.



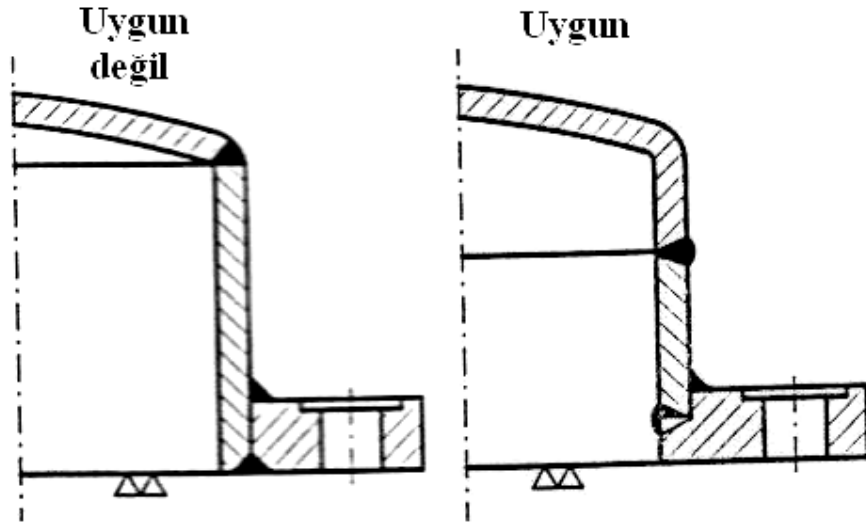
Şekil 3.34 Kapalı kesitlerin kaynak özellikleri (Cürgül, 2001).

11- Silindirik basınçlı kaplarda taban kısımlarının kaynağında düz sac malzemeler kullanılmamalıdır. Çünkü eğilme etkisi yaparak dikişi patlatır. Şekil 3.35 de çeşitli kaynak tasarımları için dikişlerin emniyetli basınç değerleri  $N/mm^2$  olarak verilmiştir.



Şekil 3.35 Silindirik basınçlı kapların  $N/mm^2$  cinsinden emniyetli basınç değeri (Cürgül, 2001).

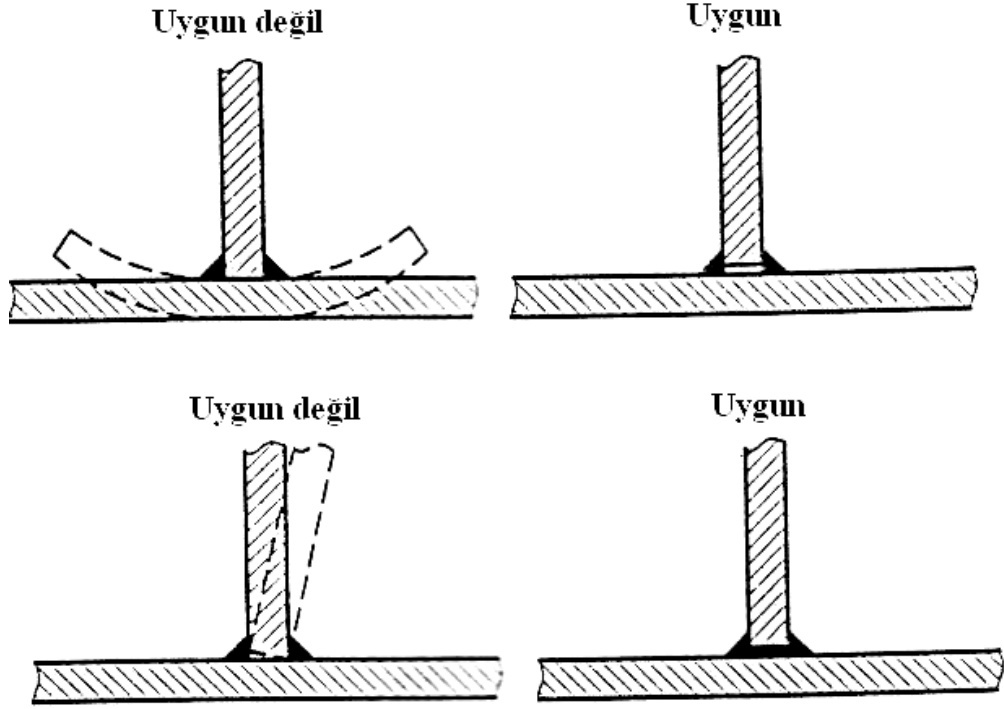
12- Kaynak dikişi işlenecek yüzeylere konmamalıdır. Aksi halde hem işçilik artar hem de kaynaklı kısmın işlenmesinde güçlük çekilir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 İşlenecek yüzeylerde kaynak dikişi olmamalıdır (Cürgül, 2001).

13- Kaynak sırasında meydana gelen farklı soğuma ve çekmelerin oluşturduğu büzülme gerilmeleri ve şekil değiştirmeler için önlemler alınmalıdır.

a) İç köşe dikişleri olanaklar çerçevesinde çift dikiş olarak yapılmalıdır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 İç köşe dikişler çift yapılmalıdır (Cürgül, 2001).

b) İnce levhalar kaynak sonrası oluşan gerilmelerden dolayı dışa doğru bombe yaparlar. Bu nedenle ince levhalar yerine kalın levhalar kullanılmalıdır (Şekil 3.38).



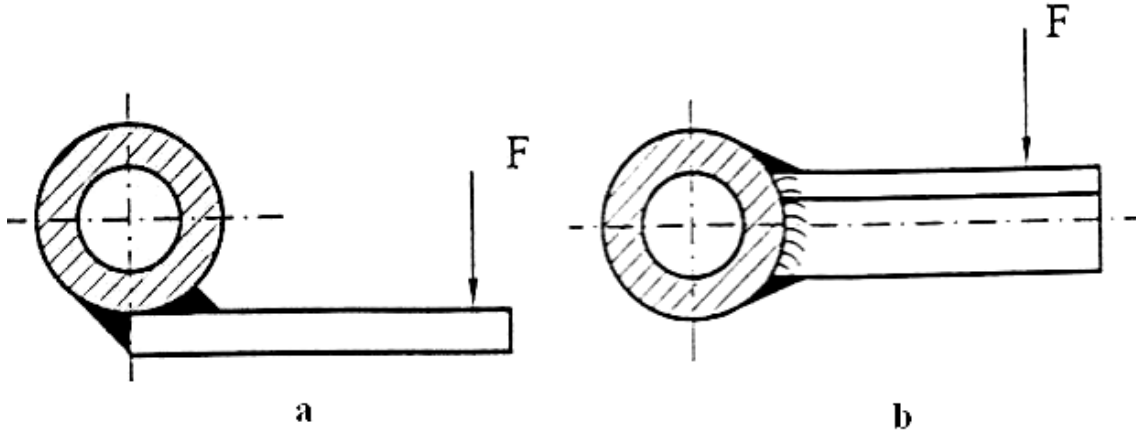
Şekil 3.38 İnce levha yerine kalın levha tercih edilmelidir (Cürgül, 2001).

c) İşlenmiş parçaların üst üste kaynak edilmesinde yüzeyler arasında gaz sıkışmasını önlemek için delik açılmalıdır (Şekil 3.39).



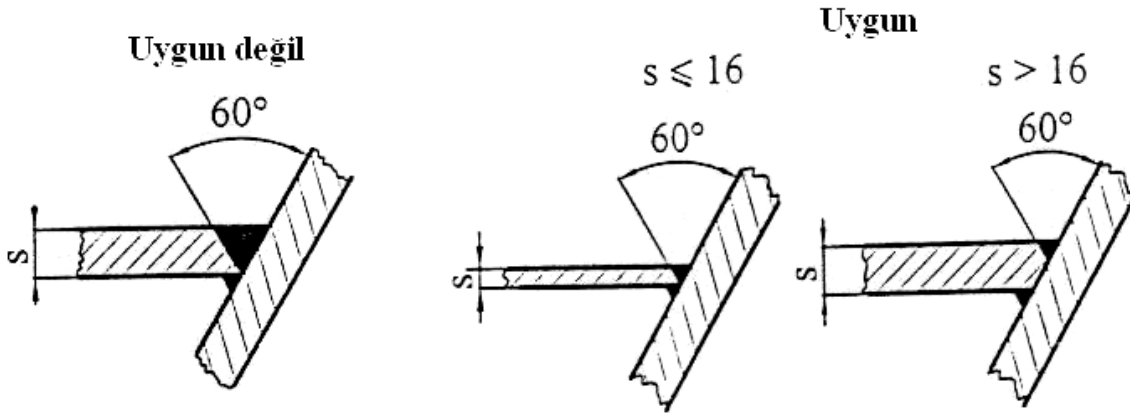
Şekil 3.39 Delik açılarak gaz sıkışması önlenmelidir (Cürgül, 2001).

14- Kaynak dikişleri şekillendirilen elemanın en çok zorlanan bölgelerine konulmamalıdır. Ancak zorunluluk halinde mukavemet kurallarına uygun önlemler alınmalıdır. Şekil 3.40, a' daki tasarım zayıf, Şekil 3.40, b' deki ise daha uygun çözümdür.



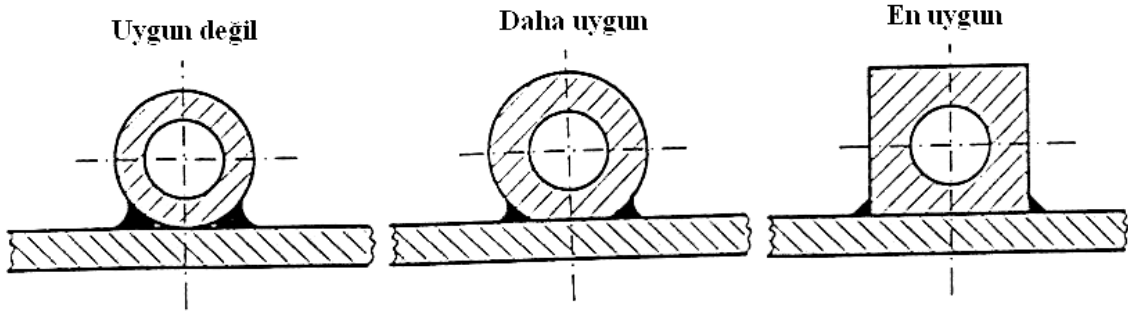
Şekil 3.40 Kaynak dikişi az zorlanan yerlere konmalıdır (Cürgül, 2001).

15- Eğimli birleştirmelerde kaynak ağzından dolayı keskin köşe oluşmasına meydan verilmemelidir.  $s \leq 16$  mm için keskin köşe kullanılabilir (Şekil 3.41).



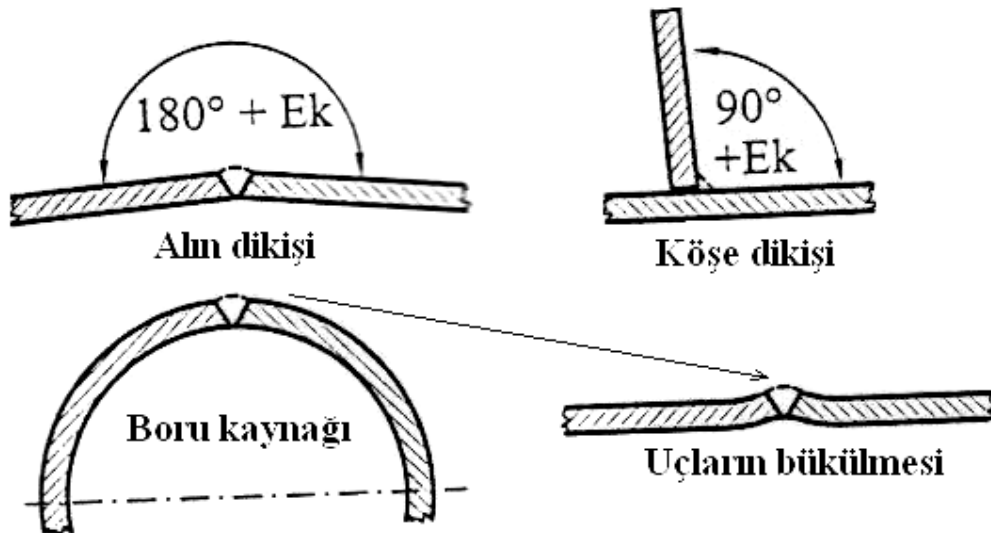
Şekil 3.41 Kaynak ağzı keskin köşeye neden olmamalıdır (Cürgül, 2001).

16- Kaynak edilecek kısımlar kolay ulaşılabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Çelik yapılarda zor ulaşılarak kaynak edilmiş dikişler ve  $60^\circ$  den (en az  $45^\circ$ ) küçük dikiş ağzına sahip bağlantılar yük taşıyıcı olarak kabul edilmezler. Özellikle silindirik parçaların düz parçalara kaynağında kaynak ağzı açısı çok küçüktür. Mümkün olduğunca aradaki açı dik veya geniş açı olacak şekilde uygun tasarım seçilmelidir (Şekil 3.42).

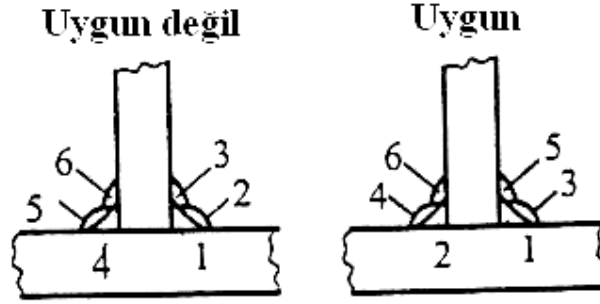


Şekil 3.42 Kaynak yapılacak bölgeye kolay ulaşılmalıdır (Cürgül, 2001).

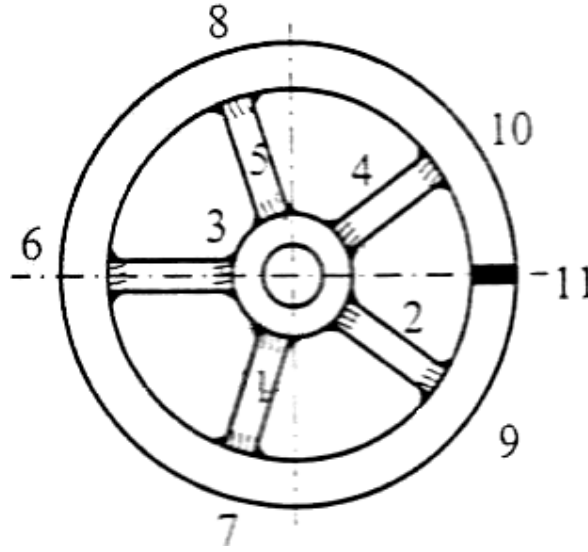
17- Kaynaktan dolayı parçalarda çekme olacağı dikkate alınarak, birleştirilecek parçaların birbirlerine göre konumlarına başlangıçta bir tür ön deformasyon verilmeli, köşe kaynağında ise açı  $90^\circ$  den biraz fazla alınmalıdır (Şekil 3.43). Bu ön deformasyon yeterince deneyim sahibi olmayı gerektirir ve üretim açısından her zaman mümkün olmayabilir. Alın ve köşe kaynağında her bir pasoda çeşitli kaynak sıraları uygulanarak çekmenin en aza indirgenmesi sağlanabilir. Çift yönlü köşe dikişlerinde bir sağ, bir sol tarafa kaynak yapılarak  $90^\circ$  lik açının değişmesi önlenir (Şekil 3.44). Çerçeve, kasnak vb. elemanların şekillendirilmesinde kaynak işlemine, kasnak göbeğinden başlanmalı, daha sonra Şekil 3.45' de belirtilen sıra izlenerek, çember kısmı kaynak edilmelidir. Böylece son kaynağa kadar kasnağa genleşme veya büzülme serbestliği sağlanmış olur.



Şekil 3.43 Ön deformasyonla kaynak sonrası çekilmelerin önlenmesi (Cürgül, 2001).

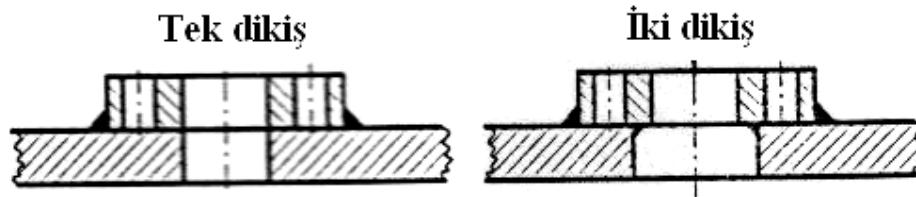


Şekil 3.44 Kaynakta paso sırası (Cürgül, 2001).



Şekil 3.45 Kasnakta kaynak pasosu sırası (Cürgül, 2001).

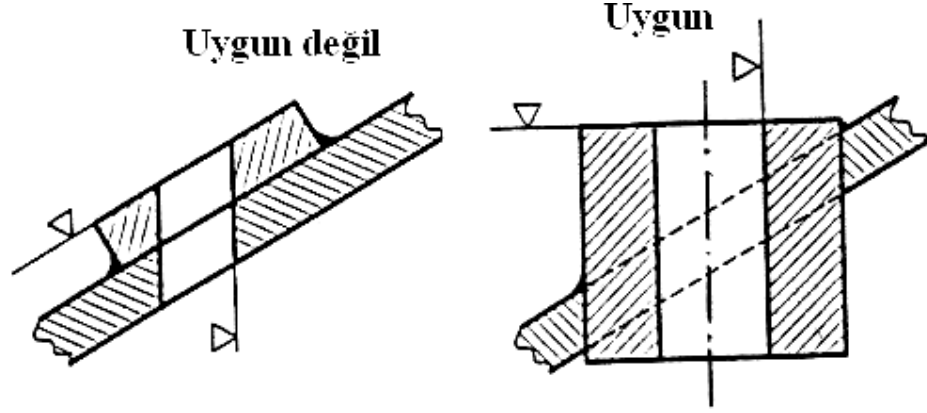
18- İki levha kaynak edilirken göbek içine de dikiş konabilir (Şekil 3.46).



Şekil 3.46 Takviyeli kaynak dikişi (Cürgül, 2001).

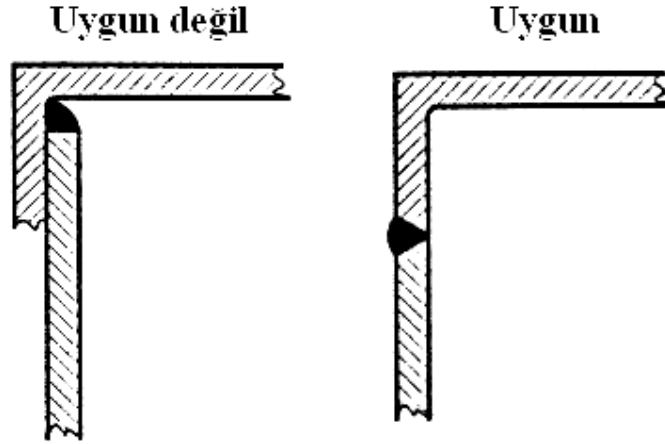
19- İşlenmiş delikli yüzeylerin eğimli birleştirmelerinde, işleme yüzeyleri birbirine dik olacak halde şekillendirilmelidir. Esasen böyle durumlarda deliğin tek parçada öngörülmesi ve diğer parçaya yanlardan kaynakla bağlanması en uygun çözümdür (Şekil 3.47).





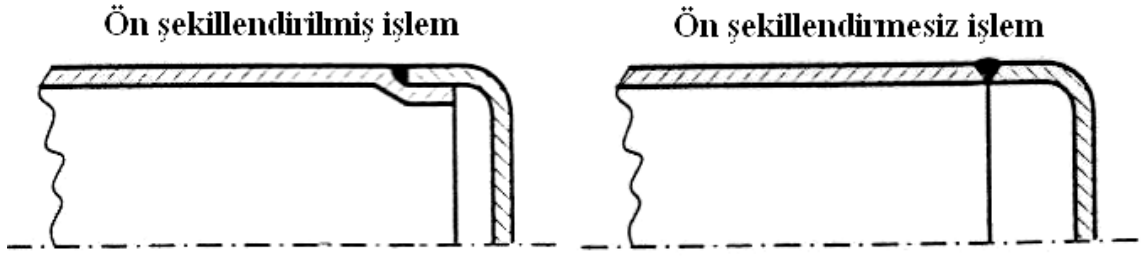
Şekil 3.47 Kaynakta işlenecek yüzeyler birbirine dik olmalıdır (Cürgül, 2001).

20- Kaynak dikişleri, kolay ulaşılabilecek yerlere konmalıdır. Bu durum, gerek kaynak sırasında işçiliğin azalması ve daha kaliteli kaynak yapılması, gerekse kaynak sonrası yapılacak işlemlere kolaylık sağlaması bakımından gereklidir. Zorunlu olmadıkça iç köşe kaynağı yapılmamalıdır (Şekil 3.48).



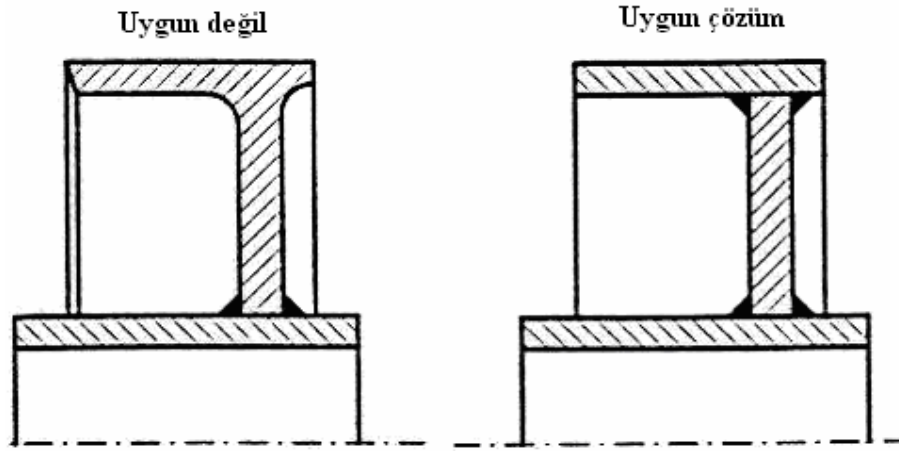
Şekil 3.48 Kaynak dikişi kolay ulaşılacak yerlere konmalıdır (Cürgül, 2001).

21- Gerektiği zaman kaynak yapılacak bölgede ön şekillendirme yapılmalıdır. Ön şekillendirme işlemi, montajı kolaylaştırması yanında, işçilik ve diğer üretim masraflarını arttırır. Bu iki etken birlikte göz önünde tutularak optimum çözümün gerektirdiği kadar ön şekillendirme yapılmalıdır (Şekil 3.49).



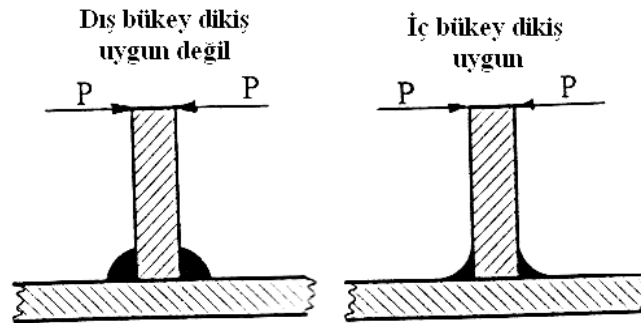
Şekil 3.49 Ön şekillendirme işçilik ve maliyeti artırır (Cürgül, 2001).

22- Kaynaklı birleştirme yapılırken olanaklar çerçevesinde çeşitli profiller (prizmatik, silindirik vb. kesitlerde) veya kenarı düzeltilmiş sac malzeme kullanılmalıdır. Bu durumun malzeme masraflarını azaltması yanında kaynak işçiliğini arttırdığı da unutulmamalıdır (Şekil 3.50).



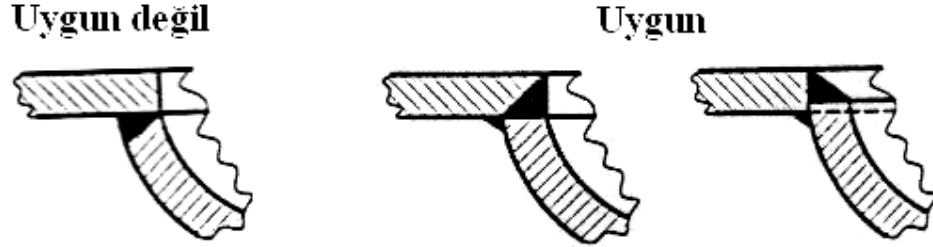
Şekil 3.50 Ucuz malzeme pahalı işçilik gerektirir (Cürgül, 2001).

23- Dinamik gerilmelere maruz iç köşe dikişleri çentik etkisini önlemek için içbükey yapılmalıdır. Aksi halde dinamik zorlanmalar sonucu kaynak dikişi kısa sürede çatlayabilir (Şekil 3.51).



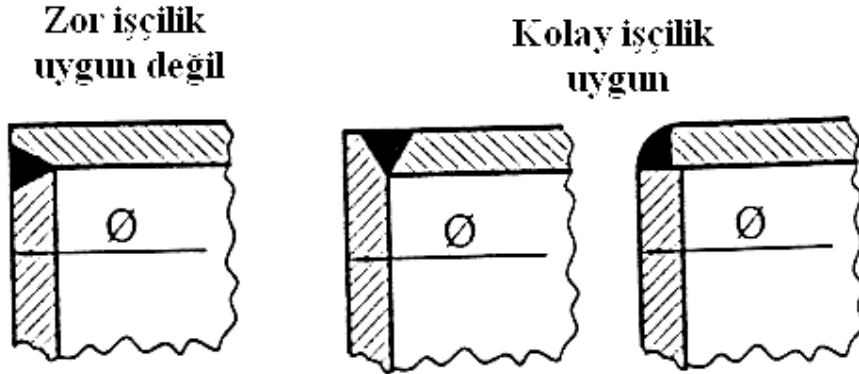
Şekil 3.51 Dinamik zorlanmalar iç köşe dikişler için tehlikelidir (Cürgül, 2001).

24- Flanşların gövdeye bağlandığı tasarımlarda kaynak ağızlarının gövde yerine flanşa açılması daha uygundur. Flanşın gövdeye göre küçük ve hafif olması sonucu üretim masrafları düşer, ayrıca ön işlem sırasında yapılabilecek yanlışlıkların neden olacağı daha büyük zararlar önlenmiş olur (Şekil 3.52).



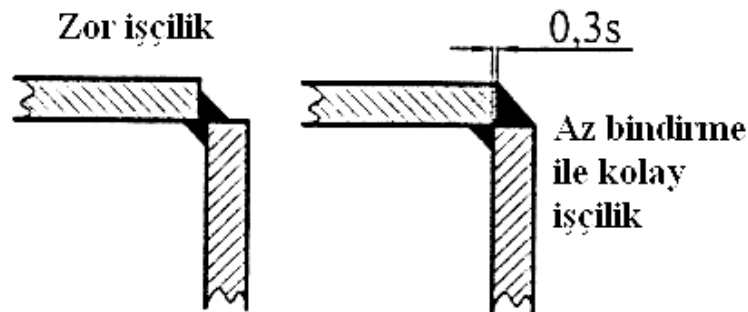
Şekil 3.52 Kaynak ağızı gövdeye değil flanşa açılmalıdır (Cürgül, 2001).

25- Silindirik parçaların kaynakla birleştirilmelerinde dikişler, olanaklar dahilinde parça çevrilmeden yapılabilmelidir (Şekil 3.53).



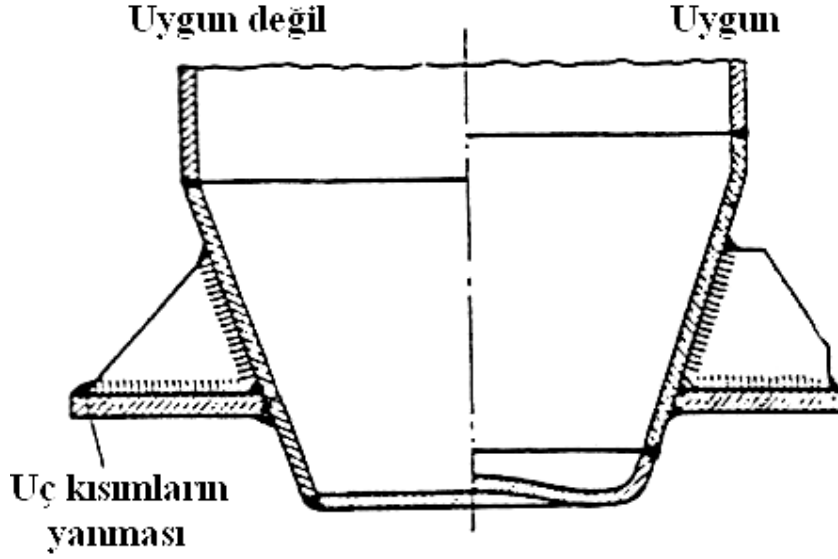
Şekil 3.53 Dairesel parçaların kaynağı (Cürgül, 2001).

26- Sac parçaların köşe kaynağında bindirme olmaksızın kaynak yapmak çok zor olacağından en az 0.3 s kadar bir bindirme yapılmalıdır (Şekil 3.54).



Şekil 3.54 Köşe kaynağında bindirme yapmak zorunludur (Cürgül, 2001).

27- Sac kenarlarının ince olması halinde, bu bölgeler kaynak sırasında yanabileceğinden, parçaların şekillendirilmesinde bu duruma dikkat edilmelidir. Şekil 3.55’ deki tasarım bu konuda uygun bir çözüm örneği oluşturmaktadır.



Şekil 3.55 Bir sıvı deposunun kaynaklı tasarımı (Cürgül, 2001).

### 3.3.2 Zorlama durumu ve çeşitleri

Kaynak kalitesi büyük ölçüde malzemeye, kaynak metoduna ve kaynak personeline bağlıdır. Kaynağın amaca uygunluğu düşünüldüğünde, kaynak kalitesinin konstrüksiyonun mukavemeti ile doğrudan ilgili olduğu ortaya çıkar. Kaynaklı bağlantıların mukavemetine etki eden faktörlerin çokluğu konstrüksiyonda önemli zorluklara sebebiyet verir. Bağlantılarda dikiş şekilleri nedeniyle çentik etkisi, özellikle kalın parçalardaki farklı soğuma hızı nedeniyle iç gerilmeler meydana gelir. Kaynak dikişleri zorlanma şekli bakımından eğilme ve çekmeye karşı fazla hassastır. Çekme zorlanmaları; çentik etkisi altında daha da tehlikeli bir hal alır.

Mukavemet kurallarına göre, kaynak dikişi, yapı elemanının parçası olarak göz önüne alınmalıdır. Ancak dikişlerde meydana gelen gerilmeler mümkün olduğunca doğru tayin edilerek emniyet gerilmesi ile kıyaslanmalı ve tehlikeli bir durum olup olmadığı kontrol edilmelidir. Kaynak dikişinde meydana gelen gerilmeler; kaynağın kalitesi, dikişin şekli ve iç gerilmeler gibi birçok etkene bağlıdır. Ayrıca kaynak dikişinin zorlanma şekli (statik, değişken, darbe yükü gibi) dikişin sürekli mukavemetine etkileyen diğer bir faktördür. Bu nedenle kaynak dikişinin emniyet gerilmesi tayininde bu faktörlerin göz önünde tutulması gerekmektedir (Cürgül, 1997).

Yukarıda sayılan etkenler “zayıflatma faktörü” adı verilen bir katsayı ile hesaba katılır ve basit bir şekilde;

Normal gerilmeler için;

$$\sigma_{kem} = V \cdot \sigma_{em} \quad (3.4)$$

Kayma gerilmeleri için;

$$\tau_{kem} = V \cdot \tau_{em} \quad (3.5)$$

olarak hesaplanabilir. Burada;  $\sigma_{em}$  ve  $\tau_{em}$  ; kaynak edilen malzemenin emniyet gerilmesidir ve hesaplanmasında S emniyet katsayısı 1,5 ila 3 arasında seçilir. Eşitliklerdeki V, zayıflatma faktörüdür. Bu faktör denemeler ve pratikten tecrübelerle tayin edilmiş olup özellikle dinamik zorlanmalar için;

$$V = V_1 \times V_2 \times V_3 \quad (3.6)$$

şeklindedir.

Burada,  $V_1$ , kaynak dikiş faktörü; dikiş şekline ve zorlanma durumuna bağlı bir katsayıdır. Ancak statik zorlanmalarda bütün dikiş şekilleri için bu faktör 1 olarak alınır. Dinamik zorlanmalarda bu değer Çizelge 3.8’ den seçilir.

$V_2$ , kaynak kalitesi faktörü; kaynağın kalitesine bağlı olarak

I. Kalite için :  $V_2 = 1,0$

II. Kalite için :  $V_2 = 0,8$

III. Kalite için :  $V_2 = 0,5$  şeklinde verilir.

$V_2$ , kaynak kalitesi faktörünün seçiminde kullanılan kalite gruplarının belirlenmesinde kaynak kalitesine etki eden faktörler göz önüne alınır. Bunlar kabaca; malzeme, hazırlık aşaması, kaynak yöntemi, kaynak ara malzemesi, personel ve kontrol aşamalarıdır. Buna göre; I. Kalite grubunda; yukarıda sayılan faktörlerin tamamının uygunluğu sağlanarak yapılan kaynak dikişleri, II. Kalite grubunda; sadece kontrol edilmeyen kaynak dikişleri, III. Kalite grubunda ise sadece kaynak tekniğine uygun olarak yapılan ve diğer şartların aranmadığı kaynak dikişleri belirtilmektedir (Cürgül, 1997).

Çizelge 3.8 Dinamik zorlanmalar için  $V_1$ , kaynak dikiş faktörü (Cürgül, 1997).

Dikiş cinsi		$V_1$ Zorlanma Cinsi		
		Çekme- Basma	Eğilme	Kesme
Alın dikişi	V dikişi, dikiş dibi kaynak edilmemiş.	0,5	0,8	0,4
	V dikişi, dikiş dibi kaynak edilmiş.	0,7	0,85	0,55
	X dikişi.	0,7	0,8	0,55
Köşe kaynağı	Tek taraflı düz dikiş	0,2	0,1	0,2
	İki taraflı düz dikiş	0,35	0,7	0,35
	İki taraflı çökük dikiş	0,4	0,85	0,4
	İki taraflı K dikişi	0,55	0,8	0,45
Alın köşe dikişi		0,22		
Yan köşe dikişi		0,25		

$V_3$ , darbe faktörü; çalışma esnasında işletme şartlarından dolayı, makinelerde oluşan darbelerin göz önüne alınması durumudur. Darbenin şiddetine göre şu şekildedir:

Ufak ve zayıf darbelerde :  $V_3 = 1,0-0,9$

Orta darbelerde :  $V_3 = 0,8-0,7$

Kuvvetli darbelerde :  $V_3 = 0,5$

Çok kuvvetli darbelerde :  $V_3 = 0,3$

Kaynak dikişinin bileşik gerilmeye maruz kalması halinde, eşdeğer gerilme;

$$\sigma_{maks} = \frac{1}{2} \cdot \left( \sigma_k + \sqrt{\sigma_k^2 + 4\tau_k^2} \right) \leq \sigma_{kem} \quad (3.7)$$

olmalıdır. Buna ek olarak;  $\tau_k \leq \tau_{kem}$  şartının da tek başına gerçekleşmesi gerekir.

### 3.4 Kaynak Personelinin Eğitimi

Kaynak kalitesi kavramı göz önüne alındığında, kaynakla ilgili olarak çalışan personelin kalifikasyonu da kaliteyi etkileyen bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Kalitenin oluşturulması ve artırılması şüphesiz ki, kaynak personelinin teknik yeterliliğine bağlıdır. Kaynakçıdan kaynak muayene operatörüne kadar tüm personelin, bilgi, beceri, tecrübe ve ilgili sertifikasyona sahip olması kalitenin korunmasında ve artırılmasında esastır.

Teknolojik gelişmeler, globalleşen ekonomi ve ortak pazar oluşumları neticesinde kaynak personelin yetkinliği, bireysel yetkinlikten çıkarak ulusal ve uluslar arası standartlara tabi olmuştur. Bu açıdan konuya bakıldığında geniş çapta hizmet ve eğitim kaynağı olarak iki kuruluş ön plana çıkmaktadır. Bunlar; EWF (European Federation for Welding, Joining and Cutting) yani “Avrupa Kaynak Federasyonu” ve IIW (International Institute for Welding) “Uluslararası Kaynak Enstitüsü” dür (Jessop, 2005).

Seksenli yılların sonunda, EWF, kaynak alanında uyum sağlanmış bir şartlar serisinin Avrupa pazarının desteklenmesinde değerli bir çalışma olacağına farkına varmıştır. Kaynak personeli daha mobil olurken ülke dışındaki ulusal kaynak şartlarının tanınması için herhangi bir mekanizma bulunmamaktaydı. Bu sebeple EWF, kaynak personelinin eğitimi, sınavları ve kalifiye edilmesi amacıyla kılavuzlar geliştirmek için çalışmaya başlamıştır.

Yaklaşık 2000 yılında, EWF bir takım kılavuzları başarıyla oluşturduktan sonra, EWF ve IIW ayrı olan yetkinlik şemalarını IAB (International Authorisation Board) “Uluslararası Uygunluk Heyeti” nde birleştirdi. 2004 yılı sonu itibarı ile bu kılavuzların sayısı 18’ e yükselmiş durumdadır, Çizelge 3.9. Bunlardan bazıları EWF ve IIW’ nün ortak kılavuzu, bazıları ise sadece EWF’ nundur.

Çizelge 3.9 EWF/IIW kılavuzları (Jessop, 2005).

Doc. IAB-002-2000/EWF-409 1. Rev.	Uluslararası/Avrupa Kaynak Mühendisi
Doc. IAB-003-2000/EWF-410 1. Rev.	Uluslararası/Avrupa Kaynak Tekn. Uzmanı
Doc. IAB-004-2000/EWF-411 1. Rev.	Uluslararası/Avrupa Kaynak Uzmanı
Doc. IAB-005-2001/EWF-451	Uluslararası/Avrupa Kaynak Pratisyeni

Doc. IAB-041-2001/EFW-450	Uluslararası/Avrupa Kaynak Muay. Pers.
Doc. IAB-089-02/EFW-452-467-480-481	Uluslararası Kaynakçı
Doc. EWF-525-01	Direnç Kay. için Avrupa Kaynak Uzmanı
Doc. EWF-570-01	Avrupa Sualtı Elk. Ark. Kaynakçısı
Doc. EWF-591-01	Avrupa Termal Püskürtme Pratisyeni
Doc. EWF-459-01	Avrupa Termal Püskürtme Uzmanı
Doc. EWF-507-01	Avrupa Termal Püskürtme Çalışanı
Doc. EWF-517-01	Avrupa Adhezif Mühendisi
Doc. EWF-516-01	Avrupa Adhezif Uzmanı
Doc. EWF-515-01	Avrupa Adhezif Birleştiricisi
Doc. EWF-530-01	Robot Kaynağı Kursu
Doc. EWF-544-01	Güçlendirme Çub. Kaynağı Kursu
Doc. EWF-623-01	NDT Pers. için Kaynak Kusurları Kursu
Doc. EWF-494-01	Lazer Kaynağı Kursu

Her başlık, katılımcıların 3 aşamalı bir süreci takip etmesini gerektirir:

- Kursa katılım şartının (yeterliliğinin) sağlanması. (Örneğin, Uluslararası/Avrupa Kaynak Mühendisliği' nde bu şart bir mühendislik derecesine sahip olmaktır.)
- Kurs eğitiminin tamamlanması (Örneğin, Uluslararası/Avrupa Kaynak Mühendisliği' nde kurs 444 saatliktir ve kaynak yöntemleri, malzemeler, dizayn ve imalatı içerir). Bazı kurslarda ise uzaktan eğitim opsiyonları vardır.

Uluslararası/Avrupa Kaynak Mühendisliği Kurs İçeriği

**1. Kaynak/Birleştirme Yöntem ve Ekipmanları :** Ark esaslı ve ark esaslı olmayan kaynak yöntemleri, güç kaynakları, yüzey durumu, mekanizasyon ve otomasyon, uygulama.

**2. Malzemeler ve Özellikleri :** Çelikler (tüm çeşitleri), diğer metalik malzemeler, kaynak edilebilirlik ve çatlama, korozyon, aşınma, metalografi.

**3. Tasarım ve Konstrüksiyon :** Malzemelerin mukavemeti, statik ve dinamik davranış, kaynak dizaynı, kırılma mekaniği.

**4. İmalat ve Uygulama :** Kalite güvencesi, kalite kontrol, distorsiyon, sağlık ve emniyet, tahribatsız testler, ekonomi, tamir kaynakları, amaca uygunluk (Güner, 2002).



c) Sınavların başarıyla tamamlanması (Örneğin, Uluslararası/Avrupa Kaynak Mühendisliği'nde bu şart tüm konuları kapsayan 8 saat yazılı ve 1 saat sözlü sınavdır.)

Alternatif diğer bir yol ise tamamlanmış olması gereken eğitimden önceki şart olmaksızın 2. basamağın kısmen yada tamamen yerini aldığı bir yoldur. Bu yol, işi yerinde öğrenmiş olan tecrübeli katılımcılara fayda sağlar. Bu seçenek, bu kişilerin edindikleri bilgileri kullanmalarını ve böylece öğrenim modüllerinden uygun bir şekilde muaf olmalarını sağlar.

Uluslararası Uygunluk Heyeti (IAB)'nin kalifikasyonları ulusal bazda, her ülke için "Yetkili Ulusal Oluşumlar" tarafından yönetilir. Yetkili ulusal oluşumlar öncelikle kursların yönetilmesi için "Onaylanmış Eğitim Kurumları" nı tayin ederler. Yetkili ulusal oluşumlar, kalifikasyon sisteminin tamamlanması için gerekli olan katı ve önemli kuralların temin edilmesi açısından uluslararası uygunluk heyeti tarafından kontrol edilir. Bu durum, eğitim ve yeterlilik standartlarının ülkelere bağlı olmaksızın üniform olduğu konusunda endüstriyel bir güven ortamı oluşturur (Jessop, 2005).

### **3.5 Kaynak Hataları ve Muayene İşlemleri**

#### **3.5.1 Kaynak hataları**

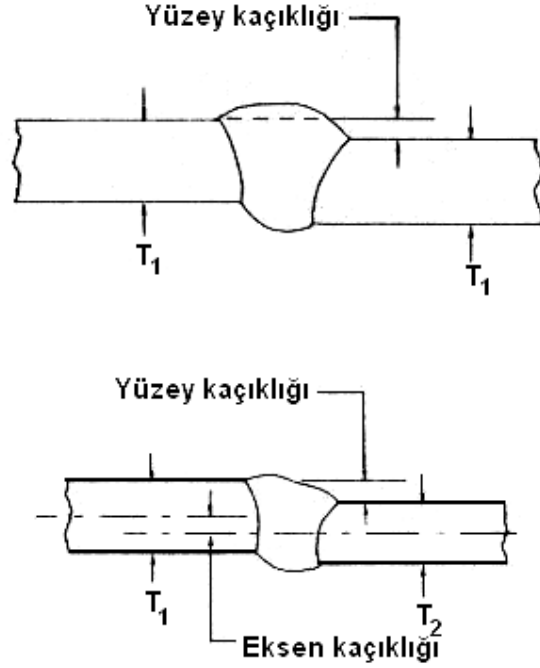
Kaynak hataları, dikişlerin zayıf ve süreksiz bir hal almalarına sebep olarak kullanım sırasında hasar oluşumuna ve hatta servis dışı kalmalarına yol açabilecek oluşumlardır. Kaynak hataları üç temel grupta sınıflandırılabilir:

##### **3.5.1.1 Boyutsal tutarsızlıklar**

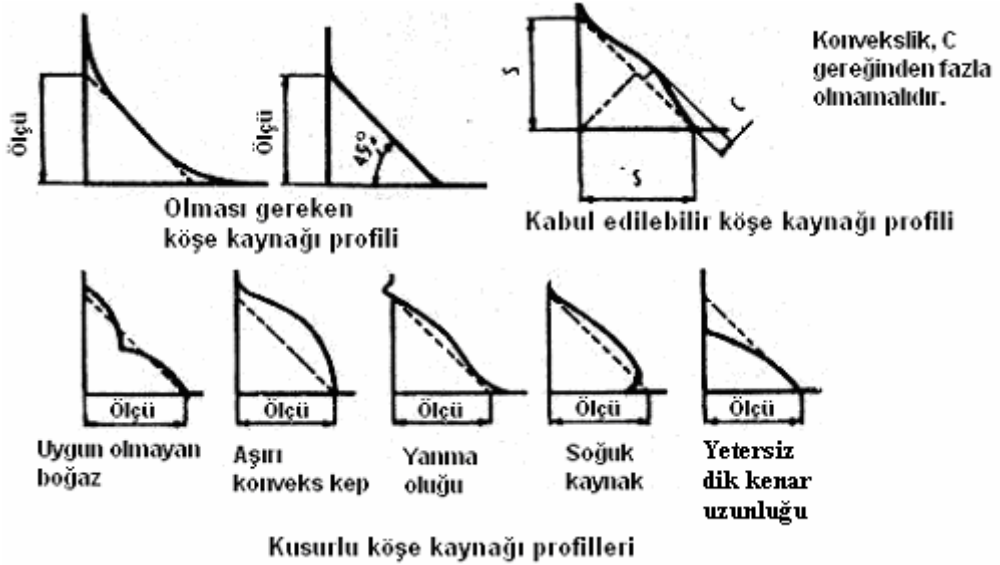
İstenen kalitede kaynakların yapılması diğer faktörler arasında, belirlenmiş ölçülerin sağlanması, biten kaynağın ebat ve şeklinin veya konstrüksiyonun tamamlanmış ölçülerinin tanımlanan ölçülere uyup uymadığına bağlıdır. Bu durumun temini için gerekli koşullardan herhangi bir şekilde sapma; eğer kalite düzeyinden feragat edilmiyorsa kaynağın son kabulünden önce düzeltilmesi gereken bir hata olarak sayılabilir (AWS, 1969).

- Çarpılma
- Yanlış bağlantı hazırlığı
- Eksenden kaçıklık
- Uygun olmayan kaynak boyutu
- Uygun olmayan kaynak profili

Yukarıda sıralanmış olan boyutsal tutarsızlıklar ile ilgili birkaç şekil aşağıda sunulmuştur.

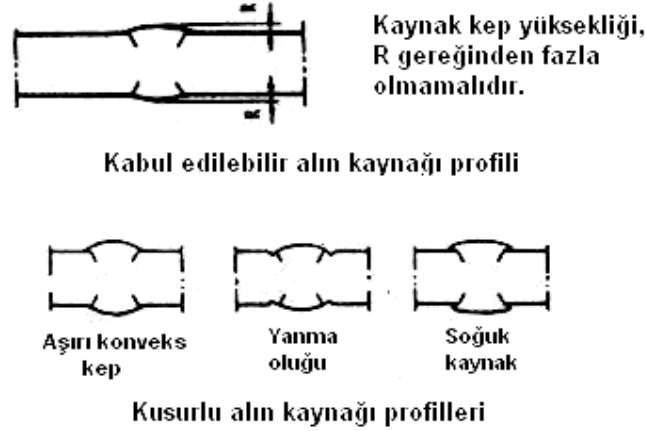


Şekil 3.56 Aynı ve farklı et kalınlıklarında eksenden kaçıklık (AWS, 1969).



Şekil 3.57 Köşe kaynağı profili (AWS, 1969).

Çok pasolu bir kaynakta her pasonun profili, bir sonraki paso üzerinde kolaylık yada zorluk yaşanmasına sebep olabilecek bir takım etkilere sahiptir. Şekil 3.57' deki değişkenlerin limitlerini genellikle yöntem şartnameleri yada EN 25817 "Çeliklerde Ark Kaynaklı Birleştirmeler-Kusurlar İçin Kalite Seviyeleri Kılavuzu" gibi kalite standartları belirler. Bu limitler güvenilir bir kaynağın yapılabilmesi için dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.



Şekil 3.58 Alın kaynağı profili (AWS, 1969).

### 3.5.1.2 Yapısal süreksizlikler

Süreksizlikler, kaynağın arzu edilen fiziksel yapısındaki kesintilerdir. Süreksizlik, kaynağın amaca uygunluğu için tehlike arz ediyorsa hatadır ve düzeltilmesi gerekir. Bir kaynak süreksizliğinin önemi, kaynaklı konstrüksiyonun amaca uygunluğu bağlamında düşünülmelidir. Amaca uygunluk, kalite, güvenilirlik ve ekonomiklik arasında denge arayan bir kaynak değerlendirme konseptidir. Amaca uygunluk bir sabit olmayıp, göz önüne alınan malzeme özellikleri kadar, belirli bir kaynaklı yapının servis gerekliliklerine bağlı olarak değişir.

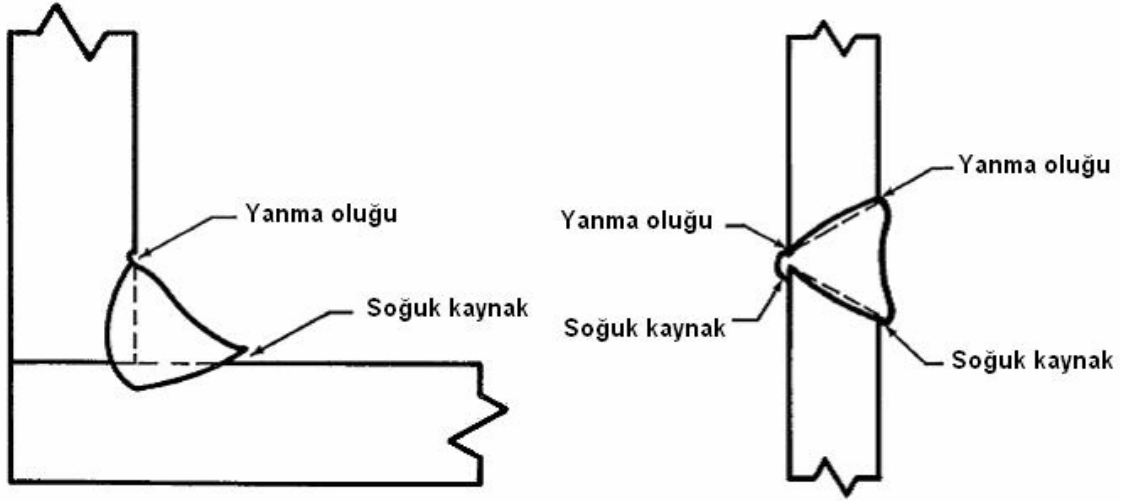
Kaynaktaki süreksizliğin yeri net bir şekilde tespit edilip, süreksizlik tanımlanıp ölçüldüğünde; yerleşiminin, etkileşiminin belirlenmesi ve yapısal öneminin sorgulanmasında kaynak kabul standartları kullanılır. Bu standartlar kullanılarak yapılan mühendislik değerlendirmesi, yapıdaki kaynak güvenilirliğini riske sokmayan, kabul edilebilir, zararsız süreksizlikleri tespit etmek için yapılır. Zararsız süreksizliklerin gereksiz tamirlerinden kaçınarak kaynaklı yapının maliyetinin azaltılması, mühendislik değerlendirmesini gerekli kılan ana sebeplerden biridir (Metals Handbook, 1983).

Kaynaklı birleştirmelerde genel olarak gözlemlenen süreksizlikler şunlardır;

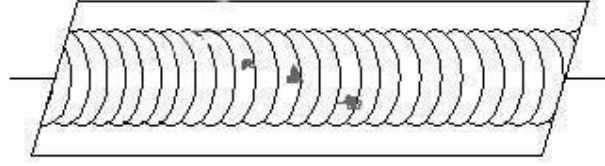
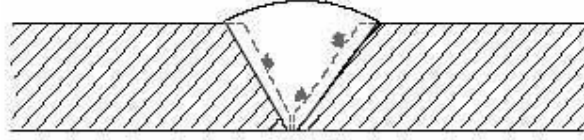
- Yanma oluğu
- Cüruf inklüzyonu
- Gözeneklilik
- Soğuk yapışma (overlap)
- Tungsten inklüzyonu

- Kendini çekme boşluğu
- Oksit inklüzyonu
- Ergime eksikliği
- Nüfuziyet noksanlığı
- Lameler yırtılma
- Sıçrantı
- Ark sıçraması
- Dolgu eksikliği
- Çatlaklar
- Yarıklar
- Segregasyon

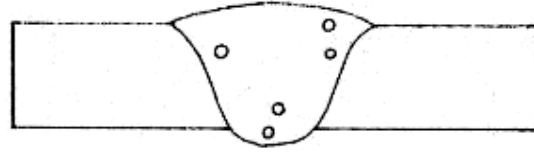
Aşağıdaki şekillerde bazı yapısal süreksizlikler görülmektedir.



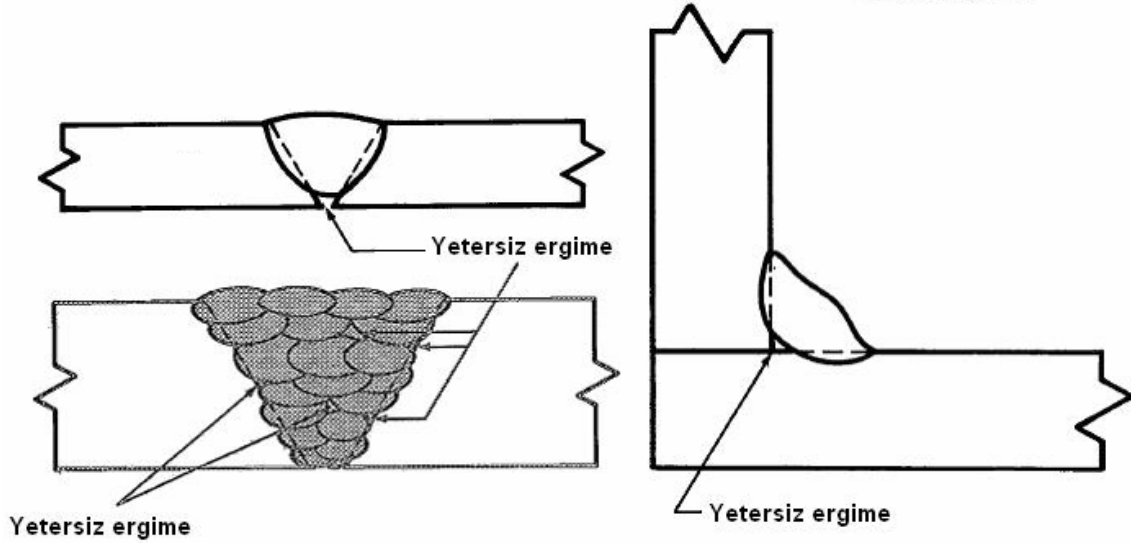
Şekil 3.59 Yanma oluğu ve soğuk kaynak (AWS, 1999).



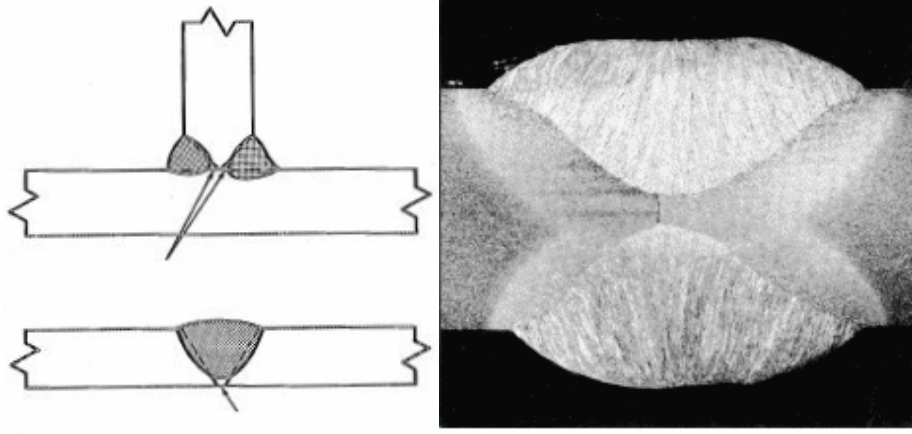
Şekil 3.60 Cüruf inklüzyonu [16].



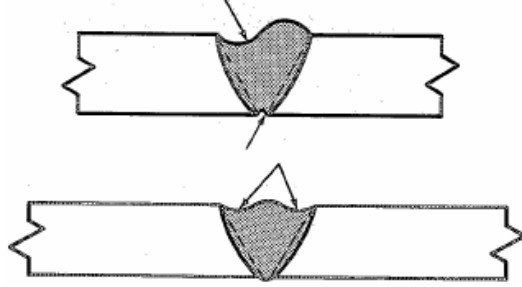
Şekil 3.61 Gözeneklilik (Metals Handbook, 1983).



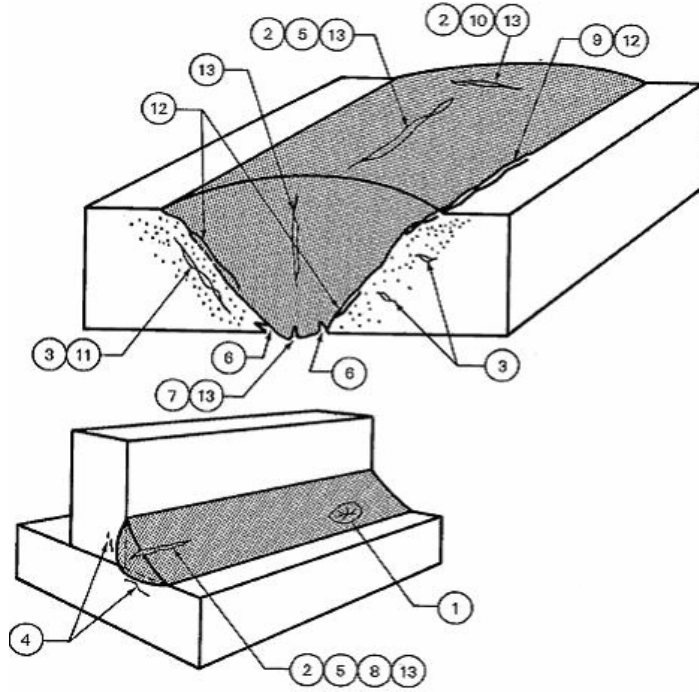
Şekil 3.62 Ergime eksikliği (AWS, 1999).



Şekil 3.63 Nüfuziyet noksanlığı (AWS, 1999).



Şekil 3.64 Dolgu eksikliği (AWS, 1999).



Şekil 3.65 Çatlaklar (AWS, 1999).

Şekil 3.65' deki rakamların karşılıkları aşağıda sunulmuştur;

1. Krater çatlağı
2. Yüzey çatlağı
3. ITAB' da çatlak
4. Lameler yırtılma
5. Boyuna çatlak
6. Kökte çatlak
7. Kökte yüzey çatlağı
8. Kaynak boğazındaki çatlak
9. Kaynak yan tarafındaki (weld toe) çatlak
10. Enine çatlak
11. Dikiş altı çatlağı
12. Kaynak-ana metal ara yüzeyinde çatlak
13. Kaynak metali çatlağı.

### **3.5.1.3 Kusurlu özellikler (ana malzeme ve ilave malzemeye ait)**

Verilen bir kaynaklı yapıdaki tüm kaynakların belirli mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekir. İstenen şartname ve standartlara bağlı gereklilikler ve belirlenmiş gerekliliklerden sapmalar bir hata olarak düşünülmelidir. İleri sürülen gereklilikleri karşılamama ihtimali olan mekanik özellikler, çekme mukavemeti, akma mukavemeti, süneklik, sertlik ve darbe dayanımıdır. Benzer şekilde kimyasal özellikler de yanlış kaynak metali kompozisyonu veya korozyon direnci eksikliği sebebiyle yetersiz olabilir.

Bütün kaynak hatalarının, elverişsiz kaynak koşullarından ortaya çıkmadığına dikkat edilmelidir. Çoğu zorluk ana metale bağlanmalıdır. Ana metal gereklilikleri uygulanabilir spesifikasyonlarca kontrol edilmeli ve bu gerekliliklerden sapmalar bir hata olarak göz önünde tutulmalıdır (AWS, 1969).

Kaynak hatalarının büyük bir kısmı kaynak yöntemi ile ilgilidir ve yöntem icra edilirken oluşmaktadır. Örneğin cürufun iyi temizlenmemesi sebebiyle cüruf kalıntısı oluşması, kaynak banyosunun boyutunu kontrol eden akım, ilerleme hızı ve elektrot çapı gibi değerlerin gereğinden yüksek seçilmesi sonucu yanma oluşu oluşması. Buradan hareketle, kaynak

esnasında etkili bir kontrolün yapılması gerekmektedir. Çünkü kaynak sonrası yürütülecek testler ve muayene işlemleri oluşmuş hatayı gideremez. Sadece hatayı tespit eder. Kaynak aşamasında yapılacak kontrol ve müdahaleler birer düzeltici-önleyici faaliyet niteliğindedir ve sonuca etki eder. Kaynakla eşzamanlı kontroller, tahribatsız muayene sistemlerinin otomatikleştirilmesi olabileceği gibi görsel olarak da yapılabilir. Kaynakla eşzamanlı uygulamalar 4. bölümde incelenecektir. Kaynak kalitesinin kontrolünde kullanılan tahribatsız test yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

### **3.5.2 Tahribatsız muayene yöntemleri**

#### **3.5.2.1 Görsel muayene**

Kaynak öncesinde, esnasında ve sonrasında olmak üzere 3 aşamada uygulanabilen görsel muayene ile kaynağın şu özellikleri kontrol edilebilir:

- Boyutsal (ölçüsel) doğruluk
- Şekil ve dış görünüş koşulları
- Yüzey pürüzlülüğü, sıçrıntı ve temizlik açısından görünüm
- Doldurulmamış boşluklar, yanma oluğu, soğuk kaynama ve çatlak gibi yüzeysel hataların varlığı.

#### **3.5.2.2 Sıvı penetrant muayenesi**

Bu muayene türü, kaynaklardaki yüzeye açık süreksizliklerin tespitinde başarılıdır. Alüminyum, magnezyum ve paslanmaz çeliklerdeki yüzey hatalarının, manyetik parçacık muayenesi kullanılmadığı durumlarda tespitinde kullanılır. Her çeşit kaynakta, sızıntı (kaçak) yeri tespitinde kullanışlı bir yöntemdir. Basıncılı kaplar, depolama tankları ve petrol endüstrisindeki borulardaki kaynaklar yüzey çatlakları ve porozite açısından bu yöntemle muayene edilir.

#### **3.5.2.3 Manyetik parçacık muayenesi**

Ferromanyetik malzemelerde yüzeydeki ve yüzeye yakın süreksizliklerin tespitinde kullanılan tahribatsız muayene yöntemidir. Bu yöntem özellikle, ferromanyetikliği yüksek metallerdeki yüzey hatalarının tespitinde kullanışlıdır. Genel olarak bu yöntemle, çatlaklar, nüfuziyet noksanlığı, ergime eksikliği ve yüzeye açık gözenekler tespit edilir. Lineer porozite, cüruf kalıntısı ve gaz boşluklarının bu yöntemle tespiti için ya geniş ve büyük hacimli yada küçük ama yüzeye yakın olmaları gerekmektedir.



#### **3.5.2.4 Radyografik muayene**

Bu yöntem ile tespit edilebilen yüzey süreksizlikleri; yanma olukları, uzunlamasına oyuklar, kökteki konkavlık, dolmamış boşluklar, aşırı yüksek kaynak kepi, soğuk kaynak, elektrot değişim noktalarındaki düzensizlikler, taşlama izleri ve elektrot sıçrantısıdır. Tespit edilebilen yüzey süreksizlikleri ise gaz boşlukları, cüruf kalıntıları, çatlaklar, nüfuziyet noksanlığı, ergime eksikliği ve tungsten kalıntısıdır.

#### **3.5.2.5 Ultrasonik muayene**

Ultrasonik muayene, yüzey ve yüzey altı süreksizliklerinin bulunmasında kullanışlıdır. Çoğu malzeme için kullanılabilen ultrasonik muayene metotları düzlemsel olmayanlardan ziyade düzlemsel kaynak süreksizliklerine karşı daha hassastır.

#### **3.5.2.6 Akustik emisyon muayenesi**

Akustik emisyon tekniği, kaynak kalitesinin; monitörle izleme yoluyla kaynak aşamasında ve kaynak sonrası tayin edilmesinde kullanılabilir. Kaynaktaki, nüfuziyet noksanlığı, çatlak, gözenek ve diğer süreksizliklere sahip bölgeler, bu bölgelerin ürettiği akustik emisyonlar vasıtasıyla tanınabilir. Kaynak esnasında, parça içi plastik deformasyon, ergime, sürtünme, katılaşma, katı-katı faz dönüşümü ve çatlama gibi birçok faktör akustik emisyonla sebep olur. Kaynak aşamasında akustik emisyonların izlenmesi örneğin, kaynak yönteminin otomatik geri besleme kontrolünü dahi içerebilir. Büyük ölçüde otomatikleştirilmiş kaynakta, kaydetme ekipmanı uygun bir şekilde kaynağı kontrol eden kafanın yanına veya bir kalite izleme alanının içine yerleştirilebilir.

#### **3.5.2.7 Eddy akımları muayenesi**

Eddy akımları muayenesi de ultrasonik muayene gibi yüzey altındaki gözenekliliğin tespitinde kullanılabilir. Normalde, Eddy akımları göreceli olarak yüzeye doğru veya yüzeye yakın tabaka içerisinde genişlemeyen hatalara karşı hassas olmadığından, Eddy akımları muayenesi ince et kalınlıklı kaynaklı boru ve tüp konstrüksiyonları üzerindeki kullanımla sınırlı kalmaktadır.

#### **4. KAYNAK AŞAMASINDA KALİTE GÜVENCESİNİN SAĞLANMASI ve ARTTIRILMASI**

Kaynak kalitesinin, kaynak işlemi yapılırken sağlanması ve artırılması o anda etkin durumdaki kaynak değişkenlerinin kontrolünü, ortaya çıkacak olumsuzlukların tespit edilerek giderilmesini ve düzeltilmiş şartların devamlılığının sağlanmasını gerektirir.

Kaynağın yapılmasına başlama anına kadar geçen süre zarfında yapılan hazırlıkların (tasarım, ağız açma, temizlik, dolgu malzemesi ve kaynak tüketilenlerinin seçimi v.b.) kaynak kalitesine direkt etkisi vardır. Ancak kaynak başladıktan sonra bu parametre ve etkenlerde değişiklik yapma imkanı yoktur. Bu durum kaynak öncesi hazırlık aşamasının kaynağın kalitesi içindeki yerini ve önemini göstermektedir. Kaynak öncesi hazırlık aşamasında yapılacak bir hata yada yetersizliğin kaynak başladıktan sonra fark edilerek giderilmesi işçilik ve zaman kaybına sebep olacağı gibi üretim maliyetini de arttırır.

Kaynak kalitesinin üretim aşamasında kontrolü; kaynakla eşzamanlı uygulanan görsel yada tahribatsız muayene yöntemleri ve gelişmiş kontrol teknikleri kullanan sistemler ile sağlanabilir. Kullanılan yöntemlere göre farklılık göstermekle birlikte, eşzamanlı yapılan bu muayene ve kontrol tekniklerinde; kaynak parametreleri, kaynak dikişinin boyutları, görünüşü, konumlanması, kaynak yüzeyi, kaynak banyosu, kaynak arkı, ark sesi, ark ışması, ve tespit edilebilen kaynak hataları gibi özellikler gözlemlenir. Yapılan gözleme sonucu kaynak kalitesi için olumsuzluk arz eden parametrelerin düzeltilmesi ve hataların da giderilmesine çalışılır. Gözleme sonucu elde edilen verilerin değerlendirmesi yapılırken daha önceden belirlenmiş kaynak yöntem şartnamelerinden, standartlardan veya varsa ilgili çalışmaya özgü kalite prosedürlerinden yararlanır.

Kaynak aşamasında kalite güvencesinin artırılmasında kullanılan yöntemler aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuştur. Son yıllarda bu amaçla geliştirilen çok sayıda gelişmiş kontrol sistemi mevcuttur. Çoğu elektronik, optik ve bilgisayar kontrollü çalışan bu sistemler incelenirken; kaynak ve kalitesi esas alınarak bu yönden irdeleme yapılmıştır.

##### **4.1 Kaynakla Eşzamanlı Görsel Muayene**

Görsel muayenede öncelikle seçilmiş olan kaynak prosedürünün takip edilmesi mecburidir. Kaynak personeli halihazırda kullanılabilir bir “kaynak yöntem şartnamesi” kopyasına sahip olmalı, verilen prosedürleri izlemeli ve gerekli kaynak parametrelerinin yeterli doğrulukla temininde yeterli ekipmana sahip olmalıdır (Robert, 1999).

Görsel muayene arkın ilk yanmasından önce başlamalıdır. Malzemelerin kalite, tip, ölçü, temizlik ve hata içermeme bakımından gerekli şartları taşıyıp taşımadıkları gözle muayene edilmelidir. Kaynak için zararlı olabilecek, gres, boya, yağ, oksit filmi gibi dış etkiler ortadan kaldırılmalıdır. Birleştirilecek parçalar düzgünlük, düzlemsellik ve boyut açısından kontrol edilmelidir. Eğri, bükük, uygun olmayan şekilde kesilmiş veya zarar görmüş parçalar tamir için ayrılmalı yada ret edilmelidir. Parçaların hizalanma, ağızlanma ve tutturulması dikkatle incelenmelidir. Birleşme hazırlığı kontrol edilmelidir [8].

Hazırlık şartlarının yeterli bir şekilde sağlandığının görülmesi ile birlikte en verimli muayene kaynaklı parça imal edilirken yapılan muayene işlemidir. Kaynak kıvrımının ve son kraterin muayenesi; çatlaklar, yetersiz nüfuziyet, gaz boşluğu ve cüruf inklüzyonu gibi kalite yetersizliklerini açığa çıkarabilir.

Basit kaynaklarda parçanın işlem başlangıcında ve yöntem ilerledikçe periyodik olarak muayene edilmesi yeterli olabilir. Bununla birlikte bir pasodan fazla dolgu metali yığıldığında her pasonun bir sonraki pasodan önce muayene edilmesi gerekir.

Çok pasolu bir kaynakta kaynağın sağlamlığı açısından önemli bölgelerden biri kök pasodur. Kök paso hızlı katılma eğilimi sebebiyle çatlama karşı hassastır, gaz ve cüruf hapsetme eğilimindedir. Sonraki pasolar, kaynak dikişinin şekli veya birleşme tipinin değişiminin sebep olduğu çeşitli hata oluşturuca koşullara maruzdur. Bu tür şartlar kaynakçı tarafından görsel olarak tespit edilebilir ve eğer sorun, kaynak işlemi ilerlemeden düzeltilirse tamir maliyeti minimize edilebilir [8].

Kaynak tamamlanana kadar pasolar arası sıcaklığın korunması birleşmenin dayanımı açısından çok önemlidir. Her pasonun temizlenmesi ve görsel muayenesi yeterli bir surette yapıldığında kaynak ısısı, kaynaklı birleşme için pasolar arası sıcaklığın korunmasında yeterli olabilir (Robert, 1999).

Tamamlanmış bir bağlantının tokluğu, gereğinden yüksek ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklıktan olumsuz etkilenebilir. Kaynak ısısı ve gereğinden fazla ön ısıtma/pasolar arası sıcaklığın sebep olduğu yavaş soğuma tane irileşmesine yol açabilir.

Her alın yada dolgu kaynak pasosunun bir inspektör tarafından görsel olarak kontrol edilmesi nadiren yapılır. Bu tür görsel incelemelerden vazgeçmek ve sadece kaynakçıya güvenmek, öncelikle kaynakçının, kaynak için yeterli yeteneğe, prosedürlere ve malzemeye sahip olduğunun güvence altına alınmasını zorunlu kılar. Bu durum kaynak öncesi incelemeyi gerekli kılan anahtar sebeptir (Robert, 1999).

## 4.2 Otomatikleştirilmiş Tahribatsız Muayene Sistemleri

Otomasyonun iki temel avantajı yeniden üretilebilirlik (tekrarlanabilirlik) ve insan gereksinimindeki azalmadır. Dezavantajları ise otomatik sistemin kurulmasına ait yüksek maliyet ve sistemin karmaşıklığıdır [17].

Otomatikleştirilmiş bir NDT istasyonu, bir monitöre bağlanmış tarama kılavuzu ve bir alarm ile ultrasonik muayene operatörünün probu ayarlamasına yardımcı olan bir sistem kadar basit (yarı otomatik sistem) yada bir odayı dolduracak büyüklükte, yüksek maliyetli, çok kanallı bilgisayar kontrollü bir makine kadar karmaşık olabilir.

Otomasyon biçimi olarak, mekanik yada elektronik olarak manuel operatöre yardımcı olan veya onun yerini alan herhangi bir sistem düşünülebilir.

Ultrasonik muayene, eddy akımları muayenesi yada diğer tipteki bir otomatik NDT sistemi her zaman tekrarlanabilir bir performansa sahiptir. Böylece bir sistem, büyük ölçüde operatörün psikolojik durumuna, sıcaklık veya neme, operatörün yorgunluğuna, aşırı çalışmış olmasına yada işindeki dikkatine bağımlı değildir.

Manuel operatör çok düşük bir performans tekrarlanabilirliğine sahiptir. Çoğu endüstri dalında; kullanılan sistem ultrasonik, eddy akımları, görsel muayene, manyetik parçacık veya diğer bir sistem olduğunda gözlemlenebilen hataların % 80 oranında tespiti, operatör olan bir insanın normal performansı olarak düşünülür [17].

Çoğu durumda, otomatikleştirilmiş sistemler, hız konusunda sadece fizik kurallarının sınırladığı mümkün olan kapasite ile çalışır. Manuel operatörün, eşik seviyesini aşan bir ekoyu gözlemleyip alarma geçmesi için yaklaşık 100 pulsa (0,05 saniye) ihtiyaç varken, ultrasonik ekipmanın (2000 Hz' lik bir puls yineleme frekansıyla çalışan) alarm konumuna geçmesi sadece 1 pulsluk zaman alır. Bu durum, otomatik tarama sisteminin, kendisine eşdeğer manuel sistemden, hata kaçırmaksızın 200 kat daha hızlı hareket etme potansiyeli olduğunu gösterir. Otomatik sistem aynı zamanda çift tarama veya manuel muayenede kaçan alanları elimine ederek optimum prob hareketi ile çalışabilir.

Otomatikleştirilmiş sistemler daha çok seri ve benzer geometrik özellikler gösteren kaynaklarda daha verimli bir kontrol imkanı sağlamaktadır.

Karmaşıklık açısından konu incelendiğinde, örneğin boru hatlarının üretiminde ve sahada test edilmesinde 10 mt uzunluğundaki bir ultrasonik daldırma sistemi pratik değildir. Bunun yerine kontak transdüserler kullanan daha az karmaşık sistemler kullanılabilir.

İdeal bir sistemin kullanımı ve parça değişimindeki ayarlama yapılması kolay olmalıdır. Çalıştırılması için bir teknik personel gerektirmemelidir. Ancak farklı parçalar sisteme ilk kez bağlandığında bir personele ihtiyaç duyulabilir. Kullanımı kolay bir sistem uzaktan programlanabilmelidir [17].

Sonuç olarak yalnız kalite gereksinimleri düşünüldüğünde otomasyon sistemleri üstün konumdadırlar. Büyük çaplı imalat ortamları için otomasyon önemli bir ekonomik potansiyele sahip olabilir. Parça boyutları küçüldüğünde, otomasyon daha az cazip bir hal alır. Çünkü böyle bir durumda otomasyon sisteminin, bir imalat parçasından diğerine geçişte basit ayarlama yeteneğine sahip, daha karmaşık ve çok yönlü bir makine tarafından kompanse edilmesi gerekir. Yatırım ve karmaşıklık konuları otomasyon sisteminin fizibilitesini düşürebilir.

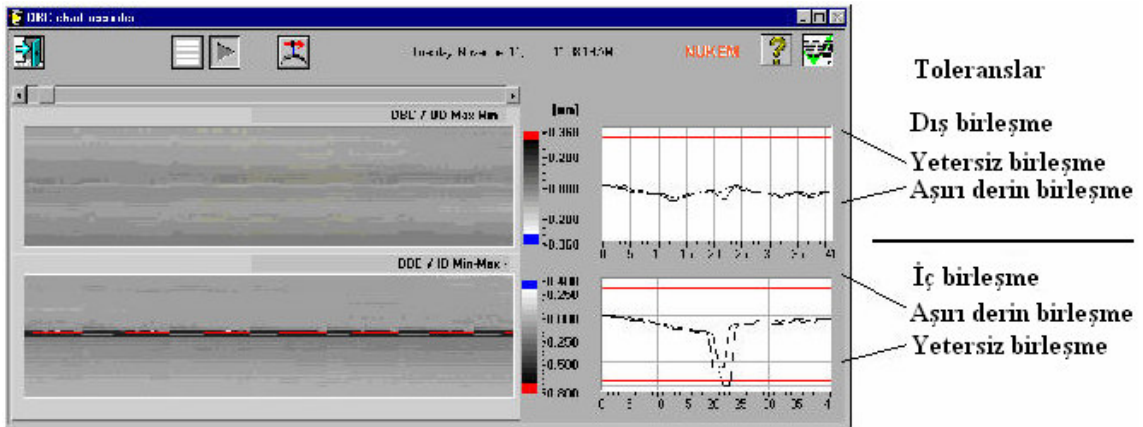
Yukarıda anlatılanlar ışığında otomatikleştirilmiş NDT sistemlerine örnek olması amacıyla iki adet sistem incelenmiştir.

#### 4.2.1 Kaynak profilinin ultrasonik olarak on-line muayenesi

Bu sistem kaynaklı çelik borular için geliştirilmiştir. Sistemin özündeki prensip yüksek kalitenin, kaynağın sürekli kaydedilmesi ve ekipman parametrelerinin kalibre edilmesi ile başarılacağı düşüncesidir [17].

Kaynak işleminden sonra en kısa zamanda borunun iç ve dış kaynak dikişleri pürüzsüz bir şekilde uç uca eklenir. Dikiş bölgeyi kuşatacak (saracak) şekilde olmalıdır ve et kalınlığı çevresel yönde uygun olmalıdır.

Şekil 4.1' deki diyagramın sağ tarafında mevcut dış ve iç kaynak profilleri görülmektedir. Kırmızı çizgiler önceden tespit edilmiş tolerans limitlerini göstermektedir.



Şekil 4.1 Dış ve iç dikiş profilleri ile kırmızı çizgilerle gösterilen tolerans sınırları [17].

Sürekli güncellenen veri ile elde edilen iki renkli diyagrama ilaveten, uç uca ekleme prosesinin hassasiyeti de makine operatörüne hızlı bir şekilde geri beslenir. Toleransların dışına çıkan değerler kırmızı, içinde kalanlar ise mavi renkle işaretlenir.

Uç uca ekleme aparatının kırılması, tolerans limitleri dışındaki düzenlemeler veya beklenmedik bir aşınma gibi değişimler en kısa sürede tespit edilir ve böylece elimine edilebilir.

Tarama monitörü kaymalı bir kılavuz üzerinde temas etme modunda çalışır. Bu sebeple sabitlenmiş bir boru uzunluğu gereklidir. Tarama yörüngesinin genişliği mekanik olarak ayarlanabilir. Prob kaynak dikişini saniyede iki kez tarar. İlave bir opsiyon olarak tarama monitörü çeşitli frekanslarda çalışacak hale getirilebilmektedir. Prob tutucu gerektiğinde pnömatik olarak yükseltilebilir [17].

Ultrasonik bir prob, giriş ve arka duvar ekoları arasındaki zamanı ölçerek, kaynak dikişini tarar. Elde edilen zaman bir bilgisayar ve dijital test ekipmanı ile değerlendirilir. Borunun kaynak yapılan iç ve dış yüzeyi devamlı olarak monitörde gösterilir. Eğer kaynak profili önceden ayarlanmış limitlerin dışına çıkarsa test yazılımı alarm sinyali verir.



Şekil 4.2 On-line ultrasonik muayene sisteminin genel görünüşü [17].

#### 4.2.2 Seri üretimde kaynak muayenesinde dijital X-ışını TV sistemi kullanımı

Kaynak kalitesinin değerlendirilmesinde, kaynağın dayanım değeri kadar gözenek, yanma oluşu ve gaz kanalları şeklindeki kaynak hatalarının boyutları gibi geometrik kaynak özelliklerinin tespit edilmesi de önemlidir [17].

Alışlagelmiş X-ışını radyografisi temel olarak, hata gölge görüntüsünün boyutu, kaynak içindeki derinliği ve X-ışını yönündeki hata boyutu gibi temel kaynak hatası parametrelerinin tespit edilmesine olanak tanır. Hata gölge boyutunun tespiti oldukça basittir ve X-ışını muayenesinde zorluk çıkarmaz.

Hata yerinin derinliğinin tespiti de teknik olarak zor değildir. Hatanın X-ışınlanması yönündeki boyutlarının tespit edilmesi, X-ışını filminin küçük parçalarının şeffaflık farkı değerlerinin ölçülmesi ve bu prosedürü etkileyen çok sayıda faktörün göz önünde bulundurulması gerektiğinden oldukça zordur. Bu durum, bu parametrenin endüstrideki atölye ortamında değil sadece laboratuvar şartlarında tespit edilebilmesinin sebebidir [17].

Video sinyallerinin modern bilgisayarlar ile işlendiği dijital X-ışını TV sistemlerinin geliştirilmesi bu gibi ölçümlerin eş zamanlı olarak yürütülmesine imkan verir. Bu sistem sadece hata gölgelerinin incelenmesinde ve boyut tespitinde kullanılmak için tasarlanmıştır.

Sistemin temel karakteristikleri şunlardır:

- 160 kW gücünde ve 0,2 mm. lik odağa sahip X-ışını tüpü
- 12-21 Lp/cm çözünürlüğe sahip görüntü güçlendiricisi ve TV kamerası
- Görüntünün işlenmesi ve saklanması amacıyla bilgisayar
- Dijital olarak işlenmiş canlı görüntünün gösterildiği monitör

Sistemin muayene edebileceği nesne boyutları ise şunlardır:

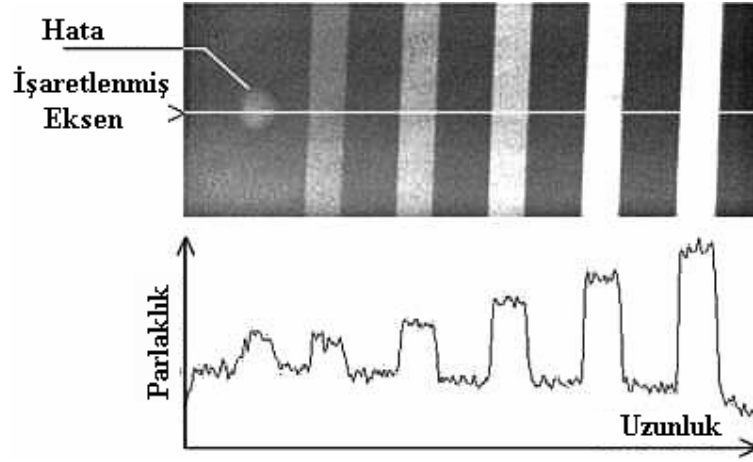
- Maksimum uzunluk : 5400 mm
- Maksimum çap : 192 mm
- Paslanmaz çelik için maks. kalınlık : 20 mm
- Zirkonyum alaşımları için maks. kalınlık: 10 mm

X-ışını TV sistemindeki dijital görüntü işlemenin avantajları çoğunlukla X-ışını doğrultusundaki hata boyutu ölçümünde ortaya çıkar. Bu sistemin özü; hatanın görüntü parlaklığının ölçülmesi ve hatasız bölgenin parlaklığı ile karşılaştırılmasıdır. Ancak X-ışını

film tekniğinde bu çok tahmini ve zaman alan bir süreçtir. Bunun aksine dijital X-ışını TV sistemi bu işlemleri kısa zamanda çok hassas bir şekilde yapma imkanı sunar.

Sistem bu olayı, X-ışını görüntüsünün birbirine bağlı 2 formunu sunarak gerçekleştirir. Bu aşamada oluşan canlı gölgenin dijital olarak işlenmiş görüntüsü, 770 x 573 piksellikte, TIFF formatında ve 0-siyahtan 256-beyaza kadar değişebilen bir parlaklıktadır [17].

Bu görüntü, canlı X-ışını görüntüsünün dijital olarak işlenmesinin bir sonucudur. Kullanılan bilgisayar programı, parazit etkilerinin azaltılması için önemli görüntülerin birleştirilmesini ve X-ışını görüntüsünün kenar keskinliğini artırmak için farklı dijital görüntüleri filtrelenmesi görevini yerine getirir. Parlaklık ölçümünün doğruluğu ve stabilitesi için bu işlemlerin yapılması gerekir. Şekil 4.3' de işaretlenen eksen boyunca hata görüntüsü ve penetrametre parlaklığı uzunluğa bağlı olarak gösterilmektedir.

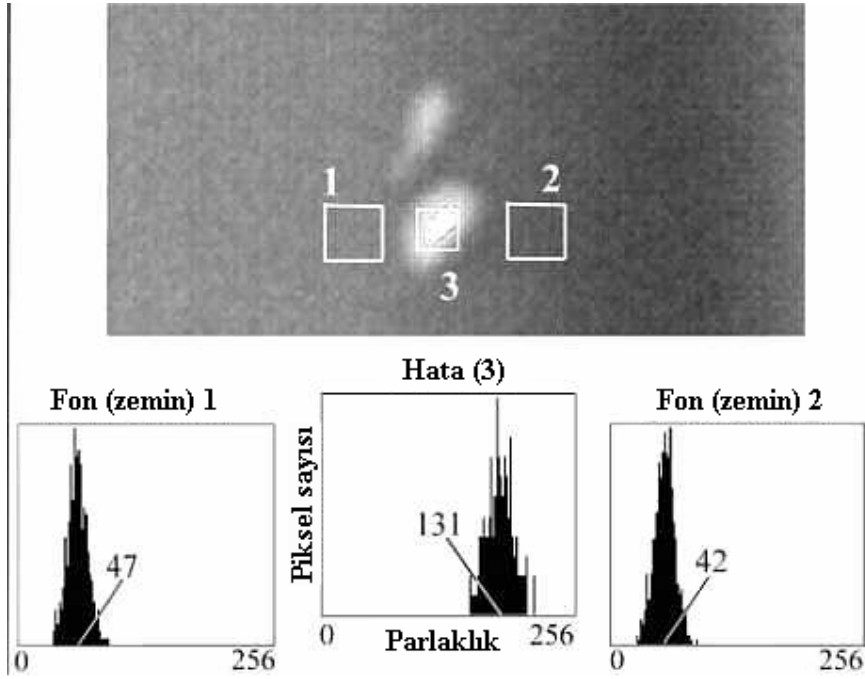


Şekil 4.3 İşaretlenen eksen boyunca hata görüntüsü ve penetrametre parlaklığının uzunluğa bağlı değişimi [17].

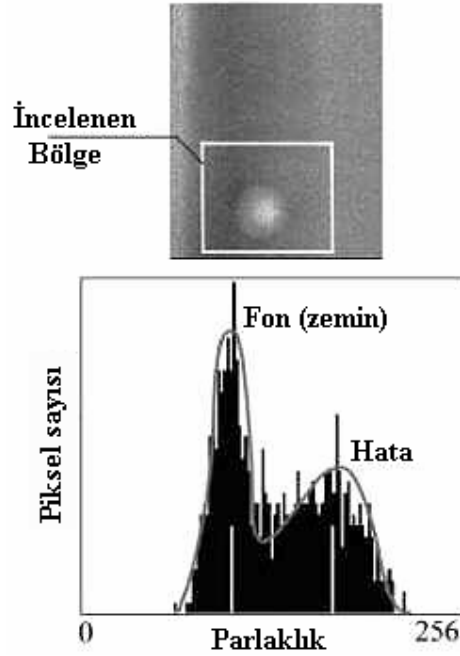
Video görüntüsünün parlaklık ölçümü iki şekilde yapılır:

1. Operatör tarafından görüntü üzerinde işaretlenmiş çizgi boyunca parlaklık değerlendirmesinin yapılması ve sonuçların Şekil 4.3' de görülen grafik şeklinde sunulması. (İşaretlenen eksen boyunca parlaklık genliğinin mesafeye bağlı değişimi)
2. Operatör tarafından seçilen bölgeden parlaklık histogramının tespit edilmesi ve istatistiksel olarak değerlendirilmesi (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Parlaklık genliği olarak belirli parlaklık değerindeki birkaç piksellik bölgenin histogramı oluşturulur. Bilgisayar programı ortalama parlaklık değerini ve diğer istatistiksel parametreleri üretir [17].





Şekil 4.4 Fon ve hata bölgesinin histogramı ile birlikte kaynağın görüntüsü [17].



Şekil 4.5 Fon ve hata bölgesinin toplam histogramı ile birlikte kaynağın görüntüsü [17].

Parlaklık değerlendirmesinin histogram vasıtasıyla yapılması birtakım avantajlar sağlar. Çok sayıda görüntü noktası değerlendirmeye alındığından parazit etkisi azalır ve böylece daha doğru ölçüm sonuçları elde edilir.

Histogram uygulamasının yapılacağı bölgenin seçiminde iki yöntem mevcuttur:

1. İki bölge seçilir: Hata ve hataya komşu zemin (arka fon) (Şekil 4.4). Bu noktada hatanın önü ve arkası olmak üzere iki fon bölgesinin seçilmesi ve ana değerin hesaplanması gerekir.
2. Eğer hata boyutu küçükse bir bölge seçilir (Şekil 4.5). Bu durumda fona ve hataya karşılık gelen iki parlaklık pik noktasına sahip bir histogram elde edilmesi gerekir. Fonun ve hatanın parlaklık değerleri histogramdaki her pik noktasının ortalaması olarak tespit edilir.

Bu konuda yapılan deneysel araştırmalarda X-ışını yönündeki hata boyutunun ölçümü ayrıntılı olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuca ulaşılmıştır.

Kaynak metalinin bölgesel incelik değeri araştırmasında; boşluklar, nüfuziyetsizlikler, gaz kanalları, yanma olukları ve kraterler; bölgesel kalınlık değeri araştırmasında ise aşırı kaynak güçlendirmesi tespit edilebilen kaynak hataları olarak görülmüştür [17].

### **4.3 Kaynakla Eşzamanlı Uygulanan Diğer Kontrol ve Muayene Teknikleri**

Yukarıdaki bölümlerde anlatılan otomatikleştirilmiş tahribatsız muayene sistemlerine ilave olarak, kaynak kalitesini kaynağın yapılışı ile eşzamanlı olarak kontrol etmek amacıyla geliştirilmiş, çoğu lazer ve sensör teknolojisine dayanan başka sistemler de mevcuttur. Bu sistemlere ait örneklerden birkaçı aşağıda sunulmuştur.

#### **4.3.1 Gazaltı kaynak yönteminin akustik olarak incelenmesi**

Gazaltı kaynağında ortaya çıkan ark sesinin kayıt ve analiz edilmesi için yüksek hızlı bir veri elde etme sistemi geliştirilmiştir. Kaynak için kullanılan elektrik enerjisi ile ark sesi arasındaki ilişki gibi zaman, frekans ve zaman-frekans tanımlayıcıları ile oluşturulan kaynak parametreleri ve mahal transferi tipi arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuçlar, ark sesinin her farklı kaynak modu için farklı karakteristikler sergilediğini göstermiştir. Aynı zamanda ark sesi kaydında, sıçrantı ve kısa devre oluşumu net bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Gazaltı kaynağının otomasyonu eğer uygun şekilde yapılırsa çalışma ortamının gelişmesine paralel olarak verimlilik ve kaynak kalitesi de artırılabilir. Bununla birlikte otomasyon çabaları, manuel işlemler için az yetenek gerektiren yerlerde daha başarılıdır, yüksek miktarda yetenek gerektiren yerlerde ise daha az başarılıdır [14].

Gazaltı kaynağı, otomatik bir makineyle kaliteli bir kaynak üretmek için gerekli yetenek seviyesinin; büyük ölçüde yöntemden elde edilen geri besleme ile sorumluluk gerektiren eylemler arasındaki ilişkinin anlaşılmasına bağlı olması sebebiyle zor olabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda gazaltı kaynağı esnasında ortaya çıkan ark sesinin yöntem geri

beslemesinde bir kaynak olarak kullanılabileceği görülmüştür. Özellikle metal transfer tipi ve sıçrıntı yada kısa devre oluşumu gibi olaylar ark sesinden anlaşılabilir. Bu tür geri besleme sistemleri gaz altı kaynağının gözlemlenmesinde potansiyel uygulama imkanına sahiptir.

Ancak ark sesi; gerilim, tel besleme hızı, serbest elektrot uzunluğu, ilerleme hızı ve koruyucu gaz debisi gibi kaynak parametreleri için zayıf bir belirteçtir [14].

#### **4.3.2 Otomatikleştirilmiş kaynak yüzeyi muayene sistemi**

Bu sistem kaynak yüzeyini ve ölçülerini otomatik olarak muayene edebilir ve yüzeyi hata bakımından kontrol edebilir. Sistem lazer tabanlı sensör teknolojisi kullanır ve muayene zamanını azaltır, uygulama hataları konusunda yanlış yorumlamaları minimuma indirir [4].

Sistem özellikleri şunlardır:

- Eş zamanlı kaynak muayenesi geri beslemesinin yapılabilmesi
- Kaynakların görsel muayenesi için gerekli zamanın azaltılması
- Daha az yanlış yorumlama ve görsel muayene hatası
- Gereksiz kaynak tamirlerinin azalması
- Kaynak kalitesi ile ilgili istatistiksel veri üretme ve muayeneye ait kalıcı kayıtları saklama yeteneği
- Taşınabilir, dayanıklı ve kullanımının kolay olması

Muayene ünitesi endüstriyel amaçlı geliştirilmiş lazer, sensör ve optik teknolojisiyle yeni bir yazılımın kombinasyonudur.

Ölçebildiği kaynak özellikleri: Köşe kaynağı dik kenar uzunluğu, kaynak yüzeyi genişliği, teorik boğaz kalınlığı, levha açısı, kaynak yan açılı ve dışbükeylik/içbükeylik.

Tespit edebildiği kaynak hataları: Porozite, yanma oluşu, çatlaklar, sıçrıntı ve cüruf kalıntısı [4].

#### **4.3.3 Gazaltı kaynak yöntemi için proses kontrolü ve kalitenin izlenmesi**

Ark kaynak yöntemlerinin endüstriyel koşullarda kontrol edilmesi kolay değildir. Genellikle çoğu gözlemlenebilir data, kontrol edilen parametrelerin dolaylı bir ölçümüdür ve kontrol edilebilir parametreler de ortaya çıkacak nihai kaynak ile ilgili dolaylı datalardır.

Kaynağın daha iyi kontrol edilmesi ve algılanması talebi otomasyon ve yeni malzemeler içeren kaynak metalleri ile artmaktadır. Bu durum, verimlilik ve kalite konusunda arzu edilen kaynaklar üretmek için kaynak yönteminin sıkı kontrolünü gerektirir. Bunun bir sonucu olarak, farklı çalışma parametreleri konusunda yöntemin hassas kontrolü için farklı teknolojilere ihtiyaç vardır. Bu alanda, sensörler, kaynak sisteminin çıktılarını kontrol eden sistem için ana girdi kaynağı olarak önemli rol oynarlar. Gazaltı kaynak yönteminin avantajlarından tam anlamıyla yararlanmak için torç hareketi, hızlı ark ve hızlı ergime prosesi gibi parametrelerin hassas kontrolü gereklidir.

Kaynak işleminde birbirine bağlı çok sayıda parametre sebebiyle çoğu problem uygulamada elde edilen tecrübeler temelinde çözülür. Spesifik problemlerin matematik modellenmesi pratik kullanıma daha yatkın olmasına rağmen halen sonuca etki eden ve bu gibi modellerle hesaplanması zor olan gerçek kaynak ile ilgili birçok uygulama konusu vardır. Bununla birlikte metalurjik ve ark fiziği ve/veya ampirik tabanlı modeller çoğu kez kaynağın izlenmesi, kontrolü ve parametrelerin seçimi ile ilgili olarak geliştirilen bilgi yada tecrübe tabanlı sistemler ile bir aradadır [21].

Ampirik modeller çoğu zaman kaynak tasarımı denemelerinin istatistiksel analizi üzerine kuruludur. Eğer parametreler arası ilişkiler karmaşık ve çok sayıda ise denemeler de analizler gibi büyük bir dikkatle seçilmelidir. Bu alandaki yeni eğilim, giriş ve çıkış parametreleri arasında gerekli haritalamayı yapan yapay sinir ağlarının tasarlanması ve denenmesidir. Sinir ağlarının bir avantajı; denenmiş ağın birbiriyle ilişkili birçok parametre içeren ark kaynağında büyük öneme sahip olan çoklu girdi-çoklu çıktı ilişkisini kurabilme yeteneğidir.

Kaynak nüfuziyeti, dikiş geometrisi ve kaynak kalitesine etki eden temel parametreler şunlardır:

1. Kaynak akımı
2. Tel besleme hızı
3. Ark gerilimi
4. Temas nozulu-iş parçası uzaklığı
5. İlerleme hızı
6. İlerleme hareketi türü (düz, dalgalı v.s.)
7. Kaynak torcu oryantasyonu
8. Kaynak birleşme pozisyonu

9. Koruyucu gaz kompozisyonu

10. Elektrot kompozisyonu ve çapı

Kaynakla ilgili bir konuda izleme ve proses kontrolü meydana getirilmesinde bu parametreler ve belirli durumlarda kaynağı başka açılardan etkileyen diğer parametreler arasındaki farklı ilişkilerin iyi anlaşılması gerekir. Çünkü bu anlayış geliştirilmiş çeşitli algoritmaların tanımlanmasında ve kontrol edilebilir parametrelerle gözlemlenebilir haritalar oluşturulmasında kullanılır.

Örneğin, nüfuziyet kaynak akımından önemli ölçüde etkilenir. Bununla birlikte robotik gazaltı kaynağında, kaynak akımı çoğu durumda kontrol edilebilir bir parametre değildir. Bunun yerine kaynağın elektriksel güç kaynağı tarafından tel besleme hızı kontrol edilir. Kaynak akımı ve tel besleme hızı arasındaki ilişkiden çıkan sonuç nüfuziyetin, tel besleme hızı değiştirilerek kontrol edilmesi olarak düşünülebilir. Çoğu durumda bu, uygulama açısından iyi bir strateji değildir. Bunun yerine kaynak akımı, temas nozulu – iş parçası uzaklığının değiştirilmesiyle oldukça geniş bir bölgede çeşitlendirilebilir. Kısa uzaklıklar yüksek akımla sonuçlanır. Bununla birlikte bu isteğin, hem güç kaynağı hem de kaynak torcunu hareket ettiren ekipmana bağlı parametrelerin tümleşik kontrolü anlamına geldiği kaynak robotları tarafından kontrol edilmesi kolay değildir. Bu örnek, çeşitli parametreler ve özellikler ile bu parametreleri kontrol eden farklı kontrol ekipmanları arasındaki ilişki ve karmaşıklığı göstermektedir [21].

#### **4.3.3.1 Gazaltı kaynağının izlenmesi ve kontrolü için sensörler**

Sensörlerin kullanım amacı bazı kontrol edilebilir sistemler yardımıyla kaynak yönteminin verimlilik ve/veya kalite açısından kontrol edilmesidir. Sensörlerin kullanımı otomatikleştirilmiş ve bilgisayarlı bir kontrol düzeneği kullanan bir sistem anlamına gelir.

Bu amaçla kullanılan çoğu sensör, kaynak pozisyonu (dikiş takibi) ölçümü, ark boyu kontrolü, nüfuziyet kontrolü ve on-line kalite kontrol ile ilgilidir.

##### **4.3.3.1.1 Kaynak pozisyonunun algılanması**

Son yıllarda geliştirilen çoğu sistem kaynak birleşmesinin gözlemlenmesi ve kaynak torcunun hareketini kontrol eden üniteye pozisyon datası sağlama amacını taşır. Amaç torcu gerçek kaynak birleşme konumuna adapte etmektedir. Çoğu durumda önceden tanımlanmış “nominal” bir kaynak birleşme yörüngesi mevcuttur ve sensör kaynak torcunun yörüngesini düzeltmesi için ihtiyaç duyduğu datayı üretir.

Daha çok uzun kaynak dikişlerinin çekilmesinde kullanılan mekanize edilmiş traktörler gibi basit otomasyonlar için, basit bir dokunsal sensör kullanılabilir. Prensip, kaynak torcu ve kaynaklı birleşme arasında sabit bir ilişkiyi muhafaza eden bir kılavuz tekerlek ile tamamen mekaniktir [21].

Bu basit konumlama ve algılama sistemleri kaynaklı birleştirilmelerin konumlandırılması amacıyla robotize edilmiş kaynak yöntemlerine de uygulanabilir. Çoğu durumda bu tür basit sistemler, kaynak esnasında torcun pozisyonunu kontrol etmek amacıyla kullanılan herhangi bir programı güncellemek için kaynak öncesi algılama olarak kullanılır.

#### **4.3.3.1.2 Birleşme konumunun kaynak öncesi algılanması**

Tam otomatik yada robotize kaynak işlemleri, birleşmenin konumu hakkında hassas bilgilere dayanır. Çoğu durumda proses tarafından ihtiyaç duyulan toleranslar, konumun kaynak öncesi her birleşme için ölçülmesinin zorunluluğu sebebiyle oldukça yüksektir. Bunun sebebi kaynak edilen parçadaki, bağlama aparatlarındaki, torç ve teli içeren robot sistemindeki toleranslardır. Diğer bir sebep iş parçası ile ilgili olabilir. Eğer parça boyutları büyükse ısıl genleşme sonucu boyutları büyükse ısıl genleşme sonucu boyutlar ve tolerans değişebilir.

Gazaltı kaynağında birleşme yerinin ölçülmesinde kullanılan basit ve yaygın metot gazaltı telinin ucunun temas probu olarak kullanılmasıdır. Bir kaynak robotunda, robot torcu birleşmeye yakın olarak hareket ettirir ve daha sonra kaynak edilecek birleşmeye bağlı olan yörünge için araştırma yapar. Çoğu zaman birleşmeler 90° köşe kaynağı yada V-ağızlı kaynaktır. Robotik kaynakta birleşmeyi konumlandıran sistem, ark algılaması kullanılarak dikiş takibi ile birleştirilmiştir [21].

Bu algılama kombinasyonu vasıtasıyla sistem, tel ucundaki bir eğilme ve robotun takım merkez noktası kalibrasyonunun hizalanmaması hususunda birleşme yerinin doğru olarak bulunmasındaki bazı problemlerin üstesinden gelir.

#### **4.3.3.1.3 Kaynak arkının algılanması**

Ark sensörleri; torç kaynaklı birleşme üzerinde hareket ettiğinden arkın bir yada daha fazla elektriksel parametresindeki değişimleri kullanır. Otomasyonda bu teknik, köşe, V-ağızlı ve dar aralık kaynaklarında sıkça kullanılır. Güç kaynağına bağlı olarak üç boyutlu uzayda birleşme üzerinde bir geometrik harita oluşturulması için bu bilgiler ve yükseklikteki değişimleri tespit etmek için farklı parametreler kullanılır. Sabit gerilimli güç kaynağı kullanıldığında uzaklık azalırken akım artar, sabit akımlı güç kaynağı kullanıldığında ise elektrot ve iş parçası arasındaki uzaklık azaldığında gerilim düşer.

Ark algılama tekniği günümüzde robotikte dikiş takibini görece düşük bir maliyetle ve yüksek güvenilirlikle uygulamada kullanılan en yaygın metottur. Alın ve V-ağzlı kaynaklarda 3-4 mm levha kalınlığına kadar ve çoğu köşe birleşmesi tipinde uygulanabilir. Çok pasolu kaynak için bazı robot sistemleri, ilk pasoda dikiş takibini kullanmak ve diğer pasolarda kullanacağı dikiş yörüngesini öğrenmek amacıyla bir öğrenme fonksiyonuna sahiptir.

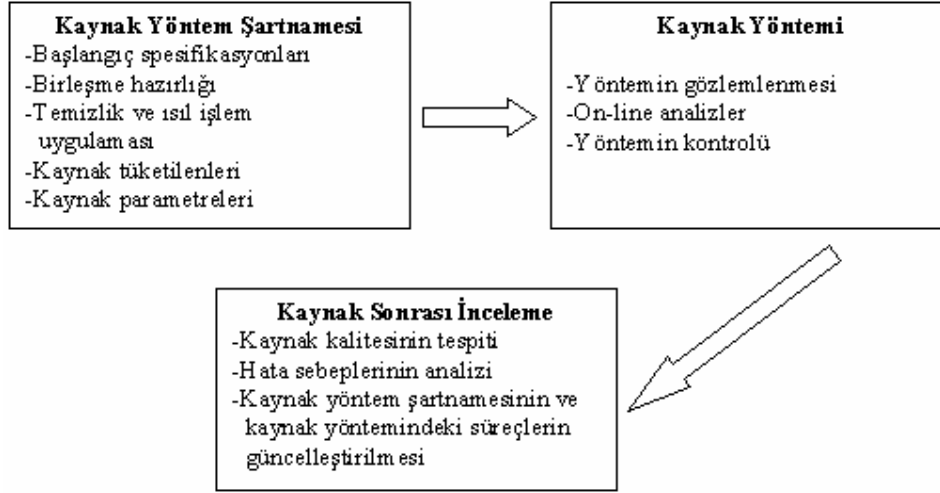
#### **4.3.3.1.4 İndüktif algılama**

İndüktif sensörler bir köşe kaynağını takip eden yakınlık sensörleri yada küt alın birleştirmeleri için kullanılan eddy akımı sensörleri olabilir. Bu sensörler diğerlerine nazaran kompakt, sağlam ve ağır koşullardaki kaynak işlemlerinde kullanılabilir. Robotik kaynakta yaygın olarak kullanılmazlar [21].

#### **4.3.3.1.5 Optik sensörler**

Kaynak otomasyonunda optik sensörler çoğu kez, birleşmeyi enine süpüren bir lazer ışığı ve normal ışığın tayflarına bölünmesi prensibine dayanır. Lazer ışığının taraması esnasında bir uzaklık ölçümü yapılır. Tipik tarama frekans değerleri, sistem tarafından gereksinim duyulan data sayısına (yüksek kaynak hızları, kaynak torcunun konumunun düzeltilmesi için daha fazla veri akışı gerektirir) bağlı olarak 10-40 kHz' dir. Ölçülen datanın tipik değerleri çoğu kaynak uygulaması için kabul edilebilir limitlerde olan  $\pm 0,1$  mm toleransındadır ancak büyüklük doğruluğu belirli koşullar altında daha yüksek olarak elde edilebilir.

Kaynak işlemi, uygulamada yapıldığı haliyle adım adım baştan sona incelenirse ilk basamak, belirli bir kaynak işlemi için gerekli kaynak koşulları hakkında detaylı bilgi sağlayan bir doküman olan "Kaynak Yöntem Şartnamesi (WPS)" nin oluşturulmasıdır. Daha sonra kaynak yöntemi, kaynak yöntem şartnamesine uygunluğunun temin edilmesi için kaynak esnasında kontrol edilmek zorundadır. Son adım ise, kaynaktan sonra kaynağın şartnamelere uygunluğu yada hata oluşması durumunda hata sebebinin tespit edilmesi ve kaynak yönteminde daha sonra oluşabilecek hatalara karşı uygun önlemlerin alınması için kalite kontrol işlemlerinin yapılmasıdır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kaynak yönteminin bilgi tabanlı sistemlerle kontrolünde ve izlenmesindeki temel basamaklar [21].

Aktiviteler için olan şartlar, yöntemi kontrol eden sistem için bazı spesifik talepleri meydana getirir. Kaynak öncesi ve sonrasındaki aktiviteler için belirli bir zaman kısıtlaması yoktur, ancak gerçek kaynak prosesi için beklenen durumdan herhangi bir sapmanın tespit edilmesinin, saniyenin belirli bir bölümünde değerlendirilmesi ve kontrol eylemi ile birlikte yapılması gerekmektedir. Kaynak yönteminin kendisi görece yavaş bir işlem gibi görünse de kısa zamanda eş zamanlı ölçümler, hesaplamalar ve analizler içerir. Kaynak sonrası kalite kontrol aktivitesi, genellikle analizler yapılması hususunda belirli bir zaman sınırlamasına sahip değildir [21].

Kaynak teknolojisinde kullanılmak için geliştirilen bilgi tabanlı sistemlerin çoğu aşağıdaki alanlarla ilgilidir:

- Mühendislik tasarımı
- Maliyet ve zaman hesabı
- Kaynak edilebilirlik ve ön tavlama sıcaklığının hesaplanması
- Kaynak tüketilenlerinin seçimi
- Kaynak şartnamelerinin oluşturulması, saklanması ve yeniden elde edilmesi
- Kaynakçı kalifikasyonu ve eğitimi
- Metalurjik hesaplamalar
- Deformasyonların hesabı



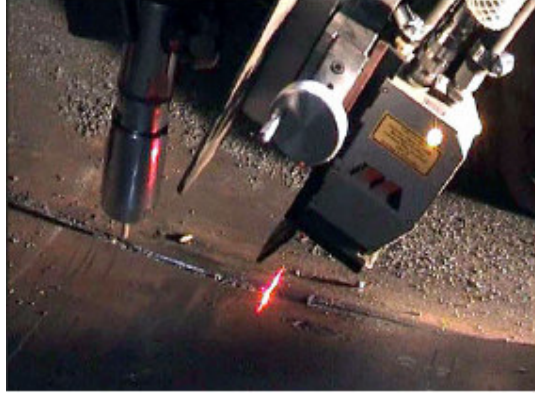
- Kaynak hatalarının teşhisi
- Yöntem kontrolü

#### 4.3.4 Spiral ve düz dikişli borular için lazer esaslı dikiş takipçisi

Sistem kaynağın birleşmede her zaman doğru yerde yapılmasını sağlamaktadır. İleri seviyedeki görüntü işleme yazılımı, ağız hazırlama doğru yapılmadığında dahi birleşme kökünün doğruluğunu sağlar.



Şekil 4.7 Tozaltı kaynak yöntemiyle üretilen spiral dikişli boruda dış kaynak dikişinin lazer kontrolü [13].



Şekil 4.8 Tozaltı kaynak yöntemiyle üretilen spiral dikişli boru iç kısmında punta kaynağının kontrolü [13].



Şekil 4.9 Tozaltı kaynak yöntemi ile iç dikişin imalatı ve kontrolü [13].



Şekil 4.10 Düz dikişli kaynaklı boruda dikişin kontrolü [13].



Şekil 4.11 Düz dikişli kaynaklı boruda dikiş kontrol sisteminin genel ve detay görünümü [13].

Bu durum kök nüfuziyetinin diğer manuel takip sistemlerinden daha iyi kontrol edilmesine imkan tanır. Böylece iç ve dış kaynak dikişleri arasında daha iyi bir birleşme elde edilebilmektedir. Sistem kaynak kafasının yatay hareketinin yanı sıra dikey hareketini de kontrol ettiğinden genel kaynak kalitesi geliştirilmiş olur.

Bu sistem aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve doğruluğu kanıtlanmış uygulamalar şunlardır:

- Konvansiyonel borulardaki iç ve dış kaynaklar
- On-line ultrasonik muayene
- Punta kaynaklarının kontrolü
- Eksen kaçıklığı ölçümü
- Boşluk ölçümü ve kontrolü

Düz dikişli borular için lazer takip hızı 10 m/dak.' ya kadar yükseldiğinden kaynak hızı operatörün yetenek seviyesine bağlı olmaksızın sadece yöntem tarafından sınırlanmış olur.

Söz konusu sistem kolon ve kiriş tipi makinelerle hem uzunlamasına hem de çevresel olarak kaynak edilen boru hatları, basınçlı tank ve deniz içi petrol ekipmanlarının imalatında kullanılabilir [13].

Geliştirilmiş olan otomatik kaynak sistemi yüksek et kalınlığına sahip tankların derin birleşmelerinde otomatik adapte olarak kullanılabilir. Sistem geniş V-ağızlarının ve dar aralıkların otomatik olarak doldurulmasına imkan verirken tekil kaynak pasolarının sayı ve yerleşimine kendisi karar verebilme yeteneğine sahiptir.

Sistem 90 mm derinliğine kadar uzunlamasına-çevresel iç ve dış dikişlerin imaline imkan tanır.

#### **4.3.5 Yüksek güçlü lazer kaynağının on-line kalite kontrolü**

Lazer kaynak yöntemine adapte edilmiş on-line kalite kontrol, yalnız kaliteli ürünler elde etmede sonucu etkileyebilir veya en azından kaynaktan birkaç milisaniye sonra sonuç hakkında bilgi verebilir.

Dikişin takibi, plazma izleme, kaynak banyosu analizi ve dikişin topoğrafik analizi gibi tekil kalite kontrol basamakları iyi bilinen ve endüstriyel olarak doğruluğu kanıtlanmış olanlardır.

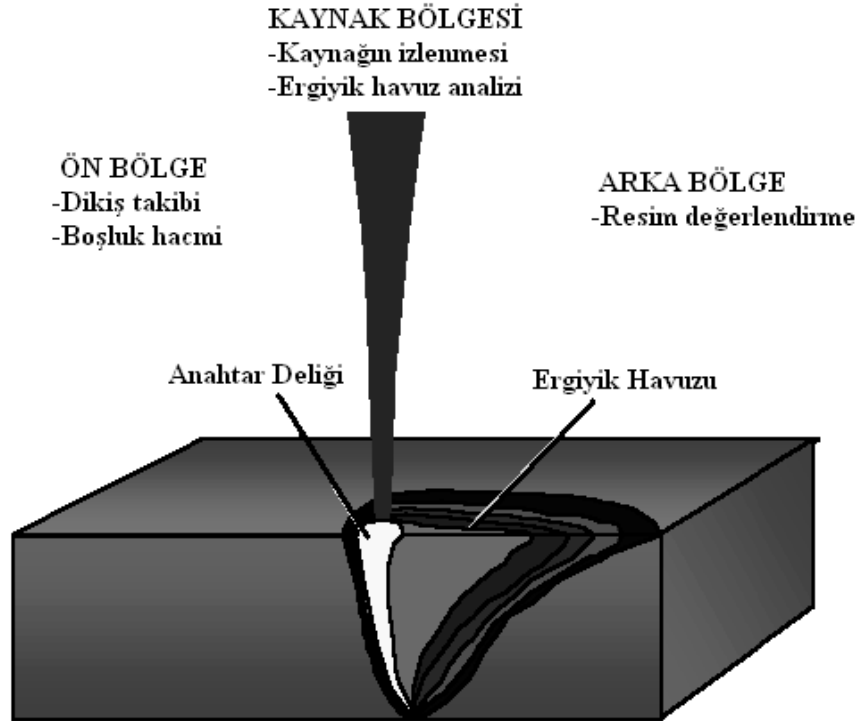
On-line kalite kontrolden kasıt, paralel olarak çalışan tüm sensörlerin kalite kontrole katkıda bulunmasıdır. Bu kontrol sistemi için ilave bir zamana veya operatöre ihtiyaç yoktur. Özel muayene istasyonuna da ihtiyaç duyulmaz [20].

Kullanılan on-line kalite kontrol sisteminde üç bölge vardır (Şekil 4.12) :

İlk bölge dikiş takibi olarak adlandırılan kaynak yapılan yerin önüdür. İkinci bölge, plazma izleme sistemi yada metal banyosu veya kaynak yönteminin oluşturduğu optik sinyallerin değerlendirildiği kamera tabanlı sistem olarak adlandırılan kaynak işleminin kendisidir. Üçüncü bölge kaynak kafasının arkasında yer almaktadır. Bu bölgede kaynak tamamlanmıştır ve katılmış dikişin değerlendirilmesi mümkündür.

Özellikle kaynak kafasının arkasındaki bölgede ultrasonik yada on-line eddy akımları testi gibi diğer muayene yöntemleri uygundur. Bu sistemlerin güvenilirliğini gösteren muhtelif sistemler olsa da on-line kalite kontrolde optik lazer takımları için optik sensörler kullanılır.

Kaynak yönteminin kalitesi, çoğunlukla dikiş takibi ve kaynak kafasının önündeki boşluğun hacminin tespiti yapılarak artırılabilir. Örneğin belirli bir nüfuziyet için lazer gücünün kontrolü gibi plazma izleme sinyalleri kullanan bazı yaklaşımlar vardır. Diyet lazerlerle plastiklerin kaynağında ve yüzey sertleştirme işlemlerinde sıcaklık sensörleri, numunenin zarar görmemesi için lazer gücünü kontrol eder [20].



Şekil 4.12 On-line kalite kontrolde bölgeler [20].

#### 4.3.5.1 Seri imalatta hata kategorileri

Lazer kaynağı çok değişkenli bir yöntemdir. Başarılı bir sonuç için, ürünün tasarımı esnasında

spesifik özellikler göz önüne alınmalıdır. Metalurjik evrelere, yüzey tabakalarına, kirliliğe, birleşmenin konumuna ve kenar hazırlığına tolerans problemleri kadar dikkat edilmelidir.

Uygun lazer kaynağının ve ekipmanlarının seçimine ilaveten kaynak parametrelerinin optimizasyonu da önemlidir.

Seri imalat öncesi bu çalışmalar, imalata başlamadan yapılmalıdır. Ancak, imalat esnasında birçok bilinmeyen parametre kaynak sonucunu etkileyecektir. Kalite kontrolün görevi bu tahmin edilmemiş parametrelere değinmek ve operatöre yöntemi kontrol etmek için alarm vermektir. EN ISO 13919 Avrupa Standardı, hata kategori listesini sunar ve kılavuz olarak kullanılabilir. Uygun kalite kontrol yöntemini bulmak için belirli tip bir hatanın neden meydana geldiği bilinmelidir. Bu standart; bitmiş kaynak dikişleri için olan ve özünde birçok kalite bilgisi bulduran, yöntem için olmayan klasik kalite standartlarından farklılık gösterir.

Çizelge 4.1 Lazer kaynağında hata türleri ve uygun kalite kontrol teknikleri [20].

Hata türleri	Sebepler	Kalite Kontrol
Çatlaklar	Metalurjik problemler	Topoğrafik analiz (çatlak yüzeyde görülebiliyorsa)
	Hizalanma hatası	Dikiş takibi
Gözenek	Metalurjik problemler	Giderilemez
	Anahtar deliğinde çökme	İzleme
	Yağ/gres kirliliği	İzleme
Ergime eksikliği	Yetersiz lazer gücü	İzleme ve ergiyik havuzunun analizi
	Odak noktası değişimi	
	Yöntemdeki gazın değişimi	
	Kaynak hızı değişimi	
	Boşluk oluşumu	Dikiş takibi
Tam doldurulmamış kaynak ağzı	Boşluk oluşumu	İzleme
		Hacim ölçümü
		Topoğrafik analiz
Dikişte çatlak	Boşluk oluşumu	İzleme
		Topoğrafik analiz
Nüfuziyet noksanlığı	Yetersiz lazer gücü	İzleme ve ergiyik havuzunun analizi
	Odak noktası değişimi	
	Yöntemdeki gazın değişimi	
	Kaynak hızı değişimi	

Dikiş/birleşme takibi ve on-line izleme ile en ciddi kaynak hataları çoğu durumda tespit edilebilir. Topoğrafik analiz ilave bilgi sağlayabilir. Yüksek frekans resim değerlendirmesinin kullanılmasında bu sistemlerin maliyeti dikiş takibi yapan sistemlerin maliyeti ile kıyaslanabilir yada daha yüksektir.

#### 4.3.5.2 Dikiş izleme

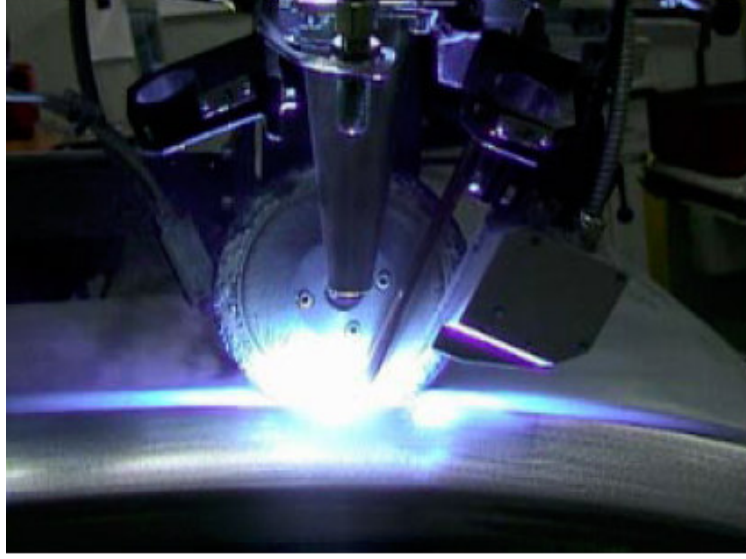
Günümüzde otomotivde hemen hemen bütün çatı dikişleri CO<sub>2</sub> veya Nd: YAG lazerle, dikiş takip sistemi kullanılarak yapılmaktadır. Bindirme birleştirmeler üzerindeki köşe kaynakları gibi özel dikiş türleri, kaynak kafasının çok hassas bir şekilde kılavuzlanmasını gerektirir. Çoğu standart dar çatı kanalının bindirme kaynağı, Şekil 4.13' de dikiş takibini gerçekleştiren kamera ile kontrol edilmektedir [20].



Şekil 4.13 Dikiş takip kamerasının Nd: YAG lazer kaynak kafasına kılavuzluk edişi.

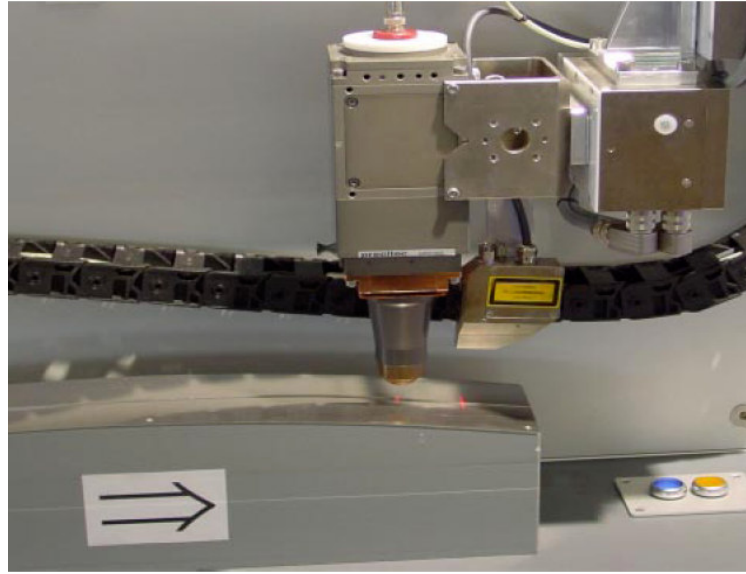
Kaynak kafasının önündeki dikiş takip kamerası bindirme şeklinde birleştirilmiş sacın kenarını kaynak kafasına yanıl kılavuz olarak kullanır. Baskı tekerleği ise dikey pozisyonun sabit tutulmasını sağlar (Şekil 4.14), [20].





Şekil 4.14 Çatı dikişinin CO<sub>2</sub> lazer kaynağı ile kaynatılmasında; dikiş takip kamerası kaynak kafasına yatay, baskı tekerleği ise dikey kılavuzluk eder [20].

Ergiyik havuzunun geometrik analizi, kalite ile ilgili bilgi elde edilmesinde kullanılan kamera tabanlı bir yaklaşımdır. Gelişmiş optik sensör sistemleri zorlu endüstriyel koşullarda çalışan lazer kaynak makineleri ile birleştirilmiştir. Kaynak kafası ile birleştirilmiş kapalı devre kontrol sistemlerinin kullanımı makineyi üreten ve kullanan için karmaşıklığı azaltmıştır. Bu tümleşik sistemler kalitenin imalat esnasında kontrol edildiği kaynak yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 4.15 Lazer kaynak uygulamalarının kalite kontrolü için kesin bir çözüm olarak, iki eksende kayma yeteneğine sahip dikiş takip kamerası ve izleme sensörleri ile donatılmış yüksek güçlü Nd: YAG lazer kaynak kafası [20].

## 5. GÖZLEM ÇALIŞMASI

Bu bölümde kaynaklı imalatta kalitenin sağlanması ve artırılması amacıyla yapılan gözlem çalışması ve elde edilen sonuçlar anlatılmaktadır. Gözlem çalışması TÜLOMSAŞ' a ait "Vagon ve Yol Gereçleri Fabrikası" nda yürütülmüştür. Söz konusu gözlem çalışmasında; demiryolu taşıtlarında kullanılan ve "boji" olarak adlandırılan parçaya ait şasi iskeletinin imalatı incelenmiştir.

### 5.1 Bojinin Tanıtımı ve Teknik Özellikleri

Boji, demiryolu araçlarında karoser ve vagonun üzerine oturduğu, tekerlekler ile vagon arasındaki yük ve hareket aktarımını sağlayan elemandır. Kaynaklı olarak imal edildikten sonra üzerine tekerlek takımı ve fren sistemi monte edilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. Boji tipi olarak Y 25 Lsd tipi seçilmiştir. Bu seçimde Y 25 Lsd tipi bojinin kullanım alanının genişliği ve ağırlıklı olarak imal edilmekte oluşu etkili olmuştur. Y 25 Lsd tipi boji demiryollarında yük taşımacılığında hizmet veren vagonlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde Y 25 Lsd tipi bojinin kullanıldığı vagon türleri şunlardır:

1. Cevher taşıma vagonu
2. Balast taşıma vagonu
3. Kapalı yük vagonu
4. Araç taşıma vagonu
5. Konteynır vagonu
6. Hububat taşıma vagonu
7. Sarnıç vagon
8. Kayan duvarlı vagon

Aşağıda, Y 25 Lsd tipi boji kullanılan vagon tiplerinden bazıları görülmektedir.



Şekil 5.1 Cevher taşıma vagonu.





Şekil 5.2 Kapalı yük vagonu.



Şekil 5.3 Hububat taşıma vagonu.



Şekil 5.4 Kayan duvarlı vagon.

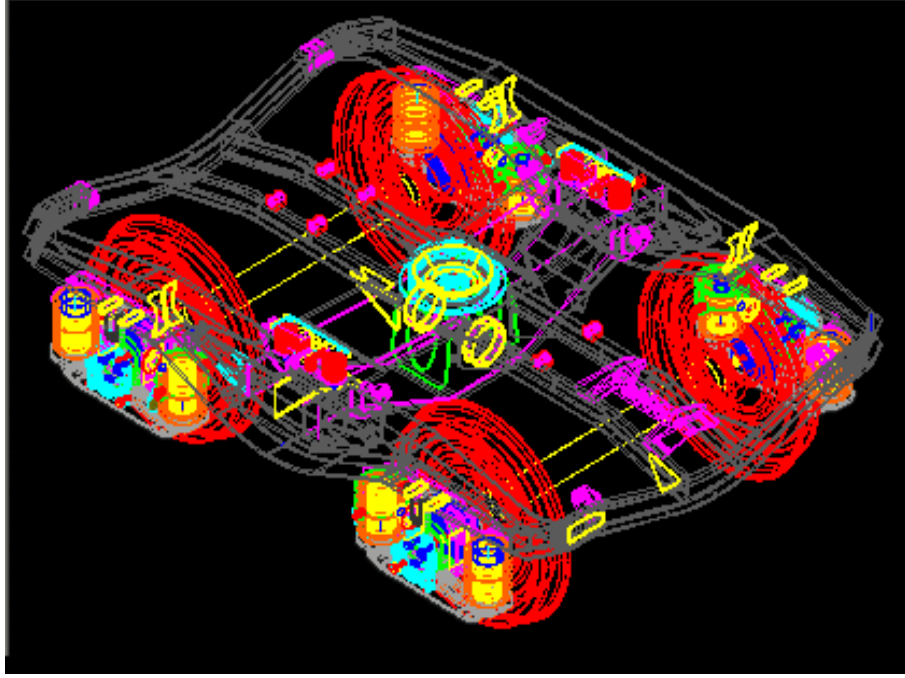


Şekil 5.5 Sarnıç vagon.

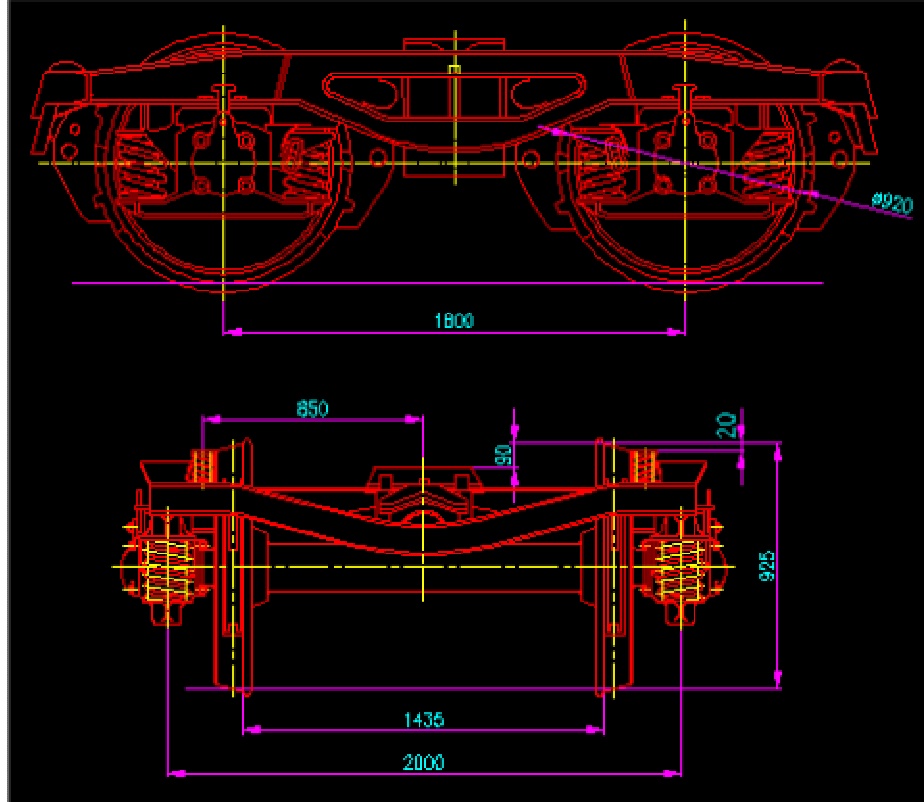
Y 25 Lsd tipi bojiye ait teknik özellikler ve tanıtıcı bazı resimler aşağıda sunulmuştur.

#### **Teknik özellikler**

Ray açıklığı	: 1435 mm.
Boji dingilleri arası mesafe	: 1800 mm.
Tekerlek çapı	: 920 mm.
Maksimum dingil yükü	: 22,5 ton.
Maksimum hız	: 120 km/saat
Bojinin yerden yüksekliği (vagon 20 ton iken)	: $925^{+3}_{-5}$ mm.
Yan bariyerler arası mesafe	: 2x850 mm.
Uzunluk	: 2983 mm.
Genişlik	: 2356 mm.
Ağırlık	: 5300 kg ( $\pm 5\%$ )



Şekil 5.6 Y 25 Lsd tipi boji ve iskelet yapısı.



Şekil 5.7 Y25 Lsd tipi bojinin ölçüleri.



Şekil 5.8 Y25 Lsd tipi boji.



Şekil 5.9 Cevher taşıma vagonu altındaki Y 25 Lsd tipi boji.





Şekil 5.10 Bakım atölyesindeki Y 25 Lsd tipi boji.



Şekil 5.11 Y 25 Lsd tipi bojinin önden görünüşü.

Ek-1 de verilen şasi iskeleti teknik resminde, şasiyi oluşturan parçalara ait montaj numaraları ve adetler Çizelge 5.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Şasi iskeletini oluşturan parçaların adetleri ve montaj numaraları.

Montaj numarası	Parça adı	Adet
1	Üst plaka	2
2	Alt plaka	1
3	Alt plaka	1
4	Yan plaka	1
5	Yan plaka	1
6	Ripe	8

7	Tahdit parçası	8
8	Plaka	2
9	Plaka	1
10	Plaka	2
11	Plaka	1
12	Orta travers sacı	2
13	Ripe	2
14	Ripe	4
15	Bükme uç parçası	4
16	Orta travers sacı	2
17	Takviye çemberi	2
18	Alın kirişi	2
19	Topraklama ripesi	1

## 5.2 Boji İskeletine Ait Kaynakların İncelenmesi

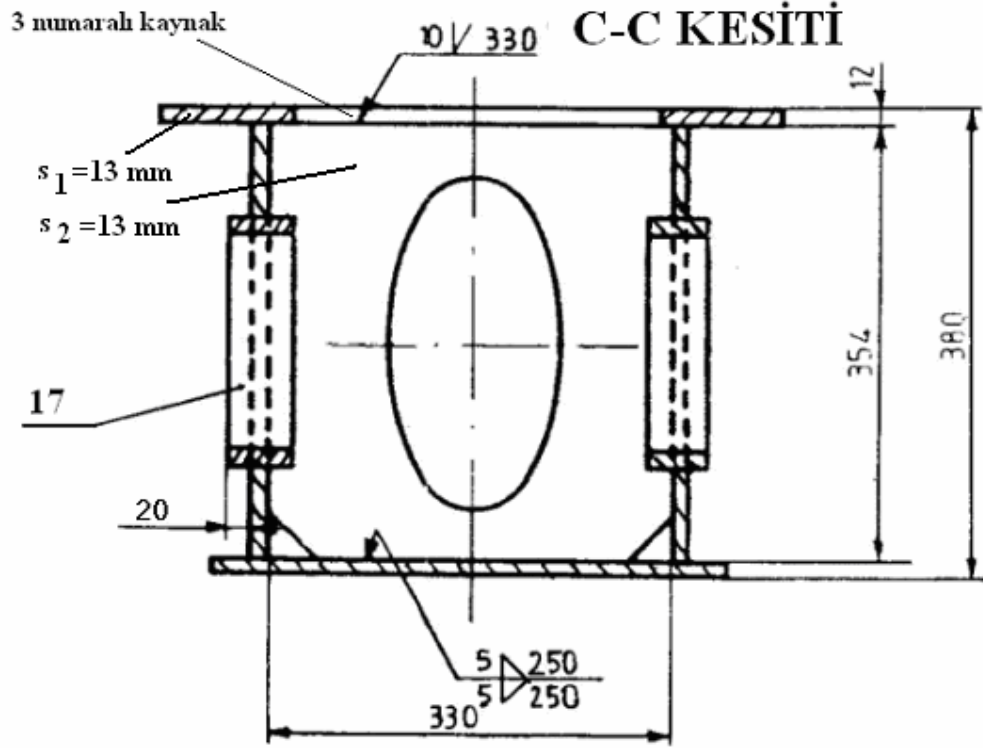
Gözlem çalışmasında boji iskeletinin altı adet kaynağı incelenmiş olup bu kaynakların şasi iskeletine ait teknik resimdeki yerleşimi Çizelge 5.2' deki gibidir.

Çizelge 5.2 İncelenen altı adet kaynağın şasi iskeletinin teknik resmindeki yerleşimi.

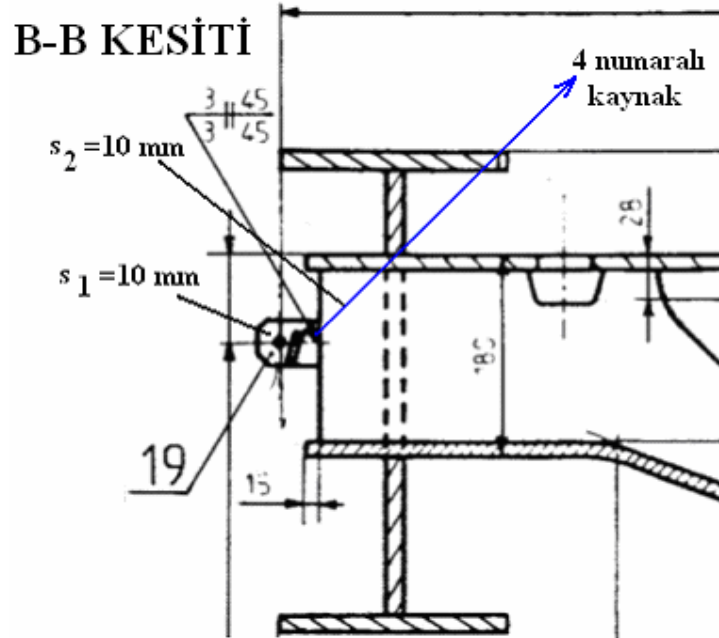
Kaynak no	Şasi resmindeki yeri
1	H-H kesiti
2	E-E kesiti
3	C-C kesiti
4	B-B kesiti
5	A-A kesiti
6	A-A kesiti

Gözlem çalışmasında altı adet kaynağın seçiminde; kaynakların farklı birleşme, ağız tipi ve zorlanma durumuna sahip olması esas teşkil etmiştir. Aşağıda altı adet kaynağa ait detay resimleri görülmektedir.





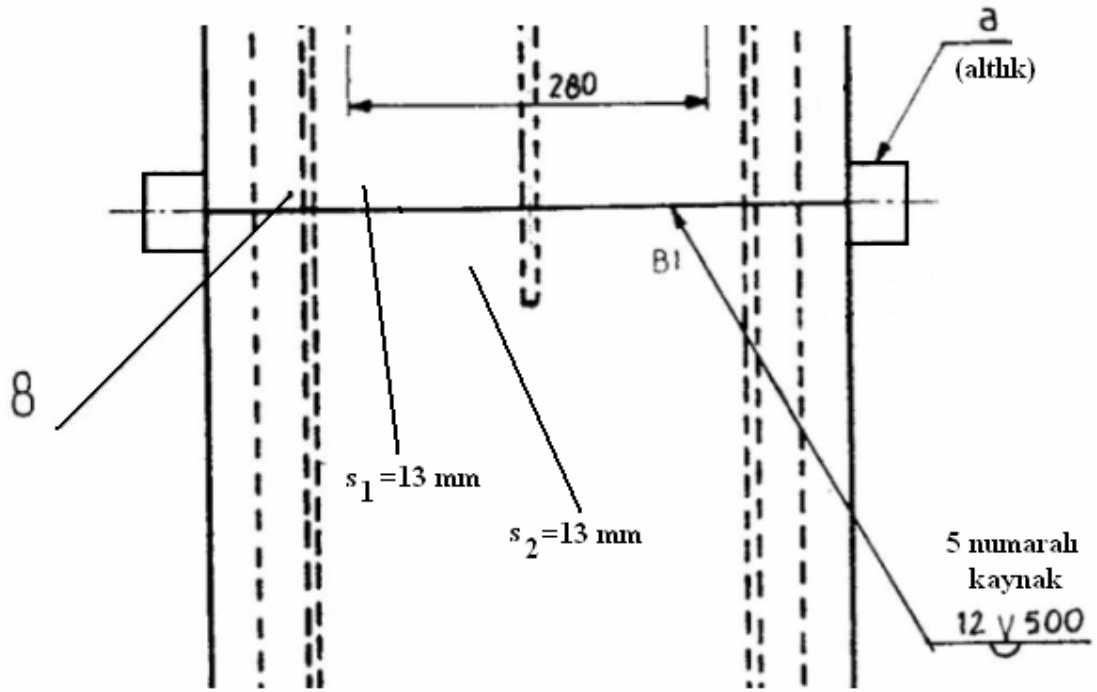
Şekil 5.14 3 numaralı kaynak (C-C kesiti).



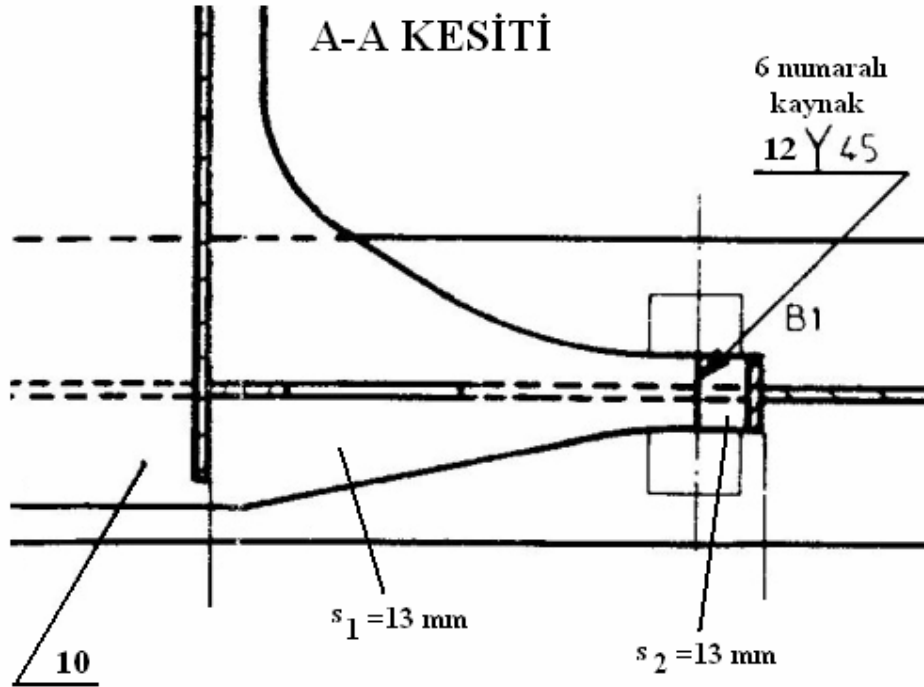
Şekil 5.15 4 numaralı kaynak (B-B kesiti).



## A-A KESİTİ



Şekil 5.16 5 numaralı kaynak (A-A kesiti).



Şekil 5.17 6 numaralı kaynak (A-A kesiti).

Yukarıda detay resimleri görülen altı adet kaynağın imalatında kullanılan parametreler ve kaynakların tasarımına ait bilgiler Çizelge 5.3' de sunulmuştur. Gözlem çalışmasında TÜLOMSAŞ Vagon ve Yol Gereçleri Fabrikası' nda uygulanan parametreler ile kullanılan malzeme ve kaynak tüketilenleri için standartlarca öngörülen değerler mukayese edilmiştir. Kaynak dikişlerine ait, Çizelge 5.3' de verilen değerler ideal olup olmadıkları bakımından irdelenmiştir.

Ayrıca seçilen kaynaklar için karbon eşdeğeri hesaplanarak ön tavlama gereksinimi olup olmadığı ve gerekli ise tavlama sıcaklığı tayini yapılmıştır. Daha sonra birim dikiş enerjisi araştırması yapılarak kullanılan enerji değerinin uygunluğu kontrol edilmiştir.



Çizelge 5.3 Altı adet kaynağın imalat ve tasarımına ilişkin bilgiler (devamı).

KAYNAK NO	1	2	3	4	5	6
ÖN TAYLAMA SICAKLIĞI (°C)	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR
PASOLAR ARASI SICAKLIK (°C)	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR	UYGULANMIYOR
ELEKTROT ÇAPı (mm)	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm
KAYNAK AKIMI (A)	230 A	230 A	230 A	230 A	230 A	230 A
KAYNAK GERİLİMİ (V)	22 V	22 V	22 V	22 V	22 V	22 V
GAZ DEBİSİ (lt/dak)	12 lt/dak.	12 lt/dak.	12 lt/dak.	12 lt/dak.	12 lt/dak.	12 lt/dak.
KAYNAK KALİTE STANDARDI	UIC 897-13	UIC 897-13	UIC 897-13	UIC 897-13	UIC 897-13	UIC 897-13
KONTROL YÖNTEMİ	GÖZLE MUAYAENE	GÖZLE MUAYAENE	GÖZLE MUAYAENE	GÖZLE MUAYAENE	GÖZLE MUAYAENE	GÖZLE MUAYAENE
KONTROL ORANI (%)	% 10	% 10	% 10	% 10	% 10	% 10
NOT						

Bojinin seçilen altı adet kaynağı, % 100 CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, gaz altı kaynak yöntemi (MAG) ile manuel olarak yapılmaktadır. Bojide kullanılan malzeme S235JR (DIN 17100' e göre St 37-2) olup kimyasal bileşimi şu şekildedir:

Çizelge 5.4 Boji malzemesinin kimyasal bileşimi.

Malzeme ve tanımlandığı standart		Kimyasal bileşim					
		% C	% Mn	% Si	% P	% S	% N
S235JR	EN 10025	0,17	1,25	≤0,30	≤0,045	≤0,045	≤0,009
St 37-2	DIN 17100						

Yukarıdaki kimyasal bileşime göre ön tavlama ihtiyacının ve sıcaklığının (gerekli ise) tayini iki yolla yapılabilir.

**1. IIW/İIS' in öngördüğü karbon eşdeğeri formülüne göre;**

$$C_{es} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (5.1)$$

$$C_{es} = 0,17 + \frac{1,25}{6} = 0,38 \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.5 Karbon eşdeğerine göre ön tavlama gereksinimi ve sıcaklık değerleri.

Karbon eşdeğeri (C <sub>es</sub> )	Ön tavlama gereksinimi ve sıcaklığı
C <sub>es</sub> < 0,45	Gerekmez. (Ancak s>25 mm ise 100°C de ön tavlama faydalı olur.)
0,45 < C <sub>es</sub> < 0,60	100° C -200° C
C <sub>es</sub> > 0,60	200° C -350° C

Çizelge 5.5' e göre S235JR için bulunan C<sub>es</sub>=0,38<0,45 ve altı adet kaynak dikişindeki parça kalınlıkları 25 mm den daha az olduğundan ön tavlama yapılmasına ihtiyaç yoktur.

**2. D. Seferian' ın öngördüğü karbon eşdeğeri formülüne göre;**

$$C_{es} = \%C + \frac{\%Mn + \%Cr}{9} + \frac{\%Mo}{13} + \frac{\%Ni}{360} \quad (5.2)$$

Bulunan C<sub>es</sub>' e göre ön tavlama sıcaklığı da;

$$t_{ontav} = 350 \cdot \sqrt{C_{es} - 0,25} \quad (5.3)$$

olarak öngörülmüştür. Buna göre;

$$C_{es} = 0,17 + \frac{1,25}{9} = 0,31 \text{ olarak bulunur.}$$

$$t_{\text{önlav}} = 350 \cdot \sqrt{0,31 - 0,25} = 85,7 \cong 86 \text{ }^\circ\text{C}$$

D. Seferian' a göre  $C_{\text{eş}}=0,31$  dir. Bu  $C_{\text{eş}}$  değerine göre  $85^\circ\text{C}-90^\circ\text{C}$  aralığındaki bir sıcaklıkta ön tavlama yapılması gerekmektedir.

Malzemenin % 0,20 nin altındaki karbon oranı; martenzit oluşumu ve dolayısıyla sertleşme riskini minimum mertebede tutmaktadır. Martenzit oluşum riskinin düşüklüğü ve ayrıca kaynatılan parçaların et kalınlıklarının fazla yüksek olmaması (parça kalınlıkları genellikle 20 mm nin altındadır) sebebiyle, Vagon ve Yol Gereçleri Fabrikası' nda ön tavlama uygulanmaması herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak atölye ortam sıcaklığının düşük olduğu durumlarda kaynak dikişinin soğuma hızı artacağından kaynak işlemine başlamadan önce  $85^\circ\text{C}-90^\circ\text{C}$  sıcaklığında bir ön tavlama yapılması faydalı olabilir.

Birim dikiş enerjisinin hesabı aşağıdaki formülle yapılabilir:

$$Q = \tau \cdot \frac{I \cdot U \cdot 60}{V_k \cdot 1000} \text{ (kJ/cm)} \quad (5.4)$$

Burada;

Q : Birim dikiş enerjisi (kJ/cm)

$\tau$  : Kaynak yöntemine bağlı katsayı

I : Kaynak akımı (Amper)

U : Kaynak gerilimi (Volt)

$V_k$  : Kaynak hızı (cm/dk.)

Çizelge 5.6' da birim dikiş enerjisi hesabında kullanılan yöntem katsayısına ait değerler görülmektedir.

Çizelge 5.6 Kaynak yöntem katsayısı.

Kaynak yöntemi	$\tau$
Örtülü elektrotla ark kaynağı	0,70-0,85
TIG kaynak yöntemi	0,22-0,48
MIG-MAG kaynak yöntemi	0,66-0,70
Tozaltı ark kaynak yöntemi	0,90-0,98

Her bir kaynak dikişi için kullanılan kaynak akımı, ark gerilimi ve kaynak hızı değeri Çizelge 5.3' e göre şu şekildedir:

Kaynak akımı ( I ) : 230 A

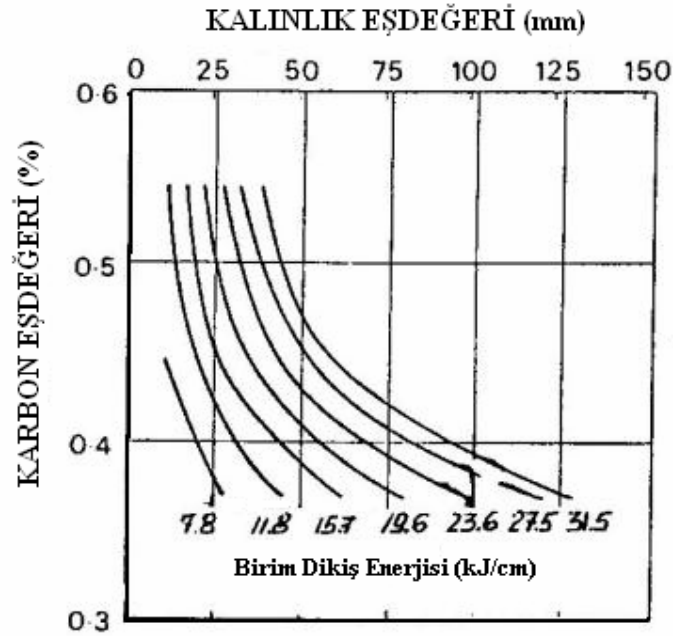
Ark gerilimi (U) : 22 V

Kaynak hızı ( $V_k$ ) : 25-35 cm/dk

MAG kaynağı için 0,68 olarak seçilen yöntem katsayısı ve yukarıdaki kaynak parametrelerine göre altı adet kaynak için birim dikiş enerjisi;

$$Q = 0,68 \cdot \frac{230 \cdot 22 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 6,88 \text{ kJ/ cm olarak bulunur.}$$

Bulunan bu birim dikiş enerjisi değeri ile Şekil 5.18' deki diyagramdan elde edilen enerji değeri kıyaslanarak birim dikiş enerjisinin uygunluğu kontrol edilebilir.



Şekil 5.18 Karbon eşdeğeri ve kalınlık eşdeğerine bağlı olarak birim dikiş enerjisinin değişimi.

Kalınlık eşdeğeri dikişi oluşturan parçaların et kalınlıkları toplamıdır ve şu formülle hesaplanır:

$$S_{eş} = S_1 + S_2 + S_3 + \Lambda + S_n \quad (5.5)$$

Şekil 5.18 için kalınlık eşdeğeri ise denklem 5.1 ile hesaplanır. Altı adet kaynak dikişi için karbon eşdeğeri ve kalınlık eşdeğerleri şu şekildedir:

Çizelge 5.7 Kaynak dikişleri için karbon ve kalınlık eşdeğerleri.

Kaynak numarası	Karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ )	Kalınlık eşdeğeri ( $S_{eş}$ )
1	$C_{eş}=0,38$	$S_{eş}=S_1+S_2=15+16= 31$ mm
2	$C_{eş}=0,38$	$S_{eş}=S_1+S_2=10+15= 25$ mm
3	$C_{eş}=0,38$	$S_{eş}=S_1+S_2=13+13= 26$ mm
4	$C_{eş}=0,38$	$S_{eş}=S_1+S_2=10+10= 20$ mm
5	$C_{eş}=0,38$	$S_{eş}=S_1+S_2=13+13= 26$ mm
6	$C_{eş}=0,38$	$S_{eş}=S_1+S_2=13+13= 26$ mm

Çizelge 5.7' deki karbon ve kalınlık eşdeğerleri ile Şekil 5.18' deki diyagramdan her kaynak için bulunan birim dikiş enerjileri şu şekildedir:

Çizelge 5.8 Altı kaynak dikişi için diyagram yardımıyla hesaplanan birim dikiş enerjileri.

Kaynak no	Birim dikiş enerjisi (kJ/cm)
1	9,3
2	7,8
3	8,2
4	6,1
5	8,2
6	8,2

Her kaynak için, Çizelge 5.8' de bulunan birim dikiş enerjileri ile Çizelge 5.3' de fabrikada uygulanan değerlerden elde edilen birim dikiş enerjileri şu şekilde mukayese edilebilir:

### 1 Numaralı Kaynak:

230 A ve 22 V luk elektriksel parametreler sonucu elde edilen 6,88 kJ/ cm lik birim dikiş enerjisi, malzeme karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) ve parça kalınlık eşdeğerinin ( $S_{eş}$ ) gerektirdiği (Çizelge 5.8) 9,3 kJ/cm lik değerden düşüktür. Yeterli nüfuziyet ve iyi bir ergime için birim dikiş enerjisi değerinin en az 9,3 kJ/cm olması gerekmektedir. Bu amaç için 290 A ve 24 V ile çalışılarak;

$$Q_1 = 0,68 \cdot \frac{290 \cdot 24 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 9,47 \text{ kJ/cm lik birim dikiş enerjisine ulaşılabilir.}$$

### 2 Numaralı Kaynak:

230 A ve 22 V luk elektriksel parametreler sonucu elde edilen 6,88 kJ/ cm lik birim dikiş enerjisi, malzeme karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) ve parça kalınlık eşdeğerinin ( $S_{eş}$ ) gerektirdiği (Çizelge 5.8) 7,8 kJ/cm lik değerden düşüktür. Yeterli birim dikiş enerjisi için 240 A ve 24 V ile çalışılarak;



$$Q_2 = 0,68 \cdot \frac{240 \cdot 24 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 7,83 \text{ kJ/cm lik birim dikiş enerjisine ulaşılabilir.}$$

### 3 Numaralı Kaynak:

230 A ve 22 V luk elektriksel parametreler sonucu elde edilen 6,88 kJ/ cm lik birim dikiş enerjisi, malzeme karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) ve parça kalınlık eşdeğerinin ( $S_{eş}$ ) gerektirdiği (Çizelge 5.8) 8,2 kJ/cm lik değerden düşüktür. Yeterli birim dikiş enerjisi için 235 A ve 26 V ile çalışılarak;

$$Q_3 = 0,68 \cdot \frac{235 \cdot 26 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 8,31 \text{ kJ/cm lik birim dikiş enerjisine ulaşılabilir.}$$

### 4 Numaralı Kaynak:

230 A ve 22 V luk elektriksel parametreler sonucu elde edilen 6,88 kJ/ cm lik birim dikiş enerjisi, malzeme karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) ve parça kalınlık eşdeğerinin ( $S_{eş}$ ) gerektirdiği (Çizelge 5.8) 6,1 kJ/cm lik değerden fazla olduğundan yeterli birim dikiş enerjisine ulaşılmıştır. Yüksek birim dikiş enerjisi kaynak dikişine daha fazla enerji yüklenmesi anlamına gelir. Dikiş enerjisinin artışı parça boyutu küçük ise çarpılma ve kendini çekme miktarının artmasına sebep olur. Şekil 5.14' de 19 montaj numarası ile gösterilen ripenin boyutlarının küçük olması bu birim dikiş enerjisi ile çalışıldığında çarpılmaya sebep olabilir. Bu sebeple 190 A ve 24 V ile çalışılarak;

$$Q_4 = 0,68 \cdot \frac{190 \cdot 24 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 6,20 \text{ kJ/cm lik birim dikiş enerjisinin kullanılması ile bu çarpılma riski minimuma indirilmiş olur.}$$

### 5 Numaralı Kaynak:

230 A ve 22 V luk elektriksel parametreler sonucu elde edilen 6,88 kJ/ cm lik birim dikiş enerjisi, malzeme karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) ve parça kalınlık eşdeğerinin ( $S_{eş}$ ) gerektirdiği (Çizelge 5.8) 8,2 kJ/cm lik değerden düşüktür. Yeterli birim dikiş enerjisi için 240 A ve 26 V ile çalışılarak;

$$Q_5 = 0,68 \cdot \frac{240 \cdot 26 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 8,48 \text{ kJ/cm lik birim dikiş enerjisine ulaşılabilir.}$$

### 6 Numaralı Kaynak:

230 A ve 22 V luk elektriksel parametreler sonucu elde edilen 6,88 kJ/ cm lik birim dikiş enerjisi, malzeme karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) ve parça kalınlık eşdeğerinin ( $S_{eş}$ ) gerektirdiği

(Çizelge 5.8) 8,2 kJ/cm lik değerden düşüktür. Yeterli birim dikiş enerjisi için 240 A ve 26 V ile çalışılarak;

$$Q_6 = 0,68 \cdot \frac{240 \cdot 26 \cdot 60}{30 \cdot 1000} = 8,48 \text{ kJ/cm lik birim dikiş enerjisine ulaşılabilir.}$$

Kullanılan ana malzeme (S235JR), parça kalınlıkları ve elektriksel parametreler (kaynak akımı ve kaynak gerilimi) ile bulunan; karbon eşdeğeri, kalınlık eşdeğeri ve birim dikiş enerjisi özellikleri üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda 4 numaralı kaynak hariç diğer tüm kaynaklarda, kullanılan birim dikiş enerjisi değerlerinin gereğinden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, kaynak metalini oluşturan ana metal ve ilave malzeme arasındaki nüfuziyet ve ergime miktarını olumsuz etkilemektedir. Kullanılan kaynak akımı ve kaynak gerilimi değerlerinin daha yüksek seçilmesi ile yeterli birim dikiş enerjisine ulaşmak mümkündür. Kaynak akımının artması nüfuziyeti ve ergimeyi daha sağlıklı hale getirecektir.

Tüm kaynaklar 360° dönebilen bağlama çenelerine sahip kaynak konumlandırıcıları vasıtasıyla oluk pozisyonunda yapılmaktadır.

Koruyucu gaz olarak %100 oranında CO<sub>2</sub> kullanılmaktadır. Gazaltı kaynağında koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub>' nin kullanımı; yüksek nüfuziyet oranı, yüksek kaynak hızlarında çalışma imkanı ve düşük maliyet gibi avantajlarının yanı sıra yüksek miktarda sıçrıntı ve kaba bir ark oluşmasına sebep olur. Boji kaynaklarının nüfuziyet gereksinimleri ve parça kalınlıklarının görece yüksek olmaması göz önüne alındığında CO<sub>2</sub> gazının kullanımı doğru bir tercih olarak ortaya çıkmaktadır.

Ana metal (S235JR) ve ilave metal (G424MG3Si1) mekanik özellikleri bakımından kıyaslanırsa;

Çizelge 5.9 Ana metal ve ilave metalin mekanik özellikleri.

<b>Mekanik özellikler</b>	<b>Ana metal (S235JR)</b>	<b>İlave metal (G424MG3Si1)</b>
Akma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	≥235	≥420
Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	360-510	540-640
Çentik darbe enerjisi (J)	≥27 (20°C' da)	≥47 (-30°C' da)

Çizelge 5.9' a göre ilave metalin mekanik özellikleri ana metalinkinden daha yüksektir. Kaynak dikişinin mekanik ve yapısal bütünlüğü ile mukavemeti açısından dolgu malzemesinin ana malzemedan daha yüksek mekanik özelliklere sahip olması gerekir. Bu sebeple Çizelge 5.9' daki ilave metalin seçimi doğru bir tercihtir.

Ön tavlama ve pasolar arası sıcaklığın kontrolü; optimum mekanik özellikler, çatlama ve kırılma direnç ve sertliğin kontrol edilebilmesi bakımından önem taşır. Özellikle çok pasolu ve yüksek et kalınlığına sahip kaynaklarda ön tavlama yapılmalı ve pasolar arası sıcaklık kontrol edilmelidir. İş parçasının durumu, geçerli şartnameler, şekil değiştirme olanağının yüksek miktarda kısıtlanması ve alaşım miktarındaki artış ön tavlama ve pasolar arası sıcaklık kontrolünü gerektirebilir. Bu özellikler göz önüne alındığında boji kaynakları için ön tavlama ve pasolar arası sıcaklık kontrolü olmazsa olmaz bir koşul değildir.

Gazaltı kaynak tekniğinde elektrot çapının artması nüfuziyeti azaltırken, dikiş genişliği ve yüksekliğini artırır. Nüfuziyetin azalması ve dikiş yüksekliğinin artması kaynak kalitesini olumsuz etkileyeceğinden 1,2 mm lik elektrot çapı seçimi uygundur [18].

Elektrot üreticisinin ilgili elektrot çapı için öngördüğü koruyucu gaz debisi 12 lt/dk dır. Ancak 1, 3, 5 ve 6 numaralı kaynaklardaki parça kalınlıkları diğer kaynaklardan daha fazla olduğundan koruyucu gaz debisinin 14-15 lt/dk civarında seçilmesi arkın ve kaynak banyosunun daha iyi korunmasını kolaylaştıracaktır.

TÜLOMSAŞ Vagon ve Yol Gereçleri Fabrikası'nda imal edilen boji iskeletlerinin kaynakları UIC 897-13 standardına tabidir. UIC 897-13, Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) tarafından yayınlanmış ve "Çelik malzemeden yapılmış, demiryolu araçlarındaki kaynaklı birleştirmelerin kalite kontrolü için teknik şartname" adını taşıyan bir kalite kontrol standardıdır. Bu standarda göre kaynaklı birleştirmeler üç sınıfa ayrılmaktadır. Bir kaynaklı birleştirmenin sınıfı, çalışma esnasında maruz kalacağı gerilmeler göz önüne alınarak çalışma bürosu (projeyi tasarlayan büro) tarafından belirlenir ve kaynaklı birleştirme içeren ürünü kullanacak firmanın teknik departmanı tarafından onaylanır. Bu sınıflandırmaya göre kaynak sınıfları şunlardır:

**B Sınıfı Kaynaklar:** Çalışma esnasında dinamik gerilmelere ve değişik koşullara maruz kalan yüksek kaliteli kaynaklardır. Büyük ölçüde yorulmaya maruz bazı sınırlı alanlar için kaynak sonrası işlemler (fazla kaynak metalinin giderilmesi, parçacık püskürtme, TIG gibi bir yöntem kullanılarak kaynağın yeniden ergitilmesi v.b.) uygulanması gerekebilir.

**C Sınıfı Kaynaklar:** Montaj, alt-montaj veya konstrüksiyonun dayanımını etkileyen kaliteli kaynaklardır.

**D Sınıfı Kaynaklar:** Standart kalitedeki kaynaklardır.

UIC 897-13 şartnamesi, kaynaklar için 3 aşamalı bir kalite kontrol önermektedir. Kaynak tamamlandıktan sonra yapılan kalite kontrol kadar kaynak öncesinde ve kaynak aşamasında yapılacak kalite kontrolün önemine değinmektedir.

Şartnamede, kaynak öncesi değerlendirmede; kaynatılacak parçaların ağız ve yüzey hazırlığının, WPS' in doğrulandığı testteki değerlere uygun olmadığının tespiti halinde söz konusu parçaların imalatta kullanılmaması gerektiği vurgulanmaktadır.

Kaynak esnasında yapılacak kontrollerde ise standardın “Kaynağın Yapılışı” bölümünde belirtilen koşullara uygunsuzluğun tespiti halinde incelenen ve aynı şekilde olup imalatı bitmiş parçaların reddedilmesinin gerekliliği anlatılmaktadır. Kaynağın yapılışı bölümünde değinilen durumlar özetle şunlardır:

- Kaynakçıların/operatörlerin uygunluğu
- Uygulanan kaynak prosedürünün uygunluğu
- Dolgu malzemesinin uygunluğu
- Kaynatılacak parçaların hazırlığı (ağız hazırlığı, temizlik v.b.)
- Kaynağın yapılışı ile ilgili şartlar (örneğin kapak pasodan önceki tüm pasoların metal fırça ile temizlenmesi, kapak pasoların soğuk çekiçlenmemesi, B sınıf alın kaynaklarının başlangıç ve bitişlerinde ilave parça kullanılması gerektiği v.b.)
- Kaynağın bitirilişi ve temizlenmesi
- Gerilme giderme için ısıl işlemler
- Kaynakların tamiri

İmalatı tamamlanmış kaynaklı bağlantıların kontrolünde (kaynak sonrası kontrol) ise;

- Kaynağın görünüş ve boyutları
- İç koşulların (kaynak hatalarının)
- Tamamlanmış parçaların geometrisinin kontrolü önerilmektedir.

Kaynak sonrası yapılacak kontrol ve muayene işlemleri için UIC 897-13 şartnamesinin ek kısmında kaynaklı alın ve köşe birleştirmeleri için kabul kriterleri (kaynak kusurları için kabul edilebilir limitler) verilmiştir.

Yapılan gözlem çalışmasında boji kaynaklarının, kaynak işlemi tamamlandıktan sonra örnekleme muayenesi şeklinde (kontrol grubundan birkaç numune seçerek grup hakkında fikir

edinme) görsel olarak kontrol edildiği tespit edilmiştir. Seçilen altı adet kaynak için herhangi bir sınıflandırma bilgisine ulaşılamamıştır.

Bugüne değin söz konusu kaynaklar çalışma esnasında bir sorun teşkil etmemiş olsa da, tekrarlanabilir kalitenin ve kalite güvencesinin sağlanması açısından ilgili şartnamenin öngördüğü kontrol ve muayene işlemlerinin yapılması gerekir.

### **5.3 Gözlem Çalışmasına Ait Sonuçlar ve Değerlendirme**

Yukarıdaki veriler ışığında, gözlem çalışmasından elde edilen sonuçlar ve kalite güvencesinin artırılması amacıyla yapılan öneriler şunlardır:

1. Boji malzemesinin düşük karbon oranı ve görece yüksek olmayan et kalınlıkları sebebiyle ön tavlama kaynak için bir ön koşul olmayabilir. Ancak düşük ortam sıcaklıkları ve artan et kalınlıklarında sertleşme ve çatlama riskinin azaltılması için 85-90°C sıcaklık ile ön tavlama yapılması faydalı olabilir.
2. Bojinin incelenen altı adet kaynağı için seçilen, kaynak akımı ve kaynak gerilimi değerlerinin daha sağlıklı nüfuziyet ve ergime için yeterli birim dikiş enerjisini karşılayacak şekilde artırılması kaynak kalitesine katkıda bulunacaktır.
3. Uluslararası Demiryolu Birliği' nin demiryolu araçlarındaki kaynaklı birleştirmelerin kalite kontrolü için öngördüğü UIC 897-13 nolu şartname imalatın her aşamasında esas alınmalıdır. Bu şartnameye göre kaynak dikişleri sınıflandırılmalı ve yapılan sınıflandırma sonucunda kaynak dikişlerinden beklenen özelliklerin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmelidir. Kaynak öncesi, kaynak anı ve kaynak sonrasındaki kalite kontrol faaliyetleri, ek kısımdaki kabul kriterlerinin de yardımıyla gerçekleştirilmelidir. Bu kontrol faaliyetleri görsel muayenenin yanı sıra özellikle B ve C kaynaklar için tahribatsız muayene yöntemlerini de içerebilir. Kaynak esnasında da kaynak parametrelerinin ve çalışma tekniğinin uygunluğu şartnamenin öngördüğü kurallar doğrultusunda kontrol edilmelidir.
4. Kalite kontrolün daha verimli bir şekilde yapılabilmesi açısından kaynak dikişi bazında bir kalite kontrol planı oluşturulmalı ve her dikiş kendisinden beklenen özellikler temelinde değerlendirilmelidir.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kaynaklı birleştirmeler, geniş kullanım alanları içerisinde çoğu zaman birleştirdikleri parçalar arasında yük ve kuvvet taşımaları amacıyla tasarlanırlar. Kaynağın bu görevi güvenli ve verimli bir şekilde yerine getirebilmesi, kendisinden amacına uygun olarak beklenen niteliklere sahip olmasını gerektirir. Kaynağın bu nitelikleri karşılama kabiliyetinin bir göstergesi olan kaynak kalitesi, günümüzde gerek teknolojik ve gerekse ticari alanda büyük öneme sahiptir ve bu önem gelişen teknolojiye paralel olarak artmaktadır.

Kaynaklı imalat; kaynak öncesi, kaynak anı ve kaynak sonrası olmak üzere üç aşamalı bir süreçtir. Doğal olarak kaynak kalitesi de bu süreçlerdeki, kaynağa hazırlık çalışmaları, kaynak parametreleri ve kaynak sonrası kalite kontrol faaliyetlerinden etkilenir. Üç aşama içerisinde kaynak kalitesini en çok etkileyen; kaynak parametrelerini ve çalışma tekniği içeren, metalurjik dönüşümlerin ve mekanik özelliklerde değişimlerin yaşandığı kaynak anıdır.

Kaynak öncesi hazırlık aşamasına ait hatalar; doğru tasarım, standart ve şartnamelere uygun ağız hazırlığı ve parça temizliği, kaynak ekipmanlarının ve kaynak tüketilenlerinin malzemeye ve konstrüksiyona uygun seçilmesini içeren doğru kurulmuş bir sistem ile garanti altına alınabilir.

Ancak kaynak anı bu aşamadan farklıdır. Her yeni kaynak dikişinin yapılışındaki malzeme, ortam koşulları ve kaynak parametreleri o dikişe özgüdür. Birbirleri ile etkileşim içindeki kaynak parametreleri, kaynakçının/kaynak makinesinin çalışma tekniği, kaynakçının o andaki ruhsal durumu ve dikkati (manuel kaynakta) ile büyük ölçüde ideal kabul edilen malzemenin gerçek metalurjik özellikleri bir araya gelerek kaynağın sahip olacağı özelliklere ve dolayısıyla kaynak kalitesine etki ederler.

Kaynak sonrasında yapılan muayene işlemleri ise kaynak kalitesini geliştirmekten çok kaliteyi tespit etmede kullanılan bir araç niteliği taşır. Kaynağın tamamlanarak özelliklerinin belli olmasından sonra yürütülen kontrol ve tamir uygulamaları düzeltici ve önleyici faaliyet görevi görür. Hatayı oluşuktan sonra gidermekten yerine oluşmasına imkan vermemek; işçilik, zaman, maliyet ve verimlilik açısından sağlayacağı faydaların yanı sıra kaliteyi de güvence altına alır.

Kaynak kalitesinin kaynak anında kontrol edilerek kalitenin güvence altına alınmasında genel olarak; aynı amaca hizmet eden ancak farklı araçlar kullanan iki yöntem mevcuttur. Bunlar kaynakla eş zamanlı yürütülen görsel muayene ve otomatikleştirilmiş tahribatsız muayene sistemleridir.

Kaynak anındaki görsel muayenede; kullanılan parametrelerin ve çalışma tekniğinin uygunluğu, kullanılan cihazların yeterlilikleri öncelikli olarak incelenmelidir. Çok pasolu kaynak dikişlerinde kaynak dayanımı açısından büyük önem taşıyan kök pasolar; çatlama, yetersiz ergime ve dolgu eksikliği bakımından görsel olarak kontrol edilmelidir. Bu konuda her kaynakçı için bir inspektör istihdam etmenin zorluğu sebebiyle kaynakçılar eş zamanlı görsel muayene konusunda bilgilendirilmelidir.

Kalite güvencesi amacıyla kaynak esnasında kullanılan otomatikleştirilmiş tahribatsız muayene sistemleri ise büyük ölçüde elektronik altyapıya sahip, deneysel kökenli çalışmalar sonucu geliştirilmiş, optik ve bilgisayar kontrollü yöntemlerdir. Uzun vadede üretim maliyetlerini düşürebilen bu sistemlerin verimliliği, aynı yapıda (şekil, boyut ve özellik bakımından) çok sayıda imal edilen kaynak dikişlerinin kontrolünde daha yüksektir. Parçanın karmaşıklığının artması, kaynağa ulaşabilirlik ve cihaz çalışma parametrelerinin parçaya adaptasyonu konularında birtakım güçlükler yaratmaktadır. Ayrıca tespit edilecek hata türünün sayısındaki artış, bu tür kontrol sistemlerini daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bununla birlikte gelişmiş sensör ve kontrol teknolojileri sayesinde insandan çok daha hızlı algılama, karşılaştırma ve müdahale yeteneğine sahiptirler. Geri beslemeli sistemleri aracılığıyla tespit edilen hataya anında müdahale ve düzeltme imkanı sağlayabilmektedirler.

Yukarıda değinilen sonuçlar ve yürütülen gözlem çalışmasının da katkısı ile kalite güvencesinin kaynak aşamasında artırılması ile ilgili şu öneriler verilebilir:

- Kaynağın bir süreç olduğunun farkına varılarak sürecin her aşamasında sürekli kontrol esas alınmalıdır.
- Kaynak öncesi “Kaynak Yöntem Şartnamesi (WPS)” oluşturularak doğruluğu sağlanmalı ve imalat süresince WPS’ e sıkı sıkıya bağlı kalınmalıdır.
- Kaynağın hazırlık aşamasından başlayarak, her aşamada malzeme, yöntem ve çalışma tekniği ile ilgili standart, kod ve şartnamelere uygunluk sağlanmalıdır.
- Kaynak esnasında; kaynak parametreleri, kaynak ekipmanının sağlıklı çalışıp çalışmadığı ve çalışma tekniği kontrol edilmeli, herhangi bir uygunsuzluk tespitinde anında müdahalede bulunularak hata büyümeden ve kaynak işlemi ilerlemeden uygunsuzluk giderilmelidir.
- Kaynak hatalarını oluştuktan sonra tespit etmek yerine onların oluşumuna sebep olabilecek olumsuzluk yada eksikliklerin zamanında tespiti ve düzeltilmesi kaynak kalitesi konusunda ana fikir olarak düşünülmelidir.

- Kaynakla eş zamanlı kullanılacak, otomatikleştirilmiş tahribatsız muayene sisteminin seçiminde tespit edilecek hata türü, muayene edilecek parça boyutları, parçanın karmaşıklığı ve aynı özelliklere (şekil, boyut v.b. açıdan) sahip kontrol edilecek parça sayısı göz önünde bulundurulmalıdır.
- Kalite, sistematik ve düzenli bir kontrolün ürünüdür. Bu sebeple kaynaklı imalatın kalite güvencesi için belirli bir sistem oluşturulmalı ve düzenli kontrol faaliyetleri yürütülmelidir. Kalitenin tekrarlanabilirliği açısından sistematik çalışma esas alınmalıdır.
- Kalitenin sürekli geliştirilmesine katkıda bulunması açısından tüm kalite kontrol faaliyetlerinin sonuçları mümkün mertebede kalıcı kayıtlar şeklinde dokümanite edilmeli ve yapılacak geliştirme faaliyetlerinde veri kaynağı olarak kullanılmalıdır.



## KAYNAKLAR

- Anık, S., Vural, M., (1996), “Kaynak ve NDT personelinin eğitimi ve sertifikalandırılması esasları”, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim, Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Yayın No:1, İstanbul.
- Blodgett, O.M., Funderburk, R.S., Miller, D.K., Quintana, M., (1999), “Fabricators’ and Erectors’ Guide to Welded Steel Construction”, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Florida, 15-21.
- Carry, H.B., (1989), “Modern Welding Technology”, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Cürgül, İ., (2001), “Konstrüksiyon Tekniği Ders Notları”, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 99-119.
- Cürgül, İ., (1997), “Makine Elemanları”, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Sayı: 6, Cilt: 1, Kocaeli, 109-140.
- Durgutlu, A., Gülenç, B., Tülbentçi, K., (1999), “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi”, Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, Sayı 4, Sayfa 251-259.
- Funderburk, R.S., (2001), “Selecting Filler Metals: Electrodes for Stres Relieved Applications”, Welding Innovation, Vol. XVIII, No: 2.
- Funderburk, R.S., (1999), “A Look at Heat Input”, Welding Innovation, Vol. XVI, No: 1.
- Funderburk, R.S., (1999), “Selecting Filler Metals: Matching Strength Criteria”, Welding Innovation, Vol. XVI, No: 2.
- Funderburk, R.S., (1997), “Fundamentals of Preheat”, Welding Innovation, Vol. XIV, No:2.
- Eryürek, B., (2003), “Gazaltı Kaynağı”, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- Güner, F., Filiz, Z., (2002), “Kaynak Teknolojisi Alanında Avrupa’da Personel Eğitimi”, Mühendis ve Makine, Sayı 513.
- Jackson, M.D., (1967), “Welding Methods and Metallurgy”, A Textbook of Welding Technology, Charles Griffin and Company Limited, London.
- Jessop, T.J., (2005), “National and international qualifications for welding personnel”, Welding&Cutting, Issue 3.
- Holdren, R.L., (1993), “What Are the Causes of and Solutions to Weld Quality Conflicts?”, Welding Journal, Vol. 72, No:8, 57-65, New York.
- Miller, D.K., (2003), “Pay Attention to Tack and Temporary Welds”, Welding Innovation, Vol. XX, No:1.
- Nippes, E.F., Cubberly, W.H., Stedfeld, R.L., Mills, K., Davis, J.R., Sanders, B.R., (1983), “Metals Handbook Ninth Edition”, American Society for Metals, Ohio.
- Robert, E., Shaw, Jr., (1999), “Ensuring weld quality in structural steel construction”, Practical Welding Today, Michigan/USA.
- Saini, D., Floyd, S., (1998), “An Investigation of Gas Metal Arc Welding Sound Signature for On-Line Quality Control”, Welding Journal, Vol. 7, No:4, 172-179, New York.
- Şık, A., (2006), “Yapı Çeliğinin (St52-3) MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Çekme Dayanımı Özelliklerine Etkisi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:7, Sayı: 1.

The AWS, (1999), “AWS B 1.10-86 Guide for Nondestructive Inspection of Welds”, The American Welding Society.

The AWS, (1969), “Welding Handbook Sixth Edition”, The American Welding Society.

“The Metals Handbook Ninth Edition, Vol. 6 Welding, Brazing and Soldering”, (1983), The American Society for Metals, Metals Park, Ohio.

Ural, K., (2001), “Toplam Kalite Yönetimi Ders Notları”, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

### **İNTERNET KAYNAKLARI**

- [1] [www.alcotec.com](http://www.alcotec.com)
- [2] [www.arcraftplasma.com](http://www.arcraftplasma.com)
- [3] [www.aws.org](http://www.aws.org)
- [4] [www.ewi.org](http://www.ewi.org)
- [5] [www.isf-aachen.de](http://www.isf-aachen.de)
- [6] [www.isf.rwth-aachen.de](http://www.isf.rwth-aachen.de)
- [7] [www.jflf.org](http://www.jflf.org)
- [8] [www.jobshop.com](http://www.jobshop.com)
- [9] [www.key-to-steel.com](http://www.key-to-steel.com)
- [10] [www.library.uow.edu.au](http://www.library.uow.edu.au)
- [11] [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)
- [12] [www.makinamuhendisi.com](http://www.makinamuhendisi.com)
- [13] [www.meta-mvs.com](http://www.meta-mvs.com)
- [14] [www.me.uwaterloo.ca](http://www.me.uwaterloo.ca)
- [15] [www.mmmgroup.com](http://www.mmmgroup.com)
- [16] [www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org)
- [17] [www.ndt.net](http://www.ndt.net)
- [18] [www.oerlikon.com.tr](http://www.oerlikon.com.tr)
- [19] [www.pedc.se](http://www.pedc.se)
- [20] [www.precitec.de](http://www.precitec.de)
- [21] [www.robotics.lu.se](http://www.robotics.lu.se)
- [22] [www.tpub.com](http://www.tpub.com)
- [23] [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk)

**EKLER**

Ek 1 Y 25 Lsd tipi bojinin kaynaklı şasi iskeleti.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	04.03.1981	
Doğum yeri	Eskişehir	
Lise	1996-1999	Eskişehir Cumhuriyet Lisesi
Lisans	1999-2003	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

**Çalıştığı kurumlar**

2005-2006	Entek Enerji, Çevre, Mühendislik, İnşaat, Montaj San. ve Tic. Ltd. Şti.
2006-Devam ediyor	Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü, Bursa Bölge Müdürlüğü.