

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ ÇELİK KONSTRÜKSİYONLARDA
OLUŞAN DİSTORSİYONLARIN ETÜDÜ**

Endüstri Mühendisi Salih Cumhuri YORULMAZEL

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI (YTÜ)

İstanbul,2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN TANIMI VE ALAŞIM ELEMENTLERİ	2
2.1 Paslanmaz Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementleri	3
2.2 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri ve Türleri	4
2.2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	8
2.2.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	10
2.2.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler	12
2.2.4 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler	14
2.2.5 Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	15
3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİ	17
3.1 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	17
3.2 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	19
3.3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	20
3.3.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Krom Karbür Oluşması	21
3.3.2 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Sıcak Çatlak Oluşması	24
3.3.3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Sigma Fazı Oluşması	27
3.4 Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	30
3.5 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	32
4. PASLANMAZ ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	33
4.1 Ergitme Kaynağı Yöntemleri	33
4.1.1 Gaz Ergitme Kaynağı	33
4.1.2 Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı	33
4.1.3 Ergiyen Elektrotla Gazaltı Kaynağı (MIG)	45
4.1.3.1 Sprey İletim	48
4.1.3.2 Kısa Devre İletim	51
4.1.3.3 Darbeli İletim	55
4.1.3.4 Küresel Metal Taşınımı	58
4.1.3.5 MIG Kaynağında Ağız Hazırlığı	59
4.1.4 Ergimeyen Elektrotla Gazaltı Kaynağı (TIG)	60
4.1.5 Plazma Ark Kaynağı Yöntemi	66
4.1.6 Tozaltı Kaynağı Yöntemi	68
4.1.7 Elektron Işın Kaynağı	73

4.1.8	Lazer Işın Kaynağı.....	74
4.2	Basınç Kaynak Yöntemleri.....	79
4.2.1	Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri.....	80
4.2.1.1	Direnç Nokta Kaynağı.....	80
4.2.1.2	Yakma Alın Kaynağı.....	82
4.2.2	Sürtünme Kaynağı.....	83
4.2.3	Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	86
4.2.4	Difüzyon Kaynağı.....	90
5.	KAYNAKLI PARÇALARDA MEYDANA GELEN DİSTORSİYONLAR.....	91
5.1	Gerilmelerin Ve Distorsiyonların Meydana Gelmesine Etki Eden Faktörler.....	91
5.1.1	Kaynak Gerilmeleri.....	92
5.1.1.1	Enlemesine Gerilmeler.....	93
5.1.1.2	Boylamasına Gerilmeler.....	93
5.1.1.3	İç Köşe Dikişlerinde Kendini Çekme Gerilmeleri.....	94
5.2	Distorsiyon Çeşitleri.....	94
5.2.1	Enine Distorsiyonlar.....	95
5.2.1.1	Alın Birleştirmelerde Enine Distorsiyonlar.....	95
5.2.1.2	İç Köşe Birleştirmelerde Enine Distorsiyonlar.....	96
5.2.2	Boyuna Distorsiyonlar.....	96
5.2.2.1	Alın Birleştirmelerde Boyuna Distorsiyonlar.....	97
5.2.2.2	İç Köşe Birleştirmelerde Boyuna Distorsiyonlar.....	97
5.2.3	Açısal Distorsiyonlar.....	98
5.2.4	Alın Birleştirmelerde Açısal Distorsiyonlar.....	98
5.2.4.1	İç Köşe Birleştirmelerde Açısal Distorsiyonlar.....	99
5.3	Distorsiyonu Azaltmak İçin Yapılması Gerekenler.....	100
5.3.1	Konstrüktif Önlemler.....	100
5.3.2	Teknolojik Önlemler.....	102
5.4	Geçici Isıl Gerilmelendirme Yöntemi.....	105
5.4.1	Kaynaklı T Konstrüksiyonlarda Gerilmelerin Azaltılması.....	109
5.4.1.1	Artık Gerilmeler ve Eğilmeler.....	109
5.4.1.2	Konu İle İlgili Daha önce Yapılmış Çalışmalar.....	110
5.4.1.3	Geçici Isıl Gerilmelendirme Deneyinin Amacı.....	111
5.4.1.4	Deney Koşulları.....	111
5.4.1.5	Deneyin Sonuçları.....	112
5.4.2	T Bağlantılarda Deneysel Distorsiyon Analizi.....	114
5.4.2.1	Deney Koşulları.....	115
5.4.2.2	Deneyin Sonuçları.....	116
5.4.3	Kaynaklı Bağlantılarda Bükülmenin İncelenmesi.....	119
5.4.4	Kaynak Nedeniyle Meydana Gelen Bükülmelerin Azaltılması.....	121
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	125
6.1	Paslanmaz Çeliklerle Yapılan Deneyler.....	125
6.2	St-37 Tip Çeliklerle Yapılan Deneyler.....	135
6.3	Yapılan Deneyler Doğrultusunda Ulaşılan Sonuçlar.....	142
7.	SONUÇLAR.....	146
	KAYNAKLAR.....	148
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	149

ÖZGEÇMİŞ.....	150
---------------	-----

SİMGE LİSTESİ

A	Kaynak kesit alanı
a	Dikiş kalınlığı
d	Kaynak dikişinin nötr eksene uzaklığı
i	Akım
I	Atalet momenti
k	Malzemeye bağlı sabit
L	Kaynak uzunluğu
Q	Isı
R	Direnç
s	Sac kalınlığı
t	Kaynak akımının devrede kalma süresi
W	Konstrüksiyonun genişliği
w	Kaynak boyutu
Δb	Enine çekme
Δl	Boyuna çekme
$\Delta \alpha$	Açısal distorsyon

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
AISI	American Iron and Steel Institue
ASTM	American Society for Testing Materials
AWS	American Welding Society
Cr _{eş} – Ni _{eş}	Krom Eşdeğeri – Nikel Eşdeğeri
DC	Doğru Akım
DKB	Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge
ELC	Extra Low Carbon – Çok düşük karbonlu
EN	European Norms
FN	Ferrit Numarası
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
TMEB	Termomekanik Olarak Etkilenen Bölge
TWI	The Welding Society

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Cr ve Ni yüzdelere göre paslanmaz çelik çeşitleri	5
Şekil 2.2: Schaeffler diyagramı	6
Şekil 2.3: İç yapıların görüntüsü	6
Şekil 2.4: Ferritik paslanmaz çelikler	9
Şekil 2.5: Martenzitik paslanmaz çelikler ve östenitik paslanmaz çelikler	12
Şekil 2.6: Çift fazlı paslanmaz çelikler ve çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler	16
Şekil 3.1: Tane sınırına biriken krom karbürler ve tane sınırı korozyonu	22
Şekil 3.2: Kaynak edilmiş parçada korozyona uğrayan bölge	22
Şekil 3.3: WCR-1992 Diyagramı	26
Şekil 3.4: Ferrit miktarının %12'den fazla olması hali ve ferrit yüzdesine göre esneklik	28
Şekil 3.5: Oluşan sigma fazı çizgileri ve çökelen sigma fazı izleri	29
Şekil 4.1: Yumuşak çeliğin paslanmaz çeliğe birleştirmesinde kullanılan yüzey kaplama yöntemi	39
Şekil 4.2: Yumuşak çelik yüzeyinin paslanmaz çelik tabaka ile kaplanmasında uygulanan yöntemler	40
Şekil 4.3: MIG kaynağı şeması	47
Şekil 4.4: Sprey iletim	48
Şekil 4.5: MIG kaynağında kısa devre iletim	51
Şekil 4.6: Kısa devre metal iletimi	51
Şekil 4.7: Büzme kuvveti etkisi	56
Şekil 4.8: Akım damlacık ilişkisi	57
Şekil 4.9: Küresel metal taşınımı	58
Şekil 4.10: TIG kaynağı torcu	61
Şekil 4.11: TIG kaynağı donanımı	61
Şekil 4.12: Otomatik TIG kaynağı yöntemi	63
Şekil 4.13: Plazma arkı çeşitleri	67
Şekil 4.14: Plazma ark kaynağı prensibi	67
Şekil 4.15: Tozaltı kaynağı yönteminde ağız tasarımları	69
Şekil 4.16: 304 kalite paslanmaz çelik için tipik bir çift taraflı "V" bağlantısı	70
Şekil 4.17: Paslanmaz çeliklerin tozaltı kaynağında kullanılan bakır altlıklara ait kanal ölçüleri	71
Şekil 4.18: (a) Yatay konumda düz kaynak (b) Hafif meyilli yüzeyde aşağıdan yukarıya	72
doğru kaynak (c) Hafif meyilli yüzeyde yukarıdan aşağıya doğru kaynak	72
Şekil 4.19: Elektron ışın kaynağı düzeneği	73
Şekil 4.20: (a) Elektron ışın kaynağı ile yapılan kaynak (b) TIG kaynağı ile yapılan kaynak	74
Şekil 4.21: Lazer kaynağı çalışma prensibi	75
Şekil 4.22: Lazer kaynağı ile kaynaklanmış parçanın mikroskop altında görüntüsü	76
Şekil 4.23: Isı iletim kaynağı tekniği	77
Şekil 4.24: Derin kaynak tekniği	78
Şekil 4.25: Lazer kaynağı izleri	79
Şekil 4.26: Punto kaynağı	81
Şekil 4.27: Sürtünme kaynağı tertibatı	85
Şekil 4.28: Sürtünme karıştırma kaynağı prensibi	87
Şekil 4.29: Paslanmaz çelik ile alüminyumun kaynağı sonrasında oluşan kesit görüntüsü	88
Şekil 4.30: Farklı bölgelerde oluşan içyapıların görüntüsü	89
Şekil 5.1: Kaynak sonrası oluşan gerilmeler	93
Şekil 5.2: Farklı paso sayılarında oluşan farklı açısallı distorsyonlar	93
Şekil 5.3: İç köşe kaynağında oluşan gerilmeler	94
Şekil 5.4: Alın birleştirmede oluşan distorsyon tipleri	96
Şekil 5.5: Alın birleştirmede boyuna distorsyon	97

Şekil 5.6: İç köşe birleştirmede boyuna distorsyon.....	98
Şekil 5.7: İç köşe kaynağında açısıl distorsyon.	100
Şekil 5.8: Yığılmış kep.....	101
Şekil 5.9: Kesikli kaynak.....	101
Şekil 5.10: Ağırlık merkezinde atılan dikişlerin görüntüsü.....	101
Şekil 5.11: Simetrik dikişler.....	103
Şekil 5.12: Geri adım tekniği.....	103
Şekil 5.13: Kaynak öncesi ters sehim vermek.....	104
Şekil 5.14: Kaynakta kullanılan bazı sabitleme elemanları.....	104
Şekil 5.15: Geçici ısı gerilmelendirme tekniği şeması. (Uygulama 1).....	106
Şekil 5.16: Uygulama 1'deki şemanın oluşturduğu artık gerilmeler (MPa).....	106
Şekil 5.17: Geçici ısı gerilmelendirme tekniği şeması.(Uygulama 2).....	107
Şekil 5.18: Uygulama 2'deki şemanın oluşturduğu artık Gerilmeler (MPa).....	107
Şekil 5.19: Geçici ısı gerilmelendirme tekniği şeması.(Uygulama 3).....	108
Şekil 5.20: Uygulama 3'teki şemanın oluşturduğu artık gerilmeler (MPa)	108
Şekil 5.21: T Bağlantılarda meydana gelen distorsyonlar – (bükülmeler, eğilmeler, açısıl distorsyon).....	109
Şekil 5.22: T Bağlantıda artık gerilmelerin dağılışı	109
Şekil 5.23: Deney numunesi boyutları	110
Şekil 5.24: Deney numunesi ve deney düzeneğinin şekli	110
Şekil 5.25: Yapılmak istenen çalışma. Kaynak sonrası oluşan gerilmeler, geçici ısı gerilmelendirme ile azaltılacak	111
Şekil 5.26: Deney sonuç grafiği, numunedeki eğilme (mm).....	112
Şekil 5.27: Deney 3'te karşılaşılan eğilme ve Deney 6'da karşılaşılan eğilme.....	113
Şekil 5.28: 1. deney parçası ve 2. deney parçası	114
Şekil 5.29: Deney düzeneği	115
Şekil 5.30: Tahmin edilen sonuçlar ve gerçekleşen sonuçlar (mm)	116
Şekil 5.31: Deney 1'de yapılan kaynak sonucu oluşan konstrüksiyon. Boyuna eğilme resimde belli olmaktadır.	117
Şekil 5.32: Deney 2'de yapılan kaynak sonucu oluşan konstrüksiyon. Boyuna eğilme resimde belli olmaktadır.	117
Şekil 5.33: Deney 1 ve Deney 2 sonucunda numunelerde oluşan artık gerilmeler (MPa).....	118
Şekil 5.34: Deney 1 ve Deney 2 de gerçekleşen açısıl distorsyon.....	118
Şekil 5.35: Deney düzeneği	119
Şekil 5.36: Deney düzeneğinin fotoğrafı	120
Şekil 5.37: Deney 1'de meydana gelen bükülme	120
Şekil 5.38: Deney 2'de oluşan konstrüksiyon	120
Şekil 5.39: Deney 3'te meydana gelen bükülme	121
Şekil 5.40: Yapılacak kaynakların şematik resmi	121
Şekil 5.41: Deney düzeneği	122
Şekil 5.42: 3, 4 ve 5. deneylerde kullanılan yüzey ısıtma şeması.	123
Şekil: 5.43: Deney 1'de meydana gelen bükülme	124
Şekil 5.45: Deney 5'te meydana gelen konstrüksiyon	124
Şekil 6.1: 45° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	125
Şekil 6.2: 45° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	125
Şekil 6.3: 70° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	126
Şekil 6.4: 70° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	126
Şekil 6.5: 90° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	127
Şekil 6.6: 90° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	127
Şekil 6.7: Pasoların atılış sırası.....	128
Şekil 6.8: (X) Kaynak ağzı 90° ile kaynak edilmiş parça.....	128

Şekil 6.9: (X) Kaynak ağzı 90° ile kaynak edilmiş parça.....	128
Şekil 6.10: Numunenin kaynak pozisyonu	129
Şekil 6.11: (Y) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	129
Şekil 6.12: (Y) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	129
Şekil 6.13: (V) Kaynak ağzı 50° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	130
Şekil 6.14: (V) Kaynak ağzı 50° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	130
Şekil 6.15: (V) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	131
Şekil 6.16: (V) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	131
Şekil 6.17: Deney No:8 için kaynak şekli	132
Şekil 6.18: İç köşe kaynağı, tek taraftan sürekli kaynak	132
Şekil 6.19: Deney No: 9 için kaynak şekli	133
Şekil 6.20: İç köşe kaynağı, çift taraftan sürekli kaynak.....	133
Şekil 6.21: Kaynak şekli.....	134
Şekil 6.22: İç köşe kaynağı, çift taraftan kesikli kaynak.....	134
Şekil 6.23: 45° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	135
Şekil 6.24: 45° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	135
Şekil 6.24: 70° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	136
Şekil 6.25: 70° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	136
Şekil 6.26: 90° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	137
Şekil 6.27: 90° - (V) Kaynak ağzı ile kaynak edilmiş parça	137
Şekil 6.28: Pasoların atılış sırası.....	138
Şekil 6.29: (X) Kaynak ağzı 90° ile kaynak edilmiş parça.....	138
Şekil 6.30: (X) Kaynak ağzı 90° ile kaynak edilmiş parça.....	138
Şekil 6.31: (Y) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	139
Şekil 6.32: (Y) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	139
Şekil 6.32: (V) Kaynak ağzı 50° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	140
Şekil 6.33: (V) Kaynak ağzı 50° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	140
Şekil 6.34: (V) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	141
Şekil 6.35: (V) Kaynak ağzı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı.....	141
Şekil 6.36: Deneylerde meydana gelen açısal distorsyonlar	144
Şekil 6.37: 304L paslanmaz çeliği ile ST-37 çeliği arasında ağız açılarına göre açısal distorsyon ilişkisi	144
Şekil 6.38: Paso sayılarına göre oluşan açısal distorsyonlar	145
Şekil 7.1: Ağız açısındaki artışın açısal distorsyona etkisi.....	147

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: American Society for Testing and Materials'a göre paslanmaz çelikler	7
Çizelge 3.1: Ferritik paslanmaz çelikler	18
Çizelge 3.2: Martenzitik paslanmaz çelikler	20
Çizelge 3.3: Östenitik paslanmaz çelikler	23
Çizelge 3.4: Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler.....	31
Çizelge 3.5: Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler.....	32
Çizelge 4.1: Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrotlara ve çıplak ve özlü kaynak tellerine ait ölçüler	35
Çizelge 4.2: Paslanmaz çelik elektrotlara ait akım aralıkları (DC-Doğru kutuplama).....	38
Çizelge 4.3: Kalınlığı 1,3 ile 12,7mm arasında değişen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak düz Pozisyonundaki alın birleştirme kaynağı için çözüm önerileri.[a].....	41
Çizelge 4.4: Kalınlığı 2 ile 6,4mm arasında değişen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak dik ve tavan pozisyonundaki alın birleştirme kaynağı için öneriler.	42
Çizelge 4.5: Kalınlığı 2 ile 9,5mm arasında değişen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak düz ve yatay pozisyonundaki köşe birleştirme kaynağı için önerileri.	43
Çizelge 4.6: Kalınlığı 2 ile 9,5mm arasında değişen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak yatay pozisyonundaki köşe birleştirme kaynağı için çözüm önerileri.	44
Çizelge 4.7: Kalınlığı 2 ile 9,5mm arasında değişen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak düz pozisyonundaki dış köşe birleştirme kaynağı için çözüm önerileri.	45
Çizelge 4.8: AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin spreyletimle kaynağında kaynak değişkenleri	49
Çizelge 4.9: Paslanmaz çeliklerin yatay ve oluk içköşe ve oluk alın kaynaklarında spreyletimde kaynak değişkenleri	50
Çizelge 4.10: AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle kaynağı için kaynak değişkenleri	52
Çizelge 4.11: Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimli yatay, oluk ve düşey aşağı doğru iç köşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi).....	54
Çizelge 4.12: Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle aşağıdan yukarıya iç köşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ERXXX LSi).....	55
Çizelge 4.13: Paslanmaz çeliklerin darbeli iletimle oluk ve yatay iç köşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi).....	57
Çizelge 4.14: "Sıcak-Tel" ile TIG kaynağına ait kaynak hızı ve metal yığılma hızı değerleri ..	64
Çizelge 4.15: TIG kaynağında örnek parametreler	65
Çizelge 4.16: Lazer kaynağında kullanılan gazlar.....	78
Çizelge 4.17: Lazer kaynağında gazların kullanım yerleri.....	79
Çizelge 5.1: Açısal çarpılma α° cinsinden ifade edilmiştir.....	99
Çizelge 5.2: Deney koşulları	111
Çizelge 5.3: Sonuçlar.....	112
Çizelge 5.4: Deney koşulları çizelgesi	114
Çizelge 5.5: Oluşan eğilmeler ve distorsyonlar.....	116
Çizelge 5.6: Deney koşulları	119
Çizelge 5.7: Deney koşulları	122
Çizelge 5.8: Deney sonuçları.....	123
Çizelge 6.1: 304L paslanmaz çelik ile yapılan deneylerin sonuçları	142
Çizelge 6.2: St-37 çelik ile yapılan deneylerin sonuçları	143

Çizelge 7.1: Ağız açısındaki artışın açısal distorsyona etkisi.....	146
---	-----

ÖNSÖZ

Hayatın her alanında kullanılan paslanmaz çelikleri ve yine sanayide yoğun olarak kullanılan kaynaklı birleştirme yöntemlerini araştırma ve daha yakından tanıma imkanı bulduğum bu tez çalışmasını hazırlamamda bana yardımcı olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI'ya, Habaş Sınai Gaz İstihalleri A.Ş. teknik müdürü Sayın Rıdvan YÜCEL'e, kaynak uygulamalarını yapmamızda katkılarından ötürü kaynak ustası Sayın Rezzak ORAN'a, OR-Dİ Makine İmalat Ltd. Şti. sahibi Sayın Orhan ÇELİK'e, bu çalışma süresince benden desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma ve inancımı hep yüksek tutan aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Günümüzde pek çok alanda kullanılan paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan en büyük sorun distorsyonlardır. Paslanmaz çelikler yüksek ısı genleşme katsayısına sahiptirler. Kaynaklı birleştirmelerde ortaya çıkan bölgesel sıcaklık artışları malzemede distorsyon adı verilen çarpılmalara neden olur. Bu çarpılmalar kaynak sırasında ortadan kaldırılamazsa, kaynak sonrasında büyük zaman kayıplarına ve işçilik maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, paslanmaz çeliklerin tanımından ve özelliklerinden bahsedilmiş, paslanmaz çeliklerde kullanılan kaynak yöntemleri incelenmiş ve kaynak sırasında oluşan distorsyonları azaltma yöntemleri araştırılmıştır. Paslanmaz çelik levhalar, farklı ağız açıları ve farklı parametrelerle kaynak edilerek, meydana gelen distorsyonlar incelenmiştir.

Kaynak işlemi sırasında seçilen parametrelerin uygun olması çarpılmaları azaltacaktır. Ayrıca, geçici ısı gerilmelendirme yöntemi ve çift taraflı kaynak uygulamaları ile çarpılmalar en aza indirilebilir ve hatta ortadan kaldırılabilir. Bu da maliyet ve zaman açısından büyük faydalar elde edilmesini sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Paslanmaz çelik, kaynak, kaynak teknikleri, distorsyon.

ABSTRACT

The biggest problem with stainless steels in the time we are in is distortions. Stainless steel has the highest thermal expansion coefficient. The regional heat rise caused by the welding, creates what is called distortion. If the distortion is not removed during the welding, this will cause a great deal of wasted time, and cause labour cost to increase.

This project has defined the specialties of stainless steels, the operating of welding, and has investigated how to decrease the distortion during the welding. It is investigated the results of distortions while stainless steel sheets is welded in different gap angels and parameters

During the operation of welding, the correctly selected parameters will decrease the distortion. Besides, the transient thermal tensioning method and double sided welding will decrease the distortion to the lowest level, and may dismiss it altogether. It provides the advantage about cost and time management.

Keywords: Stainless steel, welding, welding technics, distortion.

1. GİRİŞ

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler korozyon etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekir. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Dünyada yılda 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Bunların büyük çoğunluğu yassı mamul biçimindedir. Daha az miktarlarda ise; çubuk, tel, boru, dövme parça ve döküm parça olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanılabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar.

Kaynak sırasında sadece dikiş yerine ısı verildiği için, parçada düzgün olmayan sıcaklık dağılımları oluşur. Bu yüzden ortaya çıkan artık gerilmeleri dengeleyebilmek için parça şekil değiştirmeye çalışır ve nihayetinde distorsyonlar meydana gelir.

Bu tez çalışmasında, paslanmaz çeliklerin özellikleri incelenerek, uygulanan kaynak yöntemleri açıklanacak ve oluşan distorsyonlar ve distorsyonları azaltma yöntemleri üzerinde durulacaktır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN TANIMI VE ALAŞIM ELEMENTLERİ

Paslanmaz çelikler bileşimlerinde en az %10,5 krom içeren bir çelik ailesidir. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur.

Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama yapılarak ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları, değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar.

Paslanmaz çeliklerde karbon %0,01 ile %1,2 arasında olabilir, düşük karbon miktarları daha tipiktir, yüksek oranlar martenzitik çeliklerde söz konusudur. Çünkü bu paslanmaz çeliklerde karbonun varlığında krom karbür oluşur ve genellikle tane sınırlarında krom karbür olarak çökelir, bu nedenle kafes içinde çözünmüş krom miktarı %10,5'lik sınırın altına düşebilir ve malzemenin korozyona dayanıklılık özelliği kaybolur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon yüzdesi yükseldikçe;

- Krom miktarı artırılmalı veya
- Karbür yapma eğilimi kromdan fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözünmüş kromun azalması engellenmelidir (stabilize etme).

Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Schaeffler diyagramı çeşitli paslanmaz kalitelerinin bileşim açısından yerini gösterir.

Ferrit stabilizatörleri; ferrit faz alanını genişleten silikon, krom, molibden, vanadyum, niyobyum ve titanyum gibi karbür oluşturan metallerdir.

Östenit stabilizatörleri ise; östenit faz alanını genişleten nikel, mangan, karbon ve nitrojen gibi elementlerdir.

2.1 Paslanmaz Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementleri

Paslanmaz çeliklerin içinde, paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı gereksinimleri karşılamak amacıyla katılan başka alaşım elementleri de bulunmaktadır.

Krom: Bir karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufallaşma direncini artırır.

Nikel: Kuvvetli bir östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır. Kaynak metali tokluğunu yükseltici bir etkisi vardır. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri iyileştirir.

Karbon: Kuvvetli bir östenit yapıcıdır. Krom ile birlikte tanelerarası korozyonda başrol oynayan karbürlerin oluşumuna neden olur.

Alüminyum: Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. %12 C içeren kaynak metaline katılarak yapıyı ferritik yani sertleşmez hale getirir. Yüksek sıcaklıklarda tufallaşma direncini artırır. Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır. Titanyum ile birlikte yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır.

Azot: Kuvvetli östenit yapıcıdır. Bu konuda çoğu zaman nikel kadar etkilidir. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda kaynak metalinin tokluğuna ters yönde etki yapar. Mukavemeti artırır.

Bakır: Paslanmaz çeliklere, bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılır. Gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik eder.

Kobalt: Paslanmaz çelik alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve mukavemet özelliklerini geliştirmek amacıyla katılır.

Mangan: Östenit yapıcıdır. Tam östenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama direncini yükseltir. Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin stabil (kararlı) olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturur. Manganez sülfat oluşturur.

Molibden: Ferrit oluşumunda etkili olur. Yüksek sıcaklıklardaki dayanımı artırır ve redükleyici ortamlarda korozyona karşı dayanım sağlar.

Niyobyum: Kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökelmesine karşı dengelemek için kullanılır. Orta şiddette ferrit yapıcıdır.

Fosfor, Kükürt, Selenyum: Bu elementlerden bir tanesi, az miktar molibden veya zirkonyum ile paslanmaz çeliğe katılarak, paslanmaz çeliğin talaşlı işlenme kabiliyetini artırır. Ancak kaynak metalinde çatlamayı teşvik eder.

Silisyum: Bir ferrit yapıcıdır. Yapıda % 1'den daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma fazı oluşumuna etki eder. Östenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için kullanılır.

Yüksek sıcaklıklarda tufallaşma direncini artırır. Her tür paslanmaz çeliğe oksit giderme amacıyla düşük oranda eklenir. Akışkanlığı artırır ve kaynak metalinin ana metali daha iyi ıslatmasını sağlar.

Titanyum: Kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbürlerin çökmesini engellemek için dengeleme elementi olarak kullanılır. Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlarda sertlik ve mukavemeti arttırmak için katılır. Alüminyum ile birlikte yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır.

Tungsten (Wolfram): Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının mukavemet ve sürünme direncini arttırmak için eklenir.

2.2 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri ve Türleri

Korozyon Dayanımı: Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir.

Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar: Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi tufallaşma ve malzemenin mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar.

İmalat Kolaylığı: Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler.

Mekanik Dayanım: Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısıtılma işlemleri ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür.

Görünüm: Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir.

Hijyenik Özellik: Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayisinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar.

Uzun Ömür: Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir.

İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır. (Şekil2.1)

Bunlar sırası ile;

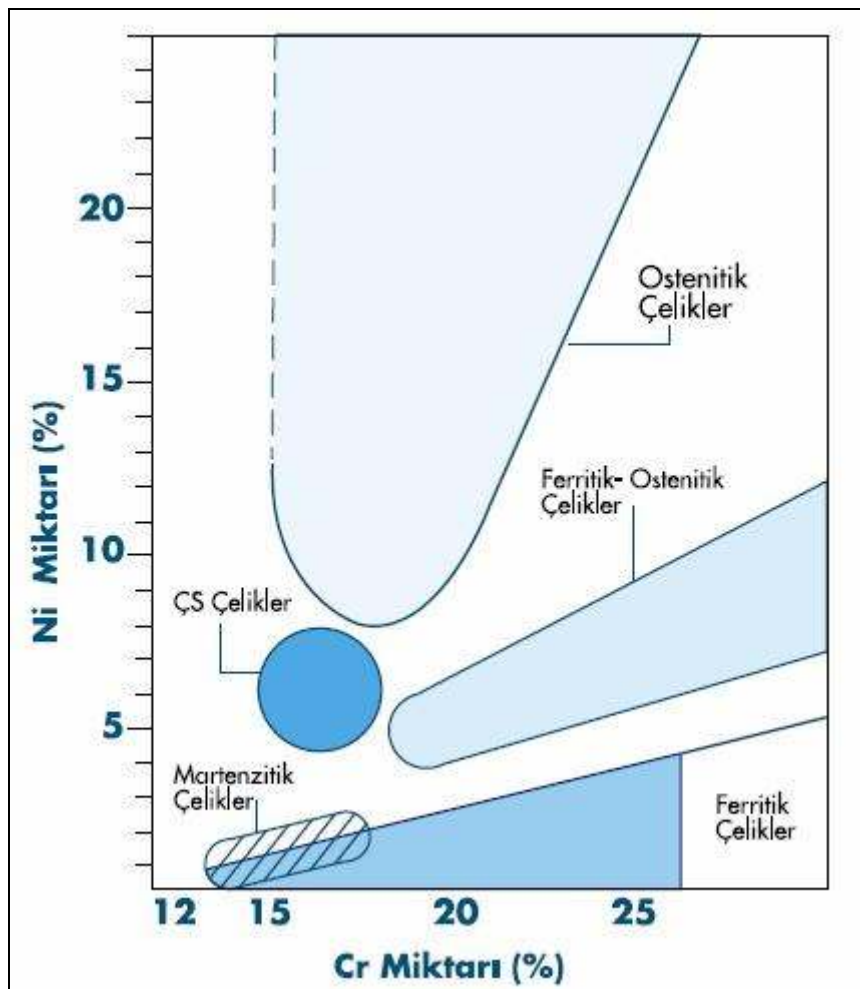
Ferritik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik Paslanmaz Çelikler

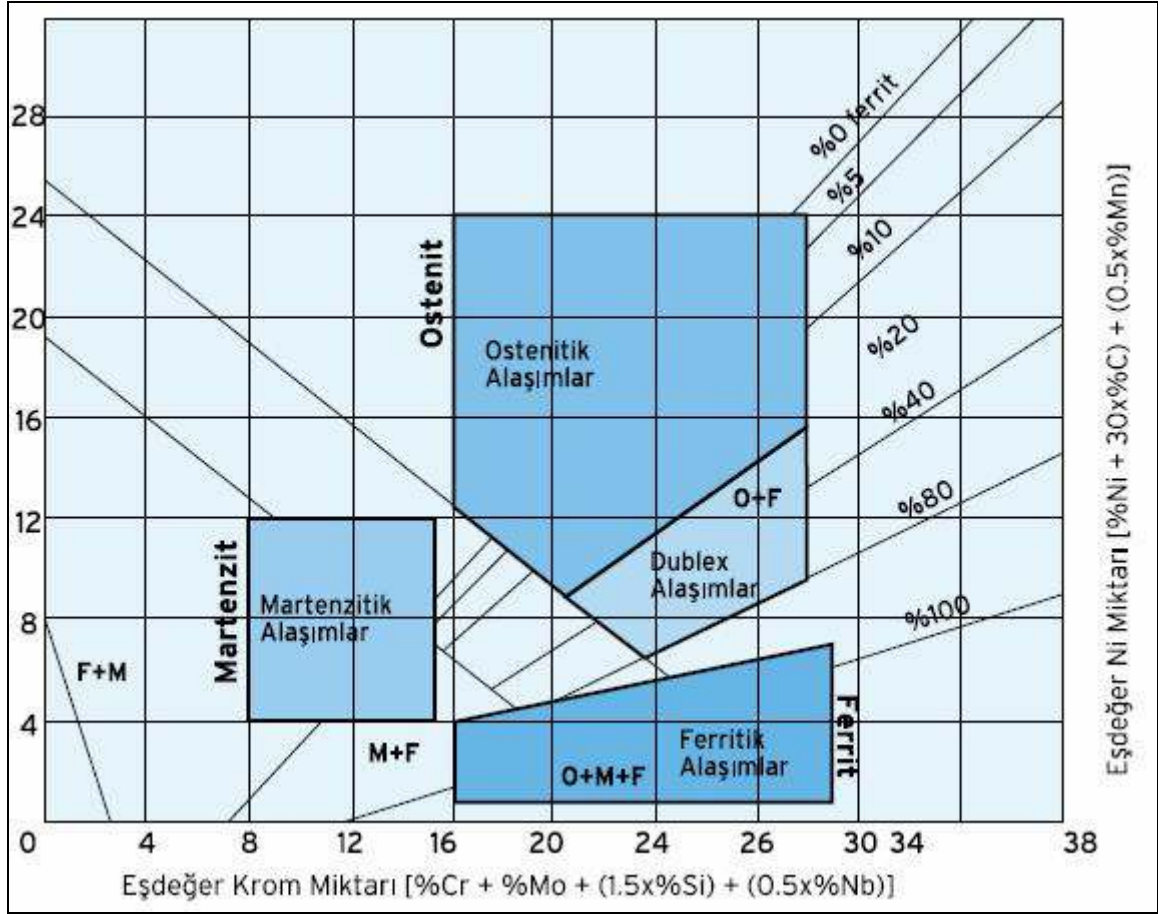
Östenitik Paslanmaz Çelikler

Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

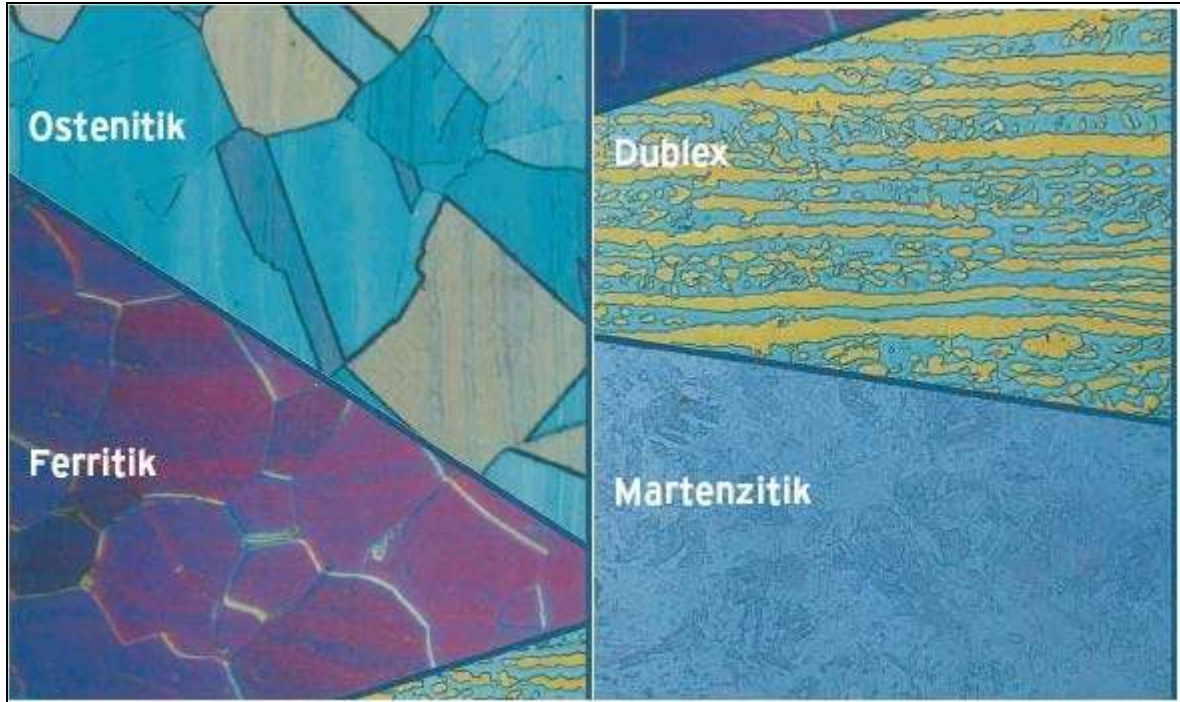
Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler'dir.



Şekil 2.1: Cr ve Ni yüzdelerine göre paslanmaz çelik çeşitleri



Şekil 2.2: Schaeffler diyagramı



Şekil 2.3: İç yapıların görüntüsü

Çizelge 2.1: American Society for Testing and Materials'a göre paslanmaz çelikler.

ASTM	EN Malzeme No.	Kımsayal Bileşim, ağı.% max									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
Ferritik Paslanmaz Çelikler											
409	1.4512	0.08	1.0	1.00	0.045	0.03	10.5-11.75	-	-	-	(6xC)Ti
430	1.4016	0.12	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-18.0	-	-	-	-
430Ti	(1.450)	0.10	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-19.5	0.75	-	-	(5xC)Ti
439	1.4510	0.07	1.0	1.00	0.04	0.03	17.0-19.0	0.5			0.2+4(C+N)Ti
Martenzitik Paslanmaz Çelikler											
410	1.4006	0.15	1.0	1.00	0.04	0.03	11.5-13.0	-	-	-	-
420	1.4021	0.15 min	1.0	1.00	0.04	0.03	12.0-14.0	-	-	-	-
440A	-	0.6-0.75	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-19.5	-	0.75	-	-
440C	1.4125	0.95-1.2	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-18.0	-	0.75	-	-
Dublex Paslanmaz Çelikler											
2205*)	1.4462	0.03	2.0	1.0	0.03	0.02	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	-
329	1.4460	0.20	1.0	0.75	0.04	0.03	23.0-28.0	2.5-5.0	1.0-2.0	-	-
Ostenitik Paslanmaz Çelikler											
201	1.4372	0.15	5.5-7.5	1.00	0.06	0.03	16.0-18.0	3.5-5.5	-	0.25	-
301	1.4310	0.15	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	6.0-8.0	-	-	-
304	1.4301	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.5	-	-	-
304L	1.4306	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-12.0	-	-	-
304LN	1.4311	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-12.0	-	0.1-0.16	
309	1.4828	0.20	2.00	1.00	0.045	0.03	22.0-24.0	12.0-15.0			
309S	1.4833	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	22.0-24.0	12.0-15.0			
310	1.4841	0.25	2.00	1.50	0.045	0.03	24.0-26.0	19.0-22.0			
310S	1.4845	0.08	2.00	1.50	0.045	0.03	24.0-26.0	19.0-22.0			
316	1.4401	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	-
316L	1.4404	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	-
316LN	1.4406	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	0.1-0.16	
316Ti	1.4571	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	5x(C+N)Ti
321	1.4541	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	17.0-19.0	9.0-12.0	-	-	(5xC)Ti
347	1.4550	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	17.0-19.0	9.0-13.0	-	-	(10xC)Nb
Çökeltme Sertleşme Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler											
631	1.4568	0.09	1.0	1.0	0.04	0.04	16.0-18.0	6.5-7.5	-	-	0.75-1.5 Al
632	1.4532	0.09	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0-16.0	6.5-7.5	2.0-3.0	-	0.75-1.5 Al

2.2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik çelikler hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek sıcaklıklarda demir elementinin sahip olduğu hacim merkezi kübik kristal yapısına sahiptirler ve östenit ferrit dönüşümü göstermezler. Dolayısıyla içyapılarını ve mekanik özelliklerini ısıtma işlemleriyle etkilemek mümkün değildir. Tavlanmış halde akma gerilmeleri 275 ile 350 MPa arasındadır. Düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri nedeniyle, makine parçası olarak kullanımları özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitler için sınırlıdır. Atmosferik korozyona ve oksidasyona karşı olan dayanımları ise önemli avantajlarıdır. Ferritik çelikler manyetikler ve ısıtma işlemleriyle mekanik özellikleri değiştirilemediğinden iyi bir dayanıma sahip olmaları için ince taneli bir içyapı şarttır. Ferritik çelikler %10,5 ile 30 arasında krom ve az miktarda karbon, azot ve nikel gibi östenit yapıcı elementler ihtiva ederler. Kuvvetli östenit yapıcı olan karbon belirli bir miktara ulaşıncaya kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar, dolayısıyla perlitik veya martenzitik paslanmaz çelikler ortaya çıkar. Öte yandan karbon yüzdesinin artırıldığı durumlarda ferritik içyapı isteniyorsa, krom yüzdesinin de artırılması gerekir.

Ferritik çeliklerin kullanım yerleri tamamen krom miktarına bağlıdır. Bu bakımdan, başlıca üç ana gruba ayrılabilir:

Krom miktarı %10,5 - 13 arasında olanlar (405 ve 409 kaliteleri)

Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar (430 ve 434 kaliteleri)

Yüksek kromlular %19-30 (süperferritikler 442 ve 446 kaliteleri) [s]

Krom oranı düşük olan birinci grup orta derecede korozyon ve oksidasyon dayanım yanında düşük fiyat ve iyi imalat özelliklerine sahiptir. Otomotiv ve egzoz parçalarında tercih edilen bu grup içinde en çok kullanılanı 409 kalitedir. Orta derecede krom içeren ve otomotiv sac parçaları ve mutfak gereçleri yapımında kullanılan ikinci grup, düşük tokluk ve düşük kaynak kabiliyeti ile göze çarpar. Yüksek kromlu üçüncü grup ise süperferritikler diye adlandırılır ve yüksek korozyon ve oksidasyon dayanımı gereken yerlerde tercih edilirler. Genellikle düşük karbon ve azot içeren bu alaşımlarda, gevrekleşme hassasiyetini azaltmak ve kaynaklı konstrüksiyon dayanımını arttırmak amacıyla titanyum ve niyobyum gibi stabilizatör elementler katılır. Ayrıca alüminyum ve molibden de içerirler. Süperferritikler yerel korozyon söz konusu olduğunda (örneğin suda çözünmüş klorüre karşı) östenitik çeliklere kıyasla çok daha iyi bir dayanım gösterirler. Bundan dolayı buhar kazanları, ısı değiştiricileri, klorür taşıyan boru hatları ve deniz suyu uygulamalarında tercih edilirler.

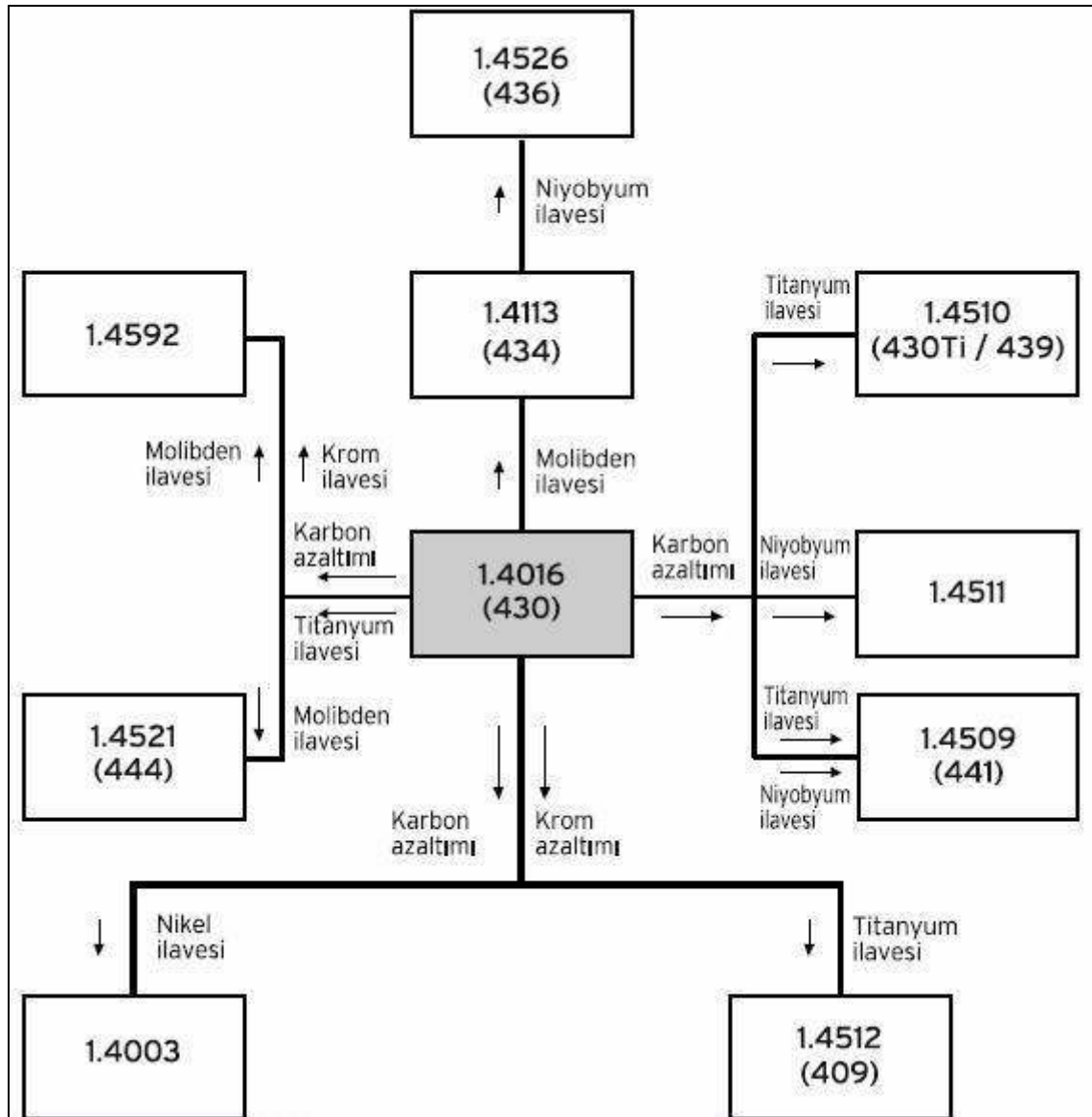
Orta ile iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.

Isıl işlemle dayanım artırılmaz ve sadece tavlanmış durumda kullanılır.

Manyetikler.

Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.

Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.



Şekil 2.4: Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik çelikler hacim merkezli kübik bir kafes yapısına sahip olduklarından, düşük sıcaklıklarda gevrek davranış gösterirler. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda tutma süresine de bağlı olarak aşağıda açıklanan üç gevrekleşme olayı görülebilir:

400-550°C arasında uzun süre kalmış veya yüksek sıcaklıktan yavaş soğutulmuş %15'ten fazla krom içeren paslanmaz çeliklerde çökelmelerin yol açtığı 475°C gevrekleşmesi görülür. Bunu gidermek için gevrekleşmiş çelik 650-750°C arasındaki bir sıcaklığa ısıtılıp hızla soğutulursa bu etki giderilmiş olur.

Çelikler 600-800°C arasında uzun süre tutulursa yüksek kromlu ferritik ve bazı östenitik çeliklerde sigma ara fazı oluşabilir. Soğuk şekil verme bu dönüşümü kolaylaştırır. Sigma fazı 950°C üzerinde yapılacak bir tavlama ve bunu izleyen su verme ile yok edilebilir.

950°C'nin üzerinde tane irileşmesi görülür ve tane sınırlarında krom karbür çökeltileri ortaya çıkar. Titanyum veya tantal/niyobyum gibi stabilizatörlerin katılmasıyla tane irileşmesi ile karbür oluşumu engellenebilir. Öte yandan stabilize edilmemiş çeliklerin özellikle kaynak bağlantılarında 700-800°C arasında yapılacak bir tavlama, krom karbürleri küreleştirdiği gibi olası martenzit fazını da temperleyerek tokluğun daha fazla düşmesini önler. Ayrıca tane sınırları yakınındaki krom dağılımı yayınma ile bir miktar düzgünleştirilip, pasiflik sınırına (%11) yeniden ulaşılmış olur. Bu nedenlerle ferritik çeliklerde kaynak bağlantıları, östenitik çeliklerden daha sorunlu olup, şu tedbirlerin alınması gerekir.

- ❖ Başlangıç tokluğunu artırmak üzere 150-200°C arasında ön ısıtma ve kaynak sonrası 700-800°C sıcaklık aralığında uygulanacak bir tavlama yapılmalıdır.
- ❖ Tane irileşmesini ve karbür çökmesini önlemek için kaynak işleminde ısı girdisi düşük tutulmalıdır.

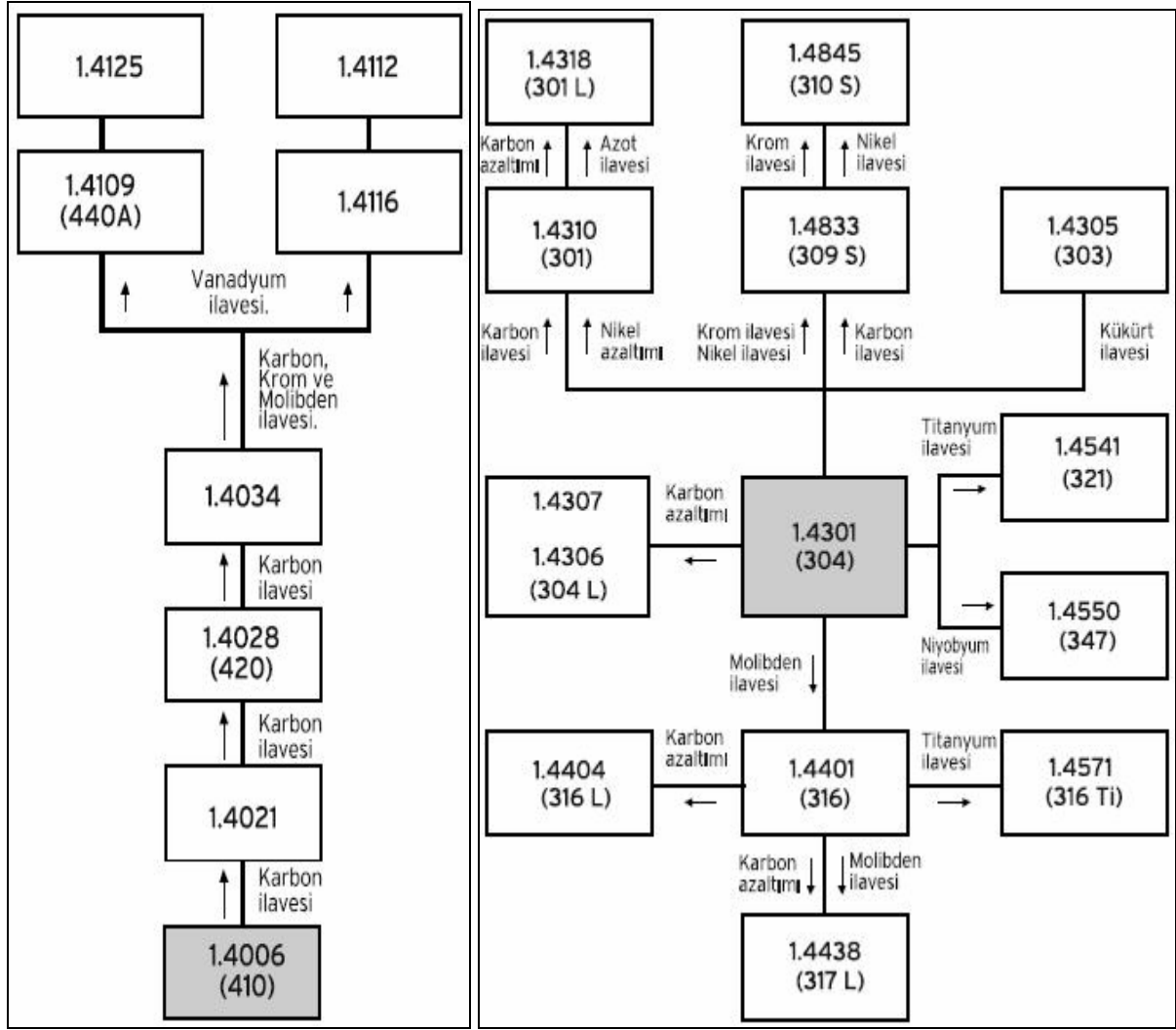
2.2.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik çelikler, yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları yüzey merkezli kübik kafese sahip östenitin hızlı soğutma sonucu hacim merkezli tetragonal kafese sahip martenzit yapıya dönüşümü ile elde edilir. Bu çeliklerin içyapısında tavlanmış halde yumuşak ferritik faz da bulunur. Bu gruptaki çelikler %16 ile % 18 krom içeren 440A, 440B ve 440C kaliteleri dışında, en çok %14 krom içerirler. Bunun yanında, % 0,60 ile % 1,20 oranında yüksek karbon içeren 440 serisi dışında karbon miktarları düşük veya orta derecedir. Krom ve karbon miktarları martenzit oluşumunu sağlayacak şekilde dengelenir. Temperleme özelliklerini ayarlamak üzere niyobyum, silikon, volfram ve vanadyum ilave edilebilir. Tokluğu ve bazı ortamlarda korozyon dayanımını iyileştirmek için ise az miktarda nikel eklenir. İstenen içyapı ve özellikleri elde etmek için martenzitik çeliklerin alaşım çeliklerine benzer biçimde ısıtıl

işleme (yani östenitleme, su verme ve temperleme) tabi tutulmaları gerekir. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır.

Bu sıcaklıkta çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikler temelde karbon miktarına bağlıdır. Elde edilen sertlik ve mukavemet, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Bileşimindeki krom miktarı %16 ve karbon miktarı % 0,6-%1,1 olan çelikler 60 HRC sertlik ve 1900 MPa akma dayanımı gösterebilirler. Bu çeliklerin sertliğinin yüksek oluşu, aşınma dayanımını da iyileştirebilir. %1,1 karbon içeren 440C kalitesi mükemmel aşınma dayanımı gösterirken, %0,1 karbon içeren 410 kalitenin aşınma dayanımı düşüktür. Korozyon dayanımını ve tokluğunu artırmak için alaşıma molibden ve nikel eklenir. Nikel içeren martenzitik çeliklerde karbonun görevini nikel üstlenir. Bu şekilde karbonun bazı olumsuz etkileri (karbür çökeltileri, aşırı sertlik gibi) ortadan kaldırılabilir. Nikel aynı zamanda yüksek miktarda kromun etkisini dengeleyerek içyapıyı serbest ferritlerden korur. Ayrıca sertleşme kabiliyeti ve su verme derinliği arttığından, iri parçalara da ıslah işlemleri uygulanabilir. Molibden ve nikel ilavesi, su verme sonrasında martenzite dönüşmemiş artık östenitlerin oluşmasını önlemek için sınırlı tutulmak zorundadır. Bu nedenle korozyon dayanımı ancak orta düzeyde kalır.

Martenzitik çelikler yüksek çekme, sürünme ve yorulma dayanımı gerektiren, orta derecede korozif ve en çok 650°C'a kadar sıcaklıktaki uygulamalarda tercih edilirler. Örnek olarak düşük ve orta miktarda karbon içeren 410 kalite çelik ve türevleri, buhar ve gaz türbinlerinde ve jet motorlarında kullanılır. 420 ve benzeri alaşımlar bıçak ve diğer kesici aletlerde, vana parçalarında, dişli, rulman ve millerde tercih edilir. Martenzitik çelikler petrol ve petrokimya makina teçhizatında da kullanılır. 420 kaliteye ek olarak, 440 ve benzeri alaşımlar cerrahi ve dişçilik aletlerinin, makas, yay, kam ve rulman bilyalarının en çok tercih edilen malzemeleridir. Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavlanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavlanmış olarak alınan ürünler şekil verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabii tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellik kombinasyonları elde edilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısı işlem sıcaklıklarına tam olarak uyulması çok önemlidir.



Şekil 2.5: Martenzitik paslanmaz çelikler ve östenitik paslanmaz çelikler

2.2.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Gerek kullanım, gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grup östenitik çeliklerdir. Manyetik olmayan bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik kafese sahip östenitik içyapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısı işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler genellikle %16 ile %26 krom, %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel östenit oluşturmalarıdır.

2XX serisinde, en çok %7 nikel, %5 ile %20 arasında mangan bulunur ve azotun östenit içinde çözünürlüğü sayesinde dayanım artırılabilir. Katı çözültide bulunan kristal kusurların içine yerleşen azot, östenit içyapının mukavemetini artırır. 3XX serisi ise daha fazla nikel ve

en çok %2 mangan içerir. 301 ve 304 kaliteleri en az alaşımlı olan türlerdir ve 3XX serisinin temel alaşımları olarak kabul edilirler.

Mükemmel şekillendirilebildiği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite östenitik çelik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir. Tavlanmış 3XX serisi çeliklerin akma dayanımı 200-275 Mpa arasında iken yüksek azotlu 2XX serisinde akma dayanımı 500 MPa değerine kadar yükselir.

Bu çeliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, östenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. 304 kalite çeliklere molibden katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır. Yüksek oranda nikelli alaşımlar ise indirgeyici asidik ortamlarda tercih edilirler. Ancak bu amaçla, kuvvetli bir östenit yapıcı olmasına karşın karbon miktarı artırılmaz, çünkü bu element karbür oluşturarak korozyon dayanımını zayıflatır. Bunun yerine aynı zamanda oksitleyici ve indirgeyici asitlere de dayanıklı olan nikelden yararlanılır. Yüksek oranda nikel, yaklaşık %6 azot ve %20 azot içeren alaşımlara süper östenitikler de denir. 321 ve 347 kalitelerde karbonu stabilize etmek ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta tanelerarası korozyonu önlemek amacıyla titanyum ve niyobyum eklenir. “L” ve “S” uzantılı alaşımlarda (304L, 309S gibi) tanelerarası korozyonu önlemek için karbon oranını düşük tutma yoluna gidilmiştir.

Östenitik paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırmak için genellikle soğuk şekillendirmeden yararlanılır. Bu çeliklerde pekleşme, ferritiklerden daha fazladır. Bu arada şekil değiştirme martenziti de oluşabilir ve malzeme manyetiklik kazanır. Mukavemeti artırmak için bir diğer yol da alaşımlama yapmaktır. Bu açıdan karbon ve azot en etkili elementlerdir. Kükürtsüz olan korozyon ortamlarda östenitik çelikler, ferritiklerden daha iyi sonuç verirler. Molibden katılması ile organik ve çeşitli mineral asitlere karşı dayanımları artar. Tam östenitik çelikler ısıya ve asitlere dayanıklı, yüksek sıcaklık özellikleri iyi olan malzemelerdir. Ancak sıcak yırtılma eğilimi gösterirler.

Östenitik çelikler sünek ve toktur, ayrıca ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük, genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için ısı girdisi düşük tutulmalıdır.

Östenit fazı içeren çeliklerde en büyük sorun, krom karbür çökmesidir. Kritik sıcaklıklar

olarak nitelenen 400 ile 850°C arasında yüksek enerjili tane sınırları boyunca ayrışarak yan yana dizilen kromca zengin karbürler, malzemenin koroziif ortamlarda bulunması halinde tanelerarası korozyona ve tane ayrılmasına yol açarlar. Bunun nedeni karbür bünyesine geçen krom nedeniyle, katı çözültideki krom miktarının korozyona dayanıklılık sınırının (%10,5) altına düşmesidir.

Bunu engellemek için;

Çeliğe stabilizatörler katılarak, içyapı kararlı hale getirilir. Bunlar, karbona ilgileri kromunkinden fazla olan titanyum, tantal ve niyobyum gibi elementlerdir. Bu sayede karbon, yüksek sıcaklıklarda dahi krom karbür oluşturmazacak şekilde bağlanır.

ELC (extra low carbon - çok düşük karbonlu) çelikler kullanılabilir. Östenitik çeliklerde 650°C sıcaklıkta çözünebilen karbon miktarı yaklaşık %0,05'tir. Karbon miktarı bu değerden az olursa çözünen karbon, karbür oluşturmaz.

Çözme tavlı uygulanabilir. 1050–1150°C arasında tavlayarak çökelmiş karbürler çözündürülür. Hızlı soğutularak yeniden çökme önlenir.

2.2.4 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Dubleks çelikler olarak da adlandırılan bu çeliklerin içyapısında her iki faz bir arada bulunur ve bu sayede östenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de ötesinde iyileştirilmiş özellikler gösterirler. Böylece östenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklerle kıyaslandığında ise daha iyi tokluk ve sünekliğe sahip olurlar. Ayrıca, iki fazın bir arada bulunması halinde tavllanmış durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ki, bu değer, fazların tek başına bulunduğu türdeki çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır.

Mevcut ticari kaliteler % 22-% 26 krom, %4-%7 nikel, azami %4,5 molibden, yaklaşık %0,7 bakır ve volfram ile %0,08- % 0,35 azot içerirler. Başlıca dört ana kalitesi vardır:

- (1) Fe-23Cr-4Ni-0,1N,
- (2) Fe-22Cr-5,5Ni-3Mo-0,15N,
- (3) Fe-25Cr-5Ni-2,5Mo-0,17N-Cu
- (4) Fe-25Cr-7Ni-3,5Mo-0,25N-W-Cu.

Bunlardan dördüncüsü süper-dubleks diye de adlandırılır. Bu türdeki çelikler üzerinde araştırma ve deneyler devam etmekte ve mekanik özellikler ile korozyon dayanımında sürekli iyileşmeler sağlanmaktadır. Östenitik-ferritik çelikler ferrit yapıcı elementlerin oranına bağlı olarak %10'a kadar delta-ferrit içerirler. İlk önce katılaştıran bu faz, içyapının ince taneli

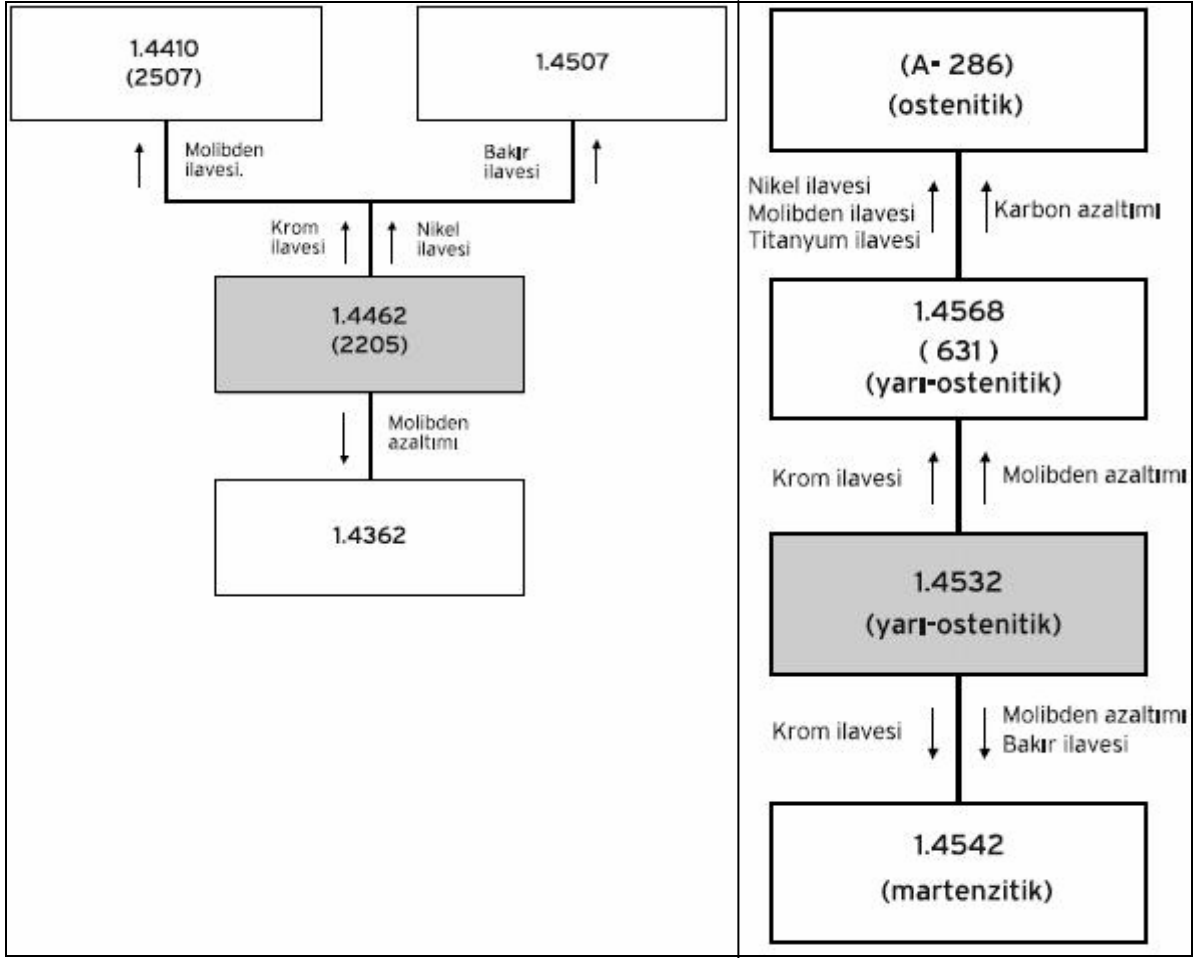
olmasını sağlar. Sıcak çatlama duyarlılığını artıran fosfor, kükürt, silisyum gibi elementler de büyük ölçüde ferrit kafesi içinde çözünerek östenit fazından uzaklaşır ve böylece bu çeliklerde sıcak çatlama tehlikesi azalır.

Dubleks çeliklerin, tavsiyelere göre uygulama yapıldığında, kaynak kabiliyetleri de iyidir. Genellikle petrol, petrokimya, kimyasal teçhizat imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz veya “off-shore“ teknolojisinde kullanılır. Kaynaksız halde 280°C, kaynaklı halde ise 250°C sıcaklıklara kadar güvenle kullanılabilirler.

2.2.5 Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklere çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir. Bunların esas içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Bu çelikler çok düşük miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzitik türlerinde bile temel sertleşme ancak çökelmeye bağlı olarak gerçekleşir. Çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Çökelme sertleşmesi uygulanabilen çelikler iyi süneklik ve tokluk yanında, orta ila iyi derece arasında korozyon dayanımı gösterirler.

Bu çeliklerde, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementleri ve en çok %0,04 karbon bulunmasından dolayıdır, ancak bunun sonucu aşınma dayanımında düşüş gözlenir. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımlarına sahiptirler. Soğuk şekillendirme ve onu izleyen yaşlandırma ile bu değer daha da yükseltilebilir. En yaygın olarak kullanılan türü 630 kalite olan bu grubun kullanım alanı uçak-uzay ve diğer yüksek teknoloji alanlarıdır.



Şekil 2.6: Çift fazlı paslanmaz çelikler ve çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler.

3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİ

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer bombardıman kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması gerekmektedir.

Paslanmaz çelikler ve ısıya dayanıklı çelikler bazı sınırlamalar hariç, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan ergitme ve basınç kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilir. Paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak işlemi kaynak yapılacak ana metalden beklenen özelliklere, örneğin; korozyon ve ısı dayanımına, göre değişiklik gösterebilir. Kullanılacak kaynak malzemesi ana metalle aynı kompozisyonda veya bazı uygulamalar için daha yüksek alaşımlı olmalıdır.

Östenitik tip paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayısı karbon çeliklerinkinden % 50 daha yüksektir ve çarpılmaları en aza indirmek için bu özelliğe dikkat edilmelidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir.

3.1 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Ferritik paslanmaz çelikler % 10,5 - 30 Cr, % 0,20'ye kadar C ve düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısıl işlemle sertleştirilemezler. Bu grupta yer alan ürünlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Çizelge 3.1'de, bütün standart ve bazı standart dışı ferritik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri listelenmiştir. Bu çeliklerin en karakteristik özelliği; kaynakta ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında seçilen dolgu metalindeki Cr içeriğinin ana metaldeki ile aynı ya da ona yakın olmasında yarar vardır. 409 türü kaynak malzemeleri dolu tel olarak, 430 türü kaynak malzemeleri ise her formda üretilirler. Östenitik tip 309 ve 312 türü kaynak malzemeleri özellikle benzemez metallerin kaynaklı bağlantılarında kullanılır. Tane büyümesini en aza indirmek için kaynak dikişindeki ısı girdisi düşük olmalı ve ön ısıtma 300-450°C arasında sınırlı tutulmalı, hatta sadece yararlı ise uygulanmalıdır. Yüksek alaşımlı

ferritik paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu sadece levha ve boru şeklinde üretilir ve genellikle dolgu metali kullanılmadan TIG yöntemi ile kaynak edilirler.

Çizelge 3.1: Ferritik paslanmaz çelikler

*) Tek değerler maksimum değerlerdir. **) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

Türü	UNS No.	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Diğer
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5-14.5		0.04	0.03	0.10-0.30 Al
409	S40900	0.08	1.00	1.00	10.5-11.75		0.045	0.045	min 6 x % C - Ti
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0		0.04	0.03	
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	
430F**	S43020	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.15 min.	0.06 Mo
430FSe**	S43023	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.06	min 0.15 Se
430Ti	S43036	0.10	1.00	1.00	16.0-19.5	0.75	0.04	0.03	min 5 x % C - Ti
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo min 5 x % C - Nb+Ta
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0-23.0		0.04	0.03	
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04	0.03	1.75-2.5 Mo ; 0.035 N 0.2 + 4 (% C+% N) - Ti+Nb
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0-27.0		0.04	0.03	0.25 N
18-2FM**	S18200	0.08	2.50	1.00	17.5-19.5		0.04	0.15 min.	
18SR		0.04	0.30	1.00	18.0				2.0 Al ; 0.4 Ti
26-1 (E-Brite)	S44625	0.01	0.40	0.40	25.0-27.5	0.50	0.02	0.02	0.75-1.5 Mo ; 0.015 N 0.2 Cu ; 0.5 - Ni+Cu
26-1Ti	S44626	0.06	0.75	0.75	25.0-27.0	0.50	0.04	0.02	0.75-1.5 Mo ; 0.04 N 0.2 Cu ; 0.2-1.0 Ti
29-4	S44700	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	0.15	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
29-4-2	S44800	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	2.0-2.5	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
Monit	S44635	0.25	1.00	0.75	24.5-26.0	3.5-4.5	0.04	0.03	3.5-4.5 Mo 0.3-0.6 Ti+Nb
Sea-cure/ Sc-1	S44660	0.025	1.00	0.75	25.0-27.0	1.5-3.5	0.04	0.03	2.5-3.5Mo 0.2+4 (%C+%N)- Ti+Cb

3.2 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Martensitik paslanmaz çelikler % 11-18 Cr, % 1,2'ye kadar C ve düşük miktarlarda Mn ve Ni içerir. Bu çelikler tavlansak östenit oluşturalar ve oluşan östenitin soğutma sırasında martensite dönüştürölmesiyle sertleştirilebilirler. Bu grupta 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 türü malzemeler vardır. Standart ve bazı standart dışı martenzitik paslanmaz çelikler Çizelge 3.2'de yer almaktadır. Soğuma sırasında sert ve kırılkan martenzitik yapı oluştuğunda kaynak dikişinde çatlama eğilimi görülür. Seçilen dolgu metalinin krom ve karbon içeriğinin ana malzemeninkine yakın olmasında yarar vardır. 410 türü dolgu malzemeleri örtülü elektrot, dolu tel ve özlü tel olarak üretilirler ve 402, 410, 414 ve 420 türü çeliklerin kaynağında kullanılabilirler. 420 türü çeliklerin içerdği karbon oranını yakalamak eğer teknik açıdan yararlı görülüyorsa, dolu tel veya özlü tel olarak 420 kalite dolgu malzemelerinin kullanılmasında yarar vardır. 308, 309 ve 310 türü östenitik dolgu malzemeleri martenzitik paslanmaz çeliklerin birbirleriyle veya diğerk çeliklerle olan kaynaklı birleştirmelerinde, dikişin kaynak edildikten sonraki şartlarda yüksek tokluğa sahip olması gereken durumlarda kullanılır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin çoğunda ön tav sıcaklığının ve pasolar arası sıcaklığın 205-315°C arasında tutulması önerilir. % 0,2'nin üzerinde karbon içeren martenzitik tip paslanmaz çeliklere, kaynak dikişinin sünekliğini ve tokluğunu arttırmak amacıyla kaynak sonrasında genellikle ısıl işlem uygulanmalıdır.

Çizelge 3.2: Martenzitik paslanmaz çelikler

*) Tek değerler maksimum değerlerdir. **) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

Türü	UNS No.	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Diğer
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0		0.04	0.03	
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.0		0.04	0.03	
410Nb	S41040	0.18	1.00	1.00	11.5-13.5		0.04	0.03	0.05-0.30 Nb
410S	S41008	0.08	1.00	1.00	11.5-13.5	0.6	0.04	0.03	
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	
414L		0.06	0.50	0.15	12.5-13.0	2.5-3.0	0.04	0.03	0.5 Mo ; 0.03 Al
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	0.6 Mo
416Se**	S41623	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	0.06	min 0.15 Se
416 Plus X**	S41610	0.15	1.5-2.5	1.00	12.0-14.0		0.06	min 0.15	0.6 Mo
420	S42000	min. 0.15	1.00	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	
420F**	S42020	min. 0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	min 0.15	0.6 Mo
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	0.75-1.25 Mo 0.75-1.25 W 0.15-0.30 V
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo

3.3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Östenitik paslanmaz çelikler % 16-26 Cr, % 10-24 Ni+Mn, % 0.40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, % 90-100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540°C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir.

Çizelge 3.3'te, yukarıda belirtilen ve bunların dışında kalan diğer östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri yer almaktadır. Bu çelikler için geliştirilen dolgu malzemeleri genellikle ana metal ile benzer yapıdadır. Ancak birçok alaşım için, sıcak çatlak

oluşumunu engellemek amacıyla, düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapının oluşmasına olanak sağlayan dolgu malzemeleri kullanılır (Bu konu daha detaylı olarak ilerideki bölümlerde ele alınacaktır). Bu şartı gerçekleştirebilmek için 308 türü dolgu malzemeleri 302 türü çeliklerin, 304 ve 347 türü dolgu malzemeleri ise 321 türü çeliklerin kaynağında kullanılır. Diğer çelik türleri ise kendilerine benzer yapıdaki dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilirler. 347 türü çelikler 308H türü dolgu malzemeleri ile de kaynak edilebilir. Bu türdeki dolgu malzemeleri örtülü elektrot, dolu tel ve özlü tel olarak üretilir. 321 türü dolgu malzemeleri ise sınırlı olarak, sadece dolu tel ve özlü tel olarak üretilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır. Bunlar sırası ile;

- (1) ısının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı,
- (2) kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu ve
- (3) yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir.

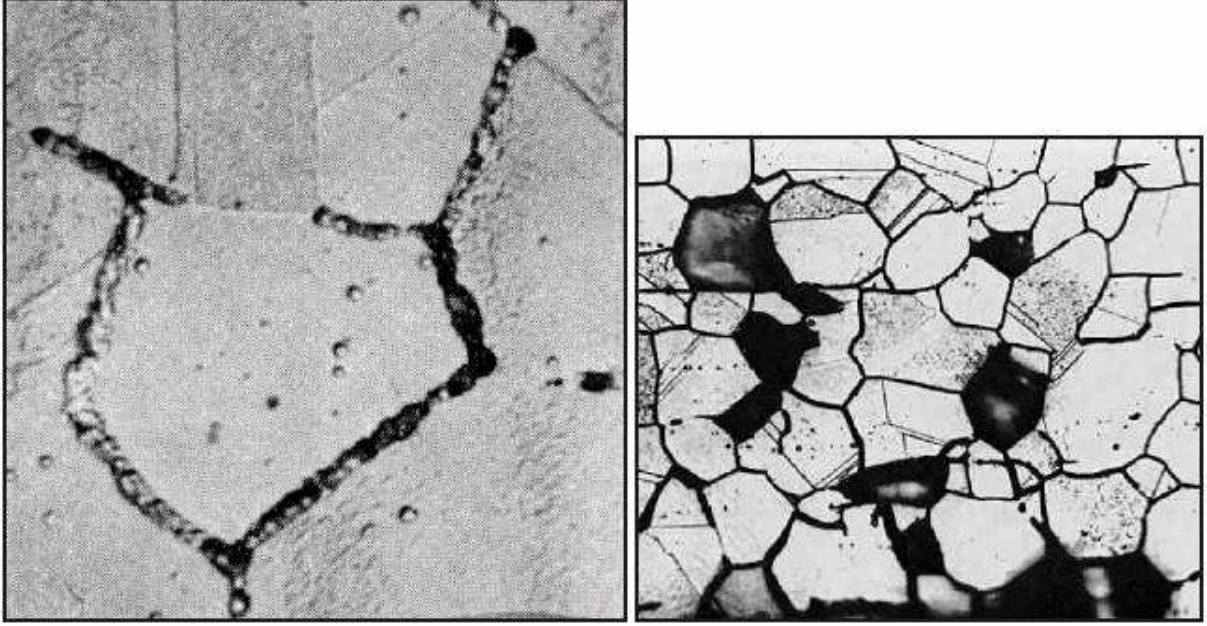
3.3.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Krom Karbür Oluşması

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871°C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar(Şekil 3.1). Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer (Şekil 3.1, Şekil 3.2).

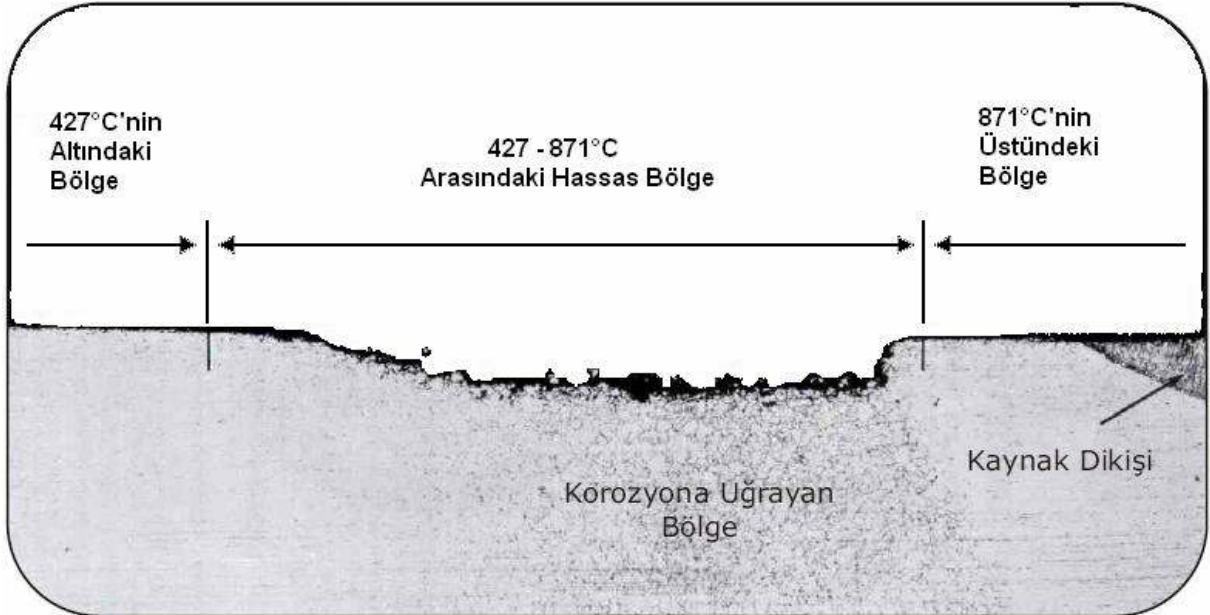
Bu sorun, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır.

Diğer bir yöntem, stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik ana malzemelerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu sayede stabilizatör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girecek ve krom miktarının azalmadan yapıda kalması sağlanacağından korozyon dayanımında herhangi bir düşüş ile karşılaşılmayacaktır. 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) içerirken 347 türü paslanmaz çelikler niyobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine

sahiptir. Bunların dışında kalan bazı ısıtım yöntemleri pahalı olmaları, pratik olmamaları ve parçalarda çarpılmalara yol açmaları nedeniyle pek tercih edilmezler.



Şekil 3.1: Tane sınırına biriken krom karbürler ve tane sınırı korozyonu



Şekil 3.2: Kaynak edilmiş parçada korozyona uğrayan bölge

Çizelge 3.3: Östenitik paslanmaz çelikler

*) Tek değerler maksimum değerlerdir. **) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

Türü	UNS No.	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Diğer
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	S20200	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	0.06	0.03	0.25 N
205	S20500	0.12-0.25	14.0-15.5	1.00	16.5-18.0	1.0-1.75	0.06	0.03	0.32-0.40 N
216	S21600	0.08	7.5-9.0	1.00	17.5-22.0	5.0-7.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.25-0.5 N
301	S30100	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	
302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
302B	S30215	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
303**	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	min. 0.15	0.06 Mo
303Se**	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.06	min 0.15 Se
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304H	S30409	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	
304LN		0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.15 N
	S30430	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Cu
304N	S30451	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
304HN	S30452	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0-19.0	10.5-13.0	0.045	0.03	
308	S30800	0.08	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
308L		0.03	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
309	S30900	0.20	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S	S30908	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S Nb	S30940	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	8 x % C - Nb
309 Nb+Ta		0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	8 x % C - Nb+Ta
310	S31000	0.25	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
310S	S31008	0.08	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
312		0.15	2.00	1.00	30.0 nom.	9.0 nom.	0.045	0.03	
314	S31400	0.25	2.00	1.5-3.0	23.0-18.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316F**	S31620	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.20	min. 0.10	1.75-2.5 Mo
316H	S31609	0.04-0.10	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316LN		0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.10-0.30 N

316N	S31651	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.10-0.16 N
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317M		0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	12.0-16.0	0.045	0.03	4.0-5.0 Mo
321	S32100	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	min 5 x % C - Ti
321H	S32109	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	min 5 x % C - Ti
329	S32900	0.10	2.00	1.00	25.0-30.0	3.0-6.0	0.045	0.03	1.0-2.0 Mo
330	N08330	0.08	2.00	0.75-1.50	17.0-20.0	34.0-37.0	0.040	0.03	
330HC		0.40	1.50	1.25	19.0 nom.	35.0 nom.			
332		0.04	1.00	0.50	21.5 nom.	32.0 nom.	0.045	0.03	
347	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	min 10 x % C - Nb+Ta
347H	S34709	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	min 10 x % C - Nb+Ta
348	S34800	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Cu ; min 10 % C - Nb+Ta
348H	S34809	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Cu ; min 10 % C - Nb+Ta
384	S38400	0.08	2.00	1.00	15.0-17.0	17.0-19.0	0.045	0.03	
Nitronic 32	S24100	0.10	12.0	0.50	18.0	1.6			0.35 N
Nitronic 33	S24000	0.06	13.0	0.50	18.0	3.0			0.30 N
Nitronic 40	S21900	0.08	8.0-10.0	1.00	18.0-20.0	5.0-7.0	0.06	0.03	0.15-0.40 N
Nitronic 50	S20910	0.06	4.0-6.0	1.00	20.5-23.5	11.5-13.5	0.04	0.03	1.5-3.0 Mo ; 0.2-0.4 N 0.1-0.3 Nb ; 0.1-0.3 V
Nitronic 60	S21800	0.10	7.0-9.0	3.50-4.50	16.0-18.0	8.0-9.0	0.04	0.03	

3.3.2 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Sıcak Çatlak Oluşması

Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar.

Sıcak çatlak oluşumu, dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matriksde düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-östenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engeller. Bu sorun "S" ve "P" miktarlarının çok düşük seviyelerde tutulması ile de giderilebilir, ancak bu durumda, çeliklerin üretim maliyetleri belirgin bir şekilde artacaktır.

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için yapıdaki ferrit miktarının en az % 4 olması önerilmektedir. Ferritin varlığı AWS A4.2'ye göre kalibre edilen manyetik ölçüm aletleriyle sağlıklı bir şekilde belirlenebilir. Bunun dışında; dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan en bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen "Schaeffler Diyagramı"dır. Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay eksen, Ni eşdeğeri ise dikey eksen yer almaktadır.

$$(Cr)_{Eş} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \% Si + 0,5 \% Nb$$

$$(Ni)_{Eş} = \% Ni + 30 \% C + 0,5 \% Mn$$

Schaeffler Diyagramı çok uzun yıllar kullanılmasına karşın, azotun (N) etkisini hesaba katmaması ve diyagramdan elde edilen verilerin, konusunda bilgili birkaç ölçüm uzmanı tarafından belirlenen ferrit yüzdeleri ile farklılıklar göstermesi nedeniyle günümüzde etkinliğini kaybetmiştir.

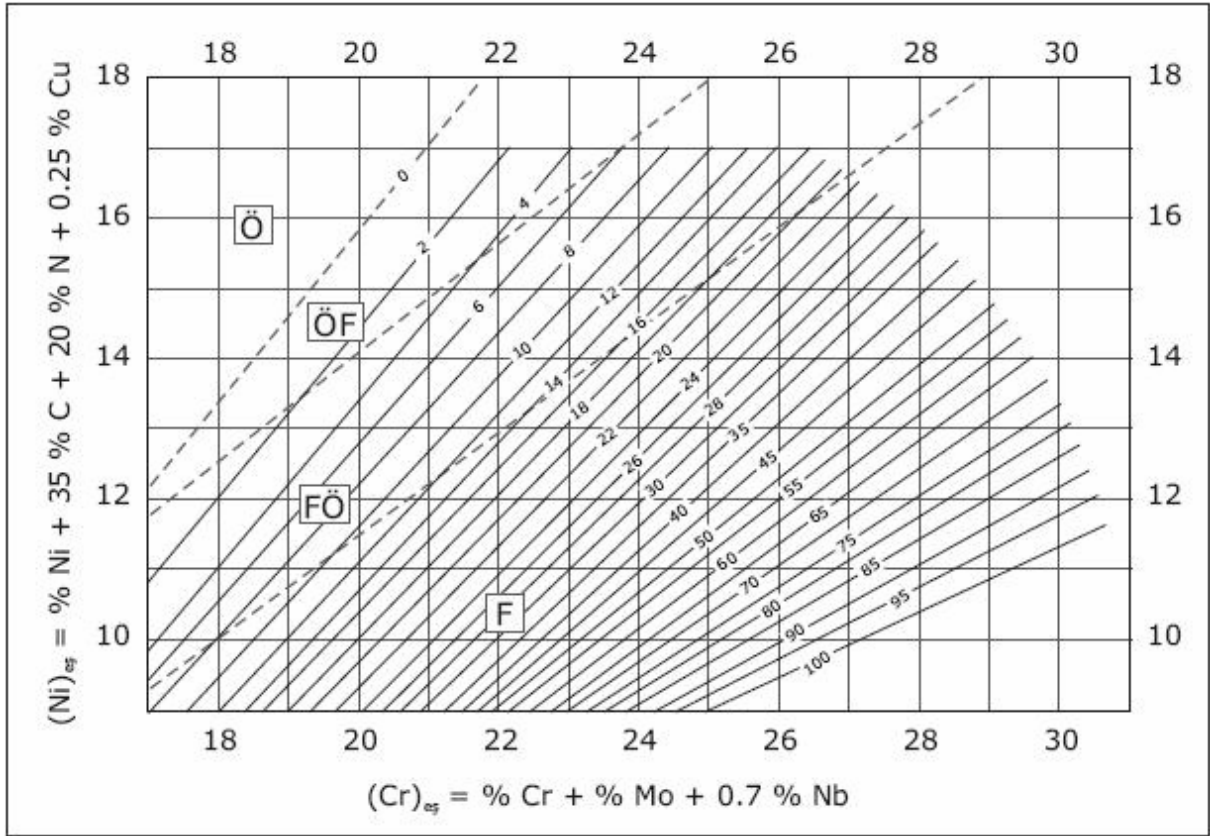
1973 WCR-DeLong Diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot (N) miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir.

$$(Ni)_{Eş} = \% Ni + 30 \% C + 30 \% N + 0,5 \% Mn$$

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram Şekil 3.3'te belirtilen WCR-1992 Diyagramı'dır. ASME şartnamelerinin 1994-1995 kış döneminde yayınlanan eklerinde WCR-1992 Diyagramı WCR-DeLong Diyagramı'nın yerini almıştır. Kabul edilen bu en son diyagramda krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$(Cr)_{Eş} = \% Cr + \% Mo + 0,7 \% Nb$$

$$(Ni)_{Eş} = \% Ni + 35 \% C + 20 \% N + 0,25 \% Cu$$



Şekil 3.3: WCR-1992 Diyagramı

Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WCR-DeLong Diyagramlarındakinden daha farklı olarak hesaplanmaktadır.

Ferrit numarası diyagramının nikel eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, krom eşdeğerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey çizgiler çizilerek bulunur. Yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını vermektedir.

WCR-1992 ve WCR-DeLong Diyagramları 308 gibi sık kullanılan paslanmaz çelikler için benzer değerler verir. Ancak WCR-1992 Diyagramı, özellikle yüksek alaşımlı malzemelerde, yüksek manganlı östenitik tipteki ya da östenitik-ferritik yapıdaki çift fazlı paslanmaz çelikler gibi daha seyrek kullanılan alaşımlarda daha kesin ve doğru sonuçlar vermektedir.

Ferrit numarası, ferritin manyetik olma özelliğinden yararlanılarak kaynak metali üzerinden ölçülebilir. Bunun için ticari olarak satışa sunulan ve AWS A4.2'ye göre kalibre edilmiş olan ve ferrit numarasının direkt olarak okunabildiği manyetik ölçüm cihazlarından, ferritscoplardan ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir.

Ferrit miktarının sıcak çatlak oluşumundan korunmak için gereken orandan daha yüksek olmamasında ve belirli güvenlik sınırları içerisinde tutulmasında yarar vardır. Çünkü ferrit, bazı korozyif ortamlarda, malzemelerin korozyon dayanımını düşürür ve yapıdaki aşırı ferrit

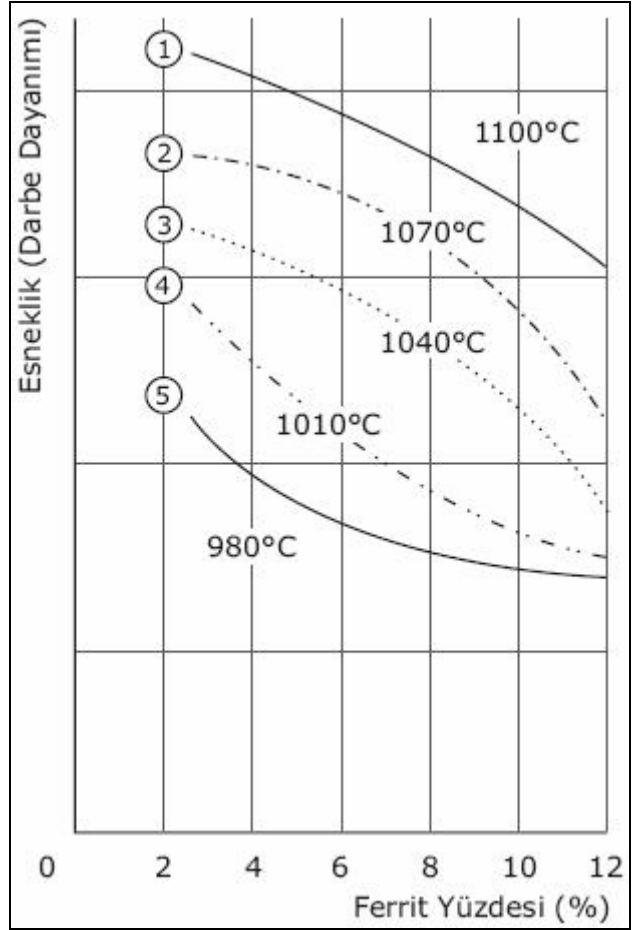
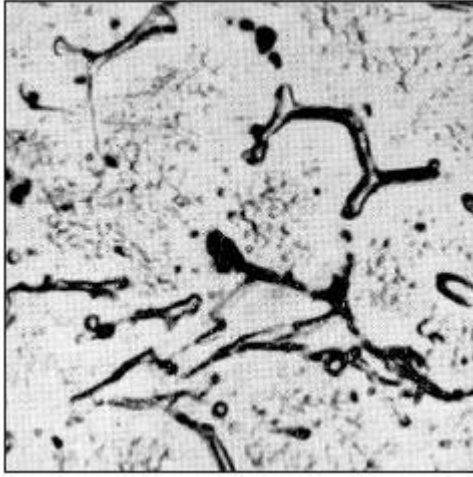
miktarı süneklik ve tokluğu azaltır.

3.3.3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Sigma Fazı Oluşması

"Sigma Fazı", çok sert (700-800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metallere bir bileşiktir. Röntgen ışını ile yapılan analizde bileşiminin yaklaşık olarak % 52 krom ve % 48 demirden oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği görülmüştür. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Saf östenitik bir yapıdaki sigma fazı oluşum hızı, östenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine oranla daha düşüktür.

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850°C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720°C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının % 3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önlenecektir . Buna karşın ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır (Şekil 3.4).

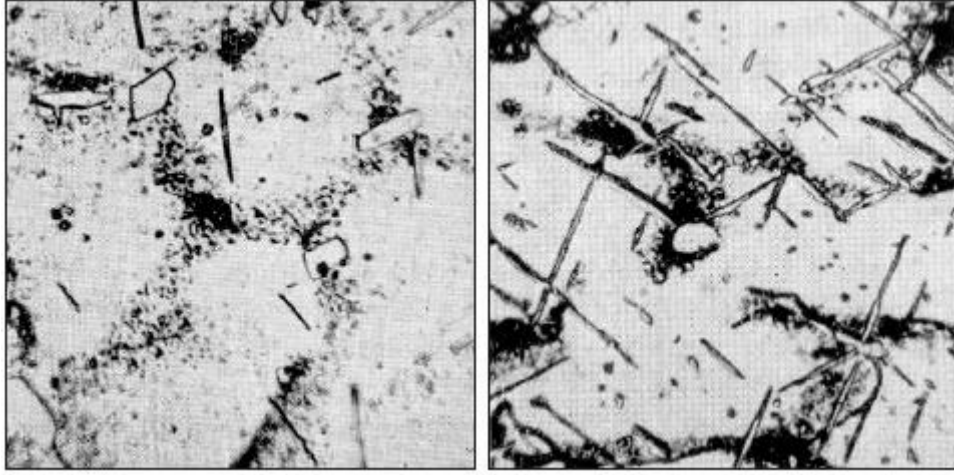
Ferritin sigma fazına dönüşmesi sonucu kaynak dikişinde oluşan çatlama eğilimini ölçmeye yönelik olarak gerçekleştirilen deneye ait veriler Şekil 3.4'teki grafikte belirtilmiştir.



Şekil 3.4: Ferrit miktarının %12'den fazla olması hali ve ferrit yüzdesine göre esneklik

Ferrit içerikleri %3 ile %12 arasında değişen ve 20Cr / 10Ni / 1Nb'lu bir elektrotun kullanıldığı beş farklı deney parçası hazırlanmıştır. Daha sonra bu deney parçaları 980-1100°C arasındaki farklı sıcaklıklarda östenitleştirilmiş, 730°C'da 300 saat boyunca tutulmuş ve sigma fazı oluşturularak kırılma hale getirilmiştir.

Buradan da görülmektedir ki; ferrit miktarındaki artışa bağlı olarak esneklik (darbe dayanımı) azalmakta ve ferrit yüzdesi ne olursa olsun östenitleştirme sıcaklığındaki artış dikiş üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Şekil 3.5'te, 25 Cr / 20 Ni'li, ısıya dayanıklı bir elektrotla gerçekleştirilen ve farklı zaman dilimleri süresince dönüşüm sıcaklığında tutulan bağlantılara ait içyapı fotoğrafları yer almaktadır. Görüldüğü gibi, parçanın 780°C'da 100 saat süre ile tutulması durumunda sigma fazı çizgileri oluşmaya başlamıştır (Şekil 3.5) ve yine aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen 500 saatlik bir tutma işlemi sonucunda ise çökelen sigma fazı izlerinin çok daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Oluşan sigma fazı çizgileri ve çökelen sigma fazı izleri

Buradan da anlaşıldığı gibi, kaynak işlemi sırasında banyonun çok hızlı soğuması ve katılaşması nedeni ile sigma fazı kolay oluşmaz. Bu sorun esas olarak ferrit içeriği çok yüksek olan bir kaynaklı bağlantının kaynak işleminden sonra uzun süre yüksek sıcaklık değerlerinde kalacak bir çalışma ortamlarda kullanılması durumunda karşımıza çıkar.

Sigma fazı konusunda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

a- Sigma fazının oluşumu 750°C'da, 650°C'dakinden daha çabuk meydana gelir. 750°C'da 30 saat gibi bir zamana gereksinim varken bu süre 650°C'da 1 haftaya çıkar.

b- Sigma fazı oluşumu soğuk şekil değiştirme ile hızlanır.

c- Sigma fazı oluşumuna kuvvetli olarak etki eden elementler; molibden (Mo), krom (Cr), niobyum (Nb) ve silisyum (Si)'dur.

d- Sigma oluşumunu kuvvetlendiren elementlerin miktarı yüksek ise, belirli şartlar altında, kaynağa bağlı olmadan ve ısıtıl işlem uygulamadan da sigma fazı meydana gelebilir.

e- Sigma fazı, 950-1100°C sıcaklıklar arasında belirli bir süre tavlandıktan sonra, suda hızlı olarak soğutularak giderilebilir.

f- Sigma fazının giderilmesi için uygulanan ısıtıl işleminden sonra oluşan yapıdaki ferrit miktarı, ısıtıl işlem uygulanmamış yapıdakine oranla daha azdır.

g- Ferrit miktarı, parçaya 1150°C'da homojenleştirme tavlama uygulanarak daha da düşürülebilir. Bu durumda ferrit mikro toplanmalar şeklinde oluşur.

h- Isıl işlem uygulanmamış 19 Cr / 9 Ni / 1.5 Mo tipi çeliğe ait kaynak bölgesinin yapısında bulunan % 15 ferrit sigma fazına dönüşünce, kaynak dikişinin mukavemet özelliklerinde aşağıda belirtilen değişimler meydana gelir:

Çekme dayanımı yükselir, akma sınırı düşer.

Uzama, büzülme ve çentik dayanımları önemli derecede azalır.

24 saat 750°C'da tavllanmış olan kaynak bölgesinin 0°C'daki çentik dayanımı, 650°C'da bir hafta tavlanan kaynak yerinin çentik dayanımı ile hemen hemen aynıdır. Buna karşın, yapısında % 12 ferrit bulunan kaynak bölgesinin çentik dayanımının 1/10'u kadardır. Aradaki bu fark, yüksek sıcaklıklarda daha da azalmaktadır.

i- 300-400°C'ın üzerinde oldukça iyi çentik değerleri elde edildiği için, yüksek işletme sıcaklığında çalışan konstrüksiyonlarda, sigma fazının neden olduğu gevrekleşmeden korkulmamalıdır.

k- Sigma fazının neden olduğu kırılganlık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önceki durumunda içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Eğer kaynak bölgesi başlangıçta % 6,5 ferrit içerirse, sigma dönüşmesi çentik darbe dayanımının azalmasına neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğu için, ferrit östenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde meydana gelir. Bu yolla elde edilen sigma, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır.

3.4 Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılır.

Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038°C olan östenitleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutulur ve daha sonra 482-621°C sıcaklıklar arasında bir yaşlandırma ısı işlemi uygulanarak sertleştirilebilir. Bu tür çelikler % 0,07'nin altında karbon içerdiği için, oluşan martenzit çok sert değildir ve asıl sertlik yaşlandırma (çökelme) reaksiyonu ile elde edilir. Bu gruba örnek olarak 17-4PH, 15-5PH ve PH13-8Mo tipi çelikler gösterilebilir. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklere ait nominal kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4: Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler

Türü	UNS No.	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Diğer
PH 13-8 Mo	S13800	0.05	0.10	0.10	12.25-13.25	7.5-8.5	0.01	0.008	2.0-2.5 Mo ; 0.90-1.35 Al ; 0.01 N
15-5 PH	S15500	0.07	1.00	1.00	14.0-15.5	3.5-5.5	0.04	0.03	2.5-4.5 Cu ; 0.15-0.45 Nb + Ta
17-4 PH	S17400	0.07	1.00	1.00	15.5-17.5	3.0-5.0	0.04	0.03	3.0-5.0 Cu ; 0.15-0.45 Nb + Ta
17-7 PH	S17700	0.09	1.00	1.00	16.0-18.0	6.5-7.75	0.04	0.03	0.75-1.15 Al
PH 15-7 Mo	S15700	0.09	1.00	1.00	14.0-16.0	6.5-7.75	0.04	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.75-1.5 Al
17-10 P		0.07	0.75	0.50	17.0	10.5	0.28		
A286	S66286	0.08	2.00	1.00	13.5-16.0	24.0-27.0	0.04	0.03	1.0-1.5 Mo ; 2.0 Ti ; 0.3 V
AM350	S35000	0.07-0.11	0.5-1.25	0.50	16.0-17.0	4.0-5.0	0.04	0.03	2.5-3.25 Mo ; 0.07-0.13 N
AM355	S35500	0.10-0.15	0.5-1.25	0.50	15.0-16.0	4.0-5.0	0.04	0.03	2.5-3.25 Mo
AM363		0.04	0.15	0.05	11.0	4.0			0.25 Ti
Custom 450	S45000	0.05	1.00	1.00	14.0-16.0	5.0-7.0	0.03	0.03	1.25-1.75 Cu ; 0.5-1.0 Mo 8 x % C – Nb
Custom 455	S45500	0.05	0.50	0.50	11.0-12.5	7.5-9.5	0.04	0.03	0.5 Mo ; 1.5-2.5 Cu ; 0.8-1.4 Ti ; 0.1-0.5 Nb
Stainless W	S17600	0.08	1.00	1.00	16.0-17.5	6.0-7.5	0.04	0.03	0.4 Al ; 0.4-1.2 Ti

Yarı-östenitik paslanmaz çelikler östenitleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmazlar. Bunun temel nedeni martenzit dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığının altında olmasıdır. Karbonun ve/veya diğer alaşım elementlerinin karbürler ya da metallerarası bileşikler şeklinde çökelebilmelerini sağlayabilmek için bu tür çeliklere 732-954°C sıcaklıklar arasında kondisyonlama ısı işlemi uygulanmalıdır. Bu sayede alaşım elementleri çözeltiden ayrılarak östeniti destabilize edecek ve martenzit dönüşüm sıcaklığının yükselmesine neden olacaktır. Böylece çeliğin oda sıcaklığına doğru soğutulması işlemi sırasında martenzitik bir yapının oluşması mümkün olur. 454-593°C arasında gerçekleştirilen bir yaşlandırma ısı işlemi sonucunda gerilmeler ortadan kalkacak ve martenzit temperlenerek tokluk, süneklik, sertlik ve korozyon dayanımı artacaktır. 17-7 PH, PH 15-7 Mo ve AM350 bu grupta yer alan paslanmaz çeliklerin en tipik örnekleridir.

Çökelme yoluyla sertleşebilen östenitik tip paslanmaz çelikler çözeltiye alma sıcaklığından itibaren hızla soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile östenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısı işleminden sonra sertleştirilebilirler. Bu işlem, 982-1121°C sıcaklıklar arasındaki çözeltiye alma ısı işleminden sonra 704-732°C'a doğru yağda veya suda hızlı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık

aralığında 24 saat süren bir yaşlandırma işlemini içerir. Bu tür çeliklere örnek olarak A286 ve 17-10 P gösterilebilir.

3.5 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Çift fazlı paslanmaz çelikler son günlerdeki en hızlı gelişen paslanmaz çelik grubudur ve yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya sahiptir.

Bu çeliklere ait nominal analiz değerleri Çizelge 3.5'te listelenmiştir. Çift fazlı paslanmaz çelikler, daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha fazla direnç sağlamaları nedeniyle, konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstün avantajlar sunarlar.

Çizelge 3.5: Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler

Türü	UNS No.	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Diğer
2205	S31803	0.03	2.0	1.0	22.0	5.5	0.03	0.02	3.0 Mo ; 0.14 N
2304	S32304	0.03	2.5	1.0	23.0	4.0			0.1 N
255		0.04	1.5	1.0	25.5	5.5			3.0 Mo ; 0.17 N ; 2.0 Cu
NU744LN		0.067	1.7	0.44	21.6	4.9			2.4 Mo ; 0.10 N ; 0.2 Cu
2507	S32750	0.03	1.2	0.8	25.0	5.5	0.035	0.02	4 Mo ; 0.28 N

Çift fazlı mikro yapı, % 21-25 Cr ve % 5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavlama ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu bileşimlere ait kaynak metalinin genellikle ferritik yapıda olma eğilimi vardır. Çünkü dolgu metali ferrit olarak katılacak ve sadece belirli bir miktarda östenit dönüşümü oluşacaktır. Birçok kaynak dolgusuna tavlama işlemi uygulanması mümkün olmadığından, dolgu metalinin Ni oranı % 8-10'a yükseltilerek kimyasal analiz modifiye edilir ve bu sayede kaynak metalinin kaynak edildiği haldeki mikro yapısında daha fazla östenit bulundurulması sağlanır.

4. PASLANMAZ ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Ergitme Kaynağı Yöntemleri ve Basınç Kaynağı Yöntemleri iki başlık altında incelenebilir.

Paslanmaz çeliklerde, kaynak ağızlarının hazırlanmasında, ince saclar için mekanik kesme yöntemleri veya plazma arkı ile kesme yöntemi, kalın saclar için ise, plazma arkı ile kesme yöntemi, oyuk açma veya talaşlı işleme yöntemleri kullanılmaktadır.

4.1 Ergitme Kaynağı Yöntemleri

Ergitme Kaynak Yöntemleri:

1. Gaz Ergitme Kaynağı
2. Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı
3. Ergiyen Elektrot İle Gazaltı Kaynağı (MIG)
 - a. Dolu Tel Elektrot İle
 - b. Özlü Tel Elektrot ile
4. Ergimeyen Elektrot İle Gazaltı Kaynağı (TIG)
5. Plazma Arkı İle Kaynak
6. Tozaltı Kaynağı
7. Elektron Işın Kaynağı
8. Lazer Işın Kaynağı

4.1.1 Gaz Ergitme Kaynağı

Yanıcı gaz olarak asetilenin çok sık kullanıldığı ve bu nedenle oksii-asetilen kaynak yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem, paslanmaz çelik ince sacların birleştirilmesinde ve tamir kaynağında nadiren kullanılır. Dolayısıyla bu yöntem esaslı olarak ele alınmayacaktır.

4.1.2 Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağı, elektrik arkını ısı kaynağı olarak kullanan elle yapılan (manuel) bir kaynak yöntemidir.

Örtülü elektrot (elektrot pensesi ile tutulan) ile ana malzeme (kaynak edilecek malzeme) arasında oluşturulan ark, ana malzemenin ve örtülü elektrotun ergimesini sağlayan ısıyı ortaya çıkarır.

Örtülü elektrotlar, paslanmaz çelik yapısında olup, geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Bu ürünler 1,25mm'den başlayıp çeşitli kalınlıklara kadar yükselen parçaların kaynağında kullanılabilir. Gözenek oluşmaması ve kaynak dikişinde cüruf kalma riskinin önlenmesi için

her pasodan sonra bir sonraki pasoya geçmeden önce yüzeydeki cüruf tabakası iyice temizlenmelidir. Örtülü elektrot kaynağında kullanılan kaynak donanımları düşük maliyetlidir, ancak bunun yanında metal yığılma hızlarının da diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çok düşük olduğu unutulmamalıdır.

Kaynak işleminin eğer örtülü elektrot ile gerçekleştirilmesine karar verilmişse, bir diğer önemli karar da elektrot örtüsünün türü konusunda alınmalıdır. Belirli bir elektrot tipi için bazik (-15), rutil (-16) ve asit (-17) karakterli örtüler bulunurken, bunlar arasındaki seçim temel olarak uygulanacak olan kaynak pozisyonuna göre yapılır. Bazik örtülü elektrotlar sadece DC kaynak akımında kullanılır. Bu grupta yer alan elektrotlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir.

Dikey kaynak, tavan kaynağı ve boru kaynağı gibi bütün pozisyonlardaki uygulamalar. Oluşan ince cüruf tabakası iyi bir ıslanma sağlamak ve kenar yanığı oluşumu riskini önlemek için yeterli hıza sahip bir yayılma gösterir.

Kalın plakalardaki kök paso uygulamaları. Bütün oluk kesiti boyunca uzanan hafif dışbükey kaynak dikişi çatlak oluşumunun önlenmesine yardım eder. Rutil örtülü elektrotlar AC ya da DC kaynak akımında kullanılabilir. Ancak mümkünse DC kaynak akımının tercih edilmesinde yarar vardır.

Bu grupta yer alan elektrotlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir:

Büyük bir bölümü yatay pozisyonunda gerçekleştirilecek olan bütün uygulamalar.

Bazik örtülü elektrotların bulunmadığı durumlarda, aşağıdan yukarıya ve tavan pozisyonundaki kaynak uygulamaları.

Asit örtülü elektrotlar AC ya da DC kaynak akımında kullanılabilir. Ancak daha çok DC kaynak akımı tercih edilir. Bu grupta yer alan elektrotlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir:

Minimum temizlik yapılması istenen durumlarda gerçekleştirilen düz ve yatay pozisyonundaki kaynak uygulamaları.

Örtülü elektrotlar düşük hidrojenli elektrotlarınkine benzer şekilde işlem görmeli ve saklanmalıdır. Bu elektrotlar nemli ortamlarda bırakılmamalı ve sızdırmaz ambalajları açıldıktan sonra ya tamamen kullanılmalı ya da eğer depolanacaksa 90-150°C sıcaklıktaki taşıyıcı fırınlarda saklanmalıdır. Eğer elektrotlar nemli bir ortamda bırakılmışsa, üretici firmanın önerileri doğrultusunda kurutulmalıdır. Kurutma sıcaklığı genellikle 260-320°C arasındadır ancak bu işlem 430°C gibi yüksek sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir. Özel

durumlarda ise üretici firmanın önerilerinin dikkate alınmasında yarar vardır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrotlara ve çıplak ve özlü kaynak tellerine ait ölçüler ve ürün tipleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrotlara ve çıplak ve özlü kaynak tellerine ait ölçüler

Ürünün Ticari Şekli	Çap (mm)	Çap (inç)
TEL		
Kollu ya da Kolsuz Büyük Kangala Sarılı Teller	1.2 ; 1.6 ; 2.0 ; 2.4 ; 2.8 3.2 ; 4.0 ; 4.8 ; 6.4	0.045 ; 1/16 ; 5/64 ; 3/32 ; 7/64 1/8 ; 5/32 ; 3/16 ; 1/4
K300 Tipi Standart Makaraya Sarılı Teller	0.8 ; 0.9 ; 1.2 ; 1.6 2.0 ; 2.4 ; 2.8	0.030 ; 0.035 ; 0.045 ; 1/16 5/64 ; 3/32 ; 7/64
D40, D65, D100 Tipi Makaraya Sarılı Düşük Ağırlıktaki Teller	0.5 ; 0.6 ; 0.8 0.9 ; 1.2	0.020 ; 0.025 ; 0.030 0.035 ; 0.045
ÖRTÜLÜ ELEKTROT		
Boy : 230 mm	1.6 ; 2.0 ; 2.4	1/16 ; 5/64 ; 3/32
Boy : 305 mm	2.4	3/32
Boy : 350 mm	3.2 ; 4.0 ; 4.8 ; 6.4	1/8 ; 5/32 ; 3/16 ; 1/4

Bütün paslanmaz çelik elektrot örtülerinin nem alması önlenmelidir. Bu elektrotlar genellikle sızdırmazlığı sağlanmış kapalı kutularda birkaç ay boyunca bozulmadan depolanabilir. Buna karşın, kutu açıldıktan sonra elektrot örtüsü nem almaya başlar ve ortamdaki hava şartlarına bağlı olarak, dört saat açıkta kaldıktan sonra yeniden kurutma işlemi uygulanmasına gerek duyulabilir. Aksi durumda özellikle ark başlangıcında gözenek oluşumu ile karşılaşılır.

Genellikle 260-316°C’da 1 saat süre ile gerçekleştirilen yeniden kurutma işlemi elektrotların orijinal özelliklerini kazanmasına yardımcı olur. Bunun yanında elektrotların kullanılabildiği kadarki süre içerisinde 150°C sıcaklığa sahip fırınlarda saklanması büyük yarar vardır.

Malzemeler ve yöntemler arasındaki farklılıklar nedeniyle özellikle yoğun miktarda elektrot kullanımının söz konusu olduğu durumlarda üretici firmalara danışılmalıdır.

DC elektrotlar (EXXX-15) sadece DC akımda kullanılır, nüfuziyetleri oldukça iyidir ve dikiş profili hafif dışbükeydir. Bu elektrotlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda tercih edilir:

Dik kaynak ve tavan kaynağı, boru kaynağı gibi bütün uygulama pozisyonları. Cüruf hızlı katılaşma özelliğine sahiptir.

Kalın kesitli parçalardaki kök paso uygulamaları. Bütün oluk kesiti boyunca uzanan hafif dışbükey kaynak dikişi çatlama riskinin önlenmesine olanak sağlar.

Hiç ferrit içermeyen tamamen östenitik tip paslanmaz çeliklerin kaynağı.

AC-DC elektrotlar (EXXX-16 ve EXXX-17) DC güç ünitelerinin bulunduğu durumlarda sürekli DC akım ile kullanılır. Elde edilen köşe kaynağının profili düzden (EXXX-16) hafif dışbükeye (EXXX-17) doğru değişir. Bunun yanında kaynak yüzeyi sadece DC akımda kullanılan EXXX-15 türü elektrotlarınkine göre daha düzgündür ve nüfuziyet daha azdır. Yoğun cüruf oluşumu durumunda kaynak metalinin içine cüruf karışmamasına çok dikkat edilmelidir. Bu elektrotlar özellikle yatay köşe kaynağında ve diğer bütün düz kaynak pozisyonlarında kullanılırlar. EXXX-16 türü elektrotlar kalifiye kaynakçılar tarafından bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. EXXX-17 türü elektrotlar da bütün pozisyonlarda kullanılabilir. Ancak aşağıdan yukarıya doğru gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında EXXX-16 türü elektrotlara göre daha geniş salınım gerektirirler.

Temizlik: Yüksek kalitede kaynak bağlantılarının elde edilebilmesi için bağlantı bölgelerinin temiz ve kuru olması gerekir. Elektrikli aletlerle fırçalama, yağdan arındırma, pas giderme, taşlama ve yüzeysel silme gibi temizleme işlemlerinden hangisinin uygulanacağı kirliliğin miktarına ve türüne bağlıdır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir:

Nem, ısıtma yoluyla ya da kuru hava üflenerek alınmalıdır (hava akımında nem bulunmamasına dikkat edilmelidir). Yüksek nem içeren ortamlarda bağlantı bölgesinde bir gecede bile nem toplanabilmektedir.

Boya, çapak yapışmasını önleyen madde artıkları, yağlı kalem izleri, kesme sıvıları, koruyucu kağıtlardan kalan yapışkanlar ve sızıntı testinde kullanılan sabun artıkları gibi organik artıklar ortamdan uzaklaştırılmalıdır.

Alev yada talaş kaldırma yoluyla gerçekleştirilen kesme uygulamalarında kenarlarda biriken kir ve oksit artıkları temizlenmelidir.

Daha önce galvanizli çelikler üzerinde kullanılmış olan fırçalar ve takımlardan kaynaklanan çinko kirliliği giderilmelidir. Çinko kirlenmesi çatlama neden olacağı için sadece paslanmaz çelikler için üretilen paslanmaz çelik tel fırçalar kullanılmalıdır.

Paslanmaz çelik malzemeyi sabitlemek ve konumlandırmak için kullanılan bakır aparatların sürtünmesi sonucu yüzeyde oluşan bakır kirlenmesi çatlamalara neden olacağı için mutlaka önlem alınmalıdır.

Kaynak Teknikleri: Paslanmaz çelik elektrotlarla gerçekleştirilen kaynak uygulamaları düşük hidrojenli yumuşak çelik yapısındaki elektrotlardakine benzer tekniklerin kullanılmasını gerektirir. Kısa ark mesafesi ile çalışılmalı ancak örtünün kaynak banyosuna değmesi önlenmelidir. Bazı demir tozlu elektrotlar ise oluk ve yatay pozisyonda gerçekleştirilen uygulamalarda ana metale sürtünerek kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Islatma kabiliyeti yüksek damlaların oluşturduğu düz kaynak dikişleri sayesinde özellikle derin kaynak ağzlarında cürufun kolay kalkması sağlanır. Krater çatlaklarını önlemek için ark kesilmeden önce bütün kraterler durdurulmalıdır. Bir sonraki elektrota geçmeden önce dikiş sonunda bulunan cüruf iyice temizlenmeli, ikinci paso uygulamalarına ise alttaki dikişin yüzeyi tamamen temizlendikten sonra başlanmalıdır. Derin oluklu alın kaynağı uygulamalarında, kök paso atılırken her iki plakayı da yeterli miktarda eritecek ve aradaki açıklığı kapatmaya yetecek bir nüfuziyet gerçekleştirilmelidir. Aşırı nüfuziyetin ise çatlak oluşumuna neden olacağı unutulmamalıdır.

Dik ve tavan pozisyonlarında 4mm'den kalın çaplı elektrotlar kesinlikle kullanılmamalıdır. DC elektrotlar (EXXX-15) tercih edilse de AC-DC elektrotlar (EXXX-16) aşağıdan yukarıya pozisyonundaki uygulamalarda DC akım ile kullanılabilir. Kalın plakaların aşağıdan yukarıya kaynağında, üçgen ve ters-V salınım teknikleri uygulanabilir. İnce plakaların yukarıdan aşağıya kaynağında ise dar dikişler ile çalışılmasında yarar vardır.

Aşağıdan yukarıya pozisyonlarda, EXXX-17 türü AC-DC kaynak elektrotlarının kullanımı EXXX-16 türü elektrotlarınkine göre daha zordur. Bu durumda daha geniş salınımlarla çalışılması gerekmektedir.

Uygun kaynak tekniklerinin kullanılması, çarpılmaların önlenmesi açısından çok önemlidir. Yeterli nüfuziyeti sağlayan en düşük kaynak akımı ile çalışılması iş parçasına olan ısı girişini azaltacaktır (Çizelge 4.2). Düşük kaynak hızlarında ince kaynak dikişleri ile çalışılırken yüksek hızlarda kalın dikişler kullanılabilir. Eğer elektrota salınım verilmesi gerekiyorsa salınım genişliğinin elektrot çapının 2,5 katı ile sınırlı tutulması uygun olacaktır.

Çizelge 4.2: Paslanmaz çelik elektrotlara ait akım aralıkları (DC-Doğru kutuplama)

Elektrot Çapı (mm)	Önerilen Kaynak Akımı (Amper)		
	E3XX-15 Türü Elektrotlar	E3XX-16 Türü Elektrotlar	E3XX-17 Türü Elektrotlar
2.4	30 - 70	30 - 65	40 - 80
3.2	45 - 95	55 - 95	80 - 115
4.0	75 - 130	80 - 135	100 - 150
4.8	95 - 165	120 - 185	130 - 200
6.4	150 - 225	200 - 275	Üreticiye Danışın
	Düz kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 10 düşüğüdür.	Düz kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 10 düşüğüdür.	Düz kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 10 düşüğüdür.
	Aşağıdan yukarıya kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 20 düşüğüdür.	AC kaynak akımı aralığı, yukarıdaki değerlerin yaklaşık % 10 fazlasıdır.	
	Yukarıdan aşağıya kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerler ile aynıdır.		

Çarpılmaların önlenmesi için alınan diğer önlemler aşağıda yer almaktadır:

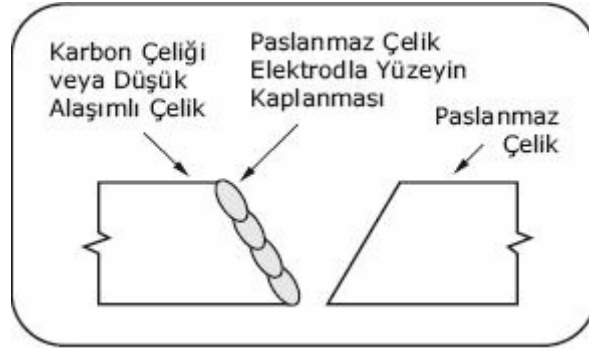
Parçaları uygun konumda tutabilmek için sağlam ve hareket etmeyen sabitleme elemanları kullanılmalıdır.

Kaynağın alt kısmında altlıklar, yanlarında ise soğutma çubukları kullanılmalıdır.

Östenitik tip paslanmaz çeliklerin hızlı soğutulması zararlı değil yararlıdır. Soğutma çubuğu malzemesi olarak eğer bakır kullanılıyorsa, ısıdan etkilenen bölge sıcaklığının bakırın erime sıcaklığını aştığı durumlarda bakırın paslanmaz çelik ana malzemenin tane sınırlarına doğru nüfuz etmemesine dikkat edilmelidir. Bu olasılığı önlemek için bakır altlığın nikel plaka ile kaplanması yararlı olacaktır.

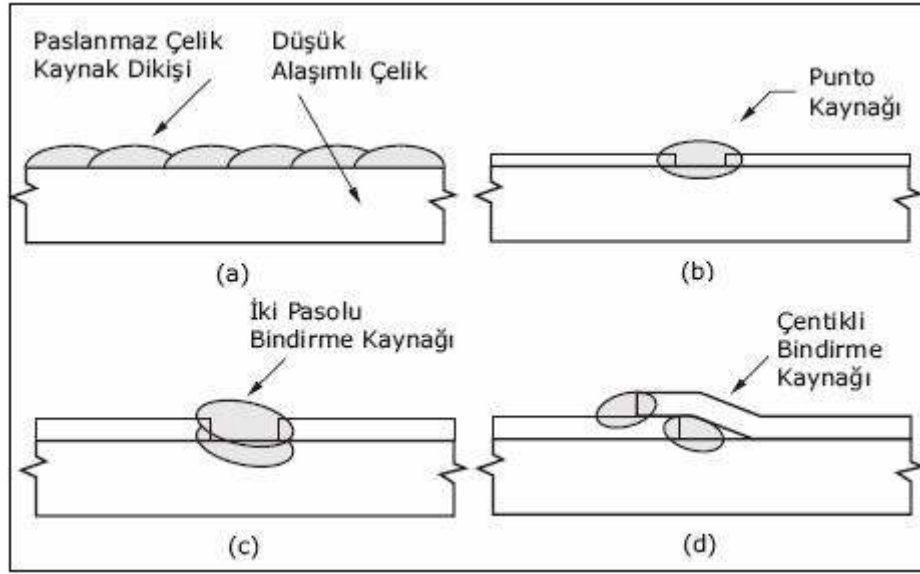
Yumuşak çeliklerde olduğu gibi, atlamalı kaynak ya da ters adımlı kaynak yöntemleri kullanılarak uygulama için en uygun olan kaynak sırası önceden belirlenmelidir.

Paslanmaz Çeliklerin Diğer Çeliklerle Olan Birleştirme Uygulamaları: Bazı durumlarda, yumuşak çelikler üzerinde paslanmaz çelik kaynak metalleri kullanılır. Alaşımsız çelikten imal edilen tank ve depoların paslanmaz çelikte kaplanması en sık karşılaşılan örneklerdir. Bu gibi durumlarda, yumuşak çeliğin paslanmaz çelik kaynak dolgusunda meydana getireceği karışımın istenmeyen bir alaşım oluşturmasını engellemek amacıyla, yüksek alaşımlı paslanmaz çelik elektrotlar kullanılmalıdır.



Şekil 4.1: Yumuşak çeliğin paslanmaz çeliğe birleştirmesinde kullanılan yüzey kaplama yöntemi

Paslanmaz çeliklerin yumuşak çeliklerle birleştirildiği durumlarda, yumuşak çeliğin bağlantı yüzeyi çoğu zaman paslanmaz çelik elektrotla sıvanır (buttering). Bu teknik, Şekil-4.1'de gösterildiği gibi, yumuşak çelik yüzeyinde paslanmaz bir tabaka oluşturulmasını ve daha sonra bağlantının yine paslanmaz çelik elektrotla bitirilmesini içerir. Bu sıvama işlemi sırasında en sık kullanılan ürünler E309 türü elektrotlardır. Bu teknik ayrıca, kaynağı zor ya da ön tav işlemi uygulanamayan yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında da kullanılır. Östenitik mangan çeliklerinin karbon ya da mangan çelikleri ile birleştirilmesinde E308 türü elektrotlar kullanılır. Buna karşın, kepçelerin kazıyıcı dişleri gibi belirli periyotlarla değiştirilen bağlantılarda, paslanmaz çelik kaynak metalinin, kesme şalümosu ile kolay kesilememesi nedeni ile manganlı elektrotların kullanılması önerilir.



Şekil 4.2: Yumuşak çelik yüzeyinin paslanmaz çelik tabaka ile kaplanmasında uygulanan yöntemler

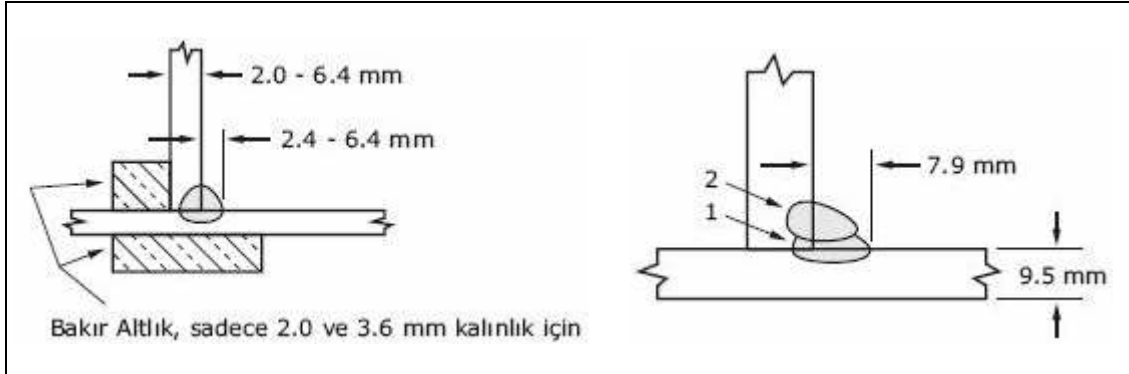
Yumuşak çelik yüzeyinin paslanmaz çelik ile kaplanmasında kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Küçük alanlarda, bindirme kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak dikişlerinden yararlanılır (Şekil-4.2.a). Daha geniş yüzeylerin kaplanmasında ise, paslanmaz çelik saclar (Şekil-4.2.b) veya (Şekil-4.2.c) ve (Şekil-4.2.d)'de gösterildiği gibi paslanmaz çelik plakalar yumuşak çelik üzerine punto kaynağı ile tutturulur.

Güç Üniteleri: Düşük çevrimli ve transformatör tipi AC kaynak makinelerinin açık devre voltajı bazı EXXX-16 ve serisi elektrotların kullanılması için yeterli güce sahip değildir. Buna karşın, çelik elektrotlarla kullanılan aynı güç kaynakları paslanmaz çelik elektrotlar için uygun olabilmektedir. Kalınlığı 1,3mm'den 12,7mm'ye kadar değişen paslanmaz çelik parçaların kaynağına ait parametreler ve prosedürler Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'te verilmiştir. Burada yer alan şekiller; alın, T, bindirme ve 90° açılı köşe bağlantılarında kullanılan bağlantı tasarımlarını ve kaynak altlıkları ile ilgili bilgileri içermektedir.

Çizelge 4.4: Kalınlığı 2 ile 6,4mm arasında değışen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak dik ve tavan pozisyonundaki alın birleştirme kaynağı için öneriler.

Kalınlık(mm)	2.0 *	3.6	4.8	6.4	6.4
Paso Sayısı	1	1	1	1	2
Elektrod Sınıfı	E3XX-15	E3XX-15	E3XX-15	E3XX-15	E3XX-15
Elk. Çapı(mm)	2.4	3.2	4.0	4.0	4.0
Akım DC (+)	50	75	110	110	110
K. Hızı(mm/sn)	5.9-6.8	2.8-3.1	2.2-2.5	2.2-2.5	1.8-2.0
Tüketim (kg/m)	0.045	0.136	0.238	0.551	0.551
K. Süresi(sa/m)	0.0436	0.0938	0.1194	0.2651	0.2651
Ağız Aralığı(mm)	0	0	1.6	2.4	2.4
Kök Yüks.(mm)	0	0	1.6	1.6	1.6
*) DC (-) kullanılır. Not : Kaynak akımı % 10 yükseltilerek AC kullanılabilir. EXXX-15 türü elektrodlar kaynak akımı % 10 azaltılarak kullanılabilir.					

Çizelge 4.5: Kalınlığı 2 ile 9,5mm arasında değışen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak düz ve yatay pozisyondaki köşe birleştirme kaynağı için önerileri.

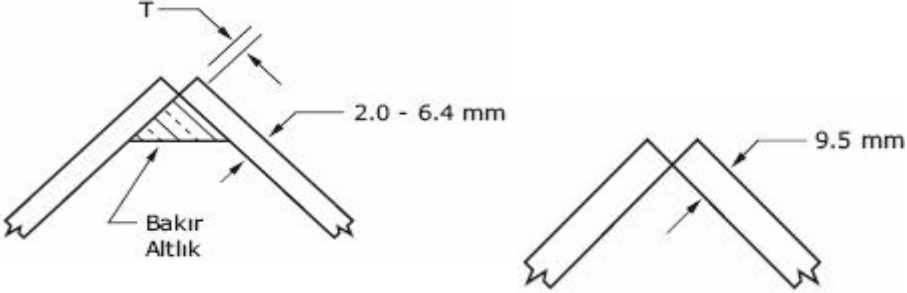


KaynakBoyutu(mm)	2.4	3.2	4.8	6.4	7.9	7.9
Kalınlık(mm)	2.0	3.6	4.8	6.4	9.5	9.5
Paso Sayısı	1	1	1	1	1	2
Elk.Sınıfı	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	E3XX-16, EXX-17	E3XX-16, EXX-17
Elk.Çapı (mm)	2.4	3.2	4.0	4.8	4.8	4.8
Akım DC (+)	60	85	120	160	170	170
Kayn.Hızı(mm/sn)	5.3-5.7	5.3-5.7	3.6-4.0	2.6-2.9	2.6-2.9	2.8-3.1
Tüketim(kg/m)	0.054	0.083	0.178	0.328	0.640	0.640
Kayn.Süresi(sa/m)	0.051	0.051	0.073	0.101	0.195	0.195

Not : Kaynak akımı % 10 yükseltilerek AC kullanılabilir.

EXX-15 türü elektrodlar kaynak akımı % 10 azaltılarak kullanılabilir.

Çizelge 4.7: Kalınlığı 2 ile 9,5mm arasında değışen östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kullanılarak düz pozisyondaki dış köşe birleştirme kaynağı için çözüm önerileri.

						
Kalınlığı (mm)	2.0	3.6	4.8	6.4	9.5	9.5
Paso Sayısı	1	1	1	1	1	2
ElektrodSınıfı	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	E3XX-16, EXX-17	E3XX-16, EXX-17
ElektrodÇapı(mm)	2.4	3.2	4.0	4.8	4.8	4.8
Akım DC (+)	60	85	125	160	160	175
KaynakHızı(mm/sn)	5.9-6.8	5.3-5.7	4.4-4.9	2.6-2.9	2.6-2.9	2.4-2.7
Tüketim (kg/m)	0.042	0.083	0.140	0.330	0.670	0.670
KaynakSüresi(sa/m)	0.0436	0.0505	0.0597	0.1010	0.2100	0.2100
T (mm)	1.0	0.8	1.2	1.6	0	0

4.1.3 Ergiyen Elektrotla Gazaltı Kaynağı (MIG)

Örtülü elektrot kullanılarak el ile yapılan ark kaynağının en önemli sınırlamaları, güvenilir bir bağlantının elde edilebilmesi için kaynakçının belirli bir düzeyde eğitilmiş olması ve kaynak hızının sınırlı oluşudur. Bu iki etken sonucun pahalı olmasına ve acele yapılması gereken işlerin belirli bir yapım süresinden önce bitirilememesine neden olmaktadır. Özellikle kalın parçaların kaynağında, kaynak süresi çok uzun olmaktadır, zira elektrot çapı belirli bir ölçüden sonra arttırılamamaktadır; örneğin 6mm'den kalın çaplı elektrotlar kullanıldığında kaynakçının işlem sırasında kaynak banyosundaki hakimiyeti güçleşmektedir.

Kaynak sırasında, cürufun temizlenmesi ve elektrot değıştirilmesi için sarf edilen zaman genellikle toplam kaynak süresini aşmaktadır. Her elektrotun uç kısmında birkaç cm'lik bir kısım (koçan) kullanılmadan atılmakta ve bu da maliyeti etkilemektedir. Akım şiddetini arttırarak erime süresini kısaltmak iyi sonuç vermemektedir, zira bu kaynak yönteminde elektrot fazla ısındığından örtü ark bölgesinden önce yanarak bozulmakta ve kendisinden

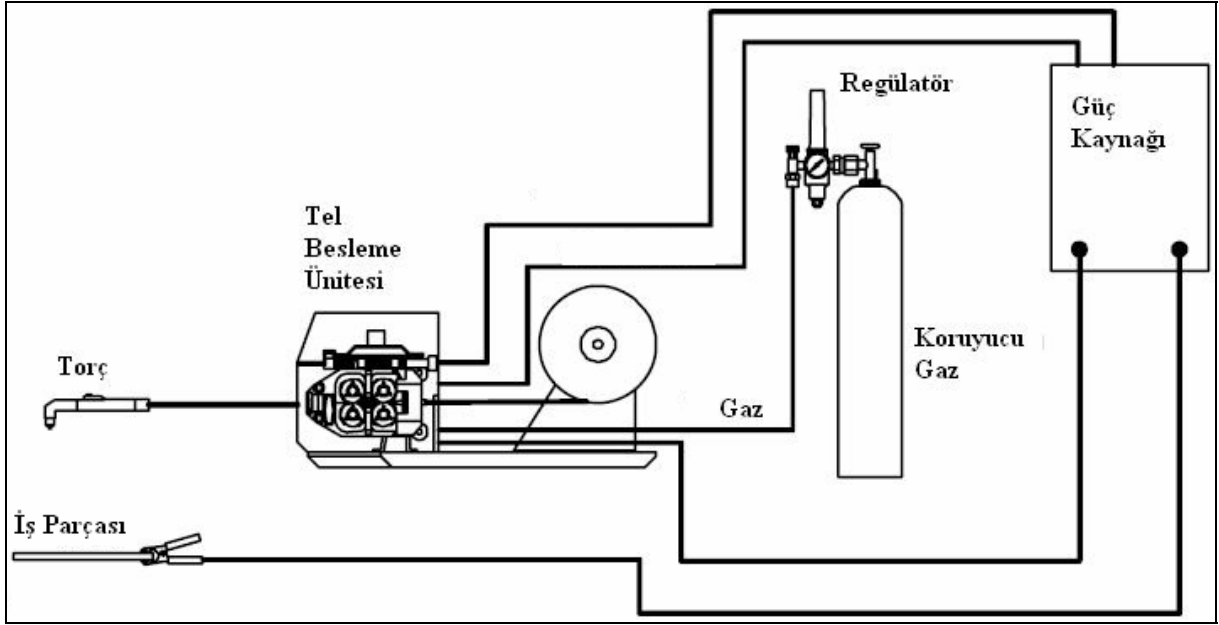
beklenen görevi yerine getirememektedir. Ayrıca, el ile örtülü elektrot kaynağında hızın, belirli bir değerin üzerine çıkması kaynakçının kaynağa hakimiyetini güçleştirmektedir.

Kaynak maliyetini düşürmek, yapım süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, günümüz teknolojisi mekanize veya otomatik kaynak yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Tüm bu kaynak yöntemlerinde ana tema, çıplak elektrot telini mekanik bir tertibat yardımıyla otomatik olarak sürekli ilerletip, akımı ark bölgesine çok yakın bir yerden vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini arttırarak erime gücünü yükseltmektir. Yalnız burada en önemli konu, elektrotun örtüsünün sağladığı yararları yüklenebilecek bir nesnenin devreye sokulmasıdır.

Bilindiği üzere, elektrot örtüsünün en önemli görevlerinden biri ve en ödün verilemeyeceği konu bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korumasıdır; buna göre örtünün görevini yerine getirecek bir nesnenin bu görevi üstlenmesi gereklidir. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda iki ayrı yoldan gidilerek, bugün tozaltı ve gazaltı diye adlandırdığımız kaynak yöntemleri geliştirilmiştir.

Gazaltı kaynak yöntemleri de, erimeyen bir tungsten alaşımlı elektrotun kullanıldığı TIG, Plazma Ark ve kaynak bölgesine sürekli beslenen ve eriyen elektrotun kullanıldığı MIG/MAG kaynak yöntemleridir.

MIG (Metal Inert Gas) kaynağında ark, helyum ve argon gibi koruyucu asal bir gaz atmosferi altında yanar, tel elektrot kaynak yerine bir kanaldan sağılarak iletilir ve ark içinde eriyerek kaynak banyosuna katılır. Şeması Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: MIG kaynağı şeması

Paslanmaz çelikler sprej iletim, kısa devre iletim, darbeli iletim ve küresel metal taşınımı (globuler metal taşınımı) teknikleriyle kaynak edilebilirler. 1.6mm kalınlığa kadar paslanmaz çeliklerin kaynağında bakır altlık kullanmak gereklidir. Altlık 6.4mm ve daha kalın levhaların tek taraftan kaynağı için de gereklidir. Kaynak banyosunun katılaşması sırasında kaynağın diğer tarafına havanın girmesine izin verilmemelidir. Oksijen ve azot, katılaşan ve soğuyan paslanmaz çeliğe zarar verir. Takım ve tertibat elemanları kaynağın arka yüzeyinden çok miktarda hava girişine izin veriyorsa arka taraftan argon altlık kullanılmalıdır.

Kaynak banyosunun katılaşması sırasında, kaynak bölgesinin hava ile temas etmesine ve havanın kaynağın içerisine doğru girmesine kesinlikle izin verilmemelidir.

Erimiş metalin oksijen tarafından kirletilmesi, soğuma sırasında paslanmaz çeliğin korozyon dayanımında ve tokluğunda azalmaya neden olabilir. Bu olumsuz durumu önlemek için kaynağın alt tarafının örneğin Argon gibi bir soygaz yardımı ile korunması gerekmektedir. Gaz koruması sabitlemenin yapıldığı bölgenin genelinde de oluşturulabilir.

Kaynak sırasında 2,4mm çapındaki teller kullanılabilir de, özellikle yüksek akım değerleri ile çalışılan durumlarda sprej ark ile metal transferi elde edebilmek için 1,6mm'den daha ince çaplı teller tercih edilir. 1,6mm çapındaki teller için, koruyucu gaza ve kullanılan paslanmaz çelik tel cinsine bağlı olarak 300-350 amper kaynak akımı önerilir. Oluşan sıçrama miktarı; koruyucu gazın debisi, tel besleme hızı ve kaynak makinesinin karakteristiği ile yakından ilgilidir.

4.1.3.1 Sprey İletim

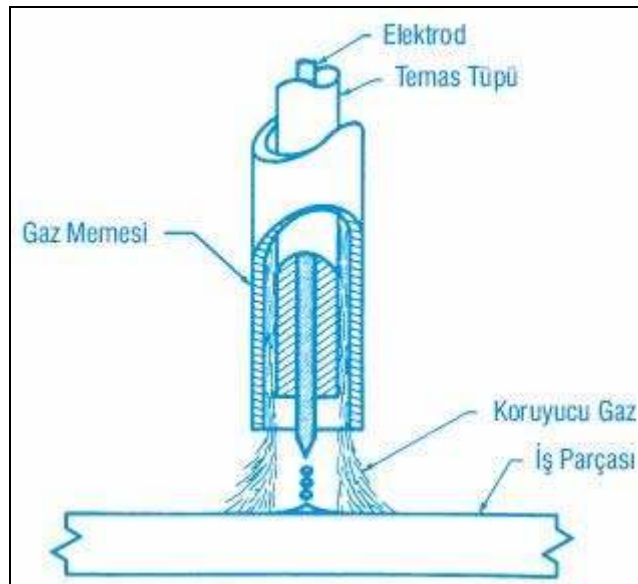
Sprey iletim oluşturmak için göreceli olarak yüksek akımlarla 2,4mm kadar büyük çaplı elektrot, ancak genellikle kullanılan 1,6mm elektrot çapı için 300-350 amperlik kaynak akımı gerekir. Sıçrama miktarı, koruyucu gazın bileşimine ve debisine, elektrot besleme hızına ve kaynak güç ünitesinin karakteristiğine bağlıdır. (Şekil 4.4)

Birçok paslanmaz çelik kaynağında doğru akım elektrot pozitif kutuplama kullanılır. Birçok paslanmaz çelik için % 1-2 oranında oksijenle karıştırılmış Argon oksijen karışımı tavsiye edilir.

Düz alın kaynaklarında kaynak metalinin alttan sarkmasını önlemek için bir altlıklama gereklidir. Levhanın hizalanması başarılı değilse veya bakır altlık kullanılamıyorsa, sarkma ilk pasoyu kısa devre iletimle çekerek en az düzeye indirilebilir.

Kaynağı sola kaynak tekniğiyle yapmak yararlıdır. Kaynakçının eli daha fazla ısıya maruz kalmakla birlikte (kaynakçının eli çekilmiş dikişin üzerinden geçer) bu yöntem arkın daha iyi görülmesini sağlar. 6,4mm ve daha büyük kalınlığa sahip levhaların kaynağında torç bağlantı yönünde ileri geri aynı zamanda hafifçe bir yandan diğer yana doğru hareket ettirilmelidir. İnce metallerde sadece ileri-geri hareket yeterlidir.

Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'te paslanmaz çeliklerin sprej iletimle kaynağında kullanılan kaynak değişkenleri verilmiştir.



Şekil 4.4: Sprey iletim

Çizelge 4.8: AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin spreyletimle kaynağında kaynak değişkenleri

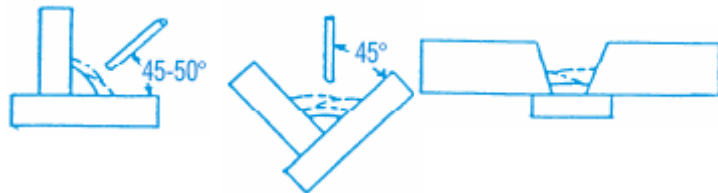
Ar + % 1 CO₂ Gaz Debisi : 17-19 lt/dak			
Kalınlık(mm)	3.2	6.4	9.5 - 12
Elk.Çapı(mm)	1.6	1.6	1.6
Akım (A)	225	275	300
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	3.6	4.4	6.0
KaynakHızı(m/dak)	0.48 - 0.53	0.38	0.51
GerekliElektrod(kg/100 m)	1.0	2.6	3.8

Çizelge 4.9: Paslanmaz çeliklerin yatay ve oluk içköşe ve oluk alın kaynaklarında sprej
iletimde kaynak değişkenleri

% 90 Ar + % 2 CO₂

Sola kaynak

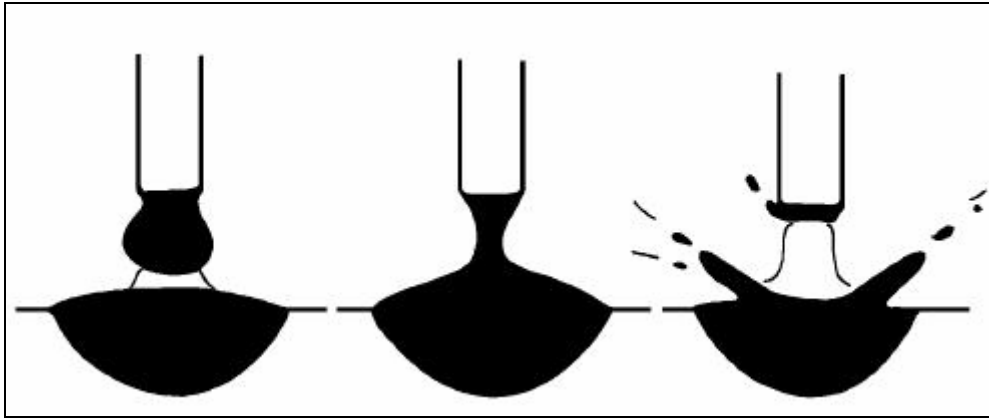
Hareket açısı: 5°



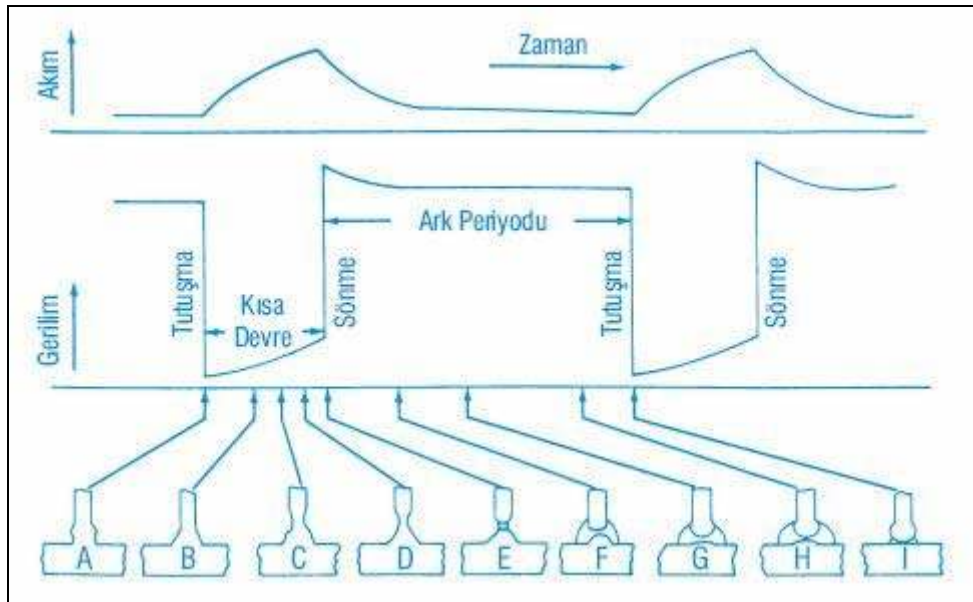
0.9 mm Elektrod				
Kalınlık(mm)	4.8	6.4	7.9 ve üstü	
Elk.Çapı(mm)	0.9	0.9	0.9	
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	10.2 - 10.8	11.4 - 12.1	12.1	
Gerilim (DAEP)	23 - 24	24 - 25	25	
Akım (A)	180 - 190	200 - 210	210	
Kayn.Hızı(m/dak)	0.46 - 0.48	0.28 - 0.30	0.25 - 0.28	
SerbestElektrodUzunluğu(mm)	13	13	13	
Gaz Debisi (l/dak)	14	14	14	
1.1 mm Elektrod				
Kalınlık(mm)	4.8	6.4	7.9 ve üstü	
Elk.Çapı(mm)	1.1	1.1	1.1	
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	6.1 - 6.6	7.6 - 8.3	9.1	
Gerilim (DAEP)	24 - 25	25 - 26	26	
Akım (A)	195 - 230	240 - 250	260	
Kayn.Hızı(m/dak)	0.43 - 0.48	0.38 - 0.46	0.36 - 0.38	
SerbestElektrodUzunluğu(mm)	19	19	19	
Gaz Debisi (l/dak)	19	19	19	
1.6 mm Elektrod				
Kalınlık(mm)	4.8	6.4	7.9	9.5 ve üstü
Elk.Çapı(mm)	1.6	1.6	1.6	1.6
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	4.4	5.1 - 6.4	7.0	7.6
Gerilim (DAEP)	26	29	31	32
Akım (A)	260	310 - 330	360	390
Kayn.Hızı(m/dak)	0.48 - 0.58	0.58 - 0.64	0.41	0.41
SerbestElektrodUzunluğu(mm)	19	19	19	19
Gaz Debisi (l/dak)	19	19	19	19

4.1.3.2 Kısa Devre İletim

Kısa devre iletim ince çaplı (0,6 – 1,2mm) teller ile, kısa ark boyu yani, düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti ile kaynak yapılırken karşılaşılan bir ark türüdür. Burada ark oluşunca, elektrotun uç kısmı, hemen erimeye başlar ve damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken tel ile iş parçası arasında bir kısa devre oluşur, gerilim düşer, akım şiddeti yükselir, damla telden kopar ve kısa devre ortadan kalkar ve aynı olay tekrarlanır. Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi, koruyucu gaz türü ve tel metaline bağlı olarak bu işlem saniyede 20- 200 kez tekrarlanır. (Şekil 4.5 – Şekil 4.6)



Şekil 4.5: MIG kaynağında kısa devre iletim



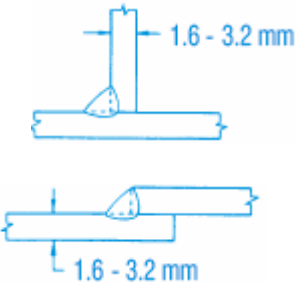
Şekil 4.6: Kısa devre metal iletimi

Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle kaynağında gerilim ve endüktans kontrolüne sahip güç ünitelerinin kullanılması tavsiye edilir. Özellikle endüktans uygun bir banyo akışkanlığı elde etmede önemli bir rol oynar.

Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle kaynağında tavsiye edilen koruyucu gaz, %90 helyum, %7,5 Argon ve % 2,5CO₂ karışımıdır. Bu gaz karışımı bir taraftan CO₂ miktarını metalin korozyon direncini etkilemeyecek derecede düşük düzeyde tutarken bir taraftan da en iyi dikiş profilinin oluşmasını sağlar.

Bu gaz karışımı kullanılırken yüksek endüktans değerlerinde çalışmak gerekir. Tek pasolu kaynaklarda Argon/ CO₂ kısa devre iletimle çok pasolu kaynak sırasında kaynak metalinin korozyon direncini kötü yönde etkiler. Serbest elektrot uzunluğu mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. İç köşe kaynaklarında sağa kaynak tekniği kullanma genellikle daha kolaydır. Alın kaynaklarında sola kaynak tekniği kullanılmalıdır. Dış köşe kaynakları elektrot salınımı olmaksızın düz bir şekilde çekilebilir. Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimli kaynağında kullanılan değişkenler verilmiştir.

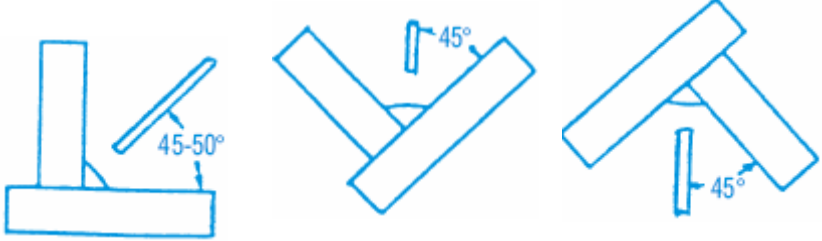
Çizelge 4.10: AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle kaynağı için kaynak değişkenleri

Tabloda verilen ark gerilimleri He+%7.5Ar+%2.5O ₂ içindir. Ar+%2O ₂ için gerilimi 6 V. Azalt Ar+%25CO ₂ için gerilimi 5 V. Azalt Gaz Debisi : 7 - 9.5 lt/dak Elektrod Çapı : 0.8 mm						
Kalınlık(mm)	1.6	2.0	2.4	3.2	1.6	2.0
Elektrod Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Akım (A)	85	90	105	125	85	90
Gerilim (DAEP)	21	22	23	23	22	22
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	4.7	4.9	5.9	7.1	4.7	4.9
Kaynak Hızı(m/dak)	0.43 - 0.48	0.33 - 0.38	0.36 - 0.41	0.36 - 0.41	0.48 - 0.53	0.29 - 0.32
Elk.Miktarı(kg/100 m)	0.35	0.47	0.54	0.64	0.32	0.54

Paslanmaz eliklerin kısa devre iletimle kaynağında koruyucu gaz olarak % 90 He, % 7,5 Ar ve % 2,5 CO₂ 'den oluşan gaz karışımı kullanılması halinde çok iyi bir korozyon direnci elde edilir.

Burada kaynak metali iř parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde dūřuk ark gerilimi, dūřuk akım şiddeti ile çalışılması ve metal taşınımının kısa devre sırasında gerçekleşmesi sonucu iř parçasına uygulanan ısı girdisi çok dūřuktur. Bu bakımdan, ince parçaların kaynağı ve çarpılma tehlikesinin buyuk olacağı durumlarda çok uygun bir ark türüdür. Özellikle paslanmaz ince sacların MIG kaynağında çok yaygın olarak uygulanır. Ayrıca bu tür ark ile yapılan kaynakta kaynak banyosunun çok buyuk olmaması ve hemen katılaşması nedeni ile, dik ve tavan kaynakları ve geniş kök aralıklarının örülmesinde de uygun bir yöntemdir.

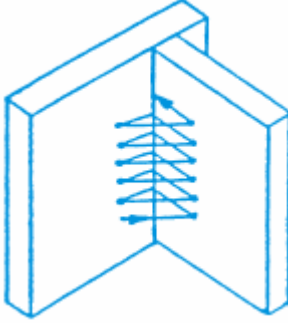
Çizelge 4.11: Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimli yatay, oluk ve düşey aşağı doğru iç köşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi)

SerbestElk.Uzunluğu: 13 mm Gaz Debisi : 14 lt/dak %90He+%7.5A +%2.5CO₂ Sola kaynak Hareket açısı: 5-20°				
				
0.9 mm Elektrod				
Levha Kalınlığı (mm)	1.2	1.5	1.9	
Elektrod Çapı (mm)	0.9	0.9	0.9	
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	3.0 - 3.8	4.6 - 5.2	5.8 - 7.0	
Gerilim (DAEP)	19 - 20	19 - 20	20 - 21	
Akım (A)	55 - 75	85 - 95	105 - 110	
Kaynak Hızı (m/dak)	0.25 - 0.41	0.38 - 0.56	0.46 - 0.53	

Levha Kalınlığı (mm)	2.7	3.5	4.8	6.4
Elektrod Çapı (mm)	0.9	0.9	0.9	0.9
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	7.6 - 8.3	7.6 - 8.3	8.9 - 9.5	10.2 - 10.8
Gerilim (DAEP)	20 - 21	20 - 21	21 - 22	22 - 23
Akım (A)	125 - 130	125 - 130	140 - 150	160 - 170
Kaynak Hızı (m/dak)	0.38 - 0.53	0.36 - 0.51	0.46 - 0.56	0.30 - 0.33

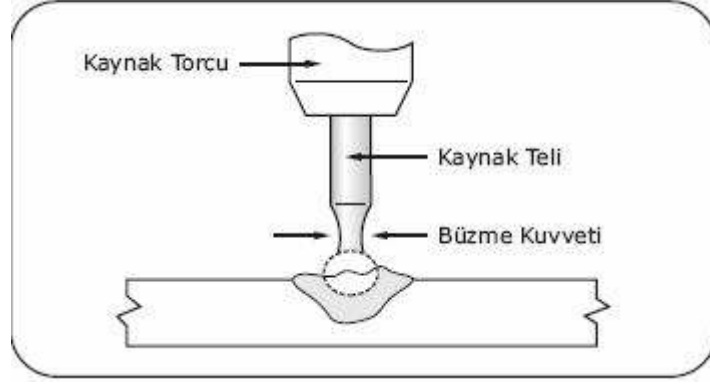
1.1 mm Elektrod				
Levha Kalınlığı (mm)	2.7	3.5	4.8	6.4
Elektrod Çapı (mm)	1.1	1.1	1.1	1.1
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	2.5 - 3.2	3.8 - 4.4	5.6 - 6.4	6.4 - 7.0
Gerilim (DAEP)	19 - 20	21	22	22 - 23
Akım (A)	100 - 120	135 - 140	170 - 175	175 - 185
Kaynak Hızı (m/dak)	0.36 - 0.53	0.48 - 0.51	0.51 - 0.53	0.33 - 0.36

Çizelge 4.12: Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle aşağıdan yukarıya iç köşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ERXXX LSi)

SerbestElk.Uzunluğu: 13 mm Gaz Debisi : 14 lt/dak %90He+%7.5A +%2.5CO2 Sağa kaynak Hareket açısı: 5-10°		
Levha Kalınlığı(mm)	6.4	
Elektrod Çapı (mm)	0.9	
Elk.BeslemeHızı(m/dak)	4.4	
Gerilim (DAEP)	21.5	
Akım (A)	90	
Kaynak Hızı(m/dak)	0.10	

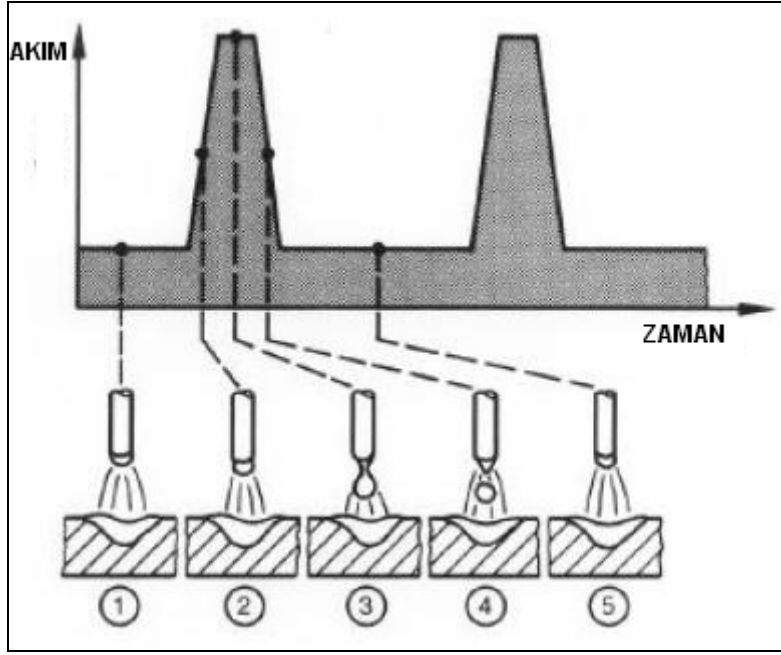
4.1.3.3 Darbeli İletim

Darbeli (palslı) iletim yöntemi, normal kullanımda, bir çeşit spreyl iletim ile metal transferi yöntemidir. Bu yöntemde, kaynak akımının her bir yüksek akım darbesinde erimiş metale ait küçük bir damla arkın ortasından geçerek transfer edilir. Yüksek akım darbesi, erimiş bir metal damlasının oluşmasına ve bu damlanın büzme kuvveti etkisiyle (Şekil 4.7) telin ucundan kaynak banyosuna doğru yönelmesine yetecek güce ve zamana sahip olmalıdır. Kaynak periyodunun düşük akım değerine sahip bölümünde ark devam etmektedir ve tel ısınmıştır. Ancak üretilen bu ısı herhangi bir metal transferinin sağlanmasına yetecek seviyede değildir. Bu nedenle düşük akım değerinde kalma süresi kısaltılmalıdır. Aksi durumda, küresel şekle sahip bir metal transferi gerçekleşecektir. (Şekil 4.8)



Şekil 4.7: Büzme kuvveti etkisi

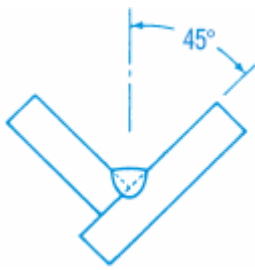
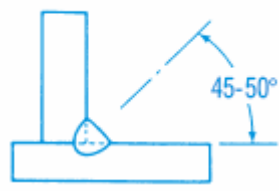
Bu yöntemde genellikle 0,9mm ve 1,2mm çapındaki teller kullanılır. Darbeli ark kaynağında, spreyl ark kaynağında da kullanılan Argon + % 1 Oksijen koruyucu gazı sık olarak tercih edilmektedir. Bu ve diğer çaplardaki teller, darbeli akımda spreyl ark ile metal transferi kullanılması durumunda, sürekli kaynak akımındakine oranla daha düşük akım değerleri ile yüklenererek kaynak edilebilirler. Bunun avantajı; ince parçaların, kısa devreli ark ile metal transferine oranla daha az sıçrama ile düzgün görüntülü kaynak dikişi veren spreyl ark ile metal transferi uygulanarak kaynak edilmesine olanak sağlamasıdır. Darbeli akım kullanılmasının bir diğer avantajı, belirli bir akım değerinde, özellikle kalın çaplı elektrotların kullanıldığı uygulamalarda, spreyl ark ile metal transferinin sürekli akımdakine oranla daha kolay elde edilebilmesidir. Kalın çaplı elektrotlar, ince çaplı elektrotlara göre daha düşük maliyetlidir ve yığıldıkları dolgu metaline ait yüzey alanının dolgu hacmine oranla düşük olması sayesinde kaynak metalinin kirlenme olasılığı iyice azalmaktadır.



Şekil 4.8: Akım damlacık ilişkisi

Çizelge 4.13'te paslanmaz çeliklerin darbeli iletimde kaynağındaki kaynak değişkenleri verilmiş

Çizelge 4.13: Paslanmaz çeliklerin darbeli iletimle oluk ve yatay iç köşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi)

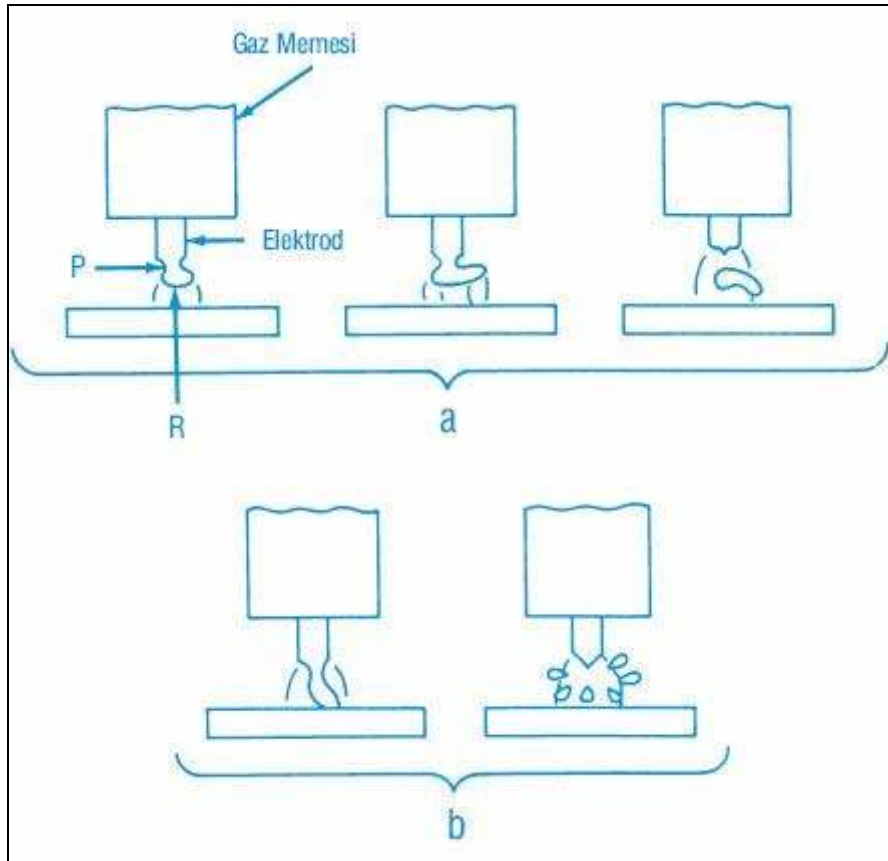
SerbestElk.Uzunluğu: 9.5-13 mm	 				
Gaz Debisi : 12 - 19 lt/dak					
Ar + % 2 O ₂					
Sola kaynak					
Levha Kalınlığı (mm)	1.9	2.6	4.8	6.4	7.9
Ayak Uzunluğu (mm)	-	-	-	4.8	6.4
Elektrod Çapı (mm)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Elk.Besleme Hızı(m/dak)	3.8	4.6	5.0	7.0	7.6
Gerilim (DAEP)	18.5	19.5	20.0	23.5	25.0
SerbestElkUzunluğu(mm)	9.5 – 13	9.5 - 13	9.5 - 13	9.5 - 13	9.5 - 13
Gaz Debisi (lt/dak)	12 – 19	12 - 19	12 - 19	12 - 19	12 - 19
Hareket Açısı (derece)	0 – 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5
Kaynak Hızı (m/dak)	1.9	2.3	2.5	3.4	3.8

4.1.3.4 Küresel Metal Taşınımı

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yükseltirirse kısa devre ark ile kaynak metali taşınımı yenine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu durumda ark tutuşur tutuşmaz telin uç kısmında erimeye başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve tel çapını aştıktan sonra telden kopar ve yerçekiminin etkisiyle ark sütunu boyunca ilerleyerek banyoya düşer. (Şekil 4.9)

Ark geriliminin yüksek olması nedeni ile buradaki ark boyu uzundur ve dolayısıyla normal halde damla banyoya geçerken kısa devre oluşumu nadirdir. Bu ark türü hemen hemen tüm koruyucu gazların kullanımında ortaya çıkar.

Damlasal metal taşınımı halinde ark kararlı değildir ve sıçrama miktarı fazladır.



Şekil 4.9: Küresel metal taşınımı

4.1.3.5 MIG Kaynağında Ağız Hazırlığı

Genel olarak bu kaynak yönteminin kullanılması halinde, kaynak ağzını biçimlendirmede kaynaklı parçanın biçimi, paslanmaz çeliğin türü ile ilgili metalurjik konular ve bu konularla ilgili standartlar dikkate alınır. Kaynak ağzı hazırlamada en önemli nokta gereken mukavemette en iyi kalitede kaynak dikişinin gerçekleştirilebilmesini en ekonomik yoldan yapabilmektir.

Kaynaklı bağlantıda, kaynaklanan kesidin tümünün veya bir kısmının kaynak edilmesi, ağız biçimini, kök aralığını ve kök alını yüksekliğini etkiler. Kesidin sadece bir kısmının kaynak edilmesinin gerekli olduğu durumlarda, kök açıklığına gerek yoktur ve yüksek bir kök alını bırakılabilir. MIG kaynağında diğer açık ark kaynak yöntemlerine nazaran daha ince çaplı elektrot kullanıldığından ark daha yoğundur ve aynı akım şiddeti için nüfuziyet daha derindir. Bu bakımdan daha yüksek bir kök alını veya daha dar bir kök aralığı kullanılabilir. Bu kullanım doğal olarak kısa ark türü için geçerli değildir.

Tel çapının diğer yöntemlere göre daha küçük olması kaynak ağız açılarının daha dar tutulmasına olanak sağlar.

Kaynak ağzı biçimini etkileyen faktörlerden birisi de kaynak pozisyonudur. Örneğin oluk pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın dik pozisyonda daha geniş ağız açısına gerek vardır. Dik ve tavan pozisyonlarında akım şiddetinin alt sınırları kullanıldığından kök aralığı daha fazla ve kök alını yüksekliği daha az olmak zorundadır. Ayrıca, korniş kaynaklarında asimetric V ağzı banyonun akmasına engel olduğundan simetric V ağzı tercih edilir. Burada malzeme kalınlığı ve yapılacak paso sayılarını da göz önünde tutmak gerekir.

Paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletme katsayıları ve yüksek genleşme katsayıları da ağız hazırlamada kaynaklanacak malzemenin kalınlığına göre ağız biçimini ve paso sayısını etkiler. Örneğin V alın kaynak ağzı açılmış kök yüksekliği bırakılmış 5mm'lik AISI 304 paslanmaz çelik, 1,6mm çaplı bir tel ile bir pasoda rahatlıkla kaynak edilebilmektedir.

Tek taraftan yapılan kaynak dikişlerinde kökten akmayı önlemek ve nüfuziyeti kontrol etmek için altlık ve kök koruma gazı kullanılabilir.

4.1.4 Ergimeyen Elektrotla Gazaltı Kaynağı (TIG)

Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerini simgeleyen TIG kelimesi ile anılan yöntemdir. İlk olarak, alüminyum alaşımlarının kaynağında, havacılık sektöründe Mg alaşımlı parçaların kaynağında kullanılmıştır. Günümüzde kullanım alanı oldukça genişlemiştir.

Kaynak edilebilen bütün paslanmaz çeliklere TIG kaynağı yöntemi uygulanabilir.

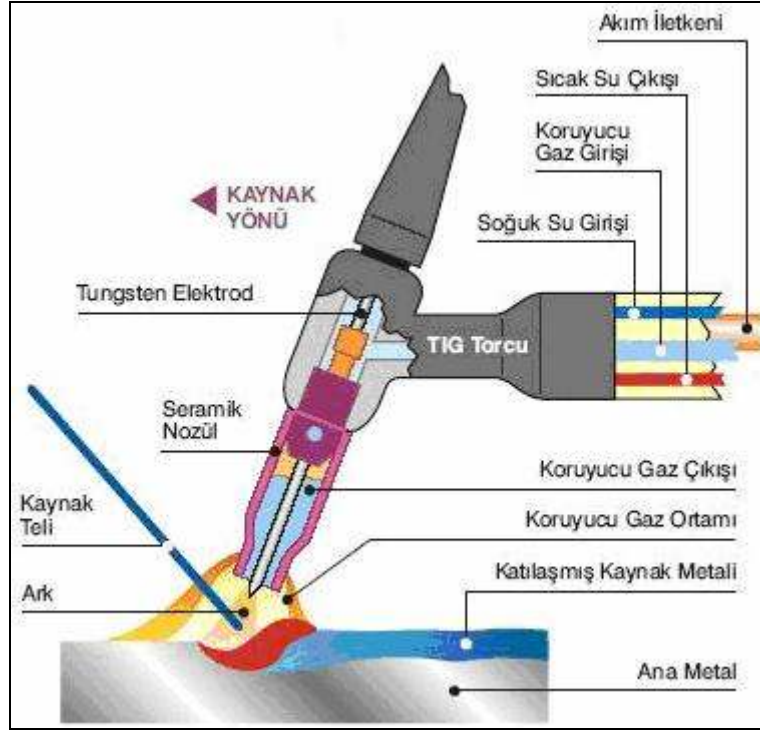
Bu yöntemde gerekli olan ısı enerjisi bir tungsten elektrot ve iş parçası tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile konsantrik konumda konumda bulunan bir lüleden gönderilen bir koruyucu gaz (Helyum, Argon veya bunların karışımı) akımı tarafından korunmaktadır. A.B.D.'de helyum kullanıldığı için Heliarc, Avrupa'da argon kullanıldığı için Argonarc diye de adlandırılır.

TIG kaynağı çok geniş bir alanda kullanılır. Kullanımı kolay bir yöntemdir. Prensip olarak gaz eritme kaynağını andırır. Ancak torç değişiktir. Yanıcı ve yakıcı gaz bulunmaz. Isı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanır.

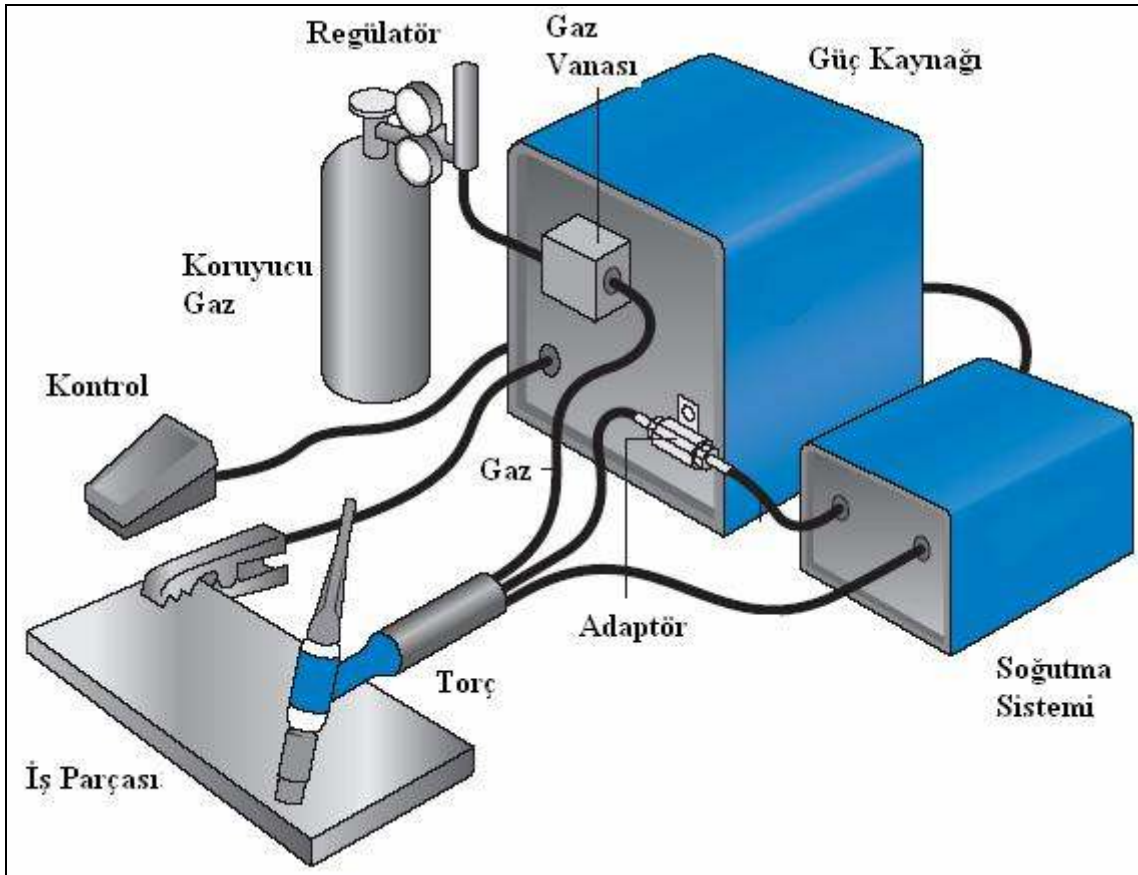
Bu yöntemde erimeyen bir elektrot kullanıldığı için kıvrık alın ağzı hazırlanmış parçalar, ek kaynak metaline gereksinim göstermeden birleştirilebilir. Gerektiğinde esas metalin eritilerek ortadan kaldırılabilmesi de yöntemin üstünlüklerinden bir tanesidir. Kaynak bağlantısı için ek kaynak metali gerektiğinde aynen oksii-asetilen kaynağında olduğu gibi, tel halinde kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulabilmektedir.

TIG kaynağında diğer eritme kaynaklarına karşı olan en önemli üstünlük, ısı girdisinin ve eriyen ek kaynak metali miktarının birbirinden bağımsız oluşudur. Bu özellik yöntemin çok ince parçalara da uygulanabilmesine olanak sağlar. Kök pasalarda ve tamir kaynaklarında kolaylıklar getirir.

TIG kaynağı prensipte her pozisyon ve kalınlıkta kullanılabilse de, 7mm'den fazla kalınlıktaki parçalar için, işlem süresinin uzunluğu ve maliyet yüksekliğinden ötürü önerilmez. Bununla beraber, kalite ve kaynak emniyeti gereken uzay ve uçak endüstrisinde çok pasolu kaynak ile bu etki ortadan kaldırılmaya çalışılır. Akım şiddeti azaltılarak diğer yöntemlerle birleştirilemeyen 0,1mm kalınlığındaki parçalar dahi kaynak edilebilmektedir.



Şekil 4.10: TIG kaynağı torcu



Şekil 4.11: TIG kaynağı donanımı

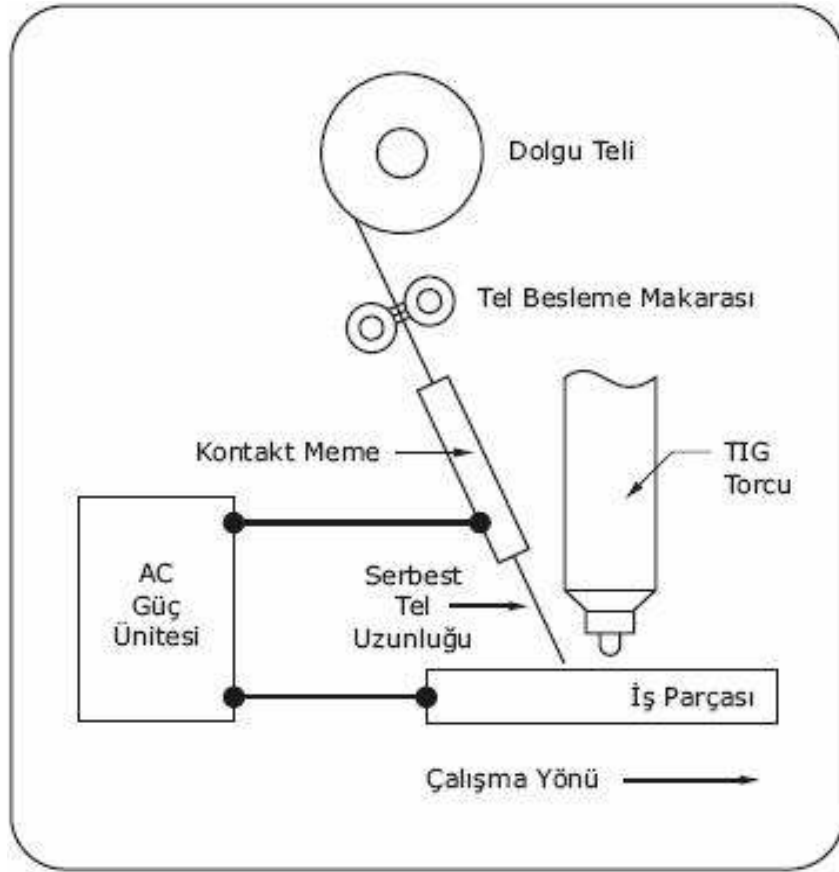
TIG kaynak donanımı Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, uygun bir akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç ayar tertibatı, tungsten elektrotu taşıyan torç, akım kabloları ve gaz hortumu ile genelde akım üretici üzerine monte edilmiş bir kontrol panelinden oluşur. Ayrıca yüksek akım şiddeti ile çalışma halinde bir de torçu soğutmak için soğutma suyu devresi vardır. El ile kaynak halinde torçun hareketi ve ek kaynak metali besleme kaynakçı tarafından yapılır. Yarı otomatik TIG kaynak yönteminde torç yine kaynakçı tarafından hareket ettirilir, buradaki tek fark ek kaynak metali sağlayan telin ark bölgesine otomatik olarak sokulması ve sürekli olarak sabit hızla beslenmesidir.

Bu yöntemde kullanılan elektrot uçları AWS A5.12’de belirtildiği gibi; toryum, seryum ve lantan ile alaşımlandırılan tungstenden imal edilmiştir. Bu elektrotların en büyük avantajı, saf tungsten elektrotlara göre daha kararlı bir arka sahip olmaları ve daha yüksek kaynak akımları ile kullanılabilmesidir.

Yarı otomatik kaynak yöntemi pek geniş bir kullanım alanı bulamasa da, otomatik TIG kaynağı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu uygulamada sisteme kaynakçının müdahalesi söz konusu değildir. Tüm işlem sistem tarafından gerçekleştirilir. Ekonomiklik açısından düşünülecek olursa, kaynatılan parça sayısı arttıkça, maliyet düşer.

TIG kaynağında kullanılan DC güç üniteleri sabit akım özelliğine sahip olmalı ve kaynak devresi yüksek frekanslı voltaj ile donatılmış olmalıdır. Yüksek frekans sadece arkın tutuşturulması aşamasında gereklidir. Elektrot iş parçasına yaklaştırıldığında, yüksek frekans tungsten elektrot ile iş parçası arasındaki boşluktan atlayarak kaynak arkını oluşturur. Arkın bu şekilde elde edilmesi sırasında tungsten elektrot iş parçasına değmeyeceği için paslanmaz çeliğin tungsten tarafından kirlenmesi olasılığı büyük ölçüde azalır. Derin nüfuziyetli dikişlerin elde edilmesi için kaynak işleminin düz kutuplama ile (DC-) yapılması gerekmektedir.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında otomatik TIG kaynağı yöntemi de kullanılabilir. (Şekil 4.12) Ark voltajı ark uzunluğu ile orantılıdır. Üretilen bir sinyal sayesinde ark voltajı kontrol ünitesi otomatik olarak devreye girer. Bağlantılarda ek dolgu malzemeleri kullanılabileceği gibi, özellikle ince sacların birleştirilmesinde sadece bağlantıyı oluşturan kenarların eritilmesi ile de kaynak yapılabilir. "Soğuk" dolgu metalleri kullanılıyorsa, tel besleme işlemi her zaman kaynak banyosunun önünden yapılmalıdır.



Şekil 4.12: Otomatik TIG kaynağı yöntemi

"Sıcak" tel ile gerçekleştirilen TIG kaynağı yöntemi, özellikle metal yığma hızında ve kaynak hızında önemli artışların elde edilmesine olanak sağlar. Bu yöntemde, kontakt memenin içinden geçen tel özel bir güç ünitesi tarafından ısıtılır ve kontakt memenin uç kısmından çıkarak iş parçasına doğru ilerler (Şekil 4.12). Bir direnç tarafından ön ısıtma uygulandığı için, kaynak banyosuna değmeden önce, tel erime noktasına kadar ısınmış olur. Böylece tungsten elektrot daha çok ana metali eritmek için ısı üretir ve dolgu telinin erimesi için gereken direnç enerjisinin büyük bir bölümü AC güç ünitesi tarafından sağlanır. "Sıcak" tel yöntemi, tozaltı kaynağı ve kendinden korumalı metal özlü tel kaynağında kullanılan uzun serbest tel mesafesi ile çalışma prensibinin TIG kaynağındaki değişik bir uyarlamasıdır. "Sıcak" telle gerçekleştirilen TIG kaynağında kullanılan dolgu telleri genellikle 1,2mm çapındadır. Dolgu teli önceden eritildiği ya da özel bir güç ünitesi tarafından erime noktasına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtıldığı için gerçekleşen metal yığma hızı kaynak arkından bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir.

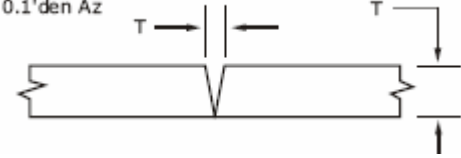
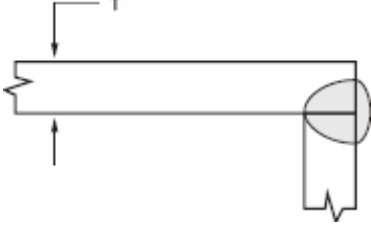
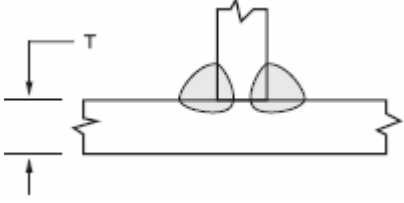
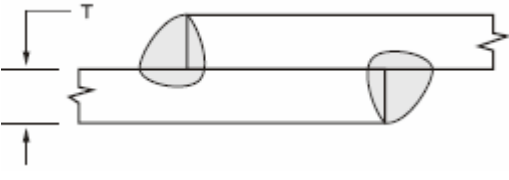
Çizelge 4.14: "Sıcak-Tel" ile TIG kaynağına ait kaynak hızı ve metal yığma hızı değerleri

Tel Çapı:1.2mm Koruyucu Gaz: : % 75 He + % 25 Ar Elektrod: 4.0 - 4.8 mm (% 2 Toryum Alaşımli)				
Kaynak Akımı (A)	Gerilim (Volt)	KaynakHızı(mm/sn)	TelSürmeHızı(mm/sn)	MetalYığmaHızı(kg/sa)
300	10-12	1.7-4.2	46-157	1.4-4.5
400	11-13	2.5-5.9	78-188	2.3-5.4
500	12-15	3.4-8.5	125-282	3.6-8.2

DC (-) ve 400-500 amper kaynak akımı uygulanarak gerçekleştirilen bir "Sıcak" tel ile TIG kaynağı yönteminde 8,2 kg/saat'lık bir metal yığma hızına ulaşılabilir (Çizelge 4.14). Otomatik salınımlı kaynak tekniklerinin kullanılması ile daha yüksek dolgu hızlarının elde edilmesi mümkündür. Yüksek dolgu hızlarında gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında, oluşan geniş kaynak banyosunda gerekli kontrolün sağlanabilmesi için voltaj değerinin mutlaka kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu nedenle, "Sıcak" tel yöntemi ile gerçekleştirilen TIG kaynağında bir voltaj kontrol donanımına ihtiyaç duyulur.

Paslanmaz çelik boru ve sacların TIG yöntemi ile kaynağında, birbirlerine yakın konumda yerleştirilen tungsten elektrotların kullanılması ile kaynak hızı önemli ölçüde yükseltilebilir. Bunun yanında, birden fazla tungsten elektrotun aynı anda kullanılması ile, özellikle yüksek hızlarda gerçekleştirilen uygulamalarda karşılaşılan kenar yanığı problemleri de ortadan kaldırılır. Kalınlığı 1,6mm'den 12,7mm'ye kadar değişen paslanmaz çeliklerin TIG yöntemi ile kaynağında kullanılan alın, köşe, "T" ve bindirme tipi kaynak bağlantılarına ait parametreler Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15: TIG kaynağında örnek parametreler

 						
Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (Amp) DC (-)	80-100	100-120	120-140	200-250	200-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.1	5.1	5.1	4.2	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0548	0.0548	0.0548	0.0656	0.0820	0.0820
 						
Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (Amp) DC (-)	90-100	110-130	130-150	225-275	225-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	4.2	4.2	4.2	3.4	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0820	0.0820	0.0820

4.1.5 Plazma Ark Kaynağı Yöntemi

Her madde gaz fazında bulunduğunda türüne bağlı olarak değişen bir sıcaklığa kadar ısıtılırsa, moleküllerindeki hareketlenme nedeniyle atomlar dış kabuk elektronlarını yitirerek pozitif yüklü iyonlar haline dönüşürler. Sıcaklık yükseldikçe iyonlaşma derecesi de (iyonlaşmış atomların toplam atom sayısına oranı) artar. Sıcaklık 10000°C gibi maddeye göre değişebilecek eşik değerlere ulaştığı zaman ortamda sadece pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest elektronların bulunduğu bir karışım bulunur. Elektriksel açıdan nötr ve yüklü parçacıklardan oluştuğu için iletken olan bu karışıma plazma adı verilir.

Kaynakta kullanılan plazmada gaz elektrik arkı ile ısıtılarak iyonize olmaktadır. Bu yöntem TIG kaynağına benzerdir; Arkın yoğunlaşmasıyla daha yüksek bir enerji yoğunluğu elde edilir. Plazma gazı olarak kaynak argonu kullanılır, östenitiklerin kaynağında az miktarda hidrojen katılabilir. Dış koruyucu gaz olarak genellikle argon hidrojen karışımları kullanılır. Genellikle otomatik donanımla uygulanan bir yöntemdir.

1 mm'ye kadar kalınlıklarda mikrop plazma kaynağı

10 mm'ye kadar saclarda I-dikişi,

daha kalın levhalarda 5 mm kök alın yüksekliği ve Y-dikişi uygundur.

Arta kalan kesit diğer yöntemlerle doldurulur. Genellikle ilave metal kullanılamaz, yalnız “kök aralığı” > (0,08 x kalınlık) olursa ilave metal gerekir.

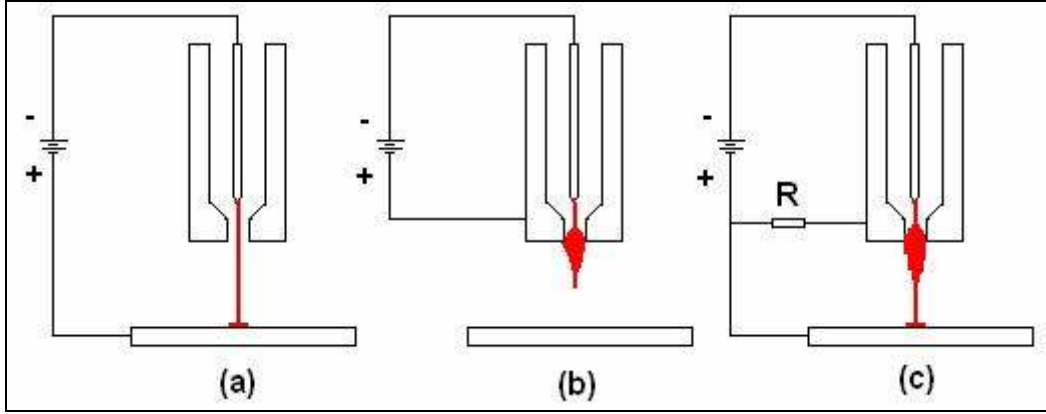
Standart bir plazma ark kaynağı torcu, ucunda küçük bir deliği bulunan meme ve bunun içindeki tungsten elektrottan oluşmaktadır. Plazma gazı bu iç içe geçmiş dairesel kesitli torç içinden dışarıya çıkar. Elektrot ile iş parçası arasında ark sütunu oluştuktan sonra, basınçlı plazma jetinin oluşturulması için iyonize haldeki gaz delikten dışarıya püskürtülür. Ark sütununun dış yüzeyi soğutulduğundan sütun yoğunlaşmış olur. Dolayısıyla içe doğru büzülür. Böylece büzülmüş sütunda sıcaklık birden 10000°C - 30000°C arasında bir değere yükselir.

Uygulamada plazma arkı çeşitli yollarla oluşturulabilir. (Şekil 4.13)

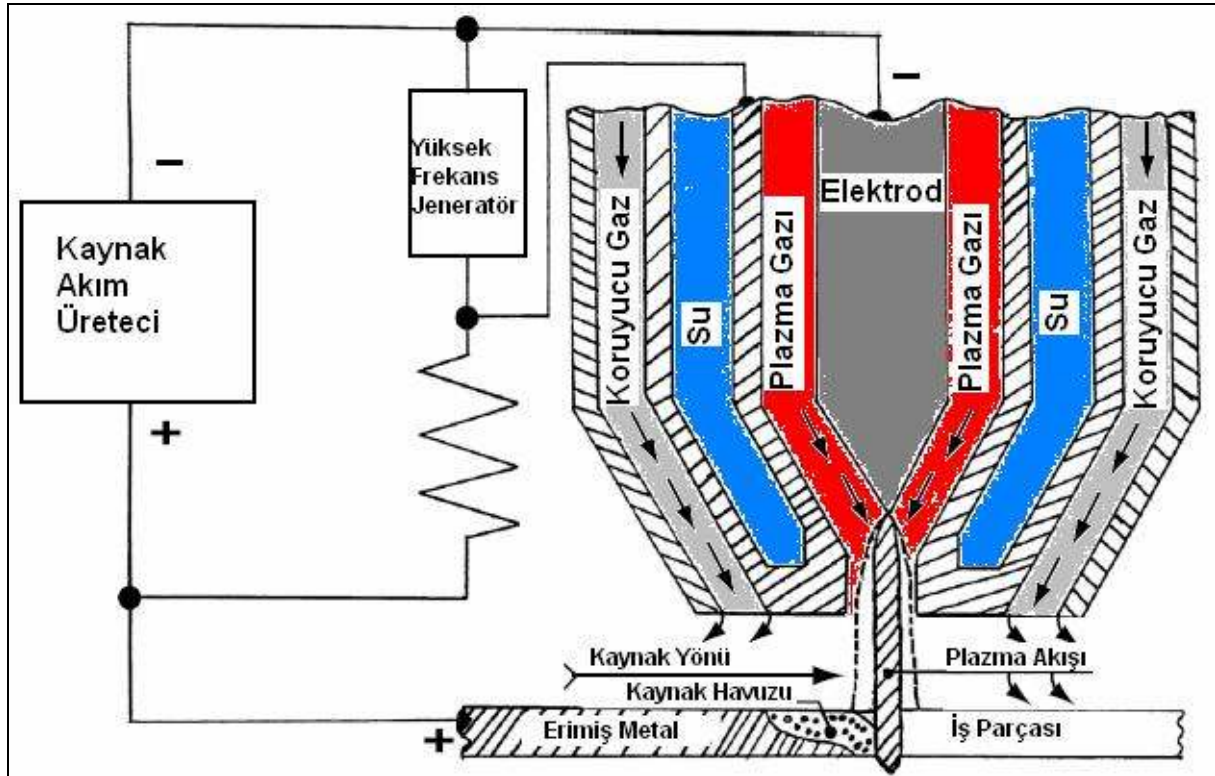
Transfer olmuş ark (Direkt ark): Elektrik devresi, tungsten elektrot ile iş parçası arasında tamamlanarak, ark akımı iş parçası üzerinden akar. (a)

Transfer olmamış ark (Endirekt ark): Elektrik devresi, meme ve tungsten elektrot arasında tamamlanırsa, ark, elektrotla su ile soğutulan bakır meme arasında yanarak, memeden bir gaz akımı ile zorlanarak akar. İş parçası ark devresi içinde değildir. (b)

Her iki arkın kombinasyonu olarak adlandırabileceğimiz diğer bir yolda daha çok metal tozu püskürtmede kullanılır. (c)



Şekil 4.13: Plazma arkı çeşitleri



Şekil 4.14: Plazma ark kaynağı prensibi

Plazma arkı memeden dışarı çıktığı zaman, biraz daha küçük parlak bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdeğin çevresi daha az parlak bir kılıfla sarılmıştır. Bu çekirdeğin uzunluğu 2-3mm'den 40-50mm'ye kadar değişebilir. Bu değişim meme boyutlarına, plazma gazının bileşimine ve debisine, akım şiddetine ve ark uzunluğuna bağlıdır.

Plazma arkı ile kaynakta transfer olmuş ark kullanılır. Ancak transfer olmuş ark, yüksek frekans üzerinden geçirilen yardımcı (pilot) ark ile elektrot ve meme arasında yanar, Transfer olmuş ark başladığında pilot ark söner. Yalnız mikrop plazma kaynağında, kaynak işlemi sırasında pilot ark yanmaya devam eder. Burada bir direnç yardımıyla pilot ark üzerinden akan akımın değeri sınırlanır.

Paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında ince malzemeler kıvrık alın veya I-alın türü ağızlarla birleştirilebilir. Kıvrık alın kaynağında, kıvrık kısmın yüksekliğini çok iyi ayarlamak gerekir. Bu değer sac kalınlığının en az iki katı olmalıdır. Kalın saclarda ise TIG kaynağında önerilen ağızlardan daha düşük açılarda kaynak yapılabilir. Bırakılacak kök alını da TIG kaynağından daha yüksektir. Yani Y-alın kaynak ağzı kullanılmalıdır. Plazma arkının gücüne bağlı olsa da, kök alınlarının birbirine değmesi daha iyi sonuçlar vermektedir.

Plazma kaynağının avantajları:

Yüksek kaynak hızları

Dar dikiş kalınlığı ve dar ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge).

Düşük ısı girdisi

Düşük çarpılma

Dezavantajları:

TIG'e oranla daha pahalı donanım

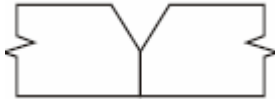
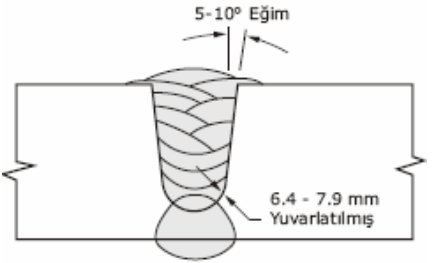
Hassas kaynak ağzı hazırlama gereği

Tutma tertibatı (fiksür) ve kalifiye işçilik gereği

4.1.6 Tozaltı Kaynağı Yöntemi

Tozaltı kaynağı yöntemi, yüksek ısı girdilerine ve yavaş soğuma hızlarına izin veren paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Tozaltı kaynağında kullanılan toza bağlı olarak kaynak metalinin silisyum içeriği diğer kaynak yöntemlerindeki orana biraz daha yüksek olabilir ki bu durum ferrit içeriğinin 4 FN'den düşük olması durumunda sıcak yırtılma ve çatlama eğilimini artırır.

Kaynak metalinin tamamen östenitik yapıda olması ya da düşük oranda ferrit içermesi gereken durumlarda tozaltı kaynağı yönteminin kullanılması önerilmez. Buna karşılık, kaynak metalinde 4 FN'den daha fazla ferrit bulunmasına izin verilen uygulamalarda yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesi mümkündür. Şekil 4.20'de, tozaltı kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilen alın birleştirme uygulamalarına ait kaynak ağzı tasarımları yer almaktadır.

 (a) Kare Ağızlı Küt Alın Birleştirme Kaynağı	 (b) Tek Taraflı "V" Kaynak Ağızı İle Alın Birleştirme Kaynağı (Kök Yüksekliği İçeren)	 (c) Tek Taraflı "V" Kaynak Ağızı İle Alın Birleştirme Kaynağı (Kök Yüksekliği İçermeyen)
 (d) Çift Taraflı "V" Kaynak Ağızı İle Alın Birleştirme Kaynağı	 (e) Tek Taraflı "V" ve "U" Kaynak Ağızı İle Alın Birleştirme Kaynağı	 (f) Tek Taraflı "U" Kaynak Ağızı İle Alın Birleştirme Kaynağı

Şekil 4.15: Tozaltı kaynağı yönteminde ağız tasarımları

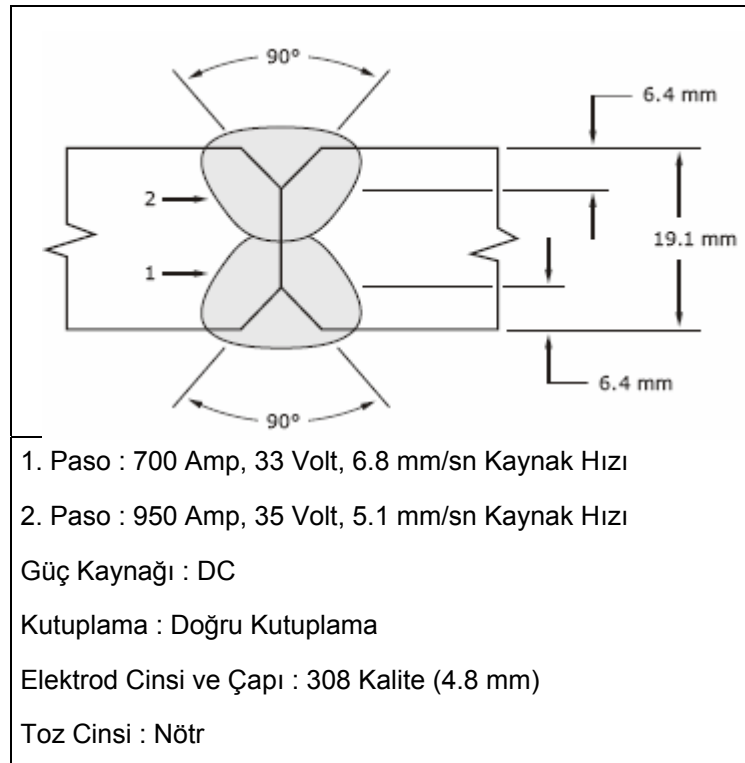
8mm kalınlığa kadar olan parçalar üzerinde tek paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında yüksek kaliteye sahip kaynak dikişleri, kök açıklığı bırakılmadan ve uygun bir altlıkla birlikte küt alın kaynağı ağızı kullanılarak elde edilebilir (Şekil-4.15a). 16mm kalınlığa kadarki parçalar üzerinde iki paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında da kök açıklığı bırakmadan çalışmak mümkündür. Ancak bu durumda, kaynak altlığı kullanılmadığı için birleştirilecek olan yüzeylerin birbirlerine iyice yaklaştırılmış olması gerekmektedir. Bu türdeki kaynak ağızı tasarımının en büyük avantajı çok az hazırlık gerektirmesi ve uygun nüfuziyetli, yüksek kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlamasıdır.

Kalınlığı 8mm ve üstündeki parçaların, belirli bir kök yüksekliğine sahip "Tek Taraflı V" kaynak ağızı ile gerçekleştirilen tek pasolu alın kaynağı uygulamalarında erimeyen altlıklar kullanılmalıdır (Şekil-4.15b). Endüstriyel uygulamaların büyük bir çoğunluğunda kalınlığı en fazla 32-38 mm olan malzemeler kullanılır. Kök yükseklikleri ise 3,2 ile 4,8mm arasında

değişmektedir. Parça kalınlığının 16mm'yi aştığı durumlarda, altlık kullanılmadan gerçekleştirilen iki pasolu kaynak uygulamalarında da bu bağlantı şeklinden yararlanılır. Birinci paso bağlantının "V" şeklindeki bölümünde gerçekleştirilir (Şekil-4.15c). Parça daha sonra ters çevrilerek atılan ilk paso arka paso konumuna getirilir. Bu konumda iken bitirme pasosu bağlantının düz tarafından ve ilk pasonun köküne iyice nüfuz edecek şekilde gerçekleştirilir. Çift pasolu kaynak uygulamalarındaki kök yüksekliği yaklaşık olarak 9.5 mm'dir.

Şekil-4.15d'de gösterilen "Çift Taraflı V" alın kaynağına ait kaynak ağzı şekli, tozaltı kaynağı yönteminde kullanılan temel bağlantı tasarımıdır. Bu tasarımda genellikle geniş bir kök yüksekliği kullanılır. 19mm kalınlığındaki 304 kalite paslanmaz çelik plakalarda kullanılan "Çift Taraflı V" kaynak ağzı ve kaynak sırası ile ilgili bilgiler Şekil 4.16'da gösterilmektedir.

Şekil-4.15f'de yer alan "Tek Taraflı U" kaynak ağzı da sık kullanılan bir tasarım şeklidir. Bağlantının ters tarafında genellikle küçük boyutlu ve elle hazırlanan bir kaynak altlığı kullanılır. Kök pasodan sonra, "U" formundaki oyuğun her sıranın 2 paso ile oluşturulmasına özen gösterilerek doldurulması önerilir. Kaynak ağzının her iki tarafını bağlayan tozaltı kaynağı pasosundan cürufun temizlenmesi sırasında büyük zorluklarla karşılaşılabilir.



Şekil 4.16: 304 kalite paslanmaz çelik için tipik bir çift taraflı "V" bağlantısı.

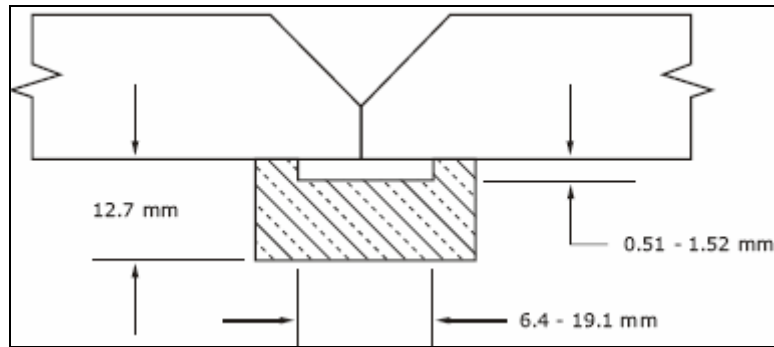
İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında DC güç üniteleri sık olarak kullanılır. Kalın parçalarda hem AC hem de DC kullanılabilse de daha çok DC ile çalışılması tercih edilir. Kullanılan kaynak akımları, karbon çeliklerinin kaynağında kullanılan akım değerlerinin % 80'i seviyesindedir. Tek pasolu kaynak teknikleri genellikle % 40 - % 60'lık bir seyrelme ile gerçekleşir. Bu oran çok pasolu kaynak uygulamalarının kullanılması ile azaltılabilir.

Tozaltı kaynağı, gözle görülür derecede uzun bir zaman aralığı süresince sıvı halde kalabilen, geniş hacimli bir erimiş metal oluşturur. Erimiş haldeki bu metalin katılaşana kadar desteklenmesi ve konumunun akmadan korunması gerekmektedir. En sık kullanılan kaynak altlıkları eriyen ve erimeyen altlıklar olmak üzere ikiye ayrılır.

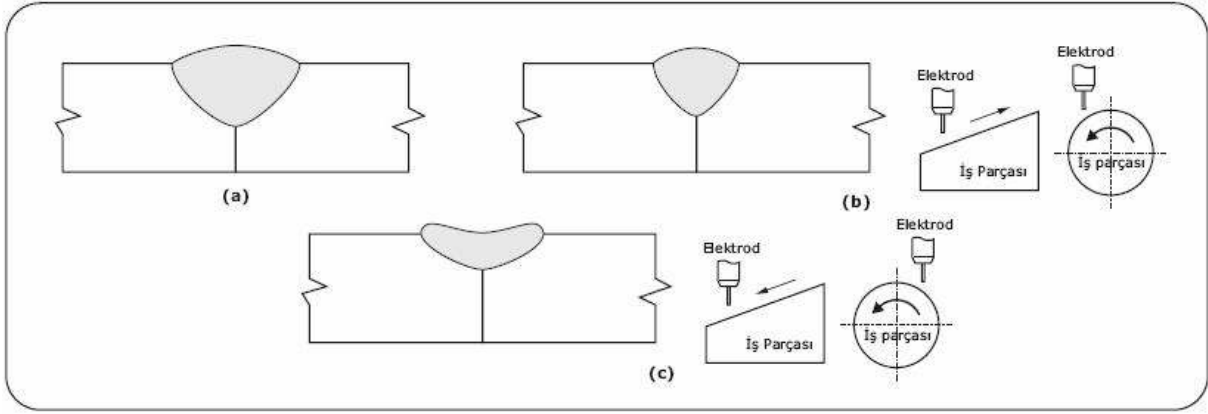
Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan erimeyen altlıkların başında bakır altlıklar gelmektedir. Eğer bakırdan üretilen plakalar soğutma çubuğu olarak kullanılıyorsa, bakırın eriyerek tane sınırlarına doğru nüfuz etmemesi için gerekli olan önlemlerin alınmış olması gerekmektedir. Bakır altlıklardaki kanallara ait ölçüler Şekil 4.17'de belirtilmiştir. Bakır altlıkların yerine, bazı uygulamalarda seramik altlıklar da kullanılabilir.

Eriyebilen türdeki metalik altlıkların kullanıldığı uygulamalarda, kaynak paslanmaz çelik altlığın içine doğru nüfuz eder ve onunla birlikte erir. Bunun sonucunda, kullanılan altlık gerçekleştirilen bağlantının geçici veya kalıcı bir parçası haline gelir.

Tozaltı kaynağı, genellikle düz pozisyonda yapılır. Bu sayede, kaynak dikişi kenarları çok düzgün olur ve kolay çalışma olanağı sağlanır. Bazı durumlarda kaynak işlemi çevresel ve belirli bir eğime sahip bağlantılar oluşturacak şekilde de gerçekleştirilebilir. Şekil 4.18'de eğimli yüzeylerin kaynak dikişi üzerindeki etkileri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.17: Paslanmaz çeliklerin tozaltı kaynağında kullanılan bakır altlıklara ait kanal ölçüleri



Şekil 4.18: (a) Yatay konumda düz kaynak (b) Hafif meyilli yüzeyde aşağıdan yukarıya doğru kaynak (c) Hafif meyilli yüzeyde yukarıdan aşağıya doğru kaynak

Tozaltı tozları, eritilmiş ve aglomere edilmiş tozlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Eritilmiş tip tozlar camsı bir görünüme sahip olup, tozu oluşturan elementlerin yüksek sıcaklıklarda eritildikten sonra toz taneleri oluşturacak şekilde parçalanması ile elde edilir. Aglomere edilmiş tozlar ise tozu oluşturan elementlerin uygun bir bağlayıcı ile karıştırıldıktan sonra pişirilmesi ile elde edilir.

Bazı aglomere edilmiş tozların kullanılması ile çeşitli alaşım elementlerinin kaynak metaline eklenebilmesi mümkün olmaktadır. Bu alaşım elementlerinin başında krom, nikel, molibden ve niobyum gelmektedir. Yapısında hiçbir alaşım elementi içermeyen tozlar "Nötr Tozaltı Tozları" olarak adlandırılır. "Nötr" terimi göreceli bir kavram olup, kaynak metalinin alaşımı kullanılan nötr tozdan bir miktar etkilenecek değişime uğrar.

AWS A5.9'da listelenen analiz aralıkları kaba değerlerden oluşmaktadır. Kimyasal analizin kaynak kalitesini ve servis yapabilirliğini yakından etkilemesi nedeni ile belirtilen bu değişim aralıkları kaynak dikişinde her zaman tolere edilemeyebilir. Kontrolü elde tutmak için uygulanan kaynak tekniği, tozun alaşım içeriği ya da diğer uygun değişiklikler dolgu metali analizindeki değişimleri dengeleyecek şekilde yapılmalıdır.

Kaynak işleminin başlatılması aşamasında sık olarak kullanılan iki yöntem aşağıda belirtilmiştir:

Sürterek Başlama: Bu teknikte, tel iş parçasına doğru sürülür ve bu sırada araba da hareket etmeye başlar. Taşıyıcı arabanın iş parçasına olan rölatif hareketi nedeniyle, tel eriyerek parçaya deyince yapışma problemi ile karşılaşmaz.

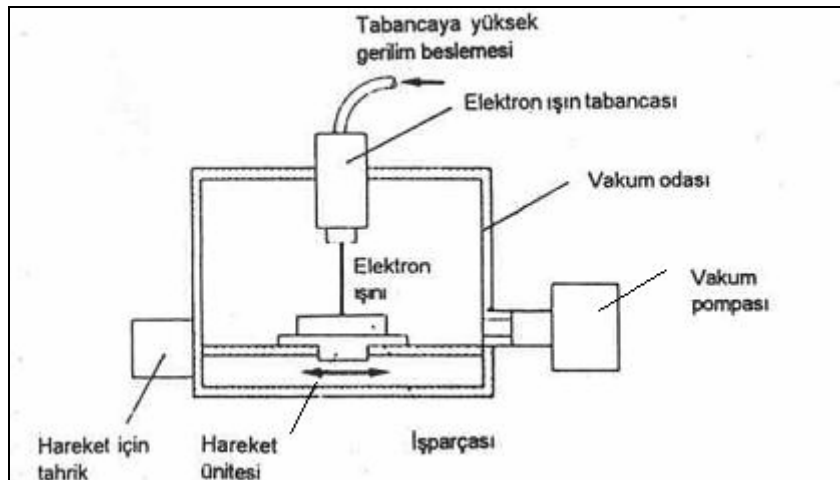
Geri Çekerek Başlama: Bu teknikte, tel iş parçasına doğru yavaş yavaş ilerler ve bu arada toz

ile kaplanır. Kaynak başladıktan sonra tel bir an için geri çekilir ve daha sonra tekrar ters yönde, yani parçaya doğru hareket ederek ileriye doğru bir tel beslemesi sağlanır. İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında bu yöntemin kullanılması önerilmez.

Ark oluşuktan sonra bazı parametrelerin kontrol edilmesi çok önemlidir. Kaynak akımı en önemli parametredir. Bunu kaynak gerilimi izler. Kaynak hızındaki değişimler belirli bir şablona göre ayarlanabilir. Eğer hız yükseltirse, kaynak dikişinin dayanımı azalır, buna karşılık hız azaltılırsa, elde edilen dayanım daha yüksek olur. Bütün bunların yanında, kaynak hızı nüfuziyet derinliği üzerinde de etkili olmaktadır.

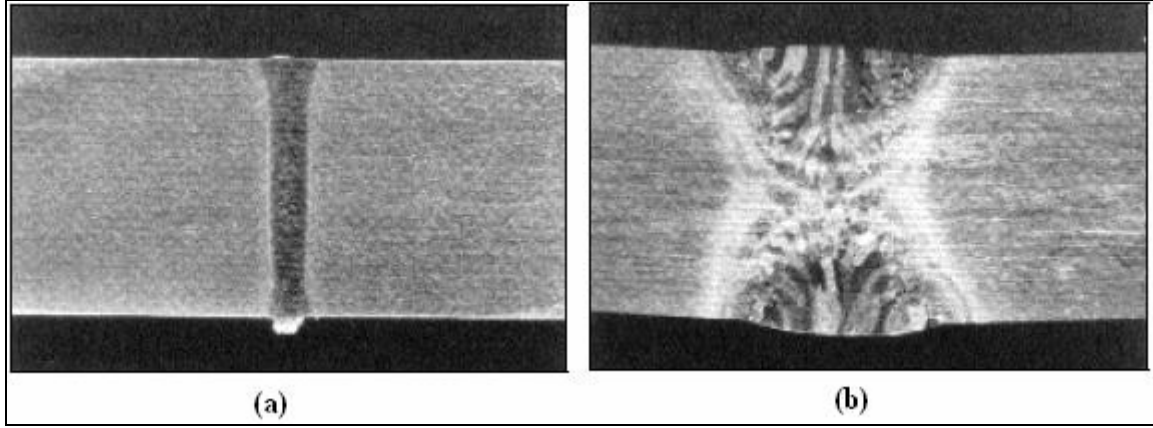
4.1.7 Elektron Işın Kaynağı

Elektron ışın kaynağı, elektronların yüksek vakum altında hızlandırılmaları sonucu kazandıkları kinetik enerjiden faydalanarak yapılır. Elektronlar, metal yüzeyine çarptıkları zaman enerjilerinin büyük bir bölümünü ısı olarak verdiklerinden, metal yüzey erimeye başlar. Bu nedenle elektron ışın kaynağı, uygun biçimde odaklanmış elektron ışınının metale çarparak durmaya zorlanması prensibine dayanır.



Şekil 4.19: Elektron ışın kaynağı düzeneği

En dar elektron ışınının kesit çapı 0,1 - 0,5mm'dir. Işın odağında 10^8 W/cm^2 'lik bir güç yoğunluğu mevcuttur ve bu yoğunluk ışın hücresinden 1m uzaklıktaki mesafeye kadar çalışabilmektedir. Isı kaynağı olarak elektron ışın kaynağı, gaz alevi ve elektrik arkından 10.000 kat daha yüksek ısı konsantrasyonuna sahiptir.



Şekil 4.20: (a) Elektron ışın kaynağı ile yapılan kaynak (b) TIG kaynağı ile yapılan kaynak

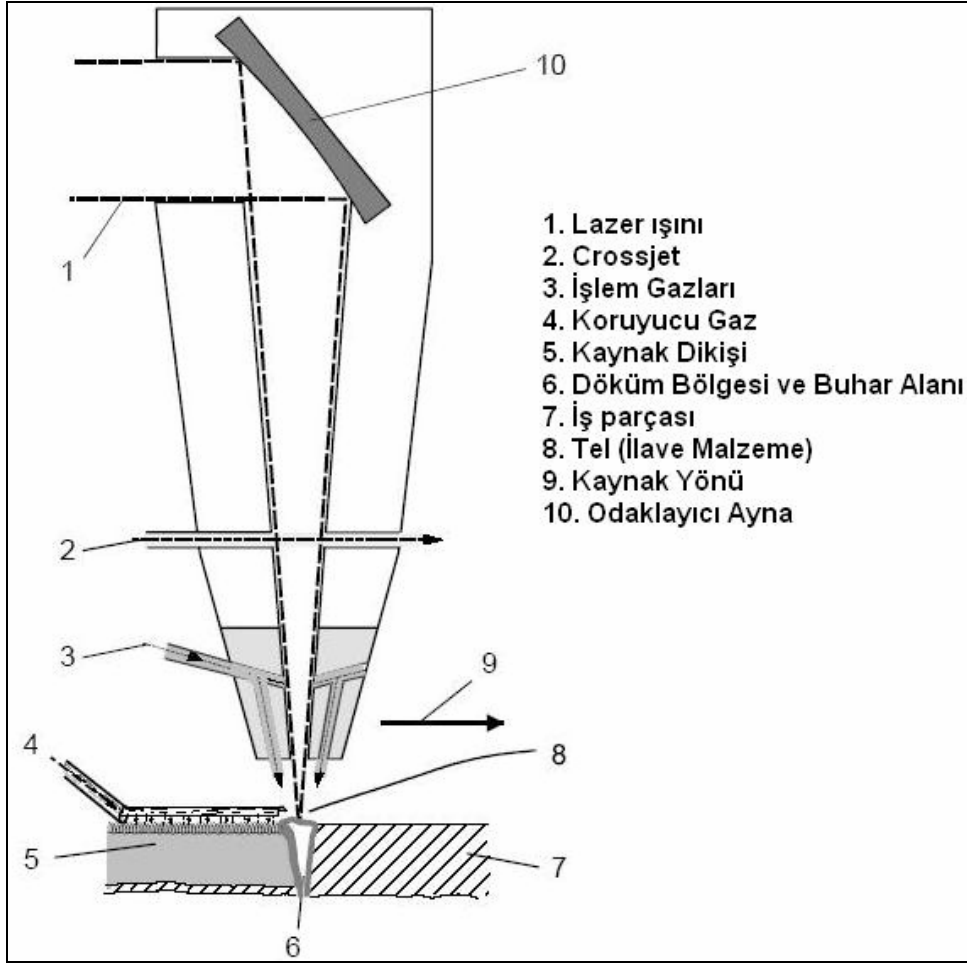
Elektron ışın kaynağında, μm mertebesinde folyolardan 100mm kalınlığındaki levhalara kadar değişebilen sac kalınlıklarında çalışılabilmektedir. Yüksek güç yoğunluğu sayesinde birkaç cm kalınlığındaki levhalar tek pasoda kaynaklanabilmektedir. Ayrıca ulaşılan kaynak hızları da diğer yöntemlerden daha yüksektir. Toplam kaynak süresini azaltır. Ark kaynağı yöntemlerinin yaklaşık onda biri kadar distorsyon meydana gelir.

Kapalı bir vakum hücresinde yapılması gerekliliği bazı sınırlamalar getirmektedir. Hem büyük parçaların kaynağında bazı zorluklar çıkarırken, hem de maliyetleri yüksektir.

Elektron ışını ile kaynak yaparken parçalar I-alın şeklinde hazırlanır. Ek kaynak metali kullanılmadan kaynak yapılır. Isının birleşme yerlerini etkilemeden geçmemesi ve aralığı ergimiş metalle tam olarak doldurabilmesi için parçalar arasındaki aralığın 1/100mm den fazla olmaması gerekir. Bunun için de dar toleranslarla freze veya taşlama ile özel ağız hazırlığı yapılması gerekir.

4.1.8 Lazer Işın Kaynağı

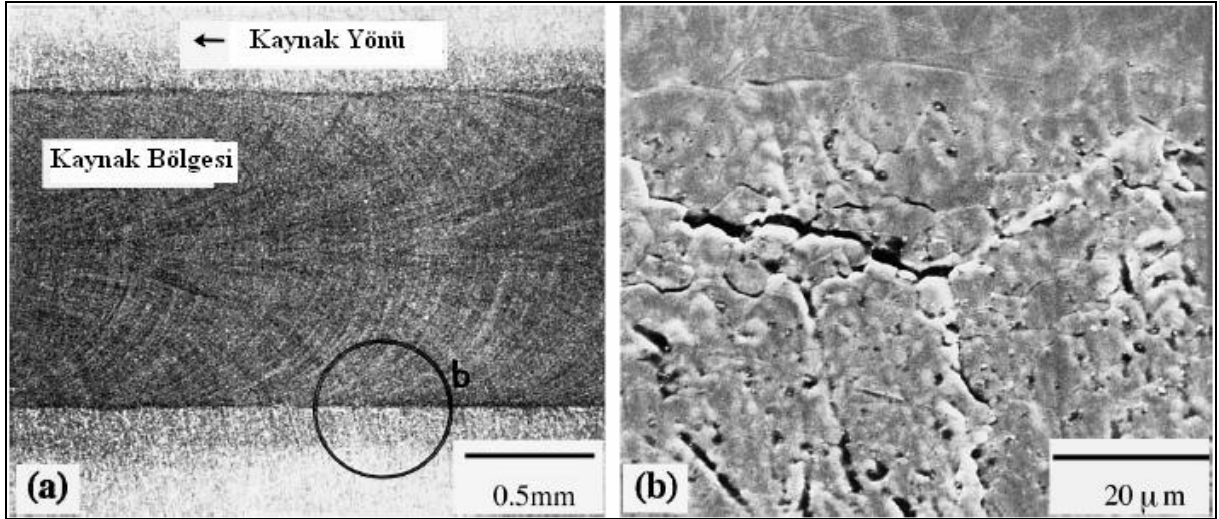
Lazer kaynağı, endüstriyel gaz (CO_2) ve katı hal lazeri (Nd:YAG) şeklinde sanayide son yıllarda hızla gelişen bir uygulama alanına sahiptir. Lazer ışını yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması nedeniyle, hızlı kaynak yapma yeteneğine, birim alanda daha düşük ısı girdisi ile kaynak yapma yeteneğine, yüksek nüfuziyete ve kaynak bölgesinde düşük çarpılma riskine olanak sağlar.



Şekil 4.21: Lazer kaynağı çalışma prensibi

Lazer, kaynak prosesi için gereken enerjiyi ve ışını oluşturur. Bu ışın yönlendirici bir ayna yardımıyla odaklayıcıya gönderilir. Odaklayıcı da iş parçası üzerinde kaynak edilmek istenen bölgeye ışını ulaştırır. 10milyon W/cm^2 'lik bu enerji yoğunluğu malzemenin erimesini sağlar hatta yüksek değerlerde buharlaşmasına neden olabilir.

Lazer ışınını iş parçası üzerine odaklanarak döküm bölgesi oluşturması suretiyle parçalar birleştirilir. 10milyon W/cm^2 eşik değerinin üzerindeki değerlerde metal buharı nedeniyle malzeme üzerinde buhar oluşu meydana gelir. Koruyucu gaz kullanımı ile metal korozyona karşı korunur.

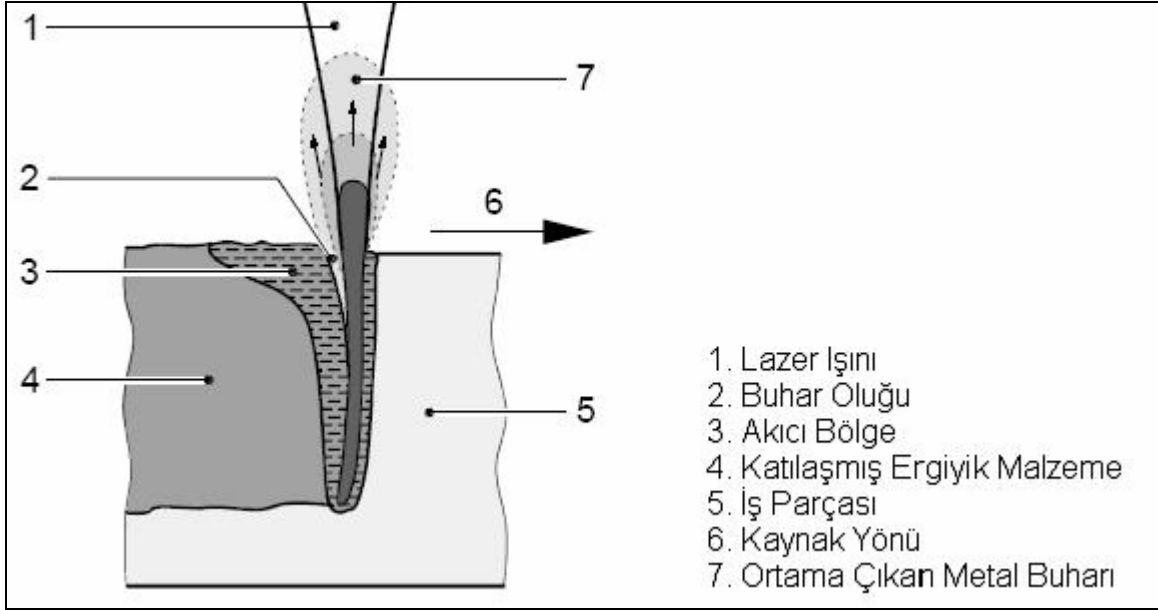


Şekil 4.22: Lazer kaynağı ile kaynaklanmış parçanın mikroskop altında görüntüsü

Lazer ile kaynak yaparken iki farklı teknik vardır. Isı iletim kaynağı ve derin kaynak.

Isı iletim kaynağı, malzemenin sadece yüzeyini ergiterek yapılan bir yöntemdir. Bu yöntemde milimetrenin onda biri kadar bir derinliğe etkiyecek şekilde kaynak yapılır. Genellikle bu yöntemde Nd:YAG lazeri kullanılır. Elektronik endüstrisinde, küçük tıbbi parçalarda bu yöntem tercih edilir. Nd:YAG lazerleri, alüminyum parçaların kaynağında oldukça yoğun bir kullanım alanına sahiptir. YAG lazerlerinin bir özelliği de lazerinin fiber optiklerle bir yerden başka bir yere taşınabilmesidir.

Lazer ışını, ayna ve mercek yardımıyla dikişin üzerine odaklanır. İş parçası lazer ışınının enerjisini bölgesel olarak absorbe eder. Bu tekniğin avantajı, malzemenin ergimesi için gelen enerjinin onu buharlaştırmaya gücünün yetmemesidir. Kaynak derinliği milimetrenin onda biri ile sınırlıdır.



Şekil 4.24: Derin kaynak tekniği

Metal buharı ve buhar basıncı ortamdan çıkarken malzeme üzerinde “anahtar deliği” ya da “buhar oluğu” adı verilen bir oluk oluşturur. Buharlaşmış metal lazer ışınını absorbe ederek iyonlarına ayrılır. Enerjinin bir kısmı her zaman malzeme tarafından emilir.

Endüstriyel lazerlerin birçoğunda, lazer ışınını oluşabilmesi için özel gazların kullanılması gerekmektedir. Gazın kalitesi ve seçimi lazerin güvenilirliğini doğrudan etkiler. Lazer gazları genellikle yüksek saflıkta özel gazlardır. Makineye ya ayrı ayrı tüplerde ya da önceden belirli oranlarda karıştırılmış olarak verilirler. Bu ön karıştırma ya da ayrı ayrı tüplerle verme parametreleri makine üreticileri tarafından belirlenir.

Çizelge 4.16: Lazer kaynağında kullanılan gazlar

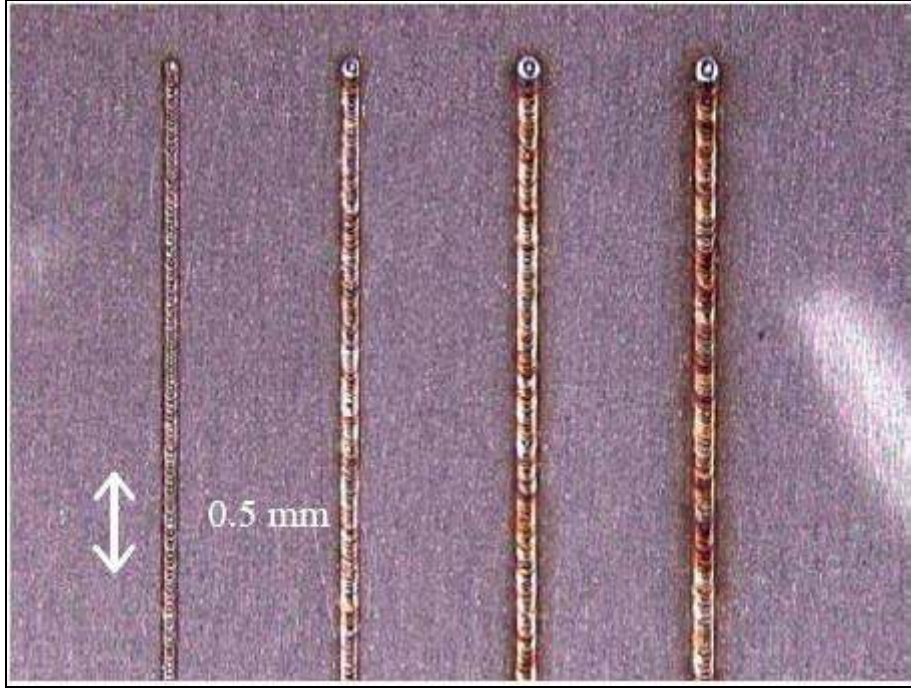
CO ₂ Lazeri	Nd:YAG Lazeri
CO ₂	Lazeri oluşturan ortam katı olduğu
Azot	için gaz kullanılmaz
Helyum	

Bazı lazer gazları 4 - 5 bileşen içerebilir. CO₂, N₂, He dışında CO, H₂, Neon eklenebilir

İşlem gazları, lazer ışınının malzeme ile tepkimeye girdiği noktalarda kullanılır. Gazın seçimi ve kalitesi, işlem verimliliği ve kalitesini oldukça etkiler. Örneğin, Siyah (Düşük alaşımlı) çeliğin kesilmesinde kullanılan O₂'nin saflığının %0,2 artması, kesme hızını %10 arttırır.

Çizelge 4.17: Lazer kaynağında gazların kullanım yerleri

Gazlar	CO ₂ Lazeri	Nd:YAG Lazeri
Oksijen	Kesme	Kesme
Azot	Kesme	Kesme
Helyum	Kesme	Kaynak
Argon	Kesme	



Şekil 4.25: Lazer kaynağı izleri

(40w, 60w, 80w, 100w - 200Hz frekans – 2 ms vuruş hızı – 4mm/s kaynak hızı için)

4.2 Basınç Kaynak Yöntemleri

Basınç Kaynak Yöntemleri:

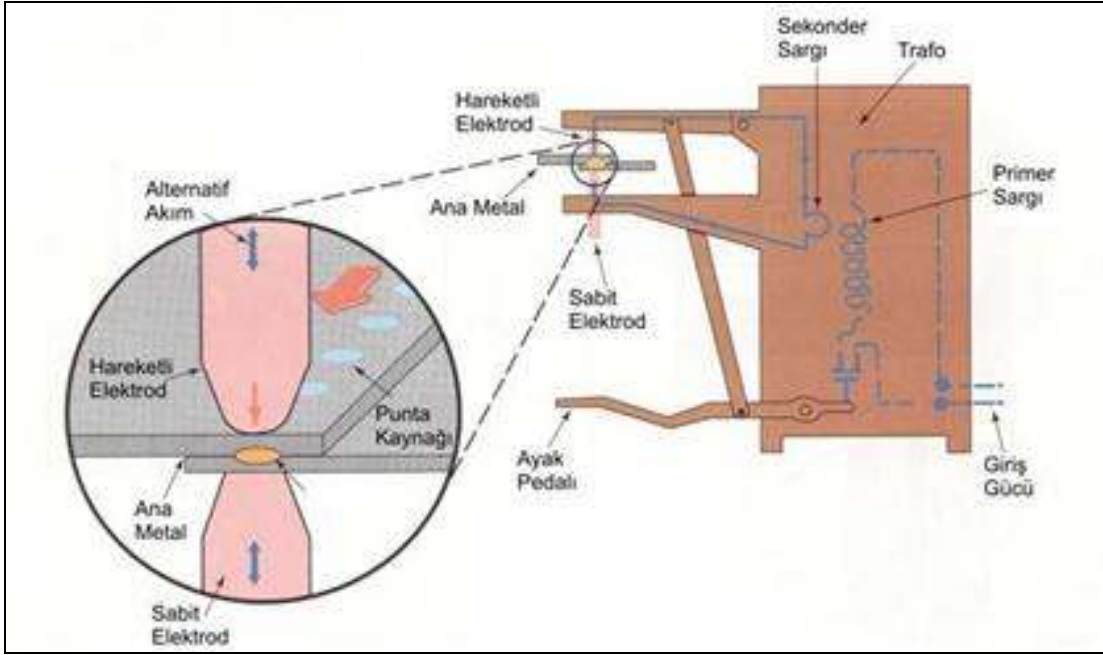
1. Elektrik Direnç Kaynak Yöntemleri
 - a. Direnç Nokta Veya Dikiş Kaynağı
 - b. Yakma Alın Kaynağı
2. Sürtünme Kaynağı
3. Sürtünme Karıştırma kaynağı
4. Difüzyon Kaynağı

4.2.1 Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri

4.2.1.1 Direnç Nokta Kaynağı

Günümüz endüstrisinde en yaygın kullanılan direnç kaynak yöntemi en eski elektrik kaynak yöntemlerinden biridir. Yöntem elektrik akımının kaynak edilecek parçalar üzerinden geçmesidir. Elektrik akımına karşı olan malzeme direnci malzemelerin akım geçişi sırasında kaynak sıcaklığına ısıtılmasını sağlar. Yöntemde üst üste konmuş 2 veya daha fazla malzeme sıkıştırılarak üzerlerinden akım geçirilir ve punto uçlarının bastığı bölgelerde ergimiş noktalar oluşur. Akım geçişinden sonra parçalar ergimiş noktaların katılaşması için bir süre daha basınç altında tutulur. Böylelikle katılaşma sonucunda malzemeler birbirine kaynaklanmış olur. Kaynak ısı, basınç ve zamanın kombinasyonu ile yapılır. Kaynak zamanı malzeme kalınlığına ve kalitesine, akımın büyüklüğüne ve punto ucunun malzeme yüzeyine temas alanına bağlıdır. Yöntem otomasyona uygundur. Genel kullanım alanları otomotiv gövde, kabin ve sac birleştirmeleridir.

Şekil 4.26’de görüldüğü gibi şebeke akımının yüksek voltaj / düşük amperi, düşük voltajı / yüksek akım şekline bir trafo yardımıyla dönüştürülür. Kaynak, kaynak edilecek malzemeleri belli bir basınçla sıkıştırıp, akımın malzemeye akmasını sağlayan elektrotlar yardımıyla yapılır. Akım bir elektrottan diğerine malzeme üzerinden geçerek akar. Bu elektrotlar, yüksek akımın geçişine izin veren, basınç altında yeterli fiziksel mukavemete sahip özel bakır alaşımlarıdır. İnce parçaların kaynağında hava soğutmalı, kalın parçaların kaynağında ise su soğutmalı elektrotlar kullanılır.



Şekil 4.26: Punto kaynağı

Direnç nokta kaynağı, amper, elektrot basıncı ve akımın aktığı uzaklık ile kontrol edilir. Otomatik kaynakta kaynakçı akımı, basıncı ve zamanı ayarlar, sabitler. Elektronik devreler vasıtasıyla tekrarlanan bütün kaynaklarda parametrelerin aynı olması sağlanır.

Direnç nokta kaynağı, kaynak edilecek iki malzemenin üzerinden punto uçlarıyla akım geçirilmesiyle ortaya çıkar. Ana metallerin elektrik akımına karşı oluşan dirençleri bölgesel ısının ortaya çıkmasına sebep olur ve kaynak yapılır. Direnç nokta kaynağı, birbirlerine temas eden iki malzemenin şekilde de görüleceği üzere temas yüzeylerinde kaynak bölgelerinin oluşturabildiği tek yöntemdir.

Direnç nokta kaynağında kaynak kolları ve uçları malzemeye çift yönde baskı ve akım uygular. Bütün pozisyonlarda kaynak yapmak mümkündür. Kaynak bölgesindeki temas yüzeylerinde elektrik akım direncinden dolayı oluşan ısı malzemelerin sıcaklıklarını ergime noktalarına kadar çıkarmalıdır. Aksi takdirde akım malzemeler üzerinden akar, kaynaklanma olmaz. Kaynak kolları malzemeleri kaynak öncesi, sonrası ve kaynak sırasında belli bir basınçla tutmalıdır. Ancak unutulmamalıdır ki bu basınç malzemeleri sabitlemek için kullanılmamalıdır.

Akım bir iletkenin üzerinden geçerken, iletkenin akım geçişine karşı elektriksel direnci ısının ortaya çıkmasına sebep olur. Isının ortaya çıkmasını sağlayan ana formül aşağıdaki gibidir.

$$Q = k \cdot i^2 \cdot R \cdot t$$

Q: Isı

k: Malzemeye bağlı sabit

i^2 : Akımın karesi

R: Direnç (Kaynak akımının geçtiği devredeki dirençlerin toplamı)

t: kaynak akımının devrede kalma süresi

Kaynak bölgesinde direnç oluşturan 6 nokta vardır.

1. Punto ucu ile üstteki malzemenin temas yüzeyi
2. Üst malzeme
3. Üstteki malzeme ile alttaki malzemenin temas yüzeyi
4. Alt malzeme
5. Punto ucu ile alttaki malzemenin temas yüzeyi
6. Punto ucunun kendi direnci

Dirençler seri şekildedir. Her direnç akım akışını geciktirecektir. Kaynak edilecek malzemelerin birleşme yüzeylerindeki (Madde 3'teki) , direncin miktarı ana malzemenin ısı transfer kapasitesine, malzemenin elektriksel direncine ve kaynak edilecek malzemelerin kaynak noktasındaki kalınlığına bağlıdır.

Östenetik paslanmaz çelikler yüksek elektriksel dirence sahiptir ve direnç nokta kaynağı ile kaynaklanabilirler. Bu malzemelerde düşünülmesi gereken şey, 800 – 1400F arasında hızlı soğutulmalarıdır. Hızlı soğuma tane sınırlarında kromkarbür oluşma olasılığını düşürür. Kritik sıcaklıklarda uzun süre kalma karbür çökmesini artırır.

4.2.1.2 Yakma Alın Kaynağı

Yakma alın kaynağı bitişik iki alın yüzeyinin tüm alanını kapsayan bir elektrik direnç kaynağı yöntemidir. Bu yöntem en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernleşmiş biçimidir.

Kaynak edilecek iki çubuğun birleştirilmesi için öncelikle alın kısımlarının erime sıcaklığına getirilmesi gerekir. Bunun için gerekli kaynak ısısı, elektrik akımının aktığı temas noktasının direnci ve yüzeyler arasındaki ark ile sağlanır. Uygulanan eksenel basınç ile erimiş metal ve oksitler dışarı sürülerek ana metal bir miktar yığmaya uğrattılır.

Yakma alın kaynağında şu işlem sırası izlenir:

Çeneler arasındaki parça sıkıştırılır

Parçalara yakma gerilimi ve akımı uygulanır, kızak harekete başlar.

Normal gerilimde yakma işlemi gerçekleşir.

Kaynak bölgesine yığma uygulanır ve akım kesilir.

Yakma alın kaynağı yakma aşaması ve yığma aşaması olarak iki ana aşamadan meydana gelir. Yakma kademesinde kaynaklanacak iki parça elektrotlar arasına bağlanır ve alın kısımları birbirine temas ettirilerek birinden diğerine doğru düşük gerilimde elektrik akımı geçirilir. Bu durumda alın yüzeylerin üzeri pürüzlü olacağından, akım dar birbirine değen pürüzlerin küçük temas alanlarından geçmeye zorlanacak ve bu noktalarda sıcaklık hızla yükselerek erime noktasına ulaşacaktır.

Eriyik duruma gelen metal hacimler patlayarak kıvılcımlar halinde dışarı fışkırır. Yüzeyde krateri andıran şekiller oluşur. Bu yakma işlemi tekrar devam ederek alın yüzeylerinin kraterlerle ve ergimiş metalle kaplanması sağlanır.

Belli bir yakma süresinin sonunda parçalar belirli bir sıcaklığa ulaştığı zaman eksenel bir basınç ile ergimiş metal ana metal üzerine yığılır. Bu sırada yakma gerilimi kesilir. Eğer düşük yığma basınçları kullanılıyorsa bazı durumlarda yığma gerilimi de uygulanır.

4.2.2 Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı, bir katı hal kaynak yöntemidir. Biri sabit diğeri dönel harekete sahip iki parça, ara yüzeylerinde oluşturulan sürtünme yoluyla, mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ile elde edilen ısıdan yararlanarak, eksenel basınç altında ara yüzeyde plastik deformasyon oluşturarak yapılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağında kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler eksenel basınç altındadır ve ısıtma fazı ya da sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç plastik deformasyon sıcaklığı oluşuncaya kadar devam eder. Bu sıcaklıkta dönme hareketi ani frenleme yapılarak durdurulur ve eksenel basınç yaklaşık iki kat artırılarak yığma oluşturulur. Normal şartlar altında ara yüzey erimez. Bu kaynak tekniğinde ilave metal ve koruyucu gaza gerek yoktur. Yuvarlak kesitli parçaların kaynağında hayati bir öneme sahiptir ve otomatik olarak yapılan bir işlemdir. Sürtünme kaynağı uygulamalarının büyük çoğunluğunu dairesel kesitli çubukların ya da boruların kaynağı oluşturmaktadır. Bu tür uygulamalarda sürtünmeyi oluşturan temel hareket dönme hareketidir ve işlem konvansiyonel sürtünme kaynağı olarak adlandırılır. Sürtünme kaynağında, sürtünme için kullanılan dönme hareketi yanında, yörüngesel hareket, lineer

titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir. Sürtünme kaynağı, çok az sınırlamalar hariç diğer kaynak yöntemlerine göre pek çok avantajlara sahiptir. Pek çok araştırmacı sürtünmenin negatif etkileri ile ilgili bilimsel çalışmalar yapmıştır. Bu araştırmalar sırasında bir problem olan sürtünmenin, malzemelerin birleştirilmesi için gerekli enerji olarak kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Sürtünme kaynağı ile kaynak yapma fikri eskilere dayanmaktadır. Ancak konu ile ilgili ilk patent 1891 yılında Amerikalı makinist I.H.Bevington tarafından alınmıştır. Daha sonraları konu ile ilgili 1924 yılında İngiltere ve Rusya, 1929 yılında Almanya patent almıştır. Başlangıçta boru ve plastiklerin kaynağında kullanılan bu yöntem, 1956 yılında Rus bilimci A.J.Chdicov iki metal çubuğu sürtünme kaynağı ile birleştirmeyi başarmıştır. Sürtünme kaynağı konusu ile ilgili gerçek bilimsel çalışmalar 1956 yılından sonra başlamıştır ve usulün uygulama alanlarının geliştirilmesi doğrultusunda çalışmalar halen devam etmektedir. Sürtünme kaynağı, enerji kaynağına bağlı olarak üç, hareket şekline göre ise beş grupta incelenir:

Enerji kaynağına göre;

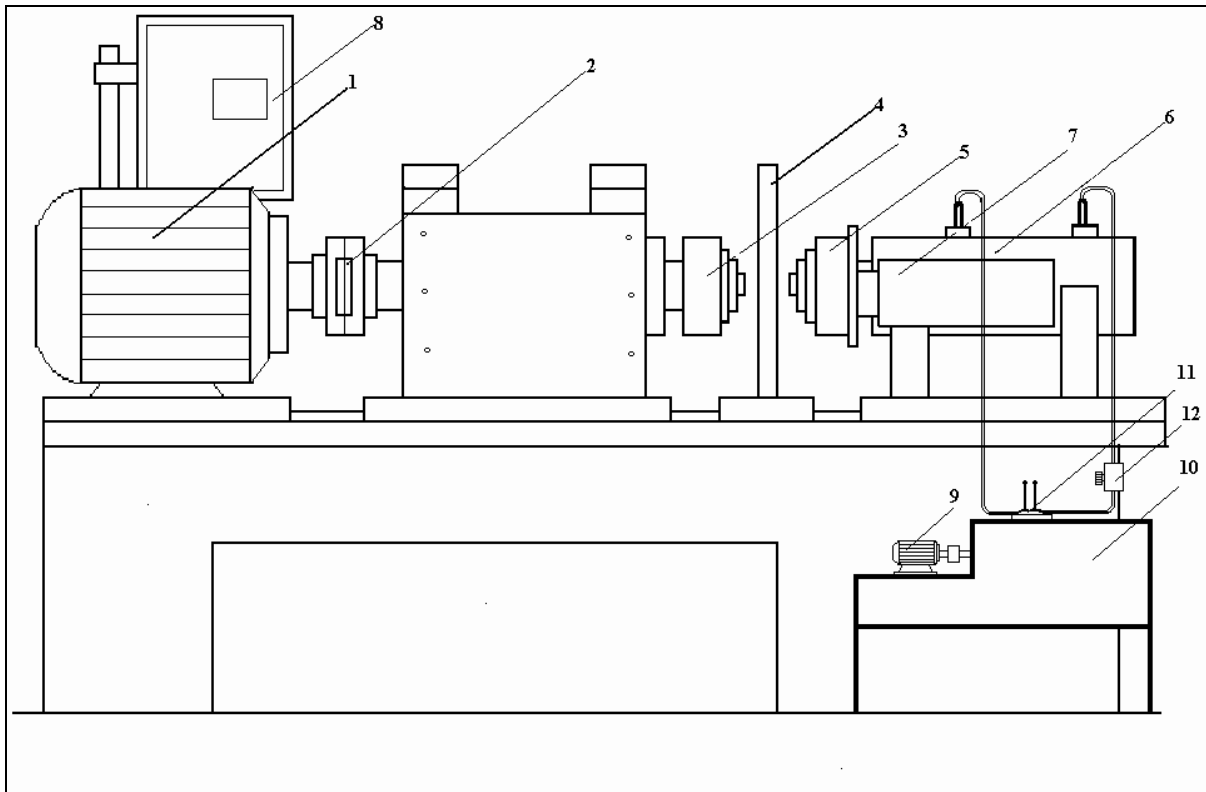
1. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı
2. Volan tahrikli sürtünme kaynağı
3. Hibrit sürtünme kaynağı

Hareket şekline göre;

1. Dairesel hareketli sürtünme kaynağı
2. Lineer titreşim hareketli sürtünme kaynağı
3. Açısal hareketli sürtünme kaynağı
4. Radyal sürtünme kaynağı
5. Yörüngesel hareketli sürtünme kaynağı

Sürtünme kaynağı işlemi temel olarak üç basamakta tamamlanır. Birinci aşamada, bir sabit değeri dairesel harekete sahip iki parçanın düşük eksenel basınç kuvveti altında yüzey teması sağlanarak, sürtünme yoluyla plastik deformasyonu hakim kılmaktır. İkinci aşamada, eksenel basınç kuvvetini artırarak birleşme bölgesinde gerekli ısıya ulaşmaktır. Üçüncü aşamada ise, sürtünme işlemini durdurarak birleşme bölgesinde yığılma oluşturmaktır. Sürtünme kaynağında bir erime bölgesinin olmayışı, ısının tesiri altındaki bölgenin darlığı ve kaynağın çevresinde plastik olarak deforme olmuş malzemenin varlığı en belirgin özelliklerini teşkil eder. Kaynak kalitesi; uygun malzeme seçimi, kaynak dizaynı, sürtünme süresi, sürtünme basınç kuvveti,

devir sayısı, yığma basınç kuvveti ve yığma süresi gibi kaynak parametrelerine bağlıdır. Hız, zaman ve basınç kuvveti gibi kaynak parametrelerinin geniş çapta kullanımı ile kaliteli bir kaynak elde edilebilir. Sürtünme kaynağında, kaliteli bir kaynak bağlantısının oluşumu aşağıdaki ifadelerle açıklanır. Sürtünme hareketi ile bütün oksit ve diğer tabakalar parçalanarak yüzeyden uzaklaştırılır ve sürtünen yüzeyler arasındaki sürekli temas kaynak sırasında oksit filmlerinin oluşmasını engeller. Bağlantı bölgesi, hızlı lokal ısıtma ve soğutma sonrası uygulanan yüksek basınç nedeni ile ince taneli bir yapıya sahiptir. Hızlı lokal ısıtma ve ayrıca bağlantıya bitişik olan göreceli olarak geniş ısıtılmamış alanlar, lokal ısınmış alanlardan hızla ısıyı çekmesi sonucunda çok dar bir ITAB oluşur.



Şekil 4.27: Sürtünme kaynağı tertibatı

(1.Tahrik Motoru, 2.Kavrama, 3.Hareketli Ayna, 4.Denge Plakası, 5.Sabit Ayna, 6.Çift Etkili Hidrolik Silindir, 7.Pistonlu Yatak, 8.Hız Kontrol Ünitesi, 9.Motor ve Dişli Pompa, 10.Yağ Tankı, 11.Yön Kontrol Valfleri, 12.Hız Kontrol Valfi)

Değişken parametreler esas alınarak tasarım ve imalatı yapılmış olunan sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde çalışma prensibi aşağıdaki sıralamaya göre gerçekleşmektedir.

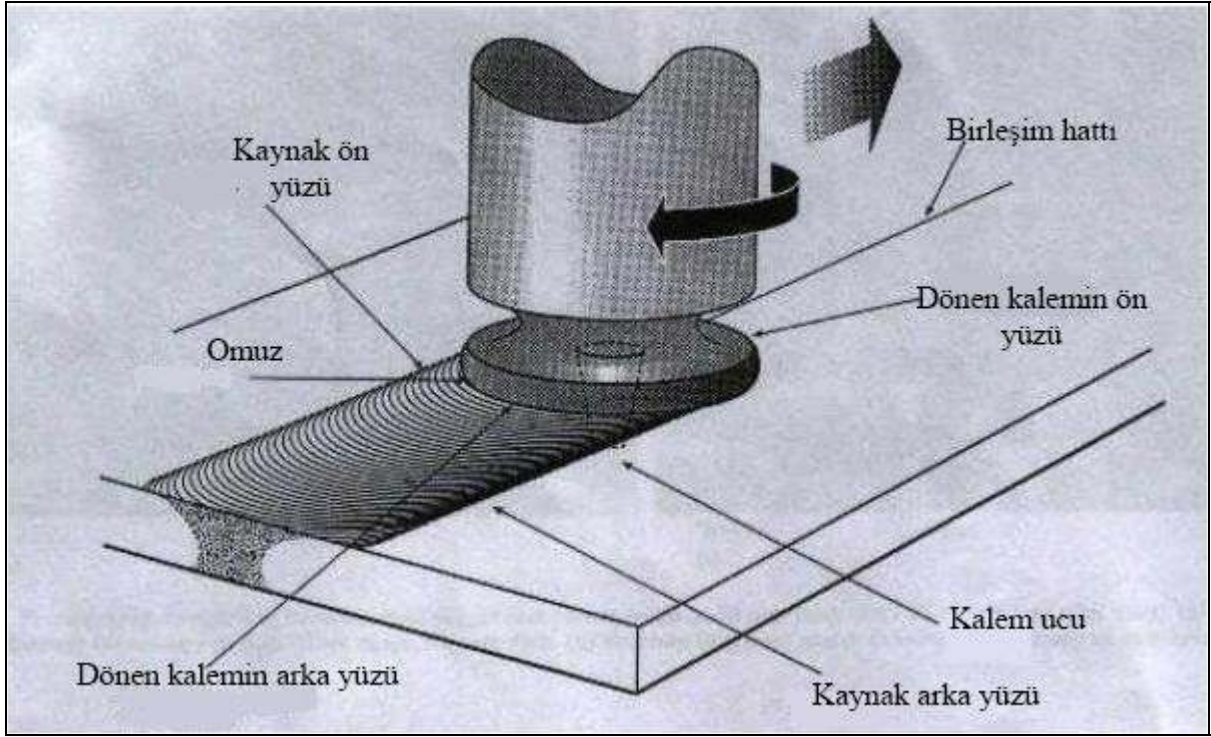
1. Birleştirilecek numuneler, biri sabit diğeri hareketli aynaya en az eksen kaçıklığında ($< 0.2\text{mm}$) emniyetli bir şekilde bağlanır,
2. Tahrik motorunu kumanda eden invertör çalıştırılır,
3. İnvertör üzerindeki devir potansiyometresi yardımıyla tahrik motoru hareketlendirilerek gerekli devir sayısına çıkılır,
4. Eksenel basıncı sağlayan hidrolik devre çalıştırılarak numunelerin yüzey teması sağlanır,
5. Önceden belirlenen sürtünme basınç kuvveti, basınç manometresi üzerinden kontrol edilerek artan değerlerle ulaşılır,
6. Birleşme bölgesinde plastik deformasyon için yeterli olan sıcaklığa ulaşıldığında (sürtünme süresi sonunda), invertör üzerinden tahrik motoruna DC gerilim uygulayarak dönme hareketi 1-3 sn. aralığında durdurulur,
7. Eksenel basınç kuvveti (yığma basınç kuvveti) yaklaşık iki kat artırılıp yığma oluşturularak birleşme işlemi tamamlanır.

4.2.3 Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynak yönteminin geliştirilmiş bir başka yöntemidir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağı genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan ergitmesiz kaynak yöntemidir.

Sürtünme-karıştırma kaynağı, son on yılda keşfedilmiş ve geliştirilmiş bir katı hal kaynak tekniğidir. Herhangi bir boşluk, çatlak veya deformasyon meydana gelmeksizin güvenli bir kaynak yapmanın çok zor olduğu birçok malzemeyi kaynaklamayı basitleştirmiştir. Birçok sanayi kuruluşu bu tekniği üretimlerinde kullanmak için pilot çalışmalar yürütmektedir

Sürtünme-karıştırma kaynağı tekniği (İngiltere, Cambridge’de TWI tarafından keşfedilen, patenti alınan) klasik sürtünme kaynağının bir türevi olup, kaynak sonrası çok az deformasyonlu, uzunluğuna birleştirilen veya bindirme parçalarının imalatına uygulanacak katı- hal kaynağının avantajlarına imkan vermektedir. Özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan alüminyum alaşımların birleştirilmesinde, sürtünme-karıştırma kaynağı başarılı bir performans göstermiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı düz ve bindirmeli alüminyum alaşım kaynakları için yeni ve başarılı bir kaynak tekniğidir. Sürtünme karıştırma kaynağı iyi kalitede birleşme ve bindirmeler veren bir katı hal birleştirme işlemidir. Bu işlemin temel ilkesi Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



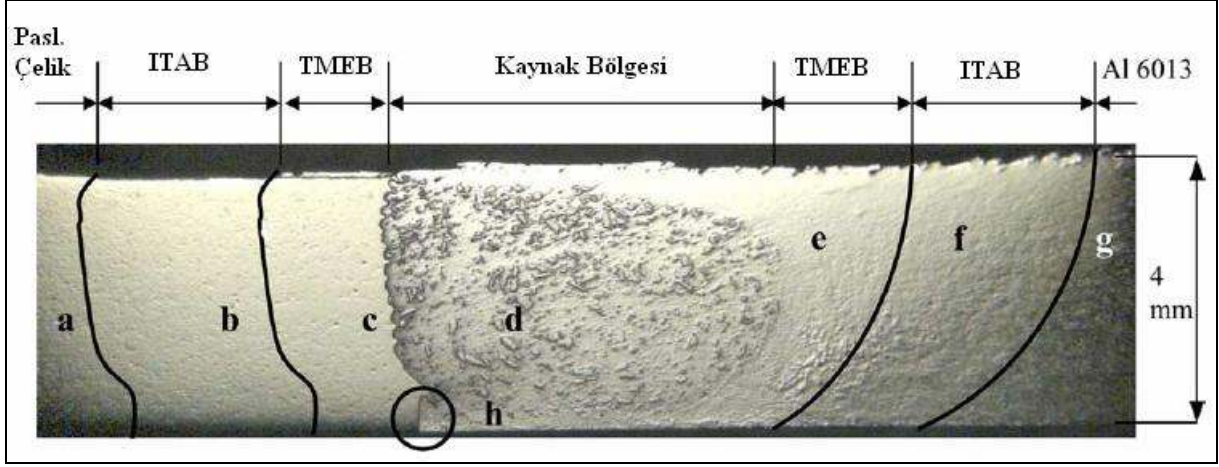
Şekil 4.28: Sürtünme karıştırma kaynağı prensibi

İşlem, kaynak yapılacak parçadan daha sert bir malzemeden üretilmiş sürtünme aparatının dönen ucu ile kaynaklanacak parçaların birleşme bölgesinde ısı meydana getirilmesi prensibine dayanır. Karıştırıcı uç, daha geniş çaplı bir metal gövdeye bağlı, daha küçük çaplı bir sonda olarak şekillenmiştir. Karıştırıcı uç birleşme bölgesi içine daldırıldığında geniş çaplı omuz diye tarif edilecek metal kısım birleştirilecek yüzeylere önce bir temas yapar. Karıştırıcı ucun dalma derinliği kaynak nüfuziyeti olarak da söylenebilir. Omzun malzemeye teması kaynak bölgesine ilave bir ısı sağlamanın yanı sıra, yumuşayan bölgeye karıştırıcı ucun kesik koni şeklindeki ucu daldırılır. Isıl olarak yumuşayan metal karıştırıcı uça doğru giderek daralan ancak üst yüzeyde omuz ile temas eden daha geniş bir görünüm arz eder. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur.

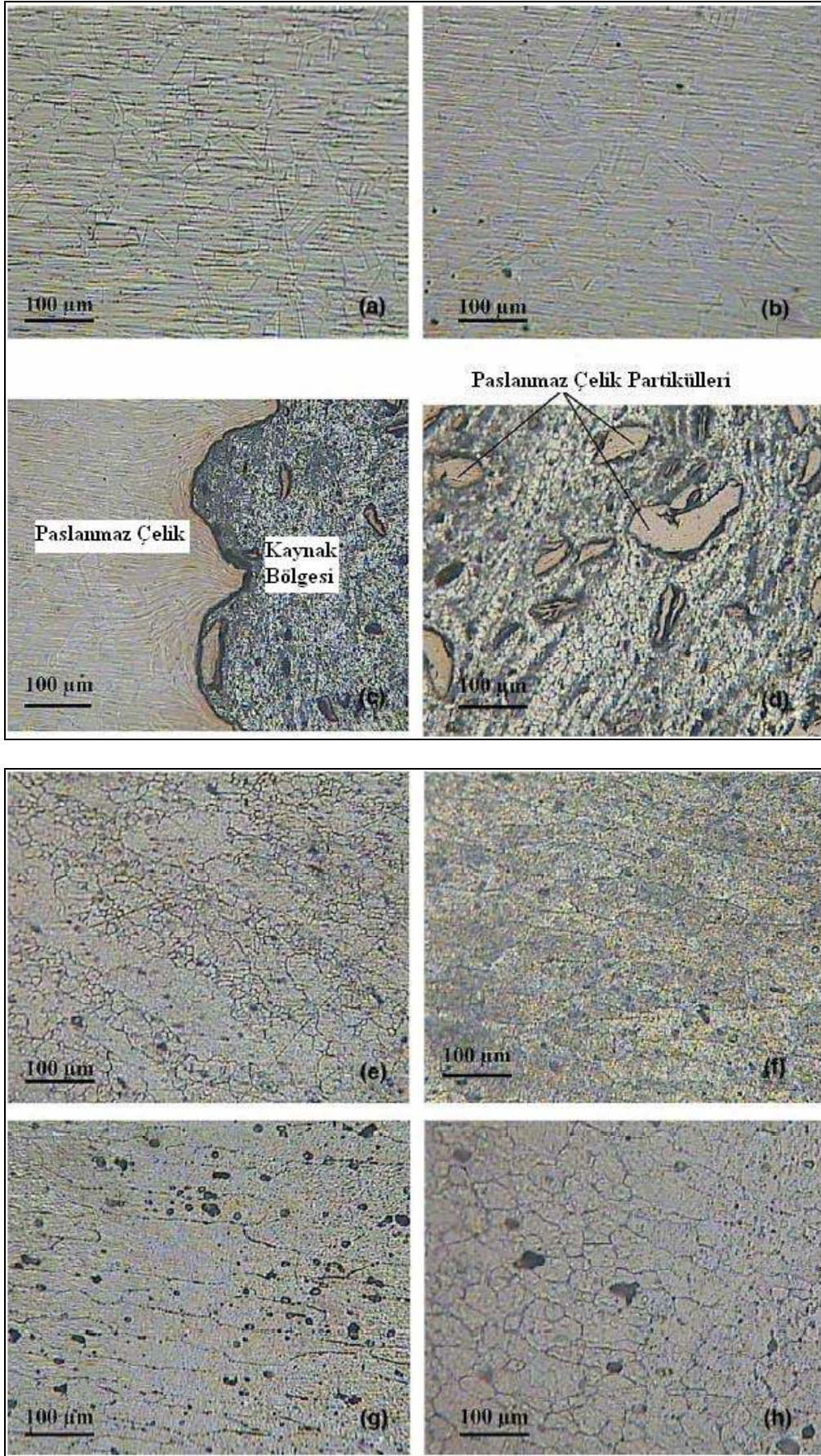
Karıştırıcı uç çevresinde malzeme akışı, karıştırıcı uç arkasında ise malzeme ile dönen uç arasında izafi bir dönüş meydana gelmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı, kendi kendine oluşan bir birleştirme tekniğidir. Birleşen malzeme doğal katı faz haldedir ve ergime kaynağı hataları içermez. Bu yöntemde tüketilen bir dolgu malzemesi, koruyucu gaz ve kenarların hazırlanması gerekmez.

Kaynak bölgesinde oluşan içyapı Şekil 4.29 ve 4.30’da gösterilmiştir. Kaynak bölgesi üç

farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (Kaynak Bölgesi - DKB), termomekanik olarak etkilenen bölge (TMEB) ve sıvı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ısıнын tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 4.29: Paslanmaz çelik ile alüminyumun kaynağı sonrasında oluşan kesit görüntüsü



Şekil 4.30: Farklı bölgelerde oluşan içyapıların görüntüsü

4.2.4 Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı, Uluslararası Kaynak Enstitüsü tarafından “Birleştirilecek parçaların ara yüzeylerinde difüzyonu sağlayacak kadar yüksek sıcaklıklarda, aradaki boşlukların plastik biçim değişimi ile kapandığı ve atomlar arası bağların oluştuğu bir katı hal kaynak yöntemidir.” şeklinde tanımlanmaktadır.

Kaynaklanacak parçalar önce birbirleriyle temas ettirilir. Bu temas birleştirilecek parçaların yüzeylerindeki mikroskobik çukurlukların belirli bölgelerde karşılıklı olarak birbirlerine dokunmaları biçimindedir. Uygulanan dış kuvvet ve sıcaklığın etkisi ile önce uç noktalarda akma oluşur. Bu işlem, yüzeylerin harekete başladıkları noktada oksit ve yabancı cisimlerin oluşturduğu kalıntıların parçalanması ile başlar. Birleştirilecek parçaların yüzeylerinin temas etmesiyle sonuçlanır.

Yüzeyde uç noktaların mikroskobik biçim değişiminden sonraki bağ oluşumunda, difüzyon mekanizması ön plandadır. Öncelikle tane sınırı difüzyonu sonra da hacimsel difüzyon mekanizmaları ile ara boşluklar yok olmakta ve birleşecek parçalar arasında bağ oluşmaktadır.

5. KAYNAKLI PARÇALARDA MEYDANA GELEN DİSTORSYONLAR

Kaynak işlemi, bölgesel bir döküm işlemi olarak da adlandırılmaktadır. Yani bölgesel ısı artışları, birleştirilecek olan parçaların belirli kısımlarını ergiterek birbirlerine kaynamalarını sağlar. Bölgesel ısı farkları birleşmeyi sağlarken beraberinde bazı olumsuz durumları da getirir. Distorsyonlar da bu olumsuz durumlardandır.

Distorsyon, kaynak işlemindeki ısınma soğuma döngüsü nedeniyle meydana gelen istenmeyen bir durumdur. Isınma soğuma döngüsü sürerken metalin distorsyonuna pek çok faktör etki eder. Örneğin, kaynak alanının sıcaklığının artması, metalin ısıl geçirgenliği, ısı akışının düzensizliği distorsyonlara neden olur.

5.1 Gerilmelerin Ve Distorsyonların Meydana Gelmesine Etki Eden Faktörler

Kaynak sırasında meydana gelen gerilmeler ve çarpılmalar birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin başlıcaları şunlardır:

a. Isıtma gerilmeleri (ısıl gerilmeler) :

Bir parçanın bölgesel olarak ısıtılması sırasında, uzamanın engellenmesiyle meydana gelen gerilmelere ısıtma gerilmeleri (ısıl gerilmeler) denmektedir. Bu gerilmelerin büyüklüğü aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

Sıcaklık farkı (Verilen ısı miktarı ile ilgilidir)

Kaynak hızı

Özgül ısı

Isı iletme kabiliyeti

Radyasyonla ısı yayılımı

Parçanın hacmi ve formu

Elastiklik modülü

Isıl uzama katsayısı

b. Konstrüksiyonun rijitliği:

Kaynak esnasında meydana gelen ısıl gerilmeler ve gerilmeler, düzgün olmayan soğuma nedeniyle konstrüksiyonda basma (reaksiyon) kuvvetleri oluşturur. Konstrüksiyonun rijitliğine göre bu basma kuvvetleri bir takım çarpılma ve kabarmalar meydana getirir. Burkulmaya karşı rijidite derecesi, konstrüksiyonun formuna bağlı olduğu gibi bilhassa sac konstrüksiyonlardaki sabitleme derecesine de bağlıdır. Düzgün olmayan haller çarpılmaya

karşı rijiditeyi düşürür. Bunun için de sac konstrüksiyonlarda burkulma mukavemetini yükseltecek bazı takviyeler konur.

Isıl uzamaya karşı rijiditeyi arttırmakla, yüksek sıcaklıkta akma sınırı düştüğünden plastik bir yığılma olur. Soğuma sırasında da 600°C'nin altında akma sınırı yükseldiğinden, kendini çekme gerilmeleri meydana gelir. Kendini çekmeye karşı uygulanan rijidite derecesine ve soğuma şartlarına göre tek veya çok eksenli gerilmeler meydana gelir. Sonuncusu bilhassa akma sınırının azalmasına sebebiyet verir. Düşük rijidite soğuma sırasında büyük çarpılmalara neden olur.

Malzemenin metalurjik özellikleri:

Kaynak dikişinin soğuması esnasında A_{c3} noktasının üzerinde ısınan bölgede çeşitli iç yapılar meydana gelir. Soğumanın yavaş olması halinde, ostenitik yapı tamamen perlitik yapıya dönüşür. Çabuk soğuma esnasında da dikişin yanındaki bölgede malzemenin karbon miktarına veya alaşım derecesine göre trostitik veya sorbitik gibi ara yapılar yada daha kötü bir durum olan martenzitik bir iç yapı meydana gelebilir. Geçiş bölgesindeki bu ara yapılar, dikişin şekil değiştirme kabiliyetini azalttığı gibi, iç gerilmelerin de meydana gelmesine sebep olur. Bunun için özellikle alaşımlı veya yüksek karbonlu çeliklerde kalın kesitli parçalara büyük önem vermek gerekir. Parçaya kaynaktan önce bir ön tavlama uygulayarak sıcaklık alanlarını mümkün mertebe düzgün bir şekilde yaymak ve diğer tehlikeleri önlemek mümkündür.

5.1.1 Kaynak Gerilmeleri

Metalin bölgesel olarak yumuşayınca kadar her tavlama, soğumayı müteakip gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Gerilme içermeyen bir kaynağın yapılması hemen hemen imkansızdır.

Kaynak Gerilmeleri: Kaynak işleminin yapılışı sırasında oluşan gerilmelerdir.

Kalan Kaynak Gerilmeleri: Kaynak birleştirmesinin soğumasına müteakip, kaynak işlemi tarafından verilen gerilmelerdir.

Kalan Gerilmeler: Mekanik, termik veya diğer bir işlem sonucunda parçada kalan gerilmedir.

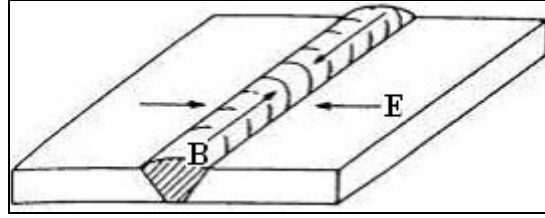
Enlemesine Gerilmeler: Dikiş düzlemine dikey ve parça yüzeyine paralel düzlemdeki gerilmeler.

Boylamasına Gerilmeler: Dikiş düzlemine ve parça yüzeyine paralel bir düzlemdeki gerilmeler.

Derinlemesine Gerilmeler: Dikiş ve parça yüzeyine dikey bir düzlemdeki gerilmeler.

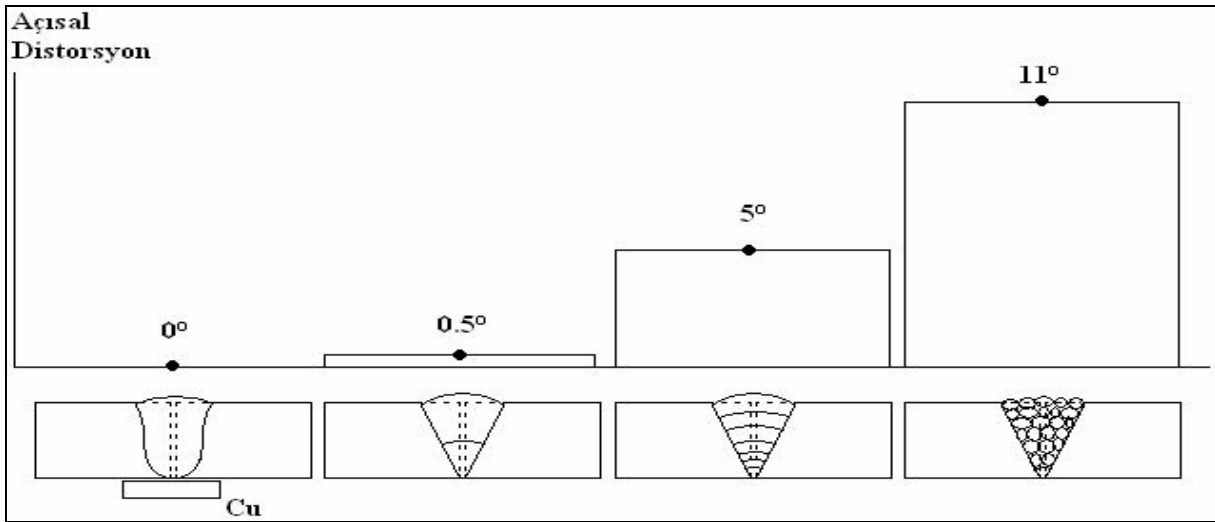
5.1.1.1 Enlemesine Gerilmeler

Engellenmiş kendini çekmeler nedeniyle, dikişe dikey olarak oluşan dış enine gerilmeler (dış engellemeden ötürü) boylamasına kendini çekme kuvvetlerinin meydana getirdiği kendini çekmelerle birleşir. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1: Kaynak sonrası oluşan gerilmeler

Sıcaklık alanının kaynak yerinden başa doğru düzgün olarak yayılması, dikiş boyunca oluşan enine gerilmelerin azalmasını sağlar. Bunun için enine gerilmeler, sıçrama (atlama) ve geri adım kaynak usulleriyle azaltılabilir. Bu usuller, bilhassa az kaynak metalinin yığılması ve ısının çabuk yayılması dolayısıyla artan çatlama tehlikesinden ötürü, kök pasolarının kaynağı için çok elverişlidir. Açısal distorsiyonun belirlenmesi amacıyla yapılan bir araştırmada, paso sayısının gerilmenin dağılışı üzerindeki etkisi Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Yüksek kaynak hızı ile çalışmak enine gerilmeleri azaltır.



Şekil 5.2: Farklı paso sayılarında oluşan farklı açısal distorsiyonlar

5.1.1.2 Boylamasına Gerilmeler

Eğer konstrüksiyon sıkı bir şekilde sabitlenmemişse, dikişteki boylamasına çekme kuvvetleri, boylamasına ve enlemesine gerilme tesiri meydana getirir.

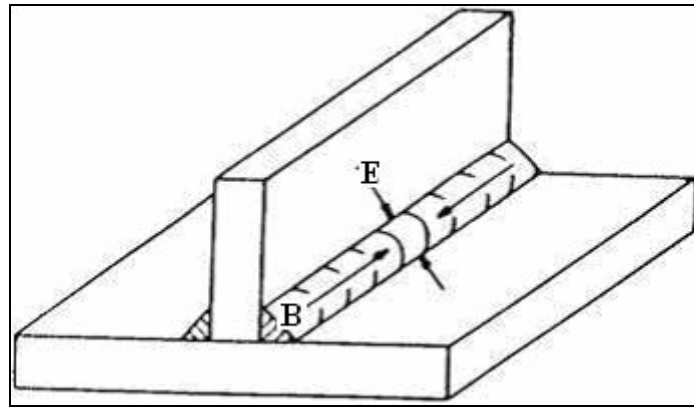
Dikiş boyunca, dikişe ait bölgelerde boylamasına büyük çekme gerilmeleri oluşur. Söz

konusu basma reaksiyonu gerilmeleri, yeterli miktarda tavlanan kısımlarda ortadan kalkar. Dikişin sonlarında (uçlarında) bir basma, ve ortasında bir çekme (ayrılma) etkisi meydana çıkar. Bu da, hemen enine bir gerilmenin doğmasına neden olur.

Boylamasına gerilmelerin en büyük olduğu yer, kaynak metalinin hemen yanındaki tavlanan dar bölgedir (Özellikle sertleşme eğilimi olan esas metalde). Bu gerilmeler dikişte enine çatlaklar oluşturabilir. Yavaş kaynak yaparak veya bir ön tavlama uygulayarak (tavlanan bölge genişlemiş olur) boylamasına gerilmeleri azaltmak mümkündür. Fakat böylece sacdaki reaksiyon (basma) gerilmelerinin miktarı yükselmekte ve bu da kamburlaşma (bombeleşme) tehlikesini doğurmaktadır.

5.1.1.3 İç Köşe Dikişlerinde Kendini Çekme Gerilmeleri

Parçanın yalnızca yüzeyi eridiği zaman, genişleme ve kendini çekme, boylamasına ve enine yönlerde kuvvetli bir sınırlamayla karşılaşır. Sabitlenmiş çift taraflı iç köşe dikişinde, birinci köşe dikişi enine istikamette bir etki yapar. Böylece büyük kısmı dikişte toplanan üç eksenli gerilme hali meydana gelir. Bunun bütün dikiş kesidince, her tarafında çekme etkisi yapan, hacimsel bir gerilme hali ortaya çıkardığı tahmin edilmektedir. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3: İç köşe kaynağında oluşan gerilmeler

5.2 Distorsyon Çeşitleri

Distorsyon temelde 7 ana şekilde incelenir. En çok görülen ilk üç distorsyon tipi boyuna, enine ve açısallı distorsyondur. Kalınlık distorsyonu o kadar küçük miktarlarda olur ki çoğunlukla ihmal edilir.

- a. Enine Distorsyon: Parçada kaynak dikişine dik eksen boyunca meydana gelen çekmedir.
- b. Boylamasına Distorsyon: parçanın kaynak dikişine paralel eksen boyunca meydana gelen çekmedir.
- c. Açısal Distorsyon: Enine distorsyonun özel bir şeklidir. Parçalar başlangıç durumuna göre α kadar bir açı yaparlar.
- d. Kalınlık Distorsyonu: Parçanın kendi kalınlığı üzerinde meydana gelen çekmedir. Çok küçük bir değer olduğu için pratikte bir önem taşımaz.
- e. Eğilmeler
- f. Burkulmalar
- g. Kıvrılmalar

5.2.1 Enine Distorsyonlar

5.2.1.1 Alın Birleştirmelerde Enine Distorsyonlar

Enine çekme kaynak doğrultusuna dik yönde meydana gelen boyutsal azalmadır. Bu durum, kaynak oda sıcaklığına soğuduğu zaman ortaya çıkar.

Tavlanan kaynak ağzı, kaynak esnasında genişlerken (uzayarak) ağız formunu daraltır. Ve kaynaktan sonra enine distorsyon oluşur. Bu distorsyon %90 - %95 oranında esas metalin termik uzamasından, %5 - %10 oranında kaynak metalinin kendini çekmesinden dolayı meydana gelir. Enine distorsyonun büyüklüğü kaynak yerine verilen ısı miktarına, ortalama yüzey genişliğine ve dikişin boyuna bağlıdır.

Şu hususlara uyarak enine distorsyon azaltılabilir:

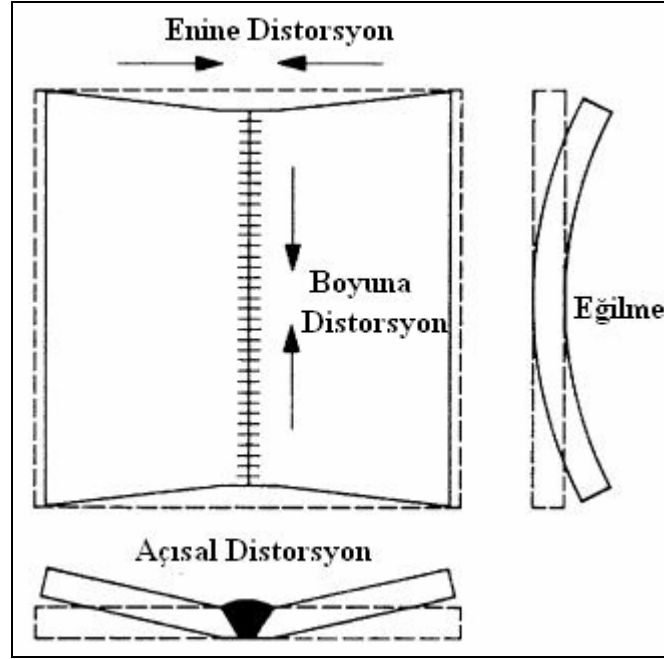
Kaynak dikişi muntazam şekilde puntalanmalı

Atlayarak ya da geri adım tekniği ile kaynak yapılmalı

Kaynak hızı yükseltilmeli

İnce çaplı elektrotlarla çok paso ile kaynak yapmak. Ancak bu durumda kök pasının çatlama riski ve açısal distorsyonun artma riski göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynak ağzı düzgün hazırlanmalı ve ağız boyunca aynı aralığı muhafaza etmeli



Şekil 5.4: Alın birleştirmede oluşan distorsyon tipleri

Enine distorsyonun hesabında kullanılan formül şöyledir. $\Delta b = 0.1(A/s)$

Δb : Enine çekme (mm)

A: Kaynak kesit alanı (mm²)

s: Kalınlık (mm)

5.2.1.2 İç Köşe Birleştirmelerde Enine Distorsyonlar

İç köşe birleştirmelerde çekme, alın birleştirmelere oranla daha küçük olup, yatay sacın tavlanan kısımlarının genleşmeyi sınırlaması enine distorsyonların oluşmasına neden olmakta ve büyüklüğü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Dikişin kalınlığı / Sac kalınlığı = $a / s = 0,3$ ise distorsyon azdır.

$a / s = 0,5$ ise distorsyon normaldir.

$a / s = 0,8$ ise distorsyon fazladır.

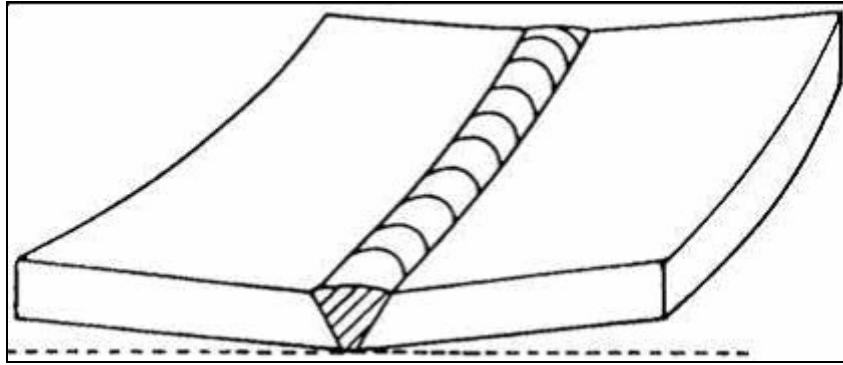
İç köşe dikişlerinde enine distorsyon, genel olarak alın dikişlerindekiinden daha küçüktür.

5.2.2 Boyuna Distorsyonlar

Kaynak yönüne paralel yönde olan boyutsal azalmalardır.

5.2.2.1 Alın Birleştirmelerde Boyuna Distorsyonlar

Kaynak metalinin erimesi esnasında dikişin civar bölgeleri genleşmek (uzamak) ister. Soğuk haldeki civar bölgeler (dikişin yanındaki) boylamasına uzamayı sınırlandırır ve plastik bir yığılma meydana gelir. Bu da boylamasına distorsyon ve gerilmelerin oluşumunun esas nedenidir. Ölçülebilen boylamasına distorsyon miktarı azdır ve pratik olarak yalnızca dikişin sonlarında kısalma olur. Dikişin boyu uzadıkça metre dikiş boyuna düşen çekme miktarı azalır. Alın kaynaklarında bu oran 0,1 ile 0,3mm/m'dir. Bununla birlikte dikişte yüksek miktarda uzunlamasına çekme gerilmesinin meydana gelmesi halinde, bütün kendini çekme kuvvetleri bilhassa ince saclarda dikişlerin arasındaki bölgelerde bombelikler (kabartılar) oluşturur. Ölçülebilen mertebedeki boylamasına distorsyonlar, kaynak hızını yükselterek (dar tavlama bölgesi) veya kaynağı ara vererek azaltılabilir.



Şekil 5.5: Alın birleştirmede boyuna distorsyon

Kaynak uzunluğunun 1/1000'i kadar uzunlukta boyda çekme görülür.

$$\Delta l = (12 \cdot I \cdot L / s) 10^{-7}$$

Δl : Boyuna çekme (mm)

I: Kaynak akımı (A)

L: Kaynak uzunluğu (mm)

s: Sac kalınlığı (mm)

5.2.2.2 İç Köşe Birleştirmelerde Boyuna Distorsyonlar

Isınan bölgede oluşan yığılmalar çekmelerin ana bileşenleridir. İnce malzemelerde büzülme kuvvetlerinden distorsyonların gözlemlenebilmesine karşın, kalın malzemelerde bu distorsyonlar ölçülemez boyutlardadır.

Köşe kaynaklarıyla gerçekleştirilen birleştirmelerde çekmeler, profil kesidi ile kaynak dikişi kesidinin arasındaki orana bağlı olarak ortaya çıkar.

Kirişlerin boylamasına kaynağında meydana gelen distorsyonu hesaplamak için şu denklem kullanılır.

$$\Delta l = (0.05 \cdot A \cdot d \cdot L^2) / I$$

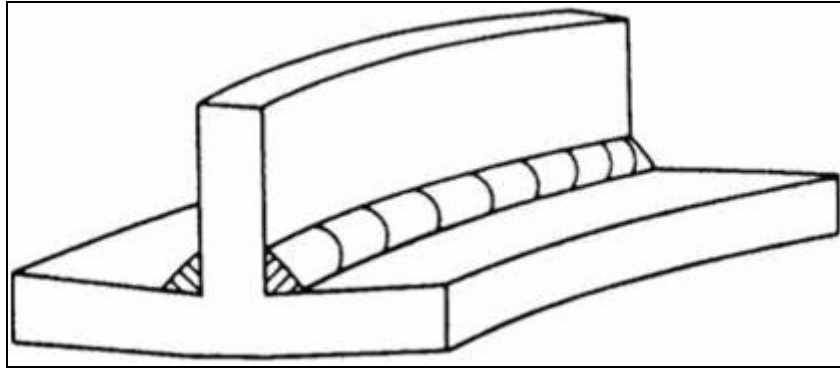
Δl : Boyuna çekme (mm)

A: Kaynak metali ile ergimiş ana metalin toplam kesit alanı (mm²)

d: Kaynak dikişinin nötr eksene uzaklığı (mm)

L: Kaynak dikişinin boyu (mm)

I: Atalet momenti (mm⁴)



Şekil 5.6: İç köşe birleştirmede boyuna distorsyon

5.2.3 Açısal Distorsyonlar

Enine distorsyonun özel bir şekli olup, parçanın başlangıçtaki açısına göre kendini (α) açısı kadar çekmesidir.

Açısal distorsyon, birleşmenin şekline, boyutlarına, levha kalınlığına ve kaynak yöntemine bağlıdır. Bu distorsyon türü tek taraflı veya simetrik olmayan kaynak dikişleri için söz konusu olup, çift taraflı ve simetrik kaynakta oluşmamaktadır.

5.2.4 Alın Birleştirmelerde Açısal Distorsyonlar

Meydana gelen açısal distorsyonun mertebesi kaynak ağzının şekline, pasoların atılış tarzına ve sac kalınlığına bağlıdır. Şekil 5.2’de pasoların atılış tarzının açısal distorsyona etkisi gösterilmektedir. Açısal distorsyonu, distorsyona ters yönde bir eğim vererek veya kök pasosunu ters taraftan rendeleyerek (oyarak) yeniden paso çekmekle minimuma indirmek

mümkündür. Kaynak sırasında parçaların sıkı bir şekilde sabitlenmesi de açısal distorsyonu azaltır.

Tek taraftan ve özellikle V kaynak ağzı ile kaynaklanan sacların üst yüzeyleri daha çok ısındığı için, yüzeyin çekmesi daha fazla olur ve açısal distorsyon meydana gelir.

Çizelge 5.1: Açısal çarpılma α° cinsinden ifade edilmiştir

Kesit	Açısal Çarpılma	Doldurma Şekli
6mm	1	2 paso, Örtülü Elektrot Ark Kaynağı ile
12mm	0	5 paso, Ö.E.Ark Kayn ile, Kök'e alttan 3 paso atılmış
20mm	7	8 geniş paso, Ö.E.Ark Kaynağı ile
20mm	13	22 dar paso, Ö.E.Ark Kaynağı ile

5.2.4.1 İç Köşe Birleştirmelerde Açısal Distorsyonlar

Açısal distorsyona, tek taraflı tavlama sonucunda sacda oluşan sıcaklık farkları neden olur. İnce saclarda, sac kalınlığı boyunca sıcaklık farkı az olduğu için, kuvvetli enine ve hafif açısal distorsyonlar ortaya çıkar.

Kalın çaplı bir elektrot ile tek paso halinde kaynak yapıldığı zaman meydana gelen açısal distorsyon, aynı dikiş yüksekliği için ince çaplı elektrotla çok pasolar halinde yapılan kaynağa nazaran daha azdır. Düzgün olmayan temas halinde, iki parça arasındaki mesafenin büyümesi açısal distorsyonu fazlalaştırır.

Taşıyıcı kirişlerin kaynağında, yatay parçaya daha önceden ters tarafa doğru bir şekil verilirse kaynaktan sonra oluşacak olan açısal distorsyon önlenmiş olur.

Alın birleştirmelerdekine benzer olarak kaynak konstrüksiyonun kalınlığı boyunca üniform olmayan ısısal daralmalar nedeni ile konstrüksiyonun ağırlık merkezi (nötr eksen) etrafında oluşan moment açısal distorsyona neden olur.

Açısal distorsyonu şu formül ile hesaplayabiliriz.

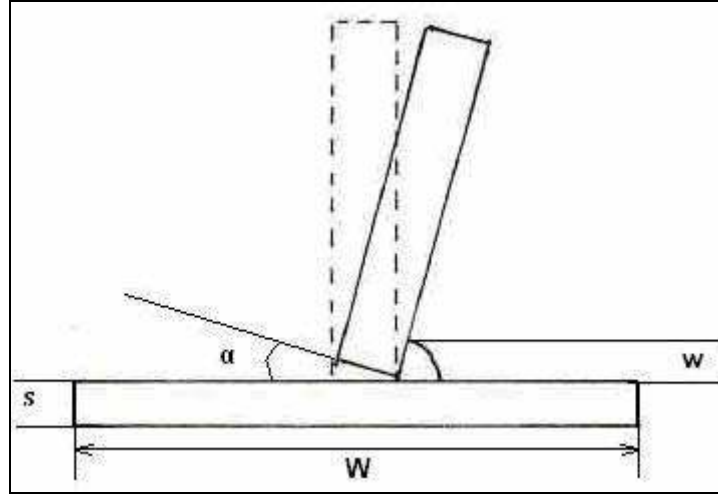
$$\Delta_\alpha = 0.02 \cdot W \cdot w^{1.3} / s^2$$

Δ_α : Açısal distorsyon (mm)

W: Konstrüksiyonun genişliği (mm)

w: kaynak boyutu (mm)

s: Konstrüksiyonun kalınlığı (mm)



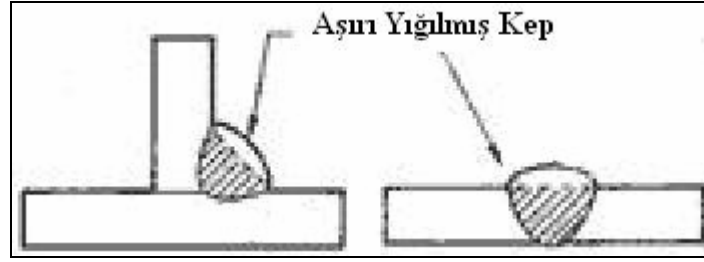
Şekil 5.7: İç köşe kaynağında açısal distorsyon.

5.3 Distorsyonu Azaltmak İçin Yapılması Gerekenler

Kaynak işleminde meydana gelen distorsyonları, uygun konstrüktif ve teknolojik önlemlerle azaltmak mümkündür. Çoğu kez kaynaktan önce alınacak önlemler, kaynak sonrasında yapılacak işlemlerden daha etkili sonuçlar vermektedir.

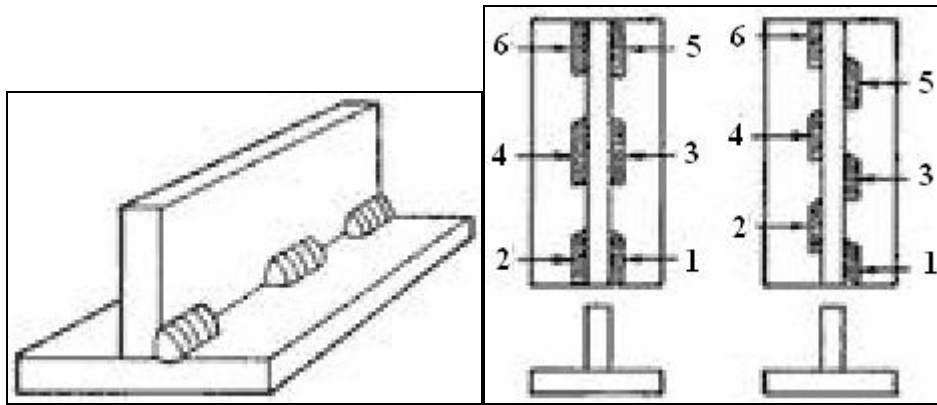
5.3.1 Konstrüktif Önlemler

- Kaynak tekniğine uygun dizayn yapılmalıdır
- Kaynak dikişleri ölçüden fazla olmamalı, yapılan hesapların verdiği veya standartlardan alınan değerlerin üstüne çıkılmamalıdır. Aşırı kaynaktan uzak durmak gerekir. Yığılmış kep distorsyonu artırır.



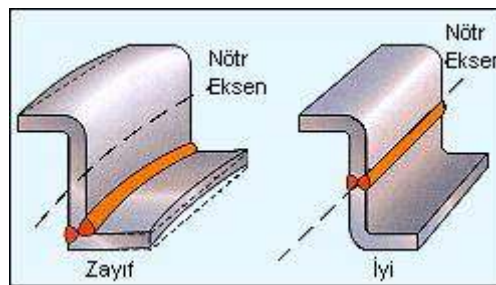
Şekil 5.8: Yığılmış kep

- c. Eğer mümkünse, özellikle ince saclarda iç köşe dikişleri kesikli biçimde düzenlenmelidir. (Dinamik zorlamalara maruz kalmayan konstrüksiyonlar için)



Şekil 5.9: Kesikli kaynak

- d. Kaynak dikişleri ya konstrüksiyonun ağırlık merkezi eksenine denk getirilmeli yada simetrik olarak düzenlenmelidir.



Şekil 5.10: Ağırlık merkezinde atılan dikişlerin görüntüsü

- e. U kaynak ağzı ya da X kaynak ağzı ısı girdisini azaltacağı için distorsyonları da azaltacaktır. V kaynak ağzı kullanılacaksa açının 30° den az olması sağlanmalıdır.
- f. Kuvvet hatlarının akışı açısından, alın birleştirmeler kullanılmalıdır.
- g. Kuvvet akışlarının keskin yön değiştirmelerinden kaçınılmalıdır.

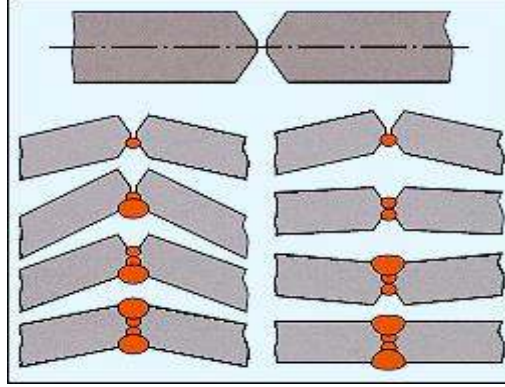
- h. Çok eksenli gerilme halinin meydana çıkması önlenmelidir. Çeşitli kaynak dikişlerinin aynı yerde toplanması halinde, parçanın bazı kısımları ayrılarak gerekli tedbirler alınmalıdır.
- i. Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmamalıdır. Alın kaynak dikişleri arasında en az 200mm'lik bir mesafe bırakılmalıdır.
- j. İnce sac konstrüksiyonlarda burkulma mukavemeti, konstrüktif tedbirlerle takviye edilmelidir.
- k. Olabildiğince iyi şekil değiştirme kabiliyetine sahip malzemeler kullanılmalıdır.
- l. Konstrüksiyon, kaynak esnasında mümkün mertebe uzun müddet kendini serbest olarak çekebilecek tarzda dizayn ve monte edilmelidir.
- m. Bir konstrüksiyonun rijiditesi, kaynak esnasındaki uzama imkanı ile az tutulmalıdır.

5.3.2 Teknolojik Önlemler

- a. Elektrot çapı ve akım şiddeti, kaynak ve gerilme tekniği bakımından uygun tespit edilmelidir. Böylece parçaya gereksiz miktarda fazla ısının verilmesi engellenmiş olur.
- b. Uygun kaynak sırası hazırlanmalıdır.
- c. Kök pasosunda meydana gelecek çatlakların önlenmesi için, bu paso kalın bir elektrot ile kaynak yapılmalıdır.
- d. Minimum gerilme uçlarının meydana gelmesi için, genel olarak kalın çaplı elektrot kullanılmalıdır.
- e. Açısal distorsyonu azaltmak için, kaynak ağızları mümkün mertebe kalın tabakalar halinde doldurulmalıdır.
- f. Tabaka halindeki kaynak, dar pasolar halinde kaynaktan daha iyidir.
- g. Kaynak ağzının dar pasolarla doldurulması halinde, kaynağa önce ağzın kenarlarından başlanmalı ve sonra ortadaki paso kaynak yapılmalıdır.
- h. Üst pasolar gerilme uçları oluşturduğundan, tek taraflı ağız şekillerinde, çok sayıda dar paso ile kaynak yapmaktan kaçınılmalıdır. Her paso ısı girdisi anlamına gelmektedir.

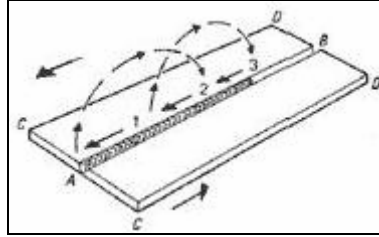
Kök ve kapak paso haricinde, olabildiğince az paso atmak gerekir. Çok paso aynı zamanda maliyeti de arttıracaktır.

- i. Açısal distorsyonu azaltmak için, simetrik dikişler sıralı şekilde atılmalıdır.



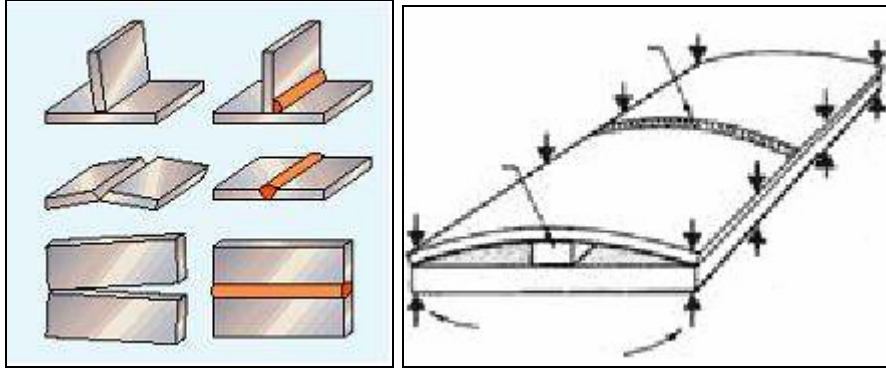
Şekil 5.11: Simetrik dikişler

- j. İmkanlar nispetinde sıçrama veya geri adım tekniğinde kısa dikişler çekerek kaynak yapılmalıdır.



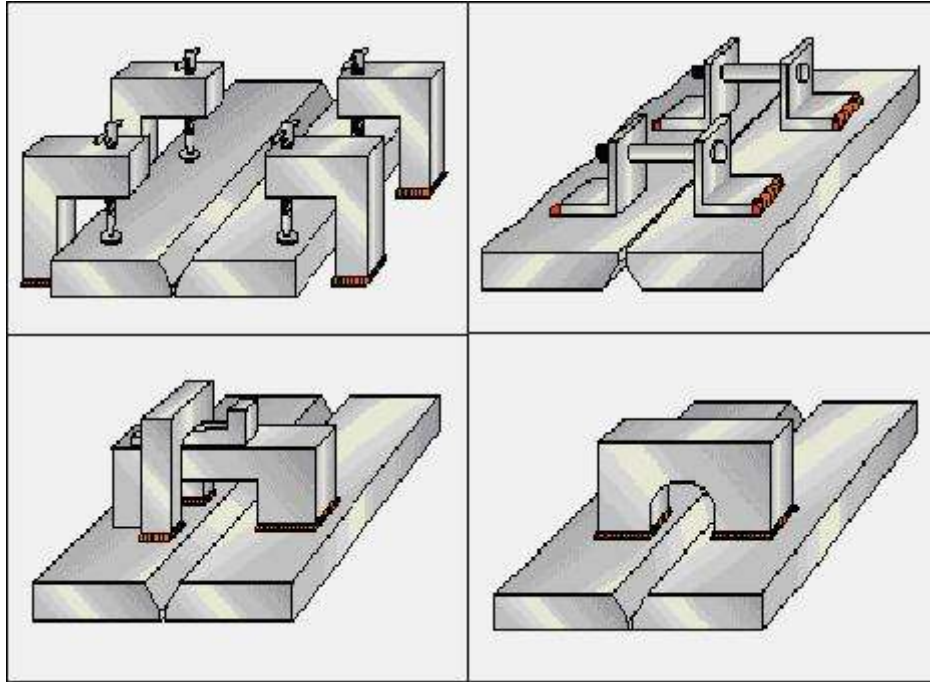
Şekil 5.12: Geri adım tekniği

- k. Takviyeler, mümkünse en sonda kaynak edilmelidir.
- l. Bir yama ve deliğin kaynağında, enine gerilmeleri azaltmak ve çatlama tehlikesini önlemek için, yamaya hafif bombelik verilmelidir.
- m. Kaynak sonrasında oluşması muhtemel açığı kaynaktan önce eğri çatarak oluşturup, kaynak sonrası normal formunu bulmasını sağlanmalıdır.



Şekil 5.13: Kaynak öncesi ters sehim vermek.

- n. Bağlama elemanları içerisinde, kaynak yapılması mümkün olmayan parçalar, enine kendini çekme istikametinde belirli bir hareket miktarına izin verilecek şekilde, el mengeneleri ile sabitlenmelidir.

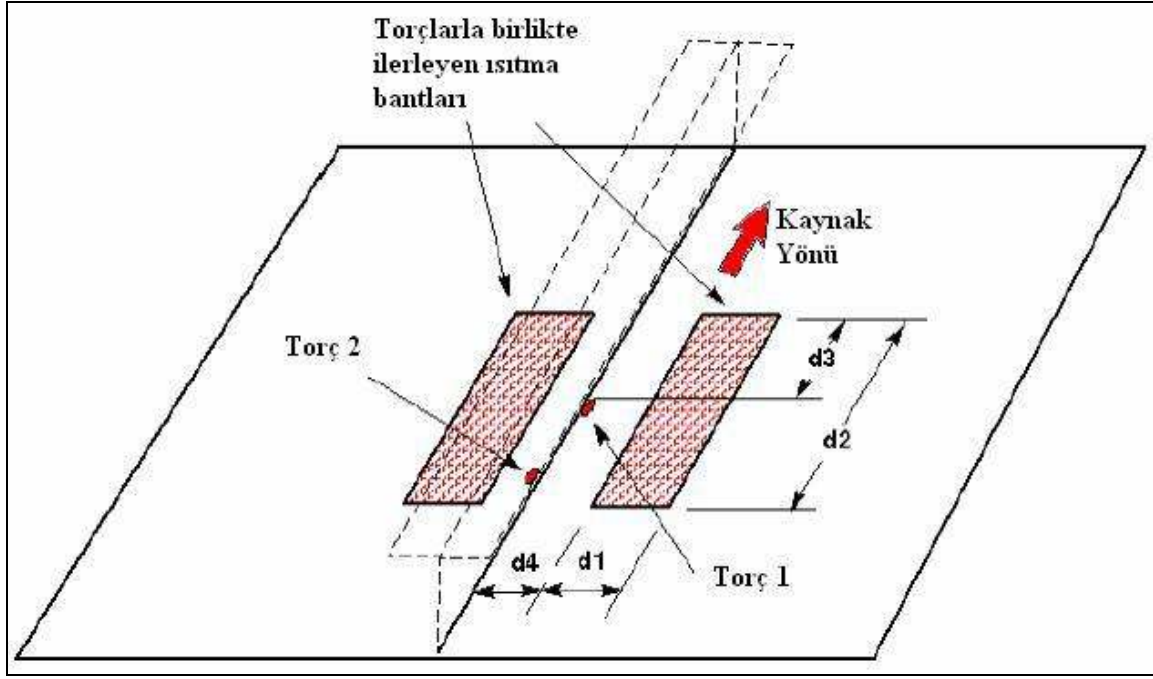


Şekil 5.14: Kaynakta kullanılan bazı sabitleme elemanları

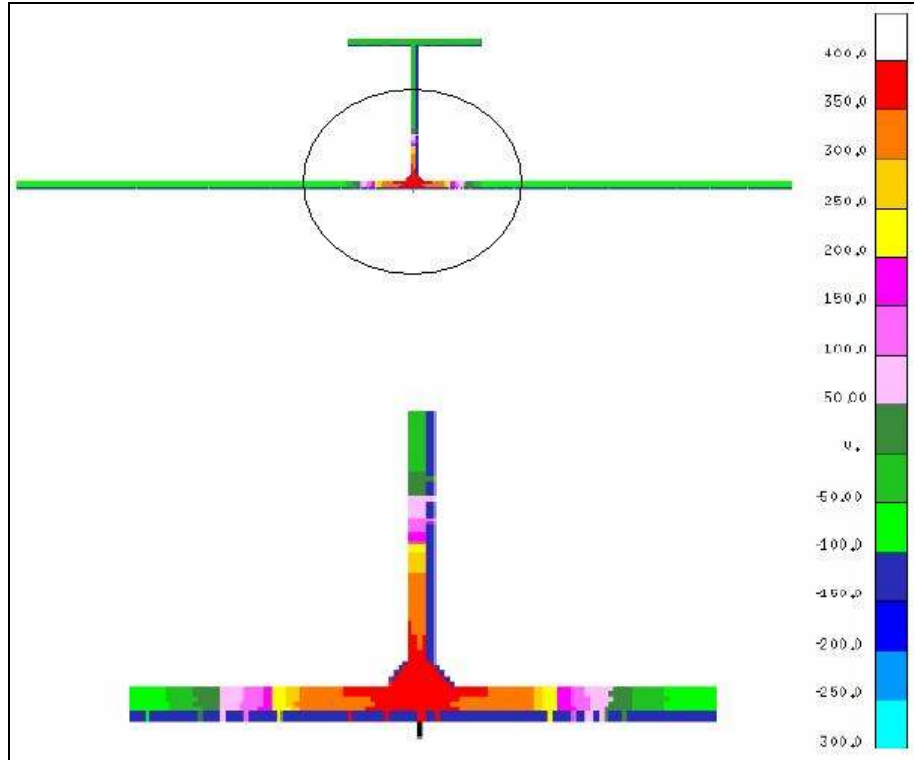
- o. Kirişlerin dikey kısımlarının birbirine alın olarak birleştirilmesinde, dikey levhanın kendini iyice çekebilmesi için, önce boğaz kirişleri 300mm kadar açık bırakılmalıdır.
- p. Kaynak sırasında geçiş bölgesi sertleşen malzeme veya kalın kesitlerde, bir ön tavlama uygulanarak ya da kalın bir elektrot seçerek gerekli tedbirler alınmalıdır.

5.4 Geçici Isıl Gerilmelendirme Yöntemi

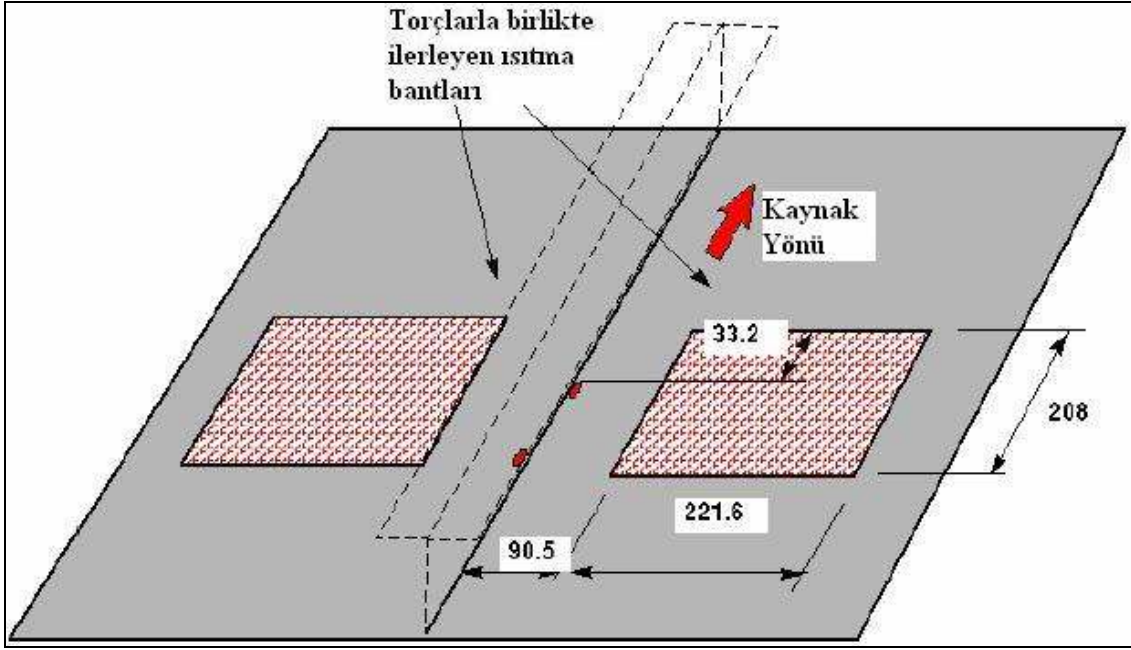
Geçici ısı gerilmelendirme yöntemi temel olarak iki ısıtıcı bandın torçlar ile birlikte iş parçası üzerinde hareket etmesine dayanan burkulma azaltıcı bir yöntemdir. Bir yandan kaynak işlemi devam ederken, bir yandan da ısıtıcı bantlar iş parçasını ısıtır. Böylece geçici bir ısı gerilme sağlanmış olur. Isıtıcı bantların boyları, d_1 , d_2 , d_3 ve d_4 uzunlukları seçilecek kaynak tekniğine göre farklılıklar gösterebilir. Isıtıcı bantlar iş parçasının kenarlarına ne kadar yakın olursa o kadar düzenli bir ısı gerilme sağlanmış olur. Aşağıdaki 3 farklı uygulama şeklinde, farklı boyutlarda ısıtıcı bantların, aynı kaynak tekniği ve ortam şartlarında oluşturdukları ısı gerilmeler gösterilmektedir. (Michaleris, 2002)



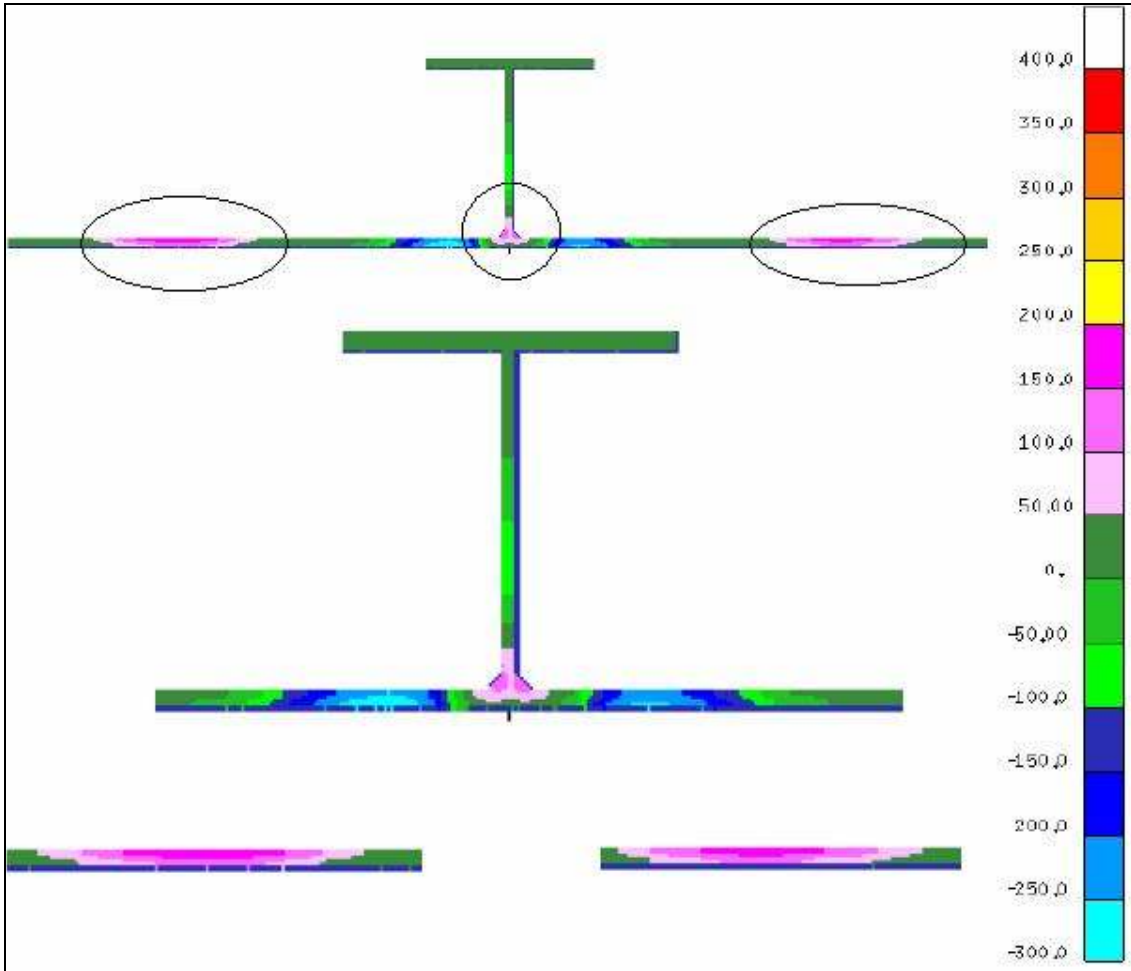
Şekil 5.15: Geçici ısııl gerilmelendirme tekniği şeması. (Uygulama 1)



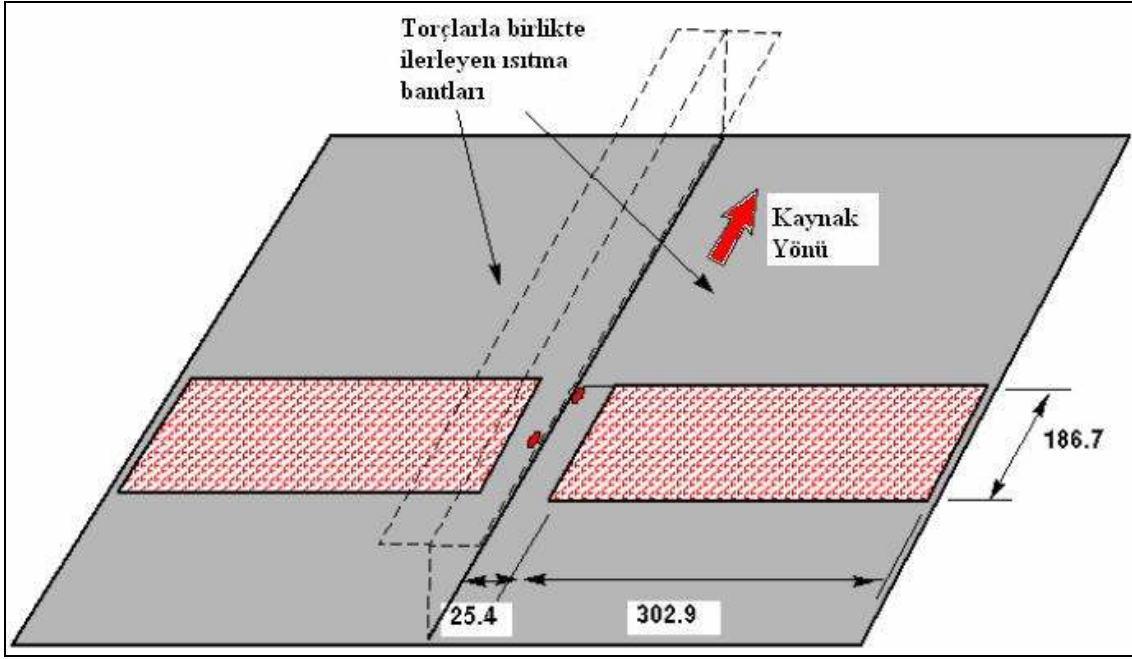
Şekil 5.16: Uygulama 1'deki şemanın oluşturduğu artık gerilmeler (MPa)



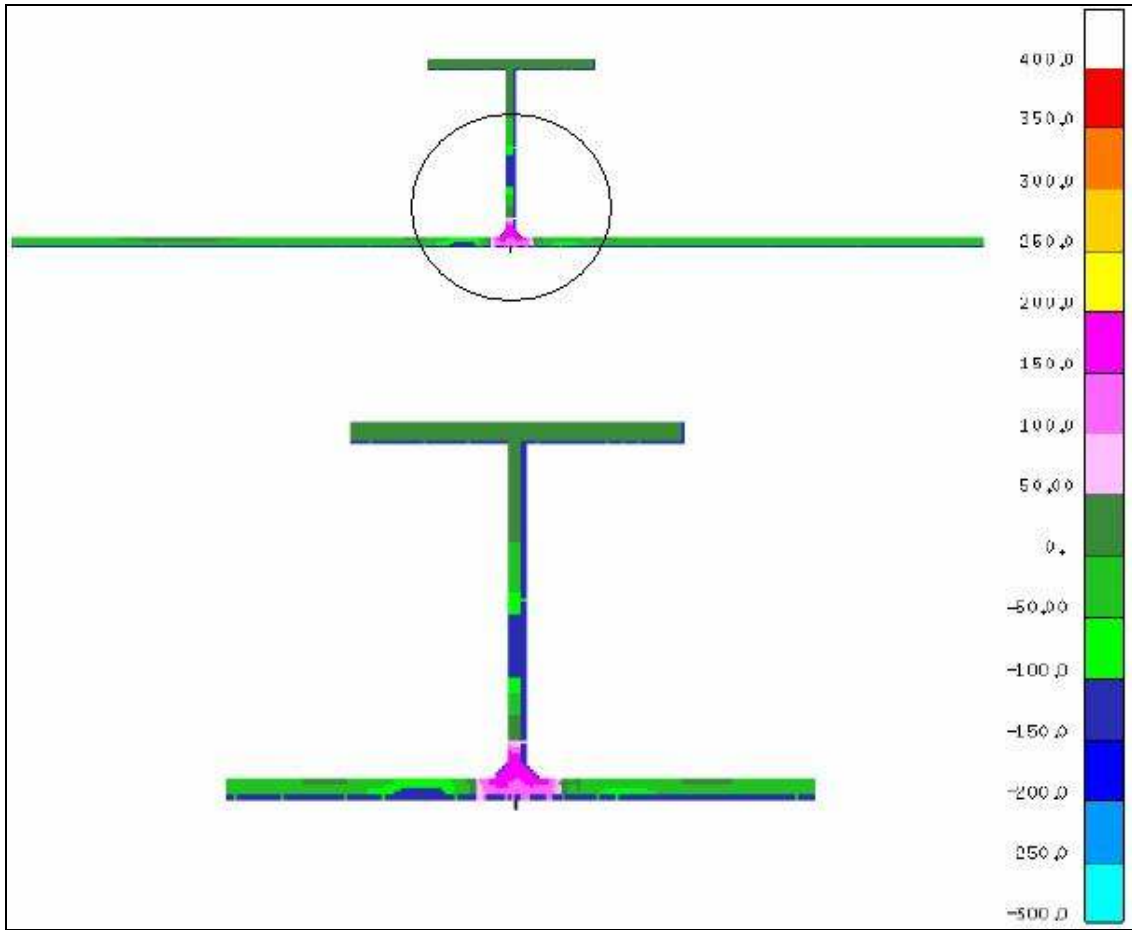
Şekil 5.17: Geçici ısı gerilmelendirme tekniği şeması.(Uygulama 2)



Şekil 5.18: Uygulama 2'deki şemanın oluşturduğu artık Gerilmeler (MPa)

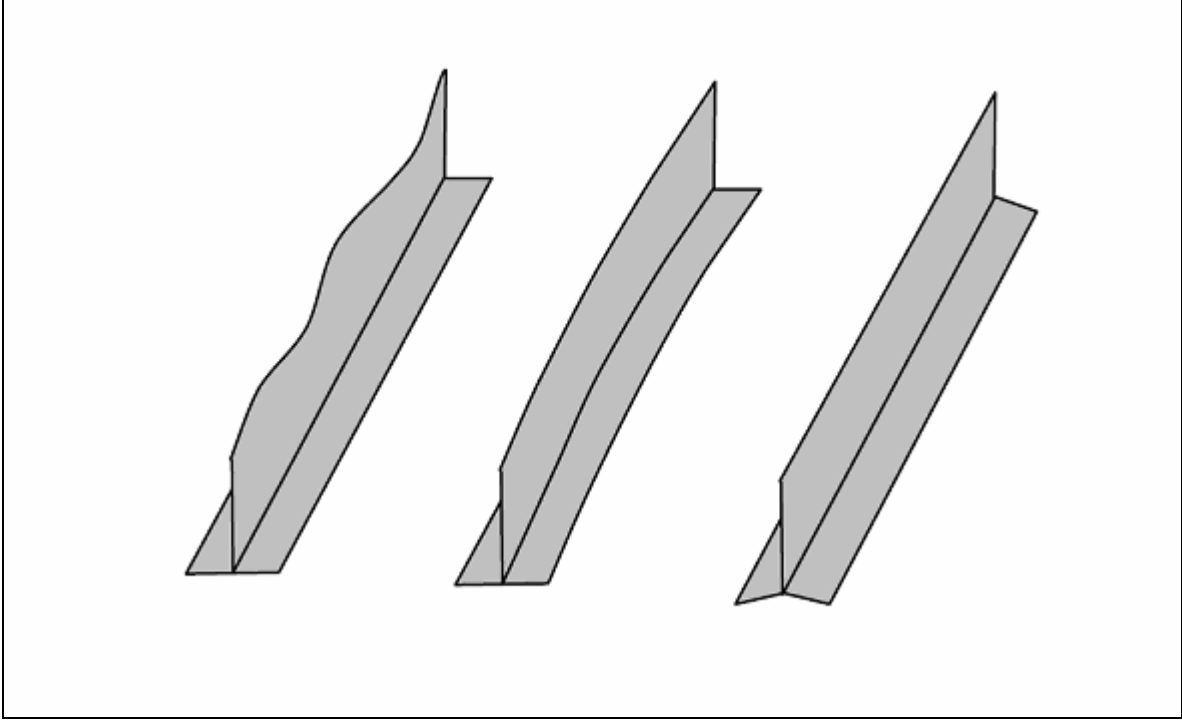


Şekil 5.19: Geçici ısııl gerilmelendirme tekniği şeması.(Uygulama 3)



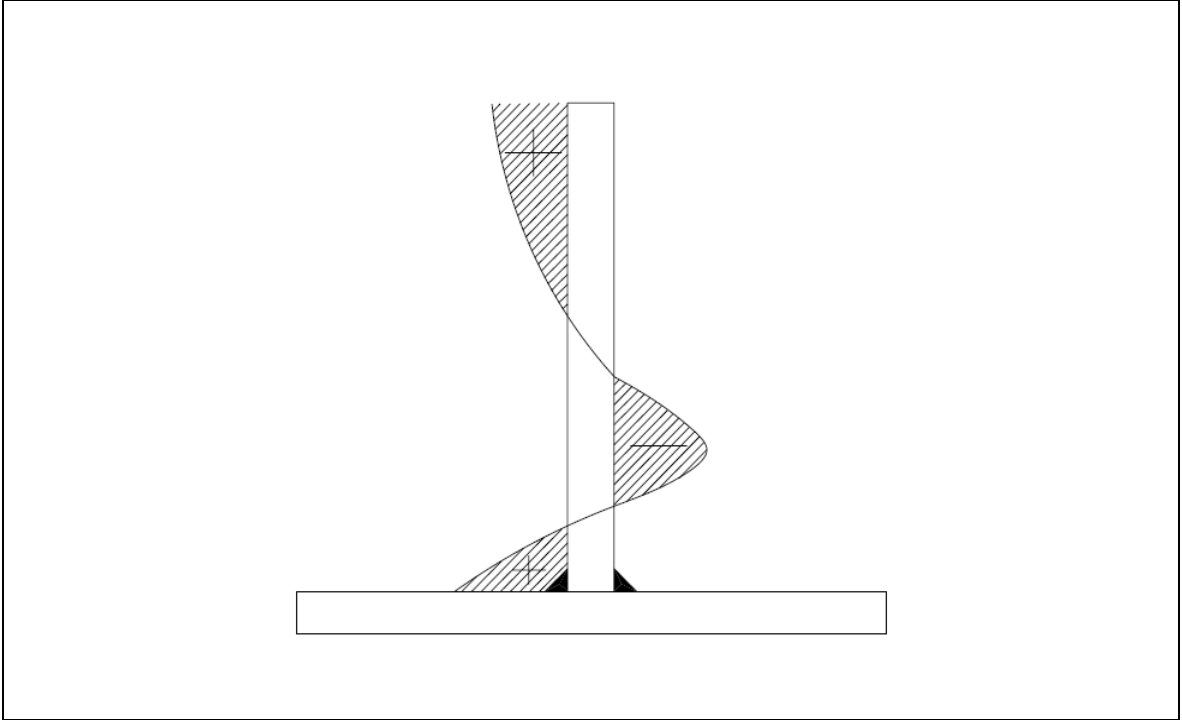
Şekil 5.20: Uygulama 3'teki şemanın oluşturduğu artık gerilmeler (MPa)

5.4.1 Kaynaklı T Konstrüksiyonlarda Gerilmelerin Azaltılması



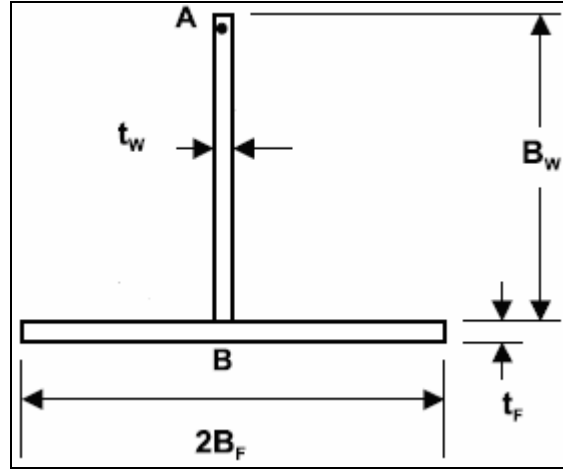
Şekil 5.21: T Bağlantılarda meydana gelen distorsyonlar – (bükülmeler, eğilmeler, açısall distorsyon)

5.4.1.1 Artık Gerilmeler ve Eğilmeler



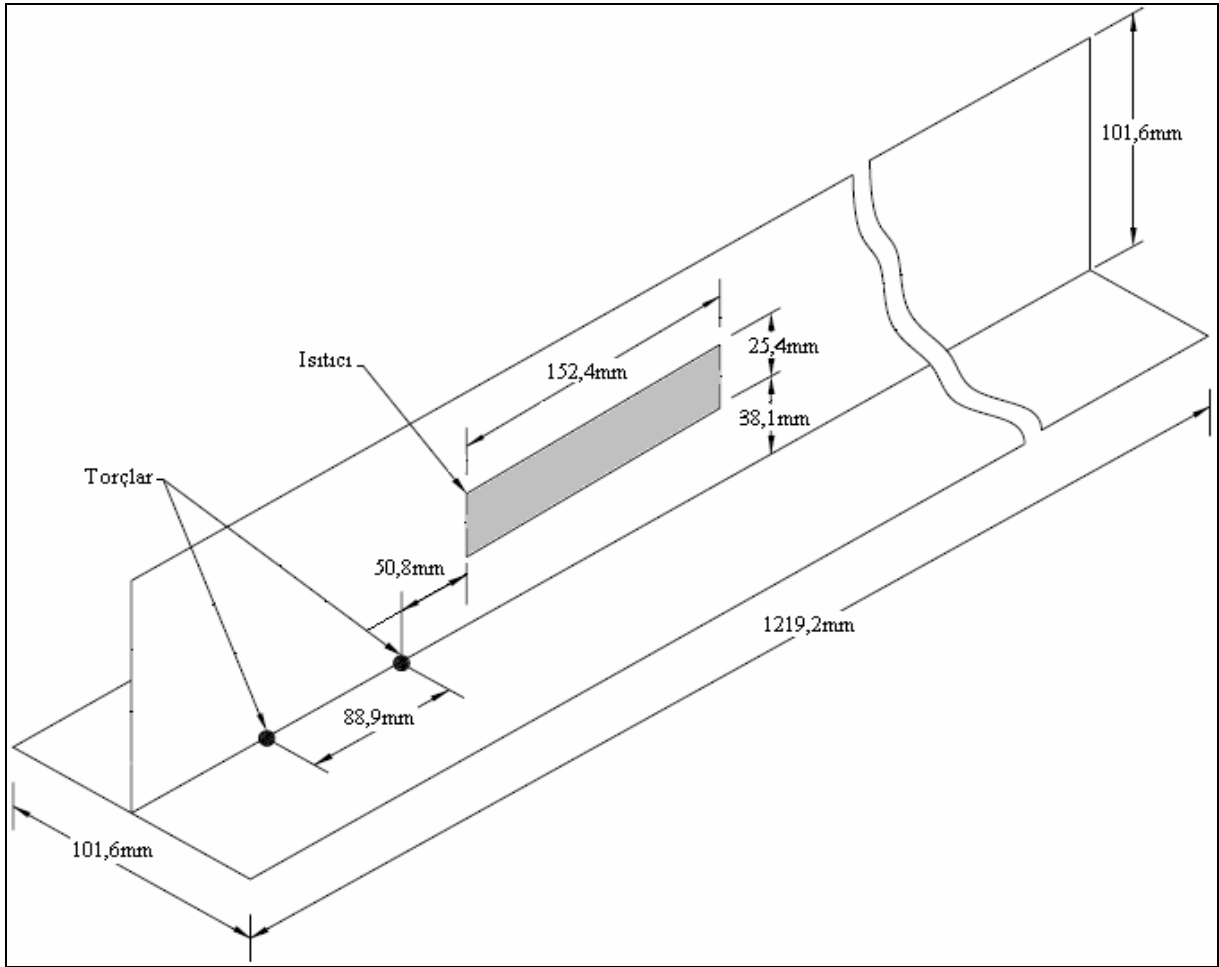
Şekil 5.22: T Bağlantıda artık gerilmelerin dağılışı

5.4.1.2 Konu İle İlgili Daha önce Yapılmış Çalışmalar



B _w	t _w	2B _f	t _f	Uzunluk
101.6 mm	4.7mm	101.6 mm	4.7mm	1219.2mm

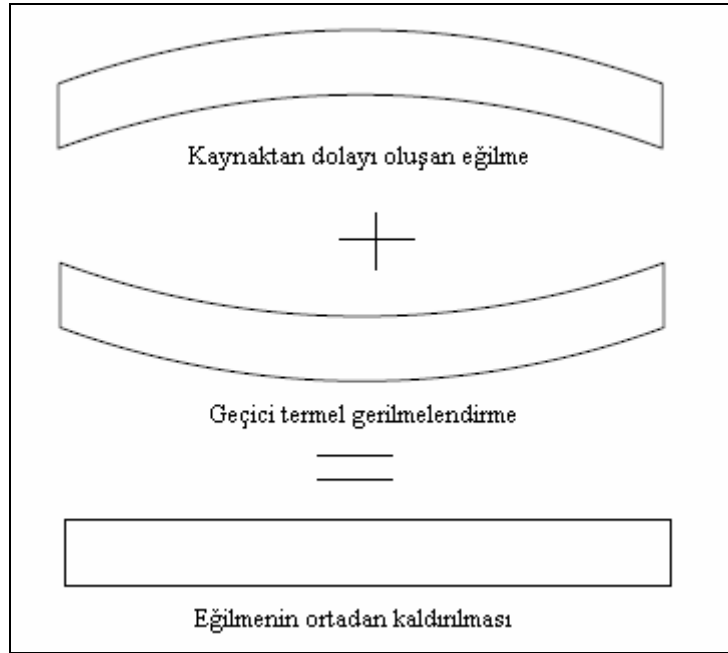
Şekil 5.23: Deney numunesi boyutları



Şekil 5.24: Deney numunesi ve deney düzeneğinin şekli

5.4.1.3 Geçici Isıl Gerilmelendirme Deneyinin Amacı

Geçici ısı gerilmelendirme ile eğilmenin ortadan kaldırılması



Şekil 5.25: Yapılmak istenen çalışma. Kaynak sonrası oluşan gerilmeler, geçici ısı gerilmelendirme ile azaltılacak

5.4.1.4 Deney Koşulları

ASTM A36 çeliği – ER70S-6 tel – 8890mm/dk tel besleme hızı

Çift taraflı MAG kaynağı, Kısa devre akım

Koruyucu gaz: %75 Argon - %25 CO₂

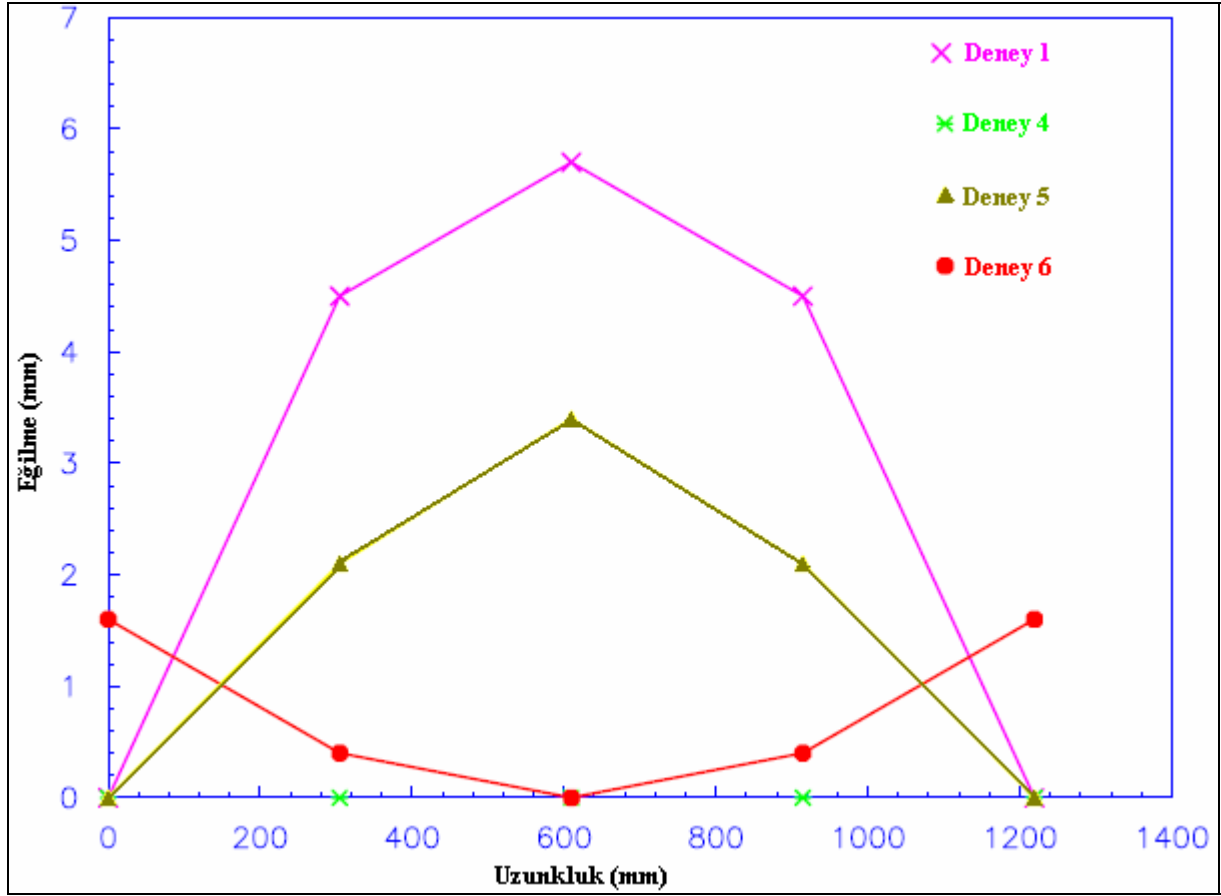
Çizelge 5.2: Deney koşulları

Deney	Kaynak Büyüklüğü	Volt	Amper	Kaynak Hızı	Yüzey ısıtma	Hizalama kaynağı
1	3.9mm	24	200	381mm/dk	Hayır	Evet
2	3.9mm	24	200	381mm/dk	Hayır	Hayır
3	3.9mm	24	200	381mm/dk	140°C	Evet
4	3.9mm	24	200	381mm/dk	140°C	Hayır
5	3.9mm	24	200	381mm/dk	125°C	Hayır
6	3.9mm	24	200	381mm/dk	160°C	Hayır

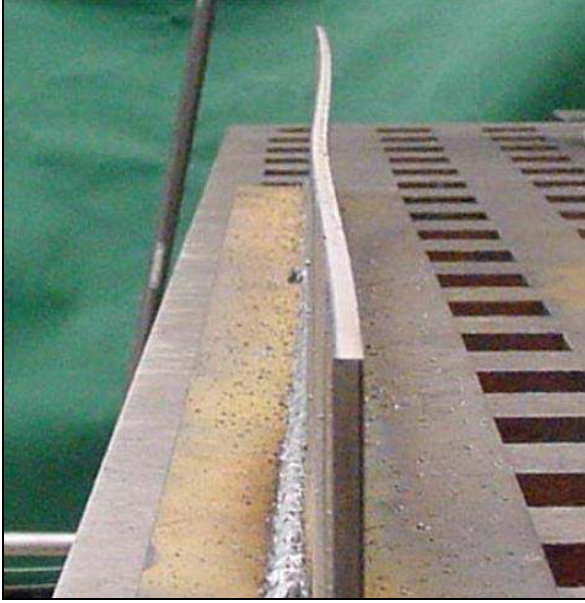
5.4.1.5 Deneyin Sonuçları

Çizelge 5.3: Sonuçlar

Deney	Yüzey tavlama	Hizalama kaynağı	Oluşan eğilme
1	Hayır	Evet	5.7mm
2	Hayır	Hayır	5.7mm
3	140C	Evet	5.2mm
4	140C	Hayır	-
5	125C	Hayır	3.5mm
6	160C	Hayır	-1.6mm

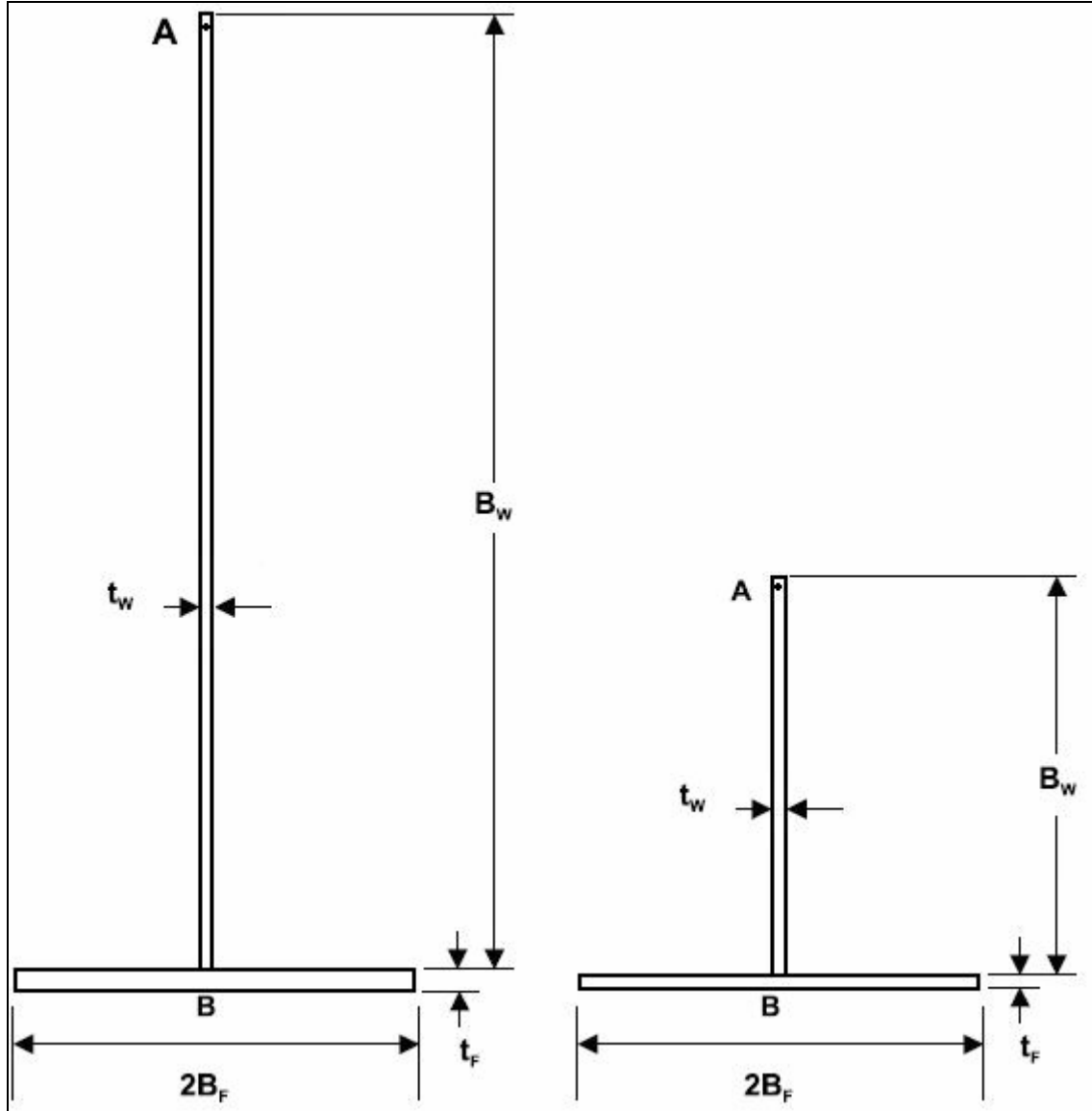


Şekil 5.26: Deney sonuç grafiği, numunedeki eğilme (mm)



Şekil 5.27: Deney 3’te karşılaşılan eğilme ve Deney 6’da karşılaşılan eğilme

5.4.2 T Bağlantılarda Deneysel Distorsyon Analizi



Şekil 5.28: 1. deney parçası ve 2. deney parçası

Çizelge 5.4: Deney koşulları çizelgesi

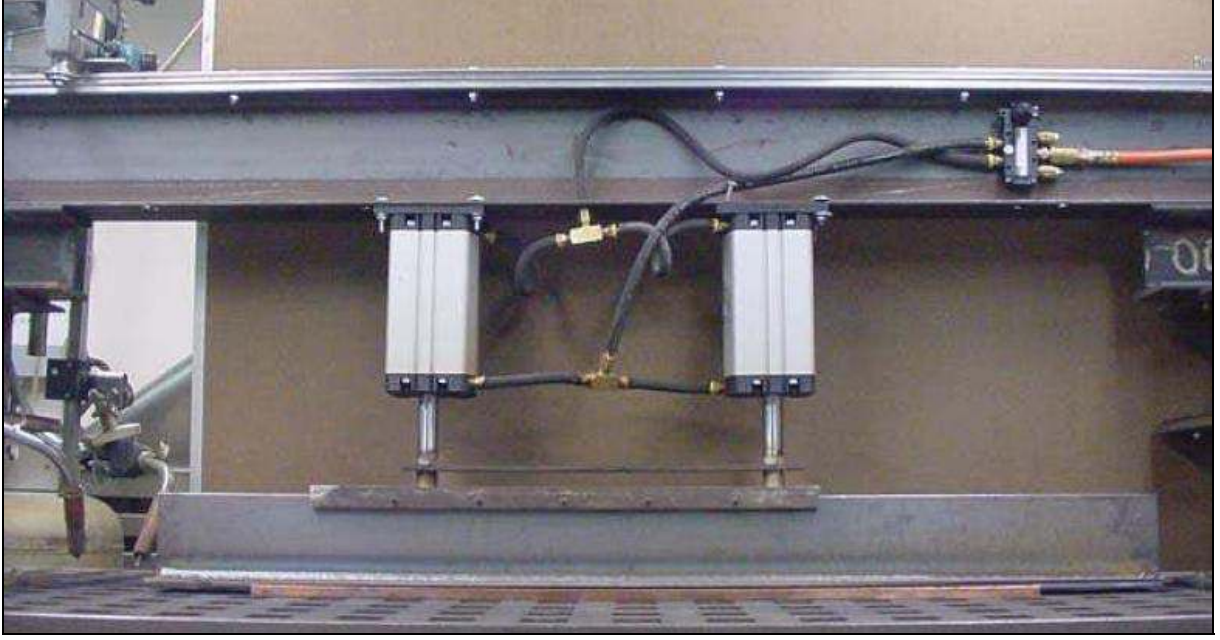
Deney	t_w	t_f	B_w	$2B_f$	Volt	Akım	Kaynak Hızı	Kaynak boyutu	Isı girişi
1	4,76 mm	6,35 mm	298,4 mm	101,6 mm	27	285	381mm/dk	4,76 mm	121,2 Kj/mm
2	4,76 mm	4,76 mm	101,2 mm	101,2 mm	24	200	381mm/dk	3,96 mm	75,6 Kj/mm

5.4.2.1 Deney Koşulları

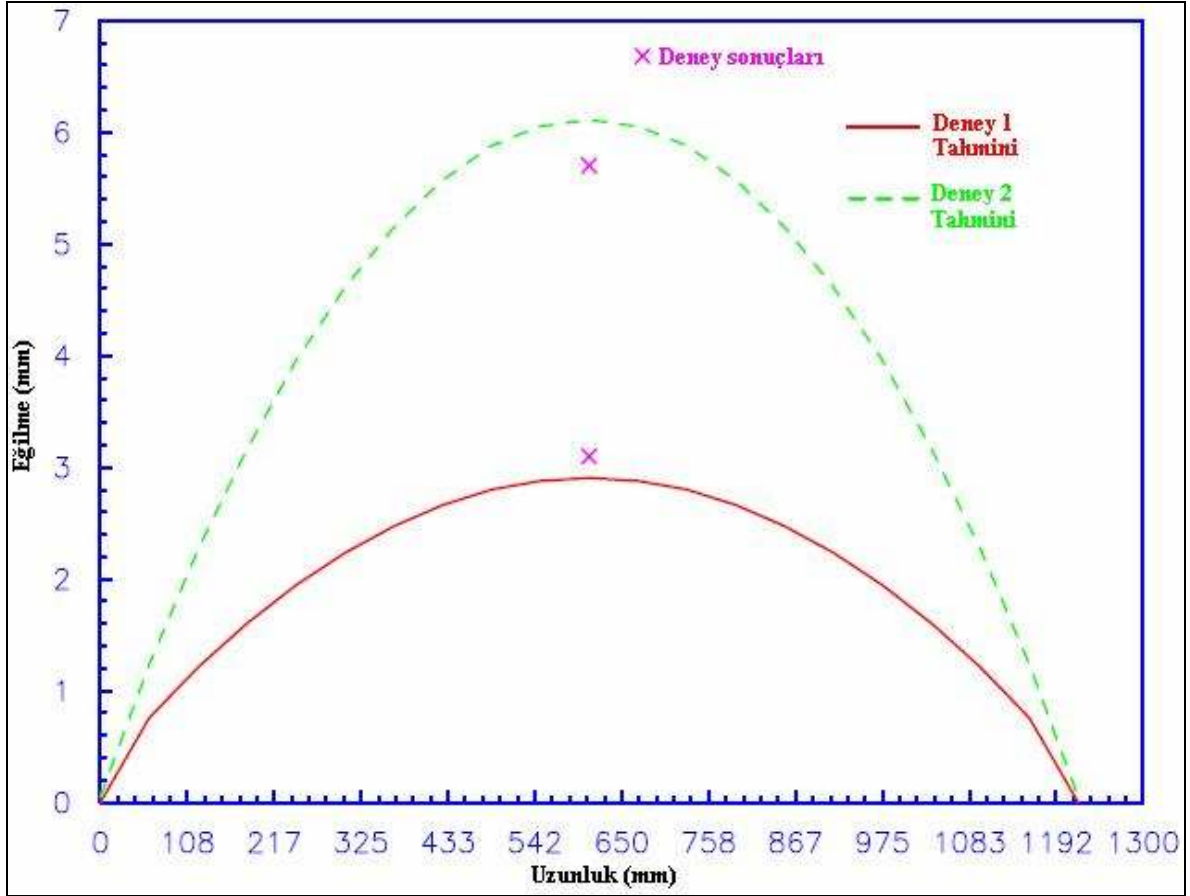
ASTM A36 çeliği – ER70S-6 tel – 8890mm/dk tel besleme hızı

Çift taraflı MAG kaynağı, Kısa devre akım

Koruyucu gaz: %75 Argon - %25 CO₂



Şekil 5.29: Deney düzeneği

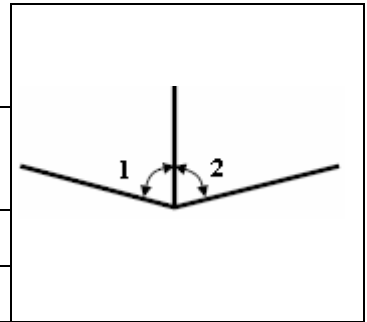


Şekil 5.30: Tahmin edilen sonuçlar ve gerçekleşen sonuçlar (mm)

5.4.2.2 Deneyin Sonuçları

Çizelge 5.5: Oluşan eğilmeler ve distorsyonlar

Deney	A noktasındaki artık gerilme	Bükülme	Eğilme	Açısal1 °	Açısal2 °
1	197	Hayır	3,1 mm	89,10	86,31
2	130	Hayır	5,7 mm	84,22	86,42

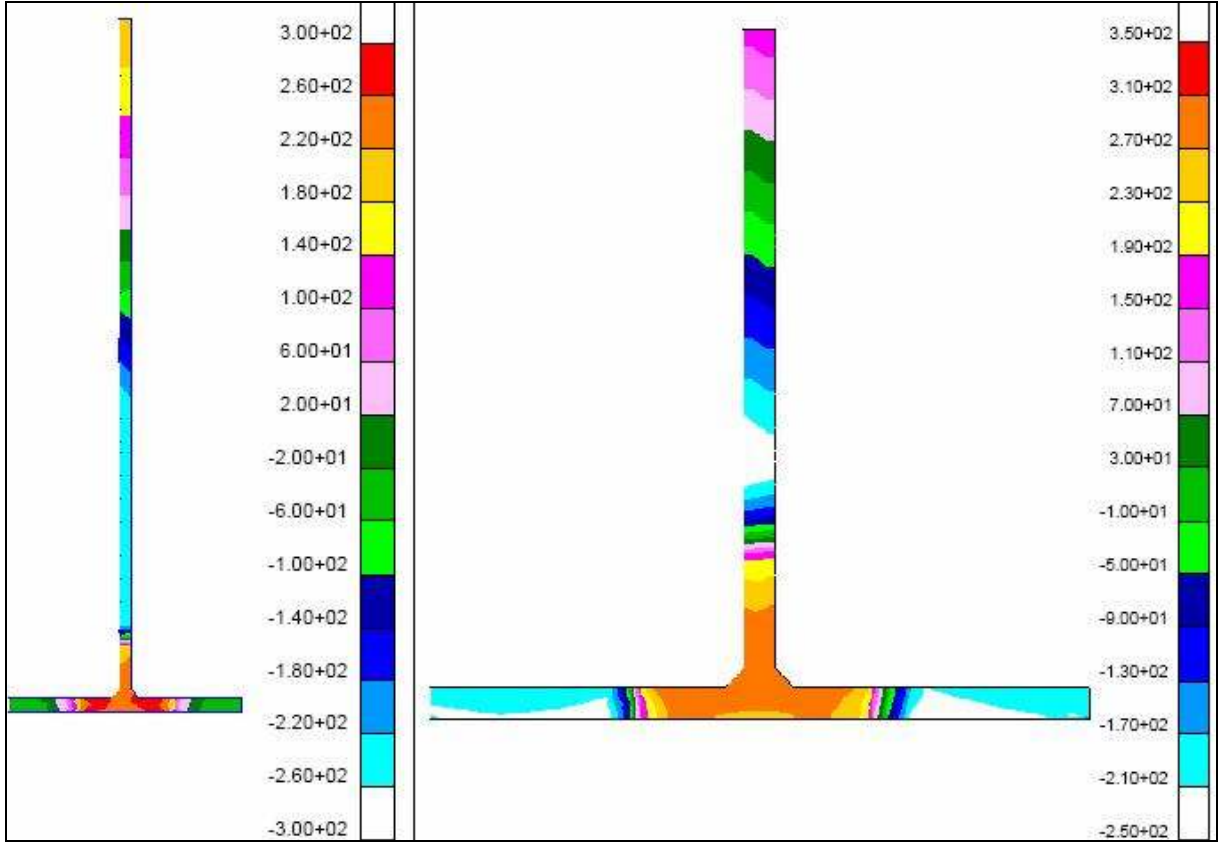




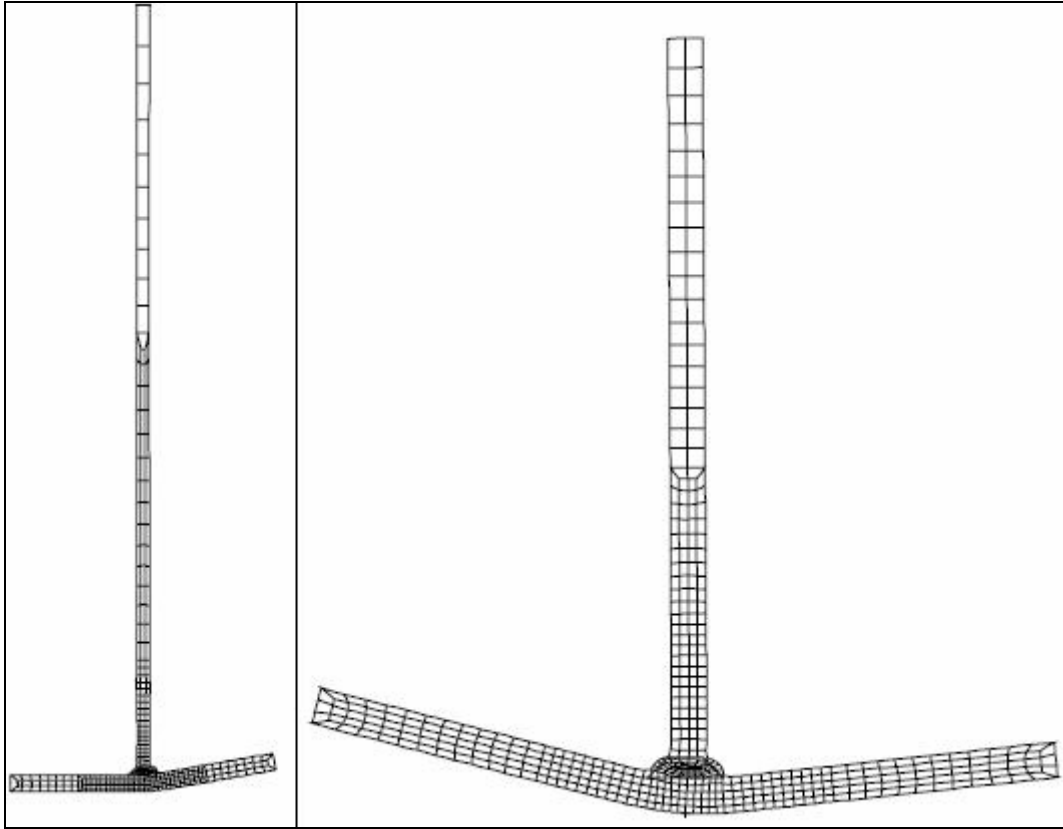
Şekil 5.31: Deney 1’de yapılan kaynak sonucu oluşan konstrüksiyon. Boyuna eğilme resimde belli olmaktadır.



Şekil 5.32: Deney 2’de yapılan kaynak sonucu oluşan konstrüksiyon. Boyuna eğilme resimde belli olmaktadır.



Şekil 5.33: Deney 1 ve Deney 2 sonucunda numunelerde oluşan artık gerilmeler (MPa)



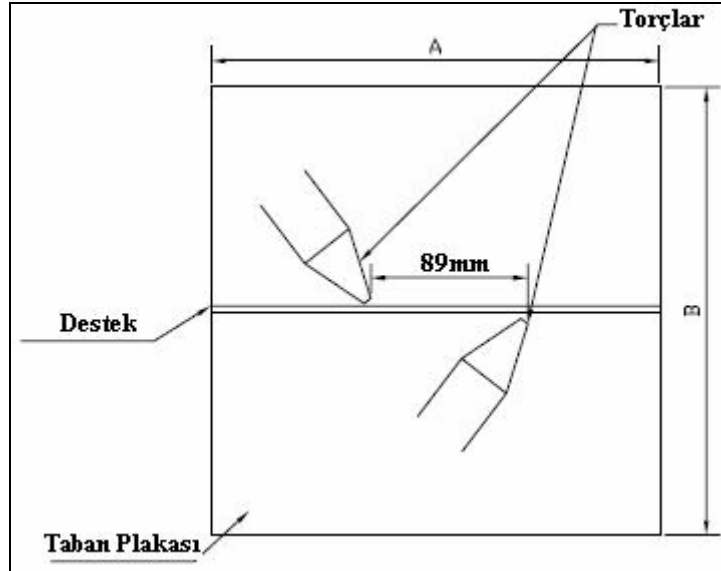
Şekil 5.34: Deney 1 ve Deney 2 de gerçekleşen açısıl distorsyon

5.4.3 Kaynaklı Bağlantılarda Bükülmenin İncelenmesi

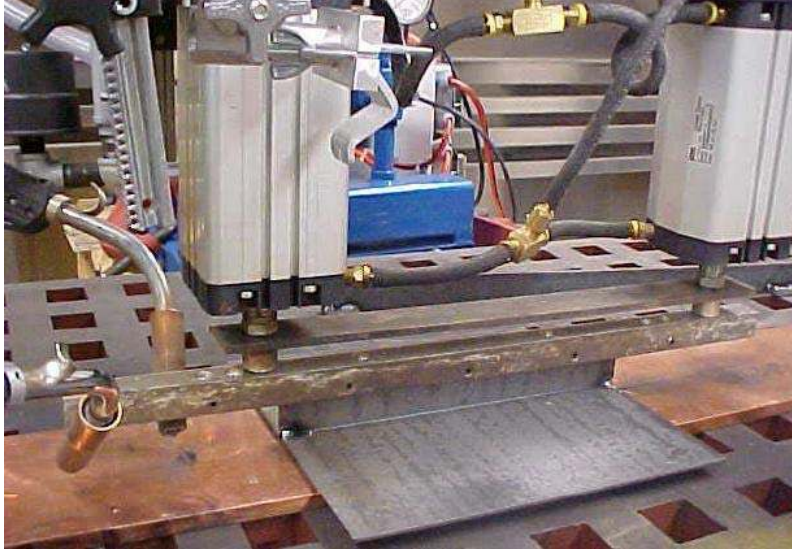
Bu çalışma, tahmini distorsyon analizi yaklaşımını açıklamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar ile bazı sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır. 3 farklı deney koşulu uygulanmıştır. Deneyler, MIG kaynağı ile kısa devre akım tekniği kullanılarak, ER70s-6 elektrot ile bakır altlık üzerinde yapılmıştır. 75/25 Argon-CO₂ karışımı koruyucu gaz kullanılmıştır. (Michaleris, 2002)

Çizelge 5.6: Deney koşulları

Deney	A(mm)	B(mm)	Kalınlık(mm)	Kaynak Gerilimi	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Hızı mm/dk	Tel hızı (mm/dk)
1	254	254	1,6	17,8	68	384	1920
2	254	254	3,2	21,4	167	384	4608
3	304	304	3,2	21,4	167	384	4608



Şekil 5.35: Deney düzeneği

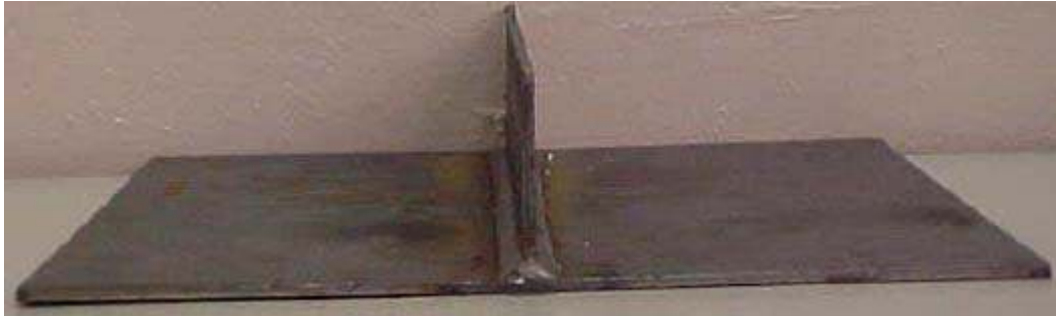


Şekil 5.36: Deney düzeneğinin fotoğrafı

Deneylerin sonucunda plakalar üzerinde meydana gelen bükülmeler aşağıda gösterilen şekillerdeki gibi olmuştur.



Şekil 5.37: Deney 1’de meydana gelen bükülme



Şekil 5.38: Deney 2’de oluşan konstrüksiyon

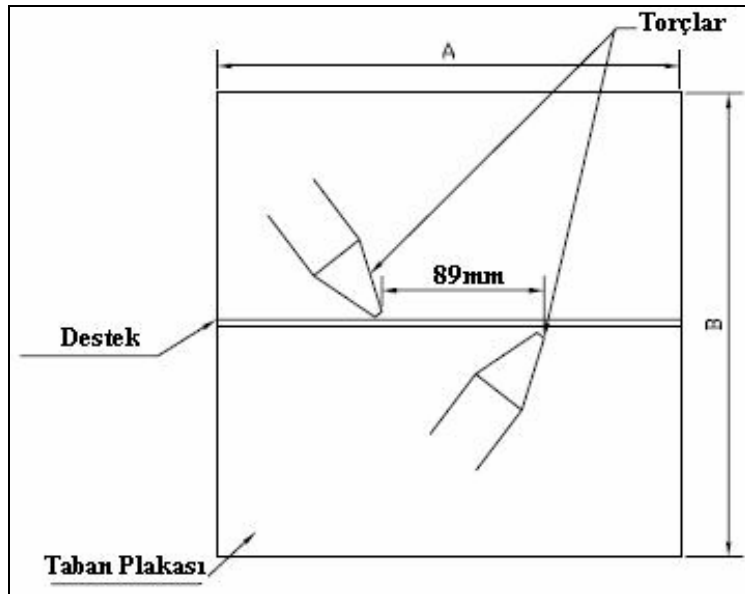


Şekil 5.39: Deney 3’te meydana gelen bükülme

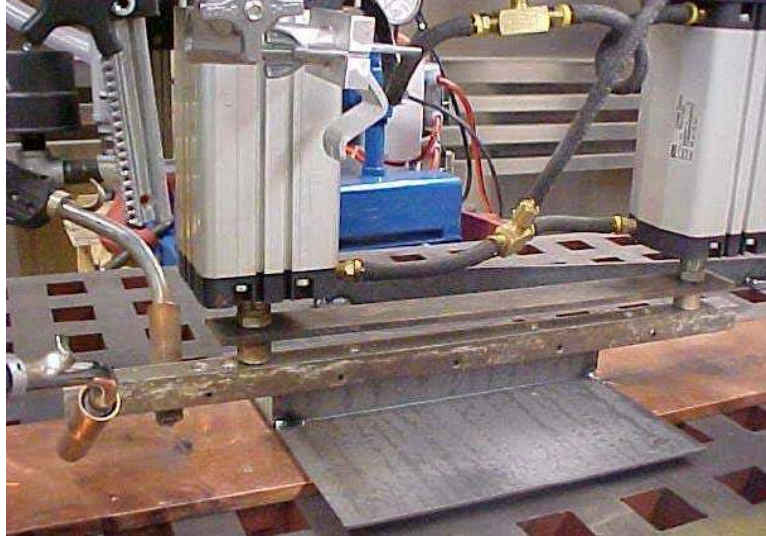
Sonuç olarak, kaynaklı konstrüksiyon üzerindeki artık gerilmelerin kritik bükülme gerilmesinden büyük olması durumunda, bükülme meydana gelmektedir. Kritik bükülme gerilmesi, konstrüksiyonun boyutlarına ve geometrisine bağlı bir büyüklüktür. Kritik bükülme gerilmesinden daha düşük seviyede artık gerilme oluşturacak kaynak parametrelerinin seçilmesi ile bükülmeden kurtulabilir. Şekil 5.39’da görüldüğü gibi, konstrüksiyonda herhangi bir bükülme meydana gelmemiştir. (Michaleris, 2002)

5.4.4 Kaynak Nedeniyle Meydana Gelen Bükülmelerin Azaltılması

Bu çalışmada geçici ısı gerilmelendirme yöntemiyle bükülmelerin en aza indirilmesi ile ilgili uygulamalar yapılmış, çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. Deneyler, MIG kaynağı ile kısa devre akım tekniği kullanılarak, ER70s-6 elektrot ile bakır altlık üzerinde yapılmıştır. 75/25 Argon-CO₂ karışımı koruyucu gaz kullanılmıştır. (Michaleris, 2002)



Şekil 5.40: Yapılacak kaynakların şematik resmi

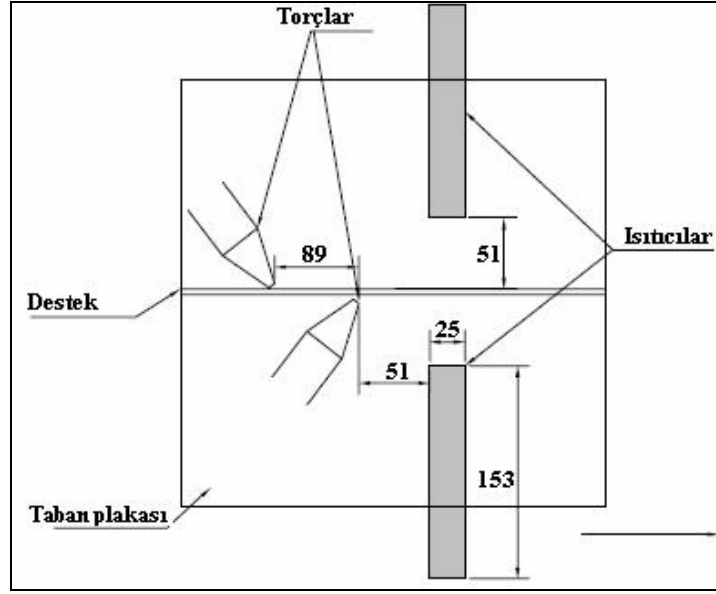


Şekil 5.41: Deney düzeneği

Çizelge 5.7: Deney koşulları

Deney	Boyutlar (mm)	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Tel Hızı (mm/dk)	Yüzey Isıtma	Hizalama
1	307x307x3,2	21,4	167	384	4608	Hayır	Hayır
2	307x307x3,2	21,4	167	384	4608	Hayır	Evet
3	307x307x3,2	21,4	167	384	4608	Evet(200°)	Hayır
4	307x307x3,2	21,4	167	384	4608	Evet(250°)	Hayır
5	307x307x3,2	21,4	167	384	4608	Evet(200°)	Evet

Deney koşulları Çizelge 5.7’de gösterilmektedir. 3, 4 ve 5. deneylerde yüzey ısıtma ile, geçici ısı gerilmelendirme tekniği kullanılmıştır. Bu tekniğin uygulama şeması şekil 5.42’de gösterilmiştir.



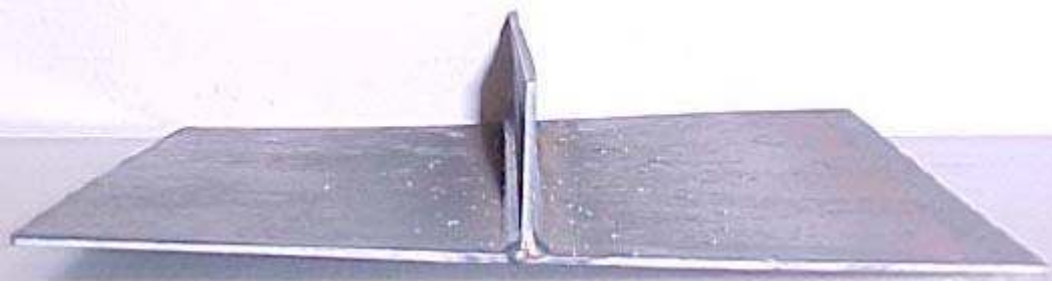
Şekil 5.42: 3, 4 ve 5. deneylerde kullanılan yüzey ısıtma şeması.

Deneylerin sonucunda plakalarda meydana gelen değişimler Çizelge 5.8’de gösterilmektedir.

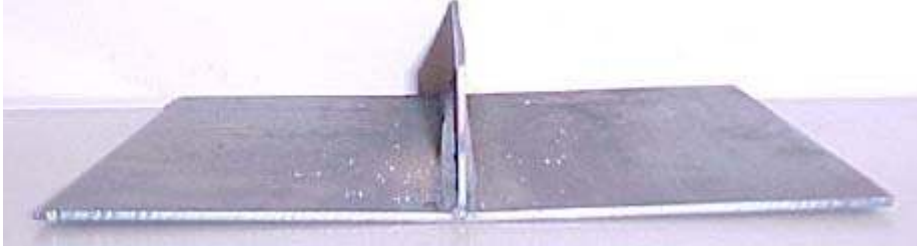
Çizelge 5.8: Deney sonuçları

Deney	Yüzey Isıtma	Hizalama	Bükülme	Açısal Distorsyon
1	Hayır	Hayır	16mm	Hayır
2	Hayır	Evet	16mm	Hayır
3	Evet(200°)	Hayır	Hayır	3,2mm
4	Evet(250°)	Hayır	Hayır	3,2mm
5	Evet(200°)	Evet	Hayır	Hayır

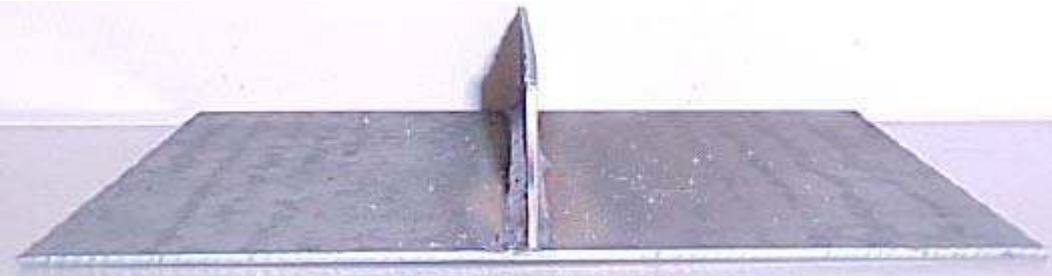
Sonuç olarak, bükülme engellenebilir bir hadisedir. Isıtıcı bantlar sayesinde panelin serbest uçlarındaki gerilme kritik bükülme gerilmesinin altında tutulabilir. Mekanik zorlamalar ile bükülme engellenemez. Ancak bükülme ortadan kaldırıldığı takdirde açısal distorsyon hesaplanabilir. Mekanik zorlamalar açısal distorsyonun önlenmesinde faydalı olabilir. Deneyler sonucunda ortaya çıkan konstrüksiyonların fotoğrafları aşağıda gösterilmiştir. (Michaleris, 2002)



Şekil 5.43: Deney 1’de meydana gelen bükülme



Şekil 5.44: Deney 3’de meydana gelen açısal distorsyon



Şekil 5.45: Deney 5’te meydana gelen konstrüksiyon

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Paslanmaz Çeliklerle Yapılan Deneyler

Yapılan çalışmalar 304L kalite östenitik tip paslanmaz çelik seçilerek, farklı kaynak ağızları ve pasolarda TIG kaynağı uygulanmış olup, dolgu teli olarak Ø3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli kullanılmıştır.

Deney No: 1

45° - (V) Kaynak ağızı ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

Ø 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

130Amper akımda

3 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.1: 45° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.2: 45° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 4,8° olmuştur.

Deney No: 2

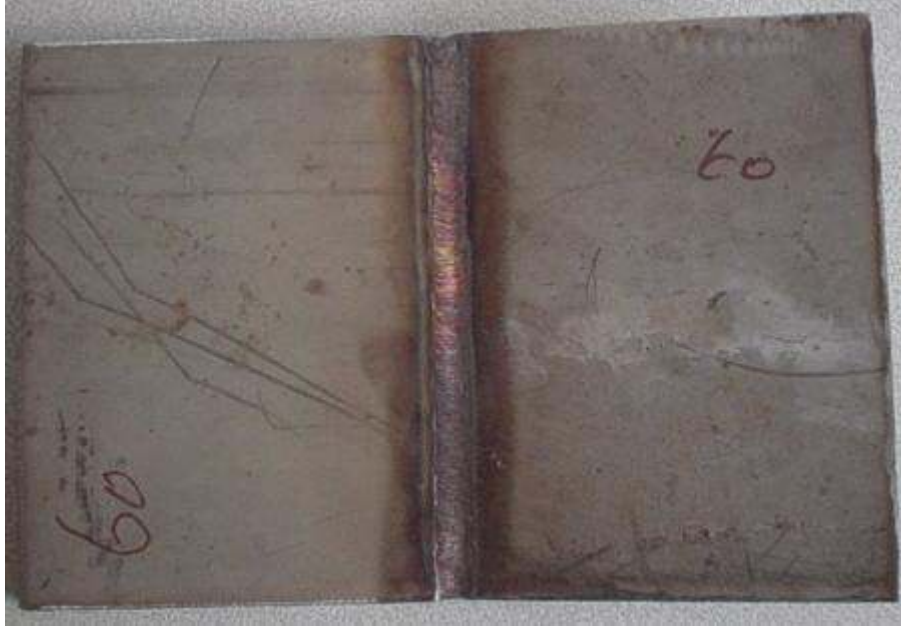
70° - (V) Kaynak ağızı ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

Ø 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

130Amper akımda

4 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.3: 70° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.4: 70° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 12,6° olmuştur.

Deney No: 3

90° - (V) Kaynak ağızı ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

Ø 3.2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

130Amper akımda

7 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.5: 90° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.6: 90° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 16,7° olmuştur.

Deney No: 4

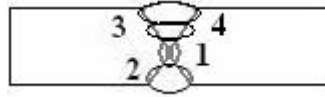
(X) Kaynak ağızı 90° ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

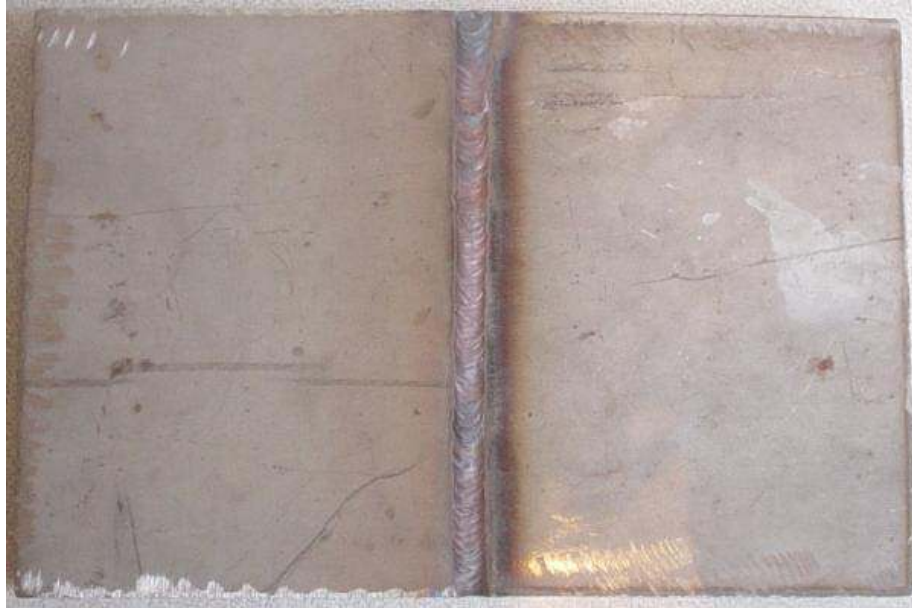
Ø 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

130Amper akımda

4 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.7: Pasoların atılış sırası



Şekil 6.8: (X) Kaynak ağızı 90° ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.9: (X) Kaynak ağızı 90° ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 2,5° olmuştur.

Deney No: 5

(Y) Kaynak ağızı 60° açı ile hazırlanmış

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

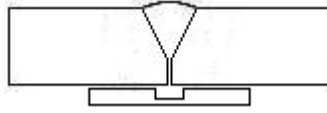
5mm kök alını ve 2mm kök açıklığı bırakılarak,

$\varnothing 3,2$ mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

130Amper akımda

3 paso atılarak bitirilmiştir.

Kaynak sırasında bakır altlık kullanılmıştır.



Şekil 6.10: Numunenin kaynak pozisyonu



Şekil 6.11: (Y) Kaynak ağızı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı



Şekil 6.12: (Y) Kaynak ağızı 60° açı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

Ölçülen açısal distorsyon $2,8^\circ$ olmuştur.

Deney No: 6

(V) Kaynak ağızı 50° açılı ile hazırlanmış

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

$\varnothing$ 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

160Amper akımda

5 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.13: (V) Kaynak ağızı 50° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı



Şekil 6.14: (V) Kaynak ağızı 50° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

Ölçülen açısal distorsyon $10,9^\circ$ olmuştur.

Deney No: 7

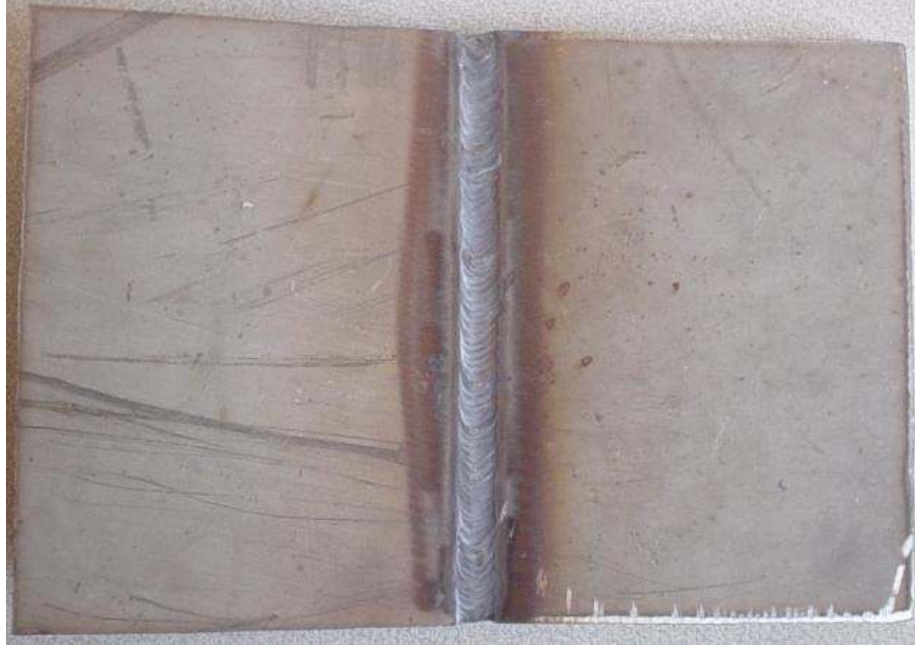
(V) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

$\varnothing$ 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

170Amper akımda

3 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.15: (V) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı



Şekil 6.16: (V) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

Ölçülen açısal distorsiyon 11° olmuştur.

Deney No: 8

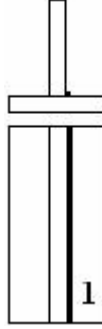
İç köşe kaynağı

150mm x 200mm x 10mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

Ø 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

170Amper akımda

Tek paso ile tek taraftan (sürekli) atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.17: Deney No:8 için kaynak şekli



Şekil 6.18: İç köşe kaynağı, tek taraftan sürekli kaynak

Ölçülen açısal distorsyon, üstteki parçada 2,7°, alttaki parçanın kaynaklı tarafında 2,8° olmuştur.

Deney No: 9

İç köşe kaynağı

150mm x 200mm x 10mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

Ø 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

170Amper akımda

Tek paso ile her iki taraftan da (sürekli) atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.19: Deney No: 9 için kaynak şekli



Şekil 6.20: İç köşe kaynağı, çift taraftan sürekli kaynak

Ölçülen açısız distorsyon üstteki parçada 1,6°, alttaki parçanın 1.kaynağının yapıldığı tarafta 2,8°, alttaki parçanın 2. kaynağının yapıldığı tarafta 2,2° olmuştur.

Deney No: 10

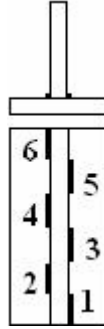
İç köşe kaynağı

150mm x 200mm x 10mm boyutlarındaki 304L kalite parçaların kaynağı

Ø 3,2mm ER308L paslanmaz çelik dolgu teli ile

170Amper akımda

İki taraftan kesikli atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.21: Kaynak şekli



Şekil 6.22: İç köşe kaynağı, çift taraftan kesikli kaynak

Ölçülen açısal distorsyon, üstteki parçada yaklaşık 1°, altta ki parçada 1. pasonun atıldığı tarafta 2,6° olmuştur.

6.2 St-37 Tip Çeliklerle Yapılan Deneyler

Yapılan çalışmalar St-37 tip çelik seçilerek, farklı kaynak ağızları ve pasolarda TIG kaynağı uygulanmış olup, dolgu teli olarak Ø3,2mm SgMo dolgu teli kullanılmıştır.

Deney No: 1

45° - (V) Kaynak ağızı ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip çelik parçaların kaynağı

Ø 3,2mm SgMo dolgu teli ile

130Amper akımda

3 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.23: 45° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.24: 45° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 3,5° olmuştur.

Deney No: 2

70° - (V) Kaynak ağızı ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip parçaların kaynağı

Ø 3,2mm SgMo dolgu teli ile

130Amper akımda

4 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.24: 70° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.25: 70° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 4,1° olmuştur.

Deney No: 3

90° - (V) Kaynak ağızı ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip parçaların kaynağı

Ø 3.2mm SgMo dolgu teli ile

130Amper akımda

7 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.26: 90° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.27: 90° - (V) Kaynak ağızı ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 9,5° olmuştur.

Deney No: 4

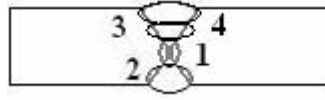
(X) Kaynak ağzı 90° ile

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip parçaların kaynağı

Ø 3,2mm SgMo dolgu teli ile

130Amper akımda

4 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.28: Pasoların atılış sırası



Şekil 6.29: (X) Kaynak ağzı 90° ile kaynak edilmiş parça



Şekil 6.30: (X) Kaynak ağzı 90° ile kaynak edilmiş parça

Ölçülen açısal distorsyon 0° olmuştur.

Deney No: 5

(Y) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip parçaların kaynağı

5mm kök alını ve 2mm kök açıklığı bırakılarak,

$\varnothing 3,2$ mm SgMo dolgu teli ile

130Amper akımda

3 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.31: (Y) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı



Şekil 6.32: (Y) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

Ölçülen açısal distorsiyon $2,6^\circ$ olmuştur.

Deney No: 6

(V) Kaynak ağızı 50° açılı ile hazırlanmış

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip parçaların kaynağı

$\varnothing 3,2$ mm SgMo dolgu teli ile

160Amper akımda

5 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.32: (V) Kaynak ağızı 50° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı



Şekil 6.33: (V) Kaynak ağızı 50° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

Ölçülen açısal distorsyon $4,3^\circ$ olmuştur.

Deney No: 7

(V) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış

150mm x 200mm x 12mm boyutlarındaki St-37 tip parçaların kaynağı

$\varnothing 3,2$ mm SgMo dolgu teli ile

170Amper akımda

3 paso atılarak bitirilmiştir.



Şekil 6.34: (V) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

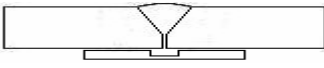


Şekil 6.35: (V) Kaynak ağızı 60° açılı ile hazırlanmış parçanın kaynağı

Ölçülen açısal distorsyon $3,1^\circ$ olmuştur.

6.3 Yapılan Deneyler Doğrultusunda Ulaşılan Sonuçlar

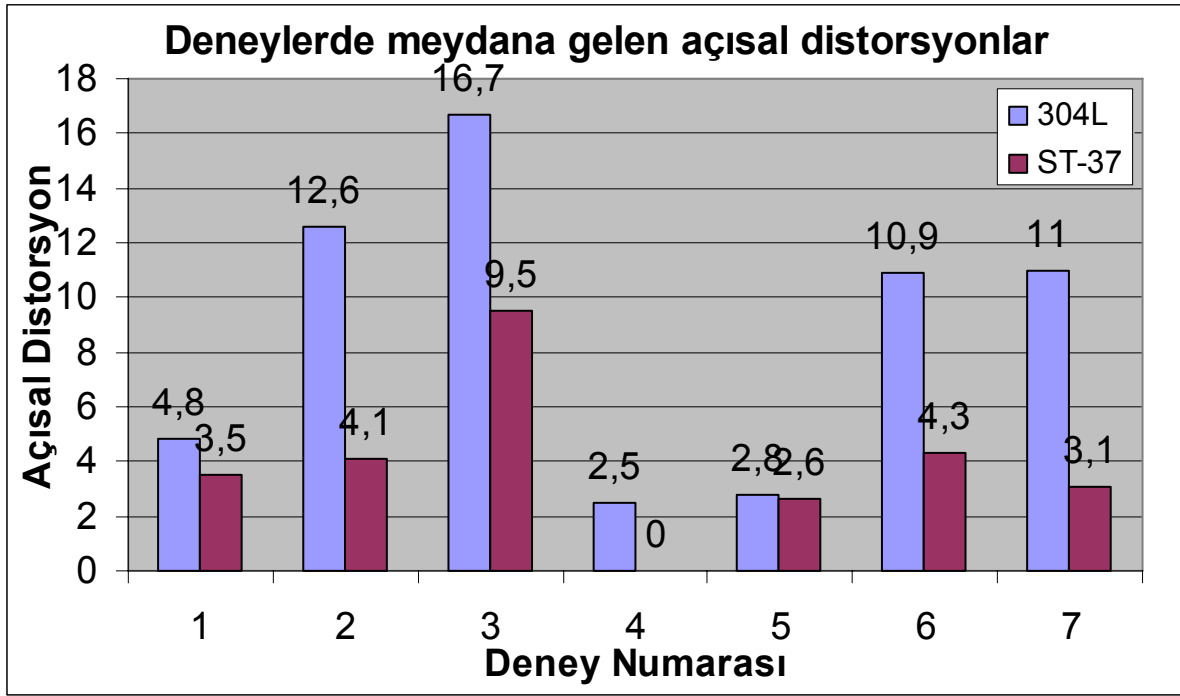
Çizelge 6.1: 304L paslanmaz çelik ile yapılan deneylerin sonuçları

Kaynak Ağızı	Sac kalınlığı: (12mm)	Ağız Açısı	Kaynak Akımı(I) (Amper)	Paso Sayısı	Ölçülen Açısal Distorsyon (°)
V		45	130	3 paso	4,8°
V		70	130	4 paso	12,6°
V		90	130	7 paso	16,7°
X		90	130	4 paso	2,5°
Y		60	130	3 paso	2,8°
V		50	160	5 paso	10,9°
V		60	170	3 paso	11°

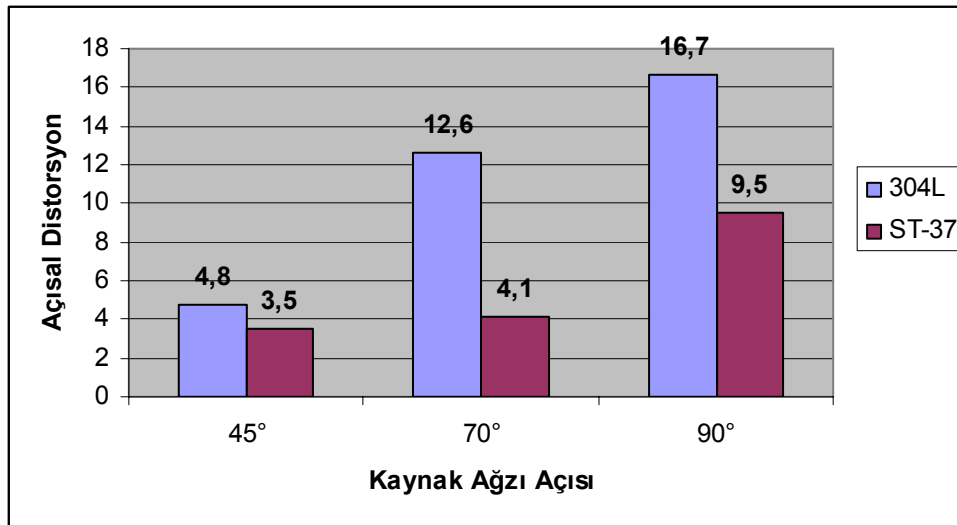
Çizelge 6.2: St-37 çelik ile yapılan deneylerin sonuçları

Kaynak Ağızı	Sac kalınlığı: (12mm)	Ağız Açısı	Kaynak Akımı(I) (Amper)	Paso Sayısı	Ölçülen Açısal Distorsyon (°)
V		45	130	3 paso	3,5°
V		70	130	4 paso	4,1°
V		90	130	7 paso	9,5°
X		90	130	4 paso	0°
Y		60	130	3 paso	2,6°
V		50	160	5 paso	4,3°
V		60	170	3 paso	3,1°

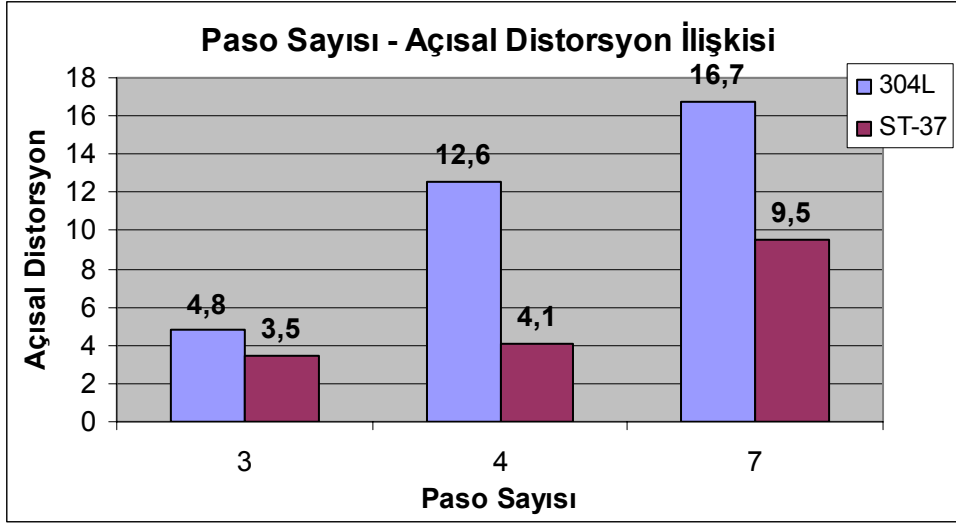
Yapılan bu deneyler sonucunda, paslanmaz çeliklerin açısal distorsyona yapı çeliklerinden daha meyilli oldukları söylenebilir. Alınan sonuçlar Şekil 6.36'da aynı grafik üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 6.36: Deneylerde meydana gelen açısai distorsyonlar



Şekil 6.37: 304L paslanmaz çeliği ile ST-37 çeliği arasında ağız açalarına göre açısai distorsyon ilişkisi



Şekil 6.38: Paso sayılarına göre oluşan açısal distorsyonlar

7. SONUÇLAR

Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda, paslanmazlar çeliklerin kaynağı sırasında distorsyonların büyük bir tehlike arz ettiği sonucuna varılmıştır. Özellikle kaynak sırasında ortaya çıkan yüksek bölgesel ısı artışları ve düzensiz sıcaklık dağılımı nedeniyle konstrüksiyon büyük oranda distorsyona maruz kalmaktadır.

Ancak araştırmalar sonucunda laboratuvar ortamlarında yapılan deneylerden ulaşılmıştır ki, gerekli tedbirler alındığı zaman ve yeni gelişen teknikler uygulamaya geçirildiği zaman distorsyonların önüne geçilebilmektedir. Özellikle geçici ısıl gerilmelendirme yöntemi ve çift taraflı kaynak uygulaması ile distorsyonlar en az seviyeye indirilebilmekte hatta ortadan kaldırılabilir.

Geçici ısıl gerilmelendirme yönteminde kaynak sırasında ısıtıcı bantlar sayesinde parça üzerinde geçici bir ısıl gerilme oluşturulur. Isıtıcı batların genişlikleri de yine distorsyonu etkileyen bir faktördür.

Ayrıca, kaynak ağzının V yerine çift V (X) şeklinde hazırlanması durumunda ilave malzeme gereksinimi büyük ölçüde azalır. Kaynak hacminin azalması, oluşan distorsyonu da azaltır. Bu bağlamda kaynak ağzının açısı ne kadar küçükse, oluşan distorsyon da o kadar az olur.

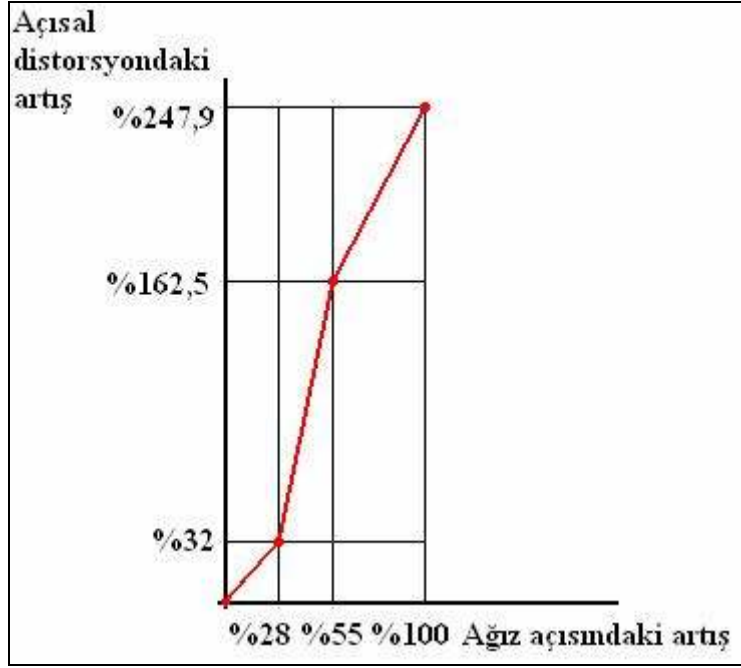
Dayanım ve sızdırmazlık yönünden dikişin sürekli olması gerekmiyorsa, metod kaynağı (kesikli kaynak) uygulamak büyük yarar sağlar.

Paso sayısı arttıkça distorsyonlar da artacaktır. Bu gibi durumlarda büyük çaplı elektrodlar kullanmak yada özel elektrodlar (demir tozlu vb.) kullanmak faydalı olur.

Ağız açısındaki ufak değişimler açısal distorsyona çok büyük etkiler yapmaktadır. Çizelge 7.1’de de görüleceği gibi, ağız açısındaki ufak artışlar, distorsyonda büyük artışlara neden olmaktadır.

Çizelge 7.1: Ağız açısındaki artışın açısal distorsyona etkisi

Ağız açısındaki artış	Açısal distorsyondaki artış
28%	32%
55%	162,50%
100%	247,90%



Şekil 7.1: Ağız açısındaki artışın açısal distorsiyona etkisi

Çift taraflı kaynak uygulaması durumunda distorsyonlar en aza iner. Aynı anda iki taraftan birden kaynak yapmak, aynı anda iki farklı yöne ısıl gerilme oluşturacağı için denge sağlanır.

Geri adım tekniği distorsyonları azaltıcı bir kaynak tekniğidir.

Uygun şartlarda, kaynak sırasında bakır altlık kullanımı, kaynak bölgesindeki ısıyı hızlı bir şekilde bertaraf edeceği için distorsyonları azaltmak açısından faydalıdır.

Ayrıca iç gerilmelerin kaynak sonrasında giderilmesi (temperleme veya çekiçleme), distorsyonları azaltıcı etki yapar.

Kaynak uygulamalarında kaynakçı faktörü de kaynak kalitesi açısından çok büyük önem teşkil eder. Usta bir kaynakçının yaptığı kaynakta distorsyon daha az olurken, acemi kaynakçının yaptığı kaynaklarda daha çok olur.

KAYNAKLAR

- Anık, S., (1966), “Soru ve Cevaplarıyla Elektrik Ark Kaynağı”, İTÜ.
- Anık, S., (1983), “Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Ergör Matbaası, İstanbul.
- Aran, A., Temel M.A., (2004), “Paslanmaz Çelik”, Acar Matbaacılık, İstanbul.
- Butting Welding Company, (2002), “Stainless Steel In Practise”, Germany.
- Deo, M.V., and Michaleris. P., (2002), “Experimental Verification of Distortion Analysis of Welded Stiffeners”, Journal of Ship Production, 18(4):2 16-225
- Deo, M.V., and Michaleris, P., (2003), “Elimination of Bowing Distortion in Welded Stiffeners”, Journal of Ship Production, May 2003, Volume 19, Number 2, 76-83.
- Eryürek, İ.B., (2003), “Gazaltı Kaynağı”, Askaynak Yayınları, İstanbul.
- Eryürek, İ.B., (2004), “Çelikler İçin Örtülü Elektrot Seçimi”, Askaynak Yayınları, İstanbul.
- ESAB, (2000), “Pulsed MIG Welding”, ESAB
- Kleine, K.F., Fox, W.J., Watkins, K.G., (2004), “Micro Welding with Pulsed Single Mode Fiber Lasers”, 23rd International Congress on Application of Lasers and Electro-Optics (ICALEO 2004), 4-7 October, Paper No: M501, Vol 97.
- Kurt, A., Boz, M. Ve Özdemir, M., (2004), “Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 19, No:2, 191-197.
- Michaleris, P., Dantzig, J. and Tortorelli, D., (1999), Minimization of welding residual stress and distortion in large structures”, Welding Journal, November 1999, 361-366.
- Miller Electric Mfg. Co., (2005), “Guidelines to GMAW”, Miller Electric.
- Miller Electric Mfg. Co., (2005), “TIG Handbook”, Miller Electric.
- Odabaş, C., (2004), “Paslanmaz Çelikler”, Tavaslı Matbaası, İstanbul.
- Tseng K.H., and Chou C.P., (2003), “The Study of Nitrogen in Argon Gas on the Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments”, Journal of Materials Proccessing Technology, 142, 139-144.
- Tülbentçi, K., Kaluç, E., (1995), “Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği”, Seminer Notları, İzmit.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.askaynak.com.tr
- [2] www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2002_2/75-86.pdf
- [3] www.oerlikon.com.tr
- [4] www.saritas.com.tr
- [5] http://www.prest-o-sales.com/other_links/gases/PDF/ShieldingGases/Manuals/GMAW%20of%20Stainless%20Steel.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi: 26.06.1981

Doğum Yeri: İstanbul

Lise: 1995 – 1998 Küçükalyalı Rezan Has Lisesi

Lisans: 1998 – 2002 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü.

Yüksek Lisans: 2003 – 2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı.