

168532

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Prof. Dr. Hüseyin Sönmez
Yrd. Doç. Dr. Sibel Doğan - S. Doğulu
Prof. Nurullah Gültekin

KORUYUCU GAZ KAYNAK UYGULAMARINDA GAZ KARIŞIMLARI – DİKİŞ FORMU İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Makine Mühendisi Ali Emre YALÇIN

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN

İSTANBUL, 2005

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Koruyucu Gaz Kaynak Uygulamaları	3
1.1.1 Ergimeyen Elektrodla Yapılan Koruyucu Gaz Kaynağı	4
1.1.1.1 Ark-Atom Kaynağı	4
1.1.1.2 Tungsten Asal Gaz Kaynağı (TIG)	5
1.1.1.3 Plazma Kaynağı	6
1.1.2 Ergiyen Elektrodla Yapılan Koruyucu Gaz Kaynağı	9
1.2.2.1 Metal Asal Gaz Kaynağı (MIG) ve Metal Aktif Gaz Kaynağı (MAG)	9
2 KORUYUCU GAZLAR	12
2.1 Koruyucu Gazların Fonksiyonları	12
2.2 Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri	12
2.2.1 İyonizasyon Potansiyeli	12
2.2.2 Termal İletkenlik	14
2.2.3 Gaz Yoğunluğu	15
2.2.4 Safılık ve Çiğ Noktası	16
2.3 Asal Gazlar	17
2.3.1 Argon	17
2.3.2 Helyum	19
2.4 Aktif Gazlar	22
2.4.1 Karbondioksit	22
2.4.2 Hidrojen	24
2.5 Karışım Gazlar	25
2.5.1 Argon ve Helyuma Oksijen ve/veya Karbondioksit İlaveli Karışım Gazları	25
2.5.1.1 Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri	27
2.5.1.1.1 Yüzey Gerilimi ve Marangoni Isı Yayınımının Nüfuziyet Üzerindeki Etkisi	33
2.5.1.1.2 Oksijen Potansiyeli, Oksidasyon Kayıpları, Kaynak Metalindeki Oksijen Oranı ve Bunların Nüfuziyet Üzerindeki Etkileri	36
2.5.1.2 Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri	42
2.5.1.2.1 Argon-Karbondioksit Karışım Gazlarının Kaynak Dikişindeki Karbon Oranına etkisi	49
2.5.1.3 Uygulama Alanları	56

2.5.1.3.1	Alaşımsız Çelikler	56
2.5.1.3.2	Yalın Karbonlu, Düşük ve Yüksek Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı	56
2.5.1.3.3	Paslanmaz Çelikler	58
2.5.2	Argon-Hidrojen Karışım Gazları	59
2.5.2.1	Arkın Statik Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi	59
2.5.2.2	Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri	63
2.5.2.3	Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri	67
2.5.2.4	Uygulama Alanları	71
2.5.2.4.1	Paslanmaz Çelikler	71
2.5.2.4.2	Nikel ve Alaşımları	72
2.5.3	Argon-Azot Karışım Gazları	72
2.5.3.1	Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri	73
2.5.3.2	Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkileri	74
2.5.3.2.1	Kaynak Dikişindeki Azot Oranına Etkisi	76
2.5.3.2.2	Kaynak Metalindeki Azot İçeriğinin Açısal Distorsiyon Üzerindeki Etkisi	81
2.5.3.3	Uygulama Alanları	82
2.5.4	Argon-Helyum Karışım Gazları	83
2.5.4.1	Ark Gerilimi Üzerindeki Etkisi	85
2.5.4.2	Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri	86
2.5.4.3	Uygulama Alanları	90
2.5.4.3.1	Alüminyum ve Alaşımları	90
2.5.4.3.2	Bakır ve Alaşımları	91
2.5.4.3.3	Nikel ve Alaşımları	91
2.5.4.3.4	Titanyum ve Zirkonyum	91
3	KORUYUCU GAZLARIN ERGİME ORANI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	93
4	METAL TRANSFERİ FORMLARI ve KORUYUCU GAZLARIN ETKİLERİ	99
4.1	Metal Transferi Formları	99
4.1.1	Kısa Devreli Geçiş	99
4.1.2	İri Damlalı Geçiş (Uzun Ark)	100
4.1.3	Sprey Geçiş	101
4.1.4	Pulse Geçiş (Darbeli Ark)	101
4.2	Koruyucu Gazların Metal Transferi Üzerindeki Etkileri	102
5	KAYNAKTA ORTAYA ÇIKAN PROBLEMLER ve KAYNAK HATALARI	109
6	KORUYUCU GAZLARIN MALİYETLERİ	117
7	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	133
7.1	Deneyin Amacı	133
7.2	Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Parametreler	133
7.3	Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	135
8	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	151
	KAYNAKLAR	154
	ÖZGEÇMİŞ	157

SİMGE LİSTESİ

Ar	Argon
c_p	Termal kapasite
$Cr_{eş}$	Krom eşdeğeri
CO_2	Karbondioksit
d	Kaynak telinin çapı
$d\sigma / dT$	yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı
dT / dr	Kaynak banyosunun yüzeyindeki sıcaklık gradyeni
E	Ostenitik paslanmaz çeliğin 1 gramını ergetmek için ihtiyaç duyulan teorik enerji
FN	Ferrit Numarası
H_2	Hidrojen
He	Helyum
I	Kaynak akımı
L	Serbest tel uzunluğu
L_1	Kaynak banyosunun uzunluğu
M	Ergime Oranı
m	Kütle
N_2	Azot
$Ni_{eş}$	Nikel eşdeğeri
O_2	Oksijen
O_p	Oksijen potansiyeli
Q_k	Damlanın telden ayrıldıktan hemen sonraki toplam enerjisi
r	Kaynak banyosunun yüzey yarıçapı
S	Kaynak telinin kesit alanı
t	Kaynak zamanı
U	Kaynak gerilimi
U_e	Anot ve katot gerilim düşüşleri
α	Spesifik direnç
α_1	Sıvı metalin termal yayılma gücü
β	Oda sıcaklığında kaynak telinin enerjisi
$\sigma_{y.g}$	Yüzey gerilimi
μ	Dinamik viskozite
μ_1	Oksitleme faktörü
ρ	Yoğunluk
η	Ergime verimliliği

KISALTMA LİSTESİ

<i>AISI</i>	The American Iron and Steel Institute (Amerikan demir Çelik Enstitüsü)
<i>AWS</i>	American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Ark-atom kaynağının esası	4
Şekil 1.2	Ortam sıcaklığı ile hidrojen disosiasyon oranı arasındaki ilişki.....	5
Şekil 1.3	TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi.....	5
Şekil 1.4	TIG kaynak donanımı blok şeması.....	6
Şekil 1.5	Plazma birleştirme kaynağı için donanım	7
Şekil 1.6	Plazma doldurma kaynağı için donanım	8
Şekil 1.7	MIG kaynak yönteminde ark bölgesi	9
Şekil 1.8	MIG kaynak donanımı blok şeması.....	10
Şekil 1.9	MAGCI yönteminin işlem prensibi.....	11
Şekil 2.1	Ark sütunu (plazma)	13
Şekil 2.2	Disosiasyon ve iyonizasyon oluşumları a) disosiasyon, b) iyonizasyon. Gazdan pozitif iyon (1) ve serbest elektrona geçiş (2) geçiş.....	13
Şekil 2.3	Gazların sıcaklığa bağlı olarak termal iletkenlikleri	
Şekil 2.4-a	Koruyucu gazın saflaştırılmamasının dubleks paslanmaz çeliğin kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi	17
Şekil 2.4-b	Koruyucu gazın saflaştırılmamasının ferritik paslanmaz çeliğin kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi	17
Şekil 2.5	Kaynak dikiş formu	18
Şekil 2.6	Çeşitli koruyucu gazların dikiş formuna etkisi.....	20
Şekil 2.7	Ar, He ve CO ₂ atmosferinde oluşan ark ve dikiş formları	20
Şekil 2.8	Ar ve He koruması ile sağlanan gerilim-akım arasındaki ilişki	20
Şekil 2.9	Karbondiyoksit atmosferinde oluşan reaksiyonlar	24
Şekil 2.10	Saf argon (üst) ve %98 Ar + %2 O ₂ (alt) koruması ile elde edilen kaynak dikişleri.....	26
Şekil 2.11	6 mm kalınlığında ostenitik paslanmaz çeliğin darbeli MAG kaynağında, helyum ilavesinin ark gerilimi üzerindeki etkisi	26
Şekil 2.12	CO ₂ ve Ar/CO ₂ /O ₂ karışımları ile yapılan kaynak dikişleri arasındaki fark	27
Şekil 2.13	Ar içersinde farklı oranlarda O ₂ ve CO ₂ karışımları altında oluşan dikiş formları.....	29
Şekil 2.14	Karışımdaki O ₂ ve CO ₂ ' nin bir fonksiyonu olarak genişlik/derinlik oranı	29
Şekil 2.15	Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikişi formları.....	30
Şekil 2.16	Bazik elektrot kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları.....	31
Şekil 2.17	Rutil elektrot kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları	31
Şekil 2.18	Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları	33
Şekil 2.19	Kaynak banyosundaki şematik ısı yayılımı	35
Şekil 2.20	Koruyucu gazdaki O ₂ ve CO ₂ ' nin bir fonksiyonu olarak kaynak metalindeki oksijen miktarı	36
Şekil 2.21	%CO ₂ ve oksijen potansiyelinin bir fonksiyonu olarak sıçrama oranları.....	37
Şekil 2.22	Oksijen potansiyeline ve koruyucu gazda artan CO ₂ oranına bağlı olarak %Si kayıpları	37
Şekil 2.23	Oksijen potansiyeline ve koruyucu gazda artan CO ₂ oranına bağlı olarak %Mn kayıpları	38
Şekil 2.24	Ar koruyucu gazında farklı oranlardaki O ₂ ve CO ₂ karışımları ile elde edilen kaynak dikiş yüzeylerindeki oksit tabakaları	40
Şekil 2.25	Kaynak banyosundaki ısı yayılımı ve oksit tabakası oluşumu	41
Şekil 2.26	Nikel eşdeğerinin (a), oksijen potansiyelinin ve CO ₂ yüzdesinin (b) bir fonksiyonu olarak kaynak dikişlerinin ferrit oranları	43
Şekil 2.27	Kaynak dikişlerinin mikroyapıları.....	44
Şekil 2.28	Koruyucu gazdaki O ₂ ve CO ₂ ' nin kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi.....	45

Şekil 2.29	Oksijen potansiyelinin çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi.....	45
Şekil 2.30	Saf argon gazı ile elde edilen kaynak dikişlerinin makroyapıları; (a) MIG kaynağı, (b) TIG kaynağı	46
Şekil 2.31	Saf argon gazı ile elde edilen kaynak dikişlerinin mikroyapıları; (a) MIG kaynağı, (b) TIG kaynağı	47
Şekil 2.32	Kaynak bölgesine oksijenin etkisi (MIG kaynağı); (a) makroyapı, (b) mikroyapı	47
Şekil 2.33	Kaynak bölgesine oksijenin etkisi (TIG kaynağı); (a) makroyapı, (b) mikroyapı	48
Şekil 2.34	Koruyucu gazdaki CO ₂ oranının kaynak metalindeki C oranına etkisi (ER308LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu kısa devreli kaynak)	52
Şekil 2.35	Koruyucu gazdaki CO ₂ oranının kaynak metalindeki C oranına etkisi (ER308LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu sprej transferli, kısa devreli ve tek pasolu kısa devreli kaynak)	54
Şekil 2.36	Koruyucu gazdaki CO ₂ oranının kaynak metalindeki C oranına etkisi (ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu sprej transferli ve kısa devreli kaynak)	54
Şekil 2.37	ER90S-B3L, ER308LSi ve ER309LSi elektrodları ile yapılan sprej transferli kaynağın kaynak metalindeki %C oranına etkisinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 2.38	Sprej transferli kaynakta koruyucu gazdaki CO ₂ oranına ve kaynak telindeki Cr oranına bağlı olarak kaynak metalindeki C oranındaki değişimler	55
Şekil 2.39	Farklı Ar-H ₂ koruyucu gazlarının ark karakteristiği üzerindeki etkisi.....	60
Şekil 2.40	Farklı Ar-H ₂ karışımları ile yapılan TIG kaynağı için ark gerilimi üzerinde ark uzunluğunun etkisi.....	61
Şekil 2.41	Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H ₂ ' nin ark direnci üzerindeki etkisi	62
Şekil 2.42	Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H ₂ ' nin ve ark uzunluğunun ark direnci üzerindeki etkisi.....	63
Şekil 2.43	Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H ₂ ' nin kaynak dikişinin genişliği üzerindeki etkisi	64
Şekil 2.44	Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H ₂ ' nin kaynak dikişinin derinliği üzerindeki etkisi	65
Şekil 2.45	TIG kaynak yöntemi ve kullanılarak elde edilen paslanmaz çelik malzemelerin kaynak metallerinin makrokesitleri	65
Şekil 2.46	Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H ₂ ' nin kaynak dikişinin nüfuziyet oranı (genişlik/derinlik) üzerindeki etkisi.....	66
Şekil 2.47	Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H ₂ ' nin kaynak dikişinin alanı üzerindeki etkisi.....	67
Şekil 2.48	Kaynak bölgesinin sertlik değerleri.....	68
Şekil 2.49	Eğme deneyi sonuçları	68
Şekil 2.50	Saf Ar koruması ile elde edilen kaynak bölgesinin mikroyapısı.....	69
Şekil 2.51	%1,5 H ₂ + %98,5 Ar koruması ile elde edilen kaynak bölgesinin mikroyapısı	70
Şekil 2.52	%5 H ₂ + %95 Ar koruması ile elde edilen kaynak bölgesinin mikroyapısı	71
Şekil 2.53	Koruyucu gazdaki N ₂ gazının ısı girdisi üzerindeki etkisi	73
Şekil 2.54	Koruyucu gazdaki N ₂ gazının pik sıcaklığı üzerindeki	73
Şekil 2.55	Kaynak dikişindeki azot oranının çentik darbe dayanımına etkisi.....	75
Şekil 2.56	Koruyucu gazdaki N ₂ gazının sertlik üzerindeki etkisi	75
Şekil 2.57	Koruyucu gazdaki N ₂ gazının dubleks paslanmaz çeliğin kaynak dikişindeki azot oranına etkisi	76
Şekil 2.58	Koruyucu gazdaki N ₂ ile dubleks ve süper dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak dikişindeki azot oranı arasındaki ilişki.....	77
Şekil 2.59	Koruyucu gazdaki N ₂ ile 304 ve 310 paslanmaz çeliklerin kaynak dikişindeki azot oranı arasındaki ilişki	78
Şekil 2.60	Kaynak metallerinin makroyapıları a) Ar gazı ile; b) Ar + %20 He + %1,1 N ₂ karışım gazı ile elde edilen dubleks p. çeliğin kaynak metalinin makroyapısı; c) Ar gazı ile; d) Ar + %20He + %2,25 N ₂ karışım gazı ile elde edilen süper dubleks	

	p. çeliğin kaynak metalinin makroyapısı.....	79
Şekil 2.61	Koruyucu gazdaki N ₂ ile ferrit numarası arasındaki ilişki	79
Şekil 2.62	Kaynak dikişi boyunca azot oranındaki değişim.....	80
Şekil 2.63	Porozite oluşumu üzerinde azotun etkisi.....	81
Şekil 2.64	Koruyucu gazdaki N ₂ ile açılal distorsiyon arasındaki ilişki	82
Şekil 2.65	TIG kaynağında nozul çapına bağlı olarak, hava akış hızı ile koruyucu gaz debisi arasındaki ilişki.....	83
Şekil 2.66	3 mm kalınlığında alüminyumun tek pasolu TIG kaynağında argona ilave edilen helyumun kaynak süresi üzerindeki etkisi.....	84
Şekil 2.67	Argona ilave edilen helyumun kaynak hızı üzerindeki etkisi	84
Şekil 2.68	Koruyucu gazların (Ar, He, Ar + %5 O ₂) ark gerilimi üzerindeki etkisi	85
Şekil 2.69	Darbeli TIG kaynağında, saf argonun ve saf helyumun ark gerilimi üzerindeki etkisi	86
Şekil 2.70	3 mm kalınlığında Al plakanın TIG kaynağında, helyumun ark gerilimi üzerindeki etkisi	86
Şekil 2.71	6 mm kalınlığında ostenitik paslanmaz çeliğin kısa devreli MAG kaynağında, helyumun kaynak dikişinin yüzey şekline etkisi a) %98 Ar + %2 CO ₂ ; b) %23,5 Ar + %75 He + %1,5 CO ₂	87
Şekil 2.72	Koruyucu gaz içindeki helyum oranının kaynak dikişinin genişliğine etkisi.....	87
Şekil 2.73	Çeşitli koruyucu gazlar ile elde edilen kaynak dikişi nüfuziyet profilleri.....	88
Şekil 2.74	Argon yerine %50 argon %50 helyum içeren karışım gazı kullanılması ile gaz sarfiyatı, kaynak hızı ve geometrisindeki değişiklikler.....	88
Şekil 2.75	Bir alüminyum malzemenin MIG kaynağında argon-helyum karışım oranının kaynak karakteristiklerine ve geometrisine etkisi	89
Şekil 2.76	Saf argon ile %75 He + %25 Ar karışım gazının nüfuziyete etkisi.....	90
Şekil 3.1	Çapı 1,6 mm olan katı tel için koruyucu gaz ortamının ve kaynak akımının ergime oranı üzerindeki etkisi (serbest tel uzunluğu, L = 25 mm).....	95
Şekil 3.2	Çapı 1,6 mm olan özlü tel için koruyucu gaz ortamının ve kaynak akımının ergime oranı üzerindeki etkisi (serbest tel uzunluğu, L = 25 mm).....	95
Şekil 3.3	Ostenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H ₂ ' nin ergime oranı üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., negatif elektrod).....	96
Şekil 3.4	Ostenitik paslanmaz çeliğin MIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H ₂ ' nin ergime oranı üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., pozitif elektrod).....	96
Şekil 3.5	Ostenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H ₂ ' nin ergime verimliliği üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., negatif elektrod).....	97
Şekil 3.6	Ostenitik paslanmaz çeliğin MIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H ₂ ' nin ergime verimliliği üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., pozitif elektrod).....	98
Şekil 4.1	Metal transfer formları	99
Şekil 4.2	MIG-MAG kaynağında metal transfer tipleri; a) kısa devre, b) küresel (iri damlalı), c-d) sprej, e) dönmüş.....	100
Şekil 4.3	Koruyucu gazların damla frekansı (sıklığı) üzerindeki etkileri.....	103
Şekil 4.4	%CO ₂ ve oksijen potansiyelinin bir fonksiyonu olarak sıçrama oranları.....	103
Şekil 4.5	Koruyucu gazdaki CO ₂ oranının sıçrama kaybı üzerindeki etkisi.....	103
Şekil 4.6	Farklı koruyucu gaz karışımları için kaynak dikiş formları ve ana metal yüzeyine yapışan metal damlacıkları	104
Şekil 4.7	Farklı koruyucu gaz karışımları için ergimiş metal damlacıklarının elektrodan ayrılma şekli	105

Şekil 4.8	Koruyucu gazdaki CO ₂ oranının, metal damlacıklarının ayrılma uzunluğuna etkisi	105
Şekil 4.9	He ve CO ₂ koruyucu gazlarının damla frekansı (sıklığı) üzerindeki etkileri	107
Şekil 5.1	Kopma yüzeyindeki belirgin balık gözleri	110
Şekil 5.2	1592 °C’ de demirin çeşitli ikili alaşımlarında hidrojenin çözünabilirliği	111
Şekil 6.1	Az alaşımlı çeliklerin kaynağında maliyet yüzdeleri	131
Şekil 6.2	Paslanmaz çeliklerin kaynağında maliyet yüzdeleri.....	132
Şekil 7.1	Deneyde kullanılan TIG kaynak makinası	134
Şekil 7.2	Deney parçalarının boyutları ve makroyapı incelemesi için numunelerin hazırlanma şekli.....	135
Şekil 7.3	Kaynak banyosunda etkili olan kuvvetler ve bu kuvvetlerin sebep olduğu metal hareketleri	136
Şekil 7.4	Nüfuziyet oranı üzerinde kaynak akımının etkisi.....	137
Şekil 7.5	Kaynak dikişindeki oksijen oranı üzerinde kaynak akımının etkisi.....	138
Şekil 7.6-a	140 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	139
Şekil 7.6-b	150 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	140
Şekil 7.6-c	160 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	140
Şekil 7.6-d	170 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	141
Şekil 7.6-e	180 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	141
Şekil 7.6-f	190 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	142
Şekil 7.6-g	200 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı	142
Şekil 7.7	Kaynak akımının kaynak dikiş derinliği üzerindeki etkisi	144
Şekil 7.8	Kaynak akımının kaynak dikiş genişliği üzerindeki etkisi.....	145
Şekil 7.9	Kaynak akımının nüfuziyet oranı üzerindeki etkisi.....	146
Şekil 7.10	Kaynak akımının yüzey yarıçapı üzerindeki etkisi	147
Şekil 7.11	Kaynak akımının yüzey gerilimi üzerindeki etkisi.....	148
Şekil 7.12	Kaynak banyolarındaki mevcut kuvvetler.....	150

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Çeşitli gazlara ait disosiasyon ve iyonizasyon potansiyelleri	14
Çizelge 2.2	Çeşitli gazlara ait yoğunluk değerleri.....	15
Çizelge 2.3	Çeşitli gazlara ait saflık ve çığ noktası değerleri.....	16
Çizelge 2.4	Ar ve He koruyucu gazlarının karşılaştırılması.....	21
Çizelge 2.5	Kullanılan koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları.....	30
Çizelge 2.6	Koruyucu gaz karışımlarına bağlı nüfuziyet oranları.....	32
Çizelge 2.7	Kaynak metallerinin kimyasal bileşimleri ve ferrit oranları	42
Çizelge 2.8	Kaynak metallerinin çekme dayanımları ve % uzama değerleri.....	44
Çizelge 2.9	Kaynak dikişinin tane boyutu ve tane yapısı.....	48
Çizelge 2.10	Kaynak dikişlerinin (%) ostenit oranları	48
Çizelge 2.11	Kaynak dikişlerinin mikrosertlik değerleri.....	49
Çizelge 2.12	MIG kaynağı ile elde edilen kaynak dikişlerinin dayanım değerleri	49
Çizelge 2.13	TIG kaynağı ile elde edilen kaynak dikişlerinin dayanım değerleri	49
Çizelge 2.14	Kaynak tellerinin ve ana metalin kimyasal kompozisyonu.....	50
Çizelge 2.15	Altı pasolu spreyl transferli kaynağın kimyasal analizi	50
Çizelge 2.16	Altı pasolu kısa devre iletimli kaynağın kimyasal analizi.....	50
Çizelge 2.17	Tek pasolu kısa devre iletimli kaynağın kimyasal analizi.....	51
Çizelge 2.18	ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu spreyl transferli kaynağın kimyasal analizi	51
Çizelge 2.19	ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu kısa devre iletimli kaynağın kimyasal analizi.....	51
Çizelge 2.20	ER90S-B3L elektrodu ile yapılan altı pasolu spreyl transferli kaynağın kimyasal analizi.....	52
Çizelge 2.21	Farklı Ar-H ₂ gazları ile elde edilen kaynak dikişlerinin mekanik özellikleri. 68	
Çizelge 2.22	Koruyucu gazdaki N ₂ gazının kaynak gerilimi üzerindeki etkisi.....	74
Çizelge 2.23	Kaynak dikişindeki azot oranları.....	77
Çizelge 3.1	a ve b sabitlerinin en yüksek ve en düşük güven sınırları ve regresyon katsayıları	94
Çizelge 4.1	Kısa devreli gaz metal ark kaynağı için akım aralıkları.....	100
Çizelge 4.2	Koruyucu gaz bileşiminde yapılan değişiklik ile çapak (sıçrama) miktarında ortaya çıkan değişimler	104
Çizelge 4.3	Ürettikleri ark enerjilerine göre, yaygın olarak kullanılan argon gaz karışımları.....	106
Çizelge 4.4	Çeşitli elektrod için iri damladan spreyl transfere geçiş akımları	108
Çizelge 5.1	Çeşitli kaynak hatalarının nedenleri ve giderilmesi	113
Çizelge 6.1	Gaz maliyet tablosu	117
Çizelge 6.2-a	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin CO ₂ koruması ile kısa devre iletimle yatay içköşe ve oluk alın kaynakları için kaynak değişkenleri	118
Çizelge 6.2-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için).....	118
Çizelge 6.3-a	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin CO ₂ koruması ile kısa devre iletimle düşey aşağı içköşe ve düz alın kaynakları için kaynak değişkenleri.....	119
Çizelge 6.3-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için).....	119
Çizelge 6.4-a	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin %75 Ar + %25 CO ₂ gaz koruması ile kısa devre iletimle düşey-yukarı içköşe kaynağında kaynak değişkenleri... 119	
Çizelge 6.4-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için).....	120
Çizelge 6.5-a	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin %98 Ar + %2 O ₂ gaz koruması ile spreyl iletimle oluk ve yatay kaynakları için kaynak değişkenleri.....	120
Çizelge 6.5-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için).....	120

Çizelge 6.6-a	Alaşım-sız ve düşük alaşımlı çeliklerin %98 Ar + %2 O ₂ gaz koruması ile sprey iletimle oluk-alın bağlantılarının kaynakları için kaynak değişkenleri	121
Çizelge 6.6-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	121
Çizelge 6.7-a	Alaşım-sız ve düşük alaşımlı çeliklerin darbeli iletimle oluk ve yatay içköşe birleştirmelerinde kaynak değişkenleri	121
Çizelge 6.7-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	122
Çizelge 6.8-a	AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin Ar + %1 O ₂ gaz koruması ile sprey iletimle kaynağında kaynak değişkenleri	122
Çizelge 6.8-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	122
Çizelge 6.9-a	Paslanmaz çeliklerin %90 Ar + %2 O ₂ gaz koruması ile yatay ve oluk içköşe ve oluk alın kaynaklarında sprey iletimde kaynak değişkenleri	123
Çizelge 6.9-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	123
Çizelge 6.10-a	AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin %90 He + %7,5 Ar + %2,5 O ₂ gaz koruması ile kısa devre iletimle kaynağı için kaynak değişkenleri	124
Çizelge 6.10-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	124
Çizelge 6.11-a	Paslanmaz çeliklerin %90 He + %7,5 Ar + %2,5 CO ₂ gaz koruması ile kısa devre iletimli yatay, oluk ve düşey aşağı doğru içköşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi)	125
Çizelge 6.11-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	125
Çizelge 6.12-a	Paslanmaz çeliklerin %90 He + %7,5 Ar + %2,5 CO ₂ gaz koruması ile kısa devre iletimle aşağıdan yukarıya doğru içköşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ERXXX LSi)	126
Çizelge 6.12-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	126
Çizelge 6.13-a	Paslanmaz çeliklerin %98 Ar + %2 O ₂ gaz koruması ile darbeli iletimle oluk ve yatay içköşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi)	126
Çizelge 6.13-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	127
Çizelge 6.14-a	Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri	127
Çizelge 6.14-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	127
Çizelge 6.15-a	Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri	128
Çizelge 6.15-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	128
Çizelge 6.16-a	Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri	129
Çizelge 6.16-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	129
Çizelge 6.17-a	Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri	130
Çizelge 6.17-b	Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)	130
Çizelge 7.1	Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri	134
Çizelge 7.2	Kaynak parametreleri	134
Çizelge 7.3	Farklı kaynak akımlarında elde edilen kaynak dikiş derinlikleri	144
Çizelge 7.4	Farklı kaynak akımlarında elde edilen kaynak dikiş genişlikleri	145
Çizelge 7.5	Farklı kaynak akımlarında elde edilen nüfuziyet oranları (derinlik/genişlik)	146
Çizelge 7.6	Farklı kaynak akımlarında elde edilen yüzey yarıçapları	147
Çizelge 7.7	Farklı kaynak akımlarında elde edilen yüzey gerilimleri	148
Çizelge 7.8	304 kalite paslanmaz çeliğin termal özellikleri	149

ÖNSÖZ

Kaynak teknolojisi, imalatta sunduğu üstünlükler ile imalatın her aşamasında kullanılmaktadır. Gelişen teknolojisi ile kaynak tekniği daha da önem kazanmakta ve daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Koruyucu gaz kaynak uygulamaları, işçilik, zaman tasarrufu gibi avantajlara sahip olduğundan en çok tercih edilen kaynak yöntemlerinden biridir. Koruyucu gazlar bu kaynak yöntemlerinde, kaynak dikiş formunu, kimyasal ve mekanik özelliklerini etkilemesinin yanısıra amaca en uygun koruyucu gaz seçildiği takdirde maliyet unsurunu da etkileyen önemli kaynak parametrelerinden biridir.

Bu tez çalışmasında, koruyucu gazların fiziksel, kimyasal özellikleri ve bu özelliklerinin kaynak dikiş formuna etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübesi ile yol göstericiliğini esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Nurullah GÜLTEKİN' e, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş' den Mak. Yük. Müh. Can ODABAŞ' a ve kaynak ustası Çakır TELCİ' ye teşekkürlerimi borç bilirim.



ÖZET

Koruyucu gaz kaynak uygulamalarında kullanılan koruyucu gazları, asal gazlar, aktif gazlar ve karışım gazlar olmak üzere 3'e ayırmak mümkündür. Koruyucu gazlar, kaynak ortamını atmosferin olumsuz etkilerinden korumanın yanısıra kaynak dikişinin formunu, kimyasal ve mekanik özelliklerini etkileyen kaynak parametrelerinden biridir.

Bu tez çalışmasında, koruyucu gazların kimyasal, fiziksel özellikleri ve bu özelliklerinin kaynak dikiş formuna etkileri incelenmiştir. Birinci bölümde, koruyucu gaz kaynak uygulamaları kısaca açıklanmıştır. İkinci bölümde, koruyucu gazların fonksiyonları, fiziksel özellikleri ve gaz karışımlarının (argon ve helyuma oksijen ve/veya karbondioksit ilaveli karışım gazları, argon-hidrojen karışım gazları, argon-azot karışım gazları, argon-helyum karışım gazları) kaynak dikişine etkileri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; koruyucu gazların ergime oranı üzerindeki etkileri, dördüncü bölümde; metal transfer formları üzerindeki etkileri, beşinci bölümde; kaynak prosesinde ortaya çıkan hatalar, altıncı bölümde; koruyucu gazların maliyetleri anlatılmıştır.

Deneyssel çalışmada, saf argon gazı ve 304 kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılarak, farklı kaynak akımlarında (140A, 150 A, 160 A, 170 A, 180 A, 190 A) elde edilen yedi adet kaynaklı deney parçalarının makroyapıları incelenmiştir.

Makroyapı fotoğraflarından kaynak dikişlerinin genişliği, derinliği, yüzey yarıçapı ölçülerek nüfuziyet oranı ve yüzey gerilimi hesaplanmıştır. Koruyucu gaz ile yüzey gerilimi arasındaki ilişkisi tespit edilmiştir ve yüzey geriliminin kaynak dikiş formuna etkisi saptanmıştır.

Yüzey gerilimi, Marangoni ısı yayılımı ile açıklanabilir ve kaynak dikişinin boyutu ile tahmin edilebilir. Saf argon gazı ile farklı kaynak akımlarında yapılan kaynakta kaynak dikiş formları ile daha önce yapılan araştırmalar incelendiğinde; Marangoni ısı yayılımı yönünün direkt olarak koruyucu gaz ile ilişkili olduğu ve ısı yayılımının artan kaynak akımı ile arttığı belirlenmiştir. Saf argon gazının ve kaynak akımının Marangoni ısı yayılımına etkisi incelendiğinde; ısı yayılımının kaynak dikişinin merkezinden kenarına doğru olduğu ve bu nedenle kaynak dikişinin genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asal gazlar, aktif gazlar, karışım gazları, kaynak dikiş formu ,yüzey gerilimi, Marangoni ısı yayılımı.

ABSTRACT

Shielding gases which are used in the gas metal arc welding are divided into three parts which are inert gases, active gases and mixed gases. Shielding gases which are important welding parameter don't only protect the welding area but also affect welding bead form, chemical and mechanical properties of welding bead.

In this thesis work, physical and chemical properties of shielding gases and the influence of shielding gases on the welding bead have been investigated. In the first chapter, the gas metal arc welding processes were explained. In the second chapter, the functions of shielding gases, the physical properties of shielding gases and the influence of mixed gases (the addition of oxygen and/or carbondioxide in the argon and helium shielding gases, argon-hydrogen mixed gases, argon-nitrogen mixed gases, argon-helium mixed gases) on the welding beads were explained. In the third chapter; the influence of shielding gases on the melting rate, in the fourth chapter the influence of shielding gases on the metal transfer forms, in the fifth chapter; the faults in the welding processes, in the sixth chapter; the cost of shielding gases were explained.

Pure argon gas, 304 quality stainless steel and seven kinds of weldig current (140 A, 150 A, 160 A, 170 A, 180 A, 190 A, 200 A) were used in the experimental works and macro structures of the ensured seven welded test samples were investigated.

The width, depth and surface radius of the welding bead were measured from the macro structure photos, the surface tension stress and penetration ratio of the weldind bead were calculated. The relationship between surface tension and shielding gases and the influence of surface tension on the welding bead form were established.

The surface tension explains the Marangoni heat convection and it can be estimated with the weld bead size. When the weld bead forms which were ensured with pure argon gas and the different welding currents and the former investigations have been examined, the direction of the Marangoni heat convection is related to shielding gas and heat convection increases with the increasing welding current, which have been determined. When the influence of the welding current and argon gas on the Marangoni heat convection have been examined, direction of the Marangoni heat convection is from the welding bead center to the welding bead edges and therefore, the width of the welding bead increases, which have been observed.

Key Words: Inert gases, active gases, mixed gases, welding bead form, surface tension, Marangoni heat convection.

1. GİRİŞ

İlk geliştirilen elektrik ark kaynağı yöntemlerinde kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korumak mümkün olmamıştır. Araştırmacılar, bu amaçla örtülü elektrodlar konusunda çalışmalarını sürdürürken, örtü yerine aynı amaçla gazları da kullanma olanaklarını incelemişlerdir.

1918 yılında Ruber tarafından verilen bir bildiride, çelikler üstünde saf karbondioksit ve saf hidrojen atmosferleri kullanılarak yapılabilecek kaynak yöntemi tarif edilmiştir.

1926 yılında ortaya çıkan Alexander usulünde, dikiş metanol gazı ile korunmaya çalışılmıştır.

Yine aynı yıl A.B.D.'de Weinman ve Langmuir tarafından hidrojenin koruyucu gaz olarak kullanılması ile ark atom usulü tatbik sahasına girmiştir.

1928 yılında geliştirilen Arcogen usulünde elektrod ve oksii-asetilen alevi birlikte kullanılmıştır. Burada üfleç alevi ile kaynak dikişinin atmosferin olumsuz tesirlerinden korunması amaçlanmıştır.

TIG kaynağı üzerinde yapılan çalışmalar, MIG ve MAG kaynağına göre daha önce başlamıştır. Bu yöntemin temellerini A.B.D.'de Hobart ve Devers 1930' lu yıllarda keşfetmiş ve patentlemiştir. İlk defa koruyucu gaz olarak soy bir gazın kullanıldığı bu yöntemin ticari kullanılışı, Horttop-Aircraft adlı Amerikan uçak firması tarafından uçak inşaatında magnezyum ve alaşımlarının kaynağında gerçekleştirilmiştir. Magnezyum kaynağı, koruyucu gaz olarak helyum ve doğru akım-ters kutuplama ile geniş bir tungsten elektrod kullanılarak yapılmıştır. Bu teknik elektrod ısınma problemlerinden dolayı bir kaç yıl içinde kullanılmaz olmuş, yerine daha iyi sonuçlar veren doğru akım-düz kutuplama ve koruyucu gaz olarak argon gazının kullanıldığı alternatif akım metotları geliştirilmiştir. Zamanla bu metotlar, Magnezyumun yanında alüminyumun kaynağında da uygulanmıştır. Ancak bu dönemdeki çalışmalar, özellikle argon teminindeki zorluklar ve fiyatının yüksekliği nedeniyle zorluklarla karşılaşmış ve proses pratikte, hakkettiği yeri alamamıştır. Sonraları prosesin, paslanmaz çeliğin bakır ve alaşımlarının, nikel ve alaşımlarının ve karbonlu çeliklerin kaynağında da uygulanabileceği bulunmuştur.

1948 yılında tungsten elektrod yerine, bir rulodan sağlanan ve sürekli tüketilebilen bir metal tel elektrod kullanılmasıyla, eriyen metal elektrodla yapılan koruyucu gaz kaynağı usulleri (MIG ve MAG) gelişmeye başladı. Tel, hem elektrod hem de dolgu malzemesi görevini yapmaktaydı. 1949 yılında ise Air Reduction Company Inc. tarafından yapılan patent

başvurusu kabul edildi. Bu metot ilk defa alüminyum kaynağında uygulandı ve metodun TIG metodundan yaklaşık dört kat hızlı olduğu görüldü. Bu arada koruyucu gaz katılan az miktarda oksijen, ark etkisinde ve metal özelliklerinde büyük bir olumsuz etki olmadan, genel kaynak karakteristiklerini önemli bir oranda geliştirdiği ortaya çıktı. Bundan sonra, bu metot başarıyla karbonlu ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanıldı. Bu gelişmeler söz konusu uygulamaların endüstriyel alanda kullanımlarını arttırdı.

Bu dönemde özellikle yalın karbonlu çeliğin kaynağı için saf argonun dışında daha ucuz ve verimli gazların kullanılması doğrultusunda araştırmalar sürdü. Aktif bir gaz olan karbondioksit bu amaçla düşünüldü. A.B.D. ve S.S.C.B.' de yapılan ilk denemelerde gözeneklilik meydana geliyordu. 1954 yılında Union Carbide yalın karbonlu çeliğin CO₂ gazı koruyuculuğu ile kaynağı için patent başvurusu yaptığında bir dönüm noktası yaşandı. Gözeneklilikten kaçınmak amacıyla uygun bir şekilde de dezokside edilmiş bir kaynak teliyle CO₂ koruyuculuğundaki kaynağın (MAG) karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında etkin olduğu saptandı. Elektrod telinin bileşimi şöyleydi.

C : % 0,12

Cr : % 0,25-0,35

Mn : % 1,0-1,2

Si : % 0,2-0,3

S : % 0,015 maksimum

P : % 0,04 maksimum

Araştırmacılar beklenenden daha yüksek oranda Mn ve Si muhtevası olan dolgu telleri kullanıldığında, CO₂' nin oksitleyici etkisine rağmen kaynak metalinde bu elementlerin kaybını engelleyebildiklerini ve gözenekliliği ortadan kaldırabildiklerini gördüler (Bozacı, 1990).

Koruyucu gazlarla ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde sürekli bir gelişme görülmektedir. İlk çalışmalarda koruyucu gazlarla ilgili genel konulardan bahselerken, günümüzde gelişen teknoloji sayesinde daha spesifik gaz karışımlarının kaynak dikişine olan etkileri araştırılmaktadır. Örneğin, argon gazına %0,1 mertebesinde O₂ ve/veya CO₂ ilaveli karışım gazlarının etkileri araştırılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, koruyucu gazların kimyasal, fiziksel özellikleri ve bu özelliklerinin

kaynak dikiş formuna etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmada, saf argon gazı ve 304 kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılarak, farklı kaynak akımlarında (140A, 150 A, 160 A, 170 A, 180 A, 190 A) elde edilen yedi adet kaynaklı deney parçalarının makroyapıları incelenmiştir.

1.1 Koruyucu Gaz Kaynak Uygulamaları

Koruyucu gaz kaynak yöntemlerinin uygulanmasında temel prensip, ark ortamı ve kaynak bölgesini, havanın etkisi dışında tutmak amacı ile, belirli gazlarla kontrollü olarak beslemektir. Bu şekilde sağlanan yapay bir kaynak ortamı ile,

- Atmosfer gazlarına karşı ark ve kaynak banyosunun korunması, metalsel banyonun gazının giderilmesi,
- Arkın oluşturulması ve kararlılığın korunması,
- Kaynak yatkınlıkları zayıf olan malzemeler ile de kaliteli dikişler eldesi,
- Parça kalınlıkları ve konstrüksiyonlarına uygun yöntem seçilebilmesi ve otomatik uygulamalara geçilebilmesi.
- Yüksek ergime verimleri ve nüfuziyet derinlikleri ile çalışılabilmesi,

gibi uygun koşullara ulaşılabilmektedir.

Belirtilen bu kaynak koşulları, öngörülen öncelik sıralarına bağlı olarak, asal ve aktif gazlar veya bunların karışımları seçilerek ortaya çıkarılmaktadır. Yöntemlerde ark, doğrudan doğruya veya dolaylı oluşturulmakta, elektrodlerden ise sadece ark oluşturu eleman veya ergiyerek ilave malzeme olarak da yararlanılmaktadır.

Bu usullerin gelişme süreci içinde koruyucu gaz olarak metanol (1926), oksii-asetilen gazı (1928), hidrojen (1928), soy gazlar, önce helyum sonra argon (1930), karbondioksit (1952) kullanılmıştır. Bugünkü uygulamalarda ise, He, Ar, H₂, CO₂, N₂ ve bunların karışımları kullanılmaktadır.

Koruyucu gaz kaynak yöntemlerinin başlıcalarını, aşağıdaki sınıflama içinde göstermek mümkündür (Gültekin,1991).

1 Ergimeyen elektrodla yapılan koruyucu gaz kaynağı

1.1 Ergimeyen iki elektrod ve dolaylı arkla yapılan koruyucu gaz kaynağı

(Ark-Atom kaynağı)

1.2 Ergimeyen bir elektrodla yapılan koruyucu gaz kaynağı

(TIG kaynağı, Plazma kaynağı)

2 Ergiyen elektrodla yapılan koruyucu gaz kaynağı

2.1 Soy gaz ortamında ergiyen elektrodla yapılan kaynak

(MIG veya SIGMA kaynağı)

2.2 Aktif gaz ortamında ergiyen elektrodla yapılan kaynak

(MAGC kaynağı)

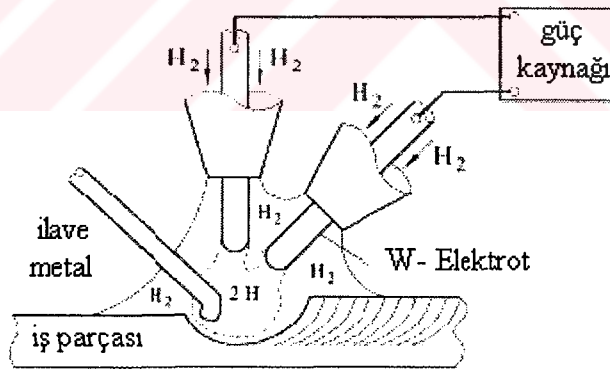
2.3 Karışım gazları ortamında ergiyen elektrodla yapılan kaynak

(MAGM kaynağı, MAGCI kaynağı)

1.1.1 Ergimeyen Elektrodla Yapılan Koruyucu Gaz Kaynağı

1.1.1.1 Ark-Atom Kaynağı

Yöntem, koruyucu gaz ortamında yapılan kaynak uygulamalarından en eskisi olarak tanınmaktadır. Uygulamada ark ortamı ve kaynak dikişi üzerinde H_2 gazı gönderilmektedir. Bu gaz ısı etkisi altında, aşağıda verilen denkleme göre atomlarına ayrılmaktadır. H_2 ' nin ısı iletimi $0,63 J/m.°C.h$ dır. Disosiasyon olayı sonucu, gerek kararlı bir ark ve gerekse korumalı bir kaynak dikişi oluşturulmakta, ayrıca dikiş deformasyonlarına karşı yeterli bir emniyet ortaya çıkarmaktadır (Şekil 1.1).



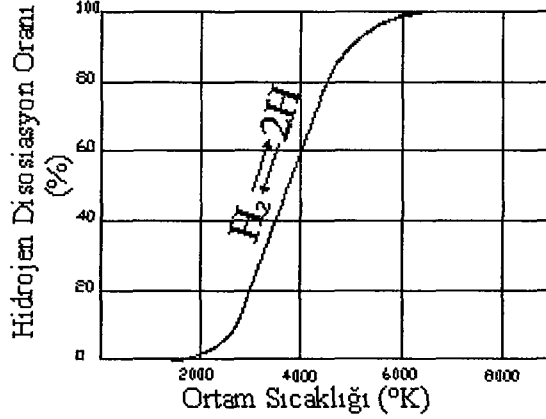
Şekil 1.1 Ark-atom kaynağının esası (Suban vd., 2001)

İşlemede kullanılan koruyucu gaz, wolfram elektrodu ve bütün kaynak dikişini yüzeysel olarak redükleyici bir atmosfer örtüp, oksidasyona karşı da korumaktadır.

Yöntemde ark sıcaklığı $4000-6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında bulunmaktadır. Şekil 1.2' deki diyagramda sıcaklık ile hidrojen disosiasyon oranı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Dalgalı akım ile yapılan ark-atom kaynağında, kaynak makinesi olarak özel transformatörler

kullanılır. Bu cihazların boşa çalışma gerilimlerinin 250-300 V arasında bulunması gerekmektedir. Kaynak işleminde uygulanan ark gerilimi ise 60-80 V arasında bulunmaktadır. İşlemden kaynak ortamına hidrojen gazı yaklaşık 0,3 atü basınç altında beslenmektedir.

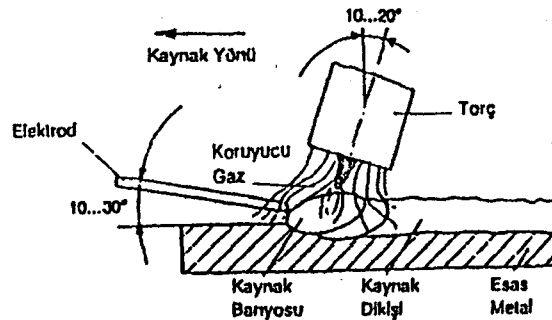


Şekil 1.2 Ortam sıcaklığı ile hidrojen disosiasyon oranı arasındaki ilişki (Gültekin, 1991)

Ark-atom kaynağında 15-150 A akım şiddetleri ile çalışılmaktadır. Nadir olarak 150 A akım şiddetlerine kadar varan uygulamalarda bulunmaktadır. Boşa çalışma gerilimlerinin yüksek olması nedeni ile, güç membaı olarak yararlanılan, transformatörlerin özel bir koruyucu donatımları bulunması gerekmektedir. Bu yöntemde kullanılan elektrodlar, 1.0, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0 mm çaplarından seçilmelidir (Gültekin,1991).

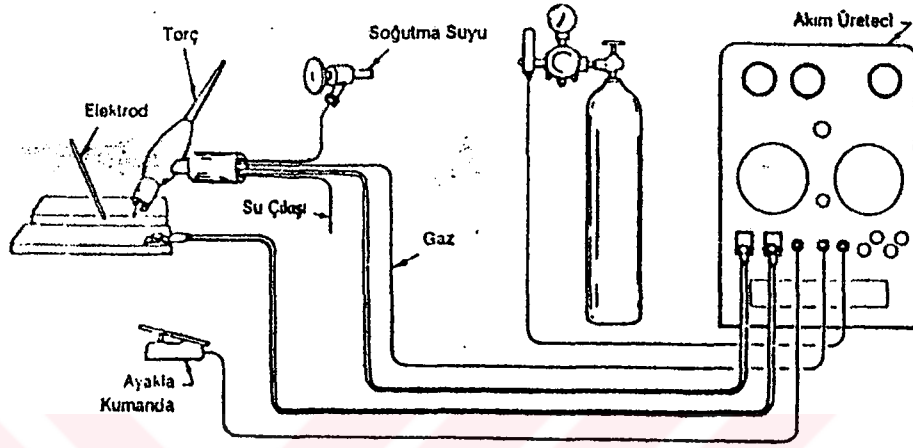
1.1.1.2 Tungsten Asal Gaz Kaynağı (TIG)

Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile adlandırılan bu yöntemde kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir lüleden gönderilen, bir asal gaz (helyum veya argon) tarafından korunmaktadır. Kaynak için ek kaynak metali, tel halinde kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulur.



Şekil 1.3 TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi (Kaluç, 1999)

Koruyucu gaz olarak bir soy gaz kullanılması sonucunda, kaynak esnasında sıvı metal havanın olumsuz etkilerinden çok iyi derecede korunur ve bu bakımdan bu yöntem özellikle havanın oksijeninden şiddetle etkilenen hafif metal alaşımları ve paslanmaz çelikler için çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Koruyucu gaz olarak Avrupa' da ve ülkemizde argon, A.B.D.' lerinde ise helyum , helyum – argon karışımları kullanılmaktadır.



Şekil 1.4 TIG kaynak donanımı blok şeması (Kaluç, 1999)

TIG kaynak yöntemi çok geniş uygulama alanına sahiptir, demir esaslı alaşımların kaynağında ve endüstride karşılaşılan demir dışı metal ve alaşımların çok büyük bir kısmının kaynatılmasında başarı ile kullanılabilmekte ve bütün kaynak pozisyonlarında sağlıklı sonuçlar alınabilmektedir (Kaluç, 1999).

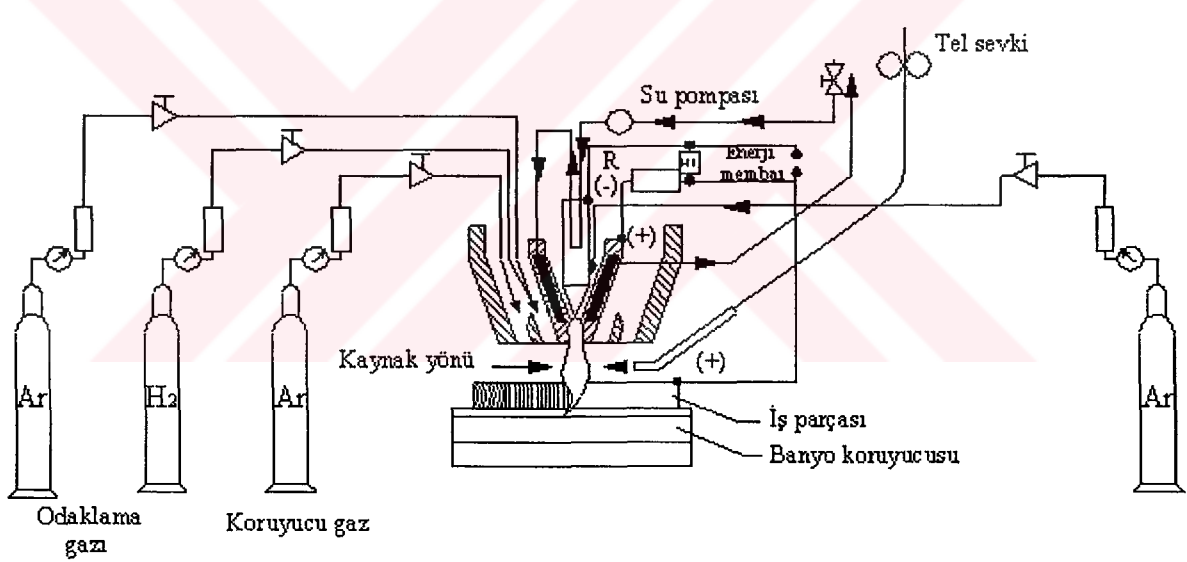
1.1.1.3 Plazma Kaynağı

Bu kavramdan, moleküllerin, atomların ve elektronların oluşturduğu kızdırılmış gaz anlaşılır. Tamamı elektriksel olarak nötraldir.

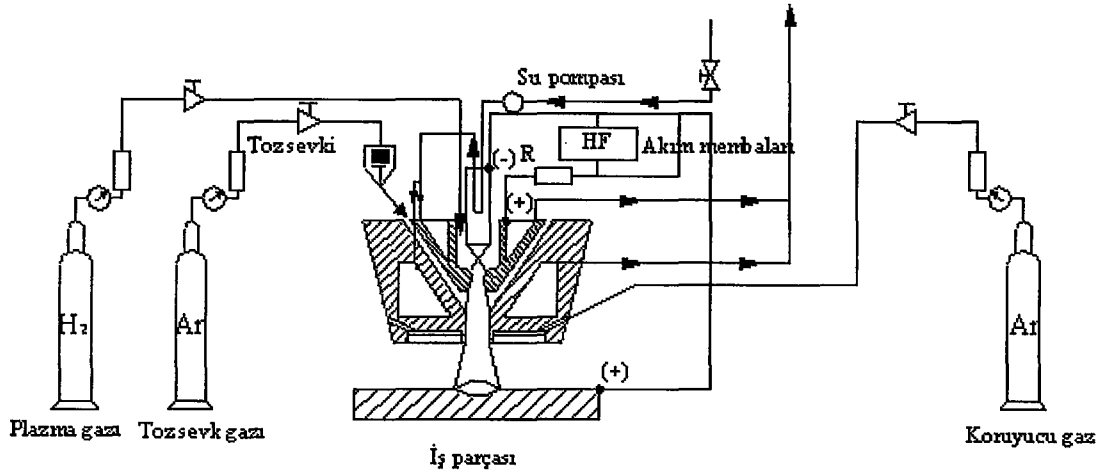
Plazma usulünde esas olarak iki farklı ark düzeni kullanılır. Taşıyıcı olmayan ark, erimeyen tungsten elektrod ve su ile soğutulan bakır meme arasında yanar. Bakır meme, arkı odaklayıcı, güç yoğunluğunu arttırıcı ve buna bağlı olarak plazma demetinin sıcaklığını yükseltici bir etki yapar. Tungsten elektrod negatif ve bakır meme de pozitif olarak kullanılmıştır. Bu şekilde bir tertip, plazma ile yapılan püskürtmede kullanılır. Buna karşılık taşıyıcı arklı sistemde, tungsten elektrodun katot, memenin anot olarak bağlandığı toryumla alaşımlandırılmış tungsten elektrodla, ışını (demeti) odaklayan ve suyla soğutulan bakır memenin içerisinden geçerek iş parçası arasında yanar. Plazma gazı elektrodla meme arasındaki silindirik hacime püskürtülür. Bu sistem plazma birleştirme kaynağında (Şekil 1.5)

ve plazma ile yapılan kesmede kullanılır. Taşıyıcı ark, yüksek frekans üzerinden geçirilen yardımcı ark ile elektrod ve meme arasında yakılır. Taşıyıcı ark tutuştuğunda yardımcı ark söner. Yalnız mikrop plazma kaynağında, kaynak işlemi esnasında yardımcı ark muhafaza edilir. Bir direnç vasıtasıyla yardımcı ark üzerinden akan akımın değeri sınırlanır.

Plazma birleştirme kaynağında, plazma gazına ilaveten, kaynak banyosunu atmosferin tesirlerine karşı koruyan ikinci bir gaz akımı (%99,95 Argon) kullanılır. Plazma kaynağı cihazların büyük çoğunluğunda üçüncü bir gaz akımı, plazma demetini odaklayıcı meme dışında daraltmak için odaklayıcı gaz ($Ar + He$, $Ar + H_2$, $Ar + N_2$) olarak kullanılmaktadır. 3 mm kalınlıktan itibaren sacların plazma birleştirme kaynağında plazma demeti iş parçasına nüfuz edip bir anahtar deliği oluşturur. İlerleyen kaynakla birlikte bu delik birleştirilecek sacların kaynak alınları boyunca hareket eder. Kaynak banyosunun ve delikteki buhar basıncının yüzey gerilimi nedeniyle erimiş malzeme deliğin hemen ardından birleşir ve kaynak dikişini oluşturur.



Şekil 1.5 Plazma birleştirme kaynağı için donanım (Anık, 1983)



Şekil 1.6 Plazma doldurma kaynağı için donanım (Anık, 1983)

Plazma doldurma kaynağında her iki arkın kombinasyonu kullanılır (Şekil 1.6). Bu usulde düşen karakteristikli iki ayrı ayarlanabilir doğru akım membaı, elektrod ile meme arasında ve elektrod ile iş parçası arasında bağlı olmak üzere kullanılmaktadır. Elektrod negatif, meme ve iş parçası da pozitif olarak kutuplanmıştır. Taşıyıcı olmayan ark yüksek frekans üzerinden tutuşturulur ve tungsten elektrodla iş parçası arasındaki taşıyıcı arkı iletir. Her iki ark kaynak işlemi sırasında yanar. Taşıyıcı arkın ayarı ile nüfuziyet miktarı ve onunla birlikte esas malzeme vasıtasıyla doldurma bölgesinin bileşimi etkilenir. Genellikle toz halindeki doldurma malzemesi bir gaz akımı (%99,95 Argon) üzerinden kaynak cihazına iletilir; plazma demetinde eritilir ve taşıyıcı arkla esas malzemeye kaynak edilir. Üçüncü bir gaz akımı da (%99,95 Argon) kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korunmasını sağlar.

Plazma kaynak makineleri kalın sacların birleştirilmesinde, folye ve mikro elemanların kaynağında kullanılan donanımlardır. Kaynak cihazları su ile soğutulur. Bir plazma birleştirme donanımı, hortum grubu akım membaı (düşen karakteristikli), ateşleme cihazı, kumanda cihazı ve çeşitli gazlar için basınçlı gaz tüplerinden oluşur. Plazma doldurma kaynağında, kaynak cihazı, ateşleme ve kumanda birbirleri yanında olmak üzere, iki tane doğru akım membaı kullanılır. Ayrıca, toz depolu bir toz sevk birimi de ihtiva eder. Kaynak cihazları 10 ile 15 kW güç çekişi için hazırlanmıştır.

Plazma birleştirme kaynağı büyük sac kalınlığına sahip malzemelerin küt alın birleştirilmesinde ilave metal kullanılmadan uygulanır. Ostenik çeliklerde alın kaynağı yapılabilecek maksimum sac kalınlığı yaklaşık 8 ile 10 mm kadardır. Burada kaynak hızı TIG usulü ulaşılabilinen % 100 ü kadar fazladır.

Plazma kaynağı ile alaşımsız, hafif ve yüksek alaşımlı çelikler, nikel ve nikel alaşımları, zirkonyum, bakır ve bakır alaşımları birleştirilir. Kaynak bağlantıları gayet iyi mekanik özellikler gösterir. Mikroplazma donanımları ile 0,01 mm kalınlığındaki folyeler 0,5 amperlik bir akım şiddeti ile yukarıya doğru birleştirilir (Anık, 1983).

TIG, ark-atom ve plazma gibi ergimeyen elektrodlarla yapılan kaynak işlemlerinde kullanılan elektrodlardan başlıca şu özellikler beklenir.

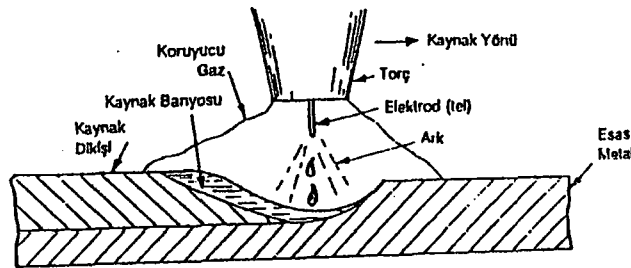
- Akımı iyi iletmesi ve soğutabilmesi,
- Kararlı bir ark oluşumu için yeterli elektron emisyonu yapabilme özelliğine sahip bulunmalı,
- Doğru ve dalgalı akımda kullanılabilmesi,
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında özelliklerini koruyabilmesi, kısa devre durumunda dikişte kalıntı bırakması,

Beklenen bu özellikleri, saf tungsten ve alaşımlandırılmış tungsten malzemesinden imal edilen elektrodlar sağlamaktadır. Özellikle toryum ile alaşımlandırılmış tungsten elektrodlarda iyi bir elektron emisyonu ile, %25 daha yüksek akım şiddetlerine ulaşılabilir. Örnek olarak 4 mm elektrod ile saf tungsten elektrod için uygun akım şiddeti aralığı 160-220 A iken, toryum alaşımlı tungsten elektrod için bu değer 180-250 A olarak verilmektedir (Gültekin, 1991).

1.1.2 Ergiyen Elektrodla Yapılan Koruyucu Gaz Kaynağı

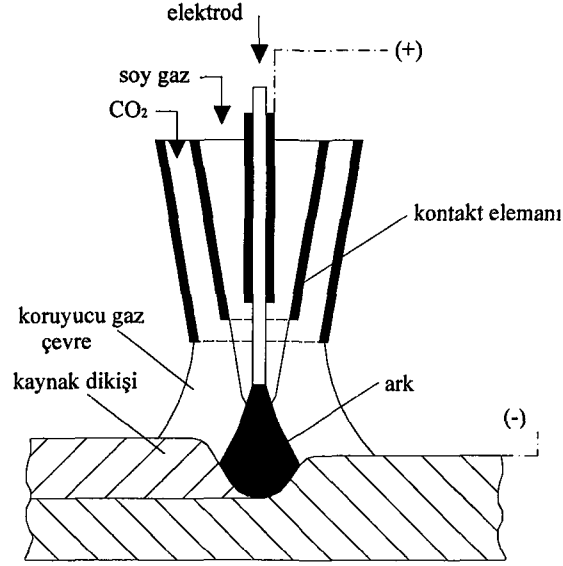
1.1.2.1 Metal Asal Gaz Kaynağı (MIG) ve Metal Aktif Gaz Kaynağı (MAG)

MIG kaynak yönteminde de ark, helyum veya argon gibi asal bir gaz atmosferi altında yanar; bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın iş parçası ve kaynak metali gereksinimini karşılayan bir elektrod arasında oluşturulmasıdır.



Şekil 1.7 MIG kaynak yönteminde ark bölgesi (Kaluç, 1999)

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, çok ince levhalar



Şekil 1.9 MAGCI yönteminin işlem prensibi (Gültekin, 1991)

Alüminyum, magnezyum ve alaşımları gibi kolay oksitleşen malzemelerin kaynağında, karbondioksit koruyucu gaz olarak kullanılamaz. Günümüzde bu usul, bilhassa çeliğin kaynağında büyük bir üstünlük sağladığından geniş çapta kullanılmaktadır. Piyasada bulunan çeşitli donanımları, tel ve koruyucu gazı değiştirerek hem MIG hem de MAG kaynaklarında kullanmak mümkündür (Kaluç, 1999).

2. KORUYUCU GAZLAR

2.1 Koruyucu Gazların Fonksiyonları

Kaynak banyosunun zararlı etkilerinden korunmak için çeşitli kaynak yöntemlerinde çeşitli gazlar kullanılır. Kullanılan bu gazları soy (asal) gazlar, aktif gazlar ve karışım gazlar olarak sınıflandırılır. Koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktördür. Genel olarak asal gazlar reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır.

Kullanılan koruyucu gazlar, ark bölgesini tamamen örterek kaynağı atmosferin olumsuz etkilerinden korumanın yanı sıra, ark kararlılığının sağlanmasında, kaynak geometrisinin belirlenmesinde ve metalurjik reaksiyonların oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini önlemek, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözülerek girmesini önlemek görevlerini yerine getirir.

Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önüne bulundurulması gerekir (Yılmaz, 2001).

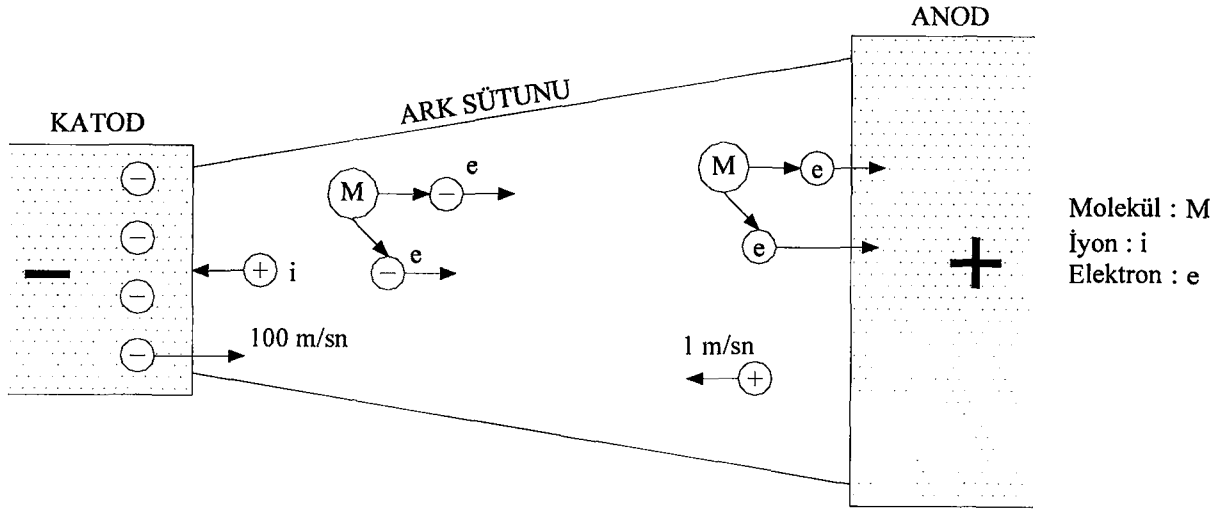
- Kaynatılan metal ve alaşım türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Tedarik edebilirlik ve gazın maliyeti,
- Kaynak dikişinden beklenen özellikler.

2.2 Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri

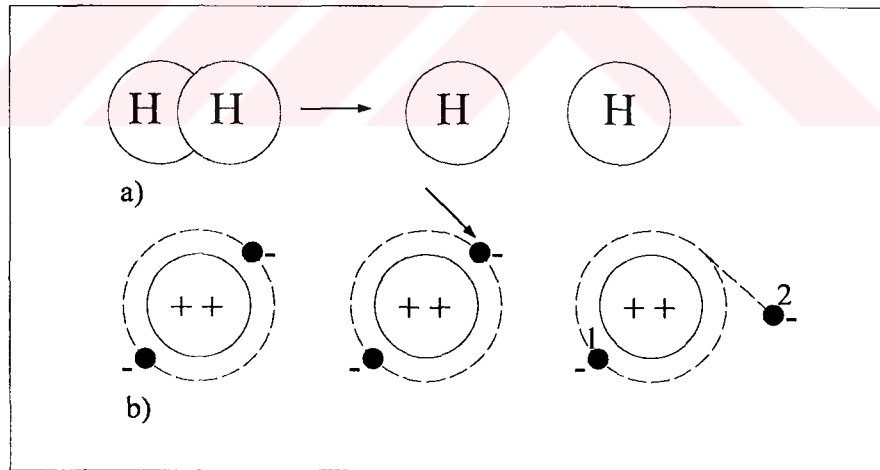
2.2.1 İyonizasyon Potansiyeli

Molekül, atom, iyon ve elektronlardan oluşmuş, yüksek ısı ile yüklü gaz “plazma” olarak tanımlanır. Plazma, gazı elektrik arkından geçirerek elde edilen iyonlaşmış ışıklı gaz olarak da tanımlanabilir. Şekil 2.1’ de ark sütunu (plazma) gösterilmiştir. Plazma oluşumu, arkı saran gazların iyonizasyon potansiyeline (iyonu oluşturarak bir elektronu bir atomdan çıkarabilmek için gereken voltaj) bağlıdır ve ark stabilitesi koruyucu gazın iyonizasyon potansiyeline bağlıdır. Şekil 2.2’ de disosiasyon ve iyonizasyon olaylarının tasarımı gösterilmiştir.

Çizelge 2.1' de çeşitli gazlara ait iyonizasyon ve disosiasyon potansiyelleri gösterilmiştir (Bozacı, 1990; Gültekin, 1991; Yılmaz, 2001).



Şekil 2.1 Ark sütunu (plazma) (Okan, 1989)



Şekil 2.2 Disosiasyon ve iyonizasyon oluşumları a) disosiasyon, b) iyonizasyon. Gazdan pozitif iyon (1) ve serbest elektrona (2) geçiş (Gültekin, 1991)

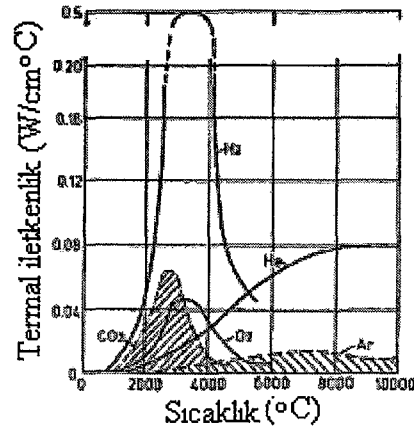
Çizelge 2.1 Çeşitli gazlara ait disosiasyon ve iyonizasyon potansiyelleri (Bozacı, 1990)

Gaz Tipi	Birinci İyonizasyon Potansiyeli (eV)	Disosiasyon Potansiyeli (eV)
Argon	15,75	-
Helyum	24,58	-
Hidrojen	13,59	4,5
Azot	14,54	-
Oksijen	13,61	5,1
Karbondioksit	14,4	4,3

Örneğin ark başlangıcı ve ark stabilitesi, kaynak işleminde kullanılan tamamlayıcı koruyucu gazların iyonizasyon potansiyelinden oldukça fazla etkilenirler. Argon gibi düşük iyonizasyon potansiyeline sahip bir gaz, atomları iyonlara kolayca dönüştürebilir. Argon atomundan ilk elektronun çıkması için 15.75 elektron volta (eV), ikinci elektronun çıkması için 27.58 eV iyonizasyon potansiyeline ihtiyaç vardır. Bu pürüzsüz ve stabil bir arkı beslemeye yardımcı olur. Helyum argondan daha yüksek iyonizasyon potansiyeline sahiptir. Helyum atomundan ilk elektronun çıkması için 24.5 eV, geri kalan elektronların için 54.4 eV' a ihtiyaç vardır. Bu nedenle helyum koruması ile daha az stabil ve harekete geçmesi zor ark üretilir (Smith vd., 1989; Yılmaz, 2001).

2.2.2 Termal İletkenlik

Koruyucu gaz elemanlarının termal iletkenlikteki farkları aynı zamanda kaynak birleştirme karakteristiklerinin sonuçlanmasında da farklılıklar oluşturur. Koruyucu gazların termal iletkenliği kaynak metalinin şeklini etkiler. Yüksek termal iletkenliğe sahip gazlar, üzerinde çalışılan parçaya daha fazla ısı aktarır; böylelikle kaynağın şekil ve nüfuziyet profilini etkiler. Ana plakaya artan ısı aktarımı, artan ek nüfuziyet ve kaynak banyosu akışkanlığına ilerler. Yüksek termal iletkenlik özellikle alüminyum ve bakır gibi yüksek iletken metaller eklendiğinde kritik öneme sahiptir. Helyum ve karbondioksit argondan daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir ve bunlar ana metale ısı aktarımına hazırdırlar. Şekil 2.3' de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gazların termal iletkenliği gösterilmiştir (Tusek ve Suban, 2000; Yılmaz, 2001).



Şekil 2.3 Gazların sıcaklığa bağlı olarak termal iletkenlikleri (Tusek ve Suban, 2000)

Helyum ve karbondioksiti koruyucu karışımına ekleyerek uygun bir ısı transferi belirli bir uygulama için gerçekleştirilebilir. Ancak karışım seçimi, en düşük maliyette uygun kaynak kalitesine ulaşmak için mümkün işlem parametreleriyle tamamlanmalıdır (Yılmaz, 2001).

2.2.3 Gaz Yoğunluğu

Koruyucu gazın yoğunluğu, kaynak bölgesinin korunmasını ve gaz tüketimi açısından önemli bir fiziksel özelliktir. Ağır bir gaz kaynak bölgesini daha iyi örter ve korur. Çizelge 2.2' de gazların yoğunlukları gösterilmiştir. Örneğin, argon gazı havadan 1.5 kat, helyum gazından 10 kat daha ağırdır. Helyumun yoğunluğu, 30 °F ve 1 atm basınç altında 0.16 kg/m^3 dür. Aynı şartlar altında havanın yoğunluğu 1.3 kg/m^3 dür. Bu nedenle helyum gazı aynı akış hızlarında diğer gazlarla aynı korumayı yapamaz. Aynı korumayı yapabilmesi için daha yüksek akış hızlarına gereksinim duyulur. Helyum gazının havadan hafif bir gaz olması tavan kaynağında avantaj sağlar (Smith vd., 1989; TS-EN 439).

Çizelge 2.2 Çeşitli gazlara ait yoğunluk değerleri (TS-EN 439)

Gaz Tipi	1,013 Bar (0,101 Mpa) ve 0 °C' de Belirlenen	
	Yoğunluk (Hava = 1,293 kg/m^3)	Havaya Göre Nispi Yoğunluk
Argon	1,784	1,380
Helyum	0,178	0,138
Karbondioksit	1,977	1,529
Oksijen	1,429	1,105
Azot	1,251	0,968
Hidrojen	0,090	0,070

2.2.4 Saflık ve Çiğ Noktası

Koruyucu gazla kaynak uygulamalarında kullanılan bütün gazların çok düşük çiğ noktasına sahip olması gerekir. Bir gazın çiğ noktası, ne kadar nem içerdiğinin ölçüsüdür. Nem, arkın yüksek sıcaklıklarında oksijen ve hidrojene ayrışır, özellikle hidrojen kaynak dikişleri için çok tahrip edicidir. Atmosferdeki hidrojenin basıncı kaynak metalinde poroziteye neden olurken oksijen ise kaynak banyosunun yüzeyinde bir oksit tabakasının oluşmasına neden olur. Buda kaynak metalinde inklüzyona ve ergime hatalarına neden olur (Lyman vd., 1979; Smith vd., 1989).

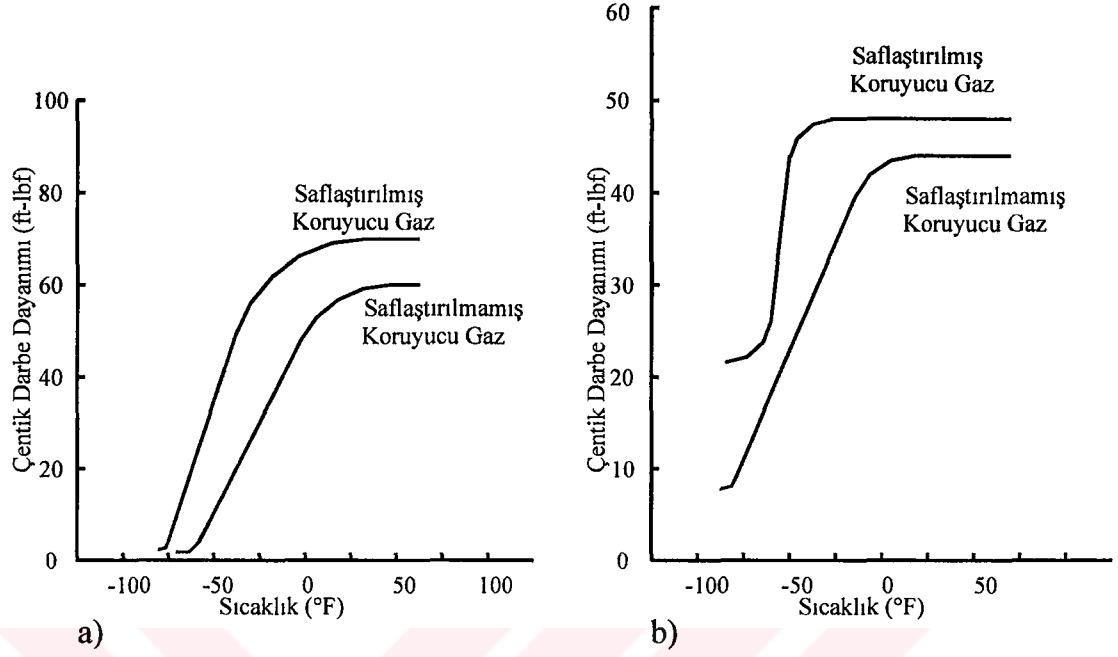
Koruyucu gazların çiğ noktası en az -75°F veya daha düşük olmalıdır. Çizelge 2.3' de, AWS (American Welding Society) tarafından hazırlanmış koruyucu gazların saflık, çiğ noktası gibi özellikleri gösterilmiştir (Zawodny, 2001).

Çizelge 2.3 Çeşitli gazlara ait saflık ve çiğ noktası değerleri (Zawodny, 2001)

Gaz Tipi	AWS Sınıflandırması	Ürün Hali	Minimum Saflık (%)	Maksimum Nem (ppm)	1 atm' de Maksimum Çiğ Noktası °F °C	
Argon	SG-A	Gaz	99,997	10,5	-76	-60
		Sıvı	99,997	10,5	-76	-60
Karbondioksit	SG-C	Gaz	99,8	32	-60	-51
		Sıvı	99,8	32	-60	-21
Helyum	SG-He	Gaz	99,995	15	-71	-57
		Sıvı	99,995	15	-71	-57
Hidrojen	SG-H	Gaz	99,95	32	-60	-51
		Sıvı	99,95	32	-60	-51
Azot	SG-N	Gaz	99,9	32	-60	-51
		Sıvı	99,998	4	-90	-68
Oksijen	SG-O	Gaz	99,5	Uygun değil	-54	-18
		Sıvı	99,5	Uygun değil	-82	-63

Koruyucu gazda su buharı, oksijen ve azot gibi safiyetsizliklerin bulunması kaynak metalinin mekanik özelliklerini ters yönde etkilemektedir. Bu amaçla Krysiak ve Bhadha (1990) tarafından dubleks ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında koruyucu gazdaki nem ve oksijenin etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla 40-42 ppm nem ve 18-20 ppm oksijen içeren argon gazı ve saflaştırılmış argon gazı kullanarak TIG kaynak yöntemi ile deney yapmışlardır. Şekil 2.4-a' da dubleks paslanmaz çeliğin , Şekil 2.4-b' de ferritik paslanmaz çeliğinin kaynak metallerinin çentik darbe dayanımlarının eğrileri gösterilmiştir. Şekillerden de anlaşıldığı gibi koruyucu gazda nem ve oksijenin bulunması kaynak metalinin çentik darbe dayanımını

düşürmektedir (Krysiak ve Bhadha, 1990).



Şekil 2.4-a Koruyucu gazın saflaştırılmamasının dubleks paslanmaz çeliğin kaynak metalinin ve Şekil 2.4-b ferritik paslanmaz çeliğin kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi (Krysiak ve Bhadha, 1990)

2.3 Asal Gazlar

Asal gaz olarak argon ve helyum kullanılmaktadır. Asal gazlar demir dışı metallerin kaynağında kullanılırken, demir esaslı metallerin kaynağında ise argon ve/veya helyum gazına ilave gazlar (CO_2 , O_2 , H_2 , N_2) eklenerek karışım gazlar kullanılır.

2.3.1 Argon (Ar)

Argon ağır monoatomik asal bir gazdır. Havanın sıvılaştırılması ile atmosferden elde edilir. Argon gazı %99.99 saflıkta arıtıldıktan sonra -184°C (-300°F) sıcaklığın altında sıvı olarak depolanır veya nakledilir. Kullanım hacmine bağlı olarak, sıvı olarak veya basınçlı gaz olarak tedarik edilebilir (Kearns, 1978).

Argonun aşağıdaki avantajları sayesinde yaygın bir kullanım alanı oluşturmuştur.

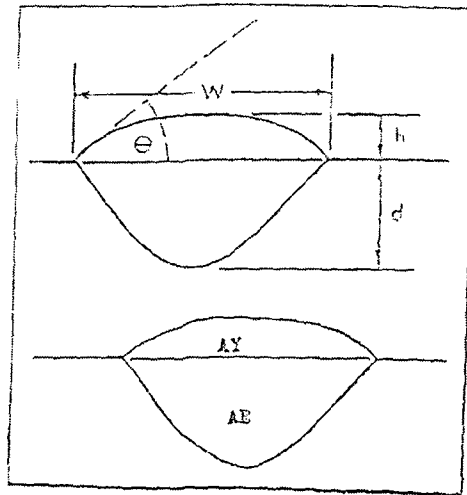
- Daha stabil ve sakin ark hareketi
- Bütün akım değerlerinde ve ark uzunluklarında daha düşük ark gerilimi
- Alüminyum ve magnezyum gibi malzemelerin kaynağında daha büyük temizleme etkisi
- Daha düşük maliyet ve kolay tedarik edilebilirlik

- İyi koruma için düşük akış hızları
- Arkın daha kolay başlatılabilmesi

Argon gazının yoğunluğu, yaklaşık olarak havanın yoğunluğunun 1.4 katıdır. Buda kaynak bölgesinin daha iyi korunmasını ve yüksek gaz akış hızlarına gereksinim duyulmamasını sağlar. Argon gazının düşük iyonizasyon potansiyeline (15.75 eV) sahip olması, düşük ark gerilimi ve daha stabil bir ark oluşturur. Bununla beraber argon atmosferinde ark kolonu oldukça dar olması bazen ark stabilitesinde bazı zorluklar meydana getirebilir. Argon ark plazması, iç çekirdekte yüksek enerjiye sahipken dış alanda ise daha düşük enerjiye sahiptir (Dixon, 1999). Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet, dikişin merkezinde derin, kenarlarda azdır (Yılmaz, 2001)

Argonun düşük ark gerilimi karakteristiği özellikle ince malzemelerin elle kaynağında avantaj sağlar. Argonun bu özelliği, ana metalde kaynak işlemi esnasında oluşacak distorsiyon eğilimini azalttığı için dişey ve tavan kaynak uygulamalarında da avantaj sağlar (Kearns, 1978).

Argon asal bir gaz olmasına rağmen bazen stabil olmayan bir ark ve kötü dikiş formu üretebilir. Yüksek yüzey geriliminin bir sonucu olarak yüksek kaynak sırtı ve kötü ıslatma karakteristiği olabilir. Ergimiş damlanın ve kaynak banyosunun yüzey gerilimi yüzey oksidasyonu ile azalır ve daha iyi ıslatma açısı ve daha alçak kaynak sırtı ve kenarlarda daha derin nüfuziyet üretilir. Yani az miktarda oksijen veya karbondioksit ilavesi ile kaynak banyosunun yüzey gerilimi azaltılabilir Yüzey gerilimi düşük olduğu zaman ıslatma açısı küçük ve kaynak banyosu daha geniş olur (Okan, 1989; Kannatey vd., 1991).



Şekil 2.5 Kaynak dikiş formu (Okan, 1989)

$$\text{Ergime Oranı} = \frac{AE}{AE + AY} \times 100 \quad (2.1)$$

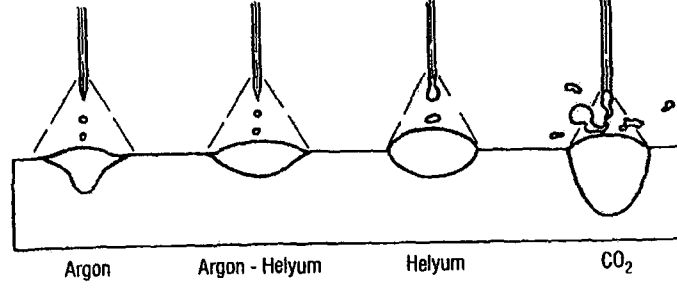
W; ergime genişliği, d; nüfuziyet, h; dikiş yüksekliği, θ ; ısılatma açısı, AY; yığılma kesit alanı, AE; ergime kesit alanı.

2.3.2 Helyum (He)

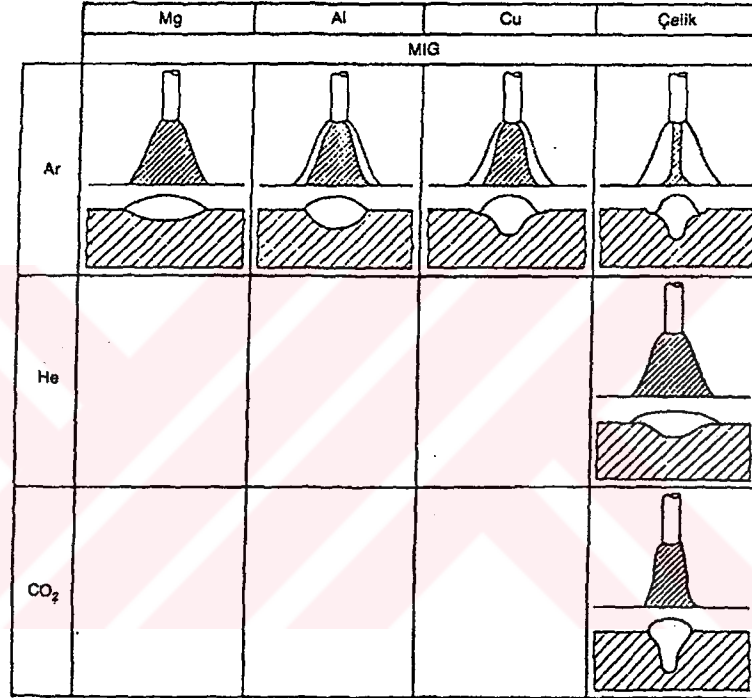
Helyum asal ve zehirsiz en hafif monoatomik bir gazdır. Hidrojenden sonra en küçük moleküler boyuta sahiptir. Yaklaşık olarak havanın 0.14 katıdır. Havadan hafif bir gaz olması gaz sarfiyatını çok arttırmaktadır. Yatay pozisyonda aynı şartlar altında argon gazının yaptığı korumayı sağlamak için üç misli helyuma ihtiyaç vardır. Helyum gazının havadan hafif olması tavan kaynağında avantaj sağlar. Helyum, havanın içinde çok küçük konsantrasyonda bulunur (yaklaşık olarak %0.0004). Bu nedenle havadan üretim ekonomik değildir. Helyum doğal gaz sahalarından (bunlar minimum %0.6 helyum içerir) üretilir.

Helyum kaynak arkını ve proses performansını etkileyen birçok fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Helyum bütün koruyucu gazla yapılan kaynak yöntemlerinde ve birçok malzemede kullanılabilir (Hunt vd., 1997).

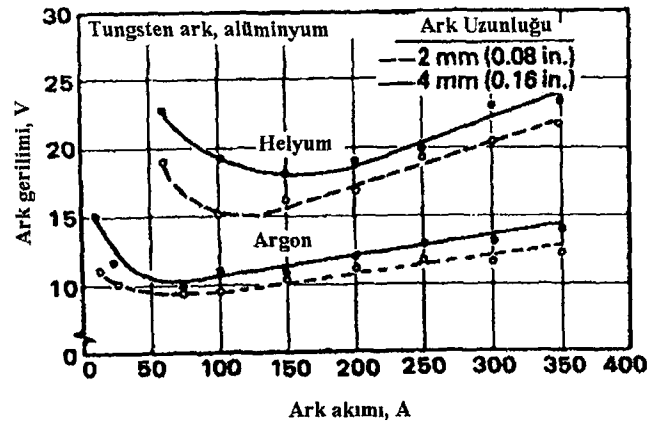
Helyum, neon gazı hariç diğer bütün gazlardan daha iyi elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu nedenle yüksek akımların kullanıldığı kaynak uygulamaları için uygun bir gazdır. Helyumun termal iletkenliği, 6000 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda diğer gazların termal iletkenliğinden oldukça yüksektir (Şekil 2.3). Helyumun yüksek termal iletkenliği ile argondan daha yüksek ark gerilimi ve ısı girdisi elde edilir. Buda yüksek termal iletkenliğe veya yüksek ergime sıcaklığına sahip kalın malzemelerin kaynağında avantaj sağlar ve daha geniş kaynak metalleri elde edilir (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7). Argon gazına helyum ilavesi ile daha sıcak akıcı kaynak banyosu olduğundan alüminyumun kaynağında meydana gelen porozite oluşumu azalır .Şekil 2.8' de alüminyumun TIG kaynağında helyum ve argon koruması ile sağlanan ark gerilimi ile kaynak akımı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Aynı ark uzunluklarında ve kaynak akımlarında helyum ile argondan daha yüksek ark gerilimi elde edilir. Ayrıca helyum ile elde edilen ark gerilimini argon ile elde etmek için daha yüksek kaynak akımlarda çalışmak gerekir (Kearns, 1978; Urmston, 1996; Hunt vd., 1997).



Şekil 2.6 Çeşitli koruyucu gazların dikiş formuna etkisi (Eryürek, 2003)



Şekil 2.7 Ar, He ve CO₂ atmosferinde oluşan ark ve dikiş formları (Yılmaz, 2001)



Şekil 2.8 Ar ve He koruması ile sağlanan gerilim-akım arasındaki ilişki (Kearns, 1978)

Helyumun iyonizasyon potansiyeli (24.59 eV) argondan ve diğer gazlardan daha yüksektir. Yüksek iyonizasyon potansiyeli ile bütün ark uzunluklarında ve kaynak akımlarında yüksek enerji sağlanır. Ancak koruyucu gazın iyonizasyon potansiyeli, arkın tutuşmasını ve stabilitesini etkiler. Yüksek iyonizasyon potansiyeli ile arkı kontrol etmek zorlaşır ve daha az stabil ve harekete geçmesi zor olan bir ark üretilir (Hunt vd., 1997).

Çizelge 2.4' de argon ve helyumun bazı özellikleri ve performanslarının karşılaştırılması gösterilmiştir (Lyman vd., 1979).

Çizelge 2.4 Ar ve He koruyucu gazlarının karşılaştırılması (Lyman vd., 1979)

Argon
Düşük Ark Voltajı : Daha az ısı üretimi oluşur. Bu yüzden çoğunlukla 1.6 mm' den ince metallerin el kaynağında kullanılır.
İyi Temizleme Etkisi : Yüksek sıcaklıklarda erimeyen oksit kalıntıları içeren alüminyum alaşımları gibi metallerde tercih edilir.
Arkın Kolay Başlatılması : Özellikle ince metallerin kaynağında önemlidir.
Ark Kararlılığı : Helyumdan daha karardır.
Daha Az Hacimde Gaz Sarfıyatı : Havadan ağır olması sebebiyle argon, düşük debili gaz akışıyla büyük koruma alanı yaratır ve bu alan çevresel hava akımlarından daha az etkilenir.
Düşey Tavan Kaynağı : Kaynak banyosunun kontrolünde iyi sonuçlar verdiğinden bazen tercih edilir. Ancak helyuma göre daha küçük koruma alanı verir.
Otomatik Kaynak : 60 cm/dak' dan daha büyük hızlarda gözenekliliğe ve yenme oluklarına sebep olabilir. Sorun kendini, malzeme cinsine ve kalınlığa göre farklı şekillerde gösterir. Helyum veya helyum-argon karışımları kullanılarak giderilebilir.
Kalın İş Parçası : 4.5 mm' den büyük kalınlıklarda, helyum veya helyum-argon karışımı faydalı olabilir.
Ayrı Metallerin Kaynağı : Genelde argon helyuma göre üstündür.
Helyum
Yüksek Ark Voltajı : Yüksek ısı iletimine sahip 4,5 mm' den daha kalın metallerin kaynağında, argona göre yüksek ark voltajı vasıtası ile oluşan yüksek ısı üretimi tercih sebebidir.
Dar Bir Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) : Yüksek hızlarda büyük ısı girişiyle ısının tesiri altındaki bölge dar tutulabilir. Bu daha az fena etkilerin ve daha yüksek mekanik özelliklerinin eldesini sağlar.
Daha Fazla Hacimde Gaz Sarfıyatı : Havadan daha hafif olan helyumun debisi, argonunkinden 1.5 ile 3 kat daha fazladır. Helyumun havada hafif olması, onun hava akımlarına karşı daha duyarlı olmasına sebep olur. Ancak bununla birlikte bu özellik tavan kaynağı ve düşey pozisyonda kaynaklar için bir avantajdır.
Otomatik Kaynak : 60 cm/saniye' den daha hızlı kaynaklarda, daha az gözenek ve yanma oluğu oluşur. (Metal cinsine ve kalınlığına bağlı olarak.)

2.4 Aktif Gazlar

2.4.1 Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit renksiz, kokusuz ve özgül ağırlığı 1.997 kg/m³ olan bir gazdır. Havadan yaklaşık olarak 1,5 kat daha ağır bir gazdır. Basıncılı tüplerde kullanılır. Karbondioksit tüpleri 15 °C’ de takriben 65 atmosferde doldurulur. Bu şartlarda tüpün ihtiva ettiği gaz sıvı haldedir. Kullanma sırasında sıvı haldeki karbondioksit gaz haline geçer.

Karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit, endüstriyel çapta, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonunda da yan ürün olarak elde edilir.

Karbondioksit kaynak işletmelerinde genellikle tüp içinde getirilir, tüp içindeki karbondioksitin büyük bir kısmı sıvı halinde bulunur ve sıvının üst kısmında (tüpün 1/3) ise buharlaşmış karbondioksit gaz halindedir ve bu gazın basıncı düştükçe de sıvıdan buharlaşarak basıncı normale döndürür.

Buharlaşma esnasında tüp daima bir buharlaşma ısisına ihtiyaç gösterir, bu bakımdan standart bir tüpten bir anda çok fazla gaz çekebilme olanağı yoktur; zira buharlaşma ısisının çekilmesi sonucu sıcaklık düşer ve sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşür, çıkış borusunu ve detandörü tıkar; bu bakımdan bir tüpten sürekli olarak 12 litre/dak.’ dan daha büyük debiler çekilmemesi gereklidir, sürekli olmamak koşulu ile bu değer 17 lt/dak’ ya çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu hallerde, birden fazla tüpün bir manifold ile bağlanarak kullanılması gereklidir. Soğuk iklimlerde ise karbondioksit karı zerreciklerin çıkış ağzını tıkamaması için, buraya bir elektrikli ısıtıcı konması tavsiye edilen bir husustur.

Tüp içinde karbondioksitin çok büyük bir kısmının sıvı halde bulunması nedeniyle hiçbir zaman bu tüpler eğik veya yatay durumda kullanılmamalıdır; karbondioksit tüpleri daima kullanma esnasında dik durumda tutulmalıdır (Kaluç, 1999).

Argon ve helyum bir çok metalin kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılmasına rağmen karbondioksit az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin gazaltı kaynağında çok geniş çapta uygulama alanı bulmuştur. Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunduğu avantajlar derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızları ve düşük maliyet olarak sıralanabilir. Saf karbondioksit gazı ile spreyci metal transferi sağlanamaz. Karbondioksit ile kısa devreli veya küresel (iri damlalı) metal transferi sağlanır (Anık, 1983; Kearns, 1978).

Karbondioksit gazının en büyük dezavantajı oldukça kaba ark ve aşırı sıçramalı metal

transferi oluşturmasıdır. Sıçrama kayıpları çok kısa ve düzgün ark boyu ile azaltılabilir. Eğer iyi bir ark koruması sağlanırsa, sıçrama miktarı belirli tolerans sınırı içinde korunursa ve uygun dezoksidan elementler içeren elektrodlar kullanılırsa kaliteli kaynak metalleri elde edilebilir. Karbondioksit gazı flux özlü ark kaynağında geniş çapta kullanılır (Kearns, 1978)

Karbondioksit gazı oda sıcaklığında etkisiz bir gazdır. Argon gazı gibi monoatomik bir gaz olmadığı için arkın yüksek sıcaklıklarında aşağıdaki şekilde karbonmonoksite (CO) ve oksijene (O) ayrışır . Normal ark boylarında koruyucu gaz hacminin %7' si karbonmonoksite ayrışır. Büyük ark boylarında %12' ye kadar ulaşır. Bu nedenle karbondioksit korumalı kaynak yöntemlerinde kısa ark boyu kullanılır (Anık,1983; Smith vd., 1989).



Serbest oksijen erimiş banyodaki elemanlarla birleşir. Karbondioksitin yüksek sıcaklıktaki disosiasyonu endotermik bir reaksiyondur. Hemen iyonize olan gaz akımı, kaynak parçasının metalik demiri tarafından alınır ve tekrar atomların molekül halinde birleşmesini sağlar. Burada serbest hale geçen disosiyasyon ısısı, derin bir nüfuziyet sağlar (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7). Sıvı haldeki demir aşağıdaki denkleme göre karbondioksit tarafından oksidasyona uğrar (Anık, 1983).

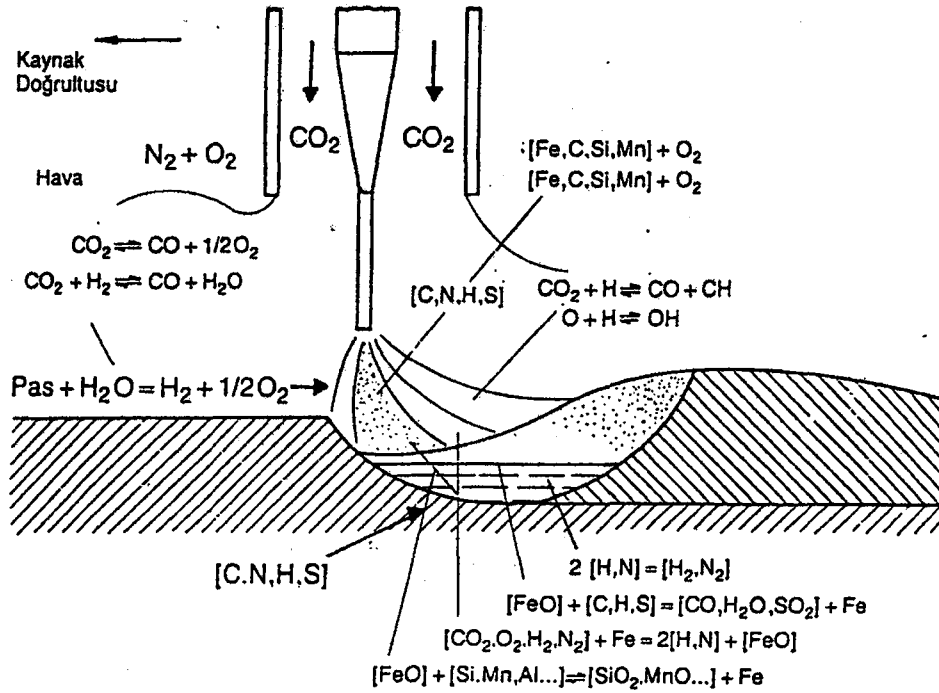


Demiroksit, diğ er taraftan mangan ve silisyum ile birleşerek, sonuçta mangan ve silisyum yanmasına neden olur. Mangan ve silisyum yanma dolayısıyla yüksek miktardaki kaybının, kaynak telinin bileşimi veya kullanılan ilave maddelerle karşılanması gerekir . Mangan (Mn) ve silisyum (Si) kayıplarının temelinde, karbondioksit korumasının yaklaşık olarak %10 O₂ içeren karışım gazına denk olmasıdır. Dolayısıyla karbondioksit koruması elde edilen kaynak metallerinin yüzeyinde oksit tabakası oluşur. Oksitleyici etkiye rağmen uygun dezoksidanlı elektrod ve kısa ark boyu kullanılarak porozite problemi oluşmaz (Anık, 1983; Kearns, 1978).

Oksidasyon reaksiyonundan başka aşağıdaki reaksiyonda önemlidir.



Bu denkleme göre ya bir karbon azalması veya karbon fazlalaşması meydana gelir. Eğer kaynak telinin karbon oranı % 0.09' un altında ise, bir karbon fazlalaşması ve üstünde ise, karbon azalması meydana gelir. Karbondioksit koruması altında meydana gelen diğ er reaksiyonlar Şekil 2.9' de gösterilmiştir.



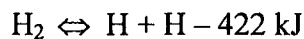
Şekil 2.9 Karbondioksit atmosferinde oluşan reaksiyonlar (Anık, 1983)

Karbondioksit gazının saf ve kuru olması önemlidir. Karbondioksitte bulunan rutubet bağlantıya gevreklik ve kaynak metalinde balık gözlerinin oluşmasına neden olur. Diğer taraftan karbondioksitin bileşiminde bulunan oksijen ve azotun da düşük olması gerekir. Fazla miktarda azot ve oksijen dikişin mekanik özelliklerinin düşmesine neden olur. MAG kaynağında kullanılan karbondioksit gazının safiyet derecesinin %99.7 olması gerekir (Anık, 1983).

2.4.2 Hidrojen (H₂)

Hidrojen, renksiz, kokusuz, tatsız, zehirsiz ve havadaki konsantrasyonu yaklaşık olarak 100 ppm (%0.01) olan en hafif elementtir. Hidrojen, alev alabilen bir gazdır ve büyük oranlarda oksijen veya hava ile karışımı sonucu patlar.

Saf hidrojen, II. Dünya Savaşı' dan önce Almanya' da atomik hidrojen kaynağı veya kısaca ark atom kaynağında koruyu gaz olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Bu kaynak yönteminde ark, iki tungsten elektrod arasında oluşturulur. Hidrojen ark bölgesini korur. Hidrojen arkta geçtiğinde, plazma çekirdeğindeki yüksek sıcaklık gazın dissosiasyona uğramasına neden olur. Oluşan reaksiyon endotermik reaksiyondur ve enerji açığa çıkar (Suban vd., 2001).



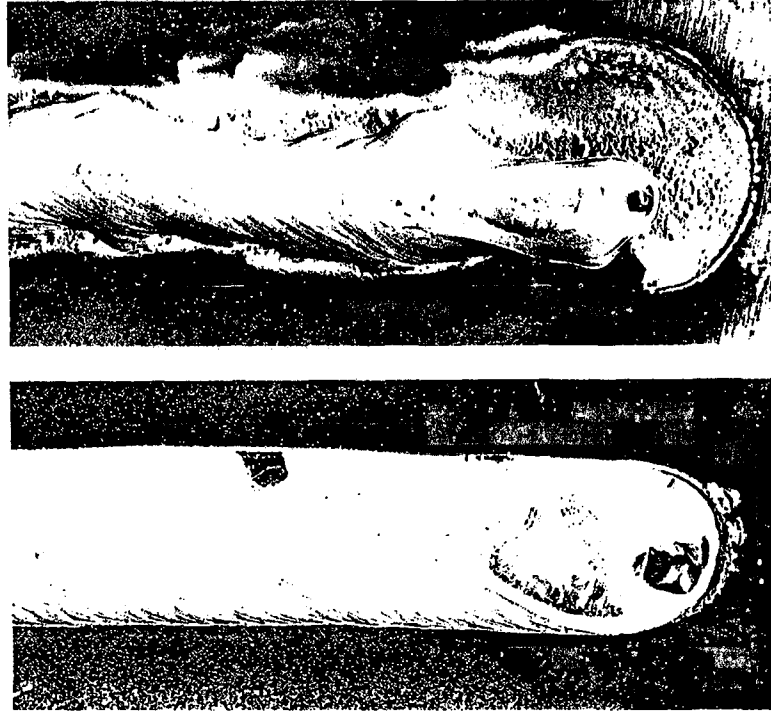
(2.5)

Atomik hidrojen soğuma sonucu tekrar molekül haline geçer ve arktan almış olduğu enerji geri verir ve sıcaklığın 3700 °C' ye kadar çıkmasını sağlar. Hidrojen gazının bu atomsal değişimi ani soğumayı dolayısıyla malzemenin çarpılmasını önler. Bundan dolayı 2 mm' den ince malzemelerin kaynağında büyük avantajlar sağlar. Ancak kalın parçaların kaynağında hidrojen gazının kaynak banyosuna nüfuziyeti kolay olduğu için ark atom kaynağı kullanılmaz. Hidrojen birçok metalin kaynağında ters metalurjik etkiye bulunduğundan ancak argon gazına ilave olarak paslanmaz çeliklerin, nikel-bakır alaşımlarının ve nikel esaslı alaşımlarının kaynağında kullanılır (Suban vd., 2001; Yılmaz, 2001).

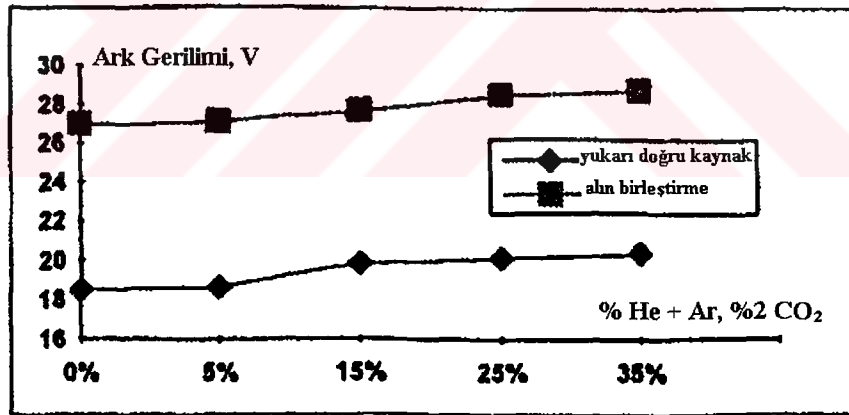
2.5 Karışım Gazlar

2.5.1 Argon ve Helyuma Oksijen ve/veya Karbondioksit İlaveli Karışım Gazları

Saf asal gazlar demir dışı metallerin kaynağında tercih edilmesine rağmen, bu gazlar demir esaslı malzemelerin kaynağında memnun edici özellikler vermezler. Metal transferi özellikle helyum koruması ile demir esaslı alaşımların kaynağında düzensiz ve sıçramalı olur. Çelikler için argon gazına oksijen veya karbondioksit ilavesi arkı stabilize eder, istenilen metal transferi elde edilir ve sıçrama minimuma indirilir. Bu değişiklik Şekil 2.10' da gösterilmiştir. Yanma oluğu, kaynak metalinin geometrisinin değişmesi ile azalır veya tamamen ortadan kalkar ve porozite azalır. Koruyucu gaza oksijen ilavesi ark sapmalarını ve kaynak metalinde azot birikimini önler. Argona %1-5 O₂ veya %3-25 CO₂ ilavesi ark stabilizesinde ve yanma oluğu oluşumunun önlenmesinde gelişmeler sağlar. Ayrıca paslanmaz çeliklerin darbeli MAG kaynağı için argon-karbondioksit karışımına helyum ilavesi ark geriliminin artmasını sağlar. Örneğin %98 Ar + %2 CO₂ karışım gazı yerine %35 He + %2 CO₂ + %63 Ar karışım gazı kullanıldığında ark geriliminde yaklaşık olarak %10 luk bir artış sağlanmakta buda kaynak verimliliği ve kalitesini artırır (Şekil 2.11) (Kearns, 1978; Hunt vd., 1997; Mohandas vd., 1999; Dixon, 1999).



Şekil 2.10 Saf argon (üst) ve %98 Ar + %2O₂ (alt) koruması ile elde edilen kaynak dikişleri (Kearns, 1978)



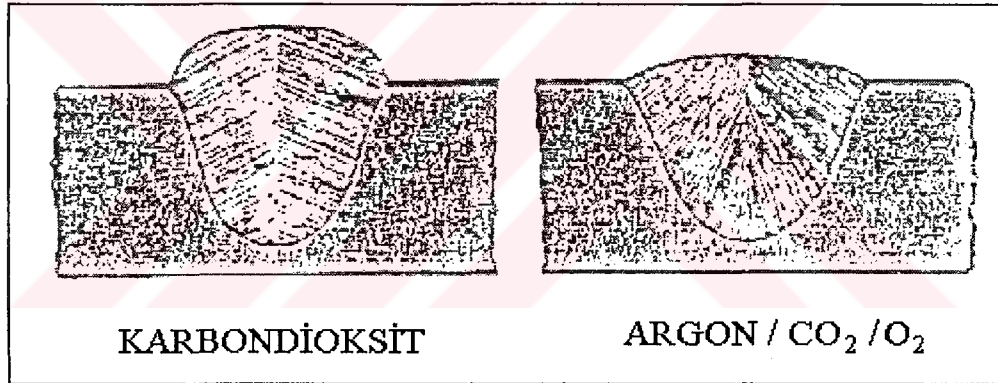
Şekil 2.11 6mm kalınlığında ostenitik paslanmaz çeliğin darbeli MAG kaynağında, helyum ilavesinin ark gerilimi üzerindeki etkisi (Hunt vd., 1997)

Asal gaza ilave edilen O₂ veya CO₂ oranı, kaynak edilecek parçanın yüzey durumuna, birleştirme geometrisine, kaynak pozisyonuna veya tekniğine ve ana metalin kimyasal bileşimine bağlıdır. Asal gaza O₂ ve CO₂ ilavesi koruyucu gazı oksitleyici yapar. Eğer ilave metalde uygun dezoksidan elementler yok ise bazı demir esaslı metallerde poroziteye neden olur. Ayrıca krom, vanadyum, alüminyum, titanyum ve silisyum kaybına da neden olur. Sonuç olarak oksitleyici gaz ile kaynakta kullanılan elektrod, oksijenin etkilerini yok etmek

için dezoksidan elementler içermelidir (Kearns, 1978).

2.5.1.1 Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri

Argon ve helyuma O_2 ve CO_2 ilavesi düz kutuplama çalışma karakteristiklerini değiştirir. Bu katkılar doğru akım-pozitif kutuplamalı çalışmada arkı düzgünleştirir, metal transferini iyileştirir, nüfuziyeti artırır. Argona %5 ilavesi O_2 ve CO_2 ilavesi ile önemli değişiklikler olur. Dolgu teli uca doğru inceler ve metal transferi daha hızlı hareket eden damlacıkların transferiyle olur. Kaynağın sırtı düzgünleşir, nüfuziyet ters kutuplamadıkine yaklaşır. Köşe dikişlerinde aynı ayak uzunluğu için, CO_2 ile yapılan kaynak sırtı fazlalılığı tüm kesitin %10-30' unu oluşturabilir. Bu da, aynı şekilde tel maliyetinde %10-30 nispetinde fazlalık demektir. Yalnız CO_2 ile yapılan dikişle, uygun bileşimiyle bu dikişin geometrisini değiştirerek tasarruf, dikiş estetiği ve mekanik özelliklerde iyileşme sağlayan argon-karbondioksit-oksijen karışımı ile yapılan kaynak dikişi arasındaki fark Şekil 2.12' de gösterilmiştir (Kearns, 1978; Okan, 1989).



Şekil 2.12 CO_2 ve $Ar/CO_2/O_2$ karışımları ile yapılan kaynak dikişleri arasındaki fark (Okan, 1989)

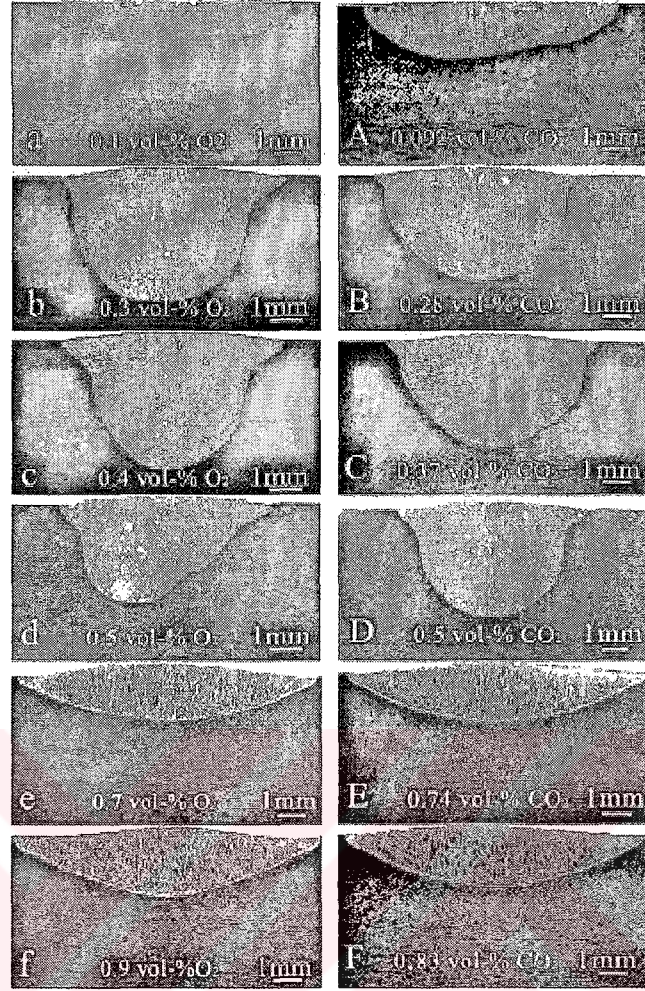
%1-8 O_2 ilavesi kaynak banyosunun akıcılığını, nüfuziyeti ve ark stabilitesini artırır. %25'e kadar CO_2 ilavesi geçiş akımını, sıçrama kaybını artırır, nüfuziyeti derinleştirir ve ark stabilitesini düşürür.

Düşük CO_2 ilavesi (%1-7) ile kadeh veya parmak şeklinde penetrasyon profili elde edilir. Bu karışımlar, ince malzemelerin özellikle sacların kaynağı için uygun olan düşük ısı girdisi oluşturur. Kalın parçaların çok pasolu kaynağında problemler oluşturur. Parmak şeklindeki kaynak metali profili porozite ve ergime hatalarının oluşma ihtimalini artırır.

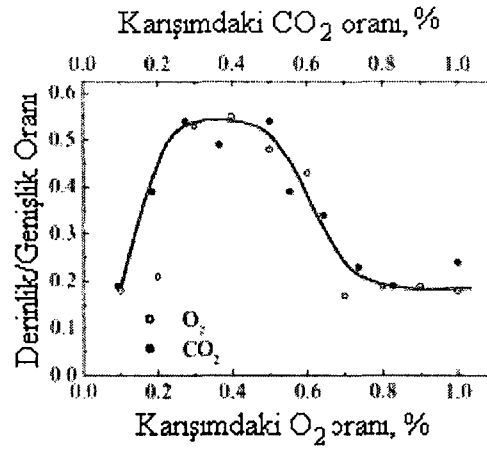
%8-15 CO₂ ilavesi 12 mm ye kadar kalınlığa sahip malzemelerin kaynağı için uygundur. CO₂ oranının artması kadeh şeklindeki nüfuziyet profilini azaltır ve ergime hatalarının oluşma ihtimalini azaltır. %12 CO₂ ve %2 O₂ karışımı dengeli spreyci metal transferi üretir, özellikle robotik veya darbeli uygulamaların kullanımında uygundur (Dixon, 1999).

Yüksek CO₂ ilavesi (%16-25) yuvarlak , derin penetrasyonlu kaynak metalleri üretir ve kalın parçaların kaynağı için uygundur. Karışıma CO₂ ilavesi ısı girdisini arttırmaktadır ve böylece ergime alanı daha büyük olur, kaynak banyosunun akıcılığı artar ve kaynak metalinin profili çanak şeklini alır. Kaynak banyosunun akıcılığının artması gaz kaçışına imkan tanır böylece porozite oluşum ihtimalini azaltır. Kalın parçalar için %80 Ar + %20 CO₂ karışımı önerilirken %86 Ar + %12 CO₂ + %2 O₂ karışımı malzeme kalınlıklarının geniş aralığında iyi nüfuziyet ve kuvvetli bir ark özellikleri vermektedir. Koruyucu gazda yüksek miktarda CO₂ mevcudiyeti düşük CO₂ mevcudiyetinden daha fazla sıçramalı kaynak oluşturur ve ark stabilizesini azaltır (Urmston, 1996; Dixon, 1999).

Lu, Fujii ve Nogi (2004) 12 çeşit gaz (Ar + %0.1-1.0 O₂ ve Ar + %0.092-1.0 CO₂) kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile SUS304 paslanmaz çelikler üzerinde yaptığı deney ile kaynak dikiş formlarını incelemişlerdir. Elde edilen nüfuziyet profilleri Şekil 2.13' de, Şekil 2.14' de ise koruyucu gazdaki O₂ ve CO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak nüfuziyet oranları (derinlik/genişlik) gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Ar içersinde farklı oranlardaki O₂ ve CO₂ koruması altında oluşan kaynak dikişi formları (Lu vd., 2004)



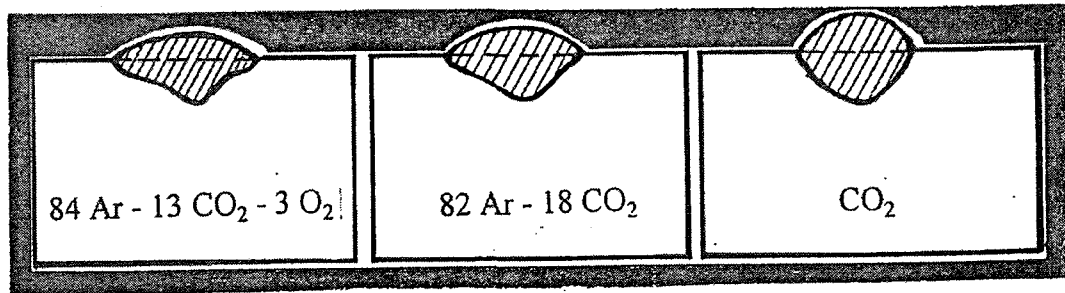
Şekil 2.14 Karışımındaki O₂ ve CO₂ oranının bir fonksiyonu olarak nüfuziyet (derinlik/genişlik) oranı (Lu vd., 2004)

O₂ ve CO₂ ilavesi %0.2 nin altında iken kaynak metali geniş ve sıgı olmaktadır (Şekil 2.13 a ve A). O₂ ve CO₂ ilavesi %0.2-0.6 arasında olduğunda kaynak metali derin ve dar olmaktadır (Şekil 2.13 b-d ve B-D). O₂ ve CO₂ ilavesi % 0.6 nın üzerine çıktığında ise kaynak metali geniş ve sıgı olmaktadır (Şekil 2.13 e,f ve E,F). Düşük CO₂ ve O₂ ilavesi (< %0.2) ve yüksek CO₂ ve O₂ ilavesi (> % 0.6) elde edilen kaynak metalleri sıgı ve geniş olmasına rağmen oldukça farklıdır. Düşük CO₂ ve O₂ ilavesi ile kaynak banyosu yassı tabana sahiptir. Yüksek CO₂ ve O₂ ilavesinde ise kaynak banyosu iç bükey tabana sahiptir. Nüfuziyet profilinin bu şekilde olmasının nedeni Bölüm 2.5.1.1.2' de anlatılmaktadır. Nüfuziyet oranı O₂ ve CO₂ ilavesinin artmasıyla önce artar ancak ilave oranı %0.6 nın üstüne çıkmasıyla düşer. Argon tabanlı koruyucu gaz O₂ ve CO₂ ilavesinde nüfuziyet profili, büyük ölçüde kaynak metalindeki oksijen oranına bağlıdır (Lu vd., 2004).

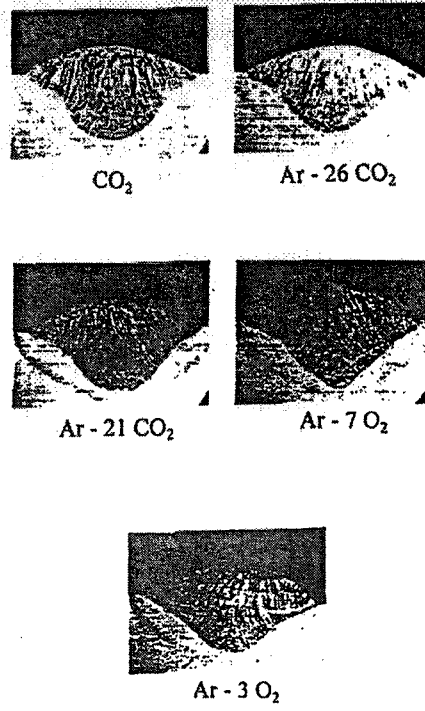
Vines (1985) 5 çeşit gaz - rutil ve bazik elektrod kullanarak kaynak dikiş formlarını incelemiştir. Bu çalışmada 1.6 mm. elektrod çapı, 340-360 A akım şiddeti, 29-31 V kaynak gerilimi, 8.3 m/dak. tel besleme hızı ve 304-306 mm/dak. kaynak hızı kullanılmıştır. Çalışmaların sonuçları Çizelge 2.5' de özetlenmiş olup Şekil 2.16 ve 2.17' de dikiş formları gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Kullanılan koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları (Müftüoğlu, 1997)

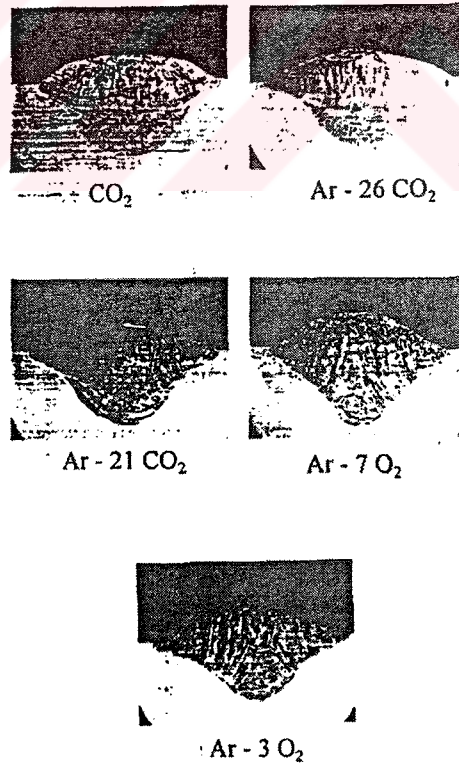
Koruyucu Gaz	Dikiş Formu
CO ₂	Geniş iyi yuvarlatılmış dikiş formu
Ar - %26 CO ₂	Nüfuziyet daha az, kaynağın kökünde CO ₂ ' e göre radyus daha dar, yanma açıları daha az keskin
Ar - %21 CO ₂	Kaynağın kökünde radyus Ar - %26 CO ₂ ' ye göre daha dar, fakat fark çok az
Ar - %7 O ₂	İyi yuvarlatılmış kaynak kökü, kabaca üçgen dikiş formu ile CO ₂ kullanımındaki yanma açılarına benzer, nüfuziyet derinliği Ar - CO ₂ ile elde edilene benzer
Ar - %3 O ₂	Düşük nüfuziyet



Şekil 2.15 Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları (Müftüoğlu, 1997)



Şekil 2.16 Bazik elektrod kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları (Müftüoğlu, 1997)



Şekil 2.17 Rutil elektrod kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları (Müftüoğlu, 1997)

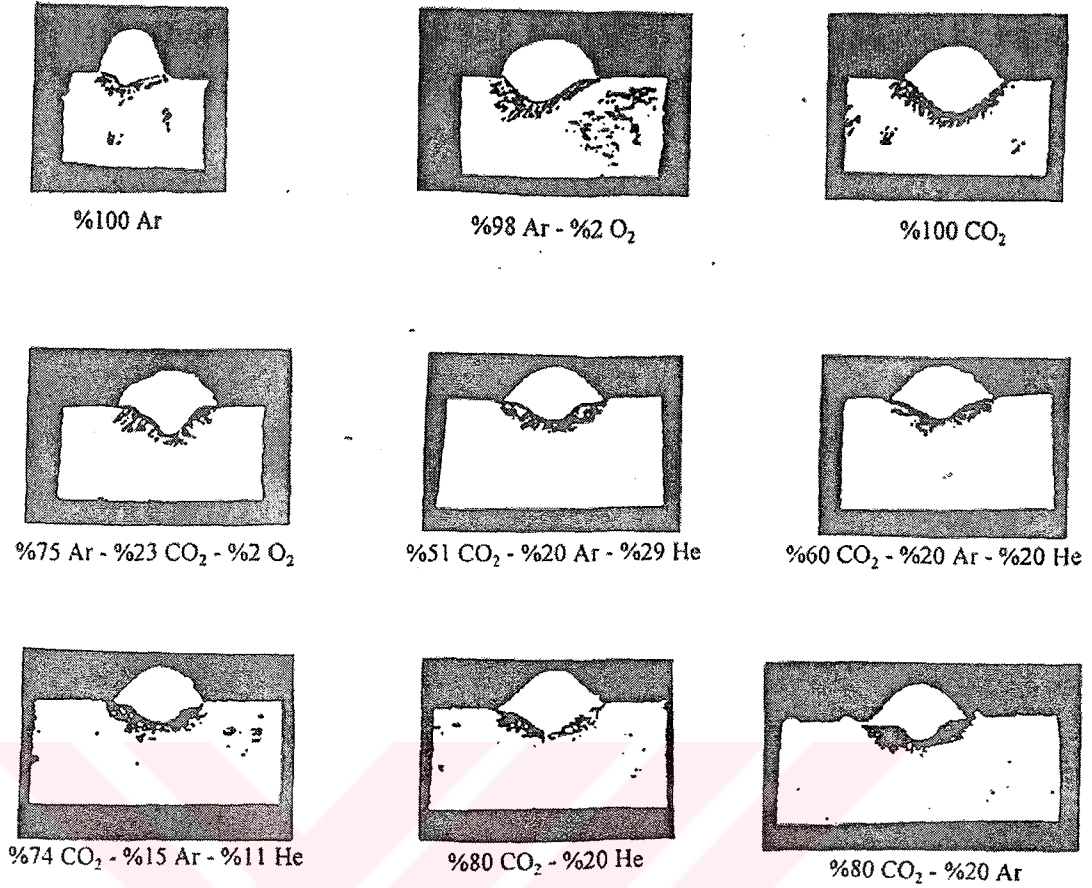
Dillenbeck ve arkadaşları (1987) 10 farklı koruyucu gaz karışımı kullanarak kaynak dikişi nüfuziyetini incelemişlerdir. 0,88 mm elektrod çapı, 12,7 mm serbest tel uzunluğu, 56 cm/dak. tel besleme hızı, 80 A kaynak akımı ve 20-35 V olan parametrelerin sabit tutulduğu ve 6.4 mm. parça kalınlığının kullanıldığı deneylerin sonucu olarak aşağıdaki hususlar saptanmıştır (Müftüoğlu, 1997).

- Yalnız koruyucu gaz kullanılmadığı zaman kaynakta atmosferik etkiler görülmüştür.
- Sıçrama, en iyi %98 Ar - %2 O₂ ile kontrol edilmiştir. Sıçrama miktarı, koruyucu gazdaki CO₂ miktarı ile doğru orantılıdır. Yüksek orandaki CO₂' e ilave edilen He sıçramayı azaltmada Ar' dan daha etkili olmuştur.
- Kaynak dikişi profili, He veya Ar ilavesi ile önemli derecede değişmiştir. En iyi dikiş görünüşü, CO₂: %25 - 60 ile elde edilmiştir. Ayrıca en az %20 He kullanımı, iyi dikiş görünümü ve profili vermiştir.
- %100 CO₂, derin nüfuziyet fakat kötü kaynak yüzeyi görünümü vermiştir. Gaz karışımlarının hangisinde olursa olsun yüksek oranda CO₂ derin ve geniş nüfuziyet vermiştir.
- %80 CO₂ - %20 He, iyi dikiş profili ve görünümü vermiştir. Aynı zamanda nüfuziyet %100 CO₂ ile elde edilen kadar derin ve üniformdur. Diğer iyi bir seçim de %75 Ar - %23 CO₂ - %2 O₂ gaz karışımı olmuştur.

Bu sonuçlar sayısal değer ve görsel olarak Çizelge 2.6 ve Şekil 2.18' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Koruyucu gaz karışımlarına bağlı nüfuziyet oranları (Müftüoğlu, 1997)

Parça Kalınlığı (6,4)	Dikiş Profili (mm)		Kaynak Nüfuziyeti	
	Dikiş Yüksekliği	Dikiş genişliği	Nüfuziyet derinliği (mm)	Nüfuziyet oranı (%)
%100 Ar	3,81	4,57	0,896	14
%98 Ar-%2 O ₂	3,05	5,84	1,536	24
%100 CO ₂	2,79	6,86	1,984	31
%75 Ar-%23 CO ₂ -%2 O ₂	2,79	6,86	1,920	30
%51 CO ₂ - %20 Ar - %29 He	2,54	6,60	1,792	28
%60 CO ₂ - %20 Ar - %20 He	2,54	7,11	1,828	29
%74 CO ₂ - %15 Ar - %11 He	2,54	6,00	1,856	29
%80 CO ₂ - %20 He	2,54	7,11	1,920	30
%80 CO ₂ - %20 Ar	2,79	6,00	1,664	26



Şekil 2.18 Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları (Müftüoğlu, 1997)

2.5.1.1.1 Yüzey Gerilimi ve Marangoni Isı Yayınlımının Nüfuziyet Üzerindeki Etkisi

Metallerin ark kaynağında yüzey gerilimi çok önemli rol oynar. Genel olarak sıvı metalin hareket yönünü belirleyerek kaynak dikiş oluşumuna ve final dikiş biçimine tesir eder. Örtülü elektrod ve ergiyen tel ile yapılan ark kaynaklarında ergiyen sarf malzemenin damlaması üzerinde etkili olarak da dikiş biçimini etkilemektedir. Yüzey gerilimi ark kaynaklarında olduğu kadar yüksek enerji yoğunluklu lazer kaynak ve elektron ışın kaynağında da önemlidir.

Bir katı veya sıvı maddenin içerisindeki bir atom veya moleküle, komşu atomların veya moleküllerin yaptığı çekme ve itme kuvvetlerinin bileşkesi yaklaşık olarak sıfırdır. Ancak aynı maddelerin yüzeyindeki atom veya moleküller için aynı söz söylenemez. Atom yoğunluğu madde içerisinde fazla olurken maddenin yüzeyi dışarısında çok çok azdır. Bu nedenle maddenin içerisi yüzeyde iç tarafa doğru bir çekme kuvveti oluşturur. Bu kuvvetin tesiri ile sıvı metalin yüzeyi mümkün en küçük yüzey alanı oluşturacak şekilde büzülme gösterir. Dış engelleyici kuvvetler yok ise sıvıda iri taneli transfer meydana gelir. Katılarda

yeni yüzey oluşturmak için yapılan işe serbest yüzey enerjisi veya yüzey enerjisi denir. Yüzey gerilimi cisim serbest yüzeyindeki iki atom arasındaki bağ kuvvetinin bir ölçüsü olarak da tanımlanabilir. Saf metallerde sıcaklığın, artması ile atomlar arası bağlar zayıfladığından hem katıda hem de sıvıda yüzey gerilimi azalır. Saf metallere ilave edilen alaşım elementleri yüzey geriliminin düşmesine sebep olur (Çalış, 1999). Yüzey gerilimi aşağıdaki formül ile ifade edilir (Lu vd., 2004).

$$\sigma_{y.g.} = \frac{d\sigma}{dT} \frac{dT}{dr} = 3,5 \times 10^4 \times \frac{\mu^{2,27}}{\alpha_1^{0,27} \times \rho^{1,27}} \times \frac{L_1^{1,53}}{r^{3,53}} \times 9,8 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.6)$$

Burada;

$\frac{d\sigma}{dT}$: yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı,

$\frac{dT}{dr}$: kaynak banyosunun yüzeyindeki sıcaklık gradyanı,

μ : dinamik viskozite (kg/m.san),

α_1 : sıvı metalin termal yayılma gücü (m²/san.),

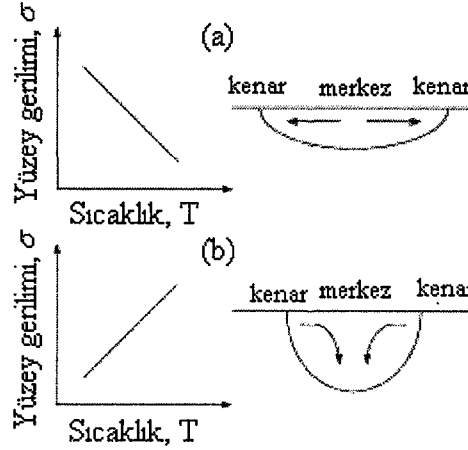
ρ : yoğunluk (kg/m³),

L_1 : kaynak banyosunun uzunluğu. Az veya hiç aktif element içermeyen geniş ve sığ kaynak banyoları için kaynak banyosunun yüzey yarıçapı alınabilir, aktif element içeren derin ve dar kaynak banyoları için kaynak banyosunun derinliği olarak alınabilir.

r : kaynak banyosunun yüzey yarıçapı

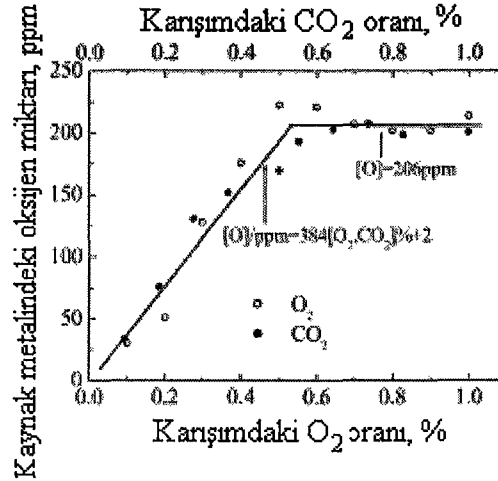
Kaynak banyosunun yüzeyindeki Marangoni ısı yayılımı paslanmaz çeliklerde kaynak metalinin şeklini etkileyen en önemli mekanizmadır. Banyo yüzeyindeki Marangoni ısı yayılımı banyodaki ısı transferi davranışlarını önemli ölçüde değiştirir ve böylece kaynak metalinin nüfuziyet profilinde değişir. Genelde yüzey gerilimi sıcaklığın artmasıyla düşer, $d\sigma / dT < 0$. Kaynak banyosunun yüzeyinin merkezi ile kenarı arasında geniş bir sıcaklık gradyanı var olduğundan, yüzey gerilim gradyanı yüzey boyunca üretilecektir. Bir çok malzemenin kaynak banyosunda yüzey gerilimi, banyonun kenarlarının soğuyan bölümlerinde banyonun merkezinden daha yüksektir. Bu yüzden sıvı akışı banyonun merkezinden kenarına doğru olur. Isı akışı merkezden kenara doğru kolaylıkla transfer olur ve geniş ve dar nüfuziyet elde

edilir (Şekil 2.19 a). Yüzey aktif elementleri (kükürt, oksijen veya selenyum gibi) paslanmaz çeliklerde belirli oranı aştıklarında yüzey geriliminin sıcaklık katsayısı negatif değerden pozitif değer alır, $d\sigma / dT > 0$, ve kaynak banyosundaki Marangoni ısı yayılımı Şekil 2.19 b' deki gibi içeri doğru olur. Derin ve sıg nüfuziyet elde edilir (Lu vd., 2004a; 2004b).



Şekil 2.19 Kaynak banyosundaki şematik Marangoni ısı yayılımı (Lu vd., 2004)

Ergimiş kaynak banyosunda oksijen absorpsiyonun kaynağı, koruyucu gazda bulunan CO_2 ve O_2 nin disosiasyona uğramasıdır. Şekil 2.20' de CO_2 ve O_2 içeriği %0.6 nın altında olduğunda CO_2 ve O_2 içeriği arttıkça kaynak metalindeki oksijen oranının arttığını gösterilmiştir. Bir çok araştırma, saf demirlerde 150 – 350 ppm ve paslanmaz çeliklerde ise 70 – 300 ppm aralığında oksijenin aktif element olduğunu göstermektedir. Bu aralıklarda kaynak banyosunun yüzey gerilim sıcaklık katsayısı pozitifdir ve banyo içersinde içeriye doğru Marangoni ısı yayılımı olur (Şekil 2.19 b). Bu aralıkların altında yüzey gerilim sıcaklık katsayısı negatif olur. Koruyucu gazda bulunan CO_2 veya O_2 oranı %0.2 nin üzerinde olduğunda kaynak metalindeki oksijen miktarı 100 ppm nin üzerinde olmaktadır (Şekil 2.20) ve bundan dolayı banyodaki Marangoni ısı yayılımı dışardan içeriye doğru değişir. Nüfuziyet sıg ve geniş halden derin ve dar hal alır (Şekil 2.13). Koruyucu gazda bulunan CO_2 ve O_2 oranının kritik değeri %0.2 dir. CO_2 ve O_2 yüzdesi %0.6 nın üzerine çıktığında ise kaynak metalindeki oksijen miktarı 200 ppm civarında sabit kalır. Buda kaynak banyosunun yüzeyinde oluşan oksit tabakasından kaynaklanmaktadır (Lu vd., 2004).



Şekil 2.20 Koruyucu gazdaki O₂ ve CO₂'nin bir fonksiyonu olarak kaynak metalindeki oksijen miktarı (Lu vd., 2004)

2.5.1.1.2 Oksijen Potansiyeli, Oksidasyon Kayıpları, Kaynak Metalindeki Oksijen Oranı ve Bunların Nüfuziyet Üzerindeki Etkileri

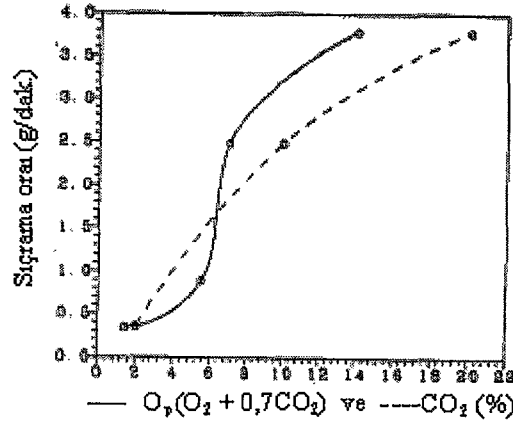
Oksijen potansiyeli (O_p), kaynak metalindeki oksijen içeriği için bir değer ve / veya koruyucu gazın oksitleyici etkisi anlamına gelir. Oksijen ve karbondioksit oksitleyici gazlardır. Bu gazlar yüksek sıcaklıklarda çok aktiflerdir ve böylece ana metal ve ilave metal üzerindeki kimyasal etkileri çok güçlüdür. Oksijen potansiyeli yüzeyde oluşan cüruf miktarını, duman emisyon hızını, sıçrama oranını, kaynak banyosunun akıcılığını ve kaynak metalinin dayanımını da etkiler. Bir korucuyu gazın oksijen potansiyelini tahmin etmek için aşağıdaki iki tane ampirik denklem kullanılır (Stenbacka ve Perrson, 1989; Liao ve Chen, 1998).

$$O_p = 10.O_2 + CO_2 \quad (2.7)$$

$$O_p = O_2 + \mu_1.CO_2 \quad (2.8)$$

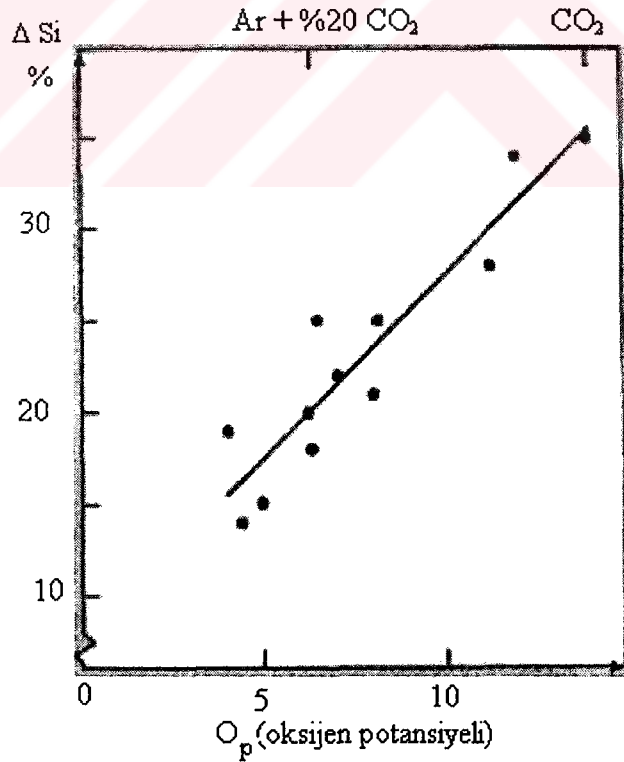
İkinci formül CO₂ oranı %25 veya daha az olduğunda kullanılır. İkinci formüldeki μ_1 oksitleme faktörüdür ve genellikle 0,5 veya 0,7 alınır (Stenbacka ve Perrson, 1989).

Şekil 2.21'de CO₂ yüzdesinin ve oksijen potansiyelinin fonksiyonu olarak sıçrama oranları gösterilmiştir. Şekilde, sıçrama oranının oksijen potansiyelinin artmasıyla arttığı görülmektedir (Liao ve Chen, 1998).

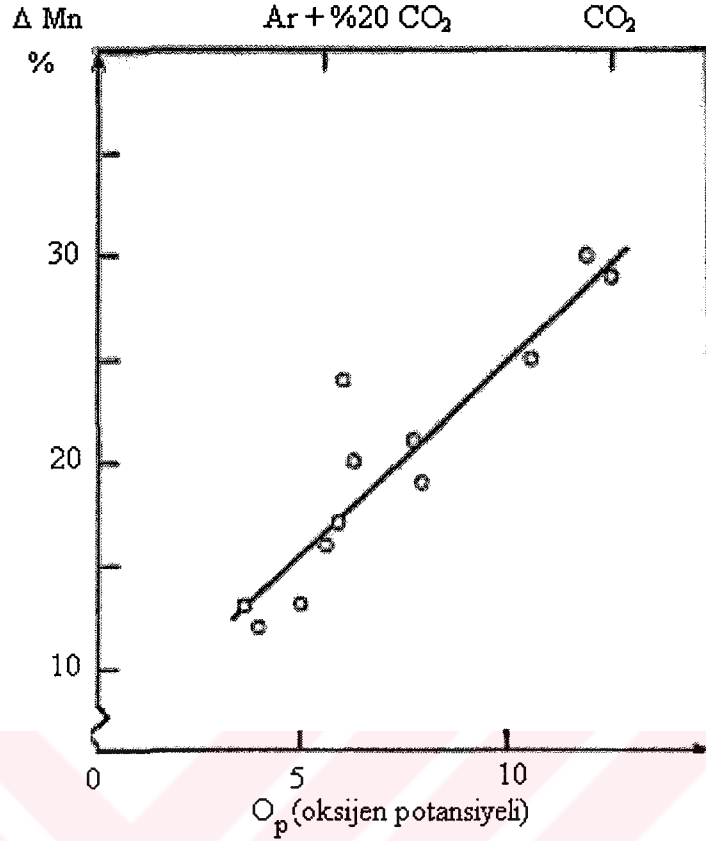


Şekil 2.21 %CO₂ ve oksijen potansiyelinin bir fonksiyonu olarak sıçrama oranları (Liao ve Chen, 1998)

Ark geriliminin artması oksidasyon kayıplarının artmasına neden olurken akım önemli bir etken olarak görülmez. Daha önceki bölümlerde oksitleyici gazların krom, vanadyum, alüminyum, titanyum ve silisyum kaybına da neden olduğu söylenmişti. Şekil 2.22 ve Şekil 2.23'de çeşitli Ar-CO₂ karışımlarına ve oksijen potansiyeline bağlı olarak silisyum ve mangan kayıpları gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Oksijen potansiyeline ve koruyucu gazda artan CO₂ oranına bağlı olarak %Si kayıpları (Stenbacka ve Persson, 1989)



Şekil 2.23 Oksijen potansiyeline ve koruyucu gazda artan CO₂ oranına bağlı olarak %Mn kayıpları (Stenbacka ve Persson, 1989)

Grong ve Christensen alaşım elementi kayıpları için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında Ar-O₂ ve Ar-CO₂ koruyucu gazları, C-Mn-Si elektrod ve küresel (iri damlalı) damla transferi için uygun kaynak parametreleri kullanmışlardır. O₂ ve CO₂ ilaveleri sırasıyla %0-30 ve %0-100 arasında değişmektedir. Si ve Mn kayıplarının koruyucu gazdaki O₂ içeriğinin artmasıyla lineer bir şekilde arttığını, CO₂ içeriğinin artmasıyla alaşım elementi kayıplarının lineer olarak artmadığını bulmuşlardır. Yüksek CO₂ içeren koruyucu gazla yapılan kaynakta oksidasyon kayıpları, düşük oranda CO₂ içeren koruyucu gazla yapılan kaynaktakinden daha düşüktür. Aynı ilişki kaynak metalindeki oksijen absorpsiyonu içinde gözlemlenmiştir. Genellikle Ar-CO₂ karışımları ile Ar-O₂ karışımlarından daha az oksijen içeren kaynak metalleri elde edilir (Stenbacka ve Persson, 1989).

Koruyucu gazda bulunan ikili ve üçlü moleküler yapıdaki gazlar plazma kolonundaki yüksek sıcaklıklarda kolaylıkla ayrışır. Argona O₂ ve CO₂ ilave edildiğinde, monoatomik oksijen plazma kolonunda $O_2 \rightarrow 2O$ ve $CO_2 \rightarrow CO + O$ ayrışma reaksiyonları ile üretilir. Kaynak banyosundaki oksijen absorpsiyonu O₂ veya CO₂'nin kısmi basıncının yanında monoatomik oksijenin de kısmi basıncına bağlıdır. Kaynak banyosundaki toplam oksijenin çözünmesi, O₂

içeren koruyucu gazlarda banyodaki oksijenin ve monoatomik oksijenin toplamına eşittir, CO₂ içeren koruyucu gazlarda ise banyodaki monoatomik oksijenin, karbonmonoksit ve karbondioksitin toplamına eşittir.

Koruyucu gazdaki O₂ veya CO₂ konsantrasyonu arttığında O₂, CO₂ ve monoatomik oksijenin kısmi basıncı O₂ → 2O ve CO₂ → CO + O ayrışma reaksiyonlarından dolayı artacaktır. Banyo üzerindeki O₂, CO₂ ve monoatomik oksijenin kısmi basıncının yüksek olması ile banyoda daha fazla oksijen çözünür. Bundan dolayı koruyucu gazdaki O₂ veya CO₂ konsantrasyonunun artmasıyla önce kaynak metalindeki oksijen oranı da artacaktır. Sıvı kaynak banyosu kaynak termal çevriminde hızlı şekilde katılaşacağından banyodaki oksijen oranı oksijenin çözünmesi sınırlandırılır. Banyo içersinde oksijen absorpsiyonu için yeterli zaman yoktur.

Lu, Fujii ve Nogi (2004) 12 çeşit gaz (Ar + %0.1-1.0 O₂ ve Ar + %0.092-1.0 CO₂) kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile SUS304 paslanmaz çelikler üzerinde yapmış oldukları deney sonucu elde edilen koruyucu gazdaki oksijen ve karbondioksit konsantrasyonuna bağlı olarak kaynak metalindeki oksijen oranı Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Argon gazındaki O₂ veya CO₂ konsantrasyonu %0.6 nın altında olduğunda kaynak metalindeki oksijen oranı artmaktadır. Konsantrasyon oranı %0.6 nın üzerinde olduğunda ise oksijen oranı yaklaşık olarak 200 ppm de sabit kalır. Argona O₂ veya CO₂ ilavesi %1.0 ın altında olduğunda ergimiş kaynak banyosundaki oksijen absorpsiyonuna etkileri hemen hemen aynı etkiye sahiptirler.

$$[O]_{\text{kaynak metali}} / \text{ppm} = 384 \{ [O_2] \text{ veya } [CO_2] \}_{\text{koruyucu gaz}} / \% + 2$$

$$([O_2] \text{ veya } [CO_2] < \%0.6) \quad (2.9)$$

$$[O]_{\text{kaynak metali}} / \text{ppm} = 206$$

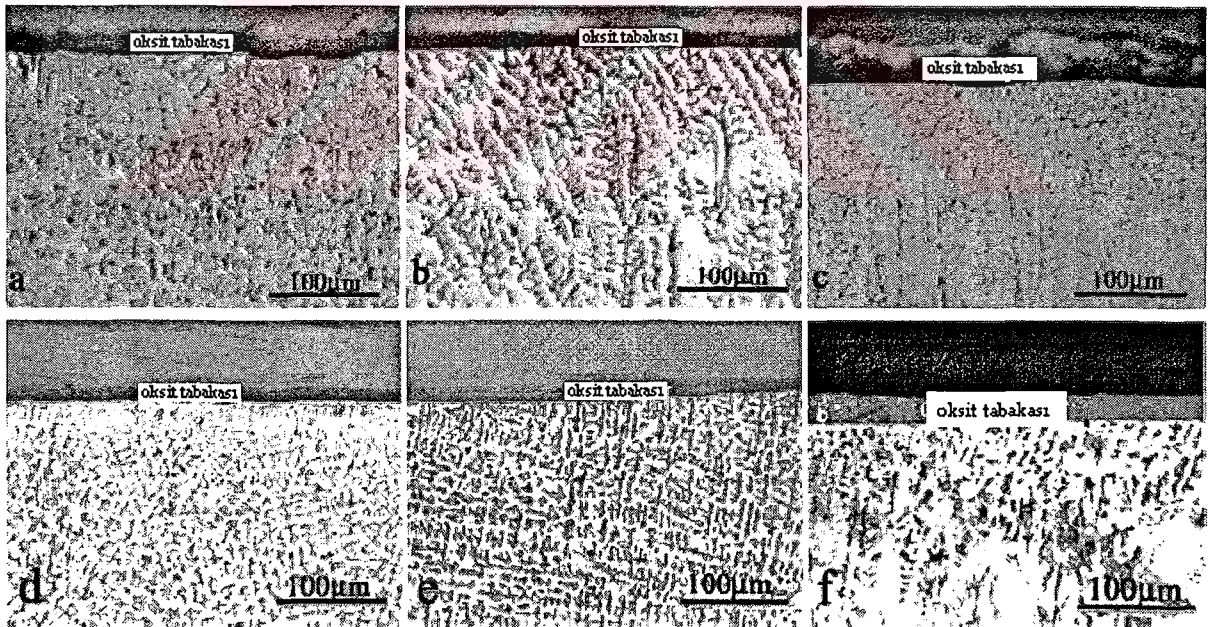
$$(\%0.6 \geq [O_2] \text{ veya } [CO_2] \leq \%1.0) \quad (2.10)$$

Kuwana ve Sato, oksitleyici gaz ilaveli (Ar-O₂, Ar-CO₂ ve Ar-O₂- CO₂) karışım gazları ile gaz metal ark kaynağında saf demir, Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Cr, Fe-Al, Fe-Ti ve Fe-Ni çeliklerde ve tungsten gaz kaynağında saf demirdeki oksijen absorpsiyonunu araştırmışlardır ve kaynak metalindeki oksijen absorpsiyonunun, Ar-O₂ koruması altında Ar-CO₂ koruması altındakinden daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Bunun nedeni ise O₂’ nin oksidasyon yeteneğinin CO₂’ inkinden daha fazla olmasındandır. Bu sonuçlar Shanping Lu, Hidetoshi Fujii ve Kiyoshi Nogi’nin sonuçları ile farklı olmaktadır. Onlar bu farkı kendi deneylerinde kullandığı O₂ ve CO₂ ilavelerinin, Kuwana ve Sato’nun kullandığı O₂ ve CO₂ ilavelerinden oldukça düşük

(%0.1 ile %1.0 aralığında) olduğuna bağlamaktadırlar (Lu vd., 2004).

Kaynak metalinin oksijen içeriği koruyucu gazdan başka ilave telin ve ana metalin oksijen oranından ve çeşitli proses parametrelerinden etkilenir. Kaynak metalindeki oksijen oranı akımın yükselmesiyle düşmekte, ark geriliminin artmasıyla da artmaktadır. Kaynak hızı çok az bir etkiye sahiptir fakat elektrodun kutbu önemli etkiye sahiptir. Pozitif kutuplama ile negatif kutuplamadan daha yüksek oksijen mevcudiyeti elde edilir. Ayrıca kaynak banyosunun yüzey özellikleri de (oksit tabakası) oksijen absorpsiyonunu etkileyen önemli faktörlerden biridir (Stenbacka ve Persson, 1989; Lu vd., 2004).

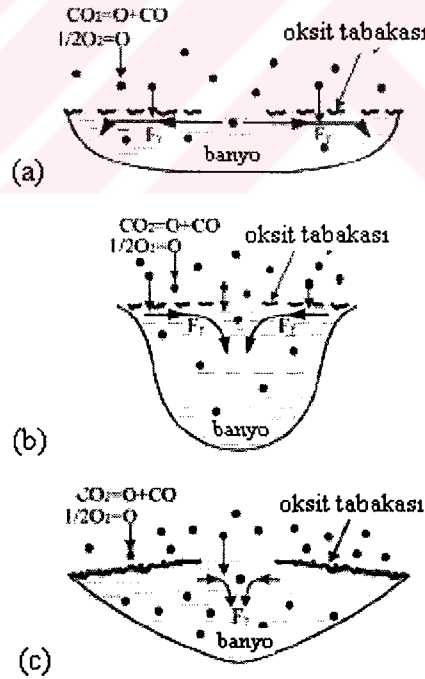
Lu, Fujii ve Nogi (2004) 12 çeşit gaz ($\text{Ar} + \%0.1\text{-}1.0 \text{ O}_2$ ve $\text{Ar} + \%0.092\text{-}1.0 \text{ CO}_2$) kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile yaptığı deneyler sonucu koruyucu gazdaki O_2 veya CO_2 konsantrasyonuna bağlı olarak banyo yüzeyinde oluşan oksit tabakaları Şekil 2.24’de gösterilmiştir. O_2 veya CO_2 konsantrasyonu %0.6 nın altında olduğunda oksit tabakası kalınlığı 10 μm kalınlığındadır (Şekil 2.24 a,b,d ve e). Konsantrasyon %0.6 dan fazla olduğunda ise kalınlığı 30 μm civarında olan oksit tabakası oluşmaktadır (Şekil 2.24 c ve f). Ağır oksit tabakası, banyodaki oksijen absorpsiyonu için bariyer görevi görmektedir.



Şekil 2.24 Ar koruyucu gazında farklı oranlardaki O_2 ve CO_2 karışımları ile elde edilen kaynak dikiş yüzeylerindeki oksit tabakaları (Lu vd., 2004)

Şekil 2.25’ de yüksek sıcaklıklardaki kaynak banyosu yüzeyindeki oksit tabakasının oluşum şekli gösterilmiştir. O_2 veya CO_2 konsantrasyonu %0.6 nın altında olduğunda oksit tabakası ince olmaktadır. Bu ince oksit tabakası kolaylıkla yok edilebilir. Bu yüzden O_2 veya CO_2 ’den

ayrışmış oksijen kaynak banyosunda kolaylıkla çözünür ve absorbe olur (Şekil 2.25 a ve b). O_2 veya CO_2 konsantrasyonu %0.2 nin altında olduğunda kaynak banyosundaki oksijen oranı 100 ppm'in altında olmaktadır ve Marangoni ısı yayılımı dışarı doğru olmaktadır (Şekil 2.25 a). Kaynak metalinin şekli sıg ve geniş olur. O_2 veya CO_2 konsantrasyonu %0.2 nin üstünde olduğunda ise kaynak metalindeki oksijen oranı 100 ppm'in üzerindedir Marangoni ısı yayılımı dışarıdan içeriye doğru değişir. Bu nedenle derin ve dar kaynak metali elde edilir (Şekil 2.25 b). O_2 veya CO_2 konsantrasyonu %0.6 nın üzerinde olduğunda sıvı banyo yüzeyi üzerindeki alanda oluşan kalın oksit tabakası banyo yüzeyini sınırlandırır yani kaynak banyosunda oksijen absorpsiyonuna karşı bariyer oluşturur. Bu nedenle kaynak metalindeki oksijen oranı 200 ppm civarında sabit kalır. Oluşan ağır oksit tabakası ile kaynak banyosu-gaz ara yüzeyi yerine kaynak banyosu-oksit tabakası ara yüzeyi oluşur. Banyonun merkezinde oksit tabakası olmadığından, merkezde içeri doğru Marangoni ısı yayılımı vardır (Şekil 2.25 c). Kaynak metalinin şekli konkav tabanlı ve geniş olur (Şekil 2.13 e,f ve E,F). Sonuç olarak kaynak metalindeki oksijenin kritik değeri 100 ppm' dir ve bu değerin üstündeki değerlerde Marangoni ısı yayılımı aniden dışarıdan içeriye doğru değişir. Kaynak metali geniş ve sıg halden dar ve derin hal alır (Lu vd., 2004).



Şekil 2.25 Kaynak banyosundaki ısı yayılımı ve oksit tabakası oluşumu (Lu vd., 2004)

Paslanmaz çeliklerin kaynağında klasik Ar- O_2 veya Ar- CO_2 karışım gazları ile yüzeyi oksit tabakası ile kaplı, kötü nüfuziyete ve poroziteye sahip kaynak metalleri elde edilir. Bu

problemler helyum içerikli koruyucu gazların gelişmesiyle azaltılmıştır. %55 He + %43 Ar + %2 CO₂ karışım gazıyla paslanmaz çeliklerin kaynağında ergime özellikleri gelişir ve kaynak sonrası oksit tabakası oluşumu azalır (Urmston, 1996).

2.5.1.2 Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri

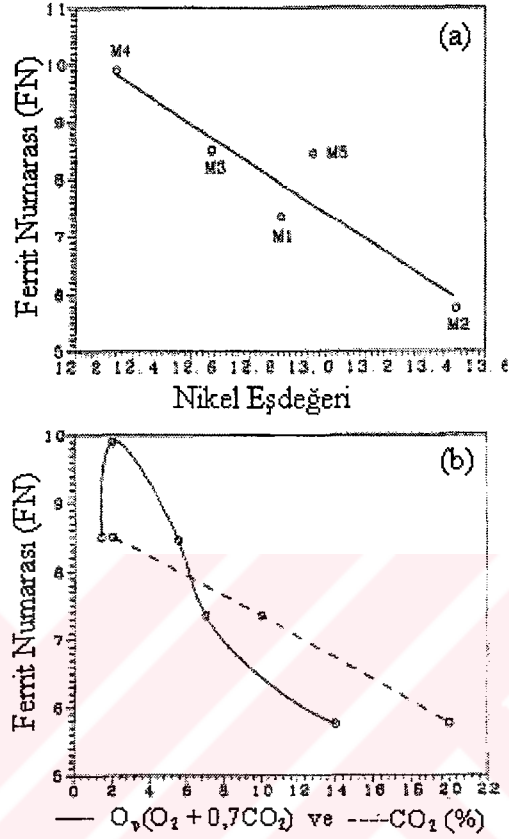
Oksijen ve karbondioksit gibi oksitleyici gazlar yüksek sıcaklıklarda aktif olduklarından ana metal, ilave metal ve kaynak dikişinin kimyasal ve mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptirler. Liano ve Chen (1998), %90 Ar + %10 CO₂ (M1), %80 Ar + %20 CO₂ (M2), %98 Ar + %2 CO₂ (M3), %98 Ar + %2 O₂ (M4), %93 Ar + %2 O₂ + %5 CO₂ (M5) karışım gazlarının, 304 paslanmaz çeliklerin kaynağı ile elde edilen kaynak metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen her bir kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu ve ferrit numarası Çizelge 2.7' de gösterilmiştir. Şekil 2.26 a ve b' de nikel eşdeğerinin ve oksijen potansiyelinin veya karışımdaki CO₂ yüzdesinin fonksiyonu olarak kaynak metallerinin ferrit numaraları gösterilmiştir. Ferrit oranı karışımdaki CO₂ oranının artmasıyla düşmektedir. CO₂ oranının artması kaynak metalinde C oranının artmasına neden olur. Bundan dolayı ferrit oranı düşer ve nikel eşdeğeri de artar. Karışımdaki CO₂ yüzdesinin artması oksidasyon nedeniyle Cr ve Si elementlerinin tüketimini hızlandırır ve krom eşdeğerinin küçülmesine neden olur. Bu durum paslanmaz çeliklerde tehlike oluşturmaktadır. %98 Ar + %2 O₂ karışımında CO₂ gazı bulunmadığından kaynak metalinde karbon oranı artmayacaktır ve ferrit miktarı yüksek olacaktır. %98 Ar + %2 CO₂ ve %93 Ar + %2 O₂ + %5 CO₂ karışım gazları ile elde edilen kaynak metallerinin ferrit oranı hemen hemen aynıdır. Çünkü %93 Ar + %2 O₂ + %5 CO₂ karışımında oksijen, karbondioksitin ayrışmasını yavaşlatır buda kaynak metalindeki karbon oranını azaltacaktır.

Çizelge 2.7 Kaynak metallerinin kimyasal bileşimleri ve ferrit oranları (Liao ve Chen, 1998)

	Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi	Koruyucu Gaz				
		M1	M2	M3	M4	M5
		%90 Ar + %10 CO ₂	%80Ar + %20 CO ₂	%98Ar + %2 CO ₂	%98 Ar + %2 O ₂	%93 Ar + %2 O ₂ + %5 CO ₂
C (%)	0,045	0,050	0,070	0,040	0,030	0,050
Si (%)	0,45	0,38	0,39	0,44	0,43	0,39
Mn (%)	1,92	1,61	1,60	1,73	1,67	1,63
Ni (%)	9,15	9,4	9,4	9,4	9,4	9,5
Cr (%)	20,37	19,3	19,0	19,3	19,5	19,5
P (%)	0,029	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
S (%)	0,009	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
N (ppm)		378	361	412	385	373
O (ppm)		251	245	332	155	264

Çizelge 2.7 (devamı)

Nikel Eşdeğeri* (Ni)_{eş}	12,91	13,5	12,67	12,34	13,02
Krom Eşdeğeri** (Cr)_{eş}	20,05	19,77	20,15	20,34	20,27
Ferrit Numarası (FN)	7,35	5,75	8,5	9,9	8,45

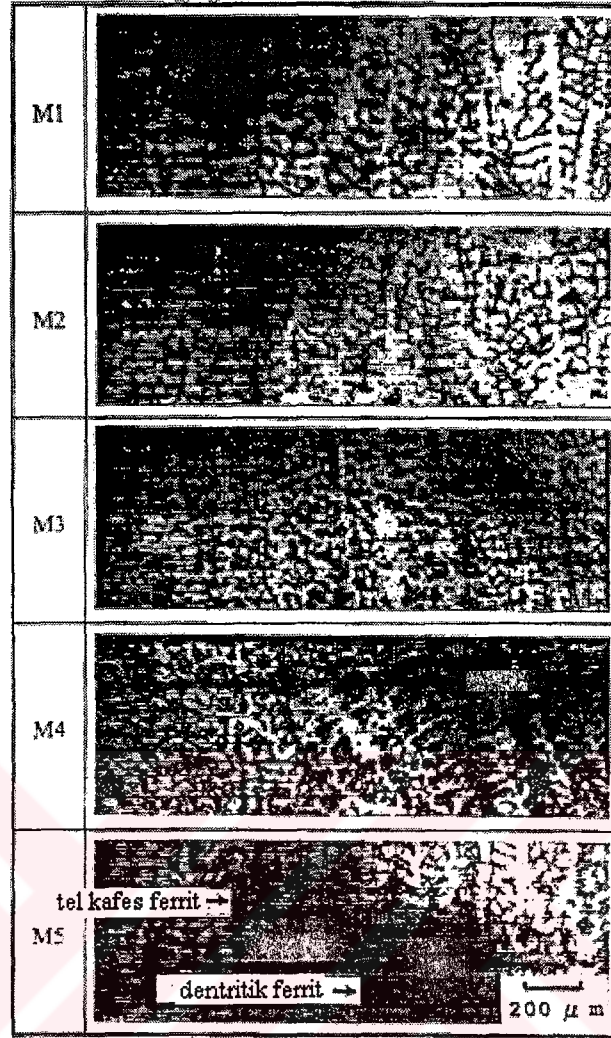


Şekil 2.26 Nikel eşdeğerinin (a), oksijen potansiyelinin ve CO₂ yüzdesinin (b) bir fonksiyonu olarak kaynak dikişlerinin ferit oranları (Liao ve Chen, 1998)

Şekil 2.27' de 5 çeşit karışım gazı ile elde edilen kaynak metallerinin mikroyapıları gösterilmiştir. Bütün kaynak metallerinde ostenitik ve ferit fazları bulunmaktadır. Mikroyapılarda dentritik ve tel kafes ferritler gözlenmiştir. Dentritik ferit morfolojisi peritektik katılaşmadan kaynaklanmaktadır. Tel kafes ferit morfolojisi ise soğuma esnasında ferritin çözünmesinden kaynaklanır. Şekil 2.27' de, Ar – CO₂ karışımında CO₂ miktarı arttıkça ferit hacminin azaldığını ve ferit numarasının (ferit oranının) artmasıyla ferit hacminin arttığını gösterilmiştir.

*Nikel Eşdeğeri (Ni)_{eş} = %Ni + 30 × %C + 30 × %N + 0,5 × %Mn

**Krom Eşdeğeri (Cr)_{eş} = %Cr + %Mo + 1,5 × %Si + 0,5 × %Nb



Şekil 2.27 Kaynak dikişlerinin mikroyapıları (Liao ve Chen, 1998)

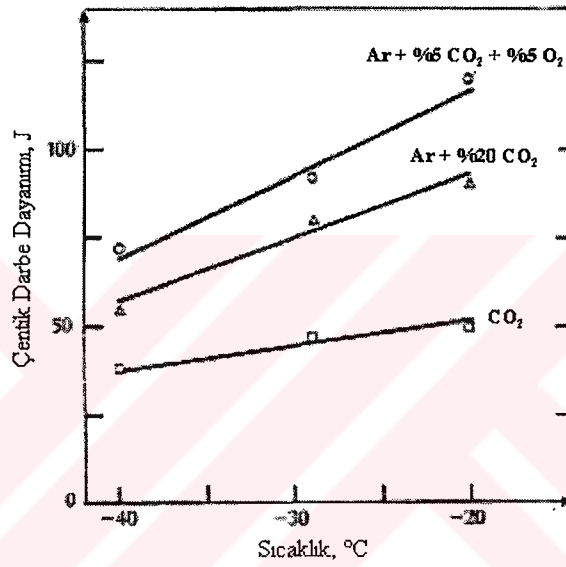
Çizelge 2.8’ de 5 çeşit karışım gazı ile elde edilen kaynak metallerinin çekme dayanım değerleri gösterilmiştir. Değerler karşılaştırıldığında oksijen potansiyeli arttıkça kaynak dikişlerinin çekme dayanımları küçük oranlarda düşüş göstermektedir (Liao ve Chen, 1998).

Çizelge 2.8 Kaynak metallerinin çekme dayanımları ve % uzama değerleri (Liao ve Chen, 1998)

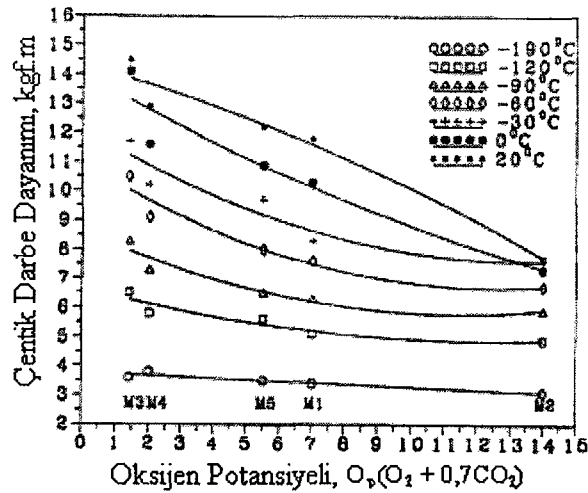
	M1	M2	M3	M4	M5
Çekme Dayanımı (N/mm²)	602	610	613	606	615
% Uzama	38,2	36	38	36	36,6

Karışım gazında O₂ ve/veya CO₂ oranı arttıkça kaynak metalinin çentik darbe dayanımı düşer. Şekil 2.28’ de üç farklı koruyucu gazla elde edilmiş kaynak metallerinin değişik sıcaklıklardaki çentik darbe dayanım değerleri gösterilmiştir. Kaynak metalinin oksijen oranı

azaldıkça oksit inklüzyonları azalacağından kırılmaya karşı dayanım da artacaktır. Bununla birlikte çok düşük oksijen içeriğinin çok az olması durumunda iri taneli beynitik yapı gelişecek ve buda yarılma kırılmasına karşı düşük dayanıma sahip kaynak metalinin elde edilmesine neden olur. Yani inklüzyonlar çentik darbe dayanımını düşürmektedir. Inklüzyon miktarı oksijen potansiyeli ile belirlenir ve oksijen potansiyeli arttıkça artmaktadır. Değişik sıcaklıklardaki çentik darbe dayanımı üzerinde oksijen potansiyelinin etkisi Şekil 2.29' da gösterilmiştir. Çentik darbe dayanımı, düşük sıcaklıklarda oksijen potansiyeline karşı duyarlı olmamasına karşın yüksek sıcaklıklarda oksijen potansiyelinin artmasıyla düştüğü gösterilmiştir (Stenbacka ve Persson, 1989; Liao ve Chen, 1998).

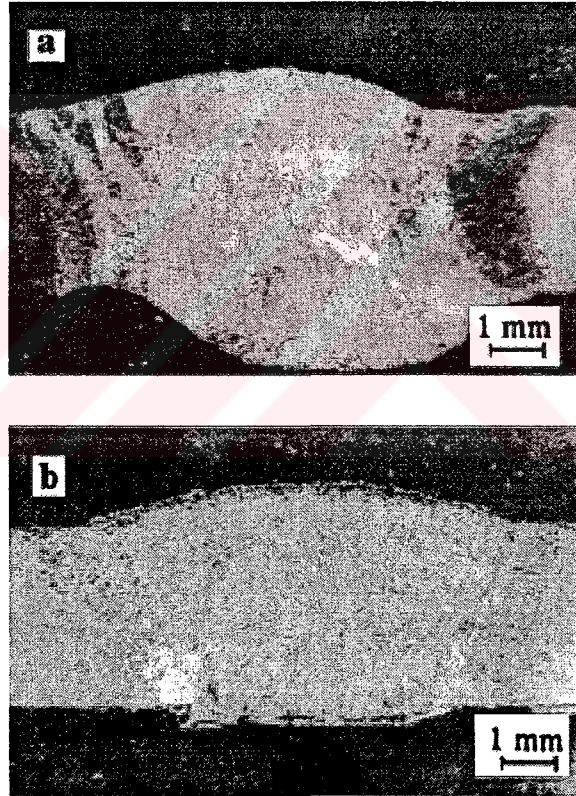


Şekil 2.28 Koruyucu gazdaki O₂ ve CO₂'in kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi (Stenbacka ve Persson, 1989)

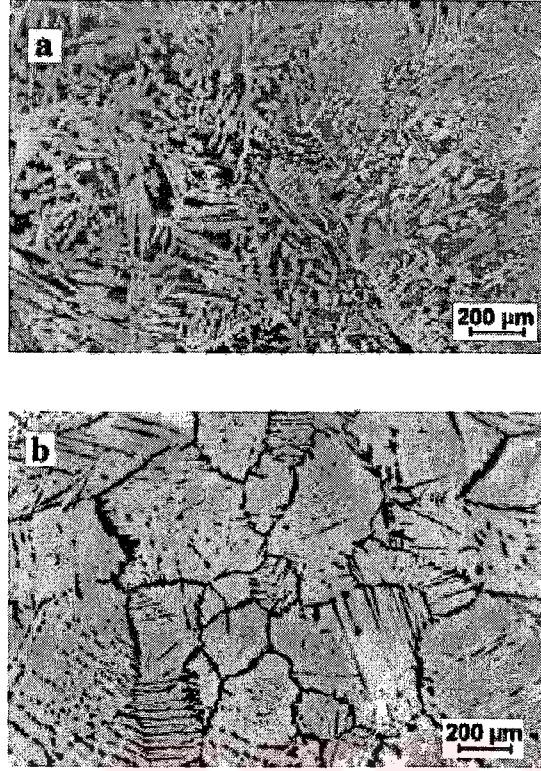


Şekil 2.29 Oksijen potansiyelinin darbe dayanımı üzerindeki etkisi (Liao ve Chen, 1998)

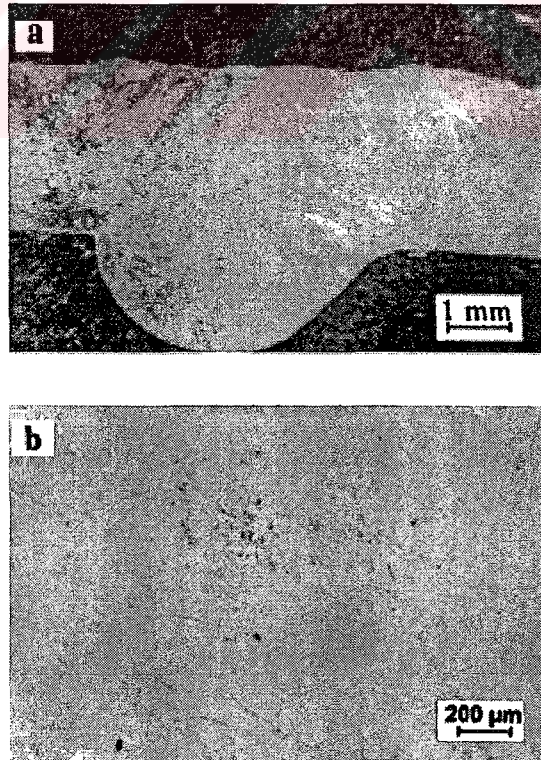
Mohandas, Madhusudhan ve Naveed (1999), metal asal gaz kaynağı yöntemi ve gaz tungsten ark kaynak yöntemini kullanarak ferritik paslanmaz çeliklerin (430) kaynağı ile elde edilen kaynak metallerinin mekanik ve kimyasal özellikleri üzerinde koruyucu gaza oksijen ilavesinin (%98 Ar + % 2 O₂) ve kaynak banyosuna titanyum ve bakır ilavelerinin etkilerini incelemişlerdir. Saf argon gazıyla yapılan kaynak ile elde edilen kaynak dikişlerinin mikro ve makro yapıları Şekil 2.30 ve 2.31' de, koruyucu gazdaki oksijenin etkileri ise Şekil 2.32 ve 2.33' de gösterilmiştir. Metal asal gaz kaynağı ile elde edilen kaynak metalinin mikroyapısı kolon biçimli tanelerden oluşmaktadır, gaz tungsten ark kaynağında tane yapısı eşeksenlidir. metal asal gaz kaynağında tanelerin büyüme yönü yüzeyden köke doğrudur. Her iki kaynak prosesinde tane büyümesi argon gazına oksijen ilavesi ile değişmez, tane boyutu küçülür (Çizelge 2.9) .



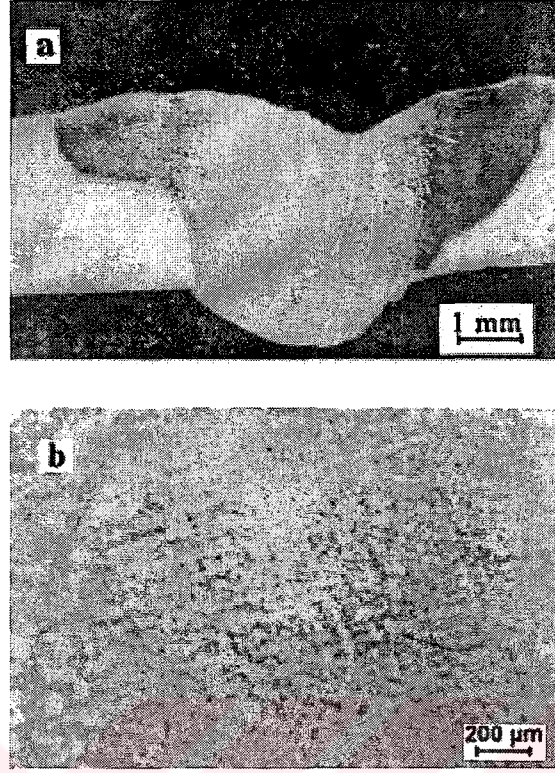
Şekil 2.30 Saf argon gazı ile elde edilen kaynak dikişlerinin makroyapıları; (a) MIG kaynağı, (b) TIG kaynağı (Mohandas vd., 1999)



Şekil 2.31 Saf argon gazı ile elde edilen kaynak dikişlerinin mikroyapıları; (a) MIG kaynağı, (b) TIG kaynağı (Mohandas vd., 1999)



Şekil 2.32 Kaynak bölgesine oksijenin etkisi (MIG kaynağı); (a) makroyapı, (b) mikroyapı (Mohandas vd., 1999)



Şekil 2.33 Kaynak bölgesine oksijenin etkisi (TIG kaynağı); (a) makroyapı, (b) mikroyapı (Mohandas vd., 1999)

Çizelge 2.9 Kaynak dikişinin tane boyutu ve tane yapısı (Mohandas vd., 1999)

Gaz Tipi	MIG Kaynağı		TIG Kaynağı	
	Tane Boyutu (μm)	Tane Yapısı	Tane Boyutu (μm)	Tane Yapısı
Saf Argon	600	Sütunsal	350	Eşeksenli
%98 Ar + %2 O ₂	300	Sütunsal	100	Eşeksenli

Çizelge 2.10' da kaynak bölgesinin ostenit oranları gösterilmiştir. Genelde metal asal gaz kaynağı ile elde edilen kaynak metalllerinde daha çok ostenit bulunmaktadır. Bunun nedeni atmosferden azot toplanmasıdır. Azot, ostenit stabilizatörüdür. Metal asal gaz kaynağında argon gazına oksijen ilavesi ile oksijenin krom ile kombinasyonu sonucu ostenit oranı artar.

Çizelge 2.10 Kaynak dikişlerinin (%) ostenit oranları (Mohandas vd., 1999)

Gaz Tipi	TIG Kaynağı	MIG Kaynağı
Saf Argon	4,5-6	9-12
%98 Ar + %2 O ₂	9-12	14-17

Artan osnetit oranı kaynak metalinin özelliklerini etkiler. Genelde ostenit oranının artması

sertliği düşürmektedir. Kaynak metallerinin sertlik değerleri Çizelge 2.11' de gösterilmiştir. Her iki proseste argona oksijen ilavesi sertlik değerlerini düşürmektedir. Çizelge 2.12 ve 2.13' de her iki proses kaynak metallerinin dayanım değerleri gösterilmiştir. Gaz tungsten ark kaynağında dayanım ve süneklik değerleri daha yüksektir. Her iki proseste argon gazına oksijen ilavesi dayanım ve süneklik değerlerini düşürmektedir. Sonuç olarak argona oksijen ilavesi, saf argona nazaran ferritik paslanmaz çeliklerde tane inceltici etkiye sahipken kaynak metalinin sertlik, dayanım ve süneklik gibi mekanik özelliklerini düşürmektedir (Mohandas vd., 1999).

Çizelge 2.11 Kaynak dikişlerinin mikrosertlik değerleri (Mohandas vd., 1999)

Gaz Tipi	MIG Kaynağı	TIG Kaynağı
Saf Argon	305	210
%98 Ar + %2 O ₂	247	166

Çizelge 2.12 MIG kaynağı ile elde edilen kaynak dikişlerinin dayanım değerleri (Mohandas vd., 1999)

Gaz Tipi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Ostenit Oranı (%)
Saf Argon	217	605	6,7	9-12
%98 Ar + %2 O ₂	219	498	4,1	14-17

Çizelge 2.13 TIG kaynağı ile elde edilen kaynak dikişlerinin dayanım değerleri (Mohandas vd., 1999)

Gaz Tipi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Ostenit Oranı (%)
Saf Argon	365	600	7,8	4,5-6
%98 Ar + %2 O ₂	304	516	5,0	9-12

2.5.1.2.1 Argon-Karbondioksit Karışım Gazlarının Kaynak Dikişindeki Karbon Oranına Etkisi

Koruyucu gazda CO₂ oranının artması paslanmaz çeliklerde kaynak metalinde C oranının ve yüzeyde oluşan cüruf miktarının artmasına neden olur. Kotecki (2001), Ar-CO₂ karışımlarının ve paslanmaz (krom içerikli) ilave metallerin, kaynak metalinde karbon birikimine olan etkilerini, 304L paslanmaz çelik malzeme üzerinde incelemiştir. Çizelge 2.14' de deneyde kullanılan kaynak tellerinin ve ana metalin kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir. Çizelge 2.15' de altı pasolu spreyl transferli kaynağın, Çizelge 2.16' da altı pasolu kısa devre iletimli kaynağın, Çizelge 2.17' de tek pasolu kısa devre iletimli kaynağın

kimyasal analizleri gösterilmiştir (Çizelge 2.15, 2.16 ve 2.17' deki deney sonuçları ER308LSi elektrodu ile elde edilmiştir). Çizelge 2.18' de ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu sprej transferli kaynağın, Çizelge 2.19' da ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu kısa devre iletimli kaynağın, Çizelge 2.20' de ER90S-B3L elektrodu ile yapılan altı pasolu sprej transferli kaynağın kimyasal analizleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.14 Kaynak tellerinin ve ana metalin kimyasal kompozisyonu (Kotecki, 2001)

AWS Standartı	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Nb	%N	Ferit Numarası
ER90S-B3L	0,05 mak.	0,40-0,70	0,025 mak.	0,025 mak.	0,40-0,70	2,30-2,70	0,20 mak.	0,90-1,20	0,35 mak.	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Lot F8519	0,035	0,55	0,004	0,010	0,59	2,43	0,06	1,10	0,06	0,005	0,009	Kabul Edilemez
ER308LSi	0,03 mak.	1,0-2,5	0,03 mak.	0,03 mak.	0,65-1,00	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75 mak.	0,75 mak.	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Lot 5131T	0,019	2,03	0,027	0,017	0,88	20,42	10,57	0,25	0,27	0,01	0,054	10,3
ER309LSi	0,03 mak.	1,0-2,5	0,03 mak.	0,03 mak.	0,65-1,00	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75 mak.	0,75 mak.	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Lot 432P	0,019	2,29	0,027	0,008	0,87	23,45	13,71	0,33	0,23	0,03	0,068	10,2
304L	0,030	1,65	0,032	0,031	0,32	18,55	8,23	0,44	0,38	0,01	0,098	7,4

Çizelge 2.15 Altı pasolu sprej transferli kaynağın kimyasal analizi (Kotecki, 2001)

%CO ₂ +Ar	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Nb	%N	FN
0	0,019	1,95	0,028	0,015	0,86	20,43	10,51	0,25	0,24	0,01	0,054	12,5
2,5	0,030	1,86	0,027	0,017	0,82	20,62	10,53	0,25	0,23	0,01	0,052	11,2
5	0,040	1,81	0,028	0,015	0,78	20,48	10,48	0,25	0,24	0,01	0,052	10,2
10	0,050	1,75	0,028	0,016	0,76	20,34	10,47	0,25	0,24	0,01	0,052	8,6
25	0,066	1,56	0,028	0,014	0,68	20,13	10,34	0,26	0,24	0,01	0,052	7,0
50	0,083	1,54	0,029	0,015	0,63	20,24	10,70	0,26	0,24	0,00	0,054	5,9
75	0,097	1,53	0,029	0,014	0,61	20,25	10,61	0,26	0,24	0,00	0,052	4,6
90	0,107	1,50	0,029	0,015	0,61	20,16	10,44	0,26	0,24	0,01	0,052	3,7
100	0,114	1,48	0,028	0,014	0,58	20,27	10,68	0,26	0,24	0,00	0,054	3,1

Çizelge 2.16 Altı pasolu kısa devre iletimli kaynağın kimyasal analizi (Kotecki, 2001)

%CO +Ar	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Nb	%N	FN
0	0,023	1,99	0,027	0,017	0,89	20,13	9,96	0,25	0,24	0,01	0,054	12,7
%90 He+ %7,5 Ar+%2,5CO	0,033	1,91	0,027	0,017	0,86	20,07	9,99	0,25	0,24	0,01	0,053	10,8
10	0,043	1,85	0,027	0,016	0,81	20,16	10,06	0,25	0,24	0,01	0,053	10,1
25	0,056	1,81	0,026	0,015	0,79	20,16	10,14	0,25	0,24	0,01	0,053	9,0
50	0,069	1,71	0,026	0,015	0,74	20,26	10,28	0,25	0,24	0,01	0,054	7,2
75	0,083	1,71	0,026	0,014	0,73	20,25	10,20	0,25	0,24	0,01	0,053	5,8

Çizelge 2.16 (devamı)

90	0,083	1,63	0,026	0,015	0,70	20,07	10,17	0,25	0,24	0,01	0,056	5,4
100	0,089	1,62	0,026	0,016	0,69	20,04	10,14	0,25	0,24	0,01	0,055	5,9

Çizelge 2.17 Tek pasolu kısa devre iletimli kaynağın kimyasal analizi (Kotecki, 2001)

%CO +Ar	%C	%S
2,5	0,031	0,015
5	0,035	0,016
10	0,036	0,017
25	0,048	0,018
50	0,059	0,017
75	0,062	0,018
90	0,063	0,017
100	0,072	0,019

Çizelge 2.18 ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu spreyl transferli kaynağın kimyasal analizi (Kotecki, 2001)

%CO +Ar	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Nb	%N	FN
2,5	0,039	1,92	0,026	0,008	0,85	23,32	13,72	0,34	0,22	0,03	0,071	11,0
5	0,043	1,89	0,026	0,007	0,83	23,45	13,86	0,34	0,22	0,03	0,068	10,6
10	0,057	1,79	0,026	0,007	0,18	23,34	13,60	0,34	0,22	0,03	0,069	9,6
25	0,074	1,69	0,026	0,006	0,72	23,33	13,70	0,34	0,22	0,03	0,069	7,8
50	0,089	1,64	0,026	0,006	0,68	23,35	13,96	0,35	0,22	0,03	0,068	6,3
75	0,096	1,59	0,026	0,007	0,66	23,31	13,69	0,34	0,22	0,03	0,066	5,4
90	0,113	1,58	0,026	0,007	0,65	23,25	14,02	0,35	0,22	0,03	0,067	4,3
100	0,115	1,58	0,026	0,006	0,65	23,24	13,94	0,35	0,22	0,03	0,069	4,3

Çizelge 2.19 ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu kısa devre iletimli kaynağın kimyasal analizi (Kotecki, 2001)

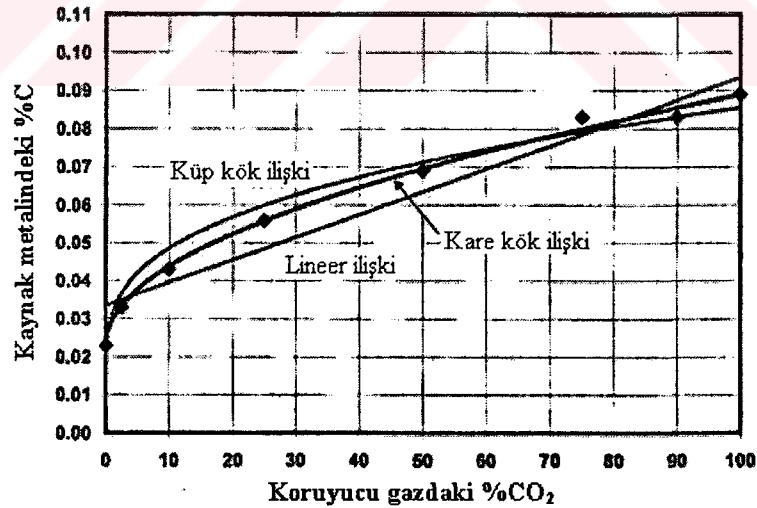
%CO +Ar	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Nb	%N	FN
2,5	0,029	2,01	0,024	0,005	0,86	23,40	13,63	0,33	0,20	0,03	0,071	11,2
5	0,034	1,96	0,025	0,005	0,86	23,29	13,62	0,34	0,20	0,03	0,071	10,0
10	0,044	1,92	0,024	0,005	0,85	23,45	13,85	0,34	0,20	0,03	0,069	10,0
25	0,055	1,88	0,024	0,005	0,80	23,62	13,94	0,34	0,19	0,03	0,069	8,6
50	0,067	1,85	0,024	0,005	0,82	23,09	13,80	0,034	0,21	0,03	0,068	7,8
75	0,080	1,78	0,025	0,006	0,80	22,78	13,80	0,35	0,21	0,03	0,069	6,9
90	0,094	1,73	0,024	0,006	0,79	22,81	13,52	0,35	0,22	0,03	0,070	5,8
100	0,102	1,68	0,024	0,006	0,73	23,25	13,89	0,35	0,21	0,03	0,070	5,1

Çizelge 2.20 ER90S-B3L elektrodu ile yapılan altı pasolu spre transferli kaynağın kimyasal analizi (Kotecki, 2001)

%CO +Ar	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Nb
1	0,035	0,50	0,005	0,012	0,53	2,40	0,06	1,10	0,36	0,005
2,5	0,041	0,50	0,005	0,013	0,50	2,39	0,06	1,09	0,34	0,005
5	0,039	0,47	0,005	0,012	0,48	2,36	0,05	1,09	0,37	0,004
10	0,046	0,44	0,005	0,012	0,44	2,38	0,06	1,11	0,37	0,005
25	0,045	0,39	0,005	0,012	0,38	2,34	0,06	1,11	0,36	0,005
50	0,051	0,34	0,005	0,012	0,30	2,29	0,05	1,07	0,34	0,004
75	0,054	0,33	0,005	0,012	0,28	2,28	0,05	1,07	0,31	0,004
90	0,057	0,26	0,005	0,011	0,19	2,15	0,05	1,05	0,33	0,003
100	0,057	0,25	0,005	0,012	0,19	2,13	0,05	1,07	0,34	0,004

Her bir tablodan, CO₂ arttıkça kaynak metalinin karbon oranı arttığı ve ferrit oranının azaldığı görülmektedir. Daha önceki bölümlerde CO₂ gibi oksitleyici gazların mangan, silisyum gibi elementlerde kayıplara neden olduğu söylenmişti. Tablolardan Mn ve Si oranlarının artan CO₂ oranı ile azaldığı görülmektedir.

Şekil 2.34' de ER308LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu kısa devreli kaynağın grafiksel sonuçları gösterilmiştir. Gerçek deneysel veriler lineer, kare kök ve küp kök eğrileri ile gösterilmektedir. Kaynak metalinin karbon oranı, koruyucu gazdaki CO₂ oranının kare köküyle orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 2.34 Koruyucu gazdaki CO₂ oranının kaynak metalindeki C oranına etkisi (ER308LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu kısa devreli kaynak) (Kotecki, 2001)

Arktaki CO₂ molekülünün ayrışmasını aşağıdaki reaksiyonla açıklamak mümkündür.



Burada CO_2 ve O_2 gaz halindeki bileşenlerdir ve $\underline{\text{C}}$ ise kaynak metalinde çözünmüş karbondur. Eğer bu idare edilen bir reaksiyon olsaydı çözünen karbon koruyucu gazdaki CO_2 yüzdesinin lineer fonksiyonu olabilirdi. Ama Şekil 2.34' de lineer olmayan bir ilişki vardır, böylece bu analiz uygun olmamaktadır.

Aşağıdaki reaksiyon lineer olmayan ilişki üretir. İki reaksiyonun kombinasyonu olan bu lineer olmayan ilişki Liu tarafından önerilmektedir.

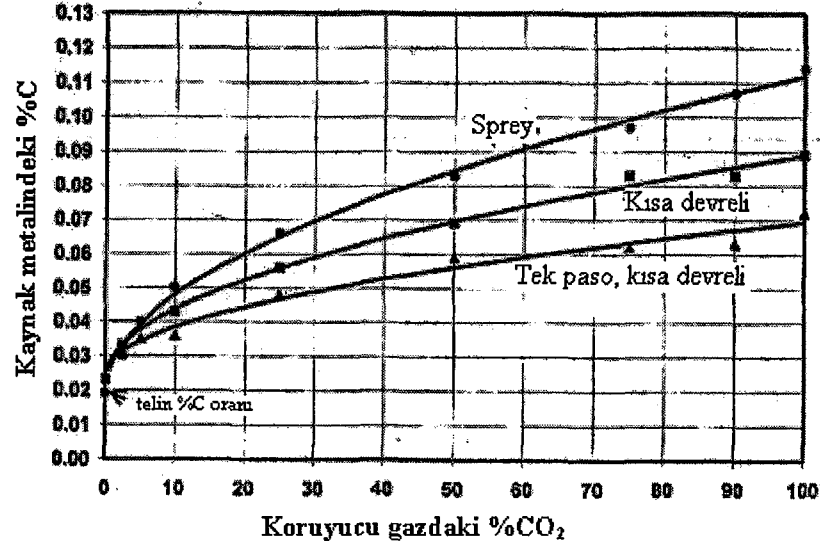


Bu reaksiyonlar ile aşağıdaki reaksiyon elde edilir.



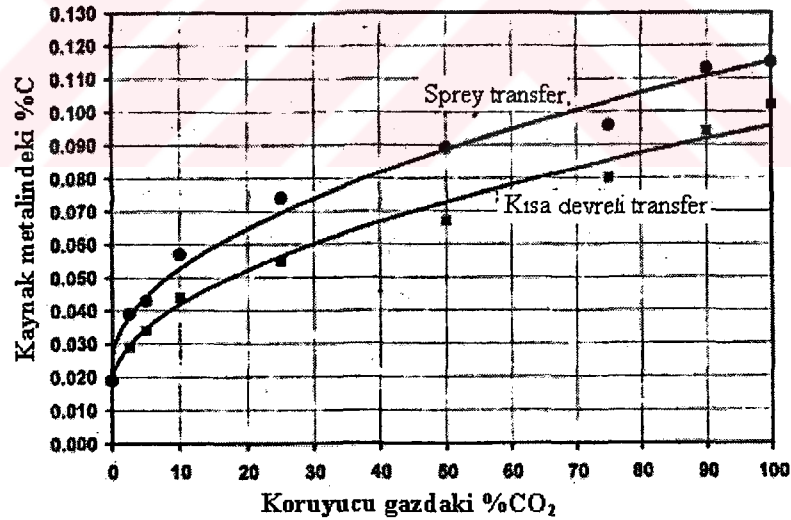
Buradaki CO gaz halindeki bileşendir. $\underline{\text{C}}$ ' nun katsayısı olan 3, kaynak metalindeki karbon ile koruyucu gazdaki CO_2 yüzdesi arasında küp kök ilişkisi olduğuna öncülük eder. Fakat Şekil 2.34' de küp kök ilişkisinin deneysel verilere uygun olmadığını göstermektedir. Deneysel verilere en uygun ilişki Şekil 2.34' de görüldüğü gibi karekök ilişkisidir.

Şekil 2.35' de ER308LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu spre transferli kaynağın, kısa devreli kaynağın ve tek pasolu kısa devreli kaynağın grafiksel sonuçları gösterilmiştir. Tek pasolu kısa devreli kaynağın eğrisi altı pasolu spre transferli kaynağın eğrisinin altında bulunmaktadır. Buda eriyiğin düşük karbonlu ana metalden etkilenmesinden kaynaklanır. Verilen her CO_2 oranı için, altı pasolu spre transferli kaynak ile elde edilen kaynak metalinin karbon oranı altı pasolu kısa devreli kaynak ile elde edilen kayna metalinin karbon oranından daha fazladır.



Şekil 2.35 Koruyucu gazdaki CO₂ oranının kaynak metalindeki C oranına etkisi (ER308LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu spray transferli, kısa devreli ve tek pasolu kısa devreli kaynak) (Kotecki, 2001)

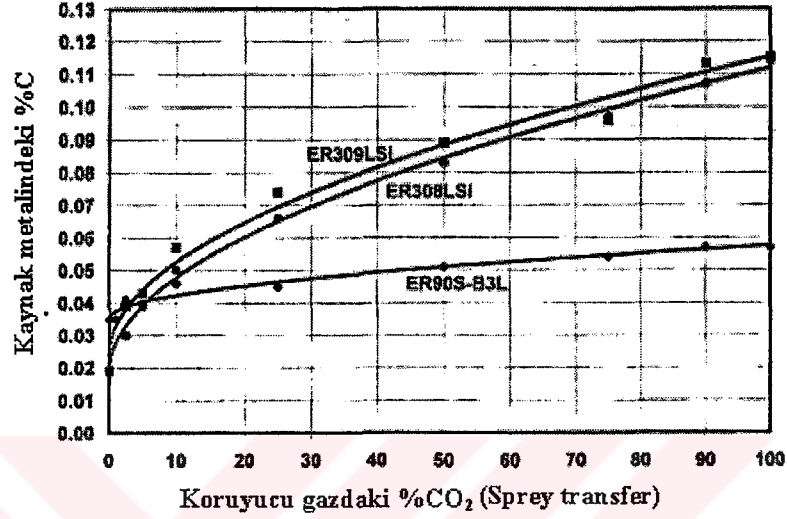
Şekil 2.36' de ER309LSi elektrodu ile yapılan kısa devreli kaynak ile spray transferli kaynak karşılaştırılmaktadır. Eğilimler ER308LSi elektrodu ile benzer ilişkilere sahiptir.



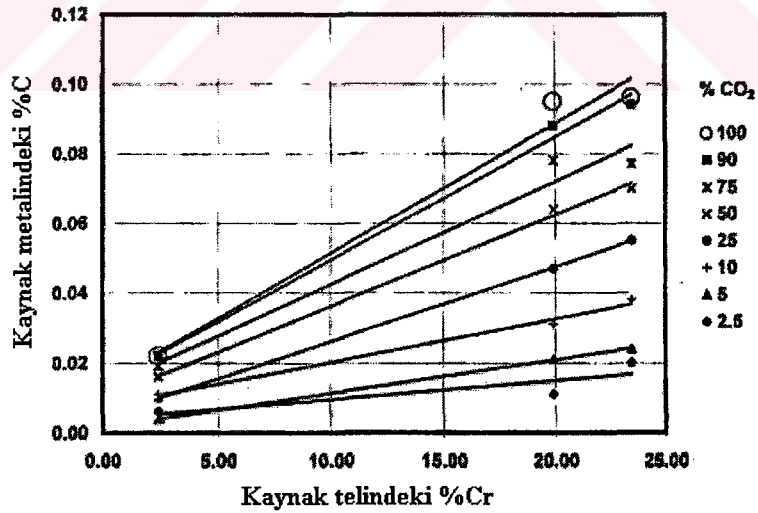
Şekil 2.36 Koruyucu gazdaki CO₂ oranının kaynak metalindeki C oranına etkisi (ER309LSi elektrodu ile yapılan altı pasolu spray transferli ve kısa devreli kaynak) (Kotecki, 2001)

Kaynak metalindeki karbon oranı, koruyucu gazdaki CO₂ oranından başka elektrodun krom oranında etkilenmektedir. ER90S-B3L elektrodu ile kromun karbon birikimine olan etkisi anlaşılmaktadır. Bu elektrodun karbon oranı diğer elektrodalara nazaran daha fazla olmasına rağmen, CO₂ oranının artmasıyla krom oranı daha yüksek olan elektrodalar (ER309LSi,

ER308LSi) ile yapılan kaynaktaki karbon oranı, düşük krom içeren elektrod (ER90S-B3L) ile yapılan kaynaktaki karbon oranına nazaran daha yüksektir. Buda karbon birikimine kromun etkisini ortaya koymaktadır (Şekil 2.37). Şekil 2.38' te değişik CO_2 oranlarında elektrottaki krom oranının fonksiyonu olarak karbon birikimindeki değişiklikler gösterilmiştir (Kotecki, 2001).



Şekil 2.37 ER90S-B3L, ER308LSi ve ER309LSi elektrodları ile yapılan spray transferli kaynağın kaynak metalindeki %C oranına etkisinin karşılaştırılması (Kotecki, 2001)



Şekil 2.38 Sprey transferli kaynaktaki koruyucu gazdaki CO_2 oranına ve kaynak telindeki Cr oranına bağlı olarak kaynak metalindeki C oranındaki değişimler (Kotecki, 2001)

2.5.1.3 Uygulama Alanları

2.5.1.3.1 Alaşım-sız Çelikler

- **%75 Ar + %25 CO₂** karışım gazı, kalın malzemelerin katı ve flux özlü telle kaynakta kusursuz nüfuziyet sağlar. Yüksek CO₂ oranı ile derin nüfuziyet elde edilir. Ayrıca karışım küçük ve büyük çapa sahip flux özlü teller için uygundur. 3 mm' ye kadar olan alaşım-sız çeliklerin kısa devreli kaynağı ile en az distorsiyon elde edilirken yüksek CO₂ oranı sıçramalı kaynağa neden olur. Yüksek kaynak hızlarına uygundur. 3 mm' den kalın olan alaşım-sız çeliklerin kısa devreli kaynağında en az sıçrama ve temiz kaynak görüntüsü elde edilir. Düşey ve tavan pozisyonlarında iyi bir banyo kontrolü sağlar (Eryürek, 2003; www.sciencedirect.com).
- **Argon + %20-50 CO₂** karışım gazı ile 2.4 mm' ye kadar olan düşük ve yüksek alaşımlı çeliklerinin kısa devreli ve küresel (iri damlalı) metal transferli kaynağında iyi bir nüfuziyet ve kaynak banyosunun kontrolü sağlanır. Bu karışım yüksek kaynak akımları ve yüksek kaynak hızları için de uygundur.
- **Argon + %8-20 CO₂** karışım gazı ile 2.4 mm kadar olan düşük ve yüksek alaşımlı çeliklerin kısa devreli kaynağında iyi bir birleşme ve dikiş sütunu ve iyi mekanik özellikler elde edilir (Sadler, 1999).
- **Argon + %5-10 CO₂** karışım gazı ile alaşım-sız çeliklerin kısa devreli kaynağında daha derin nüfuziyet elde edilir ve daha yüksek kaynak hızlarında çalışılabilir.
- **Argon + %1-5 O₂** karışım gazı alaşım-sız çeliklerin spre transferli kaynağında ark kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, iyi bir birleşme ve dikiş profili sağlar, yanma oluğunu en aza indirir, saf argona nazaran daha yüksek kaynak hızına olanak sağlar.
- **Argon + %3-10 CO₂** karışım gazı alaşım-sız çeliklerin spre transferli kaynağında iyi bir dikiş profili sağlar, sıçramayı en az düzeye indirir, soğuk kaynak olasılığını azaltır. Ancak pozisyon kaynağına uygun değildir (Eryürek, 2003).

2.5.1.3.2 Yalın Karbonlu, Düşük ve Yüksek Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

- **%60-70 He + %25-35 Ar + %4,5 CO₂** karışım gazıyla düşük alaşımlı çeliklerin kısa devreli kaynağında en az reaktivite, mükemmel tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği, dikiş özelliği ve çok az sıçrama elde edilir.
- **%75 Ar + %25 CO₂** karışım gazıyla düşük alaşımlı çeliklerin kısa devreli kaynağında orta derecede tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği, dikiş profili ve çok az sıçrama

elde edilir.

- **%98 Ar + %2 O₂** karışım gazı, düşük alaşımlı çeliklerin spre transferli kaynağında yanma oluşunu en az düzeye indirir ve iyi bir tokluk sağlar (Eryürek, 2003).
- **%93 Ar + %5 CO₂ + %2 O₂** karışım gazıyla kısa devreli kaynakta güzel görünümlü kaynaklar ve yok denecek kadar az sıçrama elde edilir. Elektrod teli kararlı kalmakta ve damlacık büyüklüğü düzenli olmaktadır. Voltajın düşürülmesi ile frekans değerleri daha da arttırılabilir. Kullanılan ark voltajı karbondioksit göre 2-3 volt daha düşüktür. Karışımın ark voltajındaki değişmelere karşı iyi tolerans göstermesi, elektrodun torçtan çıkma miktarında da kullanıcıya avantaj sağlar. Böylece ark ısısı kolay kontrol edilebilmektedir. Aynı akım değerleri için düşük voltajlarla çalışmaya olanak sağlaması ile birçok dikişin tek pasoda çekilebilmesini mümkün kılar. Karışımındaki CO₂ oranının düşük değerinde olması kadeh biçimli nüfuziyet profili oluşturur. Bu karışım sıçramaların çok az görüldüğü spre geçiş ve darbeli transfer çalışma biçimleri için uygundur. Kısa devreli kaynak biçimi kullanılarak ince sacların pozisyonel kaynakları için uygundur. Kalın malzemelerde ise yeterli ısı girdisi sağlayamaması ve füzyon riski nedeniyle tercih edilmez. Kalın parçaların çok pasolu ve spre transferli kaynağında porozite oluşumu nedeniyle sakınca oluşturabilir. Bunun banyoda argon hapsi ve azot çözünmesi sonucu meydana geldiği belirtilir. Bu olumsuzluklara çözüm olarak, kaynak akımının yükseltilmesi ve gazdaki CO₂ içeriğinin arttırılması önerilir.
- **%86 Ar + %12 CO₂ + %2 O₂** karışımının %12 oranında CO₂ içermesi sayesinde yüksek ısı girdisi ve mükemmel bir spre geçiş karakteristiği vermektedir. Kısa devreli kaynaklarda ise oldukça düşük miktarda çapak yapar. Darbeli ve sinerjik kaynak uygulamaları için idealdir. Birçok özlü telde de koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Karışımındaki CO₂ oranının ara değerinde olması kaynakta daha iyi dikiş eldesini sağlayan füzyon-kaynama özelliklerini geliştirir. Profil iyileşmesi sonucu çok çeşitli kalınlıklarda malzemeler, gerekirse çok pasolu yöntemle dahi başarılı bir biçimde kaynak edilebilir.
- **%78 Ar + %20 CO₂ + %2 O₂** karışımı ile yapılan kaynaklarda elde edilen dikişlerde mükemmel nüfuziyet ve çok tatmin edici bir dikiş genişliği/dikiş derinliği (nüfuziyet oranı) sağlamaktadır. Mikroyapıda ise kaynak merkezine doğru keskin biçimde yönelen ve dik açılarda birleşen kristal yapısı ile sıcak çatlamaya karşı yüksek direnç gösterebilen bir dikiş elde edilmektedir. Karışımındaki CO₂ oranının yüksek olması daha gelişmiş füzyon ve derin nüfuziyet özellikleri verir. Özellikle çok paso gerektiren göreceli olarak kalın malzemelerin kaynağına uygundur. Daha uzun süre akışkan kalabilen kaynak banyosu, sıvı metal içinde sıkışabilecek herhangi bir gaz habbesinin bünye dışına kolayca atılarak

gözeneksiz dikiş eldesini mümkün kılar. Kullanılan CO₂ oranının yüksekliği nedeniyle gereken daha yüksek akım yoğunlukları, ark plazma kolonunun genişlemesine yol açar. Ark boyunca geçen damlacık çapı büyür. Ark kararlılığı azalır ve sıçrama-çapak miktarı artar (Okan, 1989).

2.5.1.3.3 Paslanmaz Çelikler

- **%90 He + %7,5 Ar + %2,5 CO₂** karışım gazıyla paslanmaz çeliklerin kısa devreli kaynağı ile dar bir ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), çok az distorsiyon elde edilir ve yanma oluşu yok denecek kadar azdır. Ayrıca paslanmaz çeliklerin korozyon direnci üzerinde kötü bir etkisi yoktur. Ayrıca bu karışım oksidasyonu minimuma indirmek için kullanılır. Karışımda yüksek oranda bulunan He içeriği, kısa devreli kaynakta kaynak banyosunun cansızlığını ortadan kaldırmak için gerekli ısı girdisini sağlar. Bu karışım 3.2 mm' den daha az kalınlığa sahip paslanmaz çelikler için tavsiye edilir (Eryürek, 2003; Kearns, 1978; www.sciencedirect.com)
- **%99 Ar + %1 O₂** karışım gazı paslanmaz çeliklerin spre transferli kaynağında ark kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, kalın paslanmaz çeliklerde yanma oluşunu en az düzeye indirir (Eryürek, 2003).
- **%98 Ar + %2 O₂** karışım gazı ince paslanmaz çeliklerin spre transferli kaynağında %1 O₂' li karışıma nazaran daha iyi bir ark kararlılığı ve birleşme sağlar. Ayrıca bu karışım daha akışkan bir kaynak banyosu sağlar ve daha akışkan kaynak banyosu daha yüksek kaynak hızlarına imkan tanır. Bu karışım tüm pozisyonlarda emniyetle uygulanabilir (www.sciencedirect.com ; Okan, 1989; Eryürek, 2003)
- **%85 He + %13,5 Ar + %1,5 O₂** karışım gazı ile paslanmaz çeliklerin kaynağında daha düz dikiş formu ve parlak kaynak görünümü elde edilir. Sıçrama-çapak ve oksidasyon tamamen giderilir. Kaynak hızı oldukça yüksektir. Kısa devre ark frekansının artması ile daha rahat ve hızlı yapılabilen kaynaklar özellikle havalandırma, taşıma, tesisat gibi ince kesitli ve minimum distorsiyon istenen malzemelerin konstrüksiyonunda caziptir. Bu karışım ile kaynak parametrelerinin ayarı daha kolay olmaktadır.
- **%38 He + %60 Ar + %2 CO₂** karışımında kararlı bir ark elde edebilmek için helyum oranı azaltılmıştır. Bunun sonucu ark boyu kısalmış ve daha zor sapan bir ark oluşur. Bu karışım özellikle kalın kesitli malzemelerin spre transferli ve darbeli kaynaklarında kullanılır. Karışımın sağladığı daha iyi ısılatma etkisi sonucu mükemmel bir nüfuziyet profili sağlanır. Bu, daha yayvan dikiş üstü ile sağlanır. Kaynak hızında sağlanan önemli artışlar nedeniyle bu karışım otomatik ve robotik uygulamalar için uygundur (Okan, 1989).

- **%66 Ar + %33 He + %1 CO₂** karışımı paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek kaynak hızlarına imkan sağlar. Geniş ve düz yüzeye sahip kaynak dikişleri elde edilir. Bu karışım poroziteyi azaltır ve korozyon direncini geliştirir. Düşük oranda CO₂ içeriği nedeniyle kaynak metalindeki karbon absorpsiyonu ve yüzeydeki oksit tabakası yok denecek kadar azdır (www.sciencedirect.com).

2.5.2 Argon-Hidrojen Karışım Gazları

Argon-Hidrojen karışımları pratik uygulamalarda plazma kaynağında ve plazma ile kesmede plazma gazı olarak kullanılır. Ar-H₂ karışımları hidrojenin ters metalurjik etkilerde bulunmadığı paslanmaz çeliklerin (ostenitik, ferritik, martenzitik), nikel-bakır ve nikel esaslı alaşımların kaynağında kullanılır. Karbon ve alaşımlı çeliklerin kaynağında çatlaklara, ferritik çeliklerde, bakır, alüminyumda ve ostenitik paslanmaz çeliklerin ve nikelin çok pasolu kaynağında poroziteye neden olur. Koruyucu gazla kaynak uygulamalarında hidrojen ilavesinin %0.5 ile %5 arasında olması tavsiye edilir (Young, 1995; Tusek ve Suban, 2000).

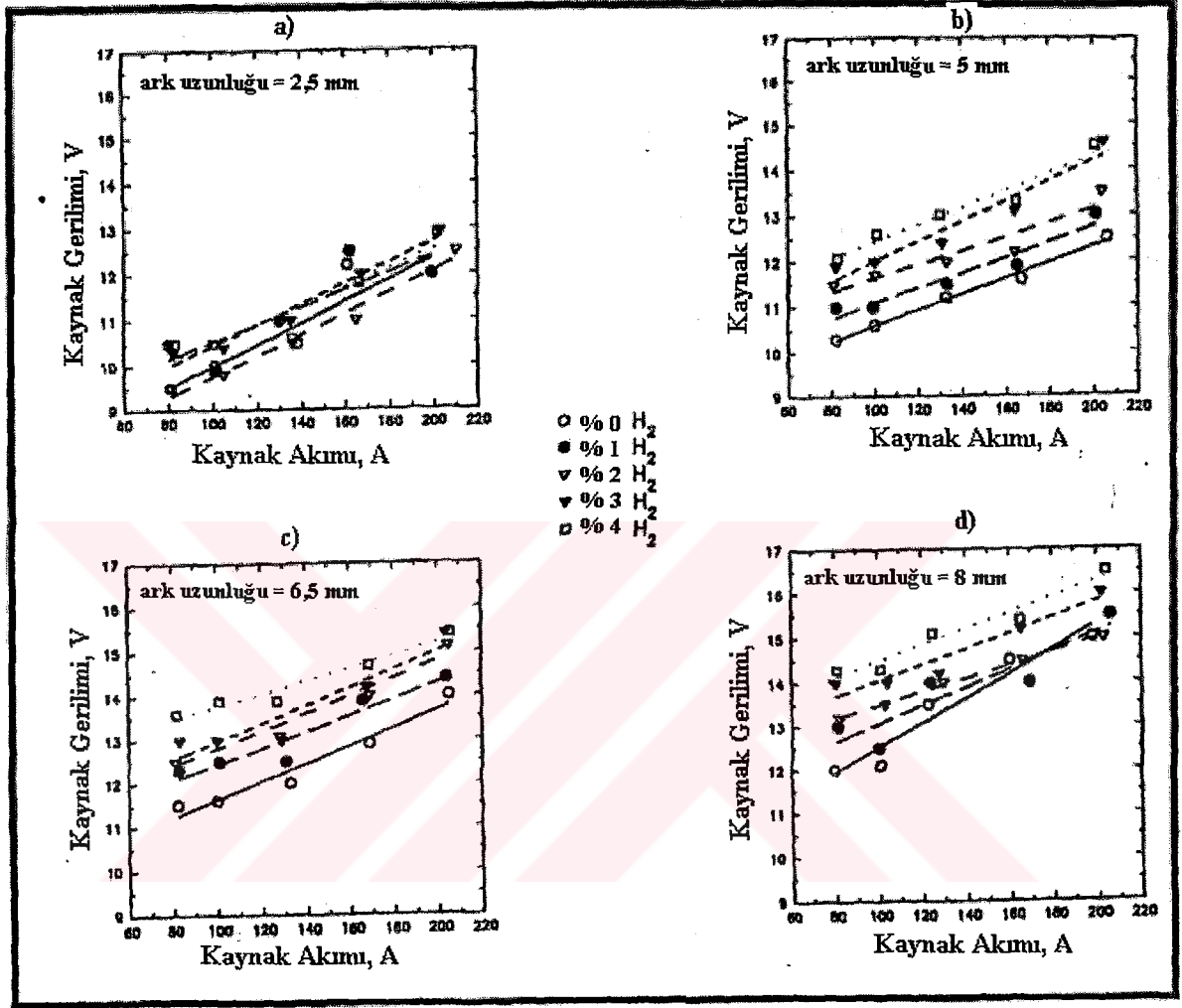
Argon veya helyuma hidrojen ilavesi ile hidrojenin yüksek termal iletkenliği nedeniyle daha dar ark oluşur ve enerji konsantrasyonunu artırır. Ayrıca arkta daha geniş sıcaklık dağılımı ve daha büyük ısı girdisi sağlar. Yüksek ısı girdisi, çift atomlu hidrojenin arkta atomik hidrojene ayrışması ile sağlanır. Atomik hidrojen arkın düşük sıcaklığa sahip bölgelerinde ve iş parçasının yüzeyinde tekrar molekül haline geçer. Atomik hidrojenin iyonizasyonu ısı girdisini artırır. Böylece kaynak banyosunun hacmi dolayısıyla kaynak dikişinin nüfuziyeti artar. Hidrojenin varlığı helyum veya argonun akım taşıma kapasitesini etkiler. TIG kaynağında hidrojen, tungsten elektrodun oksidasyonunu önlemek için de kullanılır.

Koruyucu gaza hidrojen ilavesi ile paslanmaz çeliklerin kaynağında yüzey gerilimi, oksijen konsantrasyonunda azalma nedeniyle kaynak banyosunun yüzey gerilimi artar. Yüzey gerilimini ve onun gradyanları kaynak dikişinin boyutunu ve morfolojisini önemli derecede etkiler. Hidrojen ilavesi kaynağın final tabakasının yüzeyinde oksit oluşumunu önlediği için güzel görünümlü güzel görünümlü kaynak dikişleri elde edilir (Onsøien vd., 1995; Tusek ve Suban, 2000).

2.5.2.1 Arkın Statik Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi

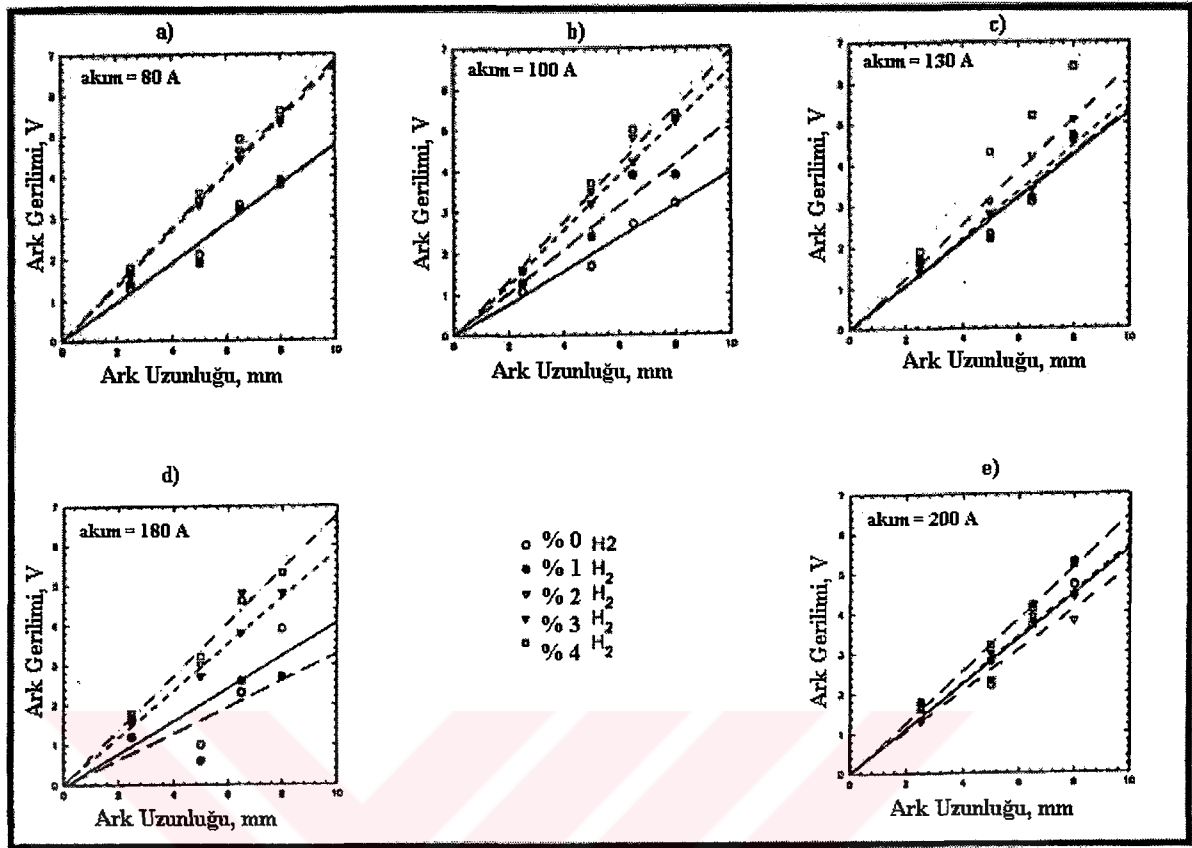
Sabit ark uzunluğunda, gerilim ile akım şiddeti arasındaki ilişki arkın statik karakteristiği olarak tanımlanır. Koruyucu gaza hidrojen ilavesi (diatomik gazın ayrışması-disasiyasyonu ve iyonizasyonu ile) ark gerilimini artırır (Şekil 2.39). Ark uzunluğunun artmasıyla kaynak gerilimi artar ve hidrojenin etkisi daha açık hale gelir. Ark uzunluğunun artmasıyla ark direnci

artar ve ark direncinde daha fazla artış hidrojen içeriğinin artması ile olur. Ark direncinde artış ile stabil bir ark sağlamak için daha yüksek ark gerilimine ihtiyaç duyulur ve hidrojen oranının artması ark gerilimini artırır (Onsøien vd., 1995; Tusek ve Suban, 2000).



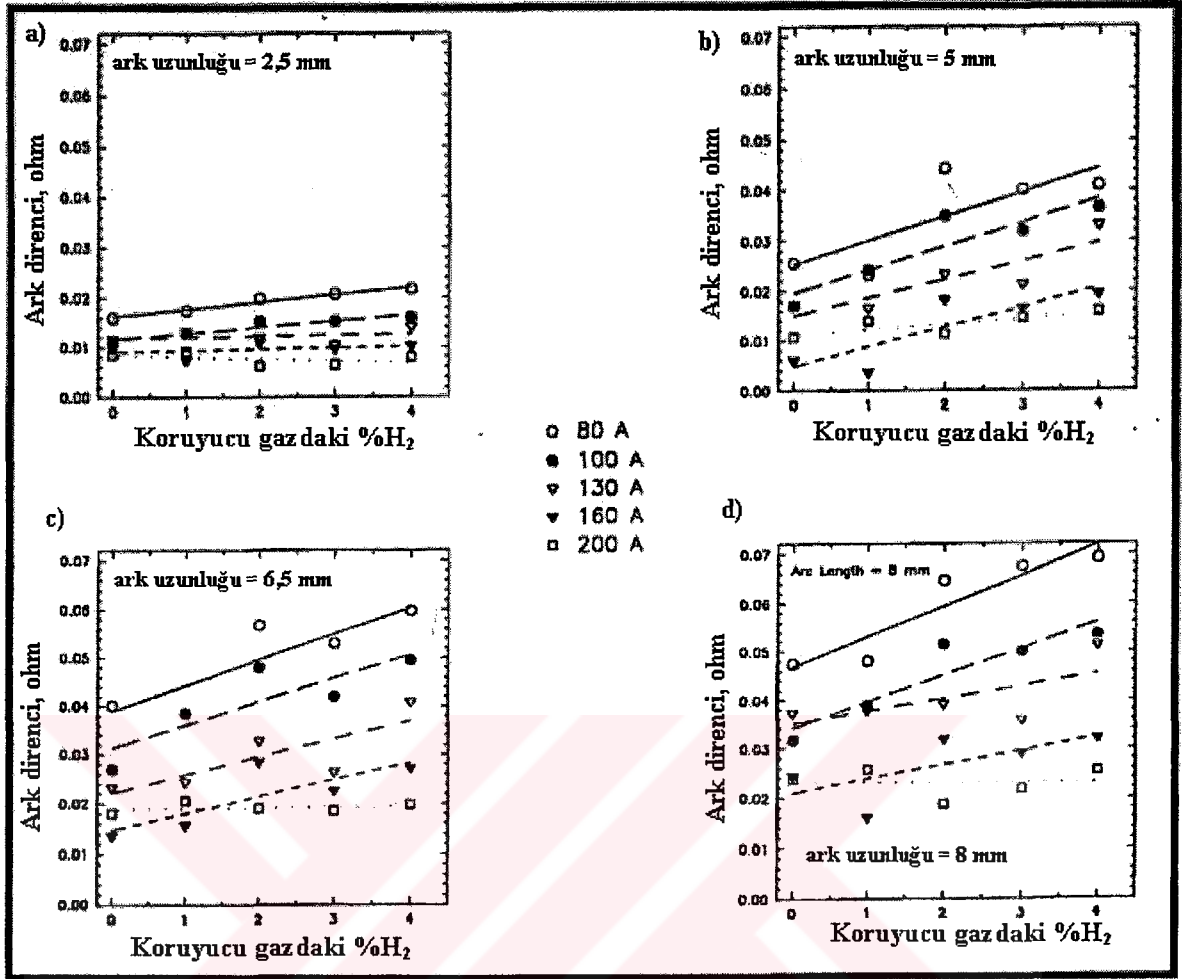
Şekil 2.39 Farklı Ar-H₂ koruyucu gazlarının ark karakteristiği üzerindeki etkisi (Onsøien vd., 1995)

Şekil 2.40' da çeşitli kaynak akımları ve hidrojen oranları için ark uzunluğunun fonksiyonu olarak ark gerilimindeki değişimlerini gösterilmiştir. Şekil 2.40' da, uygun kaynak plazması sağlamak için ark için, gerekli olan gerilim üzerindeki hidrojenin güçlü etkisi gösterilmiştir. Bütün kaynak akımlarında, ark uzunluğunun artmasıyla ark gerilimi de artar. Her bir kaynak akımında, arkı stabilize etmek için gerekli yüksek ark gerilimi, yüksek hidrojen içeriği ile sağlanır.



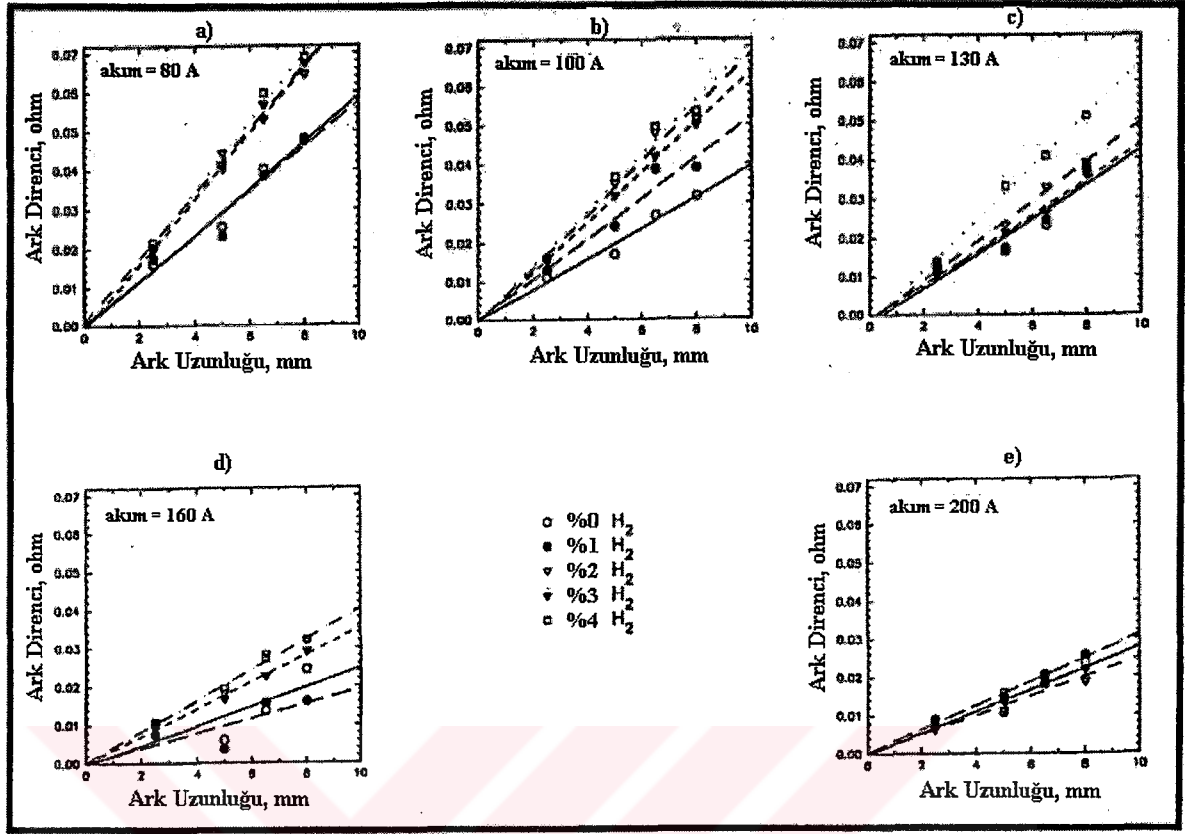
Şekil 2.40 Farklı Ar-H₂ karışımları ile yapılan TIG kaynağı için ark gerilimi üzerinde ark uzunluğunun etkisi (Onsøien vd., 1995)

Şekil 2.39' daki eğrilerin eğimi ark direncinin bir ölçüsüdür. Ark direnci arttığında ark gerilimi de arkı kuvvetlendirmek için artırılmalıdır. Şekil 2.41' de çeşitli ark uzunlukları ve akım değerleri için hidrojen içeriğinin bir fonksiyonu olarak arkın elektriksel direncindeki değişimler gösterilmiştir. Koruyucu gazdaki yüksek hidrojen içeriği yüksek ark direnci ile sonuçlanır. Bu gözlem, özellikle düşük kaynak akımları için geçerlidir (örneğin 80 ile 160 A arası). Hidrojen içeriğindeki artış, ark uzunluğunun artmasıyla ark direncini artırır. Yüksek kaynak akımlarında örneğin 200 A değerinde ark direnci koruyucu gazdaki hidrojen içeriğinin artmasıyla hemen hemen sabit kalır. Ark direnci, arktaki elemanların (molekül, iyon, elektron) oranının da bir fonksiyonudur. Eğer arktaki eleman sayısı, stabil bir ark sağlamak için yeterli ise -yüksek kaynak akımından dolayı- küçük oranda hidrojen ilaveleri ark direnci üzerinde hiçbir etkisi yoktur veya çok az bir etkiye sahiptir. 2.5 mm ark uzunluğunda bu eğilim daha açıktır ve hidrojen ilavesinin ark direnci üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğunu gösterir. (Şekil 2.41 a).



Şekil 2.41 Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H₂' nin ark direnci üzerindeki etkisi (OnsØien vd., 1995)

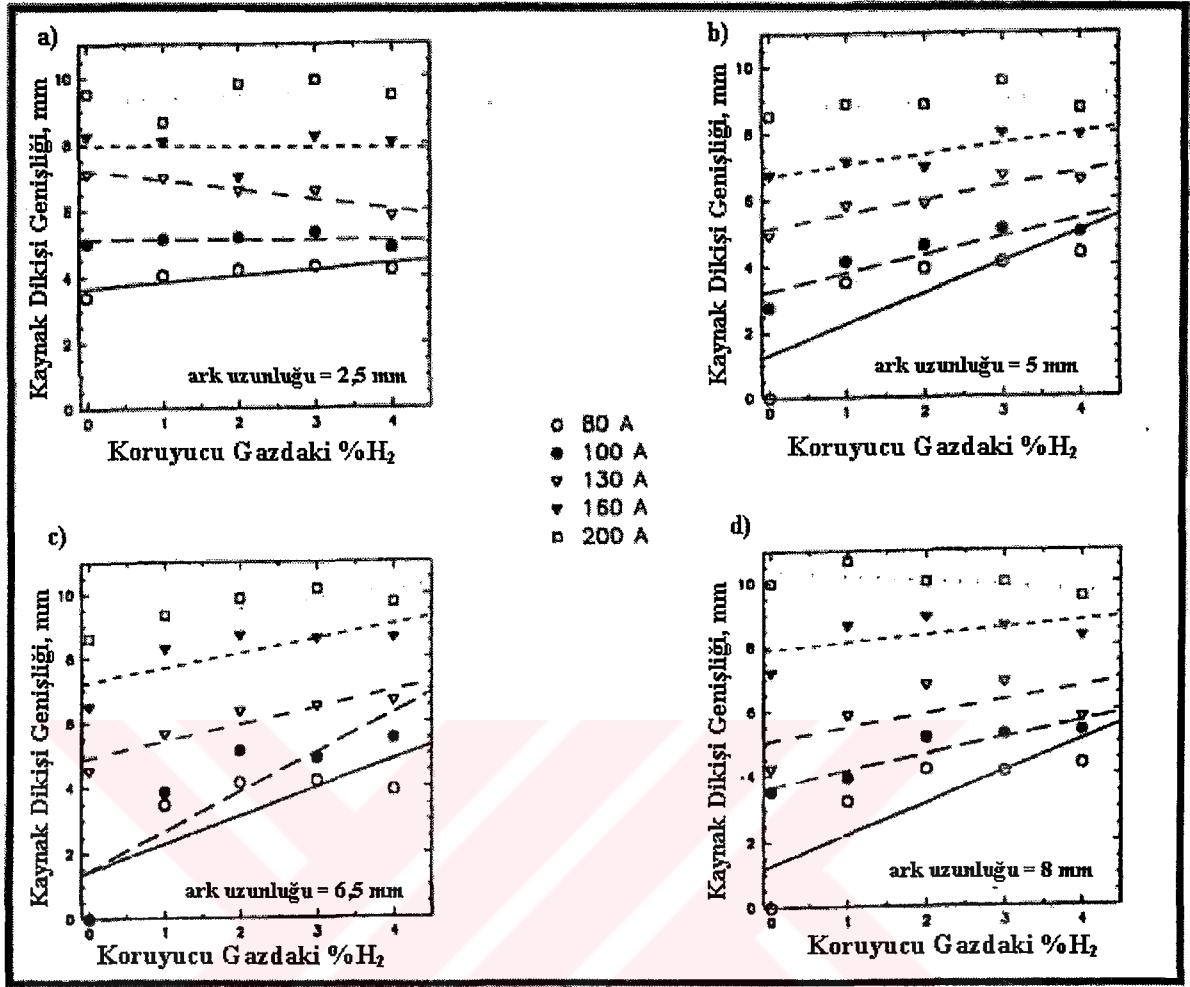
Aynı şekilde, çeşitli kaynak akımları ve hidrojen oranları için ark uzunluğunun bir fonksiyonu olarak ark direncindeki değişimler Şekil 2.42' de gösterilmiştir. Ark uzunluğundaki artış ark direncini de arttırmaktadır. 2.5 mm' den daha büyük ark uzunluklarında ve 200 A' in altındaki kaynak akımlarında koruyucu gaza hidrojen ilavesi ark direnci üzerinde önemli etkiye sahiptir (OnsØien vd., 1995).



Şekil 2.42 Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H₂'nin ve ark uzunluğunun ark direnci üzerindeki etkisi (Onsøien vd., 1995)

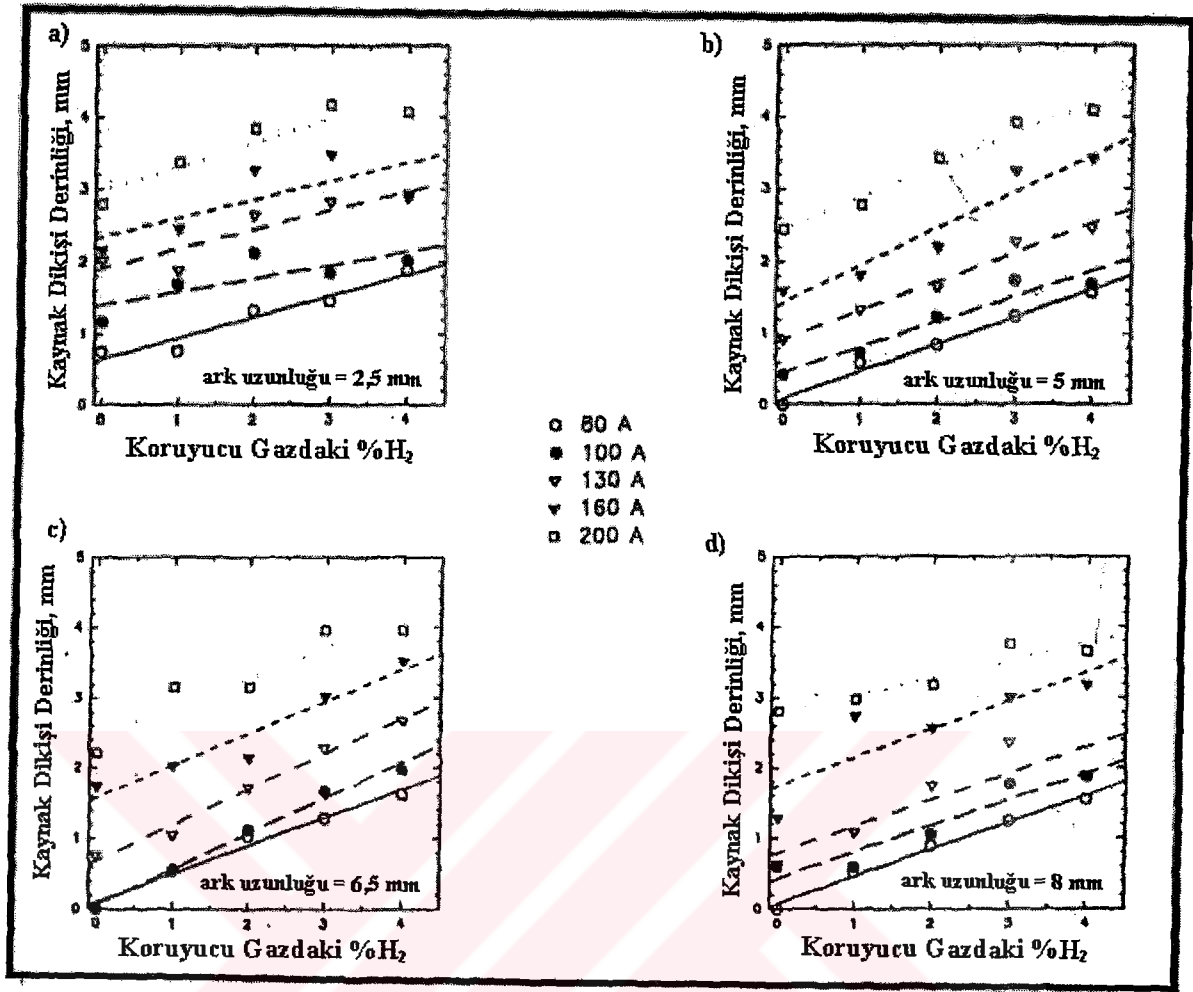
2.5.2.2 Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri

Hidrojenin yüksek termal iletkenliğe sahip olması kaynak banyosunun hacmini artırır. Buda daha derin nüfuziyete sahip kaynak dikişlerinin eldesini sağlar. Şekil 2.43 a-d' de çeşitli ark uzunlukları ve kaynak akımları için argon koruyucu gazındaki hidrojen içeriğinin bir fonksiyonu olarak kaynak dikişinin genişliğindeki değişimler görülmektedir. Kaynak akımının artmasıyla kaynak dikişinin genişliğinde sistematik bir artış meydana gelmektedir. Koruyucu gazdaki hidrojen içeriğinin artmasıyla da kaynak dikişinin genişliği artmaktadır. Bununla birlikte kaynak dikişinin genişliğindeki artışlar karşılaştırıldığında, akımın etkisi hidrojenin etkisine nazaran daha az etkiye sahiptir (Onsøien vd., 1995; Durgutlu, 2003).

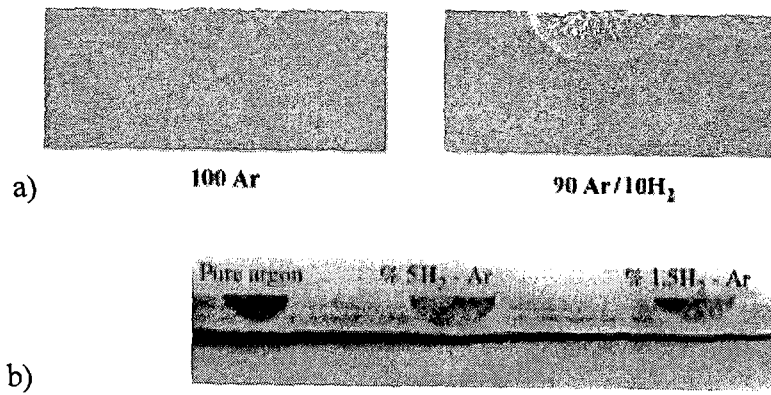


Şekil 2.43 Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H₂'nin kaynak dikişinin genişliği üzerindeki etkisi (Onsøien vd., 1995)

Koruyucu gazdaki hidrojen içeriğinin artmasıyla kaynak dikişinin derinliği de artar. Şekil 2.44 a-d' de çeşitli ark uzunlukları ve kaynak akımları için hidrojen içeriğinin bir fonksiyonu olarak kaynak dikişinin derinliğindeki değişimler gösterilmiştir. Ark uzunluğunun artmasıyla hidrojenin rolü daha açık hale gelir ve nüfuziyeti kontrol etmede akım kadar güçlü bir parametre olarak görülür. Sabit akım kaynak uygulamalarında, hidrojen içeriğinin artmasıyla kaynak arkı tarafından ısı üretimi artar. Bu da nüfuziyetin artmasını sağlar. Örneğin 200 A kaynak akımında ve 6.5 mm ark uzunluğunda hidrojen oranının %0' dan %4' e artması nüfuziyette %50' nin üzerinde bir artış sağlar. Şekil 2.45' de saf argon ve %90 Ar + % 10 H₂ koruyucu gazları ile TIG kaynak yöntemi ile elde edilmiş kaynak dikişlerinin makrokesitleri gösterilmiştir. Şekil 2.46' da üç farklı koruyucu gazı ile (saf argon, %95 Ar + % 5 H₂, %88.5 Ar + % 1.5 H₂) TIG kaynak yöntemi ile elde edilmiş kaynak dikişlerinin makrokesitleri gösterilmiştir (Onsøien vd., 1995; Suban vd., 2001; Durgutlu, 2003).



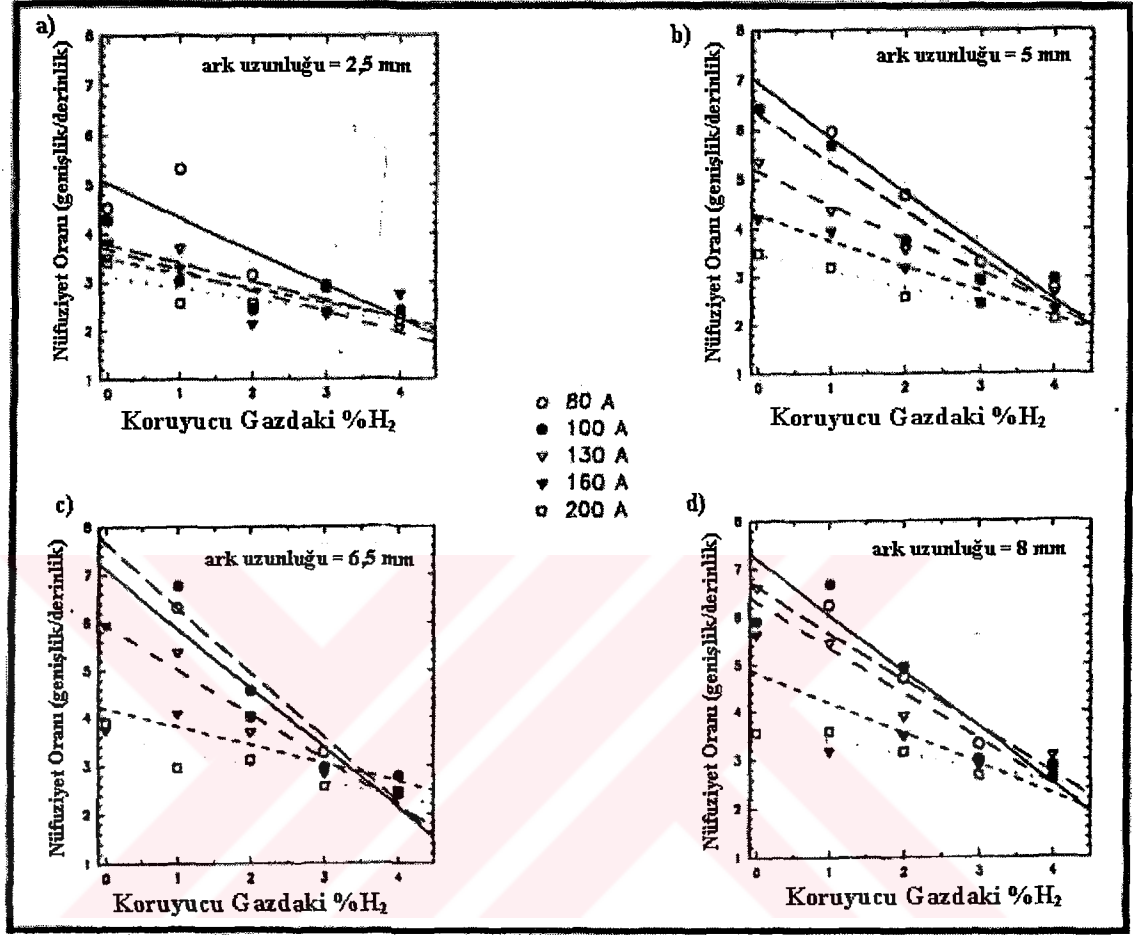
Şekil 2.44 Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H₂'nin kaynak dikişinin derinliği üzerindeki etkisi (Onsøien vd., 1995)



Şekil 2.45 TIG kaynak yöntemi ve kullanılarak elde edilen paslanmaz çelik malzemelerin kaynak metallerinin makrokeseitleri, a)(Suban vd., 2001); b)(Durgutlu, 2003)

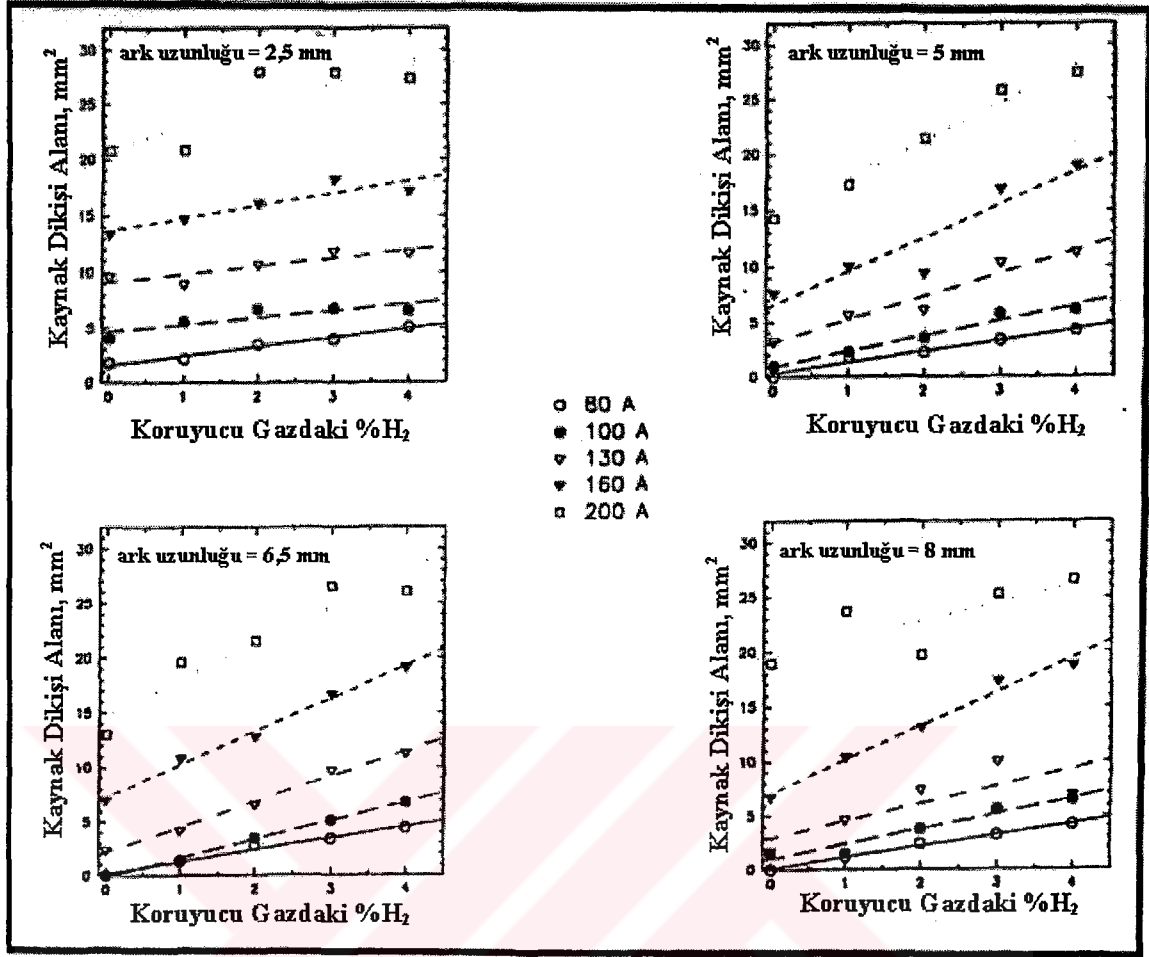
Kaynak dikişinin morfolojisi üzerinde hidrojenin etkisi Şekil 2.46' da hidrojen içeriğinin bir fonksiyonu olarak nüfuziyet oranları gösterilmiştir. Hidrojen oranının artması ile nüfuziyet

oranı önemli derecede (özellikle düşük kaynak akımlarında) azalır. Şekil 2.43, 2.44 ve 2.46 karşılaştırıldığında, koruyucu gazdaki hidrojen oranının artması ile kaynak dikişinin derinliğindeki artış, genişliğindeki artıştan daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.46 Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H_2 'nin kaynak dikişinin nüfuziyet oranı (genişlik/derinlik) üzerindeki etkisi (Onsøien vd., 1995)

Şekil 2.47' de, hidrojen içeriğinin artmasıyla kaynak dikişinin alanının arttığı gösterilmiştir. Isı girdisini arttırmada hidrojenin etkisi, büyük ark uzunluğunun ve yüksek kaynak akımının etkisinden daha baskındır (Onsøien vd., 1995).



Şekil 2.47 Ar esaslı karışım gazı içerisindeki H₂'nin kaynak dikişinin alanı üzerindeki etkisi (Onsöien vd., 1995)

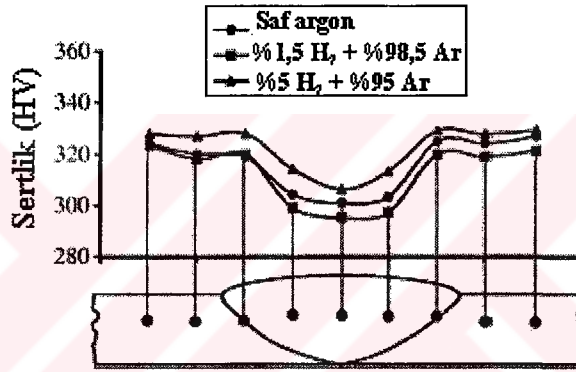
2.5.2.3 Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri

Durgutlu (2003), saf argon, %98.5 Ar + %1.5 H₂, %95 Ar + %5H₂ karışım gazlarını kullanarak 316L ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı ile elde edilen kaynak dikişinin mikroyapısını ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çizelge 2.21' de üç farklı karışım gazları ile elde edilen kaynak metallerinin dayanım değerleri gösterilmiştir. En yüksek çekme dayanımı 695 N/mm² değeri ile %98.5 Ar + %1.5 H₂ karışım gazıyla sağlanmıştır. Saf argon koruması en düşük dayanım değerini vermiştir. Bununla birlikte koruyucu gazdaki hidrojen oranı azaldıkça kaynak metalinin mekanik özellikleri gelişmektedir. Buda hidrojenin kaynak metalindeki gerilimleri arttırmasından kaynaklanır.

Çizelge 2.21 Farklı Ar-H₂ gazları ile elde edilen kaynak dikişlerinin mekanik özellikleri (Durgutlu, 2003)

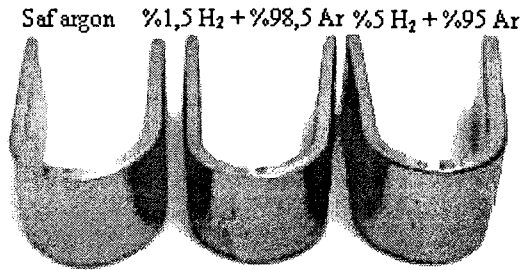
Gaz Tipi	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama
Saf Argon	612	384	32
%1,5 H ₂ + %98,5 Ar	695	415	42
%5 H ₂ + %95 Ar	647	402	36

Şekil 2.48’ de kaynak metalinin sertliğinin, ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) ve ana metalin sertliğinden daha düşük olduğu gösterilmiştir. En yüksek sertlik değeri %95 Ar + %5H₂ karışım gazı ile, en düşük sertlik değeri ise %98.5 Ar + %1.5 H₂ karışım gazı ile elde edilmiştir. Koruyucu gazdaki artan hidrojen oranı dayanım değerlerini düşürürken sertliği arttırmaktadır.



Şekil 2.48 Kaynak bölgesinin sertlik değerleri (Durgutlu, 2003)

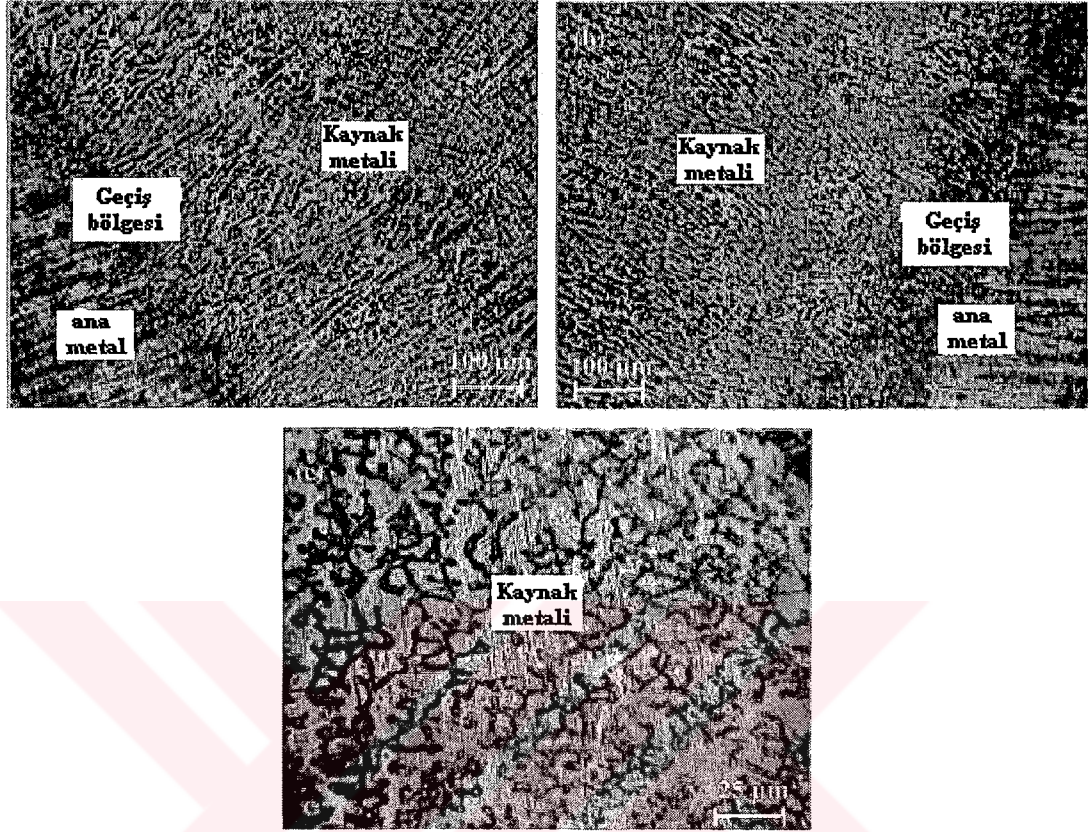
180° ye kadar yapılan üç nokta eğme deneyi sonucu bütün kaynak metallerinin 85 N/mm² dayanıma sahip olduğu bulunmuş ve eğilme bölgelerinde çatlak bulunmamıştır (Şekil 2.49).



Şekil 2.49 Eğme deneyi sonuçları (Durgutlu, 2003)

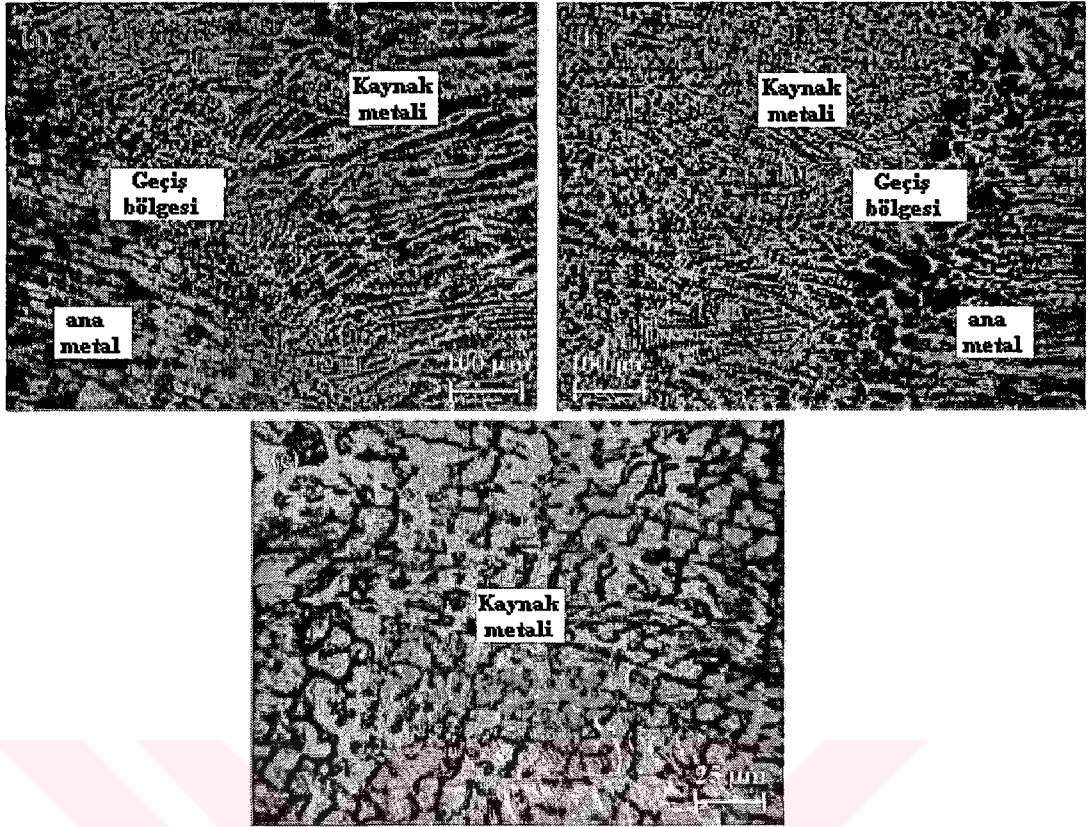
Şekil 2.50 a ve b’ de saf argon koruması altında yapılan kaynakta geçiş bölgesinin mikroyapısı gösterilmiştir. Kaynak metalindeki taneler ısı akışına paralel yönlenmiştir. Şekil

2.50 c' de kaynak metalinin mikroyapısı gösterilmiştir. Kaynak metali taneleri dentritik forma sahiptir.



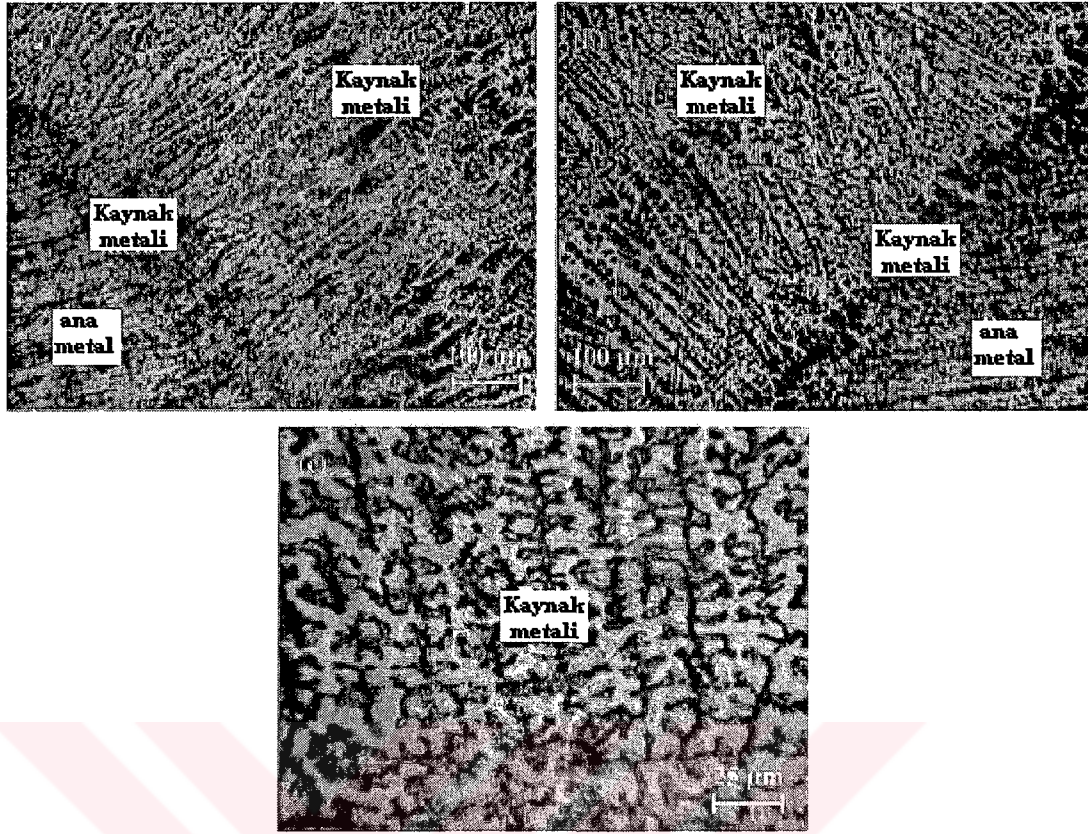
Şekil 2.50 Saf Ar koruması ile elde edilen kaynak bölgesinin mikroyapısı (Durgutlu, 2003)

Şekil 2.51 a ve b' de %98.5 Ar + %1.5 H₂ koruması altında yapılan kaynakta geçiş bölgesinin mikroyapısı gösterilmiştir. Koruyucu gaza hidrojen ilavesi ile ısı girdisi artmaktadır. Artan ısı girdisi ergimiş metalin katılaşma süresini arttırır. Daha uzun katılaşma süresi, kaynak metalindeki ısı akışı nedeniyle tane yönelmesi farklı doğrultularda olur (Şekil 2.51 a ve b). Şekil 2.51 c' de kaynak metalinin mikroyapısı gösterilmiştir. Hidrojen ilavesi ile ısı girdisi arttığı için tane boyutu, saf argon koruması altında yapılan kaynak metalinin tane boyutundan daha büyük olmaktadır.



Şekil 2.51 %1,5 H₂ + %98,5 Ar koruması ile elde edilen kaynak bölgesinin mikroyapısı (Durgutlu, 2003)

Şekil 2.52 a ve b' de %95 Ar + %5 H₂ koruması altında yapılan kaynakta geçiş bölgesinin mikroyapısı gösterilmiştir. %95 Ar + %5 H₂ karışım gazı kaynak metalinin tane yapısının özellikleri üzerinde %98.5 Ar + %1.5 H₂ karışımından daha etkindir. Şekil 2.52 c' de kaynak metalindeki tane büyümesi diğer iki örneğe göre ayırt edilebilir şekilde gösterilmiştir. Sonuç olarak koruyucu gazda artan hidrojen oranı ile ısı girdisi arttığından katılaşma süresi de uzamaktadır. Buda kaynak metalindeki tane boyutunun artmasına neden olur (Durgutlu, 2003).



Şekil 2.52 %5 H₂ + %95 Ar koruması ile elde edilen kaynak bölgesinin mikroyapısı (Durgutlu, 2003)

2.5.2.4 Uygulama Alanları

2.5.2.4.1 Paslanmaz Çelikler

- %98.5 Ar + %1.5 H₂ karışım gazı ile paslanmaz çeliğin TIG kaynağında saf argon gazının yerine kullanıldığında, içindeki hidrojen oksit cürufu ile tepkimeye girer ve onu parçalar dağıtır. Böylece kaynak daha düzgün ve parlak hale gelir. Saf argona göre daha hızlı kaynak yapma imkanı sağlar [15]. Ayrıca bu karışım ergimiş kaynak banyosunun akıcılığını artırır ve füzyon kaybı olmaksızın kaynak akımının düşürülmesine imkan tanır. Hidrojenli karışım gazlarında bu bileşenin oranı, uygulandığı çeliğin hidrojen kırılganlığına karşı ne ölçüde hassas olduğuna bağlı olarak saptanır. Bu karışım gazı, soğuk çatlamaya çok müsait martenzitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında kullanılamaz (Okan, 1989; Urmston vd., 1994).
- %95 Ar + %5 H₂ karışım gazı özellikle otomatik TIG uygulamalarında ve yüksek kaynak hızlarının söz konusu olduğu uygulamalarda en uygun Ar-H₂ karışım gazıdır. %5 oranında hidrojen içeriği ile bu karışım, artan ısı girdisi ve redükleyici etki sayesinde çok güzel

ısıtma, nüfuziyet ve görünüm özellikleri verir. Bu karışım, poroziteyi azaltmaya yardımcı olur, yanma oluğu oluşumunu minimuma indirir ve termal özellikleri geliştirdiği için düşük akımlarda kaynak yapma imkanı sağlar. Ayrıca yüzey oksidasyonunu azalttığı için daha temiz yüzeye sahip kaynak dikişleri elde edilir (Okan, 1989 ; www.sciencedirect.com).

- %35 'e kadar hidrojen ilavesi paslanmaz çeliklerin yaklaşık olarak 0.25 ile 0.5 mm' den başlayan bütün kalınlıklarında kullanılır. Ayrıca 12.7 mm (1/2 in.)' den daha fazla kalınlığa sahip paslanmaz çeliklerin ve alüminyum malzemelerin plazma alevi ile kesilmesinde kullanılan en tipik gaz karışımı '%65 Ar + %35 H₂' dir. En genel kullanılan Ar-H₂ karışımı, %15 hidrojen içeren karışımdır. bu karışım paslanmaz çeliklerin 1.6 mm' ye kadar olan bütün kalınlıklarında kullanılır (Kearns, 1978; www.sciencedirect.com)
- Ar + %1-5 H₂ karışım gazı, plazma ark kaynak yönteminde paslanmaz çeliklerin bütün kalınlıklarında kullanılır (Lyman, 1979).

2.5.2.4.2 Nikel ve Alaşımları

- Ar + %1-5 H₂ karışım gazı (hidrojenin nikel içindeki çözünürlüğü tehlike arz etmesine rağmen) kaynak banyosunun akıcılığını artırırken, ısıtmayı da iyileştirmektedir. Hidrojen, oksitleri parçalamakta ve azot gözenekliliğini önemli ölçüde azaltmaktadır (Okan, 1989).

2.5.3 Argon-Azot Karışım Gazları

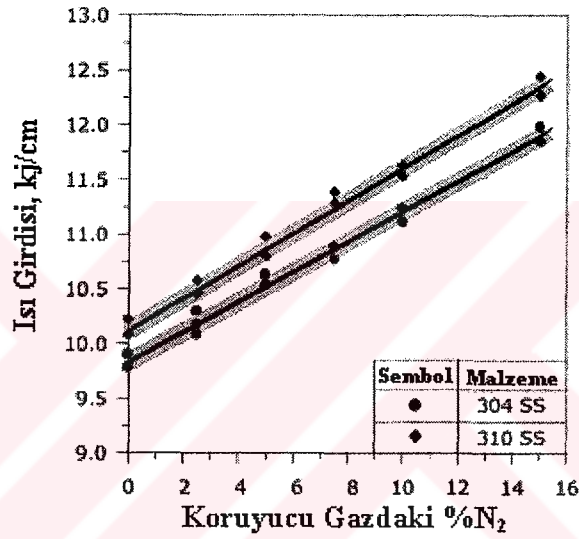
Koruyucu gaz karışımındaki azot her zaman ark stabilitesine zararlıdır. Bununla birlikte azot bakır ve alaşımlarının kaynağında ark gerilimini ve ısıyı artırır. Isı transferinin verimliliği argon ve helyumdan daha yüksektir. Azotun maliyetinin argon ve helyumdan oldukça düşük olması ve ısı transferinin verimliliğinin daha iyi olması azot kullanımı için tercih nedenleridir. Eğer toryumlu tungsten elektrod kullanılırsa, azot ile oluşan elektrod kirliliği ihmal edilebilir derecede az olur (Lyman, 1979).

Azot, güçlü bir ostenit stabilizatörüdür. Azotun stabilize etkisi, nikelin stabilize etkisinin 20-30 katıdır. Bundan dolayı azot elementi ostenit stabilizatörü olarak ostenitik paslanmaz çeliklere ilave edilir. Koruyucu gaza azot ilavesi ark kaynağında belirli alaşımlar için kullanılır. Bununla birlikte kaynak metalindeki azot oranını kontrol altına almak oldukça zordur. TIG kaynak yönteminde aşırı sıçramalı metal transferi ve ark kararsızlığı gibi olumsuzluklara neden olur.

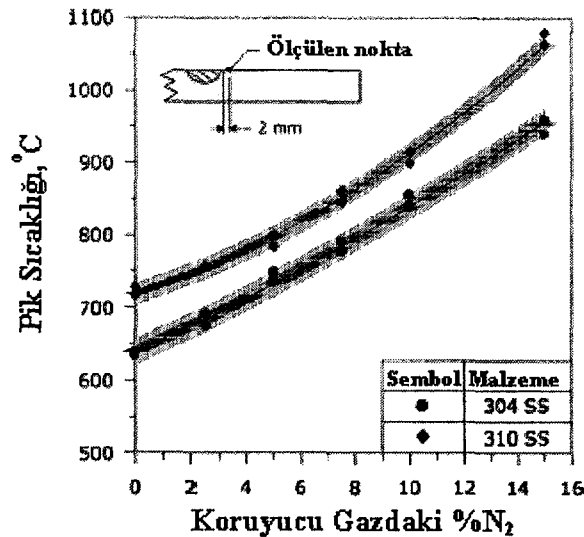
Azot mekanik özellikler üzerinde olumlu etkilere sahiptir ve çukurcuk (pitting) korozyonuna karşı direnci geliştirir (Tseng ve Chou, 2003).

2.5.3.1 Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri

Tseng ve Chou (2003), saf argon, %97.5 Ar + %2.5 N₂, %95 Ar + %5 N₂, %92.5 Ar + %7.5 N₂, %90 Ar + %10 N₂, %85 Ar + %15 N₂ karışım gazlarını kullanarak 304 ve 310 tip paslanmaz çeliklerin kaynağı ile elde edilen kaynak metalinin mekanik ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Şekil 2.53' de TIG kaynağında argona azot ilavesi ile birim uzunlukta meydana gelen ısı girdilerini gösterilmiştir. Argon koruyucu gazına azot ilavesi arttıkça ısı girdisinin büyüklüğü de artmaktadır. Şekil 2.54' de pik sıcaklığı üzerinde azot ilavesinin etkileri gösterilmiştir. Koruyucu gaza azot ilavesi arttıkça termal çevrimin pik sıcaklığı da artmaktadır.



Şekil 2.53 Koruyucu gazdaki N₂ gazının ısı girdisi üzerindeki etkisi (Tseng ve Chou, 2003)



Şekil 2.54 Koruyucu gazdaki N₂ gazının pik sıcaklığı üzerindeki etkisi (Tseng ve Chou, 2003)

Argon koruyucu gazına azot ilavesinin ark gerilimi üzerindeki etkileri Çizelge 2.22' de gösterilmiştir. Sabit kaynak akımı ve kaynak hızı değerinde, karışım gazındaki azot ilavesi arttıkça ark geriliminin arttığı Çizelge 2.22' de gösterilmiştir. Hesaplanan ısı girdisi ölçülen ark gerilimi ile orantılı olduğundan, ilave azot ısı girdisinin artışı üzerinde olumlu etkiye sahiptir (Tseng ve Chou, 2003).

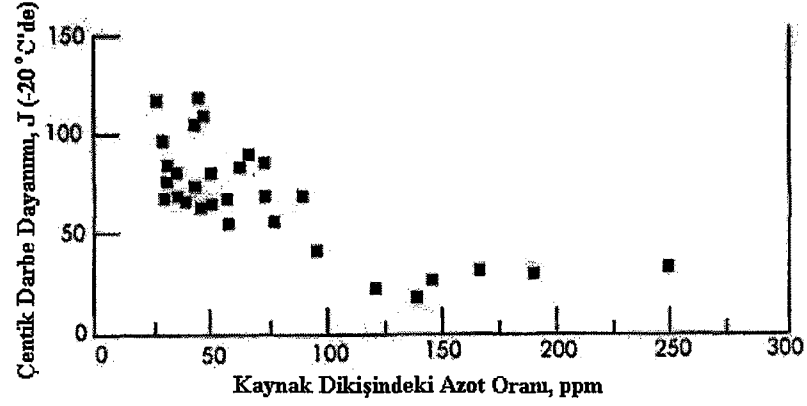
Çizelge 2.22 Koruyucu gazdaki N₂ gazının kaynak gerilimi üzerindeki etkisi (Tseng ve Chou, 2003)

Malzeme	Akım, A	Gerilim, V	Kaynak Hızı, cm/dak	Gaz Debisi, lt/dak	Gaz Tipi
304	150	16,3	15	20	Sar argon
304	150	17,0	15	20	%2,5 N ₂ + %97,5 Ar
304	150	17,6	15	20	%5 N ₂ + %95 Ar
304	150	18,1	15	20	%7,5 N ₂ + %92,5 Ar
304	150	18,8	15	20	%10 N ₂ + %90 Ar
304	150	19,7	15	20	%15 N ₂ + %85 Ar
310	150	16,8	15	20	Sar argon
310	150	17,4	15	20	%2,5 N ₂ + %97,5 Ar
310	150	18,0	15	20	%5 N ₂ + %95 Ar
310	150	18,9	15	20	%7,5 N ₂ + %92,5 Ar
310	150	19,4	15	20	%10 N ₂ + %90 Ar
310	150	20,5	15	20	%15 N ₂ + %85 Ar

Sonuç olarak argon koruyucu gazına ilave edilen azot miktarı arttıkça ısı girdisi artmakta bunun sonucunda da kaynak dikişinin nüfuziyeti artmaktadır.

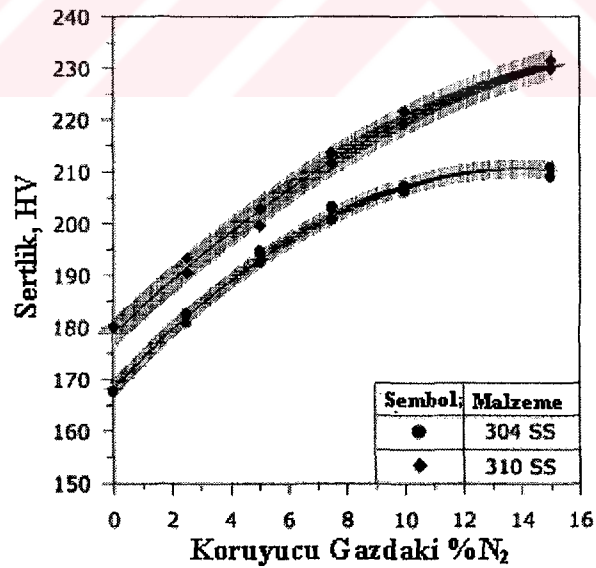
2.5.3.2 Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkileri

Alaşımız ve düşük alaşımlı çeliklerin TIG kaynağında azotun varlığı kaynak metalinin tokluğunu düşürür (Şekil 2.55). Gaz metal ark kaynağında en önemli azot kaynağı, kaynak banyosunu kaynak çevresindeki atmosferden yetersiz korumadır. Riski minimuma indirmek için torç nozulu ile iş parçası arasında optimum uzaklık sağlanmalı ve kaynak telinin nozuldan çıkan uzunluğu uygun olmalıdır. Torç doğru açıda tutulduğunda ve uygun gaz akış hızı seçildiğinde uygun koruma sağlanabilir. Çok yüksek gaz akış hızı arkta, kaynak banyosunun içersine azot ve diğer atmosferik kirlerin girmesine neden olan türbülans akıma neden olur (Urmston, 1996).



Şekil 2.55 Kaynak dikişindeki azot oranının çentik darbe dayanımına etkisi (Urmston, 1996)

Şekil 2.56' da koruyucu gazdaki azot oranına bağlı olarak ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metallerinin Vickers sertlik değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu ve Şekil 2.56' da gösterildiği gibi ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalinin sertliği koruyucu gazdaki azot oranı arttıkça artmaktadır. Ayrıca 310 paslanmaz çeliklerinin kaynak metallerinin sertliği, 304 paslanmaz çeliklerin kaynak metallerinin sertliğine nazaran aynı azot oranlarında daha yüksektir. Buda 310 paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında 304 paslanmaz çeliklerden daha fazla azot absorbe etmesinden kaynaklanır (Tseng ve Chou, 2003).



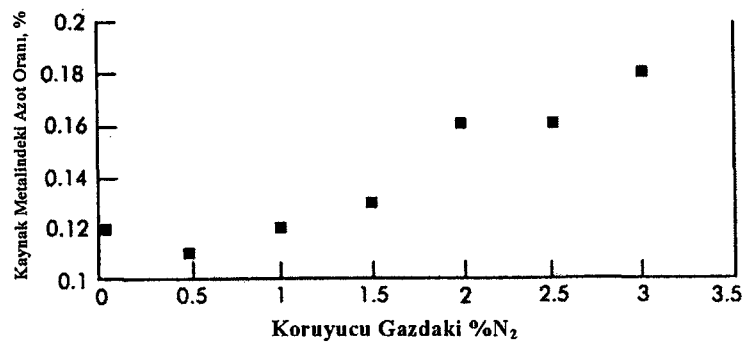
Şekil 2.56 Koruyucu gazdaki N₂ gazının sertlik üzerindeki etkisi (Tseng ve Chou, 2003)

Azot oranı arttıkça çekme mukavemeti ile elastikiyet modülü artar, kopma uzaması, kopma büzülmesi ve kırılmaya karşı mukavemet azalır (Oğuz, 1985).

2.5.3.2.1 Kaynak Dikişindeki Azot Oranına Etkisi

Çelik üreticileri, karbon çeliklerinde azot oranını minimum değerde korumaya çalışmaktadırlar. Dupleks ve süper dupleks paslanmaz çeliklerde azotun varlığı mikroyapıdaki ostenit ve ferrit dengesini korumak için gereklidir ve bu ostenit ve ferrit dengesinin korunması korozyon direnci için önemlidir. Çünkü dupleks ve süper dupleks paslanmaz çelikler, gerilmeli korozyon çatlaklarına ve çukurcuk (pitting) korozyonuna karşı mükemmel dirence sahiptirler. Dupleks malzemelerin kaynağında özellikle kaynak metalinde ve ısı tesiri altındaki bölgede faz dengesinin sağlanması gereklidir. Aksi takdirde optimum mekanik özellikler ve korozyon direnci sağlanamaz. Ayrıca yüksek soğuma hızları mikroyapıda ferrit oranının artmasına ve korozyon direncinin azalmasına neden olur.

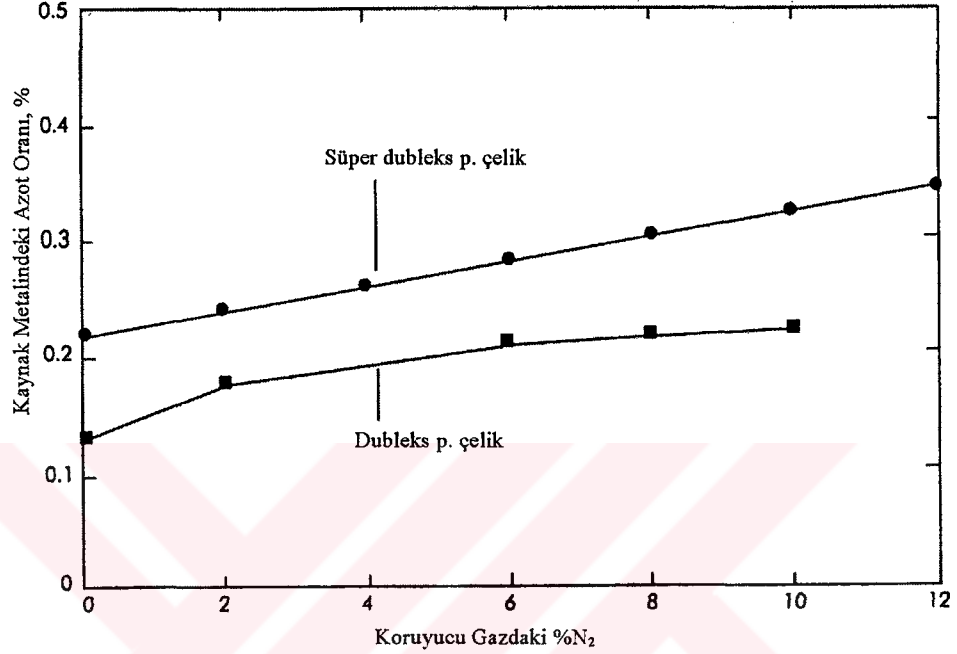
Dupleks paslanmaz çeliklerde azot oranı %0.15 ile %0.18 arasında, süper dupleks paslanmaz çeliklerde ise %0.22 ile %0.28 arasındadır. Bu çeliklerin TIG kaynağında saf argon gazı kullanıldığında kaynak banyosunda azot kaybı meydana gelir (Çizelge 2.23) ve ferrit oranı bakımından zengin kaynak dikişi elde edilir. Buda korozyon direnci için bir tehdit oluşturmaktadır. Kaynak banyosundaki azot kaybı, banyoda çözünmüş azot ile banyo üzerindeki gaz arasındaki kısmi basınç farkından meydana gelir. Argon gazına kontrollü bir şekilde azot ilavesi ile kaynak dikişindeki azot kaybı telafi edilir. Şekil 2.57' de koruyucu gaza azot ilavesi ile kaynak metalindeki azot oranının arttığı gösterilmiştir. Şekil 2.58' de koruyucu gazdaki azot miktarı ile dupleks ve süper dupleks paslanmaz çeliklerin kaynak dikişlerindeki azot oranı arasındaki ilişki gösterilmiştir. %0.16 azot içeren dupleks paslanmaz çeliklerde kaynak metalinde aynı oranda azot elde etmek için koruyucu gaz %1.0-1.2 arasında azot içermelidir. %0.25 azot içeren süper dupleks paslanmaz çeliklerde kaynak metalinde aynı oranda azot elde etmek için koruyucu gaz %2.0-2.5 arasında azot içermelidir (Wiktorowicz ve Crouch, 1994; Urmston, 1996).



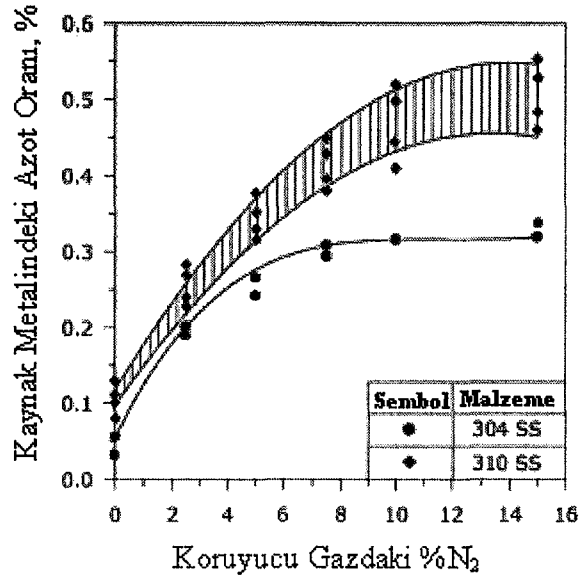
Şekil 2.57 Koruyucu gazdaki N₂ gazının dupleks paslanmaz çeliğin kaynak dikişindeki azot oranına etkisi (Urmston, 1996)

Çizelge 2.23 Kaynak dikişindeki azot oranları (Urmston, 1996)

Gaz Tipi	Dubleks P. Çelik	Süper Dubleks P. Çelik
Ana Metal	0,16	0,25
Argon	0,0966	0,169
Ar + %20 He + %1,1 N ₂	0,1538	-
Ar + %2 N ₂	0,1927	0,2559
Ar + %20 He+ %2,25 N ₂	-	0,2465

Şekil 2.58 Koruyucu gazdaki N₂ ile dubleks ve süper dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak dikişindeki azot oranı arasındaki ilişki (Wiktorowicz ve Crouch, 1994)

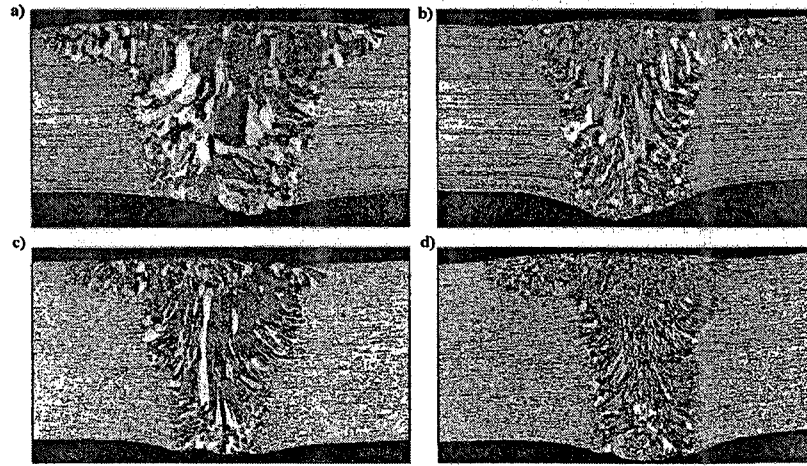
Şekil 2.59' da 304 ve 310 paslanmaz çeliklerin kaynağı ile elde edilen kaynak metallerindeki azot oranlarının, koruyucu gazdaki azot oranına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Koruyucu gaza ilave edilen azot oranının %15 değerine varana kadar kaynak metalindeki azot oranı artmaktadır. Azot oranı, 310 paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde %0.51 civarında doyum noktasına ulaşır. 304 paslanmaz çeliklerde ise kaynak metalindeki azot oranı, argon gazına ilave edilen azot oranı %7.5 değerine varana kadar kaynak metalindeki azot oranı artmaktadır. %7.5' dan daha fazla azot ilavesi ile kaynak metalindeki azot oranı %0.31 civarında sabit kalır. Diğer bir deyişle 304 paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde maksimum azot çözünmesi yaklaşık olarak %0.31 dir. Argona azot ilavesi ile ark gerilimi artar ve bundan dolayı ısı girdisinin miktarı da artar. Yüksek ısı girdisi kaynak metalinin pik sıcaklığını arttırdığı ve kaynak metalinin soğuma hızını azalttığı için kaynaktaki azot oranı artar.



Şekil 2.59 Koruyucu gazdaki N_2 ile 304 ve 310 paslanmaz çeliklerin kaynak dikişindeki azot oranı arasındaki ilişki (Tseng ve Chou, 2003)

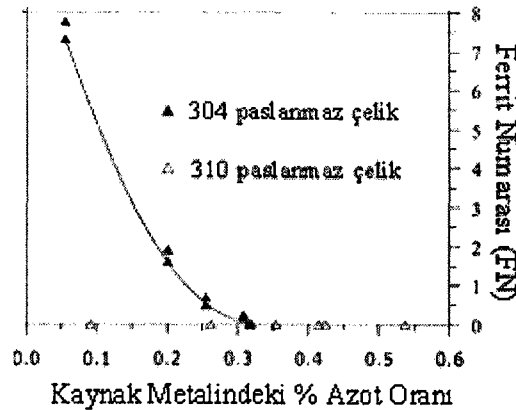
310 paslanmaz çeliğin kaynağındaki azot absorpsiyonu 304 paslanmaz çeliğin kaynağına nazaran daha fazladır. 310 paslanmaz çeliğin Cr oranı 304 paslanmaz çeliğin Cr oranından daha fazladır. Lancaster tarafından yapılan bir çalışmaya göre azot çözünmesi Cr oranı ile orantılıdır. Bu nedenle aynı oranda Ar- N_2 karışımı ile yapılan kaynak sonucu 310 paslanmaz çelikteki azot çözünmesi 304 paslanmaz çeliktekine göre daha fazladır (Tseng ve Chou, 2003).

Şekil 2.60' da saf argon, Ar + %20 He + %1.1 N_2 ve Ar + %20 He + %2.25 N_2 karışım gazları kullanılarak üretilen dubleks ve süper dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak metallerinin makroyapıları gösterilmiştir. Şekil 2.60' da argon gazı ile elde edilen kaynak metalinin azot ilaveli karışım gazı ile elde edilen kaynak metaline göre daha kaba ve ferritik yapıya sahip olduğu gösterilmiştir (Wiktorowicz ve Crouch, 1994).



Şekil 2.60 Kaynak metallerinin makroyapıları a) Ar gazı ile; b) Ar + %20 He + %1,1 N₂ karışım gazı ile elde edilen dubleks p. çeliğin kaynak metalinin makroyapısı; c) Ar gazı ile; d) Ar + %20He + %2,25 N₂ karışım gazı ile elde edilen süper dubleks p. çeliğin kaynak metalinin makroyapısı (Wiktorowicz ve Crouch, 1994)

Şekil 2.61' de kaynak metalindeki azot oranının fonksiyonu olarak ölçülen ferrit oranı gösterilmiştir. Şekil 2.61' de, kaynak metalindeki azot oranı arttıkça ferrit oranının düştüğü gösterilmiştir. 304 paslanmaz çelikte kaynak metalindeki %0.201 azot içeriği, ferrit oranını 7.5 başlangıç değerinden 1.7 ye düşürmektedir. Kaynak metalindeki %0.308 azot oranı, ferrit oranını hemen hemen sıfıra kadar düşürmektedir. Azot, ostenit dokuları arasında çözündüğü için ve güçlü ostenit stabilizatörü olduğu için kaynak metalinde çok küçük oranlarda azot mevcudiyeti 304 paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde kalan delta-ferrit içeriğini hızla düşürür. 310 paslanmaz çeliğin kaynak metali oda sıcaklığında tamamen ostenit yapıda olduğu için ferrit oranı, koruyucu gaza azot ilavesi ile değişmez (FN = 0) (Tseng ve Chou, 2003).

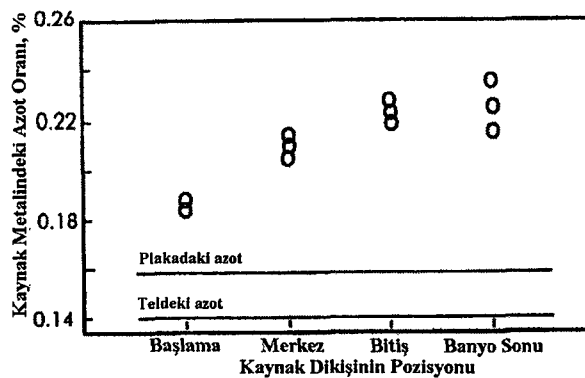


Şekil 2.61 Kaynak metalindeki azot ile ferrit numarası arasındaki ilişki (Tseng ve Chou, 2003)

Kaynak metalindeki azot oranının ana malzemenin azot oranından fazla olması korozyon

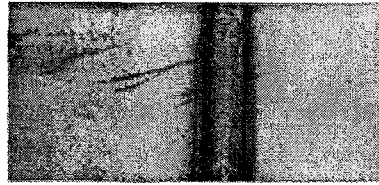
direncini arttırmaktadır. Ana metalden daha fazla oranda azot içeren kaynak metalinin ferrit yapı arasındaki korozyon direnci, faz dengesinin sağlanması ve ostenit ile ferrit arasındaki alaşım elementlerinin dağılımından kaynaklanmaktadır. İlave telde nikel oranında %2-3 lük artış kaynak metalinin ostenit forma yönelmesini artırır ve kaynak sonrası tavlamaya ihtiyaç olmaksızın istenilen ostenit-ferrit faz dengesi sağlanır. Bununla birlikte nikel ilavesi ile faz dengesinin ve ostenit ve ferrit arasında, molibden, azot ve krom dağılımının etkilenmesi korozyon direnci için zararlı olabileceği endişeleri vardır (Wiktorowicz ve Crouch, 1994).

Koruyucu gazdaki azot oranı önerilen değerlerin üstüne çıktığında koruyucu gazdaki azotun kısmi basıncı artar ve kaynak banyosundaki azot oranı artar. Buda ostenit yönünden zengin bir kaynak metali elde edilmesini sağlar. Eğer koruyucu gazdaki azot oranı önerilen değeri aşarsa kaynak azot içeriği kaynak dikişinin uzunluğu boyunca artar (Şekil 2.62). Sıvı metaldeki azot çözünmesi katılaşmış metaldeki azot çözünmesinden daha fazladır. Eğer sıvı kaynak banyosunun azot içeriği, katılaşmış malzeme içinde azot için çözünürlük sınırını aşarsa fazla azot katılaşma esnasında banyodan kaçmaya meyil eder. Bu, dubleks paslanmaz çeliklerin %2' den daha fazla azot içeren koruyucu gazı kullanılarak TIG kaynağında porozite oluşumuna neden olabilir. Ayrıca bu durum dubleks paslanmaz çeliklerin %2-5 arasında azot içeren koruyucu gazla kaynağı esnasında kaynak banyosundan dışarı kıvılcım sıçramaları meydana gelir. Buda korozyon direncini zararlı yönde etkileyecek sıçramalar meydana getirir. Korozyon direnci için kaynak metalinde yeterli azot oranının sağlanması için koruyucu gazdaki azot oranı %2-3 arasında olmalıdır. Çok pasolu kaynakta, kaynak metalinde azot oluşumunu önlemek için ilk iki pasoda Ar-N₂ karışımının kullanımı sınırlandırılmalıdır. Karışımdaki azot oranı %4' ü aştığı zaman arkın stabilitesi bozulur, kaynak banyosundan ufak damlacıklar sıçrar ve buda TIG kaynağında tungsten elektrodun kirlenmesine neden olur (Wiktorowicz ve Crouch, 1994; Urmston, 1996).



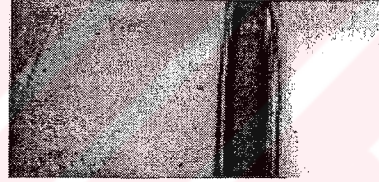
Şekil 2.62 Kaynak dikişi boyunca azot oranındaki değişim (Wiktorowicz ve Crouch, 1994)

Şekil 2.63' de 304 ve 310 paslanmaz çeliklerin %90 Ar + %10 N₂ karışım gazı kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş halleri gösterilmiştir. Porozite uzantısı 304 paslanmaz çeliğin yüzeyinde görülebilmektedir, fakat 310 paslanmaz çelikte böyle bir oluşum yoktur. Buda kaynak metalinde daha fazla azot çözünmesine bağlıdır. Yani 310 paslanmaz çeliğin 304 paslanmaz çeliğe göre krom oranı daha fazla olduğu için 310 paslanmaz çeliğin kaynak metali daha fazla azot absorbe edebilir. 304 paslanmaz çeliğin kaynak metalinde azot çözünme sınırı daha düşük olduğu için kaynak metalinde porozite oluşurken, daha yüksek azot çözünme sınırına sahip olan 310 paslanmaz çelikte porozite oluşumu görülmemektedir (%90 Ar + %10 N₂ için) (Tseng ve Chou, 2003).



a) 304 paslanmaz çeliğin kaynak yüzeyi

(150 A kaynak akımı, 15 cm/dak. kaynak hızı ve %90 Ar + %10 N₂ karışım gazı ile)



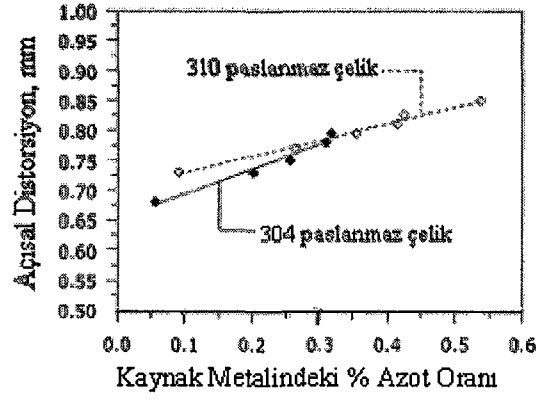
a) 310 paslanmaz çeliğin kaynak yüzeyi

(150 A kaynak akımı, 15 cm/dak. kaynak hızı ve %90 Ar + %10 N₂ karışım gazı ile)

Şekil 2.63 Porozite oluşumu üzerinde azotun etkisi (Tseng ve Chou, 2003)

2.5.3.2.2 Kaynak Metalindeki Azot İçeriğinin Açısal Distorsiyon Üzerindeki Etkisi

Şekil 2.64' de TIG kaynak yöntemiyle üretilmiş ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalleriindeki azot oranının açısal distorsiyon üzerindeki etkileri görülmektedir. Kaynak metalindeki azot oranı arttıkça, ostenitik paslanmaz çeliklerde açısal distorsiyon artmaktadır. Isı girdisinin miktarı arttıkça kaynaktaki termal gerilmeler artmaktadır. Koruyucu gazdaki azot ilavesi arttıkça kaynakta birim uzunluğa etki eden ısı girdisi de artar. Bu nedenle azot oranı arttıkça ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında açısal distorsiyon da artar.



Şekil 2.64 Kaynak metalindeki azot ile açısız distorsiyon arasındaki ilişki (Tseng ve Chou, 2003)

Aynı Ar-N₂ koruyucu gazı ile 304 ve 310 paslanmaz çeliklerin kaynağında meydana gelen açısız distorsiyon birbirine çok yakındır (Şekil 2.64). Bununla birlikte düşük azot oranlarında, delta-ferrit içeren 304 paslanmaz çeliklerin kaynağında meydana gelen açısız distorsiyon, 310 paslanmaz çeliklerinkinden daha küçüktür. Ostenit matris içinde delta-ferrit yapının varlığı açısız distorsiyonu etkiler.

Yüksek sıcaklıklarda delta-ferrit yapı, ostenit yapıdan daha sünektir. Bunun için ostenit matris içindeki delta-ferrit kaynak işlemi esnasında termal gerilmelerin etkisini azaltır.

Hacim merkezli kübik ferrit yapı, yüzey merkezli kübik ostenit yapıdan daha küçük termal genişleme katsayısına sahip olduğu için soğuma prosesi esnasında kendini çekme gerilmeleri azalır.

Sonuç olarak, ostenit matris içinde delta-ferrit yapının varlığı ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında distorsiyon eğilimini azaltmada olumlu etkilere sahiptir (Tseng ve Chou, 2003).

2.5.3.3 Uygulama Alanları

- **Saf Azot** bakır malzemelerin kaynağında güçlü bir ark sağlar. Ayrıca alüminyumun ve paslanmaz çeliklerin plazma ile kesilmesinde kullanılır (Lyman vd., 1979; www.sciencedirect.com).
- **Ar + %25-30 N₂** karışım gazı, bakır malzemelerin kaynağında güçlü bir ark oluşturur ve saf azota göre daha kontrol edilebilir ark oluşturur (Lyman vd., 1979).
- **Ar ve/veya He + %1.0 – 1.2 N₂** karışım gazı, dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak metalindeki azot oranının ana metaldeki azot oranı ile aynı olması için ve korozyon direncinin korunması için kullanılır.

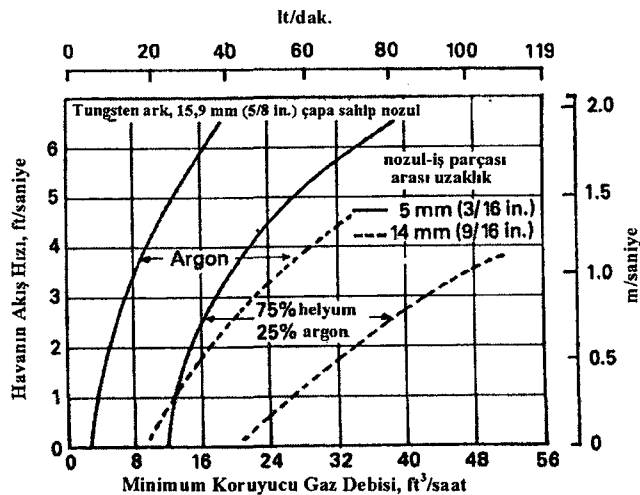
- **Ar ve/veya He + %2.0 – 2.5 N₂** karışım gazı, süper dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak metalindeki azot oranının ana metaldeki azot oranı ile aynı olması için ve korozyon direncinin korunması için kullanılır (Wiktorowicz ve Crouch, 1994).

2.5.4 Argon-Helyum Karışım Gazları

Ar-He karışım gazları hem argonun hem de helyumun en üstün özelliklerini bir arada elde etmek amacı ile geliştirilmiş ve bu sayede nüfuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmiş olur. Argon ve helyum asal gaz olmalarına rağmen farklı özelliklere sahiptirler. Bu farklılıklar, metal transferi tipi, nüfuziyet, kaynak metalinin şekli, yanma oluğu ve diğer kaynak değişkenleri üzerine yansır (Kearns, 1978).

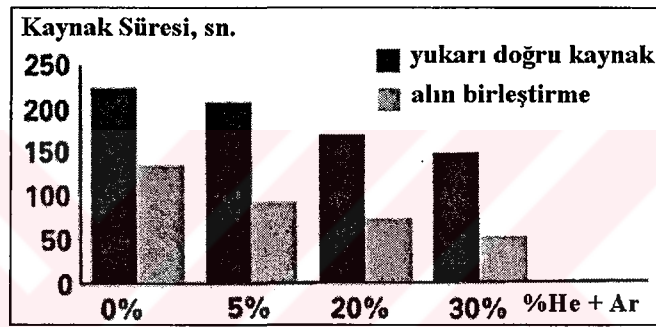
Helyum çok hafif bir gazdır. Argon yaklaşık olarak helyumdan 10 kat, havadan 1-1/3 kat daha ağırdır. Argon gibi havadan ağır gazlarla ark koruması verilen her gaz akış hızlarında daha verimlidir. Argonun ağır bir gaz olması nedeniyle nozuldan çıktıktan sonra kaynak alanını tamamen örter. Helyumun havadan hafif bir gaz olması nedeniyle nozul etrafında türbülanslı olarak yükselir ve yatay pozisyonda aynı şartlar altında argonun yaptığı korumayı sağlamak için üç misli helyuma gerek vardır. Helyumun havadan hafif olması tavan kaynağında avantaj sağlar. Saf helyum sınırlı ark stabilitesi oluşturması, arkı tutuşturmasındaki zorluklardan, maliyetinin yüksek olması ve yeterli koruma sağlaması için fazla gaz tüketiminden dolayı kullanımı sınırlıdır (Kearns, 1978; Dixon, 1999).

Eğer hava akımı 1.5 km/saat' ten fazla ise koruyucu gazın kaynak alanından uzaklaşmasına ve yetersiz korumaya neden olur. Bunu önlemek için koruyu gazın akış hızının artırılması tercih edilir. Şekil 2.65' de argon ve %25 Ar + %75 He karışımı için hava akımı ile koruyucu gazı debisi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yüksek gaz akış hızları için torçun nozulu ile iş parçası arasında daha büyük mesafelere ihtiyaç duyulur (Kearns, 1978).

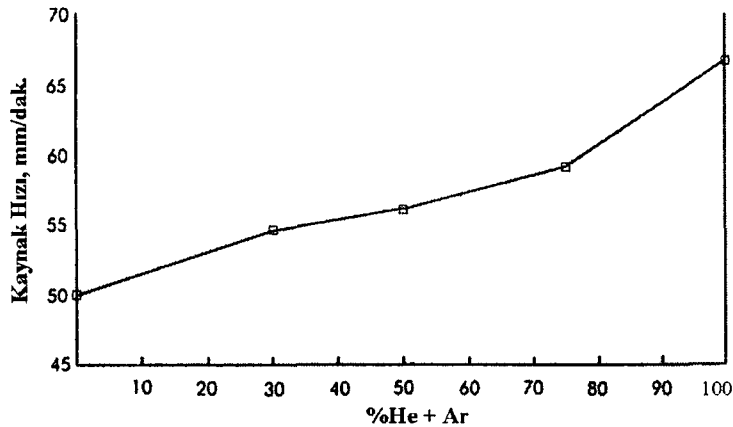


Şekil 2.65 TIG kaynağında nozul çapına bağlı olarak, hava akış hızı ile koruyucu gaz debisi arasındaki ilişki (Kearns, 1978)

Ayrıca argon-helyum karışımları ile saf argona göre kaynak süresi azalabilmekte ve kaynak hızı %33' e kadar artabilmektedir. Şekil 2.66' da 3 mm kalınlığında alüminyum malzemelerin -değişen argon-helyum karışımlarına göre- toplam kaynak süreleri grafik halinde gösterilmiştir. %70 Ar + %30 He koruması ile saf argona nazaran yukarı doğru yapılan kaynakla yaklaşık %60, alın birleştirme kaynağında ise yaklaşık % 33 zamandan tasarruf sağlanır. Şekil 2.67' de değişik argon-helyum karışımlarının kaynak hızı üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Saf helyum saf argonla karşılaştırıldığında bütün ark gerilimlerinde kaynak hızında %33' lük bir artış sağlar (Anderson ve Wiktorowicz, 1996; Hunt vd., 1997).



Şekil 2.66 3 mm kalınlığında alüminyumun tek pasolu TIG kaynağında argona ilave edilen helyumun kaynak süresi üzerindeki etkisi (Hunt vd., 1997)

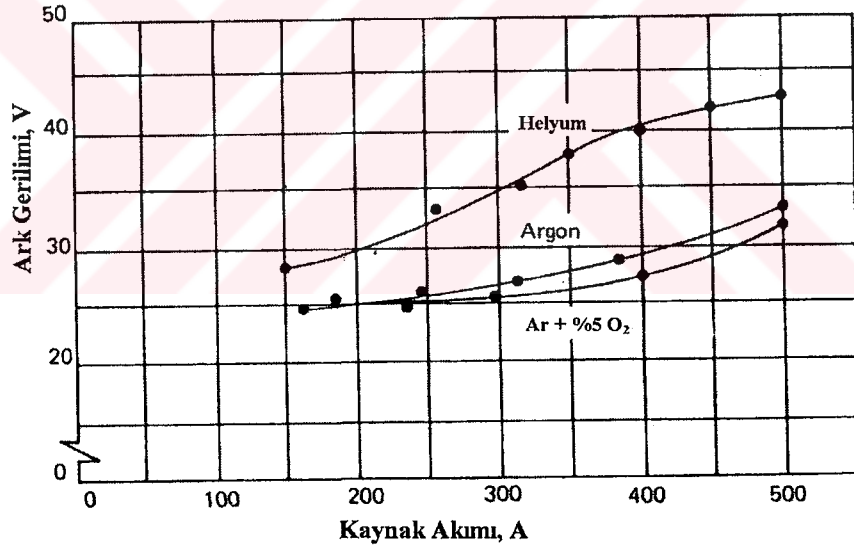


Şekil 2.67 Argona ilave edilen helyumun kaynak hızı üzerindeki etkisi (Anderson ve Wiktorowicz, 1996)

Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek için amacıyla argona CO_2 ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini ters yönde etkileyen kaynak metali reaksiyonları oluşturmamasıdır (Eryürek, 2003).

2.5.4.1 Ark Gerilimi Üzerindeki Etkisi

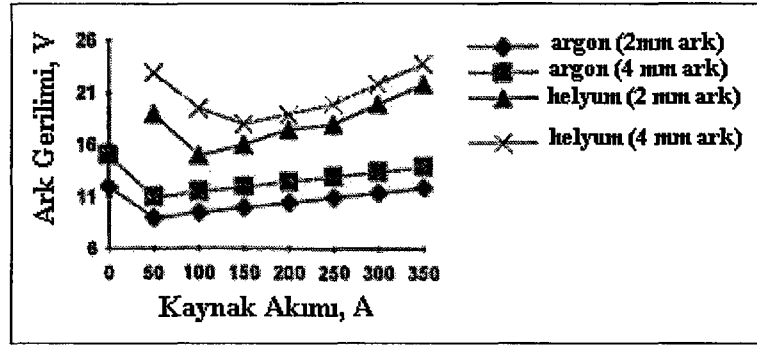
Helyum argondan daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Bütün ark uzunluklarında ve kaynak akımlarında, helyum ile sağlanan ark gerilimi argon koruması ile elde edilen ark geriliminden daha yüksektir. Helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha yüksek enerjiye sahiptir. Çünkü Şekil 2.68’ de gösterildiği gibi eşdeğer ark uzunluklarında ve kaynak akımlarında, helyumla yapılan korumada argona göre daha yüksek ark gerilimi oluşur. Alüminyum ve bakır alaşımları gibi yüksek termal iletkenliğe sahip malzemelerin kalın kesitlerinin kaynağında helyum tercih edilir. Çünkü yüksek ısı girdisi, ana metallerin yüksek termal iletkenliğinin etkisini azaltır. Argon ise düşük ark gerilimi ürettiği için düşük ısı iletkenliğine sahip malzemelerin kaynağında tercih edilir (Kearns, 1978; Dixon, 1999).



Şekil 2.68 Koruyucu gazların (Ar, He, Ar + %5 O₂) ark gerilimi üzerindeki etkisi (Kearns, 1978)

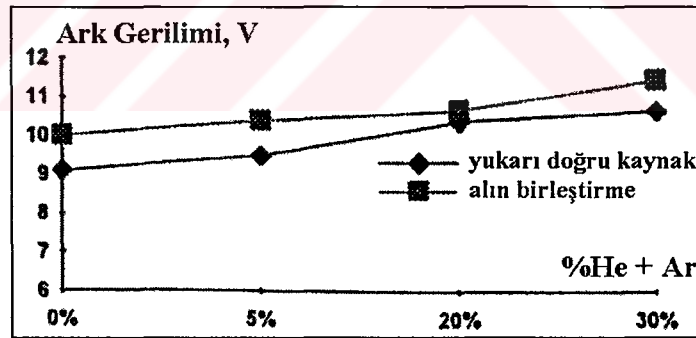
Şekil 2.69’ da saf argon ve saf helyum koruması ile darbeli TIG kaynağı için akım ile gerilim arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikten, çok düşük ark enerjili TIG kaynağı için saf argonun saf helyumdan daha uygun olduğu görülmektedir. Stabil bir ark düşük ark gerilimi ile sağlanır. Buda saf argon ile 50 amper değerinde, saf helyum ile 100-150 amper arasında sağlanır. Bundan dolayı saf argon ince plakaların TIG kaynağı için daha uygundur. Böylece

ark enerjisinin daha hassas kontrolü sağlanır (Hunt vd., 1997).



Şekil 2.69 Darbeli TIG kaynağında, saf argonun ve saf helyumun ark gerilimi üzerindeki etkisi (Hunt vd., 1997)

Şekil 2.70' de 3 mm kalınlığında alüminyum malzemenin elle TIG kaynağında, değişen argon-helyum oranlarına göre ark gerilimdeki değişimler gösterilmiştir. %70 Ar + %30 He koruyucu gazı ile sağlanan ark gerilimi saf argon ile karşılaştırıldığında ark geriliminde yaklaşık %15' lik bir artış sağlanır. Argona %50-75 helyum ilavesi ile saf argondan daha yüksek ark gerilimi sağlanır. TIG kaynağında ark stabilitesinde herhangi problem olmaksızın argona %75'e kadar helyum ilavesi yapılabilir (Hunt vd., 1997; Dixon, 1999).



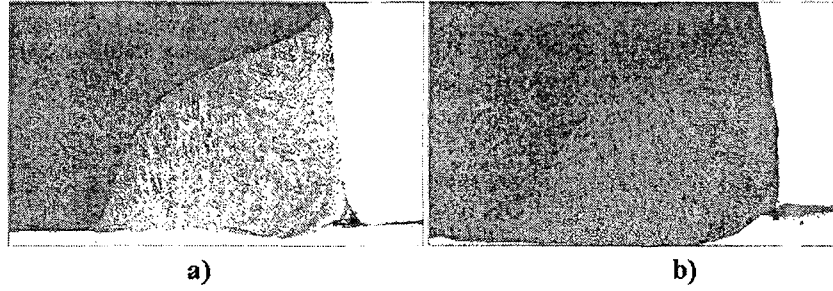
Şekil 2.70 3 mm kalınlığında Al plakanın TIG kaynağında, helyumun ark gerilimi üzerindeki etkisi (Hunt vd., 1997).

2.5.4.2 Kaynak Dikişinin Nüfuziyeti Üzerindeki Etkileri

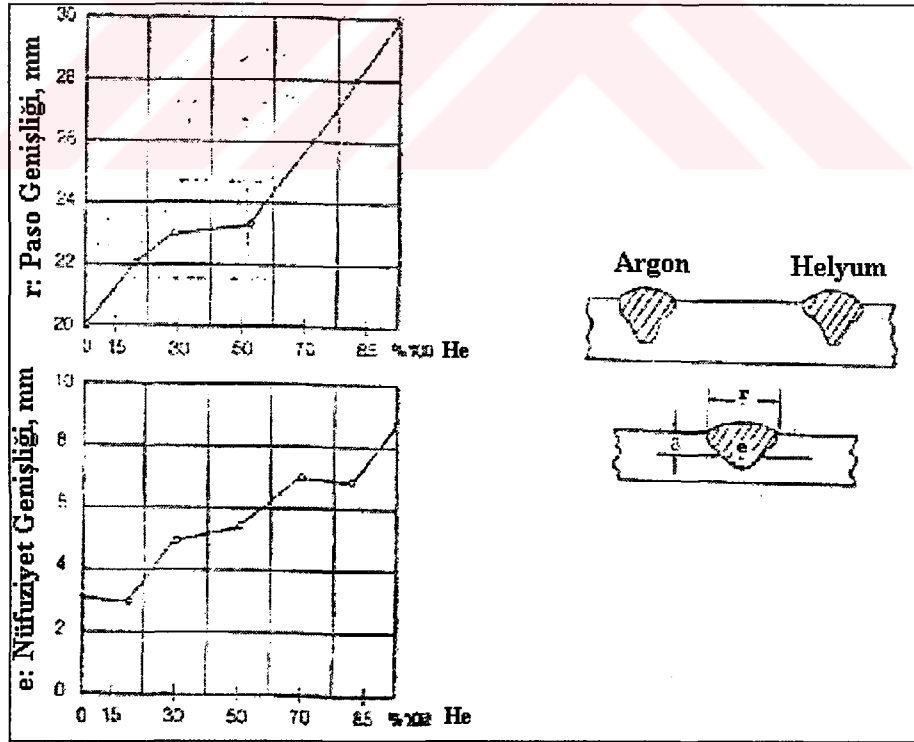
Argon, helyum veya argon-helyum karışımları ile oluşan kaynak metallerinin nüfuziyet profilleri farklıdır. Helyum yüksek iyonizasyon potansiyeli ve yüksek termal iletkenliğe ve yüksek özgül ısı kapasitesine sahip olduğundan helyum içeren koruyucu gazlar kaynak metalinin şekli ve nüfuziyet profilinde önemli gelişmeler sağlar (Hunt vd., 1997).

Helyum ile üretilen kaynak metali genellikle argon koruması ile üretilenden daha geniştir ve

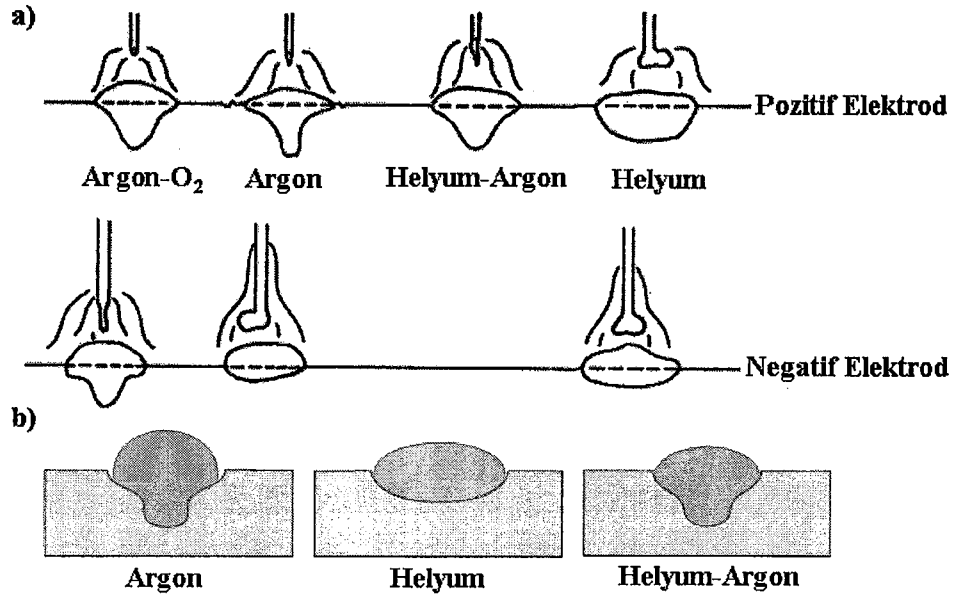
kaynak metalinin yüzeyi daha paraboliktir. Bu helyumun kaynak banyosunun akıcılığını arttırmasından kaynaklanır (Şekil 2.71). Şekil 2.72' de koruyucu gazdaki artan helyum oranına bağlı olarak kaynak dikişinin genişliğindeki değişim gösterilmiştir. Helyum içerikli karışımlar genellikle daha geniş ve yan kenarlardaki ergime hatalarına karşı daha az duyarlı ergime profilleri üretir. Bu özellikle kalın parçaların çok pasolu kaynağında önemlidir. Argonun oluşturduğu nüfuziyet, dikişin merkezinde derin kenarlarda azdır (Şekil 2.73) (Kearns, 1978; Bozacı, 1990; Hunt vd., 1997).



Şekil 2.71 6 mm kalınlığında ostenitik paslanmaz çeliğin kısa devreli MAG kaynağında, helyumun kaynak dikişinin yüzey şekline etkisi a) %98 Ar + %2 CO₂; b) %23,5 Ar + %75 He + %1,5 CO₂ (Hunt vd., 1997)

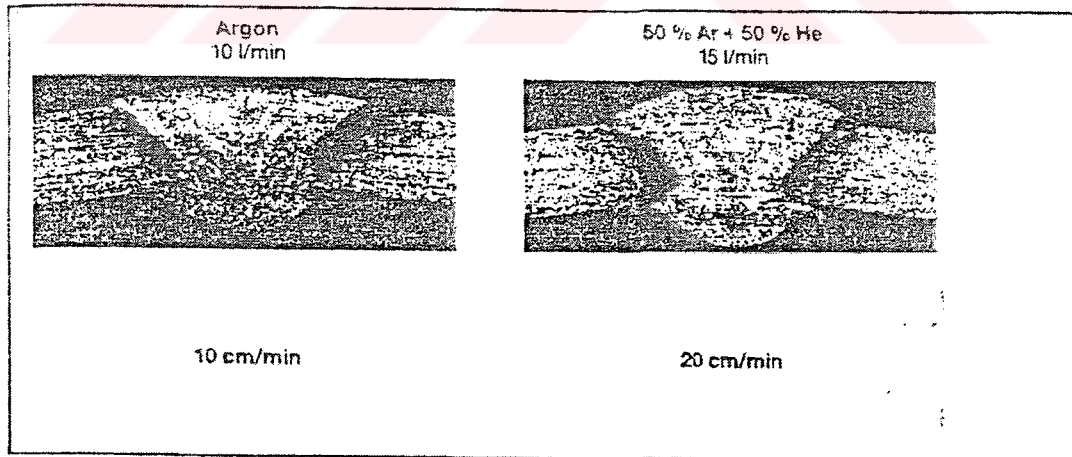


Şekil 2.72 Koruyucu gaz içindeki helyum oranının kaynak dikişinin genişliğine etkisi (Bozacı, 1990)

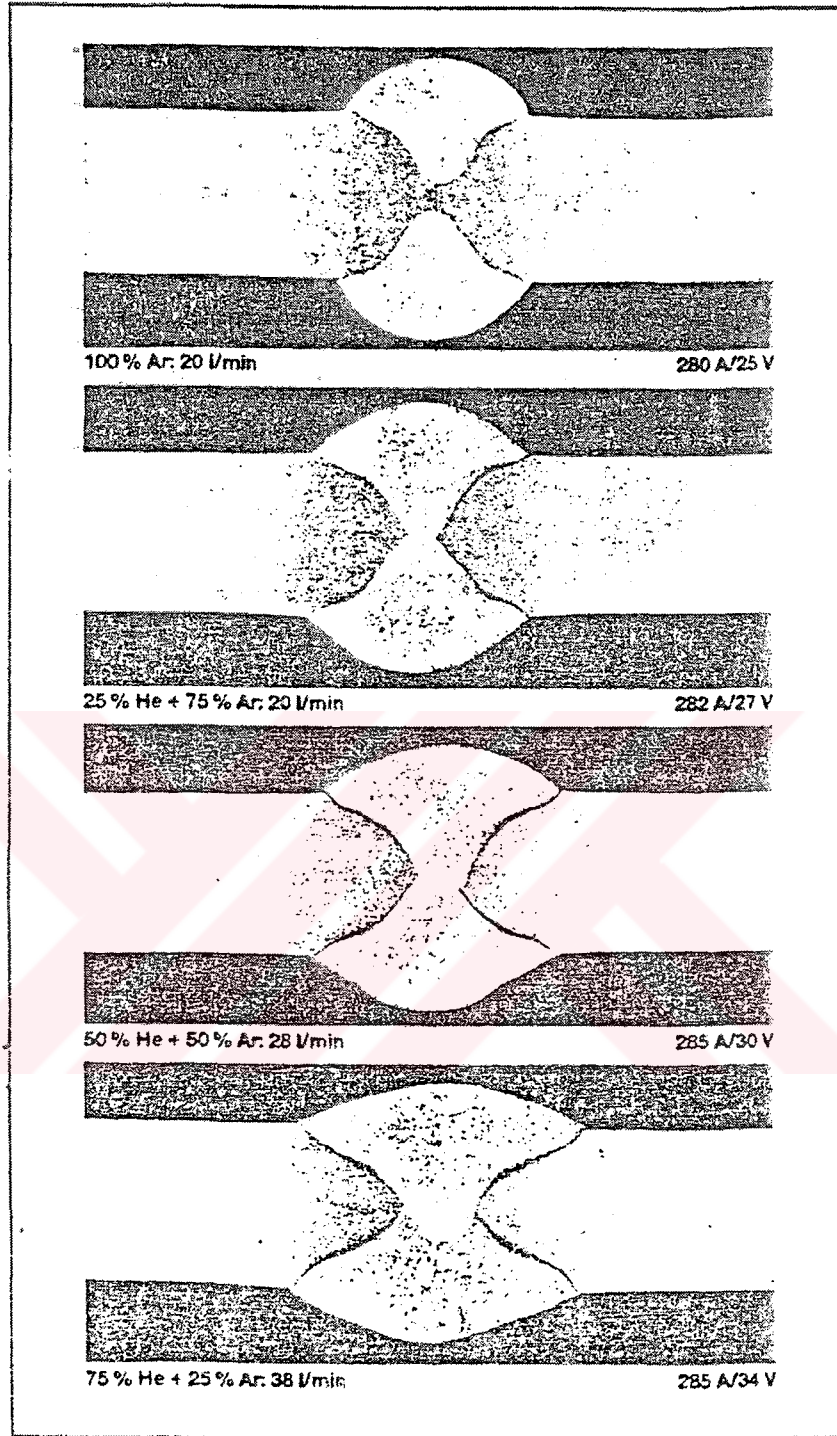


Şekil 2.73 Çeşitli koruyucu gazlar ile elde edilen kaynak dikişi nüfuziyet profilleri (Kearns, 1978; www.sciencedirect.com)

Şekil 2.74' de, 3mm kalınlığında bir alüminyum malzemenin kaynağında, argon yerine %50 Ar + %50 He karışımının kullanılması ile gaz sarfiyatının %50 artmasına rağmen, kaynak hızında oluşan %100' lük artış ve kaynak geometrisinde oluşan değişiklik gösterilmiştir(Bozacı, 1990).



Şekil 2.74 Argon yerine %50 argon %50 helyum içeren karışım gazı kullanılması ile gaz sarfiyatı, kaynak hızı ve geometrisindeki değişiklikler (Bozacı, 1990)



Şekil 2.75 Bir alüminyum malzemenin MIG kaynağında argon-helyum karışım oranının kaynak karakteristiklerine ve geometrisine etkisi (Bozacı, 1990)

Metal transferinin tipi, kaynak metalinin şeklini ve nüfuziyeti etkiler. Sprey transfer merkezde derin, kenarlarda sığ nüfuziyet profili üretir. Küresel (iri damlalı) ve kısa devreli metal transferi ise daha geniş ve daha sığ nüfuziyet profili üretir. Sprey transferi argon koruması ile daha kolay elde edilir (Kearns, 1978).

2.5.4.3 Uygulama Alanları

2.5.4.3.1 Alüminyum ve Alaşımları

- **Yüksek Safılıkta Argon** genel olarak, bu metaller oksitlenmeye karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle koruyucu olarak kullanılacak gazların aktif bileşenlerden (CO_2 ve O_2 gibi) en iyi şekilde arındırılmış olması gerekir. Yüksek safılıkta argon geleneksel olarak bu ihtiyacı karşılayan en yaygın kullanılan gazdır. Fakat bu gaz ile bir bölüm uygulamalar için yeterli ölçüde yüksek plazma ark sıcaklığı elde edilemez. Bu durum, Al ve alaşımlarının göreceli olarak yüksek ısı iletkenliği ile birleşince, kaynak kalitesinde istenmeyen özellikler ortaya çıkabilmektedir. Çok zayıf dikiş nüfuziyeti ve gözeneklik en sık karşılaşılan sorunlardır (Okan, 1989).
- **%75 Ar + %25 He** karışım gazı, alüminyum malzemelerin kaynağında ısı girdisini arttırmak gerektiğinde kullanılır. Az oranlarda helyum ilavesi kaynak banyosunda ısının tutulmasına yardımcı olur ve buda porozitelerin azalmasını sağlar. Helyumun yüksek termal iletkenliği ile ve argonun yüksek kalitede arkın oluşturması ve stabil ark özellikleri sayesinde, alüminyumun TIG kaynağında yüksek kalitede ve güzel görünümlü kaynak dikişleri üretilir (1).
- **%50 Ar + %50 He** karışım gazı kalın alüminyum malzemelerin kaynağında ilave ısı girdisine gereksinim olduğunda kullanılır. Karışımdaki helyum oranının artmasıyla kalın malzemelerin kaynağında, ergime derinliği artar ve kaynak hızının artırılmasına imkan tanır (1).
- **%25 Ar + %75 He** karışım gazı mükemmel bir ark stabilitesi sağlamaktadır. Bu gaz ile elde edilen yüksek ark plazma sıcaklıkları sayesinde daha derin ve genişlemesine bir nüfuziyet elde edilir (Şekil 2.76) (Okan, 1989).

	200 A	260 A
Sar Argon		
%75 He + %25 Ar		

Şekil 2.76 Saf argon ile %75 He + %25 Ar karışım gazının nüfuziyete etkisi (Okan, 1989)

Bu karışım aynı zamanda kalın kesitli parçaların daha verimli biçimde kaynatılabilineceğini

göstermektedir. Normalde 4 paso ve V kaynak ağzı hazırlığı gerektiren 12 mm' lik malzemenin düz alın kaynağında %40' lık bir nüfuziyeti, yalnızca 2 pasoda ve hiçbir mekanik işleme gerek duymadan elde etmek mümkündür. Paso sayısındaki azalma ve hatta özel kaynak ağzı hazırlıklarına gerek kalmaması bu karışımı oldukça cazip kılmaktadır. Ana malzeme üzerindeki dikiş yüksekliğinin düşük olması nedeniyle de %10' u aşan oranlarda elektrodta tasarruf sağlar. Özellikle 1.6 mm ve 2.4 mm çaplı tellerle yapılan kaynaklarda tasarruf seviyesi en üst düzeydedir.

Daha kararlı ve sıcak ark oluşturma özelliği ile bu karışım, argon oranla %15'i aşan kaynak hızları eldesini mümkün kılar. Bu koruyucu gaz altında, ark, geniş amper ve voltaj yelpazesi için kararlılığını sürdürür. Bu nedenle, şebekedeki voltaj değişiklikleri, torç ve kaynak arasındaki artma-azalma gibi durumları vereceği olumsuz etkiler minimize edilir.

Daha yüksek ısı girdisi sonucu oluşan sıcak ve akışkan metal banyosu sayesinde tüm yüzey altı düzensizlikler ve gözeneklilik geniş ölçüde ortadan kaldırabilmektedir.

Tüm bu faktörler, özellikle kalın malzemelerin kaynağında bu karışımın kullanımı ile %10 ile %70 oranında tasarrufa varabilen bir verimlilik tabanı oluşturur (Okan, 1989).

2.5.4.3.2 Bakır ve Alaşımları

- **%75 He + %25 Ar** karışımı bu malzemelerin hem MIG hem de TIG uygulamaları için başarıyla kullanılmaktadır. En önemli avantaj ise, argon kullanıldığında normal olarak gereken ön-tav sayesinin önemli ölçüde azaltılabilmesi ve hatta bazı durumlarda tamamen terkedilebilmesidir. Böylece maliyetlerde düşüş, kaynakçı çevresinde daha rahat çalışma ortamı oluşturulur. Parça tamirlerinin sözkonusu olduğu, malzeme distorsiyonun istenmediği hallerde bu gaz ile kaynak için sadece cüzi bir ön ısıtma yeterli olmaktadır (Okan, 1989).

2.5.4.3.3 Nikel ve Alaşımları

- **Yüksek Safılıkta Argon ve Ar-He Karışımları** bu malzemelerin hem TIG hem de MIG kaynak yöntemi için de başarılı ile kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli karmaşık Nikel alaşımları olan “Nimomik” ler ve “Inconel”ler için genel olarak yüksek safılıkta argon tavsiye edilir (Okan, 1989).

2.5.4.3.4 Titanyum ve Zirkonyum

- Her iki malzeme de, kimyasal olarak aktif tüm gazların oluşturabileceği kırılganlığa karşı son derece duyarlıdır. Bu nedenle, yalnızca yüksek safılıkta argon veya helyum

kullanılabilir. Kullanım kolaylığı ve koruma verimi açısından ilk gaz tercih edilir (Okan, 1989).



3. KORUYUCU GAZLARIN ERGİME ORANI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ergime oranı M (g/s), birim zamanda eriyen ilave metalin veya ana metalin kütlesi olarak tanımlanır. Kaynak prosesinin verimliliğinin hesaplanmasında en önemli faktördür. Bir kaynak prosesinde ortaya çıkan elektrik enerjisi termal enerjiye dönüşür ve termal enerjide ilave metalin ergime noktasına kadar enerjisini artırır. İlave metalin içinde ortaya çıkan toplam enerji aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir.

$$M (Q_k + \beta) = U_E I + \frac{\alpha I^2 L}{S} \quad (3.1)$$

Burada;

α (Ω mm) : spesifik direnç

β (J/g) : oda sıcaklığında telin termal enerjisi

Q_k (J/g) : damlanın teleden ayrıldıktan hemen sonraki toplam enerjisi

U_E (V) : anot ve katot gerilim düşüşleri

S (mm^2) : telin kesit alanı

Ergime oranı, asıl olarak kaynak akımından etkilenir fakat serbest tel uzunluğu L (mm) ve tel çapı d (mm) ohm direncinden dolayı ihmal edilebilir.

Birçok araştırmacı gaz metal ark kaynağında ergime oranını araştırmışlar ergime oranının tahmini için bir model veya eşitlik oluşturmuşlardır. Halmoy , tel uzantısının ısınmasının fiziksel mekanizmasından başlayan farklı bir yol ile ergime oranının tahmini için matematiksel bir model geliştirmiştir. Sprey transferli düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ergime oranının tahmini için oluşturulan eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$M = 6.5 \times 10^{-3} I + 2.88 \times 10^{-6} \frac{L I^2}{d^2} \quad (3.2)$$

Özlü tel için ergime oranı, Allen ve Widgery tarafından aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir.

$$M = k + \alpha I + \beta \frac{L I^2}{d^2} \quad (3.3)$$

Burada k , α , ve β sabitlerdir.

Birçok araştırmacı tarafından kabul edilen ergime oranı için matematiksel model aşağıdaki

gibidir.

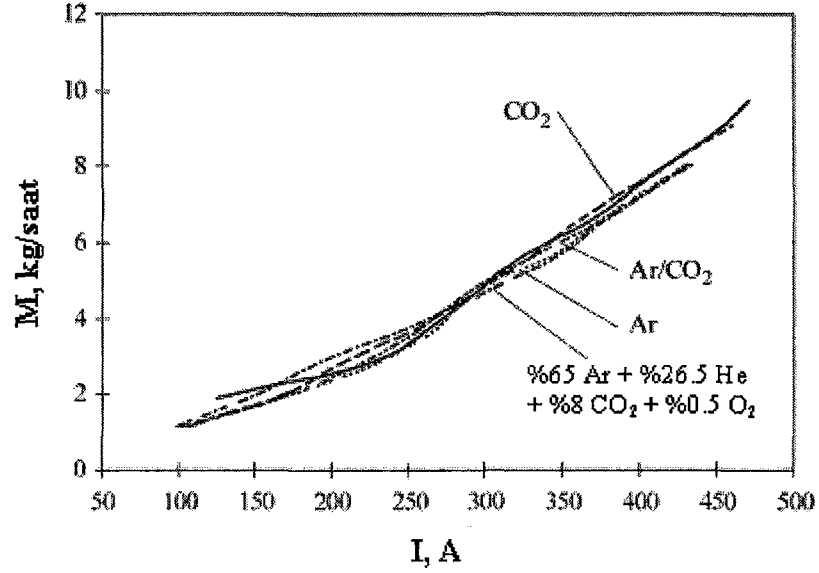
$$M = aI + b \frac{LI^2}{d^2} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.1 a ve b sabitlerinin en yüksek ve en düşük güven sınırları ve regresyon katsayıları (Suban ve Tusek, 2001)

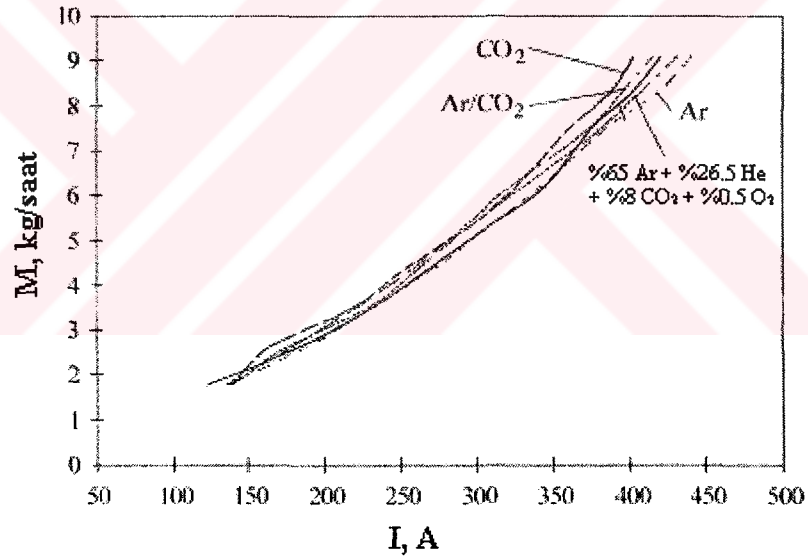
		Regresyon Katsayısı	%95 Olasılıklı Güven Sınırları	
			En Düşük	En Yüksek
Katı Tel	a	0,00980	0,00900	0,01061
	b	$8,29 \times 10^{-7}$	$7,54 \times 10^{-7}$	$9,04 \times 10^{-7}$
Özlü Tel	a	0,00955	0,00877	0,01033
	b	$1,05 \times 10^{-6}$	$0,98 \times 10^{-6}$	$1,12 \times 10^{-6}$

Şekil 3.1' de 1.6 mm çapında katı tel için, Şekil 3.2' de ise 1.6 mm çapında özlü tel için koruyucu ortamın ve kaynak akımının ergime oranı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Kaynak akımı arttıkça ergime oranı da artmaktadır. Ergime oranı üzerinde, koruyucu gaz ortamları arasındaki fark çok küçüktür. 275 amperin altındaki kaynak akımlarında en yüksek ergime oranı %65 Ar + %26.5 He + %8 CO₂ + %0.5 O₂ karışımı ile elde edilmiştir. Daha yüksek kaynak akımlarında bu karışım ile ergime oranı diğer koruyucu gazlar ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Ergime oranındaki en büyük fark 0.5 kg/saat değeri ile, %65 Ar + %26.5 He + %8 CO₂ + %0.5 O₂ karışımı ile %82 Ar + %18 CO₂ karışımı arasında 225 amper kaynak akımında görülmektedir. Yüksek akımlardaki maksimum ergime oranı, CO₂ koruması ile olmaktadır.

Ergime oranı için özlü telle yapılan deney sonuçları, katı telle yapılan deney sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Ergime oranı üzerinde koruyucu gazlar arasındaki sapma minimumdur. Ergime oranındaki en büyük fark 1 kg/saat değeri ile 400 amper kaynak akımında görülmektedir. En yüksek ergime oranı CO₂ koruması ile sağlanır ve %82 Ar + %18 CO₂, %65 Ar + %26.5 He + %8 CO₂ + %0.5 O₂, saf argon sıralamasıyla ergime oranı azalmaktadır. Ayrıca özlü tel ile yapılan kaynakta ergime oranı, katı tel ile yapılan kaynaktaki ergime oranından daha yüksektir (Suban ve Tusek, 2001).

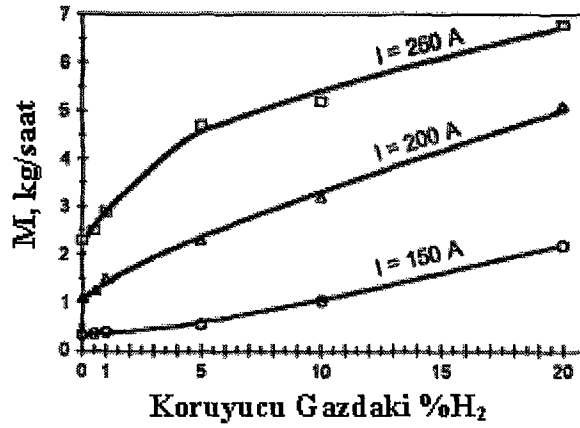


Şekil 3.1 Çapı 1,6 mm olan katı tel için koruyucu gaz ortamının ve kaynak akımının ergime oranı üzerindeki etkisi (serbest tel uzunluğu, $L = 25$ mm) (Suban ve Tusek, 2001)



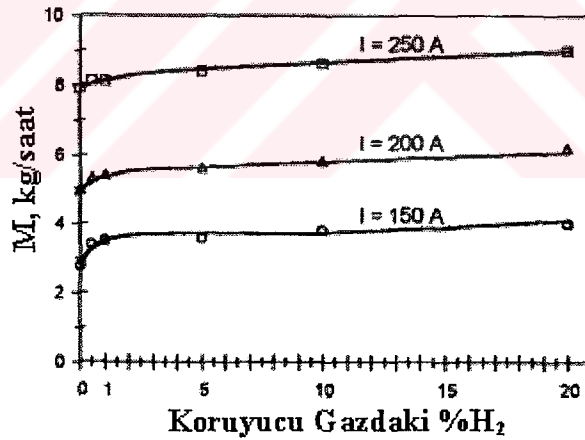
Şekil 3.2 Çapı 1,6 mm olan özlü tel için koruyucu gaz ortamının ve kaynak akımının ergime oranı üzerindeki etkisi (serbest tel uzunluğu, $L = 25$ mm) (Suban ve Tusek, 2001)

Şekil 3.3' de, TIG kaynak yönteminde kaynak akımının ve argon içersindeki hidrojen miktarının bir fonksiyonu olarak birim zamandaki ana metaldeki ergime oranı gösterilmiştir. Karışımdaki hidrojen oranı arttıkça ana metaldeki ergime oranı da artmaktadır.



Şekil 3.3 Ostenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H₂'nin ergime oranı üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., negatif elektrod) (Tusek ve Suban, 2000)

Şekil 3.4' de MIG kaynak yönteminde kaynak akımının ve argon içersindeki hidrojen miktarının bir fonksiyonu olarak birim zamandaki ana metaldeki ve ilave metaldeki ergime oranı gösterilmiştir. Karışımdaki hidrojen oranı arttıkça ana metaldeki ergime oranı da artmakta fakat TIG kaynak yöntemi ile karşılaştırıldığında artışlar daha küçük olmaktadır.



Şekil 3.4 Ostenitik paslanmaz çeliğin MIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H₂'nin ergime oranı üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., pozitif elektrod) (Tusek ve Suban, 2000)

Hidrojen ilaveli karışımların kullanıldığı kaynak prosesleri ergime verimliliğinin hesaplanmasıyla da değerlendirilebilir.

TIG kaynak yöntemi için ergime verimliliği:

$$\eta = \frac{MEt}{\int_0^t IU dt} 100[\%] \quad (3.5)$$

Burada ;

M (g/san.) : birim zamanda ana metaldeki ergime miktarı

E (J/g) : ostenitik paslanmaz çeliğin 1 gramını ergitmek için ihtiyaç duyulan teorik enerji

I (A), U (V), t (saniye) : kaynak parametreleri

Yüksek alaşımlı ostenitik paslanmaz çeliği ergime sıcaklığına ısıtmak için gerekli olan teorik enerji aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$E = mc_p \Delta T \quad (3.6)$$

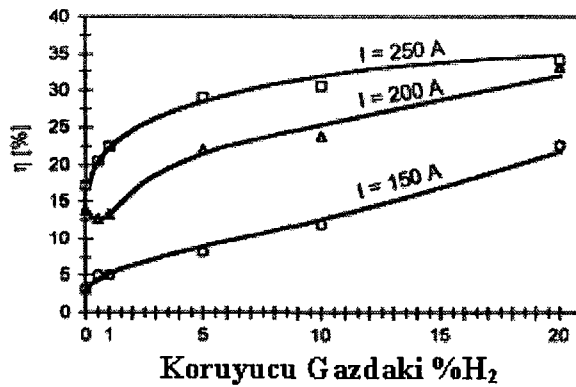
Burada ;

m (g) : kütle

c_p (J/gK) : termal kapasite

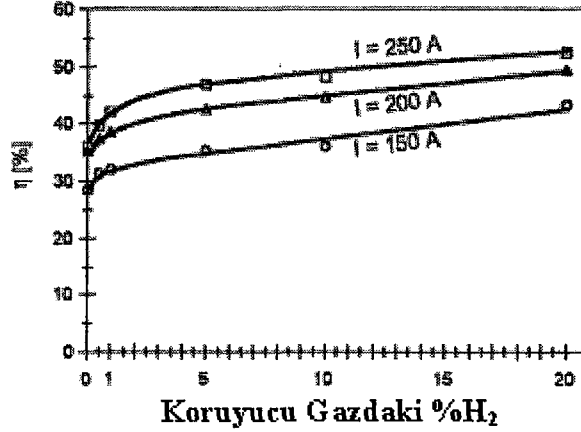
ΔT (K) : yüksek alaşımlı ostenitik paslanmaz çeliğin ergime sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark

Şekil 3.5' de argon içerisindeki hidrojen miktarının bir fonksiyonu olarak TIG kaynak yöntemindeki ergime verimliliğinin değişimi gösterilmiştir. Karışımdaki hidrojen oranının artmasıyla ergime verimliliği de artmaktadır.



Şekil 3.5 Ostenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H₂' nin ergime verimliliği üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., negatif elektrod) (Tusek ve Suban, 2000)

Şekil 3.6' da argon içersindeki hidrojen miktarının bir fonksiyonu olarak MIG kaynak yöntemindeki ergime verimliliğinin değişimi gösterilmiştir. MIG kaynak yönteminde hidrojen ilavesi arttıkça ergime verimliliği de artmaktadır.

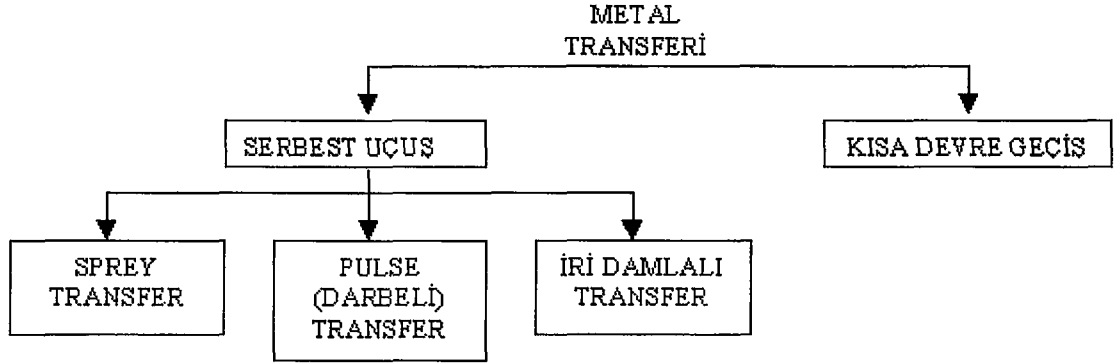


Şekil 3.6 Ostenitik paslanmaz çeliğin MIG kaynağında kaynak akımının ve koruyucu gazdaki H₂' nin ergime verimliliği üzerindeki etkisi (kaynak hızı = 0,3 mm/dak., pozitif elektrod) (Tusek ve Suban, 2000)

Sonuç olarak paslanmaz çeliklerin kaynağında karışımındaki hidrojen oranı arttıkça ana metaldeki ve ilave metaldeki ergime oranı %10 ile %30 arasında, ergime verimliliği ise %30 ile %50 arasında artar (Tusek ve Suban, 2000).

4. METAL TRANSFERİ FORMLARI VE KORUYUCU GAZLARIN ETKİLERİ

Ergiyen telden kaynak banyosuna aktarılan metalin davranışına “metal transfer formu” denir. MIG/MAG kaynağının ark karakteristikleri elektrottan kaynak banyosuna olan metal transfer şekline bağlıdır. Yaygın metal transfer formları Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 Metal transfer formları (Gülenç ve Tülbençi, 1996)

Ergimiş elektrod ucundan kaynak banyosuna metal malzeme aktarımının şekli, arkta oluşacak sıçrama miktarını, işlem kararlılığını, çeşitli konumlarda kaynak yapma imkanını, ana malzemenin nemlendirilmesi, kaynak dikişinin yüzey formunu ve kaynaklı metalin kalitesini etkiler. Metal transferinin şekli geniş bir oranda koruyucu gazın ترکیبی, kaynak telinin bileşimi ve kaynak parametrelerine bağlıdır. Arktaki damla geçişine etki eden diğer faktörler ise; yer çekimi, gaz akımı, plazma basıncı, elektromanyetik güçler, lorentz güçler, malzemenin buharlaşması ile oluşan basınç ve yüzey gerilimidir (Gülenç ve Tülbençi, 1996).

4.1 Metal Transferi Formları

4.1.1 Kısa Devreli Geçiş

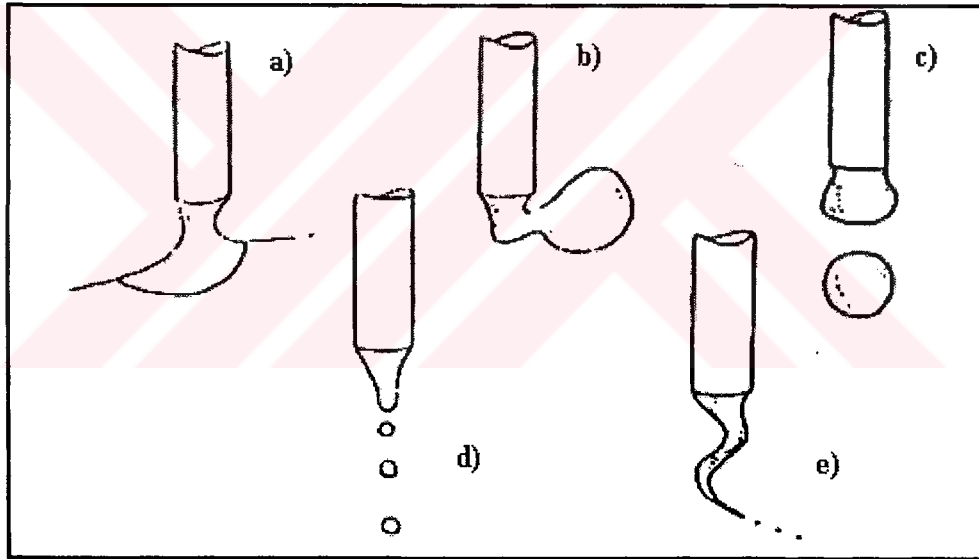
Kısa devre geçiş, genellikle ince elektrodlarla (0.6-1.2 mm) ve düşük akım şiddetinde kısa ark boyu ile kaynak yapıldığında karşılaşılan bir transfer türüdür (Şekil 4.2 a). Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi, koruyucu gaz türü ve elektrod metaline bağlı olarak tel ile banyo saniyede 20 ile 200 kez temas halindedir. Kaynak teli ana metale değdiği zaman akım yükselir, tel ucundaki ergimiş metal çevresel baskı ile kopar ve banyoya geçer. Bu geçiş sırasında tel ile banyo arasında bir kısa devre meydana gelmektedir. Çizelge 4.1’de çelik elektrodlar ile kısa devreli ark kaynağı için kaynak akımı aralıkları görülmektedir (Kearns, 1978; Gülenç ve Tülbençi, 1996).

Çizelge 4.1 Kısa devreli gaz metal ark kaynağı için akım aralıkları (Kearns, 1978)

Tel Çapı		Kaynak Akımı, A (doğru akım pozitif elektrod)			
		Yatay Kaynak		Düşey veya Tavan Kaynağı	
mm	in.	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
0.76	0.030	50	150	50	125
0.89	0.035	75	175	75	150
1.14	0.045	100	225	100	175

Koruyucu gaz karışımındaki değişiklikler damlacık boyunu ve kısa devre zamanını değiştirir. CO₂ ile kısa devre geçiş kaynağında ark sürekli gezinir ve kısa devre sürekli değişir. Sıçrama ve nüfuziyeti optimize etmek için Ar-CO₂ karışımları kullanılır.

Kısa devre 0.5 mm- 2 mm kalınlıklarındaki karbon çeliğinin kaynağındaki şu uygulamalarda kullanılır : Otomobil kaportası, eksoz sistemleri, depolama tankları, çelik silindir borular, ısıtma ve havalandırma boruları (Gülenç ve Tülbençi, 1996).



Şekil 4.2 MIG-MAG kaynağında metal transfer tipleri; a) kısa devre, b) küresel (iri damlalı), c-d) sprej, e) dönmüş (Gülenç ve Tülbençi, 1996)

4.1.2 İri Damlalı Geçiş (Uzun Ark)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre geçişi yerine küresel geçiş hali görülür (Şekil 4.2 b). Bu durumda ark tutuşur tutuşmaz elektrodun ucu ergimeye başlar ve bir damlacık oluşur. Ergiyen damlacık irileşir ve tel çapını aştıktan sonra elektrodan kopar ve yerçekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer. Genellikle kararsız bir ark oluşturur, sıçrama fazladır.

CO₂' nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen bütün çalışma bölgelerinde küresel geçiş görülür. Diğer koruyucu gazlarda ise çalışma bölgesinin alt kısımlarında görülebilir. Küresel geçişlerde koruyucu gaza az miktarda O₂ ilavesi damlacığın yüzey gerilimini düşürerek kopmayı kolaylaştırır. Bu da transfer formunu olumlu yönde etkiler (Gülenç ve Tülbençi, 1996).

4.1.3 Sprey Geçiş

Argon ağırlıklı koruyucu gazlarda iş parçasına duşlama şeklinde bir geçiş görülür. İlave metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrod ucunun sivrileşmesi ve sivrilen uçtan saniyede birkaç yüzü bulan damlacıkların geçmesidir. Damlacık geçişindeki artış akım seviyesinin artışıyla doğru orantılıdır. Başlangıçta kaynak teli çapında olan damlacık akım arttırıldığında küçülecektir (Şekil 4.2 c,d). Sprey ark yüksek akım şiddetinde olduğundan kalın parçaların kaynağı için uygundur. Sıçrama çok az olmaktadır. Geniş bir kaynak banyosu oluşturur. Özellikle yatay ve oluk pozisyonlarında dolgu ve kaplama pasoları için uygundur.

İnce sacların dışında bütün metal ve alaşımlarının kaynağında, kara araçları, yapı çeliği, askeri araçlar, nikel ve krom kaplama kaynağında kullanılır (Gülenç ve Tülbençi, 1996).

4.1.4 Pulse Geçiş (Darbeli Ark)

Bu yöntemin uygulanabilmesi için özel bir kaynak akım üreteğine ihtiyaç vardır. Sistemde düzenli olarak oluşturulan darbeler esnasında akımın yükselmesiyle, metal transferini gerçekleştiren bir sprej geçiş tipidir. İki darbe arasında akım düşük olup bu esnada metal geçişi olmaz. Pulse süresince bir veya birkaç damlacık oluşur ve transfer edilir. Frekansın ayarlanması ile istenilen sayıda ve irilikte damlacılığın iş parçasına geçmesi sağlanır.

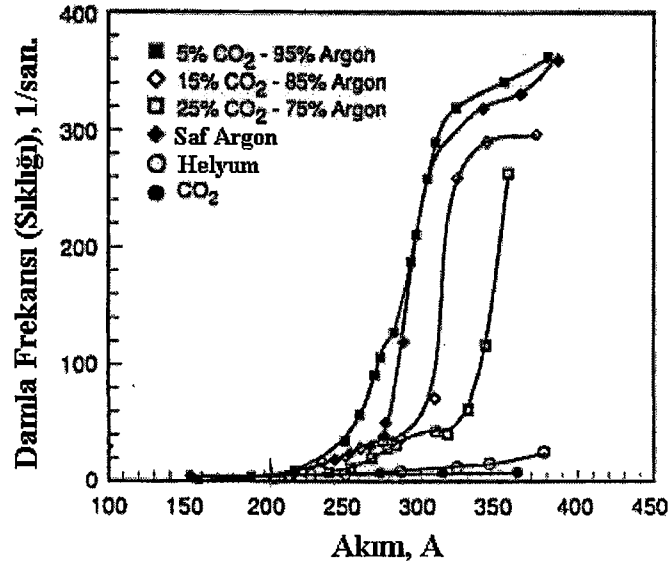
İnce parçaların sprej transfer ile kaynağında ve tavan kaynağında karşılaşılan güçlükler pulse transfer kullanılarak aşılabılır. Ayrıca paslanmaz çelik kaynağında yüzeydeki oksit filmi pulse sayesinde yırtılır ve çok daha düşük akımlarda püskürtme transferi ile düzgün bir kaynak elde edilir.

Bu ark türünün çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılmaz. Zira darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna ters yönde etki yapar.

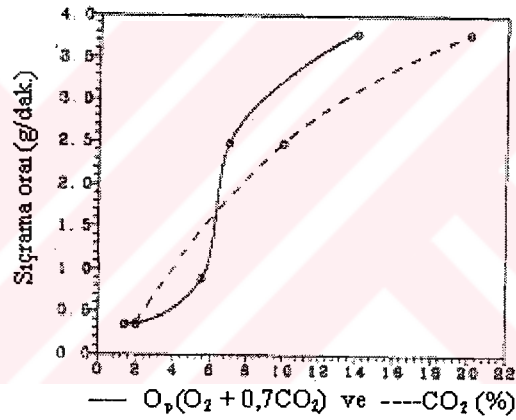
Pulse transfer ilk olarak paslanmaz çeliğin ve alüminyum alaşımlarının kaynağının kontrollü kaynağı için geliştirilmiştir. Son gelişmeleri ile; yüksek dayanımlı çelikler, alüminyum gemi kaplamaları, soğuğa dayanıklı tanklar, nükleer atık depolama tankları, denizaltı kaplamalarında kullanılmaktadır (Gülenç ve Tülbençi, 1996).

4.2 Koruyucu Gazların Metal Transferi Üzerindeki Etkileri

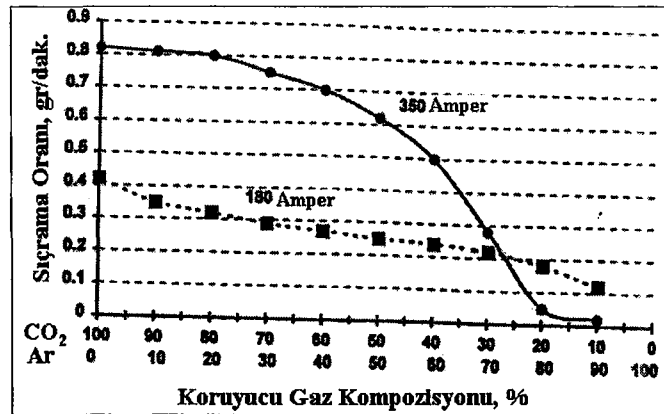
Koruyucu gazlar, ergimiş damlayı ve kaynak dikişini korumanın yanısıra metal transfer formunu etkilemek içinde kullanılır. CO₂ gazı ile küresel (iri damlalı) metal transferi elde edilir fakat spreyl metal transferi elde edilemez. 350 A kaynak akımına kadar damla sıklığı saniyede 4 ile 8 arasındadır (Şekil 4.3). Damla, elektromanyetik ve duman (fume) kuvvetinin etkisi ile elektrod eksenini dışına doğru itilmesi sonucu kaynak sınırları dışına itilmeye zorlanır ve böylece sıçrama kayıpları meydana gelir. Buda CO₂ gazının en olumsuz yanıdır. Bu olumsuzluklar genellikle 1.6-2 mm çaplı elektrodlarla ve orta yoğunluktaki akımlarda yapılan kaynak işlemlerinde sıkça görülmektedir. Koruyucu gaz olarak saf CO₂ yerine %15-80 Ar ile %85-20 CO₂ veya sadece argon kullanılması durumunda sıçrama kaybı önemli düzeyde azaltılabilmektedir. Argon gazının pahalı olması nedeniyle kullanım alanı oldukça sınırlıdır. CO₂ gazına %30' u aşan oranda argon katılması sıçrama kaybını azaltmaktadır. Argona %20' yi aşan oranda katılması ise arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olur. CO₂ miktarı %20' nin altına inmeye başlayınca belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında spreyl metal taşınımı gerçekleşir ve sıçrama miktarı azalır. 0.9 mm tel kalınlığına kadar %20 CO₂ içeren argon karışımlarıyla spreyl metal transferi rahatlıkla sağlanır. Karışımda CO₂ oranı arttıkça küresel metal transferinden spreyl metal transferine geçiş akımı da yükselir. %95 Ar + %5 CO₂ karışımı ile minimum geçiş akımı sağlanır. %15-20 CO₂ + Ar karışımlarından, sıçramasız bir kaynak dikişi elde etmek için 265 A, 27-28 V' da çalışılmalıdır. Şekil 4.4'de ve Şekil 4.5'de karışımdaki CO₂ yüzdesinin artmasıyla veya oksijen potansiyelinin artmasıyla sıçrama hızının da arttığı gösterilmiştir. Şekil 4.6' da çeşitli gazlarla elde edilen kaynak dikişleri gösterilmiştir. Bu şekilde, CO₂ yüzdesinin artmasıyla ana metalin yüzeyine yapışan metal damlacıkların arttığı görülmektedir. Çizelge 4.2' de, koruyucu gaz bileşiminde yapılan değişikliklerle sıçrama miktarlarında ortaya çıkan değişmeyi göstermektedir. Ar-N₂ karışımlarında sıçrama kaybı, azot oranı %4' ü aştığı zaman meydana gelir ve buda tungsten elektrodun kirlenmesine neden olur. Ayrıca argon gazına az miktarda O₂ (%1 ile 5 arasında) ilave edilmesi, ergiyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak ince damlalı bir metal taşınımı sağlamakta ve kısa devresiz metal taşınımının (spreyl ark) oluşmasına yardımcı olmakta ve sıçramayı en aza indirmektedir (Kannatey vd., 1991; Aydın, 1996; Urmston, 1996; Liao ve Chen, 1998; Irving, 1999; Ertürk ve Külekci, 2001; Yılmaz, 2001) .



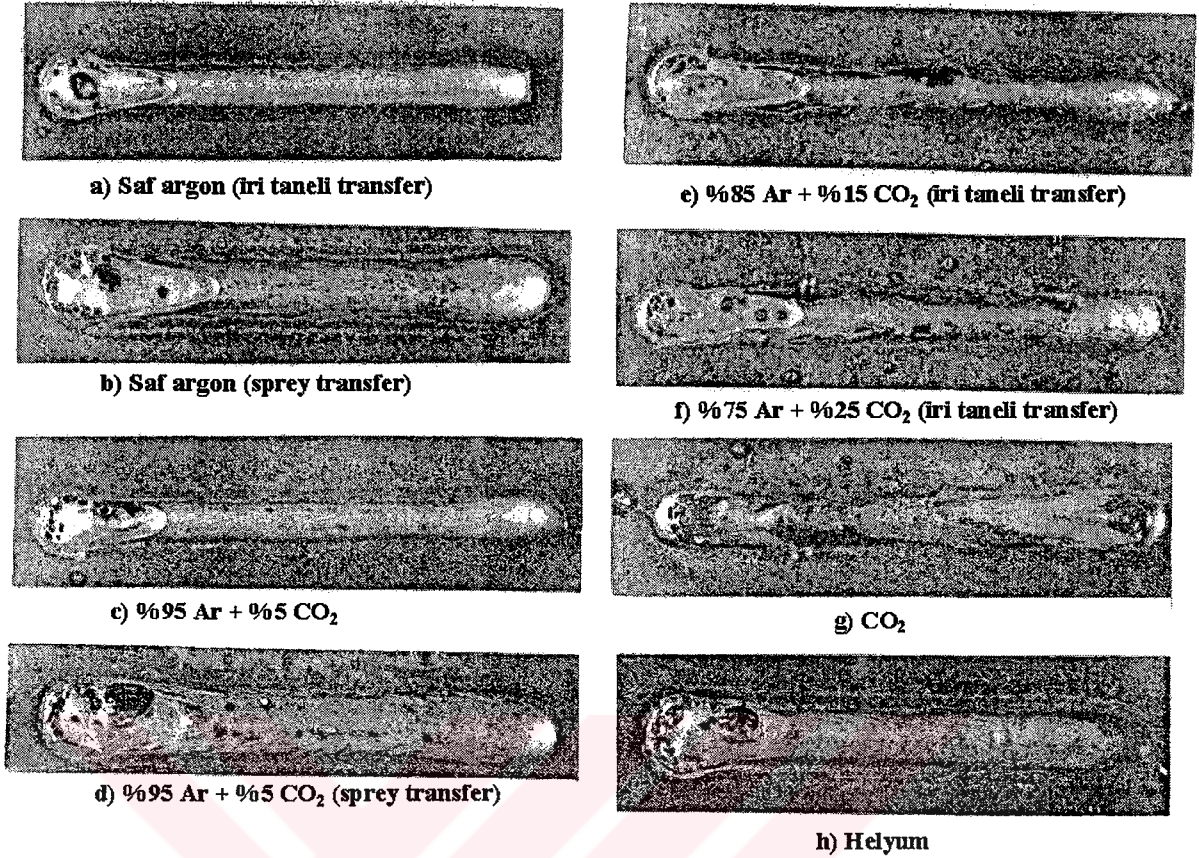
Şekil 4.3 Koruyucu gazların damla frekansı (sıklığı) üzerindeki etkileri (Kannatey vd., 1991)



Şekil 4.4 %CO₂ ve oksijen potansiyelinin bir fonksiyonu olarak sıçrama oranları (Liao ve Chen, 1998)



Şekil 4.5 Koruyucu gazdaki CO₂ oranının sıçrama kaybı üzerindeki etkisi (Irving, 1999)

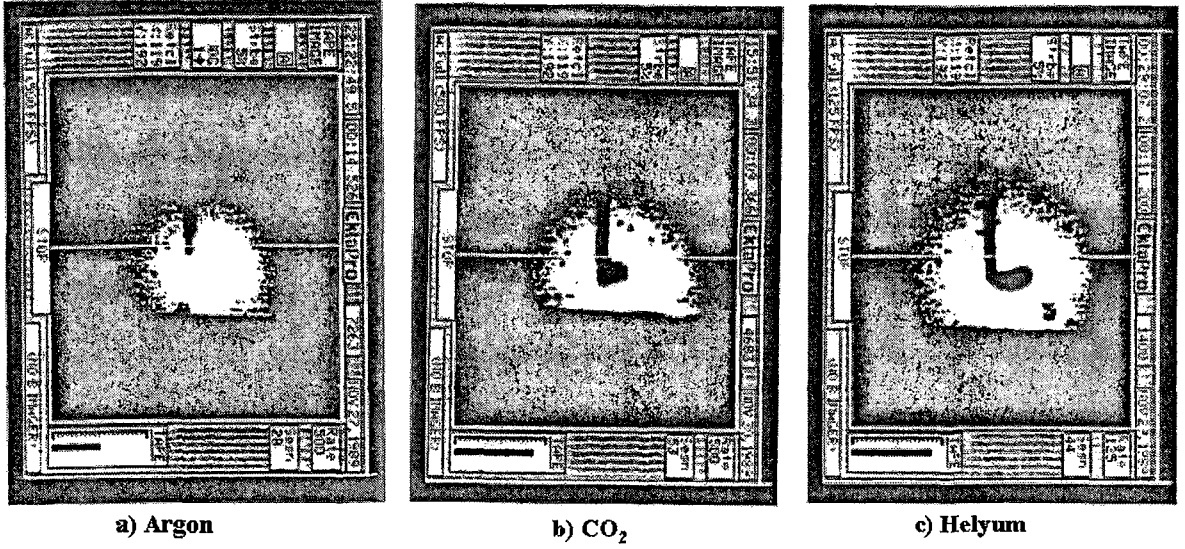


Şekil 4.6 Farklı koruyucu gaz karışımları için kaynak dikiş formları ve ana metal yüzeyine yapışan metal damlacıkları (Kannatey vd., 1991)

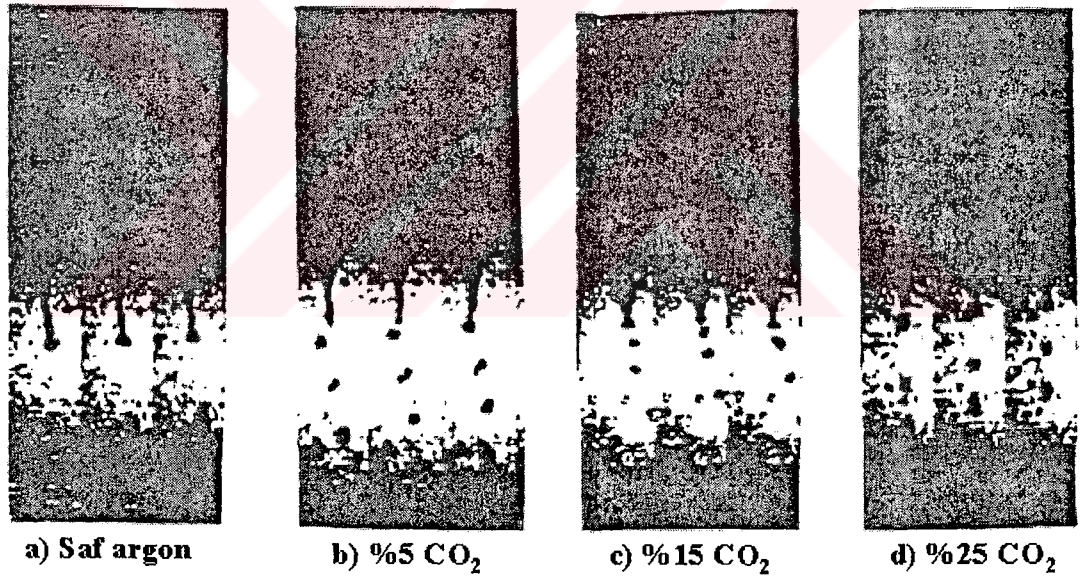
Çizelge 4.2 Koruyucu gaz bileşiminde yapılan değişiklik ile çapak (sıçrama) miktarında ortaya çıkan değişimler (Okan, 1989)

Gaz Türü	Çapak Miktarı (gram/metre kaynak)	
	160 Amper	280 Amper
CO ₂	3,6	17,1
Ar-%20 CO ₂ -O ₂	2,5	2,3
Ar-%5 CO ₂ -O ₂	1,9	1,5
He-Ar-CO ₂	1,1	1,1

Şekil 4.7' de, koruyucu gazlara bağlı olarak metal damlacıkların elektrodan ayrılma şekilleri gösterilmiştir. Şekil 4.8' de, farklı koruyucu gazlarla (Ar ve Ar-CO₂ karışımları) elde edilen spreyl metal transferi şekilleri gösterilmiştir. Şekil 4.8' de, karışımdaki CO₂ oranı arttıkça damlaların ayrılma uzunluğu kısalmıştır. Fakat damla sıklığı artış göstermez. Gerçekte CO₂ oranının artmasıyla damla boyutu büyüdüğü için damla sıklığı azalır (Kannatey vd., 1991).



Şekil 4.7 Farklı koruyucu gaz karışımları için ergimiş metal damlacıklarının elektrodan ayrılma şekli (Kannatey vd., 1991)



Şekil 4.8 Koruyucu gazdaki CO₂ oranının, metal damlacıklarının ayrılma uzunluğuna etkisi (Kannatey vd., 1991)

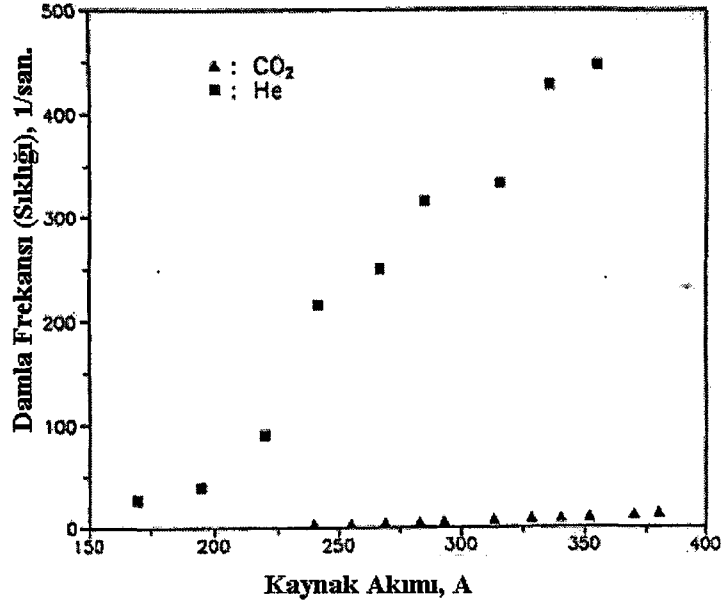
Gazaltı kaynağında 0.8-0.9 mm teller için, kısa devre geçişi argon karışımları ile 40-200 A, 11-22 V' da gerçekleşir. Kısa devre metal transferi için yaygın olarak kullanılan Ar-CO₂ karışımlarının çalışma voltajı 14-22 V' dir. 1 mm' den ince sacların birleştirilmesinde, saclardaki büyük boşlukların doldurulmasında ve paslanmaz çeliklerin 100 A' den düşük akımlardaki kısa devre kaynağında Çizelge 4.3' den düşük enerjili bir Ar-O₂ karışımı seçilmelidir. Bu gaz karışımı orta ve yüksek enerjili gaz karışımlarına göre, düşük kaynak

akımlarında çok daha iyi bir kısa devre metal geçişi sağlar. Ar-O₂ karışımları ile kısa devre metal geçişi için minimum kaynak voltajı 11 voltttur. Bu ise 1 mm' den daha ince saclarda bir avantajdır. Orta ve yüksek enerjili gaz karışımlarında ise bu voltaj minimum 11 voltttur. 1 mm' den daha kalın saclarda kısa devre metal geçişi için, orta enerjili (%13-20 CO₂ + Ar) veya yüksek enerjili (%25 CO₂ + Ar) karışımlar tercih edilir. Her iki karışımda 3.5 mm kalınlığa kadar olan saclarda kısa devre metal transferi için gereken enerji sağlarlar. 0.9 mm' lik tel kullanıldığında %25 CO₂ + %75 Ar karışımı sıçramaya neden olacağından sprej geçişi için orta seviye enerjili gazlar kullanılmalıdır. 8 mm kalınlığına kadar sacların kaynağında, 0.9 mm tel çapı ve orta enerjili gaz karışımları idealdir. 0.9 mm' lik tel için akım aralığı 180-350 A' dir. Eğer tel 1 mm ise, sprej geçişi yaklaşık 320 A , 33-34 V ve %25 CO₂ + %75 Ar karışımı ile sağlanır (Aydın, 1996).

Çizelge 4.3 Ürettikleri ark enerjilerine göre, yaygın olarak kullanılan argon gaz karışımları (Aydın, 1996)

A- Düşük Ark Enerjili Gaz Karışımları	B- Orta Seviye Ark Enerjili Gaz Karışımları	C- Yüksek Enerjili Gaz Karışımları
- Tüm iki bileşenli Ar-O₂ karışımları %10' dan daha az CO₂ içeren tüm Ar-CO₂-O₂ karışımları %8' den az CO₂ içeren tüm Ar-CO₂ karışımları	%13-21 CO₂ içeren tüm Ar-CO₂ karışımları - Bu karışımlar tüm tel çaplarında, birçok kısa devre ve sprej uygulamaları için kullanılabilir. - A grubundan daha yüksek bir kaynak voltajına gereksinim vardır.	%22-30 CO₂ içeren tüm argon karışımları - Kısa devre ve sprej için uygundur. 1 mm' den ince tellerde sıçrama görülür. - B grubundan daha yüksek bir kaynak voltajı gerektirirler.

Helyum gazı ile metal transferi, CO₂ gazı ile sağlanan metal transferi ile benzerlik gösterir. Helyum yüksek iyonizasyon potansiyeline sahip olduğu için, oluşan ark bütün damlalarını kaplayamaz. CO₂ gazı He gazı kadar yüksek iyonizasyon potansiyeline sahip olmamasına rağmen yüksek akımlarda dahi sprej metal transferine geçilemez. He gazı ile sağlanan damla sıklığı CO₂ gazı ile sağlanandan daha fazladır (Şekil 4.9) (Kannatey vd., 1991; Kim ve Eagar, 1993).



Şekil 4.9 He ve CO₂ koruyucu gazlarının damla frekansı (sıklığı) üzerindeki etkileri (Kim ve Eagar, 1993)

Argon gazının düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olmasından dolayı damlacık sayısı CO₂ veya He ile sağlanandan daha fazladır (Şekil 4.3). Küresel (iri damlalı) metal transferinden spreyl metal transferine geçiş 280A civarında olur. Çizelge 4.4’ de bazı önemli elektrod metallerin geçiş akımları gösterilmiştir. Daha yüksek kaynak akımlarında ise metal damlalarının ayrılma uzunlukları artar ve damlalar kenarlara doğru hareket eder. Bazen büzme kuvveti (pinch force) tarafından metal damlaların bazıları ayrılabilir ve buda düzensiz damla transferine neden olur (Kannatey vd., 1991; Eryürek, 2003)

Çizelge 4.4 Çeşitli elektrod için iri damladan sprej transfere geçiş akımları (Eryürek, 2003)

Elektrod Tipi	Elektrod Çapı (mm)	Koruyucu Gaz	Minimum Sprey Ark Akımı (geçiş) (A)
Yumuşak Çelik	0,8	%98 Ar + %2 O ₂	150
Yumuşak Çelik	0,9	%98 Ar + %2 O ₂	165
Yumuşak Çelik	1,1	%98 Ar + %2 O ₂	220
Yumuşak Çelik	1,6	%98 Ar + %2 O ₂	275
Paslanmaz Çelik	0,9	%98 Ar + %2 O ₂	170
Paslanmaz Çelik	1,1	%98 Ar + %2 O ₂	225
Paslanmaz Çelik	1,6	%98 Ar + %2 O ₂	285
Alüminyum	0,8	Argon	95
Alüminyum	1,1	Argon	735
Alüminyum	1,6	Argon	180
Deokside Bakır	0,9	Argon	180
Deokside Bakır	1,1	Argon	210
Deokside Bakır	1,6	Argon	310
Silisyum Bronzu	0,9	Argon	165
Silisyum Bronzu	1,1	Argon	205
Silisyum Bronzu	1,6	Argon	270

5. KAYNAKTA ORTAYA ÇIKAN PROBLEMLER ve KAYNAK HATALARI

5.1 Kaynakta Ortaya Çıkan Problemler

Kaynakta ortaya çıkan problemler şu şekilde sıralanabilir:

- a- Hidrojen gevrekleşmesi
- b- Oksijen ve azotla kirlenme
- c- Esas metalin kirliliği
- d- Yetersiz ergime

5.1.1 Hidrojen Gevrekleşmesi

İngiliz Kaynak Enstitüsü' nün 1973 yılında yayınladığı bir kitabın girişinde aşağıdaki paragraf yer almaktadır.

“Kaynakla doğrudan ilgili sorunlardan dolayı yalnız İngiltere’ nin kaybı yılda 260 milyon sterlin olup bunun 40 milyon sterlini hidrojenin sebep olduğu çatlakların tamirine aittir. Bu olayların oluşturduğu 140milyon sterlin tutarındaki işletmeye kaybı ise yukarıdaki rakamlara dahil değildir” (Yılmaz, 2001).

Gazaltı kaynağında rutubet tutan dekapan veya örtünün mevcut olmayışı nedeniyle, hidrojen gevrekliğinin oluşma olasılığı düşük olmakla birlikte, böyle bir tehlikeyi gözardı etmemek gerekir. Bunun nedeni, diğer hidrojen menbalarının oluşturduğu tehliktir. Örneğin, koruyucu gazın rutubet içeriği tehlike oluşturmayacak ölçüde düşük olmalıdır. Bunun gaz satıcıları tarafından çok iyi şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Kullanmadan önce, kullanıcı tarafından da kontrol edilmesi gerekir. Elektrod veya esas metal üzerindeki yağ, gres ve üretim artıkları kaynak metaline hidrojen geçişini sağlayan tehlikeli menbalardır. Elektrod üreticileri temizlik gereğinin bilincinde olup, temiz elektrod sağlamak için gerekli tedbirleri alırlar. Kirlenme kullanma sırasında oluşabilir. Bu tür olasılıkların bilincinde olan kullanıcılar, özellikle sertleşebilen çeliklerin kaynağında, ciddi sorunlardan kaçınmak için gerekli tedbirleri alırlar. Bu bilinç alüminyumun kaynağı için de gereklidir. Burada problem hidrojen gevrekleşmesi olmamakla birlikte, katılaşmış alüminyumda hidrojenin çözülebilme yeteneğinin az olması nedeniyle ortaya çıkan gözenekliliktir (Eryürek, 2003).

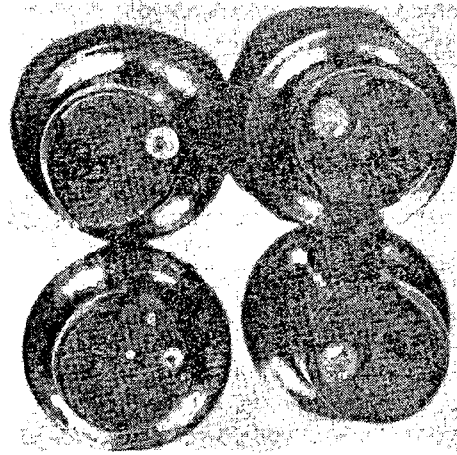
Su molekülü oluşturan kovalent bağ ancak 2700 °C’ de sıcaklıkta çözünür. Elektrik arkının 3600 °C’ ye varan sıcaklığı su molekülünü de parçalayabilecek enerjiye sahiptir. Dolayısıyla,

koruyucu gazda,kaynak yapılan yüzeylerde veya elektrod örtüsünde rutubet bulunması durumunda var olan su kısmen bileşenlerine parçalanarak hidrojen ve oksijene dönüşür.

Oksijen demirle yüksek sıcaklıkta derhal reaksiyona girerek bağımsızlığını yitirir. Fakat hidrojen ne demirle nede onun alaşım elementleri ile reaksiyona giremediğinden bünye içinde bir yabancı olarak varlığını sürdürür. Çelik bünyesine tek tek atomlar halinde dağılmış olan hidrojen radyografi ile veya diğer tahribatsız muayene yöntemleri ile algılamak mümkün değildir.

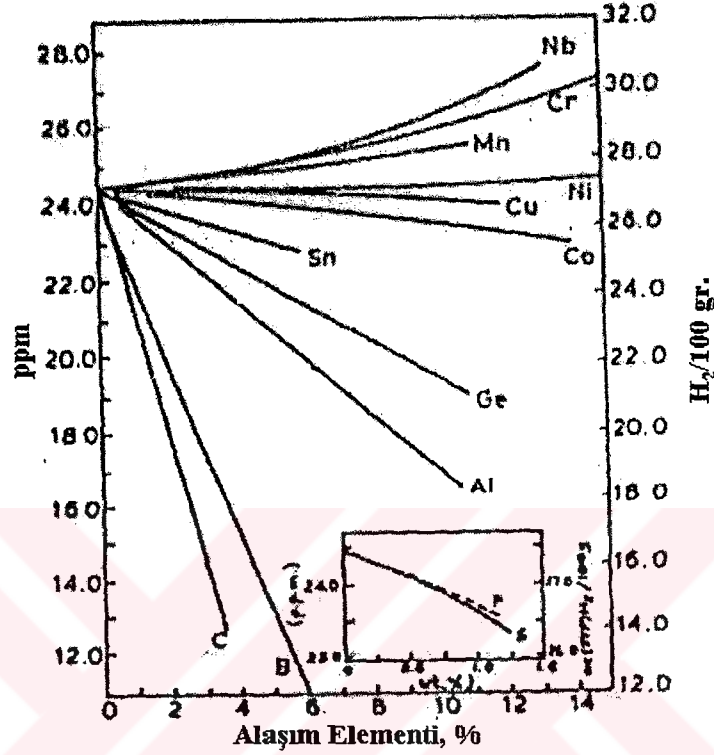
Elektrik arkında parçalanmayan su molekülleri ise buharlaşarak erimiş kaynak banyosuna sirayet edip, boşluklar oluşturur.

Atomik hidrojenin hızlı difüze olma özelliği, onun kaynağın yüzeyinden dışarı difüzyonunu sağlayabilir. Bununla birlikte bir kısmı ise kaynak metali veya ana metalin daha içine penetre olur. Penetre olan hidrojen dislokasyonlarda toplanarak molekül haline geçip hareketliliğini yitirirler ve bu bölgelerde gaz basıncı oluştururlar. Yayınan hidrojen atomları için malzemede mevcut üç eksenli gerilim bölgeleri, örneğin mikroskobik çatlakların uçları da birer çekim odaklarıdır. Böylelikle buralardaki mevcut olan yüksek bölgesel gerilim daha da artar, çatlağı büyümeye zorlar. Katılaşmış kaynak metalinde poroziteye, balık gözlerine ve ITAB' da çatlama gibi çeşitli problemlere yol açar (Şekil 5.1). Bütün bunların yanısıra yayınan hidrojen C ile birleşerek CH_4 metan gazı oluşturur; böylelikle boşluklar oluşur ve bölgesel yüksek gerilim noktaları ortaya çıkar. Malzemede iç gerilmeler var ise bütün bu oluşumlar daha da hızlanır. Bu yüzden gerilme giderme işlemi çeliğin hidrojene karşı dayanıklılığını arttıran yararlı bir önlemdir.



Şekil 5.1 Kopma yüzeyindeki belirgin balık gözleri (Yılmaz, 2001)

1600 °C' de erimiş demirde atomik hidrojenin çözünebilirliğine alaşım elementlerinin etkisi Şekil 5.2' de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi bor ve karbon çözünürlükte azalmaya sebep olmaktadır. Bu durum soğuk çatlama problemlerinde büyük öneme sahiptir.



Şekil 5.2 1592 °C' de demirin çeşitli ikili alaşımlarında hidrojenin çözünebilirliği (Yılmaz, 2001)

Diğer taraftan çelik bünyesinde Mo ve Cr elementlerinin varlığı metan oluşumunu frenler. Bunlara, çelikte karalılığı sağlayan stabilizatörler denir. Nitekim paslanmaz çelik fazla miktarda Cr içermesi nedeniyle yüksek sıcaklıklarda hidrojene karşı en fazla dirence sahip çelik türüdür. Ayrıca martenzitik fazla hidrojenin yayılması perlitik fazdakinden daha yavaş olur. Aynı şekilde mevcut alaşım elementleri de birer engeldir (Yılmaz, 2001).

5.1.2 Oksijen ve Azotla Kirlenme

Gaz kaynağında oksijen ve azotla kirlenme riski hidrojen kirlenmesine nazaran daha yüksektir. Koruyucu gaz tam anlamıyla soy değilse veya yeterli koruma sağlamıyorsa, bu elementler derhal atmosferden kaynak banyosuna geçerler. Burada oluşan oksitler ve nitrürler (Fe₄N) kaynak dikişinin çentik tokluğunu düşürür (Eryürek, 2003).

5.1.3 Esas Metalin Kirliliği

Gaz kaynağı kullanılırken esas metalin temizliği, tozaltı ve elektrik ark kaynağına nazaran daha önem kazanır. Bunun nedeni, elektrik ark kaynağında ve tozaltı kaynağında mevcut olan ve erimiş kaynak metalindeki oksitleri ve gaz oluşturan bileşikleri temizleyen dekapan bileşiklerinin bulunmayışıdır. Bu doğal olarak hem kaynak öncesi, hem de pasolar arası temizliğe özen göstermeyi gerektirir. Bu husus özellikle alüminyum için geçerlidir. Burada metal oksitlerin giderilmesi için ya kimyasal veya mekanik oksit giderme işlemleri veya her ikisi de kullanılır (Eryürek, 2003).

5.1.4 Yetersiz Ergime

Gaz kaynağında “kısa devre metal iletimi” ile çalışılırken ısı girdisinde azalma meydana gelir. Bu azalma esas metalde erime yetersizliğine neden olabilir. Düşük ısı girdisiyle çalışma ince sacların kaynağında ve pozisyon kaynağında yararlıdır. Ancak, uygun olmayan kaynak teknikleri özellikle kök bölgelerinde veya kaynak ağzı yüzeylerinde yetersiz ergimeye neden olabilir (Eryürek, 2003).

5.2 Kaynak Hataları

Gaz kaynağında oluşabilen kaynak hatalarından en çok rastlanılanları aşağıda açıklanmıştır:

- Yanma Oluğu
- Gözeneklilik
- Ergime Azlığı
- Yetersiz Nüfuziyet
- Aşırı Nüfuziyet (Kök Taşması)
- Kaynak Metali Çatlakları
- Isı Tesiri Altındaki Bölgedeki Çatlaklar

Çizelge 5.1 Çeşitli kaynak hatalarının nedenleri ve giderilmesi (Eryürek, 2003)

a) Yanma Oluğu		
<u>Olası Nedenleri</u>	<u>Giderilmesi</u>	
1- Kaynak hızı çok yüksek	Daha düşük kaynak hızı kullan.	
2- Kaynak gerilimi çok yüksek	Gerilimi azalt.	
3- Aşırı kaynak akımı	Elektrod besleme hızını düşür.	
4- Kalış zamanı yetersiz	Ergimiş kaynak banyosunun kenarında kalış zamanını ayarla	
5- Torç açısı	Ark kuvvetlerinin metalin yerleşmesine yardımcı olmalarını sağlayacak biçimde torç açısını değiştir.	
b) Gözeneklilik		
<u>Olası Nedenleri</u>	<u>Giderilmesi</u>	
1- Yetersiz gaz koruması	Gaz akışını en uygun değere getir. Kaynak bölgelerinden tüm havayı uzaklaştırmak için gaz akışını artır. Türbülansın kaçınmak ve havanın kaynak bölgesinde hapsolmesini önlemek için aşırı gaz akımını azalt. Gaz hattındaki kaçakları ortadan kaldır. Kaynak bölgesine doğru esen hava cereyanını (fanlar, kapı vb.) durdur. CO ₂ kaynağında ısıtıcıları kullanarak donmuş regülatörleri ısıt. Kaynak hızını azalt, meme-iş parçası mesafesini azalt. Kaynağın sonunda erimiş metal katılaşmaya kadar torcu tutmaya devam et.	
2- Koruyucu gazın kirlenmesi	Kaynak kalitesinde koruyucu gaz kullan.	
3- Elektrodun kirlenmesi	Sadece temiz ve kuru elektrod kullan.	
4- İş parçasının kirlenmesi	Kaynak öncesi iş parçası yüzeyinden tüm gres, yağ, boya, rutubet, pas ve kirleri temizle. Daha yüksek derecede deokside eden elektrod kullan.	
5- Ark gerilimi çok yüksek	Gerilimi azalt.	
6- Serbest elektrod uzunluğu fazla	Azalt.	

Çizelge 5.1 (Devamı)

c) Ergime Azlığı		
<u>Olası Nedenleri</u>	<u>Giderilmesi</u>	
1- Kaynak bölgesindeki yüzeyler film veya aşırı oksitlerden arınmış değil	Kaynaktan önce tüm ağız yüzeylerindeki ve kaynak bölgesi yüzeylerindeki hadde tufal kalıntılarını temizle.	
2- Yetersiz ısı girdisi	Elektrod besleme hızını ve ark gerilimini yükselt, serbest elektrod uzunluğunu azalt.	
3- Çok büyük bir kaynak banyosu	Daha denetlenebilir bir kaynak banyosu elde etmek için aşırı elektrod salınımından kaçın. Kaynak hızını artır.	
4- Yanlış kaynak tekniği	Salınım tekniği kullanılırken kaynak ağzının yüzeylerinde kısa sürelerle kal. Bağlantının köküne ulaşılabilir geçit sağla. Elektrodu kaynak banyosunun ön yüzüne doğru yönlendir.	
5- Yanlış bağlantı tasarımı	Uygun bir serbest elektrod uzunluğu ile kaynak ağzının dibine ve yan cidarlarına ulaşmaya yetecek büyüklükte ağız açısını kullan veya "J" ya da "U" ağız kullan.	
6- Aşırı kaynak hızı	Kaynak hızını azalt.	
d) Yetersiz Nüfuziyet		
<u>Olası Nedenleri</u>	<u>Giderilmesi</u>	
1- Yanlış bağlantı hazırlığı	Bağlantı tasarımı, serbest elektrod uzunluğunda kaynak ağzının dibine ulaşabilecek bir geçit sağlamalıdır. Aşırı kök yüksekliğini azalt. Alın kaynağında kök açıklığını arttır ve arka taraftaki oyukun derinliğini arttır.	
2- Yanlış kaynak tekniği	En yüksek nüfuziyete ulaşmak için elektrod açısının iş parçası yüzeyine dik olmasını sağla.	
3- Yetersiz kaynak akımı	Arkı kaynak banyosunun ön tarafına doğru tut. Elektrod besleme hızını (kaynak akımını)arttır.	

Çizelge 5.1 (Devamı)

e) Aşırı Nüfuziyet (Kök Taşması) 	
<u>Olası Nedenleri</u> 1- Aşırı ısı girdisi 2- Yanlış bağlantı hazırlığı	<u>Giderilmesi</u> Elektrod besleme hızını (kaynak akımını) ve gerilimi azalt. Kök aralığını azalt. Kök yüzeyinin boyutlarını arttır.

f) Kaynak Metali Çatlamları 	
<u>Olası Nedenleri</u> 1- Yanlış bağlantı tasarımı 2- Çok fazla dikiş genişliği/derinliği oranı 3- Çok küçük bir kaynak dikişi (özellikle iç köşe ve kök dikişlerinde) 4- Isı girdisi aşırı çekme ve distorsiyona neden olacak kadar yüksek 5- Sıcak çatlama 6- Bağlantı elemanlarında yüksek zorlanma 7- Bağlantının sonundaki kraterde hızlı soğuma	<u>Giderilmesi</u> Zorlanma şartlarına dayanıklı şekilde yeterli dolgu metali yığmaya yani kaynak kesitini arttırmaya imkan verecek uygun kaynak ağızı hazırla. Dikiş genişliğini arttırmak veya nüfuziyeti azaltmak için ya ark gerilimini arttır veya her ikisini de azalt. Yığılan metal kesitini arttırmak için kaynak hızını azalt. Ya akımı ya da gerilimi veya her ikisini de azalt. Kaynak hızını arttır. Yüksek mangan içeriğine sahip elektrod kullan (arktaki mangan kaybını en aza düzeye indirmek için daha kısa ark boyu kullan). Ağız açısını yeterli oranda dolgu metali ilavesi sağlamaya imkan verecek şekilde ayarla. Soğuma sırasında dikişe gelen zorlanmaları azaltmak için paso sırasını ayarla. İstenen özelliği sağlayan başka bir dolgu metali kullan. İç gerilmelerin şiddetini azaltmak için ön tavlama yap. Zorlanma şartlarını azaltmak için kaynak sırasını ayarla. Geri adım tekniği ile kraterleri ortadan kaldır.

Çizelge 5.1 (Devamı)

g) Isı Tesiri Altındaki Bölgedeki Çatlaklar	
<u>Olası Nedenleri</u> 1- Isı tesiri altındaki bölgede sertleşme 2- İç gerilmeler çok yüksek 3- Hidrojen gevrekleşmesi	<u>Giderilmesi</u> Ön tavlama yaparak soğuma hızını azalt. Gerilme giderme ısıl işlemini kullan. Temiz elektrod ve kuru koruyucu gaz kullan. Esas metaldeki kirleri temizle. Kaynağı soğumadan birkaç saat yüksek sıcaklıkta tut (hidrojenin yayınabilmesi için gerekli sıcaklık ve zaman esas metalin cinsine bağlı olarak değişir).

6. KORUYUCU GAZLARIN MALİYETLERİ

Çizelge 6.1’ deki gaz fiyat listesi Şubat 2005 tarihinde Birleşik Oksijen Sanayi A.Ş.’ den alınmıştır. Gaz ve gaz karışım maliyetleri, gaz fiyat listesi ve çeşitli malzemelerin kaynağı için kullanılan kaynak parametreleri tabloları (Çizelge 6.2-6.17) dikkate alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$t_k = \frac{L}{V_k} \quad (6.1)$$

Burada ;

t_k : kaynak süresi (dak)

L : kaynak dikişinin uzunluğu (m)

V_k : kaynak hızı (m/dak)

$$TGM = t_k \times Q \times GM \quad (6.2)$$

Burada ;

TGM : toplam gaz maliyeti (YTL)

Q : Gaz debisi (lt/dak)

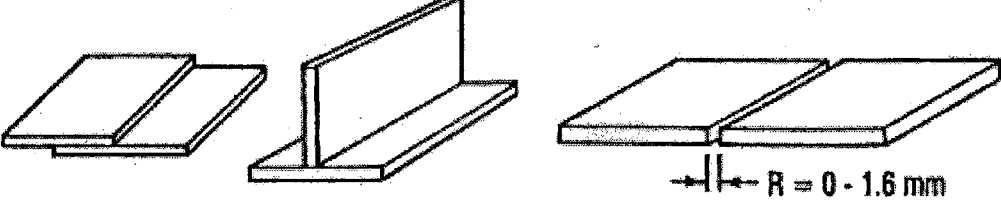
GM : Litre başına gaz maliyeti

Çizelge 6.1 Gaz maliyet tablosu (www.bos.com.tr)

Ürün İsmi	Birim Fiyat	Birim
Yüksek Saflıkta Argon	15	YTL/m ³
Saf Argon	10	YTL/m ³
Yüksek Saflıkta Helyum	29	YTL/m ³
Saf Karbondioksit	1	YTL/m ³
%99 Ar + %1 O ₂	7,7	YTL/m ³
%98 Ar + %2 O ₂	7,7	YTL/m ³
Ar + CO ₂	7,7	YTL/m ³
%75 He + %25 Ar	15	YTL/m ³
%98,5 Ar + %1,5 H ₂	10,4	YTL/m ³
%95 Ar + %5 H ₂	10,9	YTL/m ³
%97,5 Ar + %2,5 N ₂	13	YTL/m ³
%95 Ar + %5 N ₂	13	YTL/m ³
%92,5 Ar + %7,5 N ₂	13	YTL/m ³
%90 Ar + %10 N ₂	13	YTL/m ³

Ürün İsmi	Birim Fiyat	Birim
%85 Ar + %15 N ₂	13	YTL/m ³
%93 Ar + %5 CO ₂ + %2 O ₂	6,7	YTL/m ³
%86 Ar + %12 CO ₂ + %2 O ₂	6,7	YTL/m ³
%78 Ar + %20 CO ₂ + %2 O ₂	7	YTL/m ³
%85 He + %13,5 Ar + %1,5 CO ₂	13,7	YTL/m ³
%90 He + %7,5 Ar + %2,5 O ₂	37,5	YTL/m ³
%90 He + %7,5 Ar + %2,5 CO ₂	38	YTL/m ³

Çizelge 6.2-a Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin CO₂ koruması ile kısa devre iletimle yatay içköşe ve oluk alın kaynakları için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

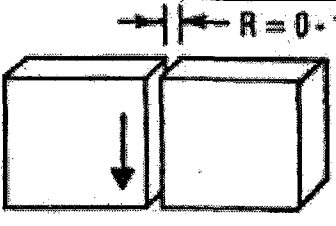
														
Levha Kalınlığı (mm)	0,6	0,9	0,9	1,5	1,5	1,9	1,9	2,6	2,6	3,4	3,4	3,4	4,8	6,4
Elektrod Çapı (mm)	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	1,9	3,2	2,5	4,4	3,8	5,7	4,4	7,0	5,4	7,6	6,4	3,2	3,8	5,0
Akım (A)	35	55	80	80	120	100	130	115	160	130	175	145	165	200
Kaynak Hızı (m/dak)	0,25	0,35	0,33	0,33	0,50	0,45	0,45	0,50	0,50	0,43	0,50	0,45	0,38	0,33
Gerilim* (DAEP)	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	18-20	19-21	20-22
Gaz Debisi (lt/dak)	12-17													
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	6-13													

*Ar/CO₂ karışımı için 2 volt azalt

Çizelge 6.2-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	12	0,25	0,002	0,096	1	17	0,25	0,002	0,136
		0,33		0,073			0,33		0,103
		0,35		0,069			0,35		0,097
		0,38		0,063			0,38		0,089
		0,43		0,056			0,43		0,079
		0,45		0,053			0,45		0,076
		0,5		0,048			0,5		0,068

Çizelge 6.3-a Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin CO₂ koruması ile kısa devre iletimle düşey aşağı içköşe ve düz alın kaynakları için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

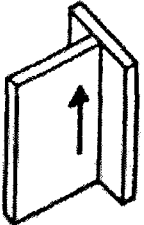
 												
Levha Kalınlığı (mm)		0,6	1,2	1,2	1,9	1,9	3,4	3,4	3,1	3,4	4,8	6,4
Elektrod Çapı (mm)		0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)		1,9	3,8	3,2	5,7	4,4	7,6	6,4	3,2	3,8	3,8	5,0
Akım (A)		35	70	100	100	130	130	175	145	165	165	200
Kaynak Hızı (m/dak)		0,25	0,38	0,48	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,43	0,43	0,43
Gerilim* (DAEP)		17	18	18	20	20	22	22	19	20	20	21
Gaz Debisi (lt/dak)		12-17										
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)		6-13										

*Ar/CO₂ karışımı için 2 volt azalt

Çizelge 6.3-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	12	0,25	0,002	0,096	1	17	0,25	0,002	0,136
		0,38		0,063			0,38		0,089
		0,43		0,056			0,43		0,079
		0,48		0,050			0,48		0,071
		0,5		0,048			0,5		0,068

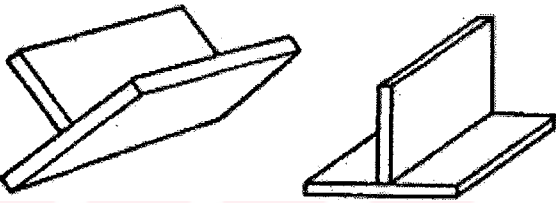
Çizelge 6.4-a Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin %75 Ar + %25 CO₂ gaz koruması ile kısa devre iletimle düşey-yukarı içköşe kaynağında kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Teknik : V salınımı veya üçgen salınımı kullan 					
Levha Kalınlığı (mm)		7,9	7,9	9,5	9,5
Ayak Uzunluğu (mm)		6,4	6,4	7,9	7,9
Elektrod Çapı (mm)		0,9	1,1	0,9	1,1
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)		5,7	3,8	6,4	3,8
Akım (A)		160	165	175	165
Gerilim (DAEP)		18	19	20	19
Kaynak Hızı (m/dak)		0,13-0,15	0,10-0,13	0,10-0,11	0,10-0,11
Gaz Debisi (lt/dak)		12-17			
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)		6-13			

Çizelge 6.4-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	12	0,1	0,0077	0,924	1	17	0,1	0,0077	1,309
		0,11		0,840			0,11		1,190
		0,13		0,711			0,13		1,007
		0,15		0,616			0,15		0,873

Çizelge 6.5-a Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin %98 Ar + %2 O₂ gaz koruması ile spray iletimle oluk ve yatay kaynakları için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Teknik: Sola kaynak kullan 													
Levha Kalınlığı (mm)	4,8	6,4	6,4	7,9	7,9	7,9	7,9	9,5	9,5	9,5	12	12	
Ayak Uzunluğu (mm)	4,0	4,8	4,8	6,4	6,4	6,4	6,4	7,9	7,9	7,9	9,5	9,5	
Elektrod Çapı (mm)	0,9	0,9	1,1	0,9	1,1	1,3	1,6	0,9**	1,1	1,6	1,3	1,6	
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	9,5*	10*	8,9	12,7	9,5	8,1	6,0	15,2	12	6,0	12,3	6,0	
Akım (A)	195	200	285	290	300	320	350	300	335	350	430	350	
Gerilim (DAEP)	21	22	26	27	27	26	25	28	28	25	30	25	
Kaynak Hızı (m/dak)	0,6	0,48	0,63	0,35	0,45	0,45	0,48	0,25	0,33	0,30	0,33	0,23	
Gaz Debisi (lt/dak)	17-21												
Yıgma Hızı (kg/saat)	2,8	2,9	4,3	3,7	4,6	5,3	5,6	4,4	5,8	5,6	7,9	5,6	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19-25												

* Gerçek spray iletim değildir.

** Sadece oluk pozisyonu içindir.

Çizelge 6.5-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	17	0,23	0,0077	0,569	1	21	0,23	0,0077	0,703
		0,25		0,524			0,25		0,647
		0,3		0,436			0,3		0,539
		0,33		0,397			0,33		0,490
		0,35		0,374			0,35		0,462
		0,45		0,291			0,45		0,359
		0,48		0,273			0,48		0,337
		0,6		0,218			0,6		0,270
		0,63		0,208			0,63		0,257

Çizelge 6.6-a Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin %98 Ar + %2 O₂ gaz koruması ile spreyletimle oluk-alın bağlantılarının kaynakları için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Teknik: Sola kaynak kullan				
Elektrod Çapı (mm)	0,9	1,1	1,3	1,6
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	12,7-15,2	9,5-12,7	7,6-12,3	5,3-7,4
Akım (A)	290-300	300-340	320-430	325-430
Gerilim (DAEP)	27-28	27-28	29-31	24-27
Kaynak Hızı (m/dak)	0,25-0,38	0,30-0,45	0,35-0,60	0,35-0,58
Gaz Debisi (lt/dak)	19-21			
Yığılma Hızı (kg/saat)	3,7-4,4	4,6-6,12	4,9-7,9	5,8-6,8
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19-25			

Çizelge 6.6-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	19	0,25	0,0077	0,585	1	21	0,25	0,0077	0,647
		0,3		0,488			0,3		0,539
		0,35		0,418			0,35		0,462
		0,38		0,385			0,38		0,426
		0,45		0,325			0,45		0,359
		0,58		0,252			0,58		0,279
		0,6		0,244			0,6		0,270

Çizelge 6.7-a Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin darbeli iletimle oluk ve yatay içköşe birleştirmelerinde kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Teknik: Sola kaynak kullan				
Levha Kalınlığı (mm)	6,4	7,9	9,5	
Ayak Uzunluğu (mm)	4,8	6,4	7,9	
Elektrod Çapı (mm)	1,1			
Gerilim Ar + %5 CO₂ (DAEP)	23-24	24-25	27-28	
Ar + %10 CO₂	24,5-25,5	25,5-26,5	28-29	
Ar + %20-25 CO₂	28-29	28,5-30	30-31	

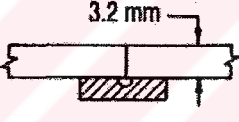
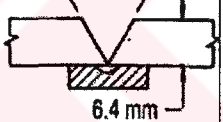
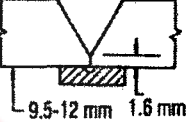
Çizelge 6.7-a (devamı)

Kaynak Hızı (m/dak)	0,33-0,36	0,31-0,33	0,23-0,25
Elektrod Besleme Hızı (m/dak.)	7,6	8,3	9,5
Yığıma Hızı (kg/saat)	3,6	4,0	4,5
Gaz Debisi (lt/dak)	17-19		
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19-25		

Çizelge 6.7-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	17	0,23	0,0077	0,569	1	19	0,23	0,0077	0,636
		0,25		0,524			0,25		0,585
		0,31		0,422			0,31		0,472
		0,33		0,397			0,33		0,443
		0,36		0,364			0,36		0,406

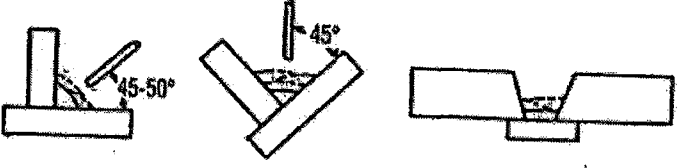
Çizelge 6.8-a AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin Ar + %1 O₂ gaz koruması ile spreyletimle kaynağında kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

			
Levha Kalınlığı (mm)	3,2	6,4	9,5-12
Elektrod Çapı (mm)	1,6	1,6	1,6
Akım (A)	225	275	300
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	3,6	4,4	6,0
Kaynak Hızı (m/dak)	0,48-0,53	0,38	0,51
Gerekli Elektrod (kg/100 m)	1,0	2,6	3,8
Gaz Debisi (lt/dak)	17-19		

Çizelge 6.8-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	17	0,38	0,0077	0,344	1	19	0,38	0,0077	0,385
		0,48		0,273			0,48		0,305
		0,51		0,257			0,51		0,287
		0,53		0,247			0,53		0,276

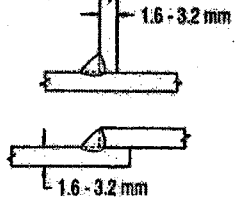
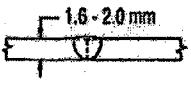
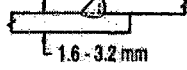
Çizelge 6.9-a Paslanmaz çeliklerin %90 Ar + %2 O₂ gaz koruması ile yatay ve oluk içköşe ve oluk alın kaynaklarında spray iletimde kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Teknik: Sola kaynak kullan Hareket açısı: 5°				
				
0,9 mm Elektrod				
Levha Kalınlığı (mm)	4,8	6,4	7,9 ve Üstü	
Elektrod Çapı (mm)	0,9	0,9	0,9	
Elektrod Besleme Hızı (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	
Kaynak Hızı (m/dak)	0,46-0,48	0,28-0,30	0,25-0,28	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13	13	13	
Gaz Debisi (lt/dak)	14	14	14	
1,1 mm Elektrod				
Levha Kalınlığı (mm)	4,8	6,4	7,9 ve Üstü	
Elektrod Çapı (mm)	1,1	1,1	1,1	
Elektrod Besleme Hızı (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	
Kaynak Hızı (m/dak)	0,43-0,48	0,38-0,46	0,36-0,38	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19	19	19	
Gaz Debisi (lt/dak)	19	19	19	
1,6 mm Elektrod				
Levha Kalınlığı (mm)	4,8	6,4	7,9	9,5 ve Üstü
Elektrod Çapı (mm)	1,6	1,6	1,6	1,6
Elektrod Besleme Hızı (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
Kaynak Hızı (m/dak)	0,48-0,58	0,58-0,64	0,41	0,41
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19	19	19	19
Gaz Debisi (lt/dak)	19	19	19	19

Çizelge 6.9-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	14	0,25	0,0077	0,431	1	19	0,25	0,0077	0,585
		0,28		0,385			0,28		0,523
		0,3		0,359			0,3		0,488
		0,36		0,299			0,36		0,406
		0,38		0,284			0,38		0,385
		0,41		0,263			0,41		0,357
		0,43		0,251			0,43		0,340
		0,46		0,234			0,46		0,318
		0,48		0,225			0,48		0,305
		0,58		0,186			0,58		0,252
		0,64		0,168			0,64		0,229

Çizelge 6.10-a AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin %90 He + %7,5 Ar + %2,5 O₂ gaz koruması ile kısa devre iletimle kaynağı için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Ar + %2 O ₂ için gerilimi 6 V azalt. Ar + %25 CO ₂ için gerilimi 5 V azalt.						
						
Levha Kalınlığı (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
Elektrod Besleme Hızı (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
Gerekli Elektrod Miktarı (kg/100 m)	0,35	0,47	0,54	0,64	0,32	0,54
Gaz Debisi (lt/dak)	7-9,5					

*Ar + %2 O₂ için gerilimi 6 V azalt

*Ar + %25 CO₂ için gerilimi 5 V azalt

Çizelge 6.10-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	7	0,29	0,0375	0,905	1	9,5	0,29	0,0375	1,228
		0,32		0,820			0,32		1,113
		0,33		0,795			0,33		1,080
		0,36		0,729			0,36		0,990
		0,38		0,691			0,38		0,938
		0,41		0,640			0,41		0,869
		0,43		0,610			0,43		0,828
		0,48		0,547			0,48		0,742
		0,53		0,495			0,53		0,672

Çizelge 6.11-a Paslanmaz çeliklerin %90 He + %7,5 Ar + % 2,5 CO₂ gaz koruması ile kısa devre iletimli yatay, oluk ve düşey aşağı doğru içköşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi) (Eryürek, 2003)

Teknik:

Sola kaynak kullanı

Hareket açısı: 5°

0,9 mm Elektrod

Levha Kalınlığı (mm)	1,2	1,5	1,9	
Elektrod Çapı (mm)	0,9	0,9	0,9	
Elektrod Besleme Hızı (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	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13			
Gaz Debisi (lt/dak)	14			
Levha Kalınlığı (mm)	2,7	3,5	4,8	6,4
Elektrod Çapı (mm)	0,9	0,9	0,9	0,9
Elektrod Besleme Hızı (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
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13			
Gaz Debisi (lt/dak)	14			

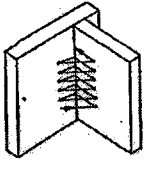
1,1 mm Elektrod

Levha Kalınlığı (mm)	2,7	3,5	4,8	6,4
Elektrod Çapı (mm)	1,1	1,1	1,1	1,1
Elektrod Besleme Hızı (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
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13			
Gaz Debisi (lt/dak)	14			

Çizelge 6.11-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	14	0,25	0,038	2,128
		0,3		1,773
		0,33		1,612
		0,36		1,478
		0,38		1,400
		0,41		1,298
		0,46		1,157
		0,48		1,108
		0,51		1,043
		0,53		1,004
		0,53		1,004

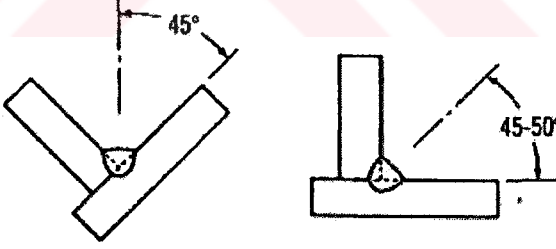
Çizelge 6.12-a Paslanmaz çeliklerin %90 He + %7,5 Ar + % 2,5 CO₂ gaz koruması ile kısa devre iletimle aşağıdan yukarıya doğru içköşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ERXXX LSi) (Eryürek, 2003)

Teknik: Sağa kaynak kullan Hareket açısı: 5°	
	
Levha Kalınlığı (mm)	6,4
Elektrod Çapı (mm)	0,9
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	4,4
Gerilim (DAEP)	21,5
Akım (A)	90
Kaynak Hızı (m/dak)	0,10
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13
Gaz Debisi (lt/dak)	14

Çizelge 6.12-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	14	0,1	0,038	5,320

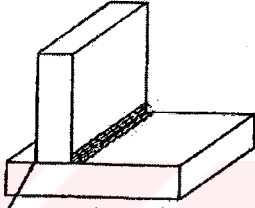
Çizelge 6.13-a Paslanmaz çeliklerin %98 Ar + %2 O₂ gaz koruması ile darbeli iletimle oluk ve yatay içköşe kaynakları için kaynak değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi) (Eryürek, 2003)

Teknik: Sola kaynak kullan					
					
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				
Elektrod 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
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	9,5-13				
Gaz Debisi (lt/dak)	12-19				
Hareket Açısı (derece)	0-5				
Kaynak Hızı (m/dak)	1,9	2,3	2,5	3,4	3,8

Çizelge 6.13-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)	L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL)	TGM (YTL)
1	12	1,9	0,0077	0,049	1	19	1,9	0,0077	0,077
		2,3		0,040			2,3		0,064
		2,5		0,037			2,5		0,059
		3,4		0,027			3,4		0,043
		3,8		0,024			3,8		0,039

Çizelge 6.14-a Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Elektrod: 5356 Bağlantı tipi: İçköşe Kaynak boyutu: 3,2-12 mm Pozisyon: Yatay  max. kök açıklığı 1.6 mm 3.2 mm kalınlık için max. 0.8 mm							
Levha Kalınlığı (mm)	3,2	4,8	6,4	7,9	7,9	9,5	12
Ayak Uzunluğu (mm)	3,2	4,8	6,4	7,9	7,9	9,5	12
Paso	1	1	1	1	1	1	1-3
Elektrod Çapı (mm)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6
Akım (A)	145	190	215	240	240	260	270
Gerilim (DAEP)	19	21	22	24	23	24	24
Kaynak Hızı (m/dak)	0,86	0,76	0,58	0,46	0,43	0,38	0,43-0,76
Argon Debisi (lt/dak)	17	19	19	19	19	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	12	12	12	16	16	16

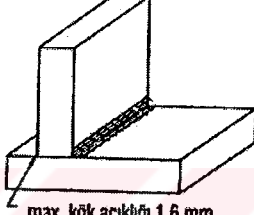
Çizelge 6.14-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Safılıkta Ar)	TGM (YTL)
1	17	0,38	0,01	0,447	0,015	0,671
		0,43		0,395		0,593
		0,46		0,370		0,554
		0,58		0,293		0,440
		0,76		0,224		0,336
		0,86		0,198		0,297

Çizelge 6.14-b (devamı)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Saflıkta Ar)	TGM (YTL)
1	19	0,38	0,01	0,500	0,015	0,750
		0,43		0,442		0,663
		0,46		0,413		0,620
		0,58		0,328		0,491
		0,76		0,250		0,375
		0,86		0,221		0,331

Çizelge 6.15-a Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Elektrod: 4043 Bağlantı tipi: İçköşe Kaynak boyutu: 3,2-12 mm Pozisyon: Yatay							
							
Levha Kalınlığı (mm)	3,2	4,8	6,4	7,9	7,9	9,5	12
Ayak Uzunluğu (mm)	3,2	4,8	6,4	7,9	7,9	9,5	12
Paso	1	1	1	1	1	1-2	1-3
Elektrod Çapı (mm)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6
Akım (A)	140	190	215	230	230	255-260	270-280
Gerilim (DAEP)	20	23	24	24	24	24-25	23-24
Kaynak Hızı (m/dak)	0,91	0,69	0,51	0,41	0,41	0,51	0,41-0,51
Argon Debisi (lt/dak)	14	17	17	17	17	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	12	12	12	16	16	16

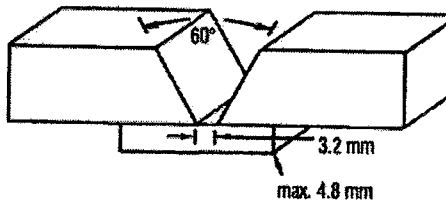
Çizelge 6.15-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Saflıkta Ar)	TGM (YTL)
1	14	0,41	0,01	0,341	0,015	0,512
		0,51		0,275		0,412
		0,69		0,203		0,304
		0,91		0,154		0,231
L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Saflıkta Ar)	TGM (YTL)
1	17	0,41	0,01	0,415	0,015	0,622
		0,51		0,333		0,500
		0,69		0,246		0,370
		0,91		0,187		0,280

Çizelge 6.15-b (devamı)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Safılıkta Ar)	TGM (YTL)
1	19	0,41	0,01	0,463	0,015	0,695
		0,51		0,373		0,559
		0,69		0,275		0,413
		0,91		0,209		0,313

Çizelge 6.16-a Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Elektrod: 5356 Bağlantı tipi: Alın Pozisyon: Oluk 							
Levha Kalınlığı (mm)	3,2	4,8	6,4	7,9	7,9	9,5	12
Paso	1	1-2	1-2	1-2	1-2	1-3	1-3
Elektrod Çapı (mm)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,6
Akım (A)	180-185	215-220	240	250-255	250-255	265-270	270-275
Gerilim (DAEP)	20-21	21-23	23-24	24-25	23-24	22-24	22-23
Kaynak Hızı (m/dak)	1,2	0,89-1,2	0,66-0,76	0,60	0,46-0,48	0,56-0,81	0,41-0,60
Argon Debisi (lt/dak)	17	19	19	19	19	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	12	12	12	16	16	16

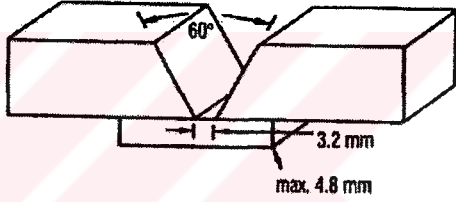
Çizelge 6.16-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Safılıkta Ar)	TGM (YTL)
1	17	0,41	0,01	0,415	0,015	0,622
		0,46		0,370		0,554
		0,48		0,354		0,531
		0,56		0,304		0,455
		0,6		0,283		0,425
		0,66		0,258		0,386
		0,76		0,224		0,336
		0,81		0,210		0,315
		0,89		0,191		0,287
		1,2		0,142		0,213

Çizelge 6.16-b (devamı)

L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Saflıkta Ar)	TGM (YTL)
1	19	0,41	0,01	0,463	0,015	0,695
		0,46		0,413		0,620
		0,48		0,396		0,594
		0,56		0,339		0,509
		0,6		0,317		0,475
		0,66		0,288		0,432
		0,76		0,250		0,375
		0,81		0,235		0,352
		0,89		0,213		0,320
		1,2		0,158		0,238

Çizelge 6.17-a Alüminyumun kaynağı için kaynak değişkenleri (Eryürek, 2003)

Elektrod: 4043 Bağlantı tipi: Alın Pozisyon: Oluk					
					
Levha Kalınlığı (mm)	4,8	6,4	7,9	9,5	12
Paso	1-2	1-2	1-3	1-3	1-3
Elektrod Çapı (mm)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Akım (A)	230	250	260	270	270
Gerilim (DAEP)	22-23	22-23	23-25	23-25	23-25
Kaynak Hızı (m/dak)	0,61-0,91	0,61	0,76	0,51-0,76	0,30-0,51
Argon Debisi (lt/dak)	17	19	19	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	16	16	16	16

Çizelge 6.17-b Paso başına düşen gaz maliyeti (1 metre kaynak dikişi için)

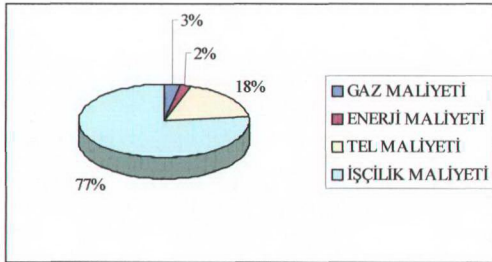
L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Saflıkta Ar)	TGM (YTL)
1	17	0,3	0,01	0,567	0,015	0,850
		0,51		0,333		0,500
		0,61		0,279		0,418
		0,76		0,224		0,336
		0,91		0,187		0,280

Çizelge 6.17-b (devamı)

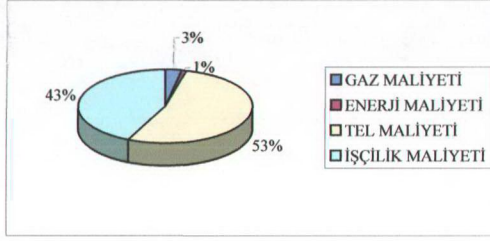
L (m)	Q (lt/dak)	Vk (m/dak)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Saf Ar)	TGM (YTL)	Litre Başına Gaz Maliyeti (YTL) (Y. Safıktaki Ar)	TGM (YTL)
1	19	0,3	0,01	0,633	0,015	0,950
		0,51		0,373		0,559
		0,61		0,311		0,467
		0,76		0,250		0,375
		0,91		0,209		0,313

Çizelge 6.2-6.17 gösterildiği gibi koruyucu gazla kaynak uygulamalarında gaz maliyeti, toplam maliyetin kabaca %3-4' lük bir kısmını oluşturur. Gaz maliyeti, toplam maliyet üzerinde önemli bir yer kaplamazken diğer maliyet unsurlarının artmasını veya azalmasını etkileyen önemli bir unsurdur. Örneğin %100 CO₂ kullanımı ile derin ve geniş kaynak dikişleri elde edilmesine rağmen yüksek CO₂ oranı ile aşırı sıçrıntılı bir kaynak oluşturur ve yüzeyde oluşan oksit tabakası nedeniyle kötü kaynak yüzeyi görünümü elde edildiğinden işçilik ve tel maliyeti artırır. Ayrıca %100 CO₂ gazı kullanımı yerine Ar – CO₂ karışım gazı kullanımı işçilik maliyetini yaklaşık %10 azaltır. Koruyucu gaza helyum ilavesi kaynak hızında artışa imkan tanıdığından zamandan ve dolayısıyla işçilikten tasarruf sağlanmaktadır. Bundan dolayı ucuz gaz yerine malzeme türüne bağlı olarak istenen mekanik, metalurjik özelliklere ve kaynak pozisyonuna en uygun gaz karışımı seçilmelidir.

Az alaşımlı çeliklerin kaynağında toplam üzerinde en fazla etkili olan işçilik maliyetidir (%77) ve sırasıyla tel, gaz ve enerji maliyetidir (Şekil 6.1). Paslanmaz çeliklerin kaynağında ise toplam maliyet üzerinde en fazla etkili olan tel maliyetidir (%53) ve sırasıyla işçilik, gaz ve enerji maliyetidir (Şekil 6.2) (Irving, 1999).



Şekil 6.1 Az alaşımlı çeliklerin kaynağında maliyet yüzdeleri (Irving, 1999)



Şekil 6.2 Paslanmaz çeliklerin kaynağında maliyet yüzdeleri (Irving, 1999)

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Deneyin Amacı

Koruyucu gaz kaynak uygulamalarında koruyucu gazlar kaynak dikişinin şeklini, kimyasal ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli kaynak parametrelerinden birisidir. Her koruyucu gazın avantajı olduğu gibi dezavantajı da bulunur. Örneğin, argon gibi asal gazla küçük oranlarda dahi CO_2 ve/veya O_2 ilavesi kaynak dikiş formunu önemli derecede etkiler. Bu karışım gazları, kaynak metalindeki oksijen oranını ve dolayısıyla oksijen potansiyeli artırır. Kaynak metalindeki oksijen oranına bağlı olarak kaynak dikişinin derinliği veya genişliği artar. Bunun yanı sıra bu karışımlar kaynak dikişlerinin yüzeylerinde, tungsten elektrotta oksit tabakasının oluşmasına, dikişin mekanik özelliklerinin düşmesine ve koruyucu gaz içinde artan CO_2 oranı istenilen nüfuziyet özelliklerini vermesine karşın sıçrama kaybının artmasına neden olur. CO_2 ve O_2 bu dezavantajları işçilik ve tel maliyetini artırır.

Lu, Fujii ve Nogi (2004) yaptıkları çalışmada; $\varnothing 1,6$ mm çapına sahip %2 toryum alaşımlı tungsten elektrotla TIG kaynak yöntemini ve argona çok küçük oranlarda CO_2 ve O_2 ilaveli karışım gazları ($\text{Ar} + \%0,1-1,0 \text{ O}_2$ ve $\text{Ar} + \%0,092-1,0 \text{ CO}_2$) kullanarak elde edilen kaynak dikiş formları ile yüzey gerilimi arasında ilişki kurmuşlardır. Bu ilişkiye göre, kaynak dikişindeki kritik oksijen oranının 100 ppm' dir. Bu değerin altında oksijen içeren kaynak metallerinde yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı negatif, bu değerin üstünde ise pozitifdir. Yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı pozitif ise Marangoni ısı yayılımını içeri doğru olur ve derin ve dar kaynak dikişleri elde edilir, yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı negatif olduğunda ise Marangoni ısı yayılımını dışarı doğru olur ve geniş ve sıg kaynak dikişleri elde edilir.

Bu deneysel çalışmada, Lu, Fujii ve Nogi' nin deneylerinde kullanılan kaynak parametreleri kullanılarak, argon gazına CO_2 veya O_2 ilavesi yapmadan saf argon gazı ve $\varnothing 2,4$ mm çapına sahip %1 toryum alaşımlı tungsten elektrod ile kaynak akımının artırılmasıyla hem geniş hem de derin kaynak dikişleri elde edilmeye çalışılmıştır.

7.2 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Parametreler

Deneysel çalışmalarda Invertec marka V 270-T model TIG kaynağı makinesi (Şekil 7.1), $100*60*10$ mm boyutunda sertifikalı 304 kalite paslanmaz çelik malzeme ve ER 308L kalite paslanmaz kaynak teli kullanılmıştır. Plakanın ve kaynak telinin kimyasal bileşimi Çizelge 7.1' de, diğer kaynak parametreleri Çizelge 7.2' de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Deneyde kullanılan TIG kaynak makinası

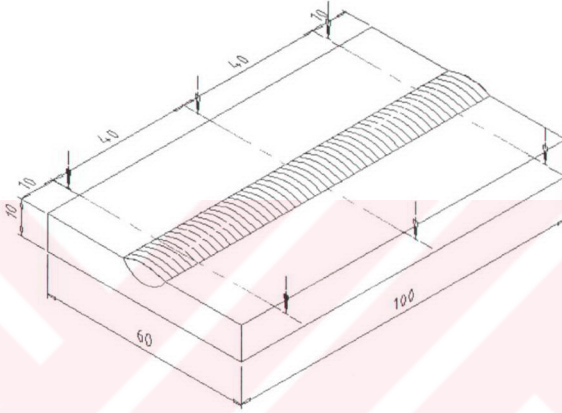
Çizelge 7.1 Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

Malzeme Türü	Kimyasal Analiz Değerleri (%)						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
304	0,08	2,00	1,00	18,0-20,0	8,0-10,5	0,045	0,03
ER 308L	0,03	2,00	1,00	19,0-21,0	10,0-12,0	0,045	0,03

Çizelge 7.2 Kaynak parametreleri

Elektrod Tipi	%1 toryumlu tungsten elektrod
Tungsten Elektrod Çapı (mm)	2,4
Kaynak Teli Çapı (mm)	2,4
Koruyucu Gaz	Saf argon
Koruyucu Gaz Debisi (L/dak.)	10

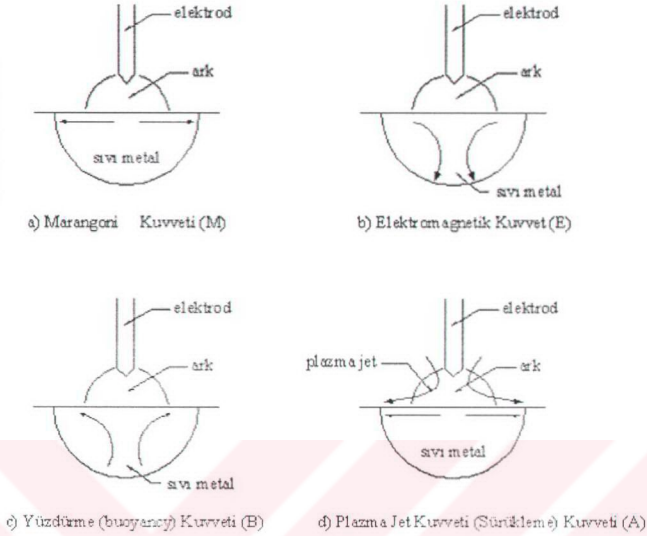
Deneyleerde, Çizelge 7.2’ deki parametreler sabit tutularak 7 farklı kaynak akımı (140 A, 150A, 160 A, 170 A, 180 A, 190 A) ile TIG kaynak yöntemi kullanılarak sac plakalar üzerine tek pasolu dolgu kaynağı yapılmıştır. Kaynak dikiş boyutlarının incelenmesinde doğru sonuçlar alabilmek için her numune Şekil 7.2’ deki gibi üç parçaya kesilmiştir ve makroyapı fotoğrafları Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)’ nda çektilirilmişştir. Kaynak dikişlerinin boyutlandırılmasında üç kesitin ortalaması alınmıştır.



Şekil 7.2 Deney parçalarının boyutları ve makroyapı incelemesi için numunelerin hazırlanma şekli

7.3 Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Sıvı kaynak banyosunda karıştırma hareketine tesir eden dört kuvvet vardır. Bu kuvvetlerin sebep olduğu hareketler şematik olarak Şekil 7.3’ de gösterilmiştir. Bu dört temel kuvvet aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



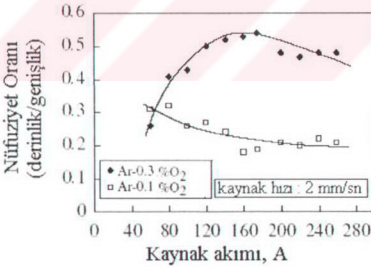
Şekil 7.3 Kaynak banyosunda etkili olan kuvvetler ve bu kuvvetlerin sebep olduğu metal hareketleri (Çalış,1999)

a) Marangoni, termokapiler veya yüzey gerilimi kuvvetleri: Bu kuvvet kısaca M harfi ile gösterilir. Sıvı metaldeki sıcaklık gradyeni (sıvı havuzun merkez ve kenarlarındaki sıcaklık farkı) ve sıvı metalde çözülmüş yüzey aktif element miktarına bağlı olarak iki ayrı karıştırma hareketinden biri gerçekleşir. Yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı ($d\sigma/dT$) oranı karıştırma hareketinin yönünü ve hızını tayin eder. Paslanmaz çeliklerin kaynak metalindeki kritik oksijen oranı 100 ppm' dir. Bu değerin altında yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı negatiftir ve yüzey gerilimi artan sıcaklık ile azalır. Kaynak banyosundaki Marangoni kuvveti dışarı doğru olur ve geniş ve sıg kaynak dikişleri elde edilir. 100 ppm' nin üzerinde oksijen içeren kaynak banyolarında yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı pozitif, yüzey gerilimi artan sıcaklık ile artar. Kaynak banyosundaki Marangoni kuvveti içeri doğru olur ve dar ve derin kaynak dikişleri elde edilir (Çalış, 1999).

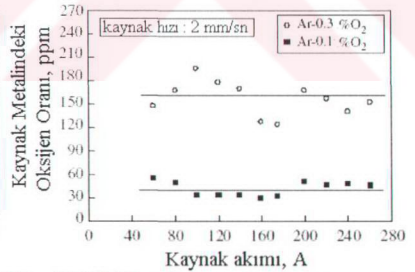
Kaynak akımı direkt olarak ısı girdisini ve kaynak alanını değiştirir. Yüzey gerilimi yüzey aktif elementlerinin (oksijen, selenyum, kükürt vb.) yanısıra sıcaklık dağılımına da bağlıdır. Yüksek kaynak akımları, kaynak banyosu üzerinde yüksek pik sıcaklıklarının oluşumuna öncülük eder.

Kaynak dikişindeki oksijen oranı 160 ppm civarında olduğunda yüzey gerilimi sıcaklık katsayısının pozitiften negatife geçmesi için kritik sıcaklık yaklaşık olarak 2200 K' dir. Yüksek kaynak akımlarında pik sıcaklığı 2200 K' nin üzerine çıkmakta ve banyo merkezinde içeri ve dışarı Marangoni kuvveti birlikte bulunmaktadır. Yüksek kaynak akımlarında banyo merkezinde dışarı doğru olan Marangoni kuvveti, içeri doğru olan Marangoni kuvvetini zayıflatmış için artan kaynak akımı ile birlikte içeri olan kuvvet azalır. Bundan dolayı kaynak dikişindeki oksijen oranı kritik değerden fazla olduğunda düşük kaynak akımlarında çalışılırsa, kaynak dikişinin derinlikteki artış genişlikteki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı (derinlik/genişlik) artar. Ancak yüksek kaynak akımlarına geçildiğinde kritik sıcaklığın (2200 K) üzerine çıkılacağından dolayı kaynak dikişinin genişliğindeki artış, derinliğindeki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı (derinlik/genişlik) azalır (Şekil 7.4).

Kaynak dikişindeki oksijen oranı 100 ppm' den daha düşükse yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı her zaman negatiftir. Ancak dikişteki oksijen oranı 40 ppm civarında ve sıcaklık 1950 K' nin altında ise banyo kenarlarında içeri doğru çok küçük Marangoni kuvveti mevcuttur. Bundan dolayı kaynak dikişindeki oksijen oranı 40 ppm civarında olduğunda, düşük kaynak akımlarında çalışılırsa sıcaklık 1950 K' nin altında olur ve nüfuziyet oranı başlangıçta yüksektir. Ancak kaynak akımı arttırıldıkça sıcaklık 1950 K' nin üzerine çıkacağından dışarı doğru olan Marangoni kuvveti artar ve artan kaynak akımı ile nüfuziyet oranı azalır (Şekil 7.4) (Lu vd., 2004).



Şekil 7.4 Nüfuziyet oranı üzerinde kaynak akımının etkisi (Lu vd., 2004)



Şekil 7.5 Kaynak dikişindeki oksijen oranı üzerinde kaynak akımının etkisi (Lu vd., 2004)

Yüzey gerilimi için Lu, Fujii ve Nogi (2004) tarafından aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$\sigma_{y.g} = \frac{d\sigma}{dT} \frac{dT}{dr} = 3,5 \times 10^4 \times \frac{\mu^{2,27}}{\alpha_1^{0,27} \times \rho^{1,27}} \times \frac{L_1^{1,53}}{r^{3,53}} \times 9,8 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (7.1)$$

Burada;

$\frac{d\sigma}{dT}$: yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı,

$\frac{dT}{dr}$: kaynak banyosunun yüzeyindeki sıcaklık gradyeni,

μ : dinamik viskozite (kg/m.san),

α_1 : sıvı metalin termal yayılma gücü (m²/san.),

ρ : yoğunluk (kg/m³),

L_1 : kaynak banyosunun uzunluğu. Az veya hiç aktif element içermeyen geniş ve sığ kaynak banyoları için kaynak banyosunun yüzey yarıçapı alınabilir, aktif element içeren derin ve dar kaynak banyoları için kaynak banyosunun derinliği olarak alınabilir.

r : kaynak banyosunun yüzey yarıçapı

b) Elektromagnetik kuvvet: Bu kuvvet E harfi ile gösterilir. Kaynak işlemlerinde sıvı kaynak metalinden akım geçtiği için bir magnetik alan oluşur. Bu magnetik alan ile geçen akımın karşılıklı etkileşimi sonucunda oluşan kuvvete elektromagnetik kuvvet denir. Elektromagnetik kuvvetinin şiddeti akım yoğunluğu ile magnetik akım yoğunluğuna bağlıdır. Bu kuvvet kaynak banyosunun merkezinden derinliğine doğru karıştırma hareketi yapar (Şekil 7.3) (Çalış, 1999).

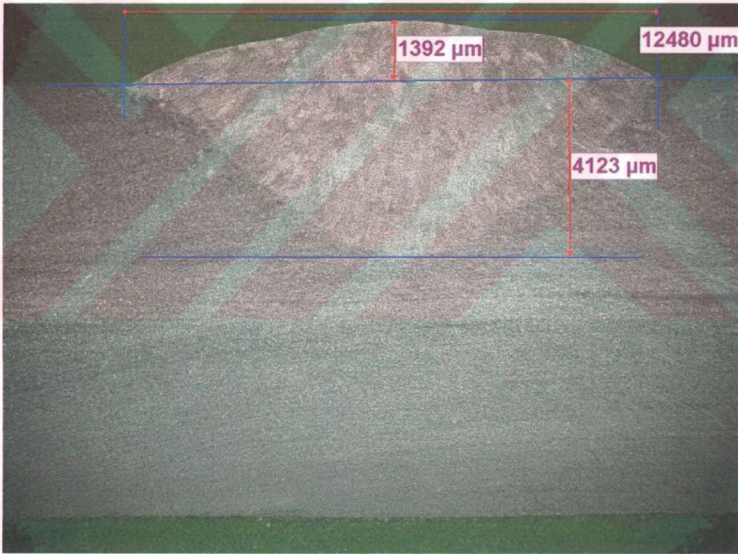
c) Yüzdürme (buoyancy) kuvveti: Bu kuvvet B harfi ile gösterilir. Sıvı metallerde yoğunluk, sıcaklık ile değişir. Sıvının sıcaklığı arttıkça atomlar arası mesafe arttığından yoğunluk azalmaktadır. Kaynak banyosu içerisinde sıcaklık gradyeni olduğundan sıvının yoğunluğu heterojenlik gösterir. Sıvıdaki bu yoğunluk farkı buoyancy kuvvetinin oluşumuna sebep olur. Kaynak banyosunun merkezinde dipten yüzeye metal hareketi meydana gelir (Çalış, 1999).

d) Koruyucu gaz akımının neden olduğu sürüklenme M kuvveti: Bu kuvvet A harfi ile gösterilir. Bu kuvvet sıvı metal yüzeyinde merkezden kenarlara doğru metal hareketine sebep

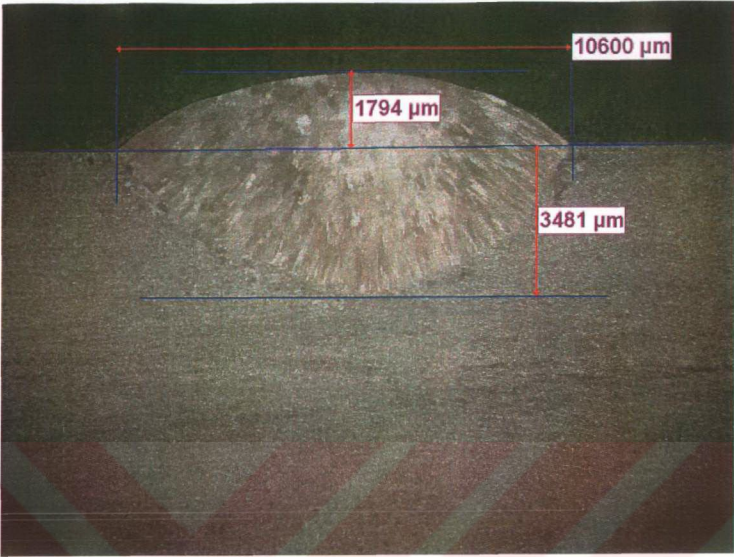
olur (Şekil 7.3).

Mills, bu kuvvetleri metal hareketine yaptığı etkinlik derecesine göre $M>E>A>B$ olarak sınıflandırmıştır. En etkin kuvvetin Marangoni kuvveti olduğunu ifade etmiştir. Mills, ayrıca B yüzme kuvvetinin 10 mm' den daha derin kaynak banyolarında etkin olduğunu belirtmiştir. Matsunawa ise kısa ark boyu ile kaynak yapılması halinde elektromagnetik kuvvetin en etkin kuvvet olduğunu göstermiştir. Sürüklemeye kuvvetinin (A) ise uzun ark boyu ile kaynak yapıldığında etkin hale geldiğini göstermiştir. Oreper, Zacharia, Ushio ve Kou, TIG kaynağında Marangoni kuvvetinin etkin kuvvet olduğunu göstermiştir. TIG kaynağında çok yüksek kaynak akımlarında kaynak yapılması halinde sürüklemeye kuvvetinin önem kazandığı Kim tarafından açıklanmıştır (Çalış, 1999).

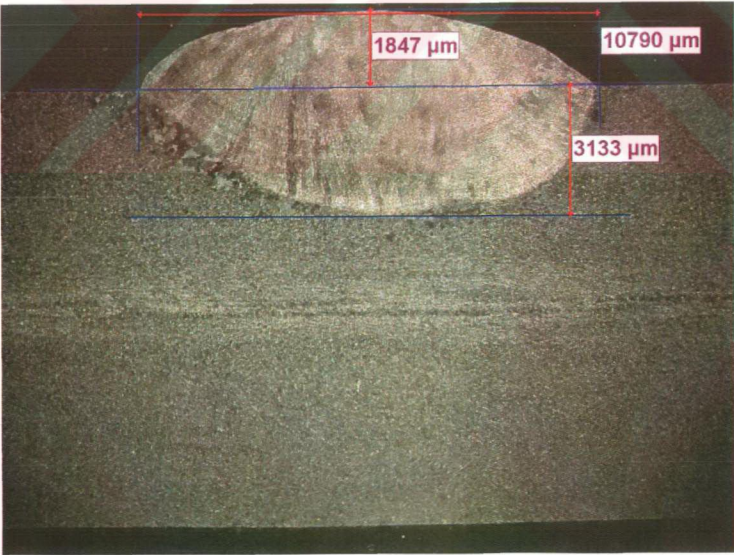
Şekil 7.6' de deneysel çalışma sonucu elde edilen kaynak dikişlerinin makroyapıları görülmektedir.



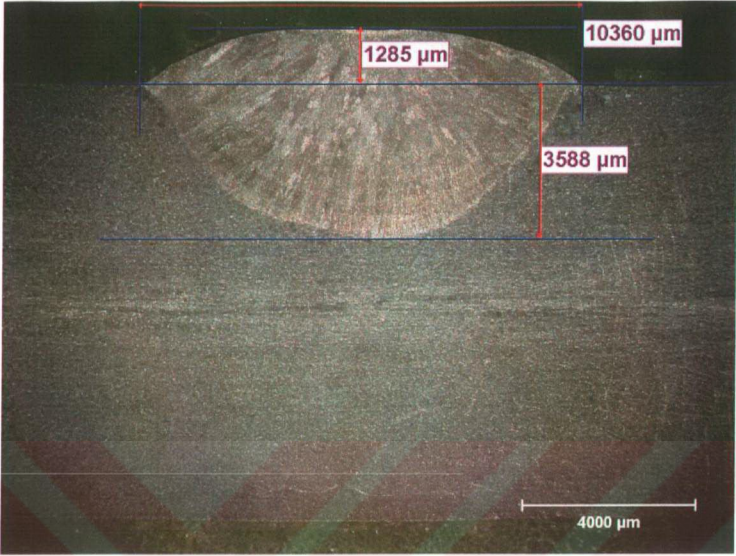
Şekil 7.6-a 140 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı



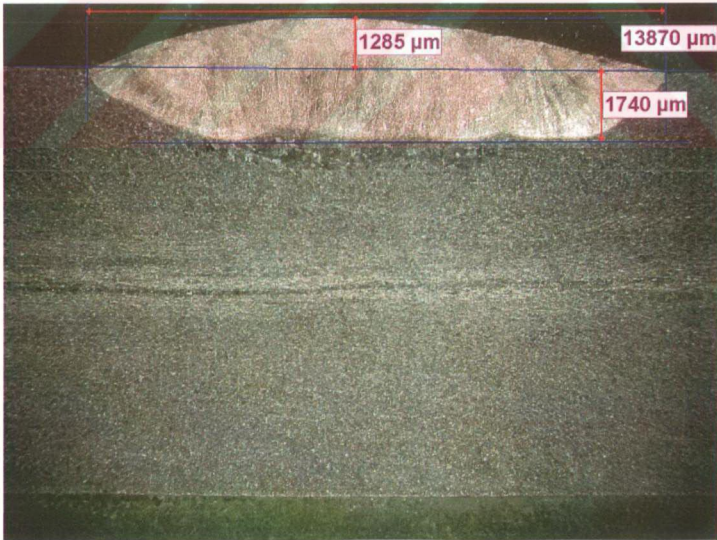
Şekil 7.6-b 150 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı



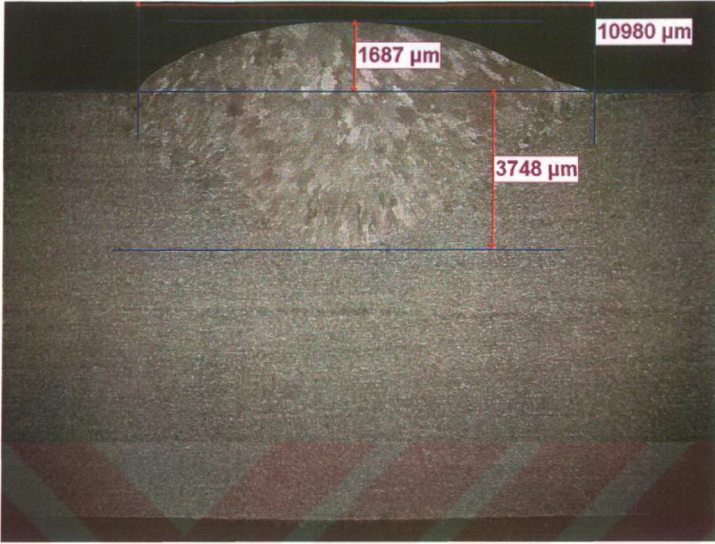
Şekil 7.6-c 160 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı



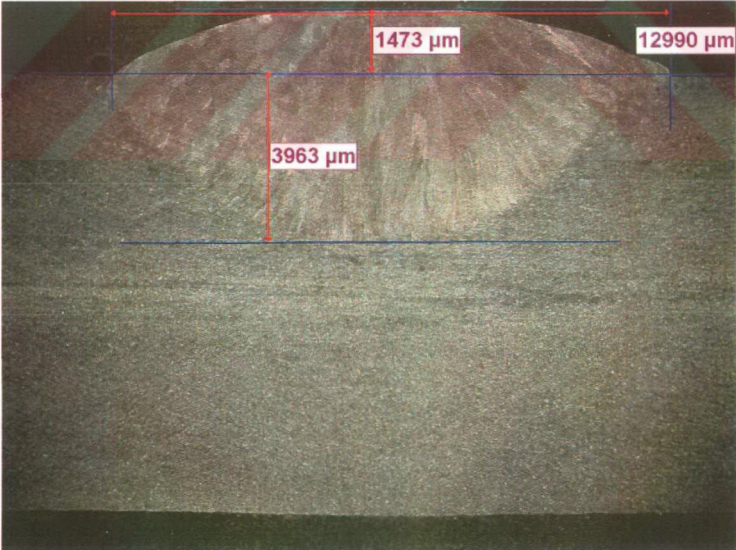
Şekil 7.6-d 170 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı



Şekil 7.6-e 180 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı



Şekil 7.6-f 190 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı



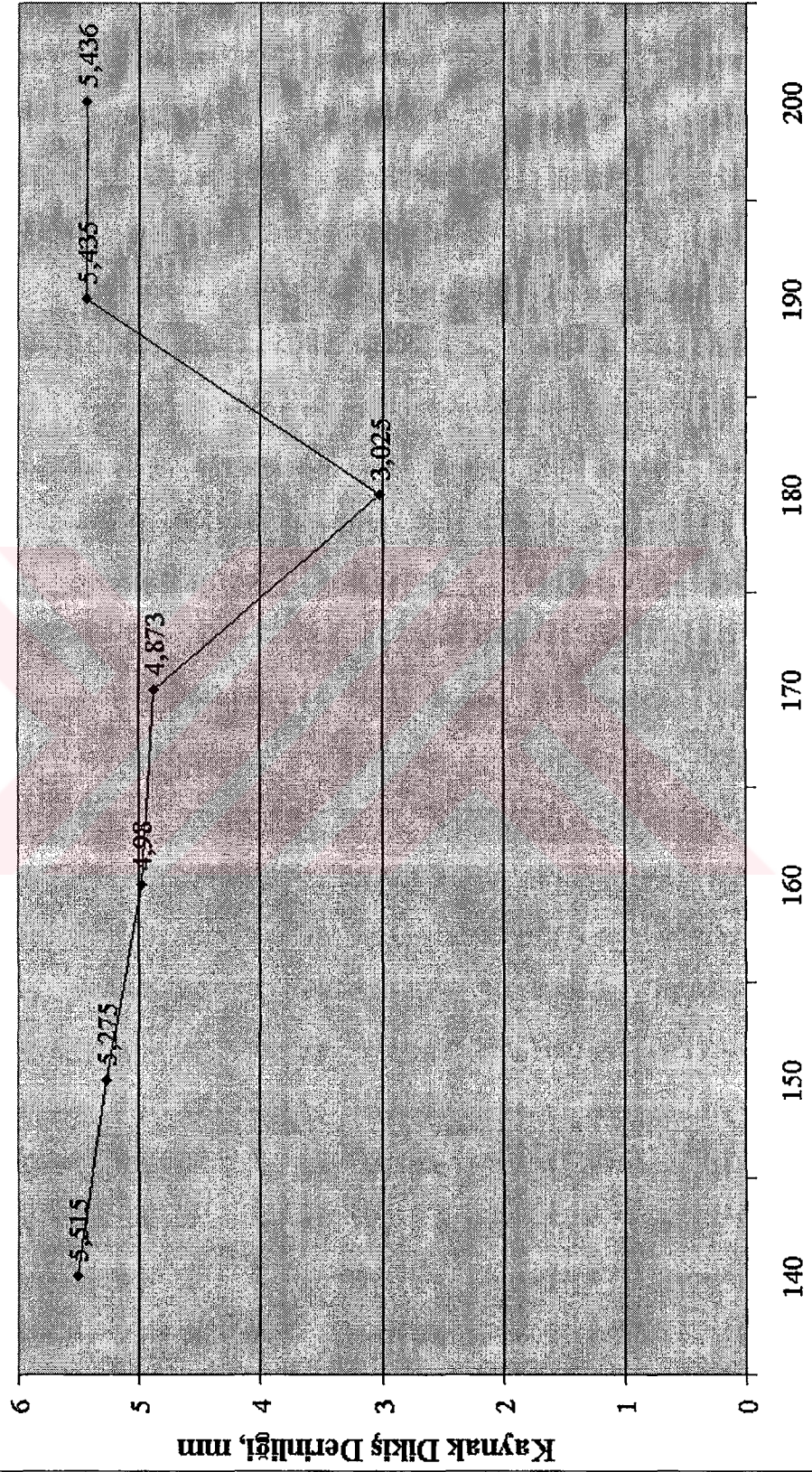
Şekil 7.6-g 200 A kaynak akımında elde edilen kaynak dikişinin makroyapısı

Deneysel çalışmada saf argon gazı kullanıldığı için kaynak metalindeki oksijen oranı, kritik oksijen oranı olan 100 ppm' nin altında ve yüksek kaynak akımları kullanıldığından sıcaklık 1950 K' nin üzerindedir. Oksijen oranı 100 ppm' nin altında olduğundan yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı negatiftir. Yani sıcaklığın artması ile yüzey gerilimi azalır ve kaynak dikişinin kenarındaki yüzey gerilimi, merkezdeki yüzey geriliminden büyük olduğundan dolayı merkezden kenara doğru bir ısı akışı oluşur. Bunu sonucunda kaynak dikişinin genişliğindeki artış , derinliğindeki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı azalır (Şekil 7.6, 7.7, 7.8, 7.9).



Çizelge 7.3 Farklı kaynak akımlarında elde edilen kaynak dikiş derinlikleri

Akım, A	140	150	160	170	180	190	200
Derinlik, mm	5,515	5,275	4,98	4,873	3,025	5,435	5,436

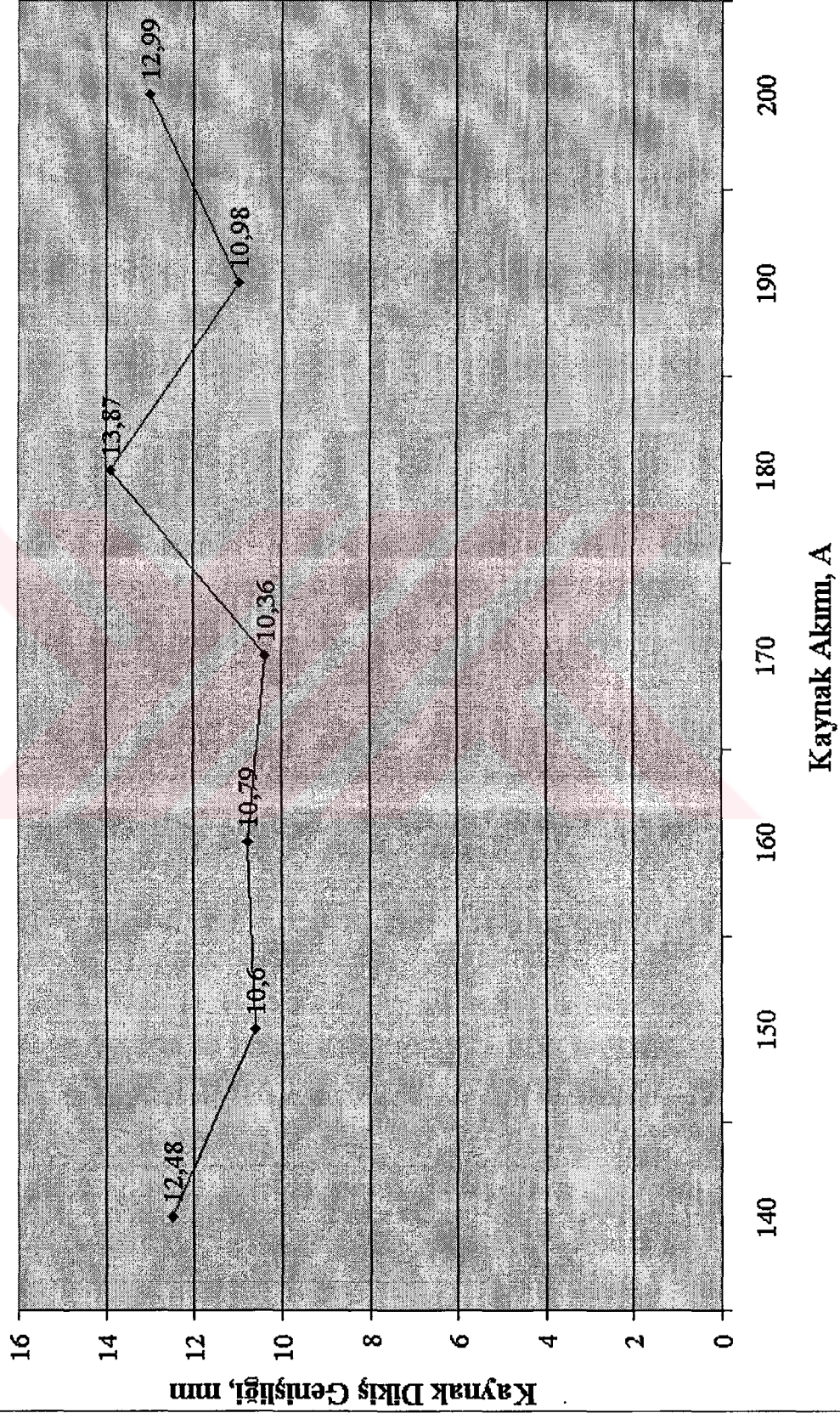


Kaynak Akımı, A

Şekil 7.7 Kaynak akımının kaynak dikiş derinliği üzerindeki etkisi

Çizelge 7.4 Farklı kaynak akımlarında elde edilen kaynak dikiş genişlikleri

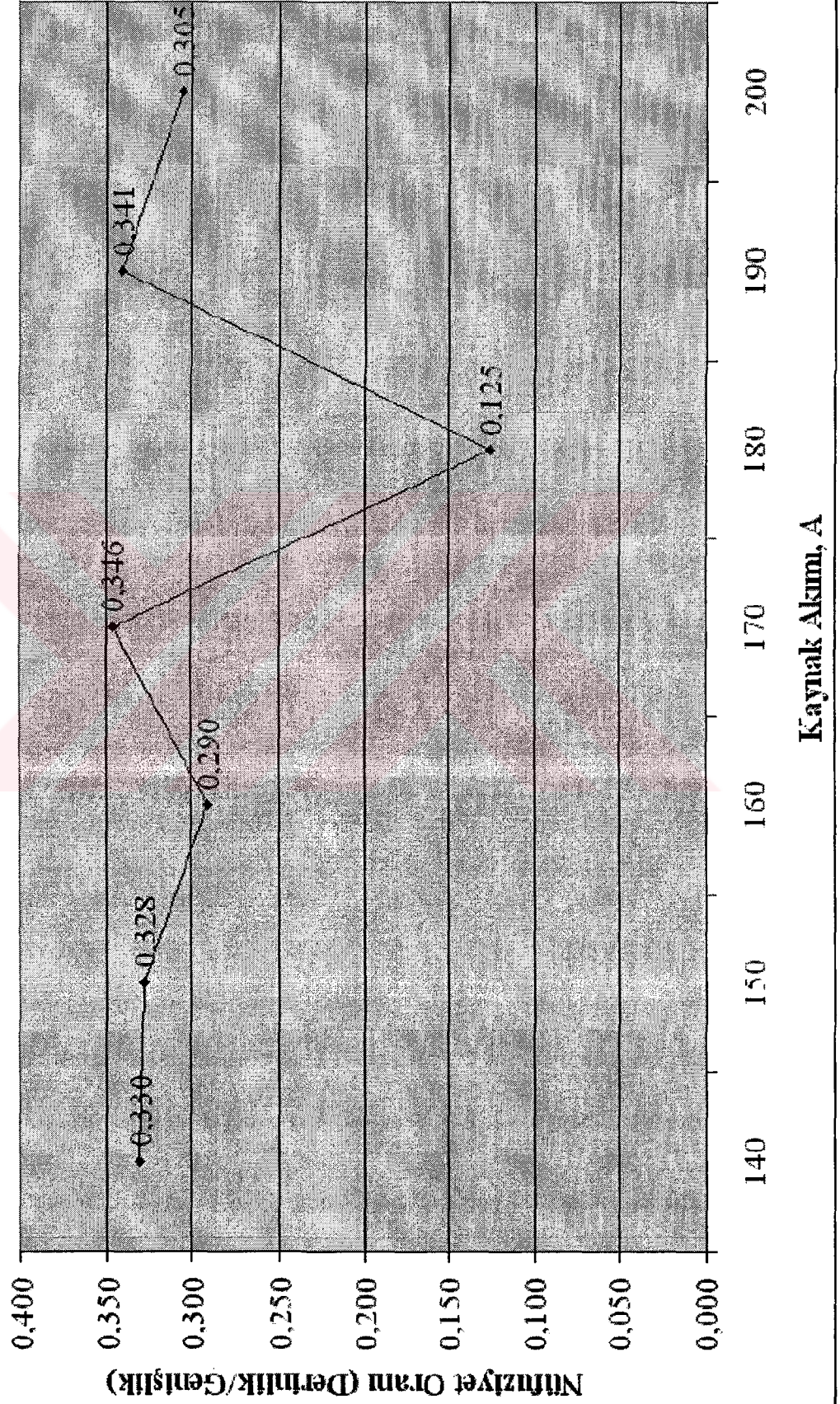
Akım, A	140	150	160	170	180	190	200
Genişlik, mm	12,48	10,6	10,79	10,36	13,87	10,98	12,99



Şekil 7.8 Kaynak akımının kaynak dikiş genişliği üzerindeki etkisi

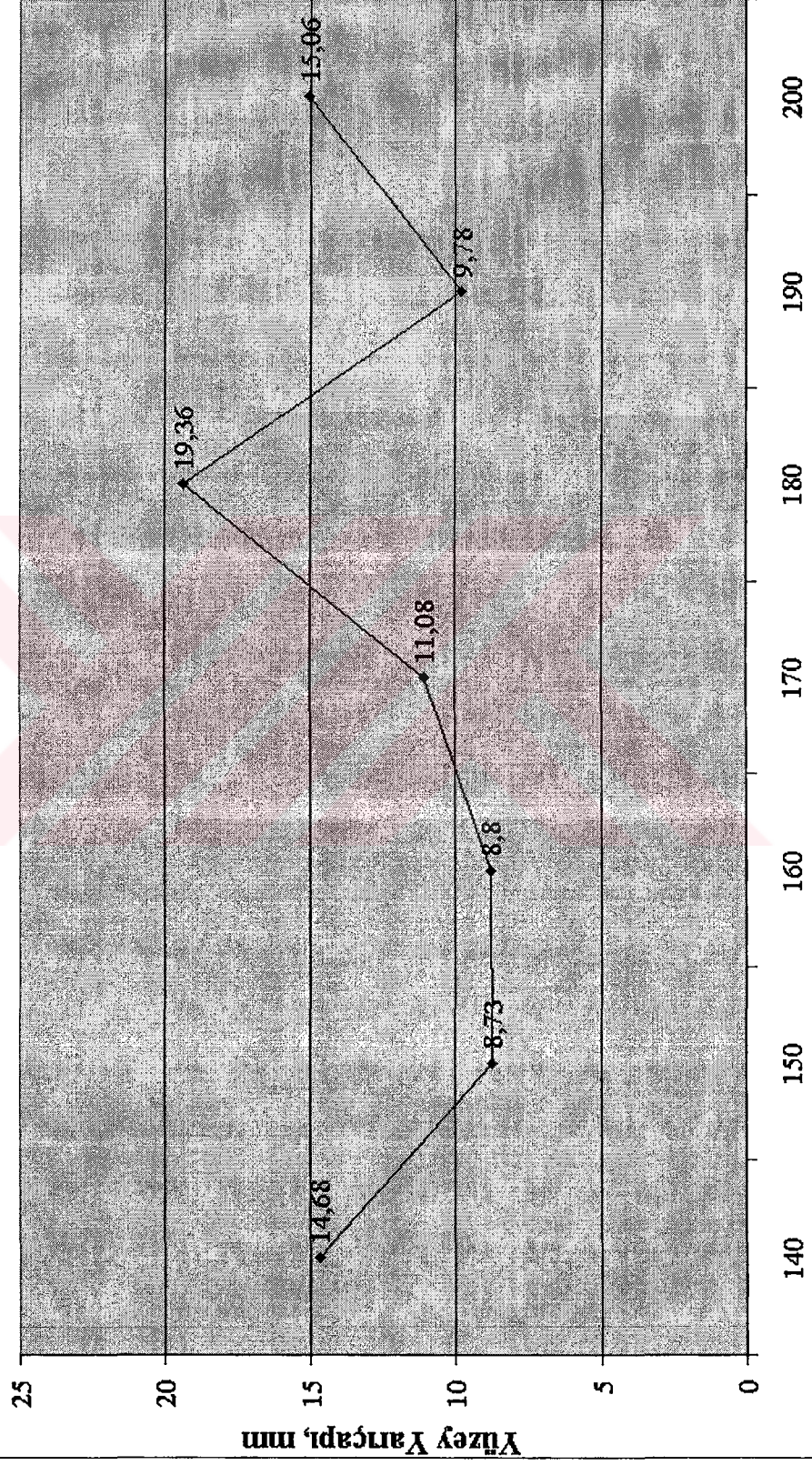
Çizelge 7.5 Farklı kaynak akımlarında elde edilen nüfuziyet oranları

Akım, A	140	150	160	170	180	190	200
Nüfuziyet Oranı	0,33	0,32	0,29	0,346	0,125	0,341	0,305



Çizelge 7.6 Farklı kaynak akımlarında elde edilen yüzey yarıçapları

Akımı, A	140	150	160	170	180	190	200
Yüzey yarıçapı, mm	14,68	8,73	8,8	11,08	19,36	9,78	15,06

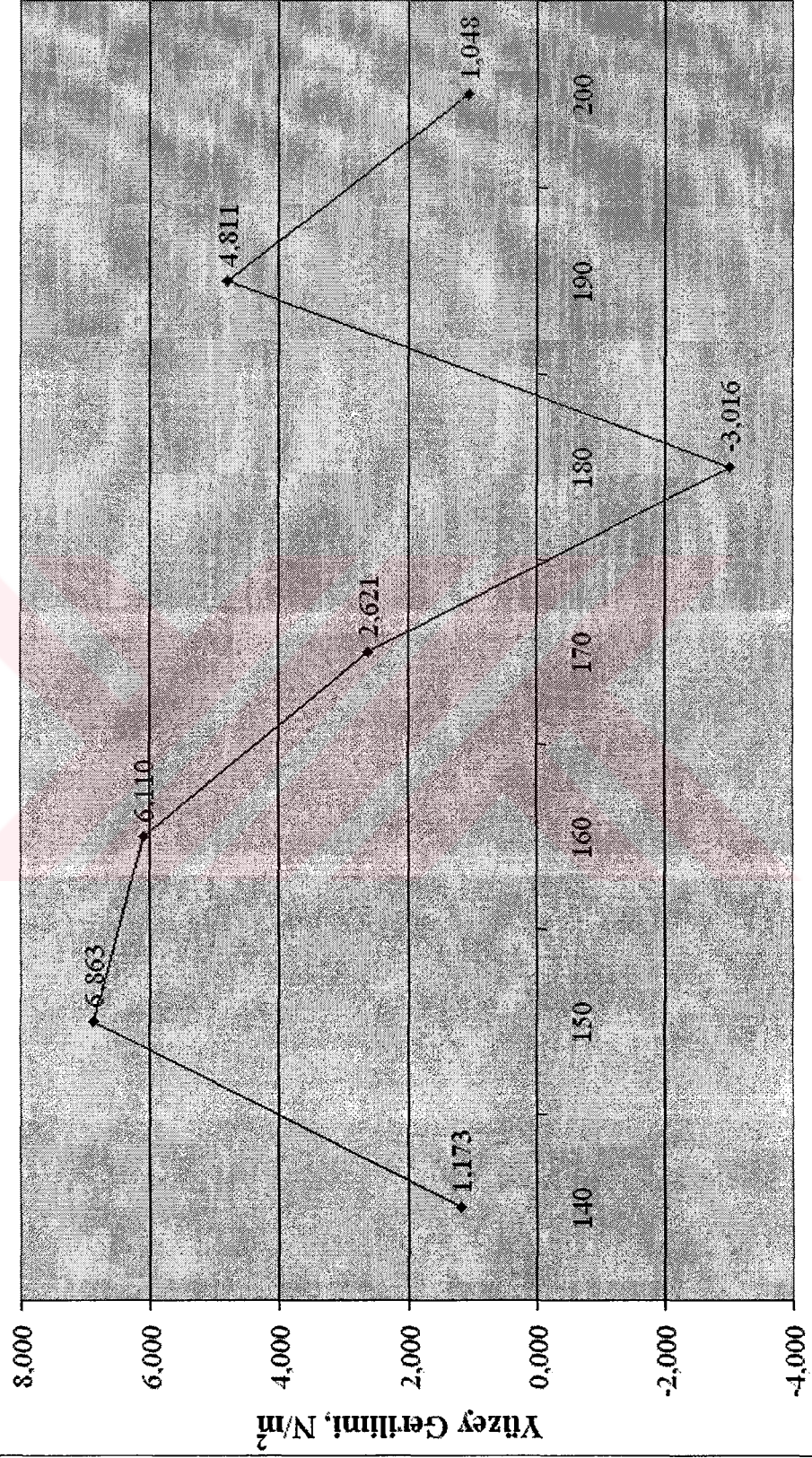


Kaynak Akımı, A

Şekil 7.10 Kaynak akımının yüzey yarıçapı üzerindeki etkisi

Çizelge 7.7 Farklı kaynak akımlarında elde edilen yüzey gerilmeleri

Akım, A	140	150	160	170	180	190	200
Yüzey Gerilimi, N/mm^2	1,173	6,863	6,110	2,621	-3,016	4,811	1,048



Kaynak Akımı, A

Şekil 7.11 Kaynak akımının yüzey gerilimi üzerindeki etkisi

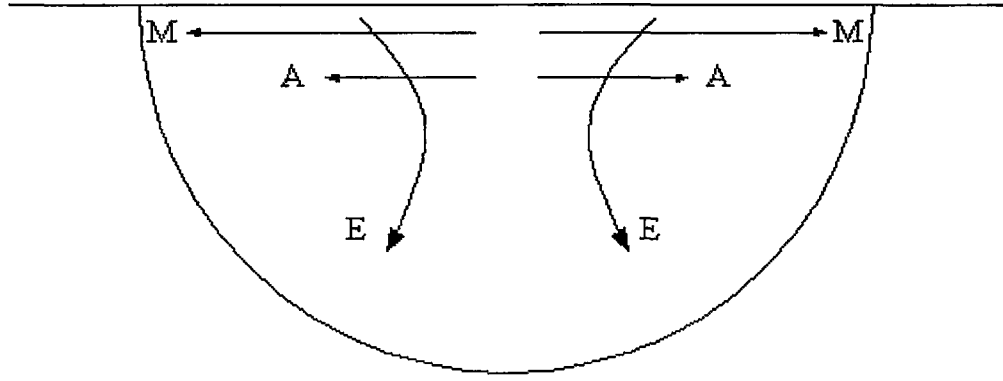
Çizelge 7.8 304 kalite paslanmaz çeliğin termal özellikleri

Yoğunluk, ρ (kg/m³)	7200
Dinamik viskozite, μ (kg/m.san)	0,006
Sıvı metalin termal yayılma gücü, α_1 (m²/san)	$3,9 \times 10^{-6}$

Kaynak dikişlerinin yüzey gerilim değerleri Çizelge 7.3, 7.6 ve 7.8’ deki değerler gözönüne alınarak (7.1) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 7.7’ te ve yüzey geriliminin kaynak akımına bağlı değişim eğrisi Şekil 7.11’ da gösterilmiştir. Derin ve dar kaynak metalllerinde yüzey geriliminin pozitif (+), geniş ve sığ kaynak metalllerinde ise negatiftir (-). 180 A’ de yapılan deneyde geniş ve sığ kaynak metali elde edildiği için yüzey geriliminin negatiftir.

Kaynak akımının artması ile kaynak dikişinin derinliği ve genişliği (küçük sapmalar hariç) artar. Yüzey gerilimi, (7.1) eşitliğine göre kaynak dikişinin derinliğinin 1,53. kuvveti ile doğru, yüzey yarıçapının 3,53. kuvveti ile ters orantılıdır. Kaynak akımı arttıkça dikişin genişliği arttığından yüzey yarıçapı da artar (Şekil 7.10). Yüzey yarıçapının artması ile yüzey gerilimi azalır ve kaynak metalinin genişliği artar. Yüzey gerilimin artması ile kaynak metalinin derinliği artar.

Kaynak dikişinin şekillenmesinde, Marangoni kuvvetinin yanısıra elektromagnetik kuvvet, sürüklenme kuvveti yüzdürme kuvveti de etkilidir (yüzdürme kuvveti, derinliği 10 mm’ den daha fazla olan kaynak banyolarında etkilidir). Kaynak akımının artması ile birlikte elektromagnetik kuvvet de artar. Koruyucu gaz akımından dolayı sürüklenme kuvveti mevcuttur ve gaz debisi deneylerde sabit olduğundan bütün kaynak metalllerinin şekillenmesinde sabittir. Elektromagnetik kuvvet kaynak dikişinin derinliğinin artmasını, sürüklenme kuvveti ve Marangoni kuvveti dikişin genişliğin artmasını sağlar. Yapılan deneylerde O₂ veya CO₂ ilaveli karışım gazı kullanılmadığından kaynak dikişlerindeki oksijen oranı düşüktür. Bundan dolayı Marangoni kuvveti genişliğin artmasını sağlar. Kuvvetlerin büyüklük sırası M>E>A>B kabul edildiğinde Marangoni kuvveti ve sürüklenme kuvvetinin bileşkesi elektromagnetik kuvvetin büyüklüğünden daha fazla olacağından, artan kaynak akımı ile kaynak dikişinin genişliğindeki artış derinliğindeki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı azalır (Şekil 7.12).



Şekil 7.12 Kaynak banyolarındaki mevcut kuvvetler

Deneyleerde kaynak elle yapıldığından kaynak hızı sabit tutulamamıştır. Bu nedenle elde edilen grafiklerden lineer artma veya azalma beklenemez. (7.2) nolu eşitlikte gösterildiği üzere ısı girdisi, kaynak akımı ve kaynak gerilimi ile doğru, kaynak hızı ile ters orantılıdır. Kaynak hızındaki artış nüfuziyetin azalmasına, azalma ise nüfuziyetin artmasını sağlar. Bu nedenle kaynak hızı sabit tutulamadığından deneylerdeki bazı sapmalar kaçınılmazdır.

$$Q = \eta \frac{I \times U \times 60}{V_k \times 1000} \quad (\text{kJ/cm}) \quad (7.2)$$

I : kaynak akımı, A

η : verim katsayısı

U : kaynak gerilimi, V

V_k : kaynak hızı, cm/dak

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Koruyucu gazlar ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde farklı gaz karışımları ile bir çok araştırma yapılmıştır. Lu, Fujii ve Nogi (2004) yaptıkları araştırmada; Ø1,6 mm çapına sahip %2 toryum alaşımlı tungsten elektrodla TIG kaynak yöntemini ve argona çok küçük oranlarda CO₂ ve O₂ ilaveli karışım gazları (Ar + %0.1-1.0 O₂ ve Ar + %0.092-1.0 CO₂) kullanarak elde edilen kaynak dikiş formlarını incelemiştir. Argon ve helyuma oksijen ve/veya karbondioksit ilaveli karışım gazlarının kaynak dikişine etkileri ve yapılan araştırmalardan bazıları 2.5.1 nolu bölümde, argon-hidrojen karışım gazlarının etkileri ve yapılan araştırmalardan bazıları 2.5.2 nolu bölümde, argon-azot karışım gazlarının etkileri ve yapılan araştırmalardan bazıları 2.5.3 nolu bölümde, argon-helyum karışım gazlarının etkileri ve yapılan araştırmalardan bazıları 2.5.4 nolu bölümde açıklanmıştır.

Deneysel çalışmada, Lu, Fujii ve Nogi' nin yaptıkları araştırma şimdiye kadar yapılan araştırmalar arasında farklı olduğundan ve argon-helyum, argon-hidrojen ve argon-azot karışım gazları ile yeterli çalışma yapıldığından, Lu, Fujii ve Nogi' nin yaptıkları araştırmaya destek amacı ile deneylerinde kullandıkları kaynak parametreleri kullanılarak, argon gazına CO₂ veya O₂ ilavesi yapmadan saf argon gazı ve Ø2,4 mm çapına sahip %1 toryum alaşımlı tungsten elektrod ile kaynak akımının arttırılmasıyla hem geniş hem de derin kaynak dikişleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Koruyucu gazlarla ilgili yapılan literatür taraması, daha önce yapılan ve bu tez çalışması için yapılan deneysel çalışmalar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Kaynak dikişindeki yüzey aktif elementlerinin (oksijen, selenyum, kükürt) oranı kaynak dikiş formunu etkileyen faktörlerden biridir. Bu elementler kaynak banyosundaki yüzey gerilimi sıcaklık katsayısını ve Marangoni ısı yayılımını önemli derecede değiştirir. Koruyucu gazda bulunan O₂ ve/veya CO₂ kaynak banyosunu içinde disosiye olarak banyonun oksijen oranını arttırır. Paslanmaz çeliklerin kaynak banyosundaki kritik oksijen oranı 100 ppm civarındadır. Koruyucu gazdaki O₂ ve/veya CO₂ oranının %0,2' nin üzerinde olması bu kritik değeri aşmak için yeterlidir.
- Kaynak dikişindeki oksijen oranı 160 ppm civarında olduğunda yüzey gerilimi sıcaklık katsayısının pozitiften negatife geçmesi için kritik sıcaklık yaklaşık olarak 2200 K' dir. Yüksek kaynak akımlarında pik sıcaklığı 2200 K' nin üzerine çıkmakta ve banyo merkezinde içeri ve dışarı Marangoni kuvveti birlikte bulunmaktadır. Yüksek kaynak

akımlarında banyo merkezinde dışarı doğru olan Marangoni kuvveti, içeri doğru olan Marangoni kuvvetini zayıflattığı için artan kaynak akımı ile birlikte içeri olan kuvvet azalır. Bundan dolayı kaynak dikişindeki oksijen oranı kritik değerden fazla olduğunda düşük kaynak akımlarında çalışılırsa, kaynak dikişinin derinlikteki artış genişlikteki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı (derinlik/genişlik) artar. Ancak yüksek kaynak akımlarına geçildiğinde kritik sıcaklığın (2200 K) üzerine çıkılacağından dolayı kaynak dikişinin genişliğindeki artış, derinliğindeki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı (genişlik/derinlik) azalır.

- Kaynak dikişindeki oksijen oranı 100 ppm' den daha düşükse yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı her zaman negatiftir. Ancak dikişteki oksijen oranı 40 ppm civarında ve sıcaklık 1950 K' nin altında ise banyo kenarlarında içeri doğru çok küçük Marangoni kuvveti mevcuttur. Bundan dolayı kaynak dikişindeki oksijen oranı 40 ppm civarında olduğunda, düşük kaynak akımlarında çalışılırsa sıcaklık 1950 K' nin altında olur ve nüfuziyet oranı başlangıçta yüksektir. Ancak kaynak akımı arttırıldıkça sıcaklık 1950 K' nin üzerine çıkacağından dışarı doğru olan Marangoni kuvveti artar ve artan kaynak akımı ile nüfuziyet oranı azalır.
- Kaynak banyosundaki oksijen oranı 100 ppm' nin altında olduğunda yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı negatiftir, artan sıcaklıkla yüzey gerilimi azalır ve Marangoni ısı yayılımı merkezden kenarlara doğru olur. Bunun sonucunda sıg ve geniş kaynak dikişleri elde edilir.
- Kaynak banyosundaki oksijen oranı 100 ppm' in üzerinde olduğunda yüzey gerilimi sıcaklık katsayısı pozitifdir, artan sıcaklıkla yüzey gerilimi artar ve Marangoni ısı yayılımı içeri doğru olur. Bunun sonucunda dar ve derin kaynak dikişleri elde edilir.
- Yüksek kaynak akımlarında, kaynak dikişindeki oksijen oranı ne olursa olsun artan sıcaklık ile kaynak banyosunun içersine doğru olan Marangoni ısı yayılımı zayıflar ve dışarı doğru olan ısı yayılımı güçlenir. Böylece artan kaynak akımı ile kaynak dikişinin genişliğindeki artış, derinliğindeki artıştan daha fazla olur ve nüfuziyet oranı (derinlik/genişlik) azalır.
- Kaynak dikişinin şekillenmesinde dört kuvvet (Marangoni kuvveti, elektromagnetik

kuvvet, sürüklenme kuvveti, yüzdürme kuvveti) etkilidir. Bu kuvvetlerden en etkin olanı Marangoni kuvvetidir (M). Yüzdürme kuvveti (B), 10 mm' den daha fazla derin kaynak banyolarında etkilidir. Sürüklenme kuvveti (A), koruyucu gaz akımından kaynaklanır. Elektromagnetik kuvvetin (E) büyüklüğü kaynak akımını ile doğru orantılıdır. Bu kuvvetlerin büyüklük sırası $M > E > A > B$ olarak kabul edilir. Bu nedenle yüksek kaynak akımlarında sıcaklığın artması ile elektromagnetik kuvvet artar ve kaynak dikişinin derinliğinin artmasını sağlar ve Marangoni kuvveti, sürüklenme ve yüzdürme kuvveti dikişin genişliğinin artmasını sağlar. Bu nedenle yüksek kaynak akımlarında, kaynak dikişinin artmasında üç kuvvet (M, A, B), derinliğin artmasında da elektromagnetik kuvvet etkindir. M, A, B kuvvetlerinin bileşkesi elektromagnetik kuvvetten büyük olduğundan, artan kaynak akımı ile kaynak dikişinin genişliğindeki artış derinliğindeki artıştan daha fazla olur.

Yukarıda açıklanan maddeler gözönüne alınarak;

- Düşük kaynak akımlarında geniş kaynak dikişleri isteniyorsa, Marangoni kuvvetinin kaynak banyosunun merkezinden kenarlarına doğru olması sağlanmalıdır. Buda kaynak dikişindeki oksijen oranını kritik değerin üzerine çıkartmayacak, O_2 ve/veya CO_2 ilavesiz saf argon gazı kullanılmalıdır.
- Düşük kaynak akımlarında derin kaynak dikişleri isteniyorsa, Marangoni kuvvetinin kaynak banyosunda içeri doğru olması sağlanmalıdır. Buda argon gazına O_2 ve/veya CO_2 ($> \%0,2$) ilaveli karışım gazları kullanılması ile sağlanır.
- Saf argon gazı ile derin ve geniş kaynak dikişleri elde edilmek isteniyorsa yüksek kaynak akımlarında (>150 A) çalışılmalıdır. Böylece Marangoni kuvveti, sürüklenme kuvveti, yüzdürme kuvveti genişliğin artmasında, elektromagnetik kuvvet derinliğin artmasında rol oynayarak derin ve geniş kaynak dikişleri elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Anderson, P.C.J. ve Wiktorowicz, R., (1996), "Improving Productivity with A-TIG Welding", Welding and Metal Fabrication, March, 108-109.
- Anık, S., (1983), Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İstanbul.
- Aydın, R., (1996), "Gazaltı Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi", Mühendis ve Makine, 37(436):17-19.
- Bozacı, M., (1990), Gazaltı Kaynağında Kullanılan Gazlar ve Uygulamadaki Yeri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çalış, İ., (1999), Gazaltı Kaynak Metali Özellikleri, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dixon, K., (1999), "Shielding Gas Selection for GMAW of Steels", Welding and Metal Fabrication, May, 8-13.
- Durgutlu, A., (2004), "Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel", Materials and Design, 25:19-23.
- Ertürk, İ. ve Külekci, M. K., (2001), "CO₂ Gaz Korumalı Ark Kaynağında Sıçrantıların Azaltılması ve Kaynak Şartları ile Sıçrantı Arasındaki İlişki", Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi, 19-20 Ekim 2001, İstanbul.
- Eryürek, İ. B., (2003), Gazaltı Kaynağı, Kaynak Tekniği sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul
- Gülenç, B. Ve Tülbentçi, K., (1996), "Düşük Karbonlu ve Az Alaşımlı Çeliklerin MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi", Uluslararası Kaynak Teknolojisi' 96 Sempozyum Bildirileri, 15-16 Mayıs 1996, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim, Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul.
- Hunt, C., Bols, I. ve Ortega, P., (1997), "Helium- a Lightweight Gas But a Heavyweight Performer", Welding and Metal Fabrication, June, 10-14.
- Irving, B., (1999), "Shielding Gases are The Key to Innovations in Welding", Welding Journal, January, 37-41.
- Kaluç, E., (1999), Kaynak Tekniği Ders Notları, Kocaeli.
- Kannatey, E., Cho, H. S. ve Fukuda, S., (1991), " Observation of Metal Transfer During Gas Metal Arc Welding", Welding and Joining Processes, 51:203-212.
- Kearns, W.H. (Editor), (1978), Welding Handbook: Welding Processes-Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering, Vol.2, 7th Edition, American Welding Society, Miami-Florida 33125.
- Kim, Y. S. ve Eagar, T. W., "Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding", Welding Journal, June, 269-278.
- Kotecki, D. J., (2001), "Carbon Pickup from Argon-CO₂ Blends in GMAW", Welding Journal, December, 43-48.
- Krysiak, K. F. Bhadha, P. M., (1990), "Shielding Gas Purification Improves Weld Quality",

Welding Journal, November, 47-49.

Liao, M.T. ve Chen, W.J., (1998), "The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments", *Materials Chemistry and Physics*, 55:145-151.

Lu, S., Fujii, H. ve Nogi, K., (2004a), "Marangoni Convection and Weld Shape Variations in Ar-O₂ and Ar-CO₂ Shielded GTA Welding", *Materials Science and Engineering A*, 380:290-297.

Lu, S., Fujii, H. ve Nogi, K., (2004b), "Sensitivity of Marangoni Convection and Weld Shape Variations to Welding Parameters in O₂-Ar Shielded GTA Welding", *Scripta Materialia*, 51:271-277.

Lyman, T. (Editor), (1979), *Metals Handbook: Welding and Brazing*, Vol.6, 8th Edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073.

Mohandas, T., Reddy, G.M. ve Naveed, M., (1999), "A Comparative Evaluation of Gas Tungsten and Shielded Metal Arc Welds of a Ferritic Stainless Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 94:133-140.

Müftüoğlu, F., (1997), *Alaşımsız Çeliklerin Özlü Elektrodla Kaynağında Ar-CO₂ Koruyucu Gaz Karışımlarının Kaynak Dikişine Etkisi ve Optimum Gaz Karışımının Tayini*, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Oğuz, B., (1985), *Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı*, Oerlikon Yayını, İstanbul.

Okan, A.N., (1989), *Gazaltı Kaynak Yönteminde Koruyucu Gazlar*, BOS Yayınları, İstanbul.

Onsøien, M., Peters, R., Olson, D.L. ve Liu, S., (1995), "Effect of Hydrogen in an Argon GTAW Shielding Gas: Arc Characteristics and Bead Morphology", *Welding Journal*, January, 10-15.

Sadler, H., (1999), "A Look at The Fundamentals of Gas Metal Arc Welding", *Welding Journal*, May, 45-50.

Smith, D., Mercer, W. H. ve Barnett, R. E., (1989), *Welding Skills and Technology*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Stenbacka, N. Ve Persson, K. A., (1989), "Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding", *Welding Journal*, November, 41-47.

Suban, M. ve Tusek, J., (2001), "Dependence of Melting Rate in MIG/MAG Welding on The Type of Shielding Gas Used", *Journal of Materials Processing Technology*, 119:185-192.

Suban, M., Tusek, J. ve Uran, M., (2001), "Use of Hydrogen in Welding Engineering in Former Times and Today", *Journal of Materials Processing Technology*, 119:193-198.

TS-EN 439, (1995), *Kaynak Sarf Malzemeleri – Ark Kaynağı ve Kesme için Koruyucu Gazlar*, Türk Standartları, Nisan, 2s.

Tseng, K.H. ve Chou, C.P., (2003), "The Study of Nitrogen in Argon Gas on The Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments", *Journal of Materials Processing Technology*, 142:139-144.

Tusek, J. ve Suban, M., (2000), "Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in Arc Welding of High-Alloy Stainless Steel", *Hydrogen Energy*, 25:369-

376.

Urmston, S., (1996), "Quality-All Things to All Welders?", Welding and Metal Fabrication, April, 150-152.

Urmston, S., Hilton, D. ve Stares, I., (1994), "Development of Shielding gases for stainless Steel Welding", Welding and Metal Fabrication, April, 165-168.

Wiktorowicz, R. ve Crouch, J., (1994), "Shielding Gas Developments for TIG Welding of Duplex and Super Duplex Stainless Steels", Welding and Metal Fabrication, October, 379-382.

Yılmaz, M., (2001), Kaynak Metalurjisi Ders Notları, Kocaeli.

Young, B., (1995), "Shielding and Purging Gases: Making The Right Selection", Welding Journal, January, 47-49.

Zawodny, J., (2001), "Welding with The Right Shielding Gas", Welding Journal, December, 49-50.

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www.bos.com.tr

[2]www.sciencedirect.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	25.03.1981	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994-1998	Üsküdar Halide Edip Adivar Süper Lisesi
Lisans	1998-2002	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usülleri Programı

Çalıştığı Kurumlar

2003-2004	Şafak Makine ve Kalıp İmalat San. Ltd. Şti.
2005-Devam ediyor	Sulfet Elektromekanik San. ve Tic. Ltd. Şti.

