

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA KARIŞIM ORANLARI VE GAZ
YÖNLENDİRME TÜRLERİNİN KAYNAK DİKİŞİNDE ORTAYA ÇIKARDIĞI
FARKLILIKLARIN ARAŞTIRILMASI**

TOLGA MERT

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. NURULLAH GÜLTEKİN**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA KARIŞIM ORANLARI VE GAZ
YÖNLENDİRME TÜRLERİNİN KAYNAK DİKİŞİNDE ORTAYA ÇIKARDIĞI
FARKLILIKLARIN ARAŞTIRILMASI**

Tolga MERT tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Nurullah GÜLTEKİN
Yıldız Teknik Üniversitesi (Emekli)

Jüri Üyeleri

Prof. Nurullah GÜLTEKİN
Yıldız Teknik Üniversitesi (Emekli)

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erdinç KALUÇ
Kocaeli Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 29-06-01-04 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Örtülü elektrot kaynağına kıyasla, gazaltı kaynağında elde edilen avantajlar ve imalat hızının artması gibi olumlu etkenler nedeniyle gazaltı kaynağı günümüzde sıklıkla tercih edilen bir yöntem olmuştur. Dolayısıyla popüler olan geleneksel gazaltı kaynağı üzerine de gerek üniversiteler ile araştırma kurumları gerekse de imalat sanayii bünyesinde pekçok araştırma ve geliştirme çalışması yapılmıştır. Koruyucu gazların ve gazaltı kaynak prosesi elemanlarının geliştirilmesi gibi geleneksel gazaltı kaynağını temel alan pekçok konu da bu araştırmalarda kendine yer edinmiştir. Araştırma konularından biri de koruyucu gazların kaynak bölgesine gerek ilave cihazlarla gerekse de kaynak torcunda yapılan iyileştirmelerle, alternatif şekillerde yönlendirilmeleridir.

Tez çalışmam sırasında her zaman yanımda olan, bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Nurullah GÜLTEKİN'e, görüş ve katkıları için Sayın Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN'a, Sayın Prof. Dr. Erdinç KALUÇ'a, Sayın Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU'na ve Sayın Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI'ya, destekleri için Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Mehmet Emin YURCİ'ye ve Anabilim Dalımızın diğer değerli öğretim üyelerine teşekkürü borç bilirim.

Tezime, sinerjik, su soğutmalı, darbeli gazaltı kaynak makinasını, torç hareket ettirici elektrikli arabayı, kaynak tellerini ve çeşitli koruyucu gazları temin ederek ve de kaynaklı parçalardan deney numunelerinin talaşlı imalatla çıkarılması konusunda destek olan Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş. (Askaynak) firmasının değerli çalışanları başta Sayın Mak. Y. Müh. Can ODABAŞ olmak üzere, Sayın Suat DEMİRCİ'ye ve Sayın Met. Müh. Tunç ERGÖNENÇ'e çok teşekkür ederim. Çift kanallı gazaltı kaynak torcunun tasarımında ve imalinde bana destek veren, Sekon Kaynak Elemanları ve San. Tic. Ltd. Şti. sahipleri Sayın Dr. Müh. İzzet TÜRKOCAĞI ve Sayın Ali Mahir COŞKUN'a çok teşekkür ederim. Deney numunelerinin çıkartılacağı, kaynak edilecek parçalara kaynak ağzlarının açılmasında, bakır dış nozüllerin imalinde bana yardımcı olan ve her zaman desteğini yanımda hissettiğim İlhan Makina'nın sahibi dostum Sayın Mak. Y. Müh. Volkan İLHAN'a ve babası Ali Rıza İLHAN'a şükranlarımı sunarım. Açısal ölçüm fikstürlerinin imalinde bana yardımcı olan Ak Reklam firmasının sahipleri Sayın Ali KAYA, Sayın Alpaslan KAYA ve Sayın Aslan KAYA'ya da teşekkürlerimi sunarım. Malzemelerin hidrolik preste düzeltilmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen Özkoç Hidrolik Makine San. ve Tic. A.Ş. firmasının sahibi Sayın Mak. Müh. Cem KOÇAN'a teşekkür ederim.

Tezimle ilgili süreçte bana gerek fiilen yardımcı olan gerekse de moral olarak destek veren Anabilim Dalımızın değerli öğretim elemanı çalışma arkadaşlarıma da çok teşekkür ederim.

En zor zamanlarımda yanımda olan ve bana her türlü desteği veren kardeşim Elk. Y. Müh. Tuna MERT, annem Mukaddes MERT ve babam İzzet MERT'e de sonsuz şükranlarımı sunarım.

Nisan, 2012

Tolga MERT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ÖZET	xxii
ABSTRACT	xxiv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	19
1.3 Orijinal Katkı.....	20
BÖLÜM 2.....	22
GAZALTI KAYNAĞINDAKİ KORUYUCU GAZLAR	22
2.1 Soygazlar	25
2.1.1 Argon.....	25
2.1.2 Helyum	25
2.2 Aktif Gazlar.....	27
2.2.1 Karbondiyoksit (CO ₂).....	27
2.2.2 Oksijen	28
2.2.3 Azot	29
2.2.4 Hidrojen	29
2.3 Koruyucu Gazların Temel Özellikleri	30
2.3.1 İyonizasyon Potansiyeli.....	30
2.3.2 Gazın Isıl İletkenliği	30
2.3.3 Parçalanma (Disosiasyon) ve Yeniden Birleşme (Rekombinasyon)	32
2.3.4 Aktiflik ve Oksidasyon Potansiyeli	32

2.3.5	Yüzey Gerilimi	33
2.3.6	Gaz Safiyeti.....	33
2.3.7	Gaz Yoğunluğu	33
2.4	Karışım Gazlar	34
2.4.1	Argon-Helyum Karışımları	34
2.4.2	Argon-Karbondioksit Karışımları	35
2.4.3	Argon-Oksijen Karışımları	36
2.4.4	Argon-Hidrojen Karışımları	37
2.4.5	Helyum-Argon-Karbondioksit Karışımları	38
2.4.6	Helyum-Argon-Oksijen Karışımları.....	38
2.4.7	Dört Bileşenli Karışım Gazları.....	39
2.5	Koruyucu Gazın Kaynak Mekanik ve Proses Özellikleri ile Mikroyapı Üzerine Etkisi	39
BÖLÜM 3		54
GAZALTI KAYNAĞINDA ALTERNATİF KORUYUCU GAZ YÖNLENDİRMELERİ VE MIG/MAG KAYNAĞINDA ÇİFT KANALLI KORUYUCU GAZ BESLEME		54
3.1	Alternatif Şekilde Koruyucu Gaz Yönlendirmeleri	54
3.2	MIG/MAG Kaynağında Çift Kanallı Koruyucu Gaz Yönlendirmeleri.....	63
BÖLÜM 4		83
DENEYSEL ÇALIŞMA		83
4.1	Deney Düzeneklerinin Oluşturulması ve Ön Hazırlıklar	83
4.2	Ön Deneme Kaynakları, Yapılan Düzeltmeler ve Ön Ölçümler	91
4.3	V-alın Kaynak Numuneleri	95
4.3.1	V-alın Kaynak Numunelerinin Kaynak Edilmesi	95
4.3.2	V-alın Kaynaklı Numunelerden Çıkarılan Çekme ve Çentik Darbe Numunelerinin Test Edilmesi	96
4.3.3	V-alın Kaynaklı Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları ve Mikrosertlik Ölçümleri.....	99
4.4	T-Köşe Kaynak Numuneleri.....	100
4.4.1	T-Köşe Kaynaklı Numunelerin Kaynak Edilmesi.....	100
4.4.2	T-Köşe Kaynaklı Numunelerin Mikrosertlik Ölçümleri ve Mikroyapı Fotoğrafları.....	104
4.4.3	T-Köşe Kaynaklı Numunelerin Makro Fotoğrafları, Kaynak Metali ve ITAB Alanı Ölçümleri	105
BÖLÜM 5		107
DENEYSEL SONUÇLAR		107
5.1	V-alın Kaynak Numunelerinin Kaynağına Ait Deney Sonuçları	107
5.2	V-alın Kaynaklı Numunelerin Mikrosertlik Ölçümleri ve Mikroyapı Fotoğrafları	120
5.2.1	Mikrosertlik Ölçümleri	120
5.2.2	Mikroyapı Fotoğrafları	134

5.3	T-Köşe Kaynak Numunelerinin Kaynağına Ait Deney Sonuçları	143
5.3.1	S235JR T-Köşe Kaynak Numuneleri	144
5.3.1.1	S235JR Malzemedden T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Parametreleri	144
5.3.1.2	S235JR Malzemedden T-Köşe Kaynak Numunelerinin Mikrosertlik Değerleri	147
5.3.1.3	S235JR Malzemedden T-Köşe Kaynak Numunelerinin Makro Fotoğrafları, Kaynak Metali ve ITAB Alanları Ölçümü.....	153
5.3.2	X2CrNi 18 9 T-Köşe Kaynak Numuneleri	156
5.3.2.1	X2CrNi 18 9 Malzemedden T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Parametreleri	156
5.3.2.2	X2CrNi 18 9 Malzemedden T-Köşe Kaynak Numunelerinin Mikrosertlik Değerleri	161
5.3.2.3	X2CrNi 18 9 Malzemedden T-Köşe Kaynak Numunelerinin Makro Fotoğrafları, Kaynak Metali ve ITAB Alanları Ölçümü.....	168
5.3.3	T-Köşe Kaynak Numunelerinde Distorsiyon	171
BÖLÜM 6		181
KAYNAK MALİYETİ HESABI VE PROSES ANALİZİ		181
6.1	Birim Maliyetler	182
6.1.1	Koruyucu Gaz Birim Maliyeti.....	182
6.1.2	Kaynak Teli Birim Maliyeti	183
6.1.3	Elektrik Birim Maliyeti.....	183
6.2	Tüketimler ve Maliyetleri.....	183
6.2.1	Koruyucu Gaz Tüketimi ve Maliyeti	183
6.2.2	Kaynak Teli Tüketimi ve Maliyeti	184
6.2.3	Enerji Tüketimi ve Maliyeti	188
6.2.4	Toplam Maliyet	190
BÖLÜM 7		192
SONUÇ VE ÖNERİLER		192
KAYNAKLAR		204
ÖZGEÇMİŞ		212

SİMGE LİSTESİ

R	Yorulmada gerilme oranı
S	Yorulmada gerilme
N	Yorulmada çevrim sayısı
ϕ	Darbeli akım gazaltı kaynağında boyutsuz faktör
C_v	Charpy V-çentik darbe tokluğu
I_p	Darbeli akımda maksimum akım değeri
I_b	Darbeli akımda minimum (baz) akım değeri
f	Darbe frekansı
t_b	Minimum akımın uygulanma süresi
η	Verim
M	1 saatte yığılan malzeme miktarı
O_p	Oksidasyon potansiyeli
μ	Oksidasyon faktörü
a	Sabit sayı
I_s	Kaynak akımı
U_s	Kaynak gerilimi
ϕ_s	Kaynak hızı
Q_{CO_2}	CO ₂ gazının debisi
Q_{Ar}	Ar gazının debisi
Y_k	Komperatör noktasındaki düşey yükseklik
Y_s	Parça kenarındaki düşey yükseklik
α	Açısal distorsiyon miktarı
L_o	Çekme numunesi ölçme uzunluğu
ρ	Telin birim hacminin kütlesi
m	Telin kütlesi
V	Telin hacmi
A	Telin kesit alanı
P	Ark kaynağında harcanan güç
E	Ark kaynağında harcanan enerji
t	Süre

KISALTMA LİSTESİ

MIG	Metal İnerit Gaz
CMT	Cold Metal Transfer
HSLA	High Strength Low Alloy
AF	Acicular Ferrite
GF	Grain Boundary Ferrite
FS	Ferrite Side Plate
TIG	Tungsten İnerit Gaz
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
AISI	American Iron and Steel Institute
AWS	American Welding Society
MAG	Metal Aktif Gaz
MMA	Manuel Metal Ark
T.I.M.E.	Transferred Ionized Molten Energy
ANSI	American National Standards Institute
FN	Ferrit Numarası
CPT	Critical Pitting Temperature
WIG	Wolfram İnerit Gaz
ASM	American Society for Metals
TS	Türk Standartları
EN	European Norm
ISO	International Organization for Standardization
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
B.D.T.	Bağımsız Devletler Topluluğu
SEM	Scanning Electron Microscope
EDAX	Energy Dispersive Spectroscopy
DMAG	Double Gas Shielded Metal Arc Welding
MCW	Metal Cored Wire
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
KM	Kaynak Metali

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Çeşitli soy ve karışım gaz atmosferlerinde meydana gelen ark gerilimi [1]	27
Şekil 2. 2	MIG-MAG kaynağında CO ₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar [51]	28
Şekil 2. 3	Sıcaklığın fonksiyonu olarak bazı gazların ısı iletkenlikleri [52]	31
Şekil 2. 4	Bazı gazların sıcaklığa bağlı olarak entalpilerinin değişimi [52]	31
Şekil 2. 5	Ar-CO ₂ karışım gazlarında artan CO ₂ oranına bağlı olarak arkta metal taşınım türü ve kaynak profilinin değişimi [1].	35
Şekil 2. 6	Gaz karışımlarının kaynak profili üzerine etkileri [2]	37
Şekil 2. 7	Ostenitik paslanmaz çeliğin MIG kaynağında ergime verimi üzerine argon koruyucu gazdaki hidrojenin etkisi [52]	38
Şekil 2. 8	Bazı geleneksel ve modern yöntemlerin malzeme yığılma miktarları [29]	39
Şekil 2. 9	Farklı koruyucu gazlardaki çentik darbe enerjisinin sıcaklığa bağlı grafiği [2]	42
Şekil 2. 10	Farklı koruyucu gazlar için çentik darbe enerjilerinin karşılaştırılması [60]	43
Şekil 2. 11	Nikel eşdeğeri ile oksijen potansiyeli ve CO ₂ yüzdesinin fonksiyonu olarak kaynak metalinin ferrit içeriği [13]	44
Şekil 2. 12	Darbe enerjisine sıcaklığın ve çeşitli koruyucu gazların etkisi [13]	45
Şekil 2. 13	Oksijen potansiyelinin darbe enerjisine olan etkisi [13]	46
Şekil 2. 14	Masif ve özlü telle kaynakta kaynak metalindeki karbon içeriği [30]	47
Şekil 2. 15	ER308SLi, ER309SLi ve ER90S-B3L teller yapılan spre transferli kaynakta kaynak metali karbon oranları [62]	48
Şekil 2. 16	Spre transferle gazaltı kaynağında koruyucu gazdaki çeşitli CO ₂ oranları için ilave telin Cr içeriğine karşılık kapılan karbon miktarı [62]	48
Şekil 2. 17	Üç farklı sıcaklıkta darbe enerjisi üzerine karbondioksitin etkisi [30]	49
Şekil 2. 18	Gaz karışımındaki CO ₂ 'nin fonksiyonu olarak ark akımı ve gerilimi • - Ark gerilimi; □ - Akım şiddeti [65]	51
Şekil 2. 19	Argon koruyucu gaza %3'e kadar CO ₂ ilavesinde ark şekilleri [65]	52
Şekil 2. 20	Argon koruyucu gaza %4,6 ila %8,5 CO ₂ ilavesinde ark şekilleri [65]	52
Şekil 2. 21	Argon koruyucu gaza %9,3 ila %15,4 CO ₂ ilavesinde ark şekilleri [65]	53
Şekil 3. 1	Koruyucu gazların dönüşümlü şekilde beslenmesi için aparat [66]	54

Şekil 3. 2	Dönüşümlü gaz besleme yönteminde elektromanyetik valf [66]	55
Şekil 3. 3	Koruyucu gaz tipi ve besleme çeşidinin ortalama porozite sayısına etkisi [66].....	56
Şekil 3. 4	Kaynak dikişi şeklinin gaz çeşidi ve gaz besleme tipi ile değişimi [66]	56
Şekil 3. 5	Koruyucu gaz çeşidi ve gaz besleme tipine göre TIG kaynağında alın kaynak dikişindeki açılmal çarpılma [44]	57
Şekil 3. 6	Farklı torçlar ve koruyucu gazlar kullanılan TIG kaynağında kaynaktan sonra tungsten elektrotların yüzeylerinin görünümü [70].....	59
Şekil 3. 7	Değişik oksidasyon potansiyellerine sahip koruyucu gazlarla kaynak metalindeki oksijen içeriğine karşılık derinlik/genişlik oranı [70]	59
Şekil 3. 8	Çift kanallı TIG kaynağında iç kanaldan farklı karışım oranında soygazlar gönderilmesi ile elde edilen kaynak dikiş kesitleri [70].....	60
Şekil 3. 9	İç kanaldaki koruyucu gazdaki argon içeriğine karşılık kaynak metalindeki [O] içeriği [70]	60
Şekil 3. 10	Çift kanaldan gaz korumalı TIG kaynağında iç kanaldaki koruyucu gazda farklı oranlarda redükleyici gazlar kullanılarak elde edilen kaynak dikiş kesitleri [70]	61
Şekil 3. 11	İç kanaldaki koruyucu gazdaki hidrojen içeriğine karşılık kaynak metalindeki [O] içeriği [70]	61
Şekil 3. 12	Çift kanallı koruyucu gazlı TIG kaynağında farklı koruyucu gazlardaki ark sütununun görünümü [70]	62
Şekil 3. 13	Çift kanal koruyucu gaz beslemeli DMAG yöntemi [71].....	63
Şekil 3. 14	Yüksek hızlı kamera ile çekilmiş DMAG metal transfer modları (koruyucu gaz: 7lt/dk Ar + 18 lt/dk CO ₂) [71]	64
Şekil 3. 15	DMAG'da metal transfer modu aralığı (%12Ar+%88CO ₂ , toplam 25lt/dk) [71].....	65
Şekil 3. 16	DMAG'da metal transfer modu aralığı (%20Ar+%80CO ₂ , toplam 25lt/dk) [71].....	65
Şekil 3. 17	DMAG'da metal transfer modu aralığı (%28Ar+%72CO ₂ , toplam 25lt/dk) [71].....	66
Şekil 3. 18	DMAG ve geleneksel MAG kaynağında spre transfer bölgelerinin karşılaştırılması [71].....	66
Şekil 3. 19	Kaynak akımı ve gerilimi ile nüfuziyet derinliğinin değişimi [71]	67
Şekil 3. 20	Farklı transfer modları için dikiş geometrileri [71]	67
Şekil 3. 21	Ana malzeme ve nozuldeki sıçrama kaybına argon oranının etkisi (kaynak akımı: 300-320A, ark gerilimi: 32V, koruyucu gaz debisi toplam 25lt/dk) [71].....	68
Şekil 3. 22	DMAG kaynağında farklı metal transfer modlarında nozüle yapışan çapakların karşılaştırılması [71]	68
Şekil 3. 23	DMAG, MAG ve CO ₂ kaynağı yöntemlerinde ana malzemedeki sıçrama kaybı [71]	69
Şekil 3. 24	15cm'lik X-ışını filminde sayılan gözenek sayısı [71]	69
Şekil 3. 25	DMAG ile özlü tel kaynağında kopmadan önce damlacık oluşumu: a) 180A 22V , b) 200A 22V, c) 220A 22V, d) 240A 24V, e) 250A 24V, f) 280A 30V, g) 300A 30V, h) 320A 32V [72]	70

Şekil 3. 26	Özlü telle DMAG kaynağında yüksek hızlı kamera ile çekilmiş metal transfer modları (koruyucu gaz: 7lt/dk Ar+18lt/dk CO ₂) [72]	71
Şekil 3. 27	Farklı argon içeriklerinde ark olgusunun karşılaştırılması (240A/28V ve 300A/30V) [72]	71
Şekil 3. 28	Masif tel ve özlü tel ile DMAG kaynağında dikiş geometrilerinin karşılaştırılması [72].....	72
Şekil 3. 29	Özlü telle DMAG prosesinde uzun ark süresinde nozül çapak ağırlığı [72].....	72
Şekil 3. 30	Masif tel ve özlü telle DMAG kaynağında nozüle yapışan çapakların karşılaştırılması [72].....	73
Şekil 3. 31	Özlü telle DMAG kaynağında 15 cm dikiş uzunluğu için X-ışını filmindeki gözenek sayısı [72].....	73
Şekil 3. 32	Cr(VI) ve ozona maruz kalma deneylerinde kullanılan çift kanallı torç [73].....	74
Şekil 3. 33	Aluminyumun MIG kaynağında kullanılan çift kanallı torç [74]	75
Şekil 3. 34	Koruyucu gaz kompozisyonunun dikişe olan etkisi [74].....	76
Şekil 3. 35	Kaynak hızının dikişe olan etkisi [74]	77
Şekil 3. 36	Gaz çıkış düzleminden olan yatay ve dikey mesafenin fonksiyonu olarak iç gaz akışındaki (argon) oksijen miktarı [75]	78
Şekil 3. 37	İç ve dış nozülleri kaynak sıçramaları ile kirlenmiş çift kanallı torç [75]....	79
Şekil 3. 38	İç ve dış kanaldan gönderilen koruyucu gazlara ait holografik fotoğraflar: a) sadece iç nozülden 5lt/dk'lık CO ₂ akışı, b) iç kanaldan 4lt/dk ile Ar ve dış kanaldan 9lt/dk ile CO ₂ akışı, c) sadece dış nozülden 10lt/dk ile CO ₂ akışı, d) köşe kaynağına çarpan gaz akışları: iç kanaldan 4lt/dk'lık Ar ve dış kanaldan 14lt/dk'lık CO ₂ [75].....	79
Şekil 3. 39	Koruyucu gazdaki argon oranının nüfuziyet şekline etkisi: a) %20Ar (2,5lt/dk Ar, 9,5lt/dk CO ₂), b) %25Ar (3lt/dk Ar, 9 lt/dk CO ₂), c) %29Ar (3,5lt/dk Ar, 8,5lt/dk CO ₂), d) %33 Ar (4lt/dk Ar, 8 lt/dk CO ₂), e) %100 CO ₂ [75].....	81
Şekil 3. 40	Kaynak hızının dikiş şekli üzerine etkisi: a) çift kanallı torç - 50 cm/dk, b) çift kanallı torç – 60cm/dk, c) karışım gazı (Ar+%18CO ₂) – 60cm/dk, d) karışım gazı (Ar+%18CO ₂) – 80cm/dk, e) karışım gazı (Ar+%2,5CO ₂) – 60cm/dk [75]	81
Şekil 3. 41	Çift gazlı üfleç tasarımları: a) El üfleci (I-dış gaz, II-iç gaz), b) Makine üfleci (I-CO ₂ , II-Ar) [76]	82
Şekil 4. 1	Çift kanallı gazaltı kaynak torcu	83
Şekil 4. 2	Toplanmış ve kablolanmış çift kanallı gazaltı kaynak torcu.....	84
Şekil 4. 3	Ar-CO ₂ -N ₂ gaz karışım cihazı	84
Şekil 4. 4	Hilger Analytical Optik Emisyon Spektrometre Cihazı.....	85
Şekil 4. 5	Lincoln Electric Powerwave 405M kaynak makinası ve LF45 tel sürme ünitesi	86
Şekil 4. 6	Moggy marka torç hareket ettirici elektrikli araba.....	86
Şekil 4. 7	Çıkış debisi ayarlanabilir, manometreli basınç düşürücü	87
Şekil 4. 8	Deney düzeneği genel görünümü.....	89
Şekil 4. 9	T-köşe kaynaklı numunelerin açılma çarpılma ölçüm fikstürü	90

Şekil 4. 10	T-köşe numunelerin kaynağında kullanılacak olan Y şekilli fikstürü	90
Şekil 4. 11	Masif ve özlü telle çift kanallı ve geleneksel torçla gerçekleştirilen tek pasolu ön deneme kaynakları. a) Özlü tel ve geleneksel torç, b) Özlü tel ve çift kanallı torç, c) Masif tel ve çift kanallı torç, d) Masif tel ve geleneksel torç.....	91
Şekil 4. 12	V- kaynak ağzına ve 20 mm kalınlığa sahip çift kanallı torç ve SG2 kaynak teli ile kaynak edilmiş ön deneme parçası (iç nozul: 9lt/dk Ar, dış nozul: 6lt/dk CO ₂)	91
Şekil 4. 13	30°'lik kaynak ağzına sahip deney numuneleri	92
Şekil 4. 14	Çelikten imal edilmiş eski dış nozul (solda) ve bakırdan imal edilen yeni dış nozul (sağda).....	92
Şekil 4. 15	Sürekli dikiş ile kaynak edilmiş altlık.....	93
Şekil 4. 16	Çift taraflı T-köşe kaynak numunesi üzerindeki açısız distorsiyon için ölçüm noktaları.....	93
Şekil 4. 17	Çift taraflı T-köşe kaynak numunesi için açısız çarpılma fikstürü ve numunenin görünüşü. a) üstten, b) sol yandan	94
Şekil 4. 18	Komperatör ölçüm noktası (Y _{1k}) ve numunenin kenarındaki noktanın (Y _{1s}) ve açısız çarpılma miktarının (α) trigonometrik olarak gösterilmesi	94
Şekil 4. 19	V- kaynak ağızlı numunelerin paso sıra ve sayıları	96
Şekil 4. 20	Çekme çubuğu ve V- çentik darbe numunelerinin yeri	98
Şekil 4. 21	Çekme çubukları ve V- çentik darbe numuneleri	98
Şekil 4. 22	TSE kalibrasyonuna sahip 100kN kapasiteli Mohr&Federhaff marka çekme makinesi (a), 300J'luk Mohr&Federhaff marka çentik darbe cihazı (b) ve WiseCryo marka soğutucu (c).....	98
Şekil 4. 23	LEICA DFC 280 Image Analyser optik mikroskop (a) ve Bulut Makina HVS-1000 mikrosertlik cihazı (b)	99
Şekil 4. 24	V-alın kaynaklı parçalarda mikrosertlik ölçümünün şematik gösterim ...	100
Şekil 4. 25	T-köşe kaynak numunelerinde mikrosertlik ölçüm bölgeleri	105
Şekil 4. 26	Makro fotoğrafların alınmasında kullanılan stereo optik mikroskop.....	105
Şekil 5. 1	Askaynak SG2 masif telle V-alın parçaların 14 paso ile kaynağında torcun nozulunda biriken çapaklar. a) Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ , b) Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ , c) Ç3-DMAG-9Ar-6CO ₂ , d) Ç4-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ , e) Ç5-DMAG-6Ar-9CO ₂ , f) Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO ₂	111
Şekil 5. 2	Starweld MCW-7100 metal özlü telle V-alın parçaların 14 paso ile kaynağında torcun nozulunda biriken çapaklar. a) Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -MCW, b) Ç8-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -MCW, c) Ç10-DMAG-9Ar-6CO ₂ -MCW, d) Ç9-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ -MCW, e) Ç11-DMAG-6Ar-9CO ₂ -MCW, f) Ç12-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ -MCW	111
Şekil 5. 3	Askaynak SG2 masif tel kullanımıyla nozulda biriken çapak miktarlarının karşılaştırılması	112
Şekil 5. 4	Starweld MCW-7100 metal özlü tel kullanımıyla nozulda biriken çapak miktarlarının karşılaştırılması	112
Şekil 5. 5	Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle elde edilen akma mukavemeti değerleri	115

Şekil 5. 6	Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle elde edilen çekme mukavemeti değerleri 115
Şekil 5. 7	Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle +20°C’da elde edilen V-çentik darbe enerjisi değerleri 116
Şekil 5. 8	Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle -20°C’da elde edilen V-çentik darbe enerjisi değerleri 116
Şekil 5. 9	Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle -30°C’da elde edilen V-çentik darbe enerjisi değerleri 117
Şekil 5. 10	V-alın kaynak numunelerinde sıcaklık ölçüm noktaları (6,7,8,9). a) Termal kamera ile üstten görünüş, b) Sıcaklık ölçüm noktalarının şematik önden görünüşü 120
Şekil 5. 11	Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 123
Şekil 5. 12	Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 123
Şekil 5. 13	Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 124
Şekil 5. 14	Ç2-%50Ar-%50CO ₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 124
Şekil 5. 15	Ç3-DMAG-9Ar-6CO ₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği ... 125
Şekil 5. 16	Ç3-DMAG-9Ar-6CO ₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 125
Şekil 5. 17	Ç4-%60Ar-%40CO ₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 126
Şekil 5. 18	Ç4-%60Ar-%40CO ₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 126
Şekil 5. 19	Ç5-DMAG-6Ar-9CO ₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği ... 127
Şekil 5. 20	Ç5-DMAG-6Ar-9CO ₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 127
Şekil 5. 21	Ç6-%40Ar-%60CO ₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 128
Şekil 5. 22	Ç6-%40Ar-%60CO ₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 128
Şekil 5. 23	Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 129
Şekil 5. 24	Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 129
Şekil 5. 25	Ç8-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 130
Şekil 5. 26	Ç8-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği 130
Şekil 5. 27	Ç9-%60Ar-%40CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği 131

Şekil 5. 28	Ç9-%60Ar-%40CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği.....	131
Şekil 5. 29	Ç10-DMAG-9Ar-6CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	132
Şekil 5. 30	Ç10-DMAG-9Ar-6CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği	132
Şekil 5. 31	Ç11-DMAG-6Ar-9CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	133
Şekil 5. 32	Ç11-DMAG-6Ar-9CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği	133
Şekil 5. 33	Ç12-%40Ar-%60CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	134
Şekil 5. 34	Ç12-%40Ar-%60CO ₂ -ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği.....	134
Şekil 5. 35	S235JR ana malzemeye ait mikroyapı fotoğrafları. a) 100x, b) 200x büyütme.....	135
Şekil 5. 36	Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ numunesinin ITAB bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları. a) 100x, b) 200x	135
Şekil 5. 37	Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ numunesinin ITAB bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları. a) 100x, b) 200x	135
Şekil 5. 38	Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ numunesinin kaynak metaline ait 100x (a) ve 200x (b) büyütme mikroyapı fotoğrafları	136
Şekil 5. 39	Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ numunesinin kaynak metaline ait 100x (a) ve 200x (b) büyütme mikroyapı fotoğrafları	137
Şekil 5. 40	Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı.	137
Şekil 5. 41	Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	138
Şekil 5. 42	Ç3-DMAG-9Ar-6CO ₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	138
Şekil 5. 43	Ç4-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	139
Şekil 5. 44	Ç5-DMAG-6Ar-9CO ₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	139
Şekil 5. 45	Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	140
Şekil 5. 46	Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	141
Şekil 5. 47	Ç8-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	141
Şekil 5. 48	Ç9-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ -ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	142
Şekil 5. 49	Ç10-DMAG-9Ar-6CO ₂ -ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	142
Şekil 5. 50	Ç11-DMAG-6Ar-9CO ₂ -ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	143

Şekil 5. 51	Ç12-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ -ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı	143
Şekil 5. 52	6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-C1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	148
Şekil 5. 53	6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-D1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	148
Şekil 5. 54	8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	149
Şekil 5. 55	8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği ..	149
Şekil 5. 56	10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-F1-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	150
Şekil 5. 57	10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	150
Şekil 5. 58	6 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-F2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	151
Şekil 5. 59	6 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	151
Şekil 5. 60	8 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-C2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	152
Şekil 5. 61	8 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-D2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	152
Şekil 5. 62	10 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-B1-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	153
Şekil 5. 63	10 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	153
Şekil 5. 64	8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	154
Şekil 5. 65	8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ITAB alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	154
Şekil 5. 66	8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	154
Şekil 5. 67	8 mm kalınlığa sahip Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	155

Şekil 5. 68	8 mm kalınlığa sahip Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ITAB alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso).....	155
Şekil 5. 69	8 mm kalınlığa sahip Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	155
Şekil 5. 70	6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	162
Şekil 5. 71	6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-D2-DMAG-6Ar-9CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	163
Şekil 5. 72	8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	163
Şekil 5. 73	8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-D1-DMAG-6Ar-9CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	164
Şekil 5. 74	10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-F2-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	164
Şekil 5. 75	10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-E2-DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	165
Şekil 5. 76	6 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	165
Şekil 5. 77	6 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	166
Şekil 5. 78	8 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-A1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	166
Şekil 5. 79	8 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-F1-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği	167
Şekil 5. 80	10 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	167
Şekil 5. 81	10 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği.....	168
Şekil 5. 82	8 mm kalınlığa sahip P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	169

Şekil 5. 83	8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	169
Şekil 5. 84	8 mm kalınlığa sahip P-D1-DMAG-6Ar-9CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	169
Şekil 5. 85	8 mm kalınlığa sahip P-D1-DMAG-6Ar-9CO ₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)	170
Şekil 5. 86	Masif tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği	171
Şekil 5. 87	Metal özlü tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği	172
Şekil 5. 88	Masif tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiği	174
Şekil 5. 89	Metal özlü tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiği	174
Şekil 5. 90	T-köşe kaynaklı parçanın açısal distorsiyonunda kaynak metali ağırlık merkezi ve parçanın tarafsız eksenini [87]	175
Şekil 5. 91	Paslanmaz masif tel ile kaynak edilmiş X2CrNi189 malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği	177
Şekil 5. 92	Paslanmaz özlü tel ile kaynak edilmiş X2CrNi189 malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği	178
Şekil 5. 93	Paslanmaz masif tel ile kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiği	179
Şekil 5. 94	Paslanmaz özlü tel ile kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemededen T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiği	179

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	EN 439'a göre ark kaynak ve kesme yöntemlerinde kullanılan gazların bileşimleri ve işaretlenmeleri [1]	23
Çizelge 2. 2	TS EN ISO 14175'e göre gazların özellikleri [47]	24
Çizelge 2. 3	Kaynak için kullanılan koruyucu gazların özellikleri [2]	24
Çizelge 2. 4	Kaynak mekanik özellikleri ve element kayıpları üzerine bazı koruyucu gazların etkisi [2].....	41
Çizelge 2. 5	A18 tip kaynak teli için farklı gazlarla elde edilen mekanik özellikler [60]....	42
Çizelge 2. 6	Koruyucu gaz olarak patentli MISON® karışım gazı kullanılarak bazı dupleks ve ostenitik çelik malzemelerin kaynağında elde edilmiş Charpy V-çentik değerleri [57]	43
Çizelge 2. 7	MAG ve özlü telle kaynak için çekme mukavemeti ve uzama verileri [27] ...	50
Çizelge 3. 1	Çift kanallı koruyucu gazlı TIG ile kaynak edilen alın birleştirmesinde çekme mukavemeti değerleri [70]	62
Çizelge 3. 2	Çift kanallı koruyucu gazlı TIG ile kaynak edilen alın birleştirmesinde çentik darbe mukavemeti değerleri [70].....	62
Çizelge 3. 3	DMAG prosesinde kaynak akımı ve geriliminin metal transfer modları ve dikiş geometrisi üzerine etkisi [71]	64
Çizelge 3. 4	Tek ve çift kanallı torç için ozon ve Cr(VI) sonuçları [73].....	74
Çizelge 3. 5	İki bağımsız ve eşeksenli gaz akışlı torç ile alüminyumun MIG kaynağı parametreleri: koruyucu gaz kompozisyonunun etkisi [74].....	75
Çizelge 3. 6	İki bağımsız ve eşeksenli gaz akışlı torç ile alüminyumun MIG kaynağı parametreleri: kaynak hızının etkisi [74]	76
Çizelge 3. 7	Ark tipi üzerine koruyucu gazın etkisi [75]	80
Çizelge 3. 8	Sprey arkta ulaşılan maksimum kaynak hızları [75]	80
Çizelge 3. 9	Az sıçramalı çift gazlı kaynak için teknolojik standartlar [76].....	82

Çizelge 4. 1	20 mm, 6 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığındaki S235JR malzemenin kimyasal bileşimi (% ağı.).....	85
Çizelge 4. 2	6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığındaki X2CrNi 18 9 malzemenin kimyasal bileşimi (% ağı.).....	85
Çizelge 4. 3	Genel yapı çeliklerinin kaynağında kullanılan 1,2 mm çaplı masif [78] ve metal özlü [79] kaynak tellerine ait kimyasal bileşim (% ağı.).....	87
Çizelge 4. 4	CrNi ostenitik paslanmaz çeliklerinin kaynağında kullanılan 1,2 mm çaplı paslanmaz masif [80] ve paslanmaz rutil özlü [81] kaynak tellerine ait kimyasal bileşim (% ağı.).....	87
Çizelge 4. 5	V-alın numunelerin masif ve özlü tel ile kaynak deneylerinde kullanılan koruyucu gaz oranları	95
Çizelge 4. 6	Açısal çarpılma miktarlarına göre seçilen, S235JR malzemeden T-köşe kaynak numuneleri	102
Çizelge 4. 7	Açısal çarpılma miktarlarına göre seçilen, X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numuneleri	103
Çizelge 5. 1	Ç5–DMAG–6Ar–9CO ₂ kaynak numunesi için parametreler	107
Çizelge 5. 2	Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ kaynak numunesi için parametreler	108
Çizelge 5. 3	Masif ve metal özlü telle kaynak edilen numunelerdeki 14 paso için ortalama parametreler	109
Çizelge 5. 4	Askaynak SG2 masif telle kaynak edilmiş V-alın parçalardan çıkartılan çekme numuneleri ile V-çentik darbe numunelerine ait deney sonuçlarının ortalamaları	113
Çizelge 5. 5	Starweld MCW-7100 metal özlü telle kaynak edilmiş V-alın parçalardan çıkartılan çekme numuneleri ile V-çentik darbe numunelerine ait deney sonuçlarının ortalamaları.....	114
Çizelge 5. 6	V-alın kaynaklı numunelerde 6. noktanın çıktığı maksimum sıcaklık ve 400°C'a soğuma hızı	122
Çizelge 5. 7	6 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri.....	145
Çizelge 5. 8	8 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri.....	146
Çizelge 5. 9	10 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri.....	147
Çizelge 5. 10	S235JR Malzemeden T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Metali, ITAB, Ana Malzeme Ergime ve İlave Metal Ergime Alanları	156
Çizelge 5. 11	6 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri.....	159
Çizelge 5. 12	8 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri.....	160

Çizelge 5. 13	10 mm kalınlıĝa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri.....	161
Çizelge 5. 14	X2CrNi 18 9 Malzemeden T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Metali, Ana Malzeme Ergime ve İlave Metal Ergime Alanları	170
Çizelge 6. 1	S235JR malzemeden T-köşe kaynak numuneleri için tel besleme ve kaynak hızları ile 1 paso için gerekli ark süresi	184
Çizelge 6. 2	X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numuneleri için tel besleme ve kaynak hızları ile 1 paso için gerekli ark süresi	185
Çizelge 6. 3	Tel elektrotlara ait birim hacimdeki ağırlık değerleri	186
Çizelge 6. 4	S235JR malzeme için ilave metal yığma miktarları.....	186
Çizelge 6. 5	X2CrNi 18 9 malzeme için ilave malzeme yığma miktarları.....	187
Çizelge 6. 6	Üç farklı kalınlıĝa sahip (6 mm, 8 mm ve 10 mm) S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemelerin T-köşe kaynağında 1 saatte harcanan ilave malzeme miktarları	187
Çizelge 6. 7	S235JR numunelerin T-köşe kaynağı için ortalama enerji tüketim maliyeti	189
Çizelge 6. 8	X2CrNi 18 9 numunelerin T-köşe kaynağı için ortalama enerji tüketim maliyeti	189
Çizelge 6. 9	S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemelerin T-köşe kaynağında toplam maliyet	190

**KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA KARIŞIM ORANLARI VE GAZ
YÖNLENDİRME TÜRLERİNİN KAYNAK DİKİŞİNDE ORTAYA ÇIKARDIĞI
FARKLILIKLARIN ARAŞTIRILMASI**

Tolga MERT

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Nurullah GÜLTEKİN

Gazaltı kaynağında kaynak telinin ve koruyucu gazın türünün kaynak metalinin bileşimine ve mekanik özelliklerine etkisi çok büyük olmaktadır. Günümüzde, farklı koruyucu gazların olumlu özelliklerinden istifade etmek ve koruyucu gazdan elde edilecek faydayı artırmak amacıyla karışım gazları kullanılmaktadır. Koruyucu gazların alternatif yollarla ve çift kanallı torçta koruyucu gazların birbirine karışmadan ve bağımsız şekilde kaynak bölgesine gönderilmesi fikri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Pahalı olan soygazların daha az ama yeter bir miktarda gönderilerek istenen ark karakteristiklerinin elde edilebileceği ve ucuz koruyucu gazların ise arkın dış atmosferle bağlantısını kesmek için kullanılabileceği fikri ile kaynak metalinden beklenen mekanik ve fiziksel özelliklerin karşılanabileceği düşünülmüştür.

Geleneksel gazaltı kaynağındaki araştırmaların yanında, bazı araştırmacılar da koruyucu gazların alternatif şekilde beslendiği gazaltı kaynak proseslerini ve bu proseslerin bazı açılardan geleneksel gazaltı kaynak yöntemlerine kıyasla farklılıklarını bildirmişlerdir. Alternatif koruyucu gaz yönlendirmeleri ve MIG/MAG kaynağında çift kanallı koruyucu gaz besleme ile ilgili yapılan çalışmalarda, farklı gaz miktarları ile elde edilen ark transfer modları, kaynak dikişinin mukavemet ve tokluk değerleri, dikişteki gözenek miktarı ile iç ve dış nozullarda biriken çapaklar, kaynak hızları ve dikişlerin makro yapıları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, çift kanallı gazaltı kaynak torcu tasarlanarak imal edilmiş olup, ana malzemeler olarak ise S235JR düşük karbonlu çelik ve X2CrNi189

ostenitik paslanmaz elik malzeme seçilmiştir. Bu ana malzemelere masif ve zl tel elektrotlarla hem karışım gazıyla hem de çift kanallı torç ile kaynak yapılmış ve mukavemet değerleri ile açısal çarpılma (distorsiyon) değerleri ölçülmüştür. Ayrıca her iki proses arasındaki farklar makro ve mikro boyutta kaynak dikişi ve ITAB incelemeleri ile de ortaya konulmaya çalışılmış ve sonuçlar termal kameradan elde edilen sıcaklık verileri ile ilişkilendirilmeye çaba gösterilmiştir. Bunun yanında çift kanallı gaz yönlendirmesi yöntemi ile geleneksel karışım gazı yönteminin maliyet analizlerinin yapılarak, her iki yöntemin kaynak maliyetleri arasındaki farklar somut olarak ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Koruyucu gaz, çift kanallı gazaltı kaynak torcu, makro yapı, mikro yapı, açısal distorsiyon, kaynak maliyeti

**RESEARCHING VARIETIES IN WELDING BEAD CAUSED BY SHIELDING GAS
MIXTURE RATES AND GUIDING TYPES IN GAS METAL ARC WELDING**

Tolga MERT

Department of Mechanical Engineering

Ph.D. Thesis

Advisor: Prof. Nurullah GÜLTEKİN

The effect of welding wire and shielding gas type in gas metal arc welding on weld metal composition and mechanical properties is very significant. Today, in order to take advantage of positive features of different shielding gases and improve the benefit that will be gained from the shielding gas, mixture of shielding gases is used. The idea of supplying shielding gases independently and concentrically by alternative means and supplying shielding gases in double channel gas metal arc welding torch without mixing, has been studied by some researchers. It has been thought that mechanical and physical properties that are demanded from weld metal might be satisfied by feeding expensive inert gases in a little amount but sufficiently, to obtain desired arc characteristics and using cheap shielding gases to block the interaction of the arc with its surrounding atmosphere.

Besides research in conventional gas metal arc welding process, some researchers have studied gas metal arc processes in which shielding gases are supplied alternatively and reported the differences of these processes in some aspects compared to conventional gas metal arc welding. In supplying shielding gases alternatively and double channel shielding gas supply in MIG/MAG welding studies, arc transfer modes, strength and toughness of weld seam, porosity in weld seam, spatter loss in inner and outer nozzles, welding speeds and macrographs of weld seams have been evaluated. In this study, double channel gas metal arc welding torch has been

designed and manufactured. Base metals used in this study were S235JR low carbon steel and X2CrNi189 austenitic stainless steel. Welding was carried on these materials with solid, flux and metal cored wires not only with mixtures gases using torch but also double channel torch and after that strength of weld metal, angular distortion of the welding assembly was measured. In addition to that, the differences between these two processes was introduced by macro and micro examination of weld metal and HAZ and the results would try to correlate temperature data that was obtained from a thermal camera. Furthermore, cost analyses for double channel shielding gas guiding process and conventional mixture gas process were realized and cost differences between these two processes were introduced perceptibly.

Keywords: Shielding gas, double channel gas metal arc welding torch, macro structure, micro structure, angular distortion, welding cost

1.1 Literatür Özeti

Güvenilir bir kaynaklı bağlantı elde edebilmek için örtülü elektrotla gerçekleştirilen ark kaynağı uygulamalarındaki en önemli sınırlamalardan ikisi, kaynakçının konu ile ilgili olarak eğitilmiş olmasının gerekliliği ve kaynak hızıdır. Bunların sonucu olarak, kaliteden ödün vermeden hızlı bir imalat söz konusu olduğunda adı geçen yöntem talepleri karşılayamamaktadır. Bunların yanı sıra, kaynak işlemi devam ettikçe cüruf temizliği ve elektrot değişimi için geçen süre de kayda değer olmaktadır. Ayrıca bu yöntemde koçan kaybı da mevcuttur; bu da maliyeti artırmaktadır. Birim zamanda yığılan metal miktarı artırılmak istendiğinde de, bazı sınırlamalarla karşılaşmakta ve de kaynak akımı istenildiği kadar artırılamamaktadır; böylece prosesin verimliliği de düşük olmaktadır.

Kaynakta imalat sürelerinin kısaltılması, maliyetlerin azaltılması ve de kaynak yapan kişiden kaynaklanabilecek sorunları ortadan kaldırmak için, kaynak endüstrisi otomatik ve mekanize yöntemler geliştirmiştir. Bu kaynak yöntemlerinin prensibi, kaynak tel elektroduna ark bölgesine çok yakın bir yerden yüksek akım yükleyerek ergime gücünün artırılması için, elektro-mekanik bir tertibat kullanılmasıdır.

Örtülü elektrotta örtünün gerçekleştirdiği korumaya benzer bir koruma elde etmek için asal gaz kullanma fikri 1920'lere kadar gitmektedir. O yıllarda pahalı olan asal gaz korumasının patenti 1930 yılında Henrey M. Hobart ve Philip K. Dewers tarafından alınmıştır. Ancak kangaldan beslenen ve tükenen tel elektrot ile iş parçası arasında argon veya helyum gibi asal (soy) koruyucu gaz atmosferi altında arkin yandığı gazaltı

ark kaynak yönteminin (MIG) temellerinin 1920'lere dayanmasına rağmen, ticari anlamda uygulamaları 1948'e kadar mevcut olmamıştır. Bu yöntem, yüksek akım yoğunluğuna sahip, küçük çaplı çıplak tel elektrotlar ve asal gaz kullanımıyla esas olarak alüminyumun ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. Daha sonraları bu yöntem, yüksek alaşımlı çelikler, bakır ve alaşımları ile karbonlu çeliklere uygulanmıştır. Bu yöntemle ilgili proses gelişimleri, düşük akım yoğunlukları ve darbeli akım ile reaktif (CO_2 gibi) koruyucu gazlar ve gaz karışımlarının kullanımını içermiştir. Karbondioksit gibi aktif bir gazın kullanımı ile ilgili ilk çalışmalar 1952 yılında olmuştur. Reaktif gazlar ve gaz karışımlarının kullanımı ile, metal asal gaz kaynağı tabiri yerini, gazaltı kaynağı isimlendirmesine terk etmiştir [1], [2], [3].

Karbondioksit gazının koruyucu gaz olarak kullanılmasıyla ilgili ilk denemelerde iyi sonuçlar alınamamıştır. Kaynak dikişinde yoğun bir gözeneklilik ve işlem esnasında aşırı bir sıçrama görülmüştür. Yapılan incelemeler sonucu bunun nedeninin karbondioksit gazının yeterince saf olmamasının ve rutubetli olmasının neden olduğu anlaşılmıştır. Kısa devre halinde kısa ark boyu ile çalışılması ve son yıllarda geliştirilen sinerjik ve inverter tipi kaynak makineleri ile sıçramalar oldukça azaltılmıştır.

Günümüzde, gerektiğinde arkı yumuşatmak ve sıçramayı azaltmak için %85 ve hatta daha fazla oranlarda argonun CO_2 'ye karıştırılıp kullanılması tercih edilmektedir. Argon içine çok az miktarda oksijen katılarak çeliklerin kaynağında her pozisyonda kaynak imkanı sağlanmış ve daha düzgün görünüşlü dikişler elde edilmiştir. Gelişmelerden bir diğeri de çeşitli bileşimlerdeki koruyucu gazlarla spreyci ark yönteminin bulunmasıdır. Son yıllarda geliştirilen darbeli akım ve soğuk metal transferi (cold metal transfer-CMT) yöntemlerinde, iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimum seviyede tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılmalar azaltılmıştır [1]. Isı girdisinin azaltılmasına yönelik yöntemlerden biri de MIG sert lehimleme yöntemidir. Bu yöntemle ilgilenen araştırmacılardan Iordachescu vd. [4], çinko kaplı ince çelik plakaların MIG sert lehimlenmesinde metal transferi ve dikiş şekli üzerine proses parametreleri ve değişik koruyucu gazların etkilerini incelemişlerdir.

Gazaltı kaynağında kaynak telinin ve koruyucu gazın türünün kaynak metalinin bileşimine ve mekanik özelliklerine etkisi çok büyüktür. Literatürde bu etkinin

araştırıldığı pekçok yayına rastlamak mümkündür. Bu yayınların büyük kısmında koruyucu gaz olarak çeşitli karışım gazları, ana malzeme olarak düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler ile paslanmaz çelikler kullanılmıştır. Bazı yayınlarda ise MIG yöntemi ile alüminyum alaşımı malzemelerin kaynağı incelenmiştir. Mukhopadhyay ve Pal [5], yüksek mukavemet düşük alaşımlı (HSLA) çeliğin farklı koruyucu gaz kompozisyonları kullanarak masif ve özlü tel ile kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Deneyde ana metal olarak minimum akma mukavemeti 700MPa olan HSLA çeliği, test plakalarını kaynak etmek için de 1,2 mm çaplı masif tel ve özlü tel kullanılmıştır. Masif tel için koruyucu gaz kompozisyonu olarak %80Ar+%18CO₂+%2O₂ (S1), %80Ar+%17CO₂+%3O₂ (S2), %80Ar+%16CO₂+%4O₂ (S3), %80Ar+%15CO₂+%5O₂ (S4) kullanılmıştır. HSLA kaynak metalindeki iğnemsî ferrit (AF), tane sınırı ferriti (GF) ve kenar plakalı ferrit (FS) gibi mikroyapı bileşenlerinin, koruyucu gazdaki oksijen ve karbondioksit içeriğinden etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca masif telle kaynakta, koruyucu gazda %4'e kadar oksijen içeriğinde hem akma mukavemeti hem de çekme mukavemetinin artış gösterdiği, oksijen içeriği daha da arttığında kaynak metalinin çekme mukavemetinde ve % uzamasında azalma gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tusek ve Suban [6], östenitik paslanmaz çeliğin ark kaynağında argon içindeki hidrojenin etkisini incelemişlerdir. Çalışmalar TIG ve MIG kaynağında, argon içinde farklı hidrojen miktarlarıyla (% 0,5-20) gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, argona hidrojen ilavesinin kaynak arkının statik karakteristiğini değiştirdiğini göstermiştir. Argona hidrojen ilavesi ark gücünü arttırmış ve sonuç olarak ergiyen malzeme miktarı artmıştır. TIG'de %10 hidrojen ilaveli argon ile ergiyen ana malzeme miktarı 4 kat artmıştır. Hidrojen ilavesi, kaynak arkının ısı ve ergime verimliliklerini de arttırmıştır. TIG'deki proses stabilitesi, hidrojen ve argon karışımıyla çok iyi bir duruma gelmiştir. Ayrıca MIG kaynağında argona hidrojen ilavesi arkın ergitme oranı ve verimliliğini artırmaktadır ancak bu artışın TIG'dekinden çok daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Gülenç vd. [7], MIG kaynağıyla birleştirilen 304L paslanmaz çeliğin kaynaklı numunelerinin mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Ar ve Ar'a farklı oranlarda H₂ ilavesi ile elde edilen koruyucu gazlar ile kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Akım değerleri olarak 140A, 180A ve 240A seçilmiştir. Bu çalışmada, 10 mm kalınlıklı östenitik paslanmaz çelik numuneler, 1,2 mm çaplı tel kullanılarak MIG kaynağıyla

kaynak edilmiştir. Parçalar, BOS tarafından temin edilen HYLITE (%1,5H₂-Ar) ve HYPLAS (%5H₂-Ar) ve saf Ar koruyuculuğunda birleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre, tüm numunelerin çekme mukavemeti artan akımla birlikte artmıştır. En yüksek çekme mukavemetine, HYLITE (%1,5H₂-Ar) gaz altında 240A akım şiddeti ile ulaşılırken, en düşük çekme mukavemeti saf Ar gazından elde edilmiştir. Koruyucu ortama hidrojen ilavesi, kaynağın mekanik özelliklerini arttırmıştır bununla birlikte %1,5 H₂ ilavesi, %5 H₂ ilavesinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni olarak kaynak ortamına hidrojen girdisinin kaynak metalinde gerilmeye neden olduğu söylenmiştir.

Kuk vd. [8] yaptıkları çalışmada, karışım gaz oranı ve test sıcaklığına göre yorulma ömrünün kaynak bölgesi üzerine etkisini incelemek için Al 5083-O alüminyum alaşımının yorulma mukavemetini çalışmışlardır. Çeşitli karışım gaz oranlarıyla (Ar, %67Ar+%33He, %50Ar+%50He ve %33Ar+%67He) kaynak numuneleri için gazaltı kaynağı, üç farklı ısı girdisi ile gerçekleştirilmiştir. Yorulma testi için test sıcaklıkları +25°C, -30°C, -85°C ve -196°C'dir. %100 Ar'da dikiş genişliği en fazla olmuştur; fakat %33Ar+%67He karışımında penetrasyon derinliği ve alanının en büyük olduğu görülmüştür. Argon içeriği azaldıkça dikiş genişliği artmaktadır. Isı girdisi arttıkça yığılan malzeme alanı artmaktadır. %33Ar + %67He karışımında yığılan malzeme alanı en çok artmıştır ve ıslatma en iyi olmuştur. Daha yüksek Ar oranıyla kaynak metalinin yorulma ömrü azalmıştır fakat ergime hattı ve ITAB önemli ölçüde etkilenmemiştir. Düşük sıcaklıklarda, özellikle -196°C'da yorulma ömrü artmıştır. Sıcaklık ne kadar düşük olursa ana metalin ve %33Ar + %67He numunesinin yorulma ömrü o kadar fazla ve -85°C'a kadar diğer numunelerin yorulma ömrü o kadar az olmuştur. -196°C'da tüm numunelerin yorulma ömründe bir artış eğilimi olmuştur.

Uygur ve Gülenç [9], AISI 1020 düşük karbonlu çeliğin kaynaklı bağlantısından çıkartılan yığılmış malzemenin mekanik özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışma, MIG kaynaklı düşük karbonlu çeliklerin çekme davranışı, R= -1 yorulma cevabı ve çeşitli sıcaklıklarda darbe test sonuçları üzerine koruyucu gaz kompozisyonunun etkisini açıklamaya çalışmıştır. Kaynak teli olarak SG2 tel ve koruyucu gaz olarak da %100 CO₂, %100 Ar, %95Ar + %5CO₂, %85Ar + %15CO₂, %70Ar + %30CO₂, %91Ar + %5CO₂ + %4O₂, %83Ar + %13CO₂ + %4O₂ kullanılmıştır. İlave malzemenin çekme özelliklerinin koruyucu

gazdan etkilendiği görülmüştür. CO₂ içeriğindeki artış, çekme mukavemetinde artışa süneklikte azalmaya neden olmaktadır. Oda sıcaklığında darbe testleri Ar koruyuculuğundaki darbe tokluğunun en yüksek olduğunu, oksijen potansiyelindeki yüksek seviye nedeniyle %70Ar + %30CO₂ karışımında kaynak malzemesinin en düşük darbe enerjisi gösterdiğini ortaya çıkartmıştır. Yorulma testlerinde S-N eğrileri, Ar ve CO₂ ortamında çok benzerdir bununla birlikte koruyucu gazdaki CO₂ içeriği arttıkça yorulma mukavemeti düşmektedir. Bunun nedeni olarak, CO₂ içeriğindeki artışın çatlak başlama noktaları olan daha fazla inklüzyona yol açtığı ve bunun da numunenin erken kırılmasına yol açtığı söylenmiştir.

Pires vd. [10], Ar + %2CO₂, Ar + %8CO₂, Ar + %18CO₂, Ar + %5O₂, Ar + %8O₂, Ar + %3CO₂ + %1O₂ ve Ar+%5CO₂+%4O₂ koruyucu gazlarının transfer modları ve duman emisyonları üzerine etkisini araştırmışlardır. Ana malzeme olarak düşük karbonlu çelik, ilave tel olarak da 1,2 mm çaplı (AWS ER 70S-6) yumuşak çelik tel kullanılmıştır. Sprey transferin meydana geldiği parametre aralığının, ısı iletkenlik ve karışımdaki aktif komponent artışı ile azaldığı görülmüştür. Püskürmeli transfer, karışımın reaktif davranışı ve karışımın ısı iletkenliğindeki artış nedeniyle olan iletkenlik bölgesindeki azalmaya bağlı olarak meydana gelir. Diğer faktörlerin yokluğunda karışımın oksidasyon potansiyeliyle birlikte ark boyunun arttığı gözlemlenmiştir. Üçlü karışımlar, geniş akım şiddeti ve gerilim aralığında kısa devre ve sprey transfer modları üretmek için çok fazla esnekliğe sahiptir. Karışımdaki CO₂ ve O₂ artışıyla ve ayrıca, ark sıcaklığı ve stabilite bozukluğundaki artış, karışımın aktif komponenti, ısı iletkenliği ve damlacıkların hacmindeki artış ile duman oluşma hızının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kaynak esnasında açığa çıkan duman miktarının, aynı oksitleme potansiyeline sahip O₂'li karışımlarda, CO₂'li karışımlara göre daha düşük olduğu farkedilmiştir.

Thier vd. [11], kök koruması için büyük çoğunluğu azot ve argondan oluşan yüzde birkaç hidrojen ihtiva eden gazların kullanılmasından yola çıkarak, kaynak dikiş kalitesinin, ne kadarlık hidrojen ve azot alınmasıyla bozulduğunu, farklı gaz kompozisyonları kullanarak araştırmışlardır. Bu amaçla, ana malzeme olarak yüksek mukavemetli ince yapı çeliği S690Q, süperdupleks çelik X2CrNiMoN25-7-4 ve östenitik X6CrNiTi18-10; ilave malzeme olarak da sırasıyla, Mo ve Cr alaşımlı Ni esaslı masif tel, X2CrNiMoN25-9-4 masif tel ve X5CrNiNb19-9 masif tel kullanılmıştır. Tüm kök

kaynakları TIG ile yapılmıştır. İnce taneli yapı çeliğinin diğer pasoları için %82Ar+%18CO₂ karışım koruyucu gaz kullanılarak MAG kaynağı yapılmıştır. Dupleks ve CrNi çeliklerinin diğer pasoları için Argon 4.8 kullanan TIG kaynağı kullanılmıştır. Şekillendirme gazı (forming gas) olarak ilk kez saf Ar 5.0 kullanılmıştır. Bu gaz, hidrojen ve azot içeriklerinin belirlenmesi için referans gazı olarak görev yapmıştır. Hacimsel olarak %2 ila %10 hidrojen içeren gaz karışımları (gerisi Ar veya Azot) kullanılmıştır. Sonuçta, kaynak dikişlerinin kalitesinin, şekillendirme gazındaki ya azot içeriği veya hidrojen içeriği nedeniyle yetersiz olduğunu; eğme veya çentik darbe testlerinde çelik numunelerin yeterli süneklik ve sağlamlık gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bununla beraber ince taneli yapı çeliği S690Q'de meydana gelen hidrojen gevrekliğinin göz ardı edilmemesi gerektiğini söylemişlerdir.

Pavlyuk vd. [12], gaz korumasının kalitesinin kaynak prosesi üzerine etkisini ve otomatik CO₂ kaynağında gaz korumasındaki kesilmelerin otomatik olarak algılanmasının bilgi-taşıyıcı parametrelerinin seçimini incelenmişlerdir. Koruyucu gazın kalitesi, %0 ila %100 aralığında değişen oranda (hacimsel) hava ile CO₂'in karıştırılması ile değiştirilmiştir. Sonuç olarak, kaynak bölgesine havanın penetrasyonu nedeniyle meydana gelen CO₂ koruyuculuğun kalitesindeki bozulmaların, metal transferinin doğasını değiştirdiğini ve damlacık transfer frekansını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Akım ve gerilim pikleri tabanlı belirlenen damlacık transfer frekansındaki çeşitliliğin, gaz koruyuculuğunun verimliliğindeki azalmayı, kaynak metalinin süneklik özelliklerindeki azalmaları veya gözeneklerin oluşumunu tespit etmek için kullanılabileceğini öngörmüşlerdir.

Liao ve Chen [13], AISI 304 paslanmaz çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin koruyucu gazdan nasıl etkilendiğini araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada koruyucu gaz kompozisyonları olarak %90Ar+%10CO₂, %80Ar+%20CO₂, %98Ar+%2CO₂, %98Ar+%2O₂ ve %93Ar+%2O₂+%5CO₂ kullanılmıştır. İlave malzeme olarak 1,2 mm çaplı masif tel elektrot kullanılmıştır. Yapılan araştırmaya göre 304 paslanmaz çelik mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine koruyucu gaz kompozisyonunun önemli bir etkisi bulunmaktadır. Ar+CO₂'deki CO₂ oranı %2'den %20'ye arttıkça ve oksijen potansiyeli arttıkça sıçrantı miktarı artmaktadır. CO₂ oranı %2 ila %20 arasındaki Ar+CO₂ gaz karışımlarındaki CO₂ oranının artışı, kaynak metali C içeriğini arttıracak ve

dolayısıyla ferrit numarası azalacaktır. Kaynak metallerinin çentik darbe tokluğu delta-ferrit ve oksijen potansiyelinden etkilenmektedir. Oda sıcaklığında çentik tokluk özelliği oksijen potansiyeline sıkı şekilde bağlıdır. -196°C’de hem delta-ferrit hem de oksit inklüzyonları çentik darbe özelliklerine zarar vermektedir fakat bu sıcaklıkta delta-ferrit çok daha önemli bir rol oynamaktadır.

Dillenbeck ve Castagno [14], farklı koruyucu gaz kombinasyonları kullanarak atmosfere karşı hangi gazın en iyi korumayı sağladığı, sıçramayı en iyi hangi gazın kontrol ettiği, kaynak yüzeyi ve kaynak dikişi profilini hangi gaz veya gazların kaydedilir derecede iyileştirdiği, hangi gazın en fazla kaynak penetrasyonuna yol açtığı, değişik koruyucu gazlarla ilgili maliyet analizleri, yumuşak çeliğin gazaltı kaynağı için genel performansı en iyi ve en ekonomik gaz veya gazların tespit edilmesi konularını araştırmışlardır. Deneylerde 6,4 mm kalınlığa sahip yumuşak karbonlu çelik malzeme ve koruyucu gaz olarak da %100Ar, %98Ar+%2O₂, %100CO₂, %75Ar+%23CO₂+%2O₂, %51CO₂+%20Ar+%29He, %60CO₂+%20Ar+%20He, %74CO₂+%15Ar+%11He, %80CO₂+%20He, %80CO₂+%20Ar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sıçrama en iyi %98Ar+%2O₂ ile kontrol edilmiştir. Sıçrama miktarı koruyucu gazdaki CO₂ oranı ile doğru orantılıdır. Argona kıyasla helyum, yüksek oranda karbondioksit içeren karışımlarda daha iyi sıçrama kontrolü sağlamıştır. Helyum veya argon ilavesiyle kaynak dikişi profili ve görünümü önemli ölçüde iyileşmiştir. Karbondioksit miktarı %25 ila %60 arasında tutulduğunda kaynak görünümü için en iyi sonuç elde edilmiştir. Herhangi bir karışımda en az %20 helyum kullanımı hem iyi bir dikiş görünümü hem de iyi bir dikiş profili sağlamıştır. Saf CO₂ en büyük penetrasyonu sağlamıştır fakat en kötü yüzey görünümüne sahiptir. Karbondioksit, ark ısını kaynak bölgesine yoğunlaştırma işini iyi yapmaktadır ve bunun sonucunda penetrasyon artmaktadır. Herhangi bir gaz karışımındaki CO₂ miktarı arttıkça, daha derin ve geniş bir penetrasyon elde edilmektedir. Maliyet de göz önünde bulundurulduğunda en iyi genel performans %80CO₂+%20He ile elde edilmiştir. Karışım, iyi bir dikiş profili ve görünümü sağlamıştır ve elde edilen penetrasyon hemen hemen saf CO₂ ile elde edilen kadar olmuştur.

Kaçar ve Kökemli [15], tamamen soy bir atmosfer oluşturmak için kontrollü atmosfer kabini geliştirmişler ve ana malzeme olarak 12 mm kalınlığa sahip düşük karbonlu çelik ve ilave malzeme olarak da 1 mm çaplı SG2 tel ve koruyucu gaz olarak saf Ar

kullanmışlardır. Düşük karbonlu çelik malzemeleri argon atmosferde klasik gazaltı kaynağı ile ve benzer kaynak parametreleri kullanılarak kontrollü atmosfer kabininde kaynak etmişler ve her iki yöntemle elde edilen kaynakların mekanik ve metalürjik özelliklerini incelenmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, kontrollü atmosfer gazaltı kaynağında akma ve çekme mukavemetleri, klasik gazaltı kaynağına göre daha yüksek çıkmıştır. Buna karşılık uzama değerleri hemen hemen aynı kalmıştır. -100°C 'deki çentik darbe testlerinde ise, kontrollü atmosfer gazaltı kaynağı, klasik gazaltı kaynağına göre 2 kat tokluk göstermiştir. -50°C 'de elde edilen değerler de benzer bir korelasyon göstermiştir. Deney sıcaklığı yükseldikçe aradaki fark azalmaktadır ve 100°C 'da hemen hemen aynı tokluk değerleri elde edilmiştir. Mikro sertlik testlerinde ise kontrollü atmosfer gazaltı kaynağında elde edilen sertlik sonuçlarının, klasik gazaltı kaynağındaki sonuçlara göre yaklaşık 10 Vh daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çeşitli koruyucu gazların, gazaltı kaynağının ergime karakteristikleri üzerine etkisini inceleyen Lozano vd. [16], AISI 304 paslanmaz malzeme üzerine ER 308LSi tel elektrot ile kaynaklar gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde koruyucu gaz olarak $\%81\text{Ar}+\%18\text{He}+\%1\text{CO}_2$, $\%98\text{Ar}+\%2\text{O}_2$, $\%43\text{Ar}+\%55\text{He}+\%2\text{CO}_2$, $\%98\text{Ar}+\%2\text{CO}_2$, $\%100\text{Ar}$, $\%96\text{Ar}+\%3\text{CO}_2+\%1\text{H}_2$, $\%95\text{Ar}+\%5\text{He}$, $\%98\text{Ar}+\%2\text{O}_2$, $\%99,97\text{Ar}+\%0,03\text{NO}$, $\%97,97\text{Ar}+\%0,03\text{NO}+\%2\text{CO}_2$, $\%78\text{Ar}+\%20\text{He}+\%2\text{CO}_2$ kullanılmıştır. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre, en büyük dikiş genişliğine $\text{Ar}+\%55\text{He}+\%2\text{CO}_2$ ve en derin penetrasyona ise $\text{Ar}+\%5\text{He}$ gazı ile ulaşılmıştır. NO içeren ve içermeyen Ar tabanlı düşük CO_2 içerikli koruyucu gazlar en büyük dikiş yüksekliği vermişlerdir. Ergime açısı ve penetrasyon arttırılarak daha düzgün şekilli dikiş elde edilmiştir. En iyi dikiş şekli, düşük dikiş yüksekliği, büyük dikiş genişliği ve daha derin penetrasyon ve yüksek karışma oranına $\%43\text{Ar}+\%55\text{He}+\%2\text{CO}_2$ gazıyla ulaşılmıştır. Ergime karakteristikleri konusunda Ar- CO_2 karışımına ve saf Ar'a ilave edilen küçük miktarlardaki NO dikiş profilini geliştirmiştir.

Takeuchi ve Shinoda [17], sistematik olarak, darbeli akım şartlarının, koruyucu gaz tipinin ve tel kompozisyonunun, gözenek ve sıçrama oluşumu ile ergime hızına etkisini incelemişlerdir. Ana malzeme olarak yapı çeliği ve ilave malzeme olarak da çeşitli kompozisyonlarda tel elektrotlar kullanmışlardır. Koruyucu gaz olarak ise $\text{Ar}+\%3\text{O}_2$, $\text{Ar}+\%2,4\text{O}_2+\%20\text{CO}_2$, $\text{Ar}+\%20\text{CO}_2$, $\%100\text{CO}_2$ kullanılmıştır. Araştırmacıların elde ettiği

sonuçlara göre, $Ar+2,4O_2+20CO_2$ kullanılarak gerçekleştirilen darbeli MAG kaynağında sıçrama kaybında büyük düşüş görülmüştür. Darbeli MAG kaynağında oluşan sıçrama miktarı, CO_2 kaynağındakinin %30'u kadardır ve 0,8 mm'den büyük kaba sıçrama oluşumlarına hemen hiç rastlanmamıştır. Darbeli MAG kaynağı ile gözenek oluşumunu azaltmak mümkündür. Bununla birlikte, gözenek oluşumuna yatkınlık darbe parametreleri ve koruyucu gaz bileşimindeki en ufak değişiklikten etkilenmektedir. Aynı ortalama akımla, darbeli olmayan doğru akım kaynağıyla karşılaştırıldığında darbeli MAG kaynağında tel ergime hızı %50 artmaktadır ki bu da maksimum ve minimum akımların farkının karesi ile doğru orantılıdır. Gözenek oluşumunun önlenmesinde kaynak telinin kimyasal bileşimi önemli olmaktadır. Ti ilavesi ve Si'un azaltılmasıyla fayda elde edilebilmektedir.

Arayama ve Nakata [18] ise argon koruyucu gaza helyum ilavesinin, alüminyum alaşımının çevresel gazaltı kaynağında penetrasyona olan etkisini incelemişlerdir. Boru malzemesi olarak A7003-T5 ve A6063S-T5, plaka malzemesi olarak A7N01 ve A5052P-H34, kaynak elektrodu olarak da A5356 kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak ise %100Ar, %70Ar+%30He, %50Ar+%50He, %30Ar+%70He, %20Ar+%80He kullanılmıştır. Sonuç olarak da güvenilir penetrasyon profilinin, Ar koruyucu gaza %70-80 He ilavesi ile elde edilebildiğini ortaya koymuşlardır.

Balasubramanian vd. [19] araştırmalarında, darbeli akım kullanarak ergime bölgesi tanelerini inceltmek için çaba göstermişlerdir. 6 mm kalınlığa sahip haddelenmiş plakalar, tek pasolu kaynak bağlantıları için ana malzeme olarak tercih edilmiştir. Kullanılan ilave malzeme AA5356 alüminyum alaşımı teldir. Bağlantıları imal etmek için sürekli akım TIG, darbeli akım TIG, sürekli akım MIG ve darbeli akım MIG yöntemleri kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak %99,99 saflıkta argon seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kaynaklı dört bağlantı tipi içinde darbeli akım TIG kaynağı ile elde edilenler çok yüksek çekme değerleri vermiştir; çekme değerleri, sürekli akım MIG kaynağına göre %25, darbeli akım MIG kaynağına göre %15, sürekli akım TIG kaynağına göre %8 daha yüksek olmuştur. Kaynak metalinde sertlik, kaynak tekniğinden bağımsız olarak, kısmi ergimiş bölge, ITAB ve ana metal bölgelerine göre daha düşüktür. Sürekli akım MIG kaynağında çok düşük sertlik değeri (70 VHN) kaydedilmiştir; maksimum sertlik ise darbeli akım TIG bağlantılarında elde edilmiştir (100 VHN). Darbeli akım TIG

kaynağı tüm diğer tekniklere göre kaynak metalinde çok ince taneler (20 μ m) meydana getirmiştir ve tane çapındaki düşüş, sürekli akım MIG kaynağına göre %75, darbeli akım MIG kaynağına göre %66 ve sürekli akım TIG kaynağına göre %50 dolaylarında olmuştur.

Ebrahimnia vd. [20] yaptıkları çalışmada St 37-2 çeliğin kaynak özellikleri üzerine koruyucu gaz kompozisyonundaki değişimin etkisini incelemişlerdir. Deneylerde dört farklı koruyucu gaz karışımının (%97,5Ar+%2,5CO₂, %90Ar+%10CO₂, %82Ar+%18CO₂ ve %75Ar+%25CO₂) karışımı ile SG2+3 kaynak teli kullanılmıştır. Araştırmacıların deneysel çalışmalarının sonunda elde edilen sonuçlara göre karbondioksit miktarının artması inklüzyon ve porozitede azalmaya yol açmaktadır. Karbondioksit miktarındaki artış, iğnemi ferritin hacimsel kesrini azaltmakta ve Widmanstatten ferritin hacim kesrini artırmaktadır. Karbondioksit miktarındaki artışla kaynak metali sertliği azalmakta, Charpy V-çentik enerjisi ise önce artmakta ve daha sonra sabit kalmaktadır.

Allum ve Quintino [21], [22], LW1 tel pozitif kutupta olmak üzere darbeli akım kaynağıyla, Ar+%5CO₂ veya Helishield 1 koruyucu gazlarını kullanarak yumuşak çelik malzeme üzerine darbeli akım kaynağı gerçekleştirmişlerdir. MMA ve TIG ile ulaşılabilir olmasına rağmen, MIG ile (1,2 mm tel ve Ar+%5CO₂ koruyucu gaz) tüm pozisyonlarda %35'lik ana malzeme ergime oranına ulaşmak mümkün olmamıştır. Herhangi bir akım şiddeti değerinde, maksimum plaka ergimesi ve penetrasyonu 1,5-2 mm/sn'lik kaynak hızlarında gerçekleşmektedir. Elde edilen sonuçlar, referanslarda verilen toplam proses gücünün çok küçük bir miktarının (yaklaşık %5) plakanın ergitilmesi için harcandığı savını onaylamaktadır. Tüm veriler dikkate alındığında en iyi gaz kombinasyonunun Ar+%5CO₂ olduğu gözlemlenmiştir.

Ghosh vd. [23], [24], yumuşak çelik ilave tel kullanılarak ve Ar+%2CO₂, Ar+%18CO₂ ve Ar koruyuculuğunda gerçekleştirilen darbeli akım gazaltı kaynağında, ark karakteristiğindeki değişim ve darbe parametrelerindeki değişim ile gaz koruyuculuğunun stabilitesini, ark ortamını videografi ile çalışarak incelemişlerdir. Bu çalışma, boyutsuz bir faktör olan ϕ 'nin değişik gazların koruyuculuğunda ark gerilimini de içeren çeşitli darbe parametreleri üzerine etkisini ortaya çıkarmıştır. Yine aynı araştırmacıların gerçekleştirdiği devam niteliğindeki diğer bir araştırmada elektrottan

kaynak banyosuna damlacık transferi yüksek hızlı videografi ile ortaya çıkarılmıştır. Damlacığın kopma anında damlacık çapı ve hızının, ϕ 'nin varyasyonu ile önemli ölçüde değiştiği bulunmuştur.

Darbeli akım kaynağıyla ilgili çalışmalardan bir diğerinde ise Ghosh vd. [25], çelikte düşey yukarı darbeli akım gazaltı kaynağının karakteristiklerini araştırmışlardır. 6 mm kalınlığa sahip yapı çeliğinin düşey yukarı kaynağı, 1,2 mm çapa sahip ER70S6 spesifikasyonuna uygun yumuşak çelik tel elektrot ile hem darbeli akım hem de kısa devreli ark ile gerçekleştirilmiştir. Koruyucu gaz olarak Ar+%5CO₂ kullanılmıştır. Çeliğin düşey yukarı kaynağı için darbeli akım gazaltı kaynağının performansının, kısa devreli arklı gazaltı kaynağına göre, kaynaklı bağlantının çekme mukavemeti, darbe testi ve yorulma özellikleri açısından çok daha iyi olduğu bulunmuştur. Darbeli akımlı kaynak bağlantısının mikroyapı, kaynak geometrisi ve mekanik özellikleri darbe parametrelerinden geniş şekilde etkilenmektedir ve darbe parametrelerinin özetlenmiş etkisi olarak tanımlanabilen ϕ faktörü ile iyi şekilde uyumluluk göstermektedir. ϕ 'nin artışının, mikroyapıyı ince taneli hale getirmeye ve çekme mukavemeti, Cv tokluğu ve yorulma ömrünü artırmaya yararı olduğu görülmüştür.

Gaz koruması altında çıplak telle yarı otomatik kaynakta arıtıcı elementler sadece telde bulunur. Telde mevcut karbon, silisyum ve manganez, hiçbir zaman yığılmış kaynak metalinde tam olarak bulunmaz. Oysaki örtülü elektrodun örtüsü, kaynak banyosuna alaşım elementlerini katmak ve meydana getirdiği cürufun viskozite ve yüzey gerilimi aracılığı ile çeşitli pozisyonlarda kaynağı izin vermek gibi görevleri de yerine getirir. Bu gibi avantajları gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirmek için masif tel yerine, içi boş bir boru elektrodun içi toz dekapan ile doldurulmuştur. Doldurulan bu tozun işlevleri, kaynak ark bölgesini iyonize etmek, kaynak banyosunu dezokside etmek, koruyucu gaz ve cüruf oluşturmak ve kaynak dikişine istenilen alaşım elementlerinin katılmasını sağlamaktır [26]. Literatürde, masif telle gazaltı kaynağı dışında özlü tellerle de çeşitli gazaltı kaynak uygulamalarına ait araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Liao ve Chen [27], AISI 304 paslanmaz çeliğin kaynağı için özlü ve masif tel ile gazaltı kaynağı gerçekleştirmişlerdir. Masif elektrot için koruyucu gaz olarak %98Ar+%2CO₂, %90Ar+%10CO₂, %80Ar+%20CO₂, özlü elektrot için koruyucu gaz olaraksa

$\%80\text{Ar}+\%20\text{CO}_2$, $\%60\text{Ar}+\%40\text{CO}_2$, $\%40\text{Ar}+\%60\text{CO}_2$, $\%20\text{Ar}+\%80\text{CO}_2$, $\%100\text{CO}_2$ kullanılmıştır. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre, masif tel kullanıldığında koruyucu gaz kompozisyonlarının paslanmaz çelik kaynak metali özelliklerine büyük etkileri olduğu, özlü tel ile kaynakta ise gaz kompozisyonunun küçük bir etki gösterdiği görülmüştür. Özlü telle kaynak edilen numunelerde sıçrantılar sadece özden etkilenmektedir; koruyucu gaz kompozisyonundan etkilenme olmamıştır. Her iki numune grubu için de $\text{Ar}+\text{CO}_2$ karışımındaki CO_2 miktarı arttıkça, ferrit içeriğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Özlü elektrotlarla ilgili yapılan diğer bir araştırmada ise Lathabai ve Stout [28], AWS E70T-1, E70T-5 (bazik öz) ve E91T1-K2'ye göre ticari özlü teller ve karbon çelik plakalar kullanarak gazaltı kaynağı ile deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde kullandıkları koruyucu gazlar $\%100\text{CO}_2$, $\%92\text{Ar}+\%8\text{CO}_2$, $\%75\text{Ar}+\%25\text{CO}_2$ ve $\%50\text{Ar}+\%50\text{CO}_2$ 'dir ayrıca üç farklı ısı girdisi (1,6, 3,15 ve 4,5 kJ/mm) kullanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre, koruyucu gazın CO_2 içeriği $\%8$ 'den $\%100$ 'e değiştirildiğinde kaynak metallerinin oksijen içeriği artmış fakat Mn, Si ve diğer ana alaşımlama elemanlarının kendine gelmesi (recovery) azalmıştır. Koruyucu gazda CO_2 'in artması, arki daha sert yapmış ve sıçrama miktarı, dikiş konveksliği ve kaynak penetrasyonunu arttırmıştır. Koruyucu gaz ve ısı girdisindeki değişiklikler, Charpy darbe geçiş sıcaklığında tutarsız eğilim meydana getirmiştir. Bazik kaynak metalindeki metalik olmayan inklüzyonlar, Si, Mn, Ti ve Al'un karmaşık oksitleridir. Asidik kaynak metalindeki kalıntılar, Ti, Mn ve Si'un karmaşık oksitleridir. İğnesel ferritin çekirdeklenmesinde kalıntıların rolü, kaynak metali sertleşebilirliği ve/veya soğuma hızı açısından ikincildir. Sonraki faktörler iğnesel ferriti desteklerse, kalıntılar iğnesel ferritin çekirdeklenmesi için soy substratlar olarak hizmet edebilir. Tel için tasarlanan koruyucu gazdan başka bir koruyucu gazın kullanımına dikkat edilmelidir. Eğer ilave metalin formülasyonu, kaynak metalinde Mn ve Si gibi elementlerin mümkün olan en yüksek seviyelerde bulunmasına izin verecek şekildeyse düşük oksijen potansiyelli koruyucu gaz kullanımı zararlı mikroyapılarla sonuçlanabilir. Bunun aksine, eğer kaynakların potansiyel sertleşebilirliği mümkün olan en düşük sınırdaysa, daha ekonomik olmasına rağmen CO_2 kullanımının, düşük çentik tokluğuna sahip kaba mikroyapılarla sonuçlanabileceğini gözlemlemişlerdir.

Suban ve Tusek [29], deneylerinde kullanılan koruyucu ortamın, ergiyen ilave malzeme miktarına etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Masif tel ve özlü telin ergime hızları karşılaştırılmıştır. Ana malzeme olarak 15 mm kalınlığa sahip yapı çeliği kullanmışlardır. Masif tel ve rutil özlü telle denemeler gerçekleştirmişlerdir. Koruyucu gaz olarak da saf Ar, saf CO₂, %82Ar+%18CO₂, %65Ar+%26,5He+%8CO₂+%0,5O₂ (TIME) kullanılmıştır. Kullanılan koruyucu ortamın ergime hızı üzerine etkisinin ihmal edilebilir olduğunu ve en yüksek kaynak akımında farklı koruyucu ortamlarla ergime hızı değerlerinin, masif tel için %6, özlü tel için %11 sapma gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Masif ve özlü telli TIME-korumalı kaynakta, serbest tel boyundaki değişikliklerin ergime hızı üzerine etkileri de araştırılmıştır. Diğer tip koruyucu gazlar için de bağımlılığın benzer olduğu görülmüştür. 1,6 mm çaplı masif tel için olan matematiksel model ile argon/CO₂ karışımı için olan matematiksel modelin karşılaştırması yapılmıştır. İki matematiksel model aracılığıyla hesaplanan değerlerin uyumu mükemmeldir. Bu, kullanılan koruyucu ortamın ergime hızını önemli şekilde etkilemediğini doğrulamıştır.

Liao ve Chen [30], çalışmalarında paslanmaz çelik kaynak metalinin çentik tokluğunun koruyucu gazdan nasıl etkilendiğini araştırmayı amaçlamışlardır. AWS A5.22-80 spesifikasyonuna uygun olarak, yumuşak çelik malzeme üzerine çok pasolu uygulamadan önce, V kaynak ağzı yüzeyine iki paso ara tabaka katmanını, MAG için AWS ER308L ve özlü ark kaynağı için AWS E308LT-1 elektroduyla yığmışlardır. Koruyucu gaz olarak masif teller için %98Ar+%2CO₂, %90Ar+%10CO₂, %80Ar+%20CO₂ kullanılmıştır. Özlü teller için %80Ar+%20CO₂, %60Ar+%40CO₂, %40Ar+%60CO₂, %20Ar+%80CO₂ ve %100CO₂ kullanılmıştır. Paslanmaz çelik kaynağında masif tel kullanıldığında, koruyucu gaz kompozisyonunun çentik tokluğu üzerine önemli bir etkisi olduğu, özlü telle paslanmaz çelik kaynağında ise gaz kompozisyonunun etkisinin çok az olduğu gözlemlenmiştir. Tüm yığılan metallerin çentik tokluğu delta ferritten ve inklüzyonlardan etkilenmektedir. Oda sıcaklığında masif tel kullanılarak yapılan kaynakların çentik tokluğunun inklüzyon içeriğine önemli ölçüde bağlı olduğu görülmüştür. -196°C'da hem MAG hem de özlü telle kaynakta hem delta ferrit hem de oksit inklüzyonları çentik tokluğunu azaltacaktır. Her iki grup numunede de Ar+CO₂ karışımındaki CO₂ miktarı arttıkça ferrit içeriği azalmıştır.

Grong vd. [31], atmosferik azotun mekanik özelliklere olan etkisini araştırmak için değişik serbest tel boylarının kendinden korumalı özlü tel kaynaklarını gerçekleştirmişlerdir. Kaynaklar 30 mm kalınlığa sahip düşük karbon mikroyapılı çelik plakalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlave malzeme olarak 2 mm çaplı ticari Lincoln Innershield elektrot teli (NR 203 Ni-C) kullanılmıştır. Belirli kaynak şartları altında kendinden korumalı özlü tel kaynağında azot içeriğinin, havadan artan oranda azot absorpsiyonu ihtimali nedeniyle, elektrot serbest tel boyundaki değişime duyarlı olduğu doğrulanmıştır. Azota göre alüminyum stokiometrik miktarın çok üstünde mevcut olduğundan aşırı azot, ergimiş banyoda kaba alüminyum nitrürleri halinde çökelir. Bu parçacıklar daha sonra soğuma esnasında kaynak metalinde katılaşmanın önünde hapsolür. 1µm'den daha büyük çapa sahip alüminyum nitrür parçacıklarının, mikroboşluklar ve yarık çatlakları için dahili çekirdeklenme bölgeleri olarak rol oynayarak kaynak metali darbe özellikleri üzerine zararlı etkilere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Svoboda vd. [32], çalışmalarında, 1,2 mm çaplı ANSI/AWS A5.29-98 E81T1-Ni1 özlü telin tüm-kaynak-metali mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine farklı gazların (CO₂ ve %80Ar-%20CO₂), kaynak pozisyonunun (yatay ve aşağıdan yukarı), ark enerjisi (1 ve 1,9 kJ/mm) ve sıra başına paso sayısının (iki ve üç) etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Ar/CO₂ ile yapılan kaynakların mukavemet ve tokluğu ısı girdisindeki ufak değişikliklere karşı çok hassasken, CO₂ kaynakları ısı girdisindeki hemen hemen aynı değişikliklerle bu özelliklerde küçük sapma göstermiştir.

Davey vd. [33], [34], çalışmalarında paslanmaz çeliğin özlü elektrotla kaynağında, yığılan malzemenin uygunluğunu, kompozisyonunu, mikroyapısını, korozyon ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ana malzeme olarak 12,5 mm kalınlığında 316L tip paslanmaz çelik ve ilave malzeme olarak da 2,4 mm çapa sahip kendinden korumalı veya gaz korumalı teller kullanılmıştır. Gaz korumalı özlü teller için koruyucu gaz olarak CO₂ ve Ar+%20O₂ gazları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm teller 316L tip kaynak metali vermiş ve AWS A5.22-80 gereksinimlerini karşılamıştır. Kaynak yığılmadaki gözlemlenen ana farklılık, kendinden koruyuculu tellerde azot içeriklerinin daha yüksek olmasıdır. Tüm teller ostenit/ferrit mikroyapısı vermiştir; kendinden

korumalı bir telle ferrit içeriği düşük olmasına rağmen (yaklaşık 0,2 FN) ferrit uniform olarak dağılmıştır. Tanelerarası saldırıya hassasiyetin belirlenmesi amacıyla olan asit bakır sülfat testini tüm kaynak metalleri geçmiştir. Mevcut kaynak şartlarındaki duman-gaz yayma hızı özlü ferritik olanlarıkiyle karşılaştırılabilir fakat paslanmaz çelik MMA elektrotlarının üstündedir. Duman-gazın yüksek miktarda krom ve önemli ölçüde CrVI içerdiği ve bunun, üretimde dikkate alınması gerektiği gözlemlenmiştir.

Abe vd. [35], tek pasolu yüksek akım yoğunluklu gazaltı kaynak dikişlerinin mikroyapı, sertlik ve tokluğu üzerine ana alaşım elementlerinin (Mn, Ni, Mo vb..) ve mikroalaşım elementlerinin (Nb, V, B vb..) etkilerini, 8,64 kJ/mm ısı girdisi (plaka kalınlığı 25 mm) ile çalışmışlardır. İlave malzeme olarak 1,6 mm çaplı özlü tel ve koruyucu gaz olarak da saf CO₂ kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ana alaşım elementlerinin katılması iğnemsiz ferrit miktarını artırmıştır. İğnemsiz ferritteki artış sertliği artırmıştır. İğnemsiz ferritteki artışın tokluğu arttırdığı gerçeği, belirli bir sertlik aralığında (175-225 Hv) geçerlidir. Buna karşın, 175 Hv sertliğe kadar proötektoid ferritin oluşumu veya 225 Hv'nin üzerinde martenzit oluşumuna bağlı olarak, sertlikteki artış tokluğu azaltmaktadır. Nb ve V, tokluk için zararlı olarak kabul edilen yan-plaka ferriti artırmaktadır ve gerilim giderme ısı işlemi için Nb karbürlerin ve V karbürlerin çökmesi sertliği artırmaktadır ki bu da tokluğu bozmaktadır. Yan-plaka ferrit oluşumu ve çökme sertleşmesi bağlamında Nb'un etkileri, V'unki kadar güçlüdür. B iğnemsiz ferriti artırmakta, yan-plaka ferriti engellemektedir ve sonuç olarak tokluğu önemli ölçüde artırmaktadır.

Ghosh ve Rai [36], 12 mm kalınlığa sahip C-Mn çelik plakanın üzerine geleneksel sürekli akım gazaltı kaynağı ile 1,2 mm çapında özlü tel (AWS E70 T-5) kullanılarak gerçekleştirilen kaynak dikişlerinin karakteristikleri üzerine darbe parametreleri, ark gerilimi ve kaynak hızının etkilerini araştırmışlardır. Kaynak sırasında koruyucu gaz olarak Ar+%20CO₂ kullanılmış, gaz debisi 20 lt/dk ve sabit tel boyu 20 mm olarak ayarlanmıştır. Belirli bir ark gerilimi ve kaynak hızı için darbe fonksiyonu ve darbe süresi değiştirilerek değişik ortalama akım değerleri için darbeli akım gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, darbe frekansı ve süresi ile kaynak hızı veya ark gerilimi sabit tutularak, ark gerilimi ve kaynak hızı değiştirilerek kaynak dikişleri yapılmıştır. Araştırmacıların elde ettiği sonuçlara göre, darbeli akım özlü telli gazaltı kaynağında darbe parametreleri ve

ark gerilimi ile kaynak hızı, kaynak metalinin ve ITAB'ın mikroyapısını ve sertliğini etkilemektedir. I_p ve I_b 'yi etkileyen darbe parametrelerinin ve ark geriliminin etkilerinin, I_p , I_b , f ve t_b 'nin fonksiyonu olan ϕ faktörü ile doğrusal olarak ilişkili olduğu bulunmuştur. Bununla beraber, kaynak yığınının porozitesi, darbe parametrelerinin ve ark geriliminin değişiminde ϕ 'nin geliştirilmesiyle doğrusal olarak artmaktadır. Sürekli akım ve darbeli akım kaynak dikişlerinin karşılaştırılması, darbe parametrelerinin doğru seçiminin, kaynak dikişinin mikroyapı, porozite içeriği ve sertliği ile ayrıca ITAB'ın genişliği ve sertliğine göre kaynak kalitesini artıracağını ortaya çıkarmıştır.

Arivazhagan vd. [37], modifiye edilmiş 9Cr-1Mo (P91) çelik plaka ana malzemede 60°'lik tek V-kaynak ağzının kök pasosunu TIG kaynağı, dolgu pasolarını 1,2 mm çaplı rutil (TiO_2) özlü tel ile gerçekleştirmişlerdir. Saf Ar, saf CO_2 , Ar+%20 CO_2 ve Ar+%5 CO_2 koruyucu gaz olarak kullanılmıştır. İncelenen dört koruyucu gaz içinde, dikişin düzgünlüğü, daha iyi çalışma karakteristikleri ile birlikte yüksek tokluk açısından en tatminkar sonucu Ar+%5 CO_2 vermiştir.

Ergiyen elektrotla gerçekleştirilen gazaltı kaynaklarının dışında ergimeyen elektrotla gazaltı kaynağı yöntemi olan TIG ile gerçekleştirilen pekçok araştırmada da çeşitli malzemelerin kaynağında koruyucu gazların kaynak prosesine olan etkileri araştırılmıştır. Hertzman vd. [38], kaynakta azot kaybını önleme ihtimallerini değerlendirmeyi veya kaynak metali azot miktarını bile artırmayı ve böylece korozyon özelliklerini geliştirmeyi ve dupleks kalitede olduğu gibi faz balansını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Üç farklı azot alaşımlı dupleks kalitesi ve bir süperöstenitik kalite ana malzeme araştırılmıştır. Kök gazı olarak %90 N_2 +%10 H_2 ve koruyucu gaz olarak da Ar+%2 N_2 ile Ar+%5 N_2 kullanılmıştır. Süper dupleks malzemenin CPT (Kritik Çukurcuk Sıcaklığı) cinsinden korozyon direncinin, kaynak metalinin azot içeriğiyle sıkı bir ilişki içinde olduğu bulunmuştur. Süper östenitik kaynak metali durumunda, artan azot içeriğinin artan gözenek oluşumuyla ilişkili olduğu ve bunun da daha düşük korozyon direncine yol açarak artan azot içeriğinin pozitif etkisini maskeleyiği görülmüştür.

Shanping vd. [39], koruyucu gaza CO_2 ilavesinin ve kaynak hızının TIG dikiş şekline olan etkisini incelemişlerdir. Deneylerde 10 mm kalınlığında SUS304 paslanmaz çelik malzeme ve koruyucu gaz olarak da saf Ar, Ar+%0,92 CO_2 ve Ar+%20 CO_2 kullanılmıştır.

Deneyisel sonuçlar argon koruyucu gaza küçük bir miktar CO₂ ilavesinin, kaynak banyosu yüzeyinde Marangoni konveksiyonunu güçlü şekilde etkileyen ve kaynak banyosu şeklini önemli ölçüde değiştiren kompozisyonel değişkenlerden biri olan kaynak metali oksijen içeriğindeki artışa neden olduğunu göstermiştir. Kaynak banyosunda içeri doğru Marangoni konveksiyonu meydana gelir ve böylece kaynak metali oksijen içeriği kritik değer olan 100 ppm değerinin üzerinde olduğunda dar ve derin kaynak banyosu şekillenir. Oksijen içeriği 100 ppm'den düşük olduğunda kaynak şekli geniş ve sığ olmaktadır. Yüksek kaynak hızı ısı girdisini ve sıcaklık gradyenini düşürdüğünden, sıvı yüzeyde Marangoni konveksiyonunu zayıflatmaktadır.

Lin ve Chen [40] çalışmalarında, otojen TIG kaynağı kullanarak, 6 mm kalınlığa sahip 316L ve 310 ostenitik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantılarında argon koruyucu gaza azot ilavesinin ve kalan ferritin artık gerilmeler üzerine etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Eş ilk gerilme hali yaratmak için malzemeler 850°C'da 2 saat tavlansmıştır. Kullanılan koruyucu gazlar argona % 0-8 azot ilavesi ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kaynak metalinin kesit alanı, koruyucu gazdaki azot miktarı arttıkça artmaktadır. Azot miktarı ile derinlik/genişlik oranı arasında iyi bir korelasyon görünmemektedir. %4 azot ilavesi minimum derinlik/genişlik oranı sağlamıştır. Koruyucu gazın azot içeriği %2'yi geçmediğinde, düşük ısı girdisi, yüksek ısı girdisine göre daha yüksek kalan ferrit içeriği ile sonuçlanmaktadır. Bunun sebebi, hızlı soğumayla ostenit ana matris içinde daha fazla yüksek sıcaklık fazının (δ -ferrit) kalması olabilir. Argon koruyucu gazda azot miktarı arttıkça artık gerilmeler artmaktadır. Bunun ana sebebi koruyucu gazdaki artan azot miktarı artan iş parçasına aktarılan ısı miktarını arttırmaktadır. Kaynak metalinde artık δ -ferrit miktarındaki azalma, artık gerilmeleri arttırmaktadır. Katılma sırasında, ısıl büzülme kalan ferritin genişlemesine bağlı olarak yumuşatılabilir. Çift faz yapısı (ostenit matriste kalan δ -ferrit) ısıl büzülmeyi tek östenit faz matrisinden daha fazla azaltmaktadır.

Uygur ve Doğan [41], ticari saflıktaki 3 mm kalınlığa sahip kaynak edilmiş titanyum sacların mikroyapıları, özellikleri ve teknik parametrelerini çalışmışlardır. Yüksek saflıklı (%99,9) argon koruyucu gaz ve atmosferden oksijen ile azot kapmayı önlemek için kaynaktan hemen sonra takip gazı olarak kullanılmıştır. Araştırmacıların sonuçlarına

göre, tüm durumlarda paralel α plakaları kolonileri ve kaba taneler ergime bölgesinde, ITAB'da ince taneler ve ana metalde orta büyüklükte taneler görülmüştür. Düşük ısı girdili kaynaklarda α plakaları daha ince ve yüksek ısı girdili kaynaklarda daha kaba olmuştur. Düşük ısı girdisi ve soğuma hızına bağlı olarak en yüksek sertlik değerleri en düşük kaynak akımı ile elde edilmiştir. Diğerlerine kıyasla ergime bölgesi ve ITAB içinde daha uniform ve ince tanelere neden olan orta şiddetteki akım ile mükemmel mekanik özellikler elde edilmiştir.

Shankar vd. [42] ise iki tip 316L kaynak metalinin kaynak edilebilirliği üzerine azotun etkisini araştırmışlardır. Koruyucu gaz olarak saf Ar kullanılmıştır. Kaynak metali azot içeriklerini %0,04-0,19 aralığında tutmak için 316L (N-%0,036) ve 316LN (N-%0,073) malzemelere koruyucu gaz aracılığıyla azot eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 316L tip kaynak metalinin kaynak edilebilirliği üzerine azotun etkisinin element seviyelerinin empüritesine bağlı olduğunu göstermiştir. Azot miktarının artırılması %0,012 ağırlık kültür içeren 316L kaynak metlaine sıcak çatlamayı önemli ölçüde arttırmışken, düşük kültür seviyeli (%0,001 ağırlık) 316LN eşdeğer azot ilaveleri için herhangi bir etki göstermemiş veya çok az göstermiştir. Yüksek kültür seviyeleri içeren 316L tip kaynak metalinde tam ostenitik mikroyapı elde etmek için yeterli miktarda nikel/azot ilavesi ile N eklenmiş kaynak metalinde daha fazla çatlak oluşmuştur. Azot ilaveli kaynak metali, artan azot miktarı ile artan şekilde kaba tanelileşme ve katılaşma yapısının yan dallanması eğilimi göstermiştir.

Lothongkum vd. [43], 3 mm kalınlığa sahip 304L paslanmaz çeliğin düz, dikey ve baş üstü pozisyonlardaki darbe akımlı TIG kaynağındaki kaynak parametrelerini araştırmışlardır. Koruyucu gazlar Ar ve Ar+N₂ (%0-5 hac.)'dur. Deney sonuçlarına göre, argon içinde azot (%0-3 hac.) ile düz, düşey ve baş üstü pozisyonlarında 304L paslanmaz çelik için uygun darbeli akım TIG kaynak parametreleri oluşturulmuştur. Argon koruyucu gazda %3-5 hac. azot içeriği, δ -ferrit içeriğinin genel kabul edilen %3-12 hac. aralığında kontrol edilmesi için yeterli olmuştur.

Kang vd. [44] ise çalışmalarında imalat endüstrisinde maliyet düşürme, yüksek üretkenlik ve daha iyi kaliteye ulaşma üzerine yoğunlaşmışlardır. Ana malzeme ticari 304 östenitik paslanmaz çelikdir. 2,4 mm çaplı ER 308 (AWS A5.9'a denk) sarf

malzemesi kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak Ar, He ve Ar+%67He kullanılmıştır ve argon ve helyumun dönüşümlü olarak beslenmesi için KR301 isimli aparat kullanmışlardır. Koruyucu gazın dönüşümlü beslenmesi, kaynak bölgesine farklı gazların gönderilmesi için yeni bir teknolojidir. Geleneksel karışım gazı ile kaynakla karşılaştırıldığında, yeni geliştirilen metodlarla kaynak kalitesinin artırılmasının yanında enerji tüketimi %20 azalmakta ve gaz emisyon miktarı da düşüş göstermektedir. Sonuç olarak aynı şartlar altında, geleneksel metodla saf argon, argon+%67 helyum karışımı göndermeye kıyasla, saf argon ve saf helyumun dönüşümlü olarak beslenmesi ile kaynak hızında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu metodla, kaynak penetrasyonunu büyük ölçüde bozmadan argon+%67 helyum karışımı ile aynı kaynak hızına ulaşılmıştır. Geleneksel metodlara kıyasla dönüşümlü gaz besleme metoduyla daha düşük derecede kaynak distorsiyonu meydana gelmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Kaynak maliyetini düşürmek, termin süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikiş kalitesine olan etkisini azaltmak için, günümüz teknolojisi otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye adlandırılan bazı modern yöntemler geliştirmiştir. Bütün bu yöntemlerde ana tema, elektrot telini elektro-mekanik bir tertibat yardımıyla otomatik olarak sürekli ilerletip, ark bölgesine çok yakın bir yerden de akım vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini ayarlayıp ergime gücünü istenen yönde etkilemektir.

Gazaltı yöntemlerinde, kaynak banyosunun ve ana metalin ortamdan korunması koruyucu gaz akışıyla gerçekleştirilmektedir. Koruyucu gazdan beklenen özelliklerin geliştirilmesi isteği nedeniyle, tek bir koruyucu gazdan ibaret gazaltı kaynak sistemlerinde koruyucu gaz tüplerine diğer bazı koruyucu gazların belirli oranlarda karıştırılmasıyla karışım gazları elde edilmeye başlanmıştır. Karışım gazlarıyla tatmin edici sonuçlar alınmış ve günümüzde MIG/MAG gazaltı kaynak uygulamalarında sıklıkla karışım gazları tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada, endüstride yoğun şekilde kullanılan düşük karbonlu çelik ve östenitik paslanmaz çelik malzemelerin birleştirilmeleri, farklı kanallardan yönlendirilen koruyucu gazlar kullanılarak gazaltı kaynağı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı kanallardan farklı oranlarla gönderilen değişik koruyucu gaz çeşitlerinin proses verimliliğinde ve

kaynak dikişinde ortaya çıkardığı farklılıkların ayrıntılı ve deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca kaynak edilen numunelerde meydana gelen şekilsel bozulmaların (distorsiyonlar) incelenmesi ve tüm sonuçların geleneksel karışım gaz yöntemiyle elde edilenlerle de karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bunun yanında çift kanallı gaz yönlendirmesi yöntemi ile geleneksel karışım gazı yönteminin maliyet analizlerinin yapılarak, her iki yöntemin kaynak maliyetleri arasındaki farkların somut olarak ortaya konulması da arzu edilmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Gazaltı kaynağında karışım gazı kullanımının yanında alternatif koruyucu gaz yönlendirmeleri üzerine de çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Araştırmacılardan bazıları koruyucu gazları belirli frekanslarla kaynak bölgesine göndermişler ve kaynak distorsiyonlarının, gözeneklilik seviyesinin ve dikişlerin makro incelenmesi ile gaz emisyon miktarlarının ölçülmesini gerçekleştirmişlerdir. Başka bir araştırmacı grubu ise alternatif gaz beslemesinde sıcaklık dağılımlarının bilgisayarlı analizi üzerine çalışmıştır. Araştırmacılar, çift kanal gaz yönlendirmesi ile çeşitli koruyucu gazlar ve malzemeler kullanılarak yapılan TIG (WIG) ve MIG/MAG kaynaklarını da incelemişlerdir. Çift kanallı TIG kaynağında araştırmacılar, çekme mukavemeti, çentik darbe mukavemeti gibi mekanik özelliklerin değişimi ile volfram elektrodun aşınmasını ve elektriksel parametrelerdeki değişimleri gözlemlemişlerdir. Çift kanallı MIG/MAG kaynağını çalışan araştırmacıların bir kısmı, farklı tip tel elektrotlarla metal transfer modlarını, kaynak dikiş geometrilerini, gazların birbirlerine göre olan akışları ile bunların Reynolds katsayısında meydana getirdikleri değişimleri ve nozullarda biriken çapak kayıplarını incelerken bir kısmı da paslanmaz çelik kaynağında önemli olan, kaynak ortamında Cr(VI) ve ozona maruz kalmayı ele almışlardır.

Gazaltı kaynak torcunda farklı kanallardan koruyucu gaz gönderilmesi ile ilgili literatür bilgileri oldukça kısıtlı bulunmaktadır. Literatürdeki yayınlarda verilmiş olan çekme ve çentik darbe mukavemet değerlerinin neden o şekilde geliştiğinin sebeplerine ilişkin yeterli bir açıklamaya yer verilmemiştir. Ayrıca çift kanallı gaz yönlendirmeli MIG/MAG yöntemiyle kaynak edilmiş numunelerdeki şekilsel bozulmalara (distorsiyonlar) ait ölçüm sonuçlarına da rastlanmamıştır. Bunun dışında, endüstrinin bir kaynak yöntemini

tercih ederken en çok önem verdiği noktalardan biri olan kaynak maliyeti hesabı da yayınlarda bulunmamaktadır. Deneysel alışma sonucunda elde edilen mekanik mukavemet sonuçlarının mikroyapı analizleriyle açıklanması, kaynak dikişlerine ait makro inceleme sonuçlarının verilmesi, proses parametrelerindeki farklılıkların gözlemlenmesi, kaynak edilen malzemelerde meydana gelen şekilsel bozulmaların (distorsiyonlar) ölçölmesi ve bunların sebeplerinin açıklanmaya çalışılması ile hem geleneksel karışım gazı hem de çift kanal gaz yönlendirmeli MIG/MAG yöntemlerinde maliyet analizinin yapılması neticesinde literatürde eksik bulunan noktaların giderilmesine hizmet edilerek çift kanal gaz yönlendirme yönteminin daha iyi anlaşıłmasının sağlanmasına çaba gösterilmiştir.

GAZALTI KAYNAĞINDAKİ KORUYUCU GAZLAR

Elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve ilave kaynak metali, gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tip sarf malzemesini oluşturmaktadır. Koruyucu gazın türü ve kaynak telinin kimyasal bileşimi, kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Koruyucu gazın kalitesi ve tutarlılığı da, güç kaynağından elde edilen elektrik gibi çok önem arz etmektedir [45]. Kaynakta kullanılan koruyucu gazın kaynağın tüm performansı üzerine çok önemli bir etkisi bulunmaktadır. Ana görevi, kaynak havuzu şekillenirken atmosferik azot ve oksijenden kaynak metalini korumaktır. Koruyucu gaz ayrıca istikrarlı bir arkı ve üniform metal transferini teşvik eder. Gazaltı ark ve özlü telli ark kaynağında, kaynak sırasında metal transferi üzerine koruyucu gazın büyük etkisi vardır. Sonuç olarak, bu, kaynak operasyonunun verimliliğini ve kalitesini etkilemektedir. Koruyucu gaz, kaynağın temel mukavemetini, tokluğunu ve korozyon direncini oluşturmak için ana malzeme ve varsa ilave malzeme ile etkileşime girmektedir. Ayrıca kaynak dikişi şeklini ve penetrasyon dokusunu etkileyebilmektedir [1], [2].

Kaynak işlemi için koruyucu gaz seçiminde çeşitli unsurların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar, kaynak edilen metal veya alaşımın türü, kaynak hızına uygunluk, ilave metalin damla geçiş formu ve ark karakteristiği, kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler, parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi, kaynak banyosundaki oksitlerin temizlenmesi, tedarik etme kolaylığı ile gazın maliyetidir. Gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazların bileşimleri ve

işaretlenmeleri TS EN 439'da standartlaştırılmıştır ve çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.2'de ise TS EN ISO 14175'e göre gazların özellikleri verilmiştir [1], [46].

Çizelge 2. 1 EN 439'a göre ark kaynak ve kesme yöntemlerinde kullanılan gazların bileşimleri ve işaretlenmeleri [1]

Kısa gösterim ¹⁾		Gazın % olarak Hacim Bileşenleri						Uygulama Alanı	Özellği
Grup	İşaret Sayısı	Oksitleyici		Soy		Redükleyici	Reaktif		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1 2			Kalan		0-15 15-35		TIG, Plazma kaynağı, Kök gazı	Redükleyici
I ²⁾	1 2 3			100 Kalan	100 0-95			MIG, TIG, Plazma kaynağı, Kök gazı	Soy
M1	1 2 3 4	0-5 0-5	0-3 0-3	Kalan Kalan Kalan Kalan		0-5		MAG	Hafif Oksitleyici
M2	1 2 3 4	0-25 0-5 0-25		Kalan Kalan Kalan Kalan					
M3	1 2 3	25-50 5-50	10-15 8-15						
C	1 2	100 Kalan							
F	1 2					0-50	100 Kalan	Plazma kesme Kök koruma	Reaktif Redükleyici

1) Tabloda bulunmayan bileşenlerin karışımı olarak hazırlanan özel bileşimdeki karışım gazlar S harfi ile

2) Ar, %95'e kadar Helyum ile yer değiştirebilir, He miktarı EN 439 Paragraf 4 ve Çizelge 2.2'ye göre işaretlenir.

Çizelge 2. 2 TS EN ISO 14175'e göre gazların özellikleri [47]

Gaz Türü	Kimyasal Simgesi	0°C ve 1,013 Bar'da		0,101MPa'da Buharlaşıma Sıcaklığı °C	Kaynak sırasında gazın davranışı
		Yoğunluk ^a kg/m ³	Havaya göre izafi yoğunluk ^a		
Argon	Ar	1,784	1,380	-185,9	Soy
Helyum	He	0,178	0,138	-268,9	Soy
Karbondiyoksit	CO ₂	1,977	1,529	-78,5 ^(b)	Oksitleyici
Oksijen	O ₂	1,429	1,105	-183	Oksitleyici
Azot	N ₂	1,251	0,968	-195,8	Düşük reaktif ^(c)
Hidrojen	H ₂	0,090	0,070	-252,8	Redükleyici

a) 0°C ve 0,101 MPa'da (1,013 bar) belirlenmiş
b) Süblimasyon sıcaklığı (katı halden buhar haline direkt geçiş)
c) Azotun davranışı farklı malzeme ve uygulamalarla değişmektedir. Muhtemel olumsuz etki göz önünde bulundurulmalıdır

Kaynak arkı olarak bilinen “kontrollü elektriksel deşarj”, ark plazması olarak adlandırılan iletken ortamın meydana getirilmesi ile şekillenir ve sürdürülür. Bu plazma iyonize gaz, ergimiş metaller, cürufur, buharlar, gaz halinde atomlar ve moleküllerden oluşur. Ark plazmasının oluşumu ve yapısı, koruyucu gazın özelliklerine bağlıdır. Çizelge 2.3 kaynak için kullanılan gazların temel özelliklerini göstermektedir [2].

Çizelge 2. 3 Kaynak için kullanılan koruyucu gazların özellikleri [2]

Gaz	Kimyasal Sembol	Moleküler Ağırlık	Özgül Ağırlık ^(a)	Yoğunluk		İyonizasyon Potansiyeli	
				g/ft ³	g/l	aj ^(b)	eV
Argon	Ar	39,95	1,38	0,1114	1,784	2,52	15,7
Karbondiyoksit	CO ₂	44,01	1,53	0,1235	1,978	2,26	14,4
Helyum	He	4,00	0,1368	0,0111	0,178	3,92	24,5
Hidrojen	H ₂	2,016	0,0695	0,0056	0,090	2,16	13,5
Azot	N ₂	28,01	0,967	0,782	1,25	2,32	14,5
Oksijen	O ₂	32,00	1,105	0,0892	1,43	2,11	13,2

(a) 100 kPa'da (1 Atm) ve 0°C'da (32°F); Hava=1
(b) 10⁻¹⁸ J

MIG/MAG gazaltı kaynağında soy ve aktif gazlar ile bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılmaktadır. Soygazlar reaktif olmadıklarından ve diğer elementlerle reaksiyona girmediklerinden genellikle demir dışı metallerin (Al, Mg, Ti, Cu vb.)

kaynağında tercih edilirken, aktif gazlar ve aktif gaz ile soygaz karışımları ise çeşitli çelik türlerinin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır.

2.1 Soygazlar

Dış kabuklarındaki tüm yerleri elektronlarla dolu olan soygazlar diğer elementlerin atomlarıyla elektron alışverişinde bulunmazlar yani kimyasal reaksiyona girmezler.

2.1.1 Argon

Argon soy (inert) tek atomlu bir gazdır ve sıvı metaller içinde çözülmez. Yoğunluğu havadan yüksek olduğundan özellikle yatay pozisyonlarındaki kaynak işlemlerinde çok etkin bir koruyucu örtü meydana getirerek kaynak banyosunu çok iyi şekilde korur. Argon ve argon içeren gaz karışımları, düşük iyonizasyon potansiyeline (15,7 eV) sahip olmaları nedeniyle hem koruyucu gaz hem de kök gazı olarak uygun özellikleri göstermektedirler. Düşük iyonizasyon potansiyeli ile arkın kolay başlamasını ve istikrarlı şekilde sürdürülmesini teşvik etmektedir. Argonun iyonizasyon potansiyelinin helyuma göre daha düşük olması, çalışma akımında ark geriliminin daha düşük olmasını sağlayacağından özellikle ince parçaların kaynağında helyuma tercih edilmesini sağlamaktadır. Ana malzeme çarpılmasının (distorsiyon) kontrol edilmesi gereken uygulamalarda da tercih edilmektedir. Argonun ısı iletme kabiliyetinin düşük olması nedeniyle ark sütunu daha geniş ve dış kısımlardaki sıcaklık da daha düşük olmaktadır. Sütunun merkezinde metal buharları ve damla geçişi dolayısıyla sıcaklık daha yüksek olduğundan, nüfuziyet dikişin merkezinde derin ve kenarlarında daha az olmaktadır. Al ve Cu gibi hafif metallerin kaynağı için uygun olan saf argon, çeliklerin kaynağında başka gazlarla karıştırılarak karışım gazı şeklinde kullanıldığında daha iyi sonuçlar vermektedir. Titanyum ve tantalum gibi bazı metallerin kaynağında, argon gazındaki en küçük bir safiyetsizlik bile kaynak dikişinde oksit, nitrür ve gözenek oluşmasıyla sonuçlanabilmektedir.

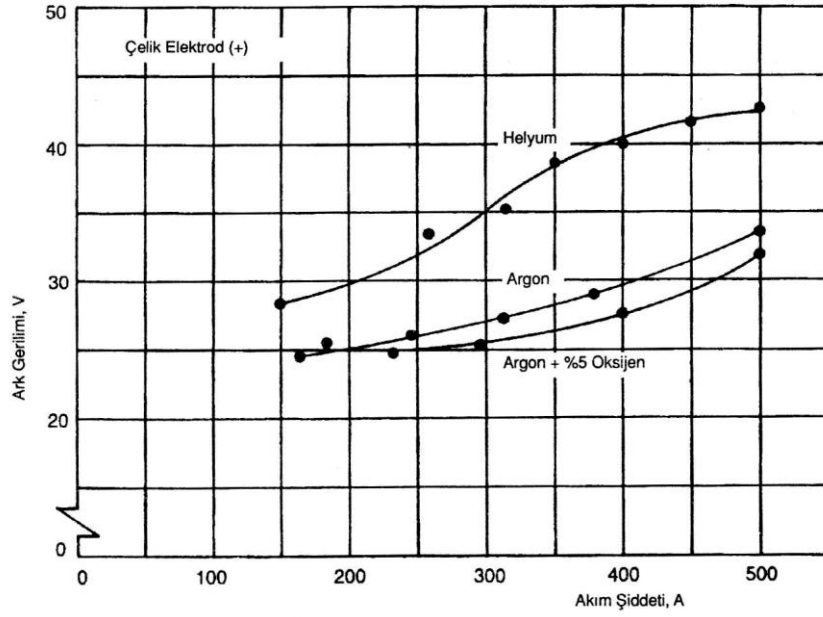
2.1.2 Helyum

En hafif tek atomlu gazlardan olan helyum da argon gibi kimyasal olarak soydur ve diğer element veya bileşiklerle etkileşime girmemektedir. Helyum, A.B.D. ve B.D.T.'nda

kolay ve ekonomik olarak doğalgazdan ayrıştırılarak temin edilmektedir. Argona kıyasla 10 kez daha hafif (0,178 g/l) olan helyum ile kaynak esnasında etkin bir koruma sağlanabilmesi için daha yüksek bir debiyle kaynak bölgesine beslenmesi gerekmektedir ki bu da maliyeti artırmaktadır. Helyumun iyonizasyon enerjisi (24,5 eV) argona kıyasla daha yüksektir ve bu nedenle helyum ile daha yüksek ark gerilimi elde edilir ve de ark daha yüksek enerjiye sahip olmaktadır. Şekil 2.1’de saf argon, saf helyum ve argon+%5 oksijen gaz karışımı için akım şiddeti değerlerine karşılık gelen ark gerilimi değerlerine ait grafik verilmektedir. Helyumun ısı transfer katsayısı yüksek olduğundan, kaynak dikişinde daha derin nüfuziyet elde edilmekte ve kaynak kesit alanı büyümektedir [48]. Yüksek kaynak banyosu sıcaklığına bağlı olarak ergimiş metalin viskozite ve ıslatma kapasitesi özellikleri de gelişmektedir.

Yüksek enerjiye ve ısı iletkenliğe sahip helyum atmosferi mevcudiyetinde, bakır, alüminyum ve magnezyum gibi hafif metallerin kalın kesitlerinin kaynağında ön ısıtma gerekmemektedir. Derin nüfuziyet, yüksek hızla çalışan mekanize kaynak uygulamalarında önemli bir üstünlüktür ancak yüksek maliyeti nedeniyle helyum, sıklıkla argon veya argon karışımları ile kombine edilerek karışımın tüm performansı artırılırken maliyetini düşürmek için kullanılmaktadır.

Darbeli akım MIG kaynağında ise saf helyum küresel metal transferi meydana getirdiğinden ve damlacık transferi için eşik seviyesi 500A’dan daha yüksek seviyelere çıktığından dolayı uygun olmamaktadır [49].



Şekil 2. 1 Çeşitli soy ve karışım gaz atmosferlerinde meydana gelen ark gerilimi [1]

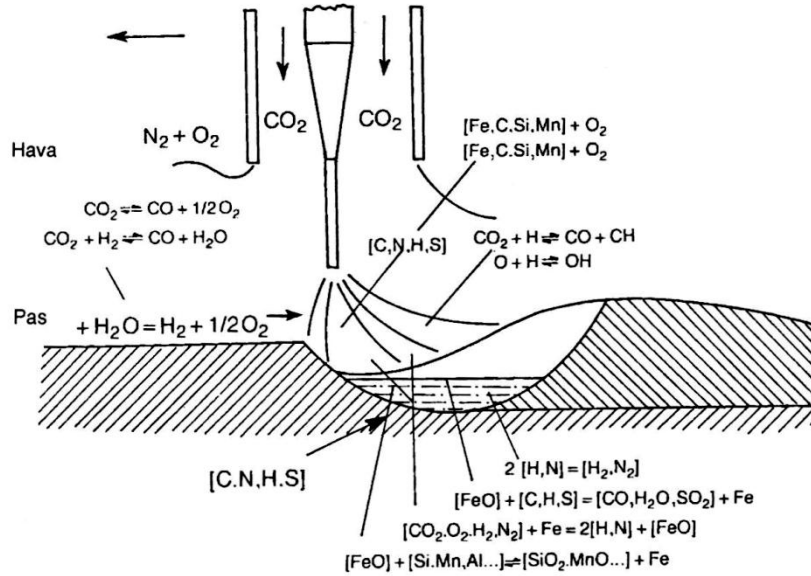
2.2 Aktif Gazlar

Diğer elementlerin atomlarıyla elektron alışverişi yapabilen yani kimyasal reaksiyona giren gazlardır. Bu gazlar kimyasal reaksiyonda oksitleyici, redükleyici vb. karakter gösterebilirler.

2.2.1 Karbondioksit (CO_2)

Bazı gazaltı kaynak uygulamalarında tek başına kullanılan reaktif, renksiz, kokusuz, yoğunluğu 1,977 g/l olan bir gazdır. Pekçok aktif gazın kaynakta koruyucu gaz olarak kullanılmasının uygun olmamasına karşın, sunduğu çok sayıda üstünlük nedeniyle karbondioksitin yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılması geniş çapta uygulama alanı bulmuştur. Bu üstünlüklerin arasında, derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızlarına ulaşma ve düşük maliyet sayılabilir. Karbondioksit, tek atomlu ve soy bir gaz olmadığından dolayı yüksek ark sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrılmaktadır; ark sütununda iyonize olan gazlar kaynak banyosuna gelmekte ve bir miktar gaz tekrar karbondioksit haline geçmektedir ve böylece ayrışma esnasında alınan ısı geri verilmektedir ki bu da dikişteki nüfuziyeti artırmaktadır. Serbest kalan oksijenin bir kısmı ise kaynak banyosundaki elementlerle ve özellikle demirle reaksiyona girmektedir. Banyo içindeki demiroksit, mangan ve silisyum ile

redüklenmektedir. Kaynak banyosundaki bu dezoksidanların kaybı kaynak teli bileşimi ile karşılanmalıdır. Koruyucu gazdaki CO₂'in diğer bir dezavantajı ise kaynak metalinin karbon kapmasıdır [1], [48], [50].



Şekil 2. 2 MIG-MAG kaynağında CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar [51]

2.2.2 Oksijen

Hava yaklaşık %21 oranında oksijen içermektedir ve endüstriyel kullanım için oksijen havadan elde edilmektedir. Bunun için hava emilmekte, temizlenmekte, birçok kez yoğunlaştırılmakta ve basınç altında sıvı hale getirildikten sonra yaklaşık -200°C'da soğutulmaktadır [51].

Oksijen doğrudan arkın ve kaynak banyosunun korunmasında kullanılan bir gaz değildir ve diğer temel koruyucu gazlara katılarak karışım halinde kullanılmaktadır [46]. Oksijen, nadir elementler ve soygazlar dışında tüm elementlerle bileşik oluşturmaktadır ve yanmayı kuvvetli şekilde desteklemektedir. Bazı soygaz karışımlarına, kaynak banyosunun akışkanlığını arttırmak ve bunun yanında kaynak arkının stabilitesini arttırmak için küçük miktarlarda oksijen katılmaktadır [2]. Paslanmaz çeliklerin kaynağında, argonla beraber yüzde bir ila iki oranında oksitleyici bir bileşen (örneğin oksijen veya karbondioksit) kullanmak alışlagelmıştır. Elektron yayımı (emisyonu) oksit içeren alanlarda meydana geldiğinden, arka yakın bölgelerde sürekli oksit içeren alanlar oluşturmak için küçük miktarlarda oksijen veya karbondioksit ilave etmek

gerekmektedir. Bu bölgelerde sürekli bir oksit tabakası mevcut olduğundan ve ark, elektron yayımı sonrası kırılan oksit tabakaları arasında devamlı şekilde atlamak zorunda olmadığından, saf argon, saf helyum veya bunların karışımlarının meydana getirdiği arka kıyasla daha istikrarlı bir ark elde edilmektedir. Arkın stabilize edilmesinde oksijen, karbondioksit kıyasla 2-3 kat daha etkilidir.

Koruyucu gaza O_2 ve CO_2 ilavesi ergimiş metal damlacıklarının yüzey gerilimini düşürmektedir ve bu, sprej modunda çalışan arkı stabilize etmektedir. Ayrıca argona kıyasla ana metalin ıslatılma özelliği iyileşmektedir [50].

Oksijen ve karbondioksit ilavesinin dezavantajları ise oksitli bir kaynak yüzeyi meydana getirmeleri ve ana malzemede alaşım elementlerinin oksidasyon kayıplarına neden olmalarıdır. Oksidasyon kayıpları açısından O_2 , CO_2 'e göre on kat daha etkilidir [48].

2.2.3 Azot

Yüksek sıcaklıklar dışında soy olarak değerlendirilebilen bir gazdır. Ark kaynağı sıcaklıklarında, bazı metallerle (örneğin, alüminyum, magnezyum, çelik ve titanyum) etkileşime girebilmektedir; bundan dolayı birincil koruyucu gaz olarak kullanılmamaktadır. Bazı kaynak uygulamalarında (örneğin bakır) diğer gazlarla birlikte ve plazma kesmede geniş olarak kullanım alanı bulmaktadır.

2.2.4 Hidrojen

Bilinen en hafif elementtir ve yanıcı bir gazdır. Oksijen veya hava ile belirli konstrasyonlarda karıştırıldığında patlayıcı karışımlar meydana gelebilmektedir. Hidrojen genellikle, ana malzemeye olan ısı girdisini arttırmak veya kesme ve oyma içeren operasyonlar için soygazlara ilave edilmektedir. Bazı malzemeler hidrojen kaynaklı kirlenmelere çok duyarlı olduğundan, kullanım alanı, paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi ve plazma kesme ve oyma gibi özel uygulamalar ile sınırlı kalmaktadır [2].

2.3 Koruyucu Gazların Temel Özellikleri

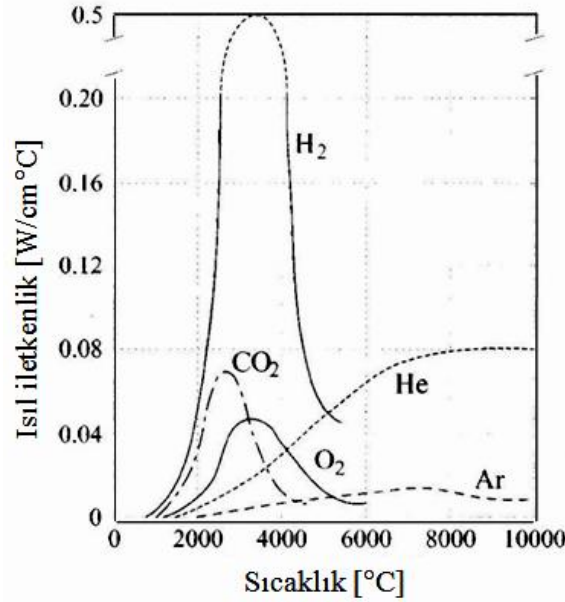
2.3.1 İyonizasyon Potansiyeli

Elektron volt (eV) olarak ifade edilen ve gaz atomdan elektron kopararak iyon veya elektriksel yüklü gaz atomu haline dönüştürmek için gerekli enerjidir. Bir gazın iyonizasyon oluşturabilmesi, yüksek sıcaklıkta elektrik iletkenliğini belirlemektedir. Gazın iyonizasyon enerjisinin düşük olması halinde, ark ortamında kararlı bir akım geçişini garanti eden pekçok yük taşıyıcısı oluşmaktadır [3]. Tüm diğer faktörler sabit tutulduğunda, gazın moleküler ağırlığı arttığında iyonizasyon potansiyeli değeri azalmaktadır. Ark başlatma ve ark stabilitesi, koruyucu gazın iyonizasyon potansiyelinden büyük oranda etkilenmektedir. Argon gibi, düşük iyonizasyon potansiyeline sahip bir gazın atomları iyon haline kolay geçmektedir. Önemli ölçüde yüksek iyonizasyona sahip helyum ile başlaması güç ve stabilitesi az ark oluşmaktadır. Plazmanın sürdürülmesinde diğer faktörler de olmasına rağmen, bu gazları iyonize etmek için gerekli enerji seviyelerinin sağlanması gereklidir; sonuç olarak, ark gerilimi direkt olarak etkilenmektedir. Eş ark boyları ve kaynak akımları için, helyumla elde edilen ark gerilimi argonla elde edilene göre önemli ölçüde büyüktür. Bu da helyumla ana malzemeye olan ısı girdisinin argona oranla daha çok olacağı anlamına gelmektedir.

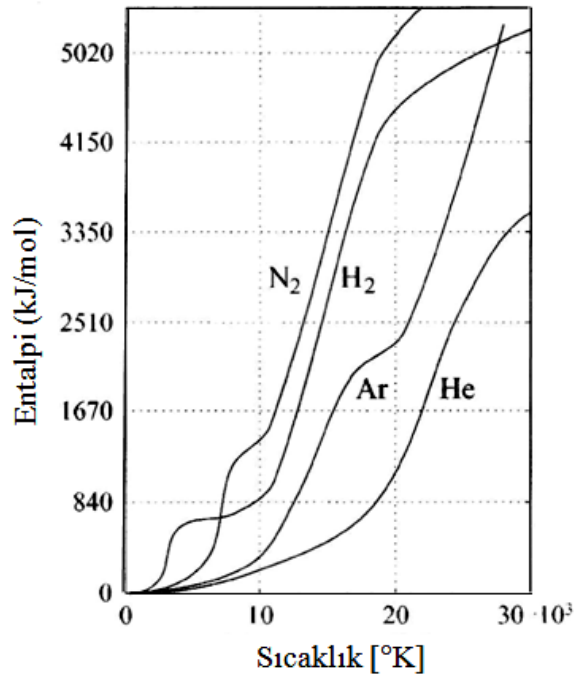
2.3.2 Gazın Isıl İletkenliği

Gazın ısı iletkenliği, gazın ne kadar iyi ısıyı iletebildiğinin bir ölçüsüdür. Ark sütununun merkezinden çevresine olan radyal ısı kaçıışı ile birlikte plazma ve sıvı metal arasındaki ısı transferini de etkilemektedir. Düşük ısı iletkenliğe sahip olan argon iki bölgeye sahip bir ark oluşturmaktadır: dar ve sıcak çekirdek kısmı ile merkeze kıyasla önemli ölçüde soğuk dış bölge. Penetrasyon profili, kökte dar parmak şeklinde ve üstte daha geniş bir ergimiş bölge göstermektedir. Yüksek ısı iletkenliğe sahip gaz çekirdekten dış kısma ısıyı iletmektedir. Böylece, daha geniş ve daha sıcak bir ark çekirdeğine sahip olunmaktadır. Bu tip ısı dağılımı, helyum, argon-hidrojen ve argon-karbondioksit karışımları ile meydana gelmektedir. Bu ısının iş parçasına daha eşit şekilde dağıtılmasına ve daha geniş ergimiş bölge oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 2.3'te

sıcaklığın fonksiyonu olarak bazı gazların ısı iletkenlik grafiği verilmiştir. Şekil 2.4'te ise sıcaklığa bağlı olarak bazı gazların entalpilerinin değişimi verilmektedir [52]. Hidrojenin entalpisinin hemen tüm sıcaklıklarda argonunkinden yüksek olduğu görülmektedir. Bir koruyucu gazın entalpisi, ark oluşum ve şekli ile arktaki ısı dağılımını etkilemektedir [53].



Şekil 2. 3 Sıcaklığın fonksiyonu olarak bazı gazların ısı iletkenlikleri [52]



Şekil 2. 4 Bazı gazların sıcaklığa bağlı olarak entalpilerinin değişimi [52]

2.3.3 Parçalanma (Disosiasyon) ve Yeniden Birleşme (Rekombinasyon)

Karbondiyoksit, hidrojen ve oksijen gibi koruyucu gazlar çok atomlu moleküllerdir. Ark plazması içinde yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında, bu gazlar kendilerini oluşturan atomları teşkil edecek şekilde parçalanmaktadırlar. Daha sonra en azından kısmi olarak iyonize olmakta ve serbest elektronlar ile akım meydana getirmektedirler. Parçalanmış gaz, göreceli olarak soğuk işparçası ile temas haline geldiğinde bu atomlar tekrar birleşmekte ve o noktada ısı açığa çıkartmaktadırlar. Bu yeniden birleşme ile meydana gelen ısı, çok atomlu gazların sanki daha yüksek ısı iletkenliğe sahipmiş gibi davranış göstermelerine sebep olmaktadır. Parçalanma ve yeniden birleşme, argon gibi tek atomlu gazlarda görülmemektedir. Bundan ötürü, aynı ark sıcaklığında işparçası yüzeyinde meydana gelen ısı karbondiyoksit ve hidrojen gibi gazlarla önemli ölçüde daha fazla olmaktadır.

2.3.4 Aktivlik ve Oksidasyon Potansiyeli

Koruyucu gazın oksitleme doğası, kaynak performansını ve sonuçtaki kaynak yığımının özelliklerini etkilemektedir. Argon ve helyum tamamen reaktif olmayan veya inert gazlardır. Böylece, kaynak metaline üzerine direkt kimyasal etkileri yoktur. CO₂ ve oksijen gibi oksitleyici veya aktif gazlar, ilave malzeme veya ana malzemedeki elementlerle etkileşime girecek ve kaynak yığımının üzerinde cüruf meydana getireceklerdir. Çelikten mangan veya silisyum gibi elementlerin kaybı, kaynağın kalitesini ve maliyetini etkileyebilecektir. Genellikle koruyucu gazın oksitleyici karakteri arttığında, kaynak tokluğu ve mukavemeti azalmaktadır.

Oksijen veya karbondiyoksit gibi reaktif gazların ilavesi arkın stabilitesini geliştirmekte ve transfer edilen metal tipini etkilemektedir. Koruyucu gazdaki oksijen miktarı arttığında, metal damlacık boyutu küçülmekte ve birim zaman başına damlacık sayısı artmaktadır. Oksijen ergimiş kaynak dikişi yüzey gerilimini düşürmektedir ve bu da dikişin daha iyi ıslanmasına ve yüksek kaynak hızlarına sebep olmaktadır. Küçük miktarlarda CO₂ ilavesi de benzer davranış göstermektedir.

2.3.5 Yüzey Gerilimi

Ergimiş metal ve çevresindeki atmosfer arasındaki yüzey geriliminin dikiş şekli üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. Eğer yüzey enerjisi yüksekse, dış bükey (konveks), düzensiz bir dikiş meydana gelecektir. Düşük değerler ise, dikiş dibi oyuntusuna duyarlılığı az olan düz dikişleri teşvik etmektedir.

Genel olarak saf argon, ağır hareket eden kaynak banyosu ve yüksek dikiş oluşturan yüksek arayüz enerjisiyle ilişkilidir. Oksijen gibi reaktif bir gazın küçük miktarda ilavesi yüzey gerilimini düşürmektedir ve ana malzemenin daha iyi ıslatılmasını ve akışkanlığı teşvik etmektedir ve bunu, kaynak metalinin aşırı oksidasyonuna sebep olmadan gerçekleştirmektedir.

2.3.6 Gaz Safiyeti

Karbon çeliği ve bakır gibi bazı metaller, koruyucu gazdaki bazı kirleticilere karşı göreceli olarak yüksek tolerans gösterebilirler; alüminyum ve magnezyum gibi diğerleri ise belirli kirleticilere karşı oldukça hassastır. Titanyum ve zirkonyum gibi diğerleri ise koruyucu gazdaki herhangi yabancı bir maddeye karşı son derece düşük tolerans göstermektedirler.

Kaynak edilen malzemeye ve kullanılan kaynak prosesine bağlı olarak, çok küçük miktarlardaki gaz gayrisafiyetleri kaynak hızını, kaynak yüzeyi görünümünü, kaynak dikişi katılaşmasını ve gözeneklilik seviyelerini etkileyebilmektedir. Gayrisafiyetlerin etkileri çok geniş bir alana yayılmaktadır ancak kaynak kalitesi ve amaca uygunluk esas ilgi alanıdır.

Sevkedilen gazda kirlenme olma olasılığı her zaman muhtemeldir; bununla birlikte gayrisafiyetlerin gaza, tedarik ve son kullanım arasında girdikleri çok daha muhtemel olmaktadır. Bu nedenle, kaynak koruyucu gazları için özel tasarımı borulama sistemleri ve yüksek kaliteli hortumların kullanımı tavsiye edilmektedir.

2.3.7 Gaz Yoğunluğu

Gaz yoğunluğu birim hacim başına gaz ağırlığıdır. Yoğunluk, koruyucu gazın etkinliğini etkileyen ana faktörlerden biri olmaktadır. Temel olarak, argon ve karbondioksit gibi

havadan ağır gazların helyum gibi havadan hafif gazlara kıyasla daha az bir debiyle beslenmesi, kaynak banyosu için gerekli korumayı sağlaması için yeterli olmaktadır [2].

2.4 Karışım Gazlar

Kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanında, koruyucu gazın maliyeti ile ark ortamındaki davranışı, koruyucu gaz seçiminde göz önünde bulundurulacak faktörlerdendir. Her bir gazın iyonizasyon potansiyelleri, ısı ve elektrik iletkenlikleri, yoğunlukları, ayrışma enerjileri, maliyetleri gibi özellikleri önemli farklılıklar göstermekte ve bu da kaynak arkının oluşumunu ve kaynak esnasındaki davranışı ile ark sütunundaki malzeme taşınımını etkilemektedir. Sadece tek bir koruyucu gaz kullanımında gazların her biri farklı üstün ve zayıf yönleri sahip olduklarından, günümüzde, gazların üstün özelliklerini bir arada sunabilmek ve de zayıf yönlerini en aza indirmek için koruyucu gaz olarak çeşitli karışım gazları kullanılmaktadır. Uygulamada hem soy gaz karışımları hem de soy-aktif gaz karışımları kullanılmaktadır. Soygazların oluşturdukları ark atmosferi nötr bir karakter göstermekte iken, soy bir gaza oksijen veya karbondioksit gibi aktif bir gaz ilavesi ile ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırılabilir. Bunun aksine karışım gazına hidrojen katılması durumunda ise redükleyici bir atmosfer elde edilmektedir. Endüstriyel gaz tedarik şirketlerinin ve araştırmacıların karışım gazlar üzerine gerçekleştirdikleri pek çok araştırma ve geliştirme ile elde ettikleri patentler mevcut bulunmaktadır. Amaçlanan hedeflerin başında imalat hızını artırmak ve mekanik özellikleri geliştirmek gelmektedir [1], [54]. Masif telle kaynakta en sık kullanılan koruyucu gazlardan olan Ar-CO₂, Ar-O₂ ve Ar-CO₂-O₂ gaz karışımları ile saf CO₂'e kıyasla daha iyi ana malzeme ısıtılması ve daha yüksek kaynak hızı, yüzey oksitlerinin azaltılması ve dikişin daha güzel görünmesi, artırılmış proses stabilitesi, daha az sıçrama ve elektrot veriminin artırılması, taşlama ve oksitlerin temizlenmesi için gerekli sürenin kısılması ve kaynak metalinin tokluğunun artması gibi faydalar elde edilebilmektedir [55].

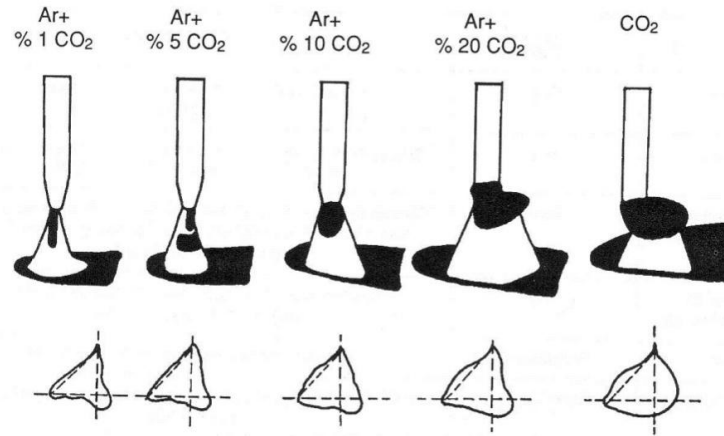
2.4.1 Argon-Helyum Karışımları

Argon ve helyum gazlarının karışımı ile bu iki gazın üstün özellikleri bir araya getirilmeye çalışılmış; bu sayede nüfuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmeye

çalışılmıştır. Helyum içeren karışım gazlarla iyi bir penetrasyon profili ve kenar ergime karakteristikleri elde edilmektedir ve ayrıca dikiş yüksekliği az olmakta ve porozite de bulunmamaktadır [50]. Saf helyuma %25 argon eklenmesi durumunda, saf argona kıyasla daha derin bir nüfuziyet ve ark kararlılığı elde edilmektedir. Uygulamalarda bu iki gazın çok farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen gaz karışımlarına rastlanmaktadır. Ar-He karışımları özellikle alüminyum, magnezyum, bakır ve nikel alaşımları gibi hafif metallerin kaynağında kullanılmaktadır. Nikel ve bakır alaşımlarının kaynağında %25 ila %75 He içeren Ar-He gaz karışımları tercih edilmektedir. Bu karışımlarla elde edilen ark, saf argona kıyasla daha yüksek bir ark gerilimine ve dolayısıyla enerjiye sahip, saf helyuma kıyasla da daha kontrol edilebilir bir ark sağlamaktadır [1], [3]. Darbeli akım MIG kaynağı ile %70 ve daha az helyum içeren argon-helyum karışım gazları kullanılmaktadır [49].

2.4.2 Argon-Karbondioksit Karışımları

CO₂ gazı altında gerçekleştirilen yalın karbonlu çelik kaynağı ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşın, düzgün olmayan dikiş yüzeyleri ile gerekli olmadığı durumlarda bile derin nüfuziyet gibi sorunlara sahip olabilmektedir. CO₂ molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek olmaktadır ve bu da iri taneli ve sıçramalı bir damla geçişine neden olmaktadır. Arkta metal taşınım türü ile ortaya çıkan yüksek miktarda sıçrantı kaynak kalitesini düşürmenin yanında yığılan kaynak metali verimini düşürmekte ve sıçrantıların temizlenmesi işlemi nedeniyle maliyeti artırmaktadır.



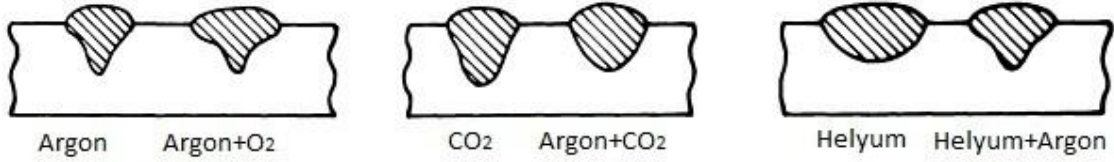
Şekil 2. 5 Ar-CO₂ karışım gazlarında artan CO₂ oranına bağlı olarak arkta metal taşınım türü ve kaynak profilinin değişimi [1].

Argona karbondioksit gazı karıştırıldığında meydana gelen ekzotermik (ısı veren) oksitlenme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselmekte ve yüzey gerilimi düşmektedir; böylece kaynak banyosunun akıcılığı artırılmış ve banyodaki gazlar giderilmiş olmaktadır. %18 ila %20 arası CO₂ ilavesi durumunda, argonda %50 CO₂ miktarına kadar, artık sprej benzeri transfer elde edilememektedir; artan sıçranta ile kısa devreli/küresel transfer gerçekleşmektedir [56]. CO₂'e %30'u aşan oranda argon katılması sıçrama kaybını azaltmaktayken, argona %20'yi aşan miktarda CO₂ katılması arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olmaktadır. CO₂ miktarı %20'nin altına inmeye başladığında ise belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında sprej transfer meydana gelmektedir. En yaygın kullanılan argon-karbondioksit karışımlarında argona %5, 8, 10, 13 veya 18 CO₂ katılmaktadır ve böylece daha akışkan kaynak banyosu daha yüksek kaynak hızlarına izin vermektedir. AISI 304 veya 316 tip paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında genellikle argona %2 CO₂ ilavesi kullanılmaktadır [57]. Düşük miktarda CO₂ ilavesinde (%1-7), düşük ısı girdisi nedeniyle ince kesitlerin kaynağına uygunluk mevcuttur. Orta seviyede CO₂ ilavesi (%8-15) ile elde edilen karışım gazları ise, kalınlığı 12 mm'ye kadar olan malzemelerin kaynağı için uygun olan genel amaçlı gazlardır ve bu gazların kullanımı ile argon parmağı penetrasyon profili azalmaktadır. Yüksek miktarda CO₂ içeren karışımlar (%16-25) ile daha yuvarlak ve derin penetrasyon profili elde edilmektedir ve kalın kesitlerin kaynağı için ideal olmaktadır. Kaynak havuzunun akışkanlığı arttığından ötürü, hapsedilmiş gazların dışarı çıkmasına izin verecek zaman tanınmakta ve böylece gözeneklilik ihtimali azaltılmaktadır [50]. Şekil 2.5'te Ar-CO₂ karışım gazlarında artan CO₂ oranına bağlı olarak arkta metal taşınım türü ve kaynak profilinin değişimini göstermektedir [1], [2].

2.4.3 Argon-Oksijen Karışımları

Argona belli bir miktar (%1 ila 5) oksijen ilave edilmesi kaynak arkını önemli ölçüde stabilize etmekte, ilave metal damlacık hızını artırmakta, sprej geçiş akımını düşürmekte ve dikiş görünümünü etkilemektedir. Koruyucu gaza oksijen ilavesi, karbondioksit nazaran kolay ergiyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, ergiyen elektrottan düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak ince damlalı bir metal

taşınımı sağlamakta ve spreyc ark oluşumuna yardımcı olmaktadır. Ayrıca kaynak banyosu daha akışkan olmakta ve bu şekilde daha uzun kalmaktadır ki bu da metalin kaynak bölgesinden dışarı akmasına izin vermektedir.



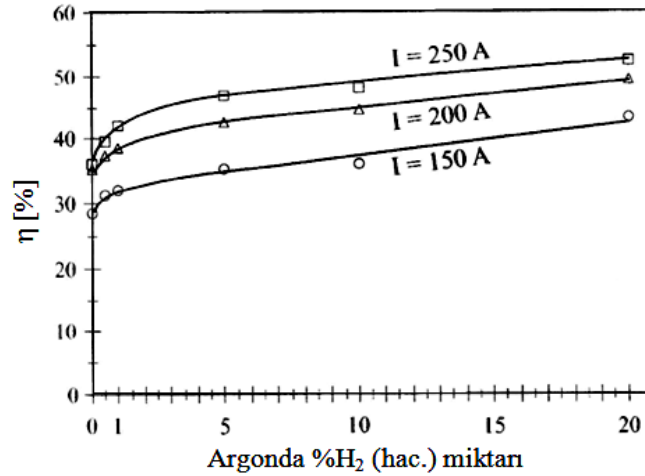
Şekil 2. 6 Gaz karışımlarının kaynak profili üzerine etkileri [2]

Saf argona oksijen katkısı, saf argon ile gerçekleştirilen çeliklerin kaynağında karşılaşılan yanma olukları sorununu da ortadan kaldırmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında argona %1 ila 2 oksijen katılması sakın ve sıçramasız bir ark ile kaynak imkanı sunmaktadır [58]. AISI 304 ve 316 tip paslanmaz çelik malzemelerin gazaltı kaynağında, argona %2 oksijen ilavesi ile elde edilen karışım gazı da en çok kullanılan bileşimlerden biridir [57]. %5 civarında oksijen içeren gazlarla ise az alaşımlı çeliklerin kaynağında iyi sonuçlar alınmaktadır. Alüminyumun gazaltı kaynağında ise argona oksijen ilavesi ile kaynak hızında %20'ye varan artışlar elde edilmiştir [56].

2.4.4 Argon-Hidrojen Karışımları

Hidrojen ilavesi %35'e ulaşan argon-hidrojen karışımları ostenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında başarıyla kullanılmıştır. Hidrojen, kaynak havuzu ıslatabilirliğini, dikiş şekli kontrolü, yüzey temizliği ve ısı girdisini geliştirmektedir ve bunu, hidrojen sebepli çatlağa sebep olmadan gerçekleştirebilmektedir. Bunun birkaç nedeni mevcuttur. Ostenitik paslanmaz çeliklerin, ferritik veya martenzitik çeliklere kıyasla hidrojen çözünürlükleri fazladır böylece ostenitik paslanmaz çeliklerde hidrojenin doygunluğu daha düşüktür. Düşük alaşımlı çeliklere kıyasla olağandışı bölgelerde hidrojenin sıkışık kalması çok daha düşük seviyelerdedir çünkü yüzey merkezli kübik birim kafesteki arayer bölgesi, hacim merkezli kübik veya hacim merkezli tetragonal kafeslere nazaran daha büyüktür. Ostenitik paslanmaz çeliklerin akma mukavemeti genellikle düşüktür ve sıklıkla, bu değer, hidrojen nedenli çatlak için gerekli gerilim seviyesinin altındadır. Yüzey merkezli kübik birim kafeste hidrojenin yayınganlığı, hacim merkezli kübik veya hacim merkezli tetragonal kafeslere kıyasla çok düşüktür; böylece, yüzey merkezli

kübik birim kafes hidrojen sebepli çatlağa duyarlı bile olsa, kırılmaya kadar gereken süre oldukça uzun olacaktır [59]. Suban vd.'ne göre [52], MIG kaynağında argon koruyucu gaza hidrojen ilavesi ile ana malzeme ve ilave malzemedan ergiyen miktar artmaktadır; bu artış, %10 ila %30 civarlarında olmaktadır. Şekil 2.7'de argona hidrojen ilavesinin ergime verimine olan etkisi görülmektedir.



Şekil 2. 7 Ostenitik paslanmaz çeliğin MIG kaynağında ergime verimi üzerine argon koruyucu gazdaki hidrojenin etkisi [52]

2.4.5 Helyum-Argon-Karbondioksit Karışımları

Kısa ark boyu ile kaynakta kaynak banyosunun ıslatma özelliğinin geliştirilmesi için helyum-argon-karbondioksit gazları kullanılmaktadır. %90He+%7,5Ar+%2,5CO₂ karışımı ile paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ile çalışma ve daha az aktif bir atmosfer ile paslanmazlık özelliğinin korunması elde edilebilmektedir. Bu karışımla az alaşımlı çeliklerin kaynağında da tokluk özelliği iyileşmektedir [1]. İyi bir damlacık oluşumunun gerektiği darbeli akım kaynağında Ar+%35He+%2CO₂ ideal bir metal transferi ve ergimiş kaynak havuzu kombinasyonu meydana getirmektedir [49].

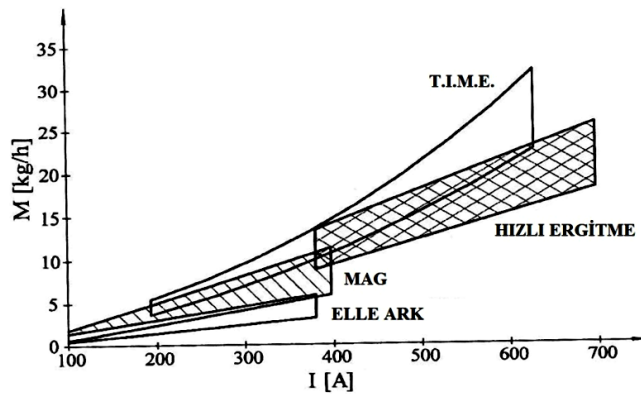
2.4.6 Helyum-Argon-Oksijen Karışımları

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak banyosunun viskozitesi, ana metali ıslatma özelliği, arkın kararlılığı ve sıçramaların azaltılması bakımından %69Ar+%30He+%1O₂ karışımı iyi sonuçlar vermektedir. Bu gaz bileşimi, AISI 304L veya 316L tip paslanmaz çelik malzemelerin kısa ark, darbeli mod ve sprej ark ile kaynağında iyi kaynak

karakteristikleri göstermektedir. Bu karışım gazının kullanılması ile karbon kapma tehlikesi ve hidrojen gevrekliği sorunları da ortadan kalkmaktadır [57], [1].

2.4.7 Dört Bileşenli Karışım Gazları

İki ve üç bileşenli koruyucu gaz karışımlarının yanında dört ve daha fazla bileşene sahip karışımlar da incelenmiş ve bunlarla ilgili araştırmalar sürdürülmüştür. Dört bileşenli gaz karışımlarından en çok bilineni, W.P.I. (Kanada) firması ile Church ve Imaizumi isimli araştırmacıların geliştirdiği, transfer iyonize ergimiş enerji (T.I.M.E.) prosesidir. Bu proste kullanılan patentli gaz karışımı %65Ar+%26,5He+%8CO₂+%0,5O₂ içermektedir. Bu yöntemde tel ilerleme hızı 15m/dk'dan, tel çapı 1,2 mm'den ve de akım değerleri 350A'den başlamaktadır. Geleneksel MAG kaynağında göre bu yöntemle nüfuziyet daha geniş ve derin olmaktadır. Düşük oksijen içeriği nedeniyle kaynak metalinin yüzey gerilimi fazla olmakta ve bu da pozisyon kaynağı dışındaki kaynaklarda avantaj sağlamaktadır. Tel besleme hızlarının ve yığılan malzeme miktarının yüksek olması işçilik maliyetlerinin aşağı çekilmesini sağlamıştır; böylece, T.I.M.E. gazının maliyeti daha yüksek olmasına rağmen, toplam maliyet geleneksel MAG kaynağına göre düşük kalmaktadır [3], [29]. Şekil 2.8'de bazı geleneksel ve modern yöntemler malzeme yığma miktarları bakımından kıyaslanmıştır.



Şekil 2. 8 Bazı geleneksel ve modern yöntemlerin malzeme yığma miktarları [29]

2.5 Koruyucu Gazın Kaynak Mekanik ve Proses Özellikleri ile Mikroyapı Üzerine Etkisi

Ark ortamında ergimiş elektrot ucundan kaynak banyosuna malzemenin transfer edilme şekli, prosesin stabilitesi, sıçrama miktarı, çeşitli pozisyonlarda kaynak

edilebilirlik, ana malzemenin ıslatılması, kaynak metalinin yüzeyinin görünümü ve kaynak metalinin kalitesini belirlemektedir. Malzeme transferinin karakteri ise koruyucu gazın kompozisyonu, ilave metalin alaşım kompozisyonu ve elektriksel parametrelerle yakından ilgilidir [55]. Kaynağın mekanik özellikleri, koruyucu gazın spesifik bazı karakteristiklerine bağımlı olmaktadır. Koruyucu gaz tam olarak soygaz olduğunda bu etkilerden daha az söz edilmektedir ve bunlar daha dolaylı etkiler olmaktadır. Bu şartlarda koruyucu gaz, kaynağın mikroyapısını etkileyebilen katılaşmayı ve nüfuziyeti etkilemektedir. Koruyucu gazda oksijen veya karbondioksit gibi aktif bileşenler bulunduğunda, etki daha direkt ve önemli olmaktadır. Koruyucu gazın oksijen potansiyeli, yüzey cürufunun miktarını, duman oluşturma miktarını, kaynak banyosunun akışkanlığını ve kaynak metalinin mekanik özelliklerini (hem mukavemet hem de tokluk) etkilemektedir. Gaz karışımının oksijen potansiyelini tahmin etmek için pekçok ampirik formül geliştirilmiştir. Bunların farkı, gaz karışımının CO₂ bileşenini farklı şekilde ele almalarıdır. Oksidasyon potansiyeli aşağıdaki denklemlere göre hesaplanabilmektedir.

$$O_{p1} = 10.O_2 + CO_2 \quad (2.1)$$

$$O_{p2} = O_2 + \mu.CO_2 \quad (2.2)$$

$$O_{p3} = O_2 + a.\sqrt{CO_2} \quad (2.3)$$

(2.2) denklemi, CO₂ oranının %25 veya daha az olduğu durumlarda geçerli olmaktadır. Burada μ oksidasyon faktörüdür ve literatüre göre genellikle 0,5 ile 0,7 arasında bir sayı olarak alınmaktadır [55], [13]. Persson çalışmasının sonucunda oksijen soğurulmasının daha iyi ifade edildiğini iddia ettiği (2.3) denklemini geliştirmiştir ve burada a sabit bir sayı olmaktadır [55]. Gaz kompozisyonu dışındaki diğer parametreler (ör. kaynak hızı) kaynak metalindeki oksijen seviyesini etkileyebileceğinden, son zamanlarda geliştirilen formüllerin çoğu kaynak parametresi ve malzemeye özgüdür. Oksidasyon potansiyelinin, kaynak metalindeki silisyum ve manganın elementel kaybı, kaynak metali oksijen içeriği ve kaynak mekanik özellikleri ile nasıl ilişkili olduğu noktası önem arz etmektedir. Grong ve Christensen yaptıkları çalışmada O₂ içeriği %0 ile 30 arasında değişen oranlarda Ar+O₂ ile CO₂ içeriği % 0 ile 100 arasında değişen oranlarda Ar+CO₂ karışım gazları kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda

koruyucu gazda O₂ artışı ile Mn ve Si kaybının doğrusal olarak arttığını, koruyucu gazda CO₂ artışı ile Mn ve Si kaybının ise doğrusal olmadığını görmüşlerdir. Yüksek CO₂ içeriğinde bu deoksidan elementlerin kaybının, düşük CO₂ içeriğindeki kayıplara kıyasla önemli ölçüde düşük olduğunu kaydetmişlerdir. Ar+CO₂ karışım gazı, Ar+O₂ karışım gazına kıyasla kaynak metalinde daha düşük miktarda oksijen soğurulmasına neden olmuştur. Ayrıca deneysel sonuçlara göre, artan kaynak hızı, kaynak metalinde oksijen soğurulma miktarını ve Mn ile Si elementlerinin kaybını azaltmıştır [55].

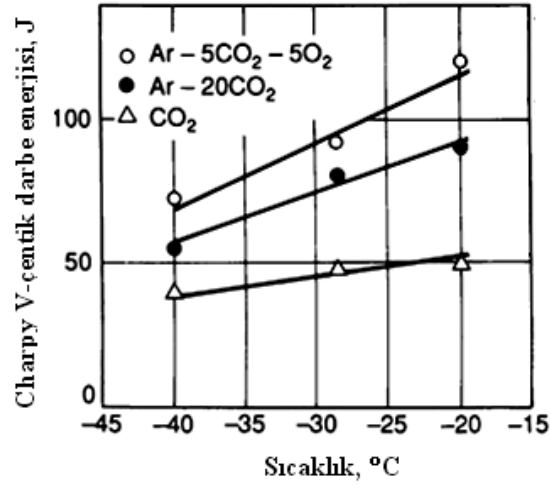
Element kaybı, gaz kompozisyonu ve kaynak metalinin mekanik özellikleri arasında göreceli olarak karmaşık bir ilişki mevcut olduğundan, tüm ilave tellere uygun optimum bir gaz veya gaz karışımı seçimi çok zor olmaktadır. Bu etki karbon çeliğinin gazaltı kaynağında en fark edilebilir düzeydedir. Genel olarak, koruyucu gazın oksidasyon potansiyeli arttığında çekme mukavemeti ve tokluk azalmaktadır. Daha düşük oksidasyon potansiyeli nedeniyle argon karışımları ile, saf CO₂'e göre daha iyi kaynak özellikleri elde edilmektedir. Çok düşük oksijen içeriği de tokluğu kötü yönde etkilemektedir çünkü bu durumda, yarıma kırılmasına düşük direnç gösteren kaba taneli beynit benzeri bir yapının meydana gelme ihtimali vardır [55]. Bu yüzden koruyucu gazda optimum bir oksijen içeriği mevcut bulunmalıdır. Çizelge 2.4'de bazı koruyucu gazların mekanik özelliklere ve kaynak metali element kayıplarına olan etkisi görülmektedir. Şekil 2.9'da ise çeşitli koruyucu gazların, çeşitli sıcaklıklarda Charpy V-çentik darbe enerjilerine etkileri görülmektedir.

Çizelge 2. 4 Kaynak mekanik özellikleri ve element kayıpları üzerine bazı koruyucu gazların etkisi [2]

Koruyucu Gaz ^(A)	Maks. Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Kaynak Metali Kompozisyonu % ^(B)		
				C	Mn	Si
Ar+%10CO ₂	640	544	25,7	0,09	1,43	0,72
Ar+%18CO ₂	620	522	26,8	0,09	1,37	0,70
Ar+%5CO ₂ +%4O ₂	610	472	28,1	0,08	1,32	0,67
Ar+%25CO ₂	601	505	29,3	0,09	1,30	0,65
Ar+%12O ₂	591	510	27,5	0,06	1,20	0,60
CO ₂	594	487	27,8	0,10	1,21	0,62

(A) Gazlar oksidasyon potansiyelindeki artışa göre sıralanmışlardır

(B) İlave tel kompozisyonu: %0,115 C, %1,53 Mn, %0,98 Si

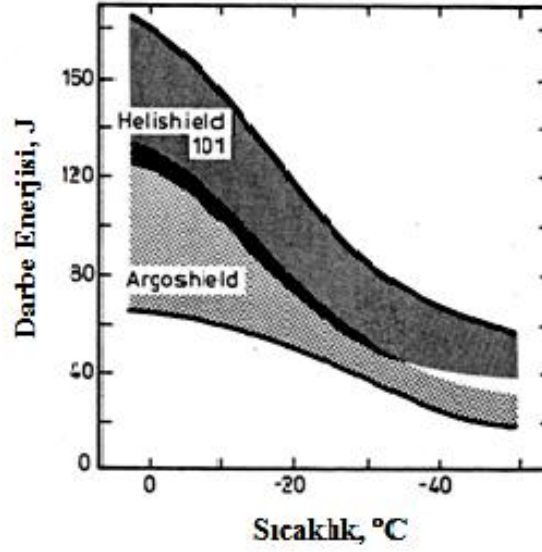


Şekil 2. 9 Farklı koruyucu gazlardaki çentik darbe enerjisinin sıcaklığa bağlı grafiği [2]

Hilton ve McKeown [60] da koruyucu gaz karışımındaki bileşenlerin dikkatlice ayarlanması ile mekanik özelliklerde kayda değer artışlar olacağını bildirmişlerdir. Ticari ve patentli Helishield 101 koruyucu gaz karışımı ile, çekme mukavemeti, uzama ve kesit alanındaki küçülme gibi mekanik değerler sabit tutularak 0 ila -50°C arasında Charpy V-çentik darbe değerlerinde önemli artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 2.10 ve Çizelge 2.5). Bu değerlere ulaşma, kaynak metalindeki karbon seviyesi sabit tutulurken ark aracılığı ile maksimum mangan ve silisyum transferi elde etmek için koruyucu gazın aktif bileşenlerinin dengelenmesi sayesinde meydana gelmiştir.

Çizelge 2. 5 A18 tip kaynak teli için farklı gazlarla elde edilen mekanik özellikler [60]

Özellik	CO ₂	%80Ar+%20CO ₂	Helishield 101
Çekme Mukavemeti MPa	567	584	609
Uzama, %	27	26	27
Kesit Alanında Azalma, %	66	70	70
Darbe Enerjisi, J			
0°C	60	90	151
-30°C	35	45	82
-40°C	26	30	52
-50°C	18	20	40
Sertlik, Hv	193-203	191-202	189-202



Şekil 2. 10 Farklı koruyucu gazlar için çentik darbe enerjilerinin karşılaştırılması [60]

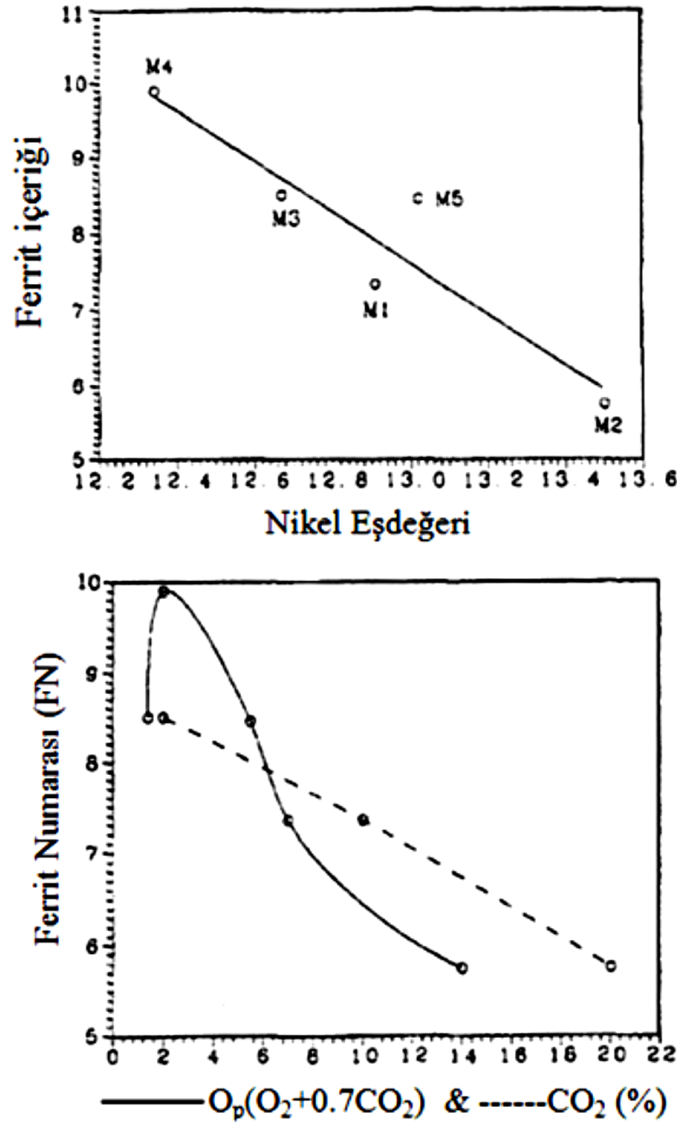
Stenbacka vd. [57], argona %0,03 NO ilavesi ile elde edilip AGA Gas AB firması tarafından patentlenmiş ve ticari ismi MISON® olan koruyucu gaz ile, duplex çelik SAF 2304, süper duplex SAF 2507 ve süper ostenitik çelik 654 SMO malzemelerin kaynağında elde edilen çentik darbe dayanımlarını vermişlerdir. Bu verilere göre -60°C sıcaklıkta bile çentik darbe dayanımının çok düşmediği ve çok iyi bir değere sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 2.6). Argona NO ilavesi ile kaynak bölgesindeki sağlığa zararlı ozon emisyonu da azaltılmış olmaktadır [61].

Çizelge 2. 6 Koruyucu gaz olarak patentli MISON® karışım gazı kullanılarak bazı duplex ve ostenitik çelik malzemelerin kaynağında elde edilmiş Charpy V-çentik değerleri [57]

Malzeme	Charpy V-çentik darbe dayanımı (J)			
	Sıcaklık			
	-60°C	-40°C	-20°C	+20°C
SAF 2304	190	215	230	235
SAF 2507	120	130	145	160
654 SMO	115	120	125	120

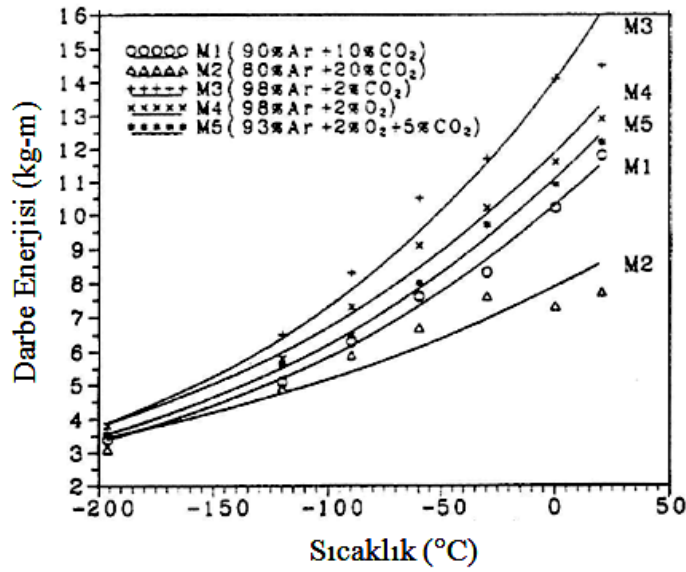
Liao ve Chen [13], AISI 304 paslanmaz çeliğin kaynağında koruyucu gaz kompozisyonları olarak %90Ar+%10CO₂ (M1), %80Ar+%20CO₂ (M2), %98Ar+%2CO₂ (M3), %98Ar+%2O₂ (M4) ve %93Ar+%2O₂+%5CO₂ (M5) kullanmışlardır. Nikel eşdeğeri ve CO₂ veya oksidasyon potansiyelinin (O_p) fonksiyonu olarak ferrit içeriği Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Şekil 2.11'den de görüldüğü gibi %2 ila %20 CO₂ içeriğinde, karbon

miktarı artmakta ve böylece ferrit miktarı azalmakta iken Ni eşdeğeri büyümektedir. Ayrıca bileşimdeki CO_2 artışı Cr ve Si elementlerinin oksidasyonuna yol açacağından Cr eşdeğeri küçülecektir. %98Ar+%2 O_2 karışımında CO_2 bulunmadığından ötürü kaynak dikişindeki karbon miktarı artmayacak ve ferrit miktarı en büyük olacaktır.



Şekil 2. 11 Nikel eşdeğeri ile oksijen potansiyeli ve CO_2 yüzdesinin fonksiyonu olarak kaynak metalinin ferrit içeriği [13]

Sıcaklığın ve oksidasyon potansiyelinin çentik darbe mukavemetine etkileri şekil 2.12 ve şekil 2.13’de görülmektedir. Oda sıcaklığından -196°C ’a kadar yapılan çentik darbe deneylerinde sıcaklık düşüşü ile birlikte çentik darbe değerlerinin de düştüğü ve oda sıcaklığındaki farka kıyasla düşük sıcaklıkta bu değerler arasındaki farkın oldukça azaldığı görülmüştür.

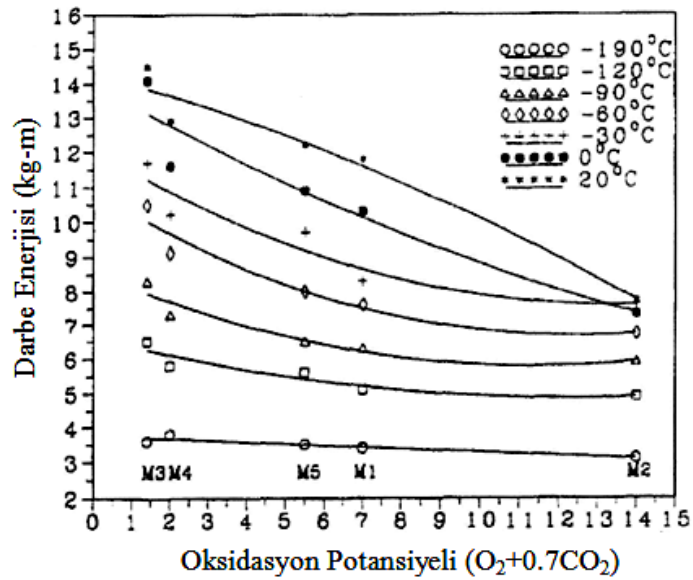


Şekil 2. 12 Darbe enerjisine sıcaklığın ve çeşitli koruyucu gazların etkisi [13]

Bu olay mikroyapılar ve kırılma yüzeyi morfolojileri ile açıklanabilmektedir. 25°C'de tüm kaynak metallerinde kırılma yüzeyi çukurlu yırtılma morfolojisi göstermekte iken, -196°C'da yarıлма özellikleri göstermektedir. Tüm kaynak metalleri delta ferrit (solucanımsı ve levhalı ferrit) ve ostenit fazları içermektedir. Ostenit yüzey merkezli kübik ve delta ferrit hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Yüzey merkezli kübik metal malzeme hemen hemen sıcaklıktan bağımsız olarak yüksek çentik darbe tokluğuna sahip olmaktadır. Bunun aksine hacim merkezli kübik malzemenin çentik darbe tokluğu sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olmaktadır; bu yüzden, düşük sıcaklıkta gevrek kırılma önemli olmaktadır. Hacim merkezli kübik malzemede düşük sıcaklıkta kırılma yarıлма şeklinde iken, yüksek sıcaklıklarda sünek yırtılma görülmektedir.

Genellikle ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında katılaşma sonucunda ortaya çıkan ferrit yapıları solucanımsı ve levhalı ferrit morfolojisinde olmaktadır. Solucanımsı ferrit mikroyapı elemanı, katı durumda ferritin yayınma kontrollü olarak ostenite dönüşmesi sırasında oluşmakta ve katılaşmayı takip eden aşamada birincil ferrit olarak görülmektedir. Ferritin bu tipi, birincil ferrit katılaşması sonrasında dendrit kolları arasında bulunmaktadır. Levhalı ferrit tipi ise birincil ferrit katılaşması sırasında oluşmaktadır. Karakteristik yönü levha veya iğne formunda olmaktadır ve alt tane sınırlarında katılaşmaktadır. Ferritin bu morfolojisi, yüksek veya düşük ferritli kaynak

metalinde hızlı soğuma sonucu ortaya çıkmış olup levhalı ve solucanımsı mikroyapıların birlikte olduğu dokulara sıkça rastlanmaktadır [53].

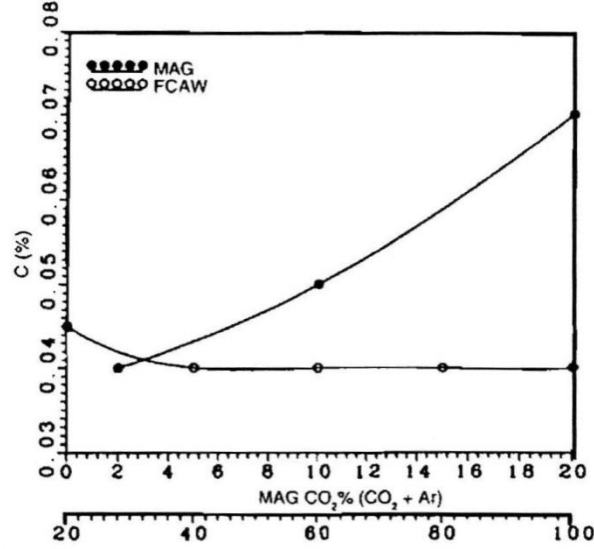


Şekil 2. 13 Oksijen potansiyelinin darbe enerjisine olan etkisi [13]

Şekil 2.13'den görüldüğü üzere yüksek test sıcaklığında oksijen potansiyeli arttıkça çentik darbe tokluğu azalmaktadır. Düşük test sıcaklıklarında ise darbe enerjisi oksijen potansiyeline duyarsız olmaktadır. Tüm kaynak metallerinin çentik darbe tokluğunun, delta ferrit miktarı ve oksijen potansiyelinden etkilendiği açıktır. Oda sıcaklığında delta ferrit çentik darbe tokluğu açısından zararlı değildir; bu yüzden, tokluk oksijen potansiyeline sıkı sıkıya bağlı olmaktadır ve yüksek oksijen potansiyeli tokluğu azaltmaktadır. En düşük test sıcaklığında (-196°C), delta ferritin kırılma modu gevrek yarıma şeklindedir; bu yüzden delta ferritin mevcudiyeti çatlak büyümesini hızlandıracaktır. Böylece, hem delta ferrit hem de oksit inklüzyonları çentik darbe tokluğuna zararlı olmaktadır ve düşük test sıcaklığında enerji farklılığı çok düşük olmaktadır. Bununla birlikte, bu sıcaklıkta delta ferrit daha önemli bir rol oynamaktadır [13].

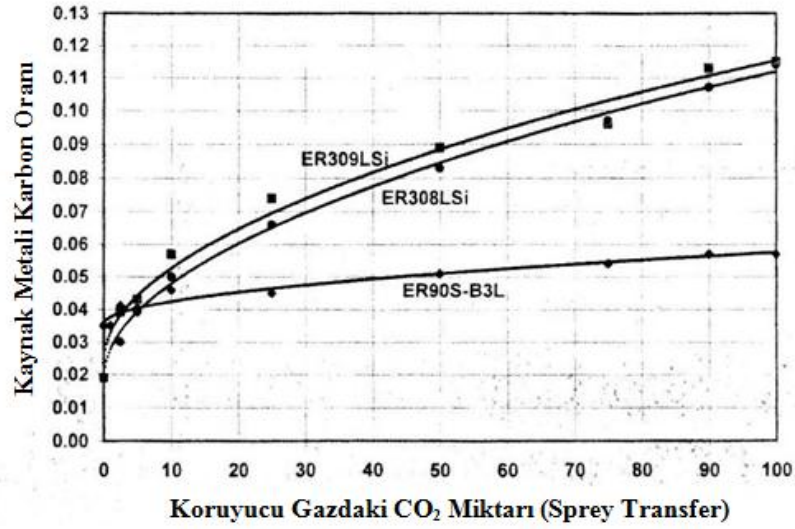
Liao ve Chen [30] yaptıkları diğer bir çalışmada masif tel ve özlü telle kaynak için farklı gaz karışımları kullanmışlardır. Masif telle kaynakta %98Ar+%2CO₂ (M1), %90Ar+%10CO₂ (M2), %80Ar+%20CO₂ (M3) gaz karışımları, özlü telle kaynakta ise %80Ar+%20CO₂ (F1), %60Ar+%40CO₂ (F2), %40Ar+%60CO₂ (F3), %20Ar+%80CO₂ (F4) ve %100 CO₂ (F5) gaz karışımları kullanılmıştır. Şekil 2.14'te koruyucu gazdaki CO₂

oranının kaynak metalindeki karbon içeriğine olan etkisi verilmiştir. Masif telle yapılan kaynakta koruyucu gazdaki CO₂ oranı arttığında kaynak metalindeki karbon oranı artmakta iken, özlü telle yapılan kaynakta ise koruyucu gazdaki CO₂ artışına rağmen kaynak metalindeki karbon oranı artmamaktadır. Bunun nedeni öz içinde bulunan rutil ve silika kumu gibi asidik bileşenlerdir. Bu asidik bileşenler CO₂'in ergimiş metalle etkileşimine engel olmaktadır.



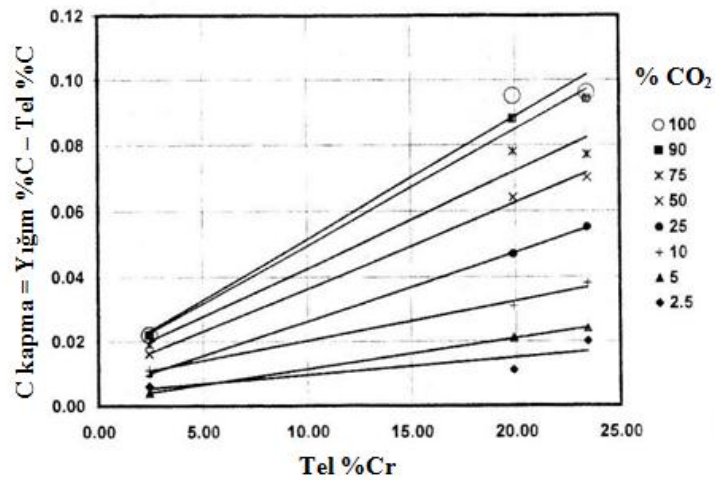
Şekil 2. 14 Masif ve özlü telle kaynakta kaynak metalindeki karbon içeriği [30]

Kotecki [62], 304L paslanmaz malzeme üzerine ER308LSi ve ER309LSi paslanmaz çelik teller ile CrMo teli olan ER90S-B3L teli kullanmıştır. Deneylerde kullandığı koruyucu gazlar, argonda %2,5, 5, 10, 25, 50, 75, 90 CO₂ karışımları ile %100 CO₂ gazıdır. ER308LSi ve ER309LSi telleri ile hem kısa devreli hem de spre transferli kaynaklar hem tek sıra hem de altı sıra kaynak metali yığılacak şekilde gerçekleştirilmiştir. ER90S-B3L teli ile ise spre transferli kaynak yapılmıştır.



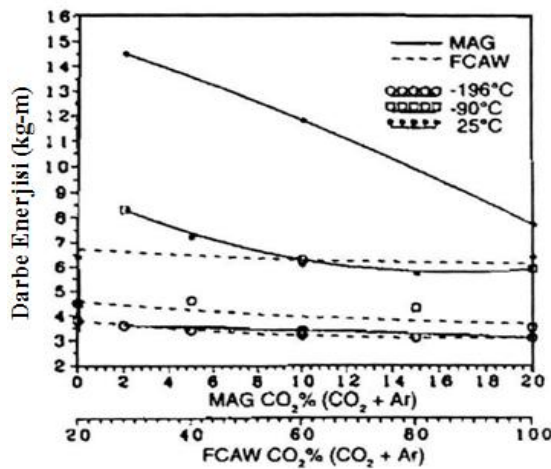
Şekil 2. 15 ER308LSi, ER309LSi ve ER90S-B3L tellerle yapılan spray transferli kaynakta kaynak metali karbon oranları [62]

Yapılan deneyler sonucunda koruyucu gazdaki CO₂ miktarı arttıkça kaynak metalindeki karbon miktarının da arttığı ve buna bağlı olarak ferrit sayısının azaldığı görülmektedir. Ayrıca koruyucu gazdaki CO₂ artışı ile birlikte kaynakta meydana gelen cüruf miktarında da artış görülmüştür ve yapılan SEM analizi sonucunda cürufun esas olarak mangan silikattan oluştuğu görülmüştür. ER309LSi telinin Cr miktarı ER308LSi teline göre daha fazla olduğundan, bu telle gerçekleştirilen kaynaktaki kaynak metalinin karbon oranının ER308LSi teli ile gerçekleştirilene kıyasla daha fazla olacağı öngörülmüştür. Deney sonucunda ise bunun doğru olmakla birlikte aradaki farkın büyük olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. 16 Sprey transferle gazaltı kaynağında koruyucu gazdaki çeşitli CO₂ oranları için ilave telin Cr içeriğine karşılık kapılan karbon miktarı [62]

Liao ve Chen'in [30] elde ettikleri bir diğer sonuç da farklı test sıcaklıkları için darbe enerjileri üzerinedir. Hem masif tel hem de özlü tel için test sıcaklıkları düştüğünde darbe enerjisi de azalmaktadır. Masif tellerle yapılan testlerde, darbe enerjileri arasındaki farklılık, yüksek test sıcaklığında (25°C), düşük test sıcaklıklarındakilere kıyasla oldukça fazladır. Bu, ferrit ve oksit inklüzyonları nedeniyle olmaktadır. Özlü elektrotlarla ise tüm sıcaklıklarda elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır. Masif tellere kıyasla özlü tellerle elde edilen darbe enerjisinin azalma trendi çok daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bu olgu, kaynak metallerinin SEM morfolojilerinin incelenmesiyle açıklanabilmektedir. 25°C'da hem masif tel hem de özlü telle elde edilmiş kaynaklı bağlantıların kırılma yüzeyi incelendiğinde kırılmanın sünek olduğu görülmüştür. Bu görüntülerde özlü telle yapılan kaynak metalinde pekçok inklüzyon görülmektedir. Masif telle kaynak edilmiş numunelerde ise sadece birkaç inklüzyon görülmüştür. EDAX analizi bu inklüzyonların silisyum oksitler ve krom oksitler olduğunu göstermiştir. Inklüzyonların çentik darbe enerjisini düşürdüğü bilinmektedir ve bundan dolayı 25°C test sıcaklığında bu iki ilave tel arasında darbe enerjisi farkı büyük olmuştur. Düşük test sıcaklığında (-196°C) her iki numunenin de kırılma yüzeyi incelendiğinde kırılmanın yarıma şeklinde olduğu görülmüştür. Yarıma özelliği delta ferritle ilişkilidir çünkü delta ferritin düşük sıcaklıkta (-196°C) kırılma modu gevrek yarıma şeklindedir. Sonuç olarak delta ferrit ve oksit inklüzyonlarının darbe enerjisini azalttığı görülmektedir. Masif tel ile düşük inklüzyon ve delta ferrit içeren kaynak metalinde en yüksek darbe enerjisi elde edilmiştir.



Şekil 2. 17 Üç farklı sıcaklıkta darbe enerjisi üzerine karbondioksitin etkisi [30]

Stenbacka [63] yaptığı çalışmada değişik oksidasyon potansiyeline sahip %100 CO₂, %80Ar+%20CO₂, %92Ar+%8O₂, %90Ar+%5CO₂+%5O₂ ve %98Ar+%2O₂ koruyucu gazlarla karbonlu çelik malzeme üzerinde köşe kaynak işlemleri gerçekleştirmiştir. Deneylerde çeşitli rutil ve bazik özlü teller kullanılmıştır. Koruyucu gazın oksidasyon potansiyeli azaldığında akma mukavemeti ve çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Bazik özlü tellerle elde edilen kaynak metali tokluğunun rutil özlü tellerle elde edilen kıyasla daha yüksek olduğu not edilmiştir. Araştırmacı, özellikle rutil özlü telle kaynakta koruyucu gazın hem pozitif hem de negatif etkisinin olabileceğini belirtmektedir. Rutil özlü elektrodla, %92Ar+%8O₂ koruyucu gaz ile optimum tokluğa (96 J) ulaşılmışken, %100 CO₂ ve %98Ar+%2O₂ koruyucu gazları ile elde edilen tokluk değerleri sırasıyla 37 J ve 15 J'dur. Sonuncu tokluk değerinin bu kadar düşük olmasının sebebi kaynak metalindeki aşırı sertleşmedir.

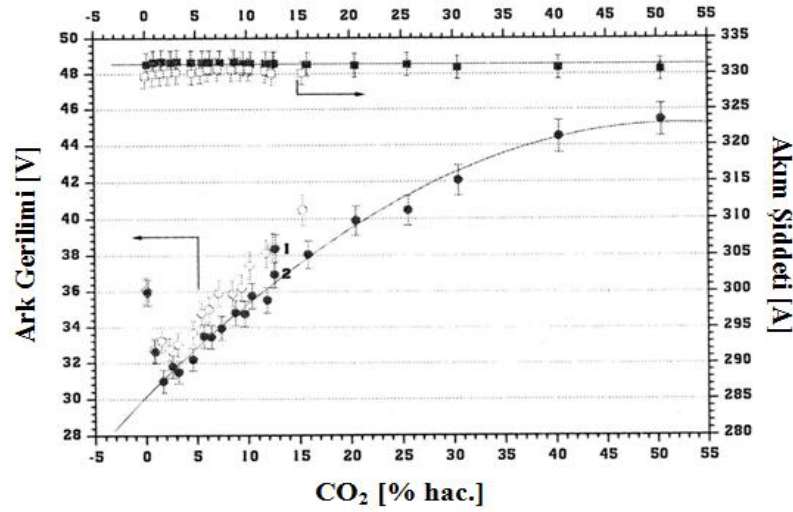
Liao ve Chen [27] başka bir çalışmalarında yine masif tel ve özlü tel kullanarak çeşitli karışım gazlarıyla AISI 304 tip paslanmaz çelik malzeme kullanarak kaynaklar gerçekleştirmişlerdir. Çekme testi sonunda elde edilen verilere (çizelge 2.7) bakıldığında MAG ile elde edilen çekme mukavemeti değerlerinin, özlü telle elde edilenlerden yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. 7 MAG ve özlü telle kaynak için çekme mukavemeti ve uzama verileri [27]

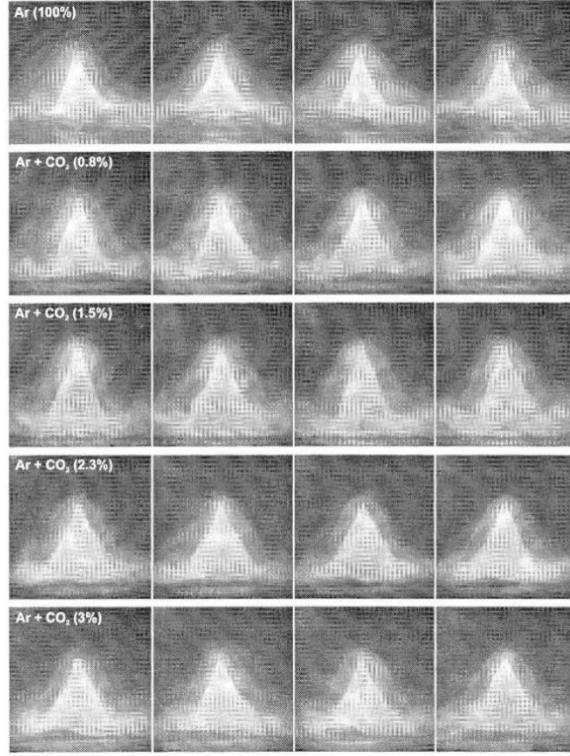
	MAG			Özlü Telle Kaynak				
	M1	M2	M3	F1	F2	F3	F4	F5
	%98Ar+%2O ₂	%90Ar+%10CO ₂	%80Ar+%20CO ₂	%80Ar+%20CO ₂	%60Ar+%40CO ₂	%40Ar+%60CO ₂	%20Ar+%80CO ₂	%100CO ₂
Çekme muk. (MPa)	613	602	610	573	569	567	571	567
Uzama (%)	38,6	38,2	37,6	36,6	38,6	37,2	36,4	38,0

Koruyucu gazların, kaynakta malzeme transferi esnasında damlacıkların yüzey gerilimi üzerine de etkileri bulunmaktadır. Yüksek yüzey gerilimi sıvı metalin akması için gerekli basıncı da arttıracaktır; bunun aksine düşük yüzey gerilimi ise kaynaklı bağlantının ıslatılmasını geliştirecektir. Saf argon koruyucu gaza kıyasla, ark ortamında O₂, CO₂ veya kükürt bulunmasının yüzey gerilimini farkedilir şekilde azalttığı görülmüştür [64].

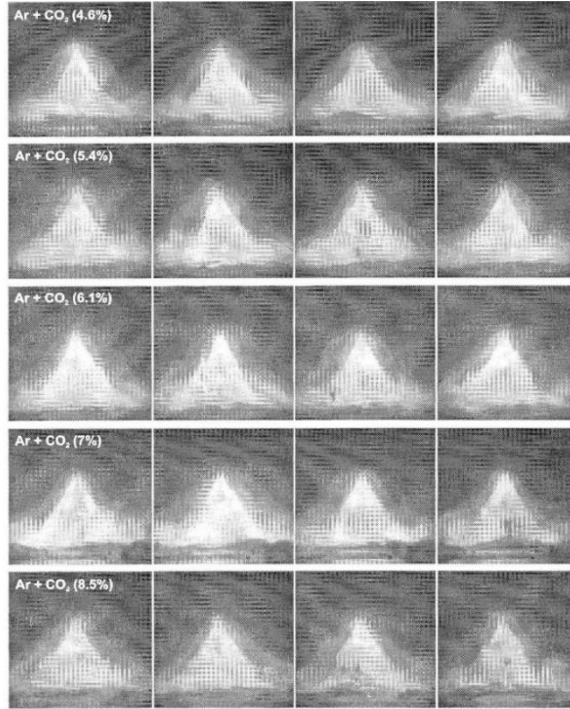
Zielinska vd. [65] koruyucu gazın ark şekli üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kullanılan koruyucu gaz karışımları, argona %0,8 ila %15,4 hac. CO₂ katılması ile elde edilmiştir. Saf argon ve çok küçük miktarlarda CO₂ ilavesi durumunda ark sütununun şekli sprey transferde elde edilene çok benzer olmaktadır. Telin ucu sivri biçimli ve ark tarafından tamamen sarılmış bulunmaktadır. Diğer taraftan, argona sadece %0,8 CO₂ ilave edildiğinde ark gerilimi önemli ölçüde düşmektedir (şekil 2.18). Saf argon ve %3'ten daha düşük CO₂ konsantrasyonu arasındaki ark gerilimi farkı 3V kadardır. Daha yüksek CO₂ konsantrasyonları ark geriliminin kademeli artışına neden olmaktadır. Argon koruyucu gaza %9'un üzerinde CO₂ ilave edildiğinde ark stabilitesini kaybetmekte ve sıçrama ile gaz/duman meydana getirmektedir. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarı %12'yi geçtiğinde ark şekli önemli ölçüde değişmekte ve daha uzun ve yayılmış bir hal almaktadır. Yeni bir transfer moduna geçişten dolayı da elektrot ucunda daha büyük damlacıklar oluşmuştur. Şekil 2.19, şekil 2.20 ve şekil 2.21'de argon koruyucu gazda çeşitli oranlarda CO₂ ilaveleri için ark şekilleri görülmektedir.



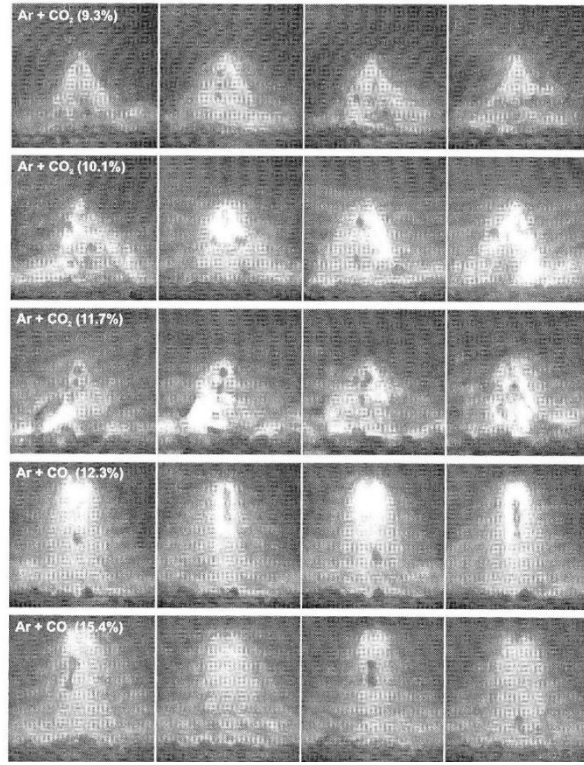
Şekil 2. 18 Gaz karışımındaki CO₂'nin fonksiyonu olarak ark akımı ve gerilimi • - Ark gerilimi; □ - Akım şiddeti [65]



Şekil 2. 19 Argon koruyucu gaza %3'e kadar CO₂ ilavesinde ark şekilleri [65]



Şekil 2. 20 Argon koruyucu gaza %4,6 ila %8,5 CO₂ ilavesinde ark şekilleri [65]



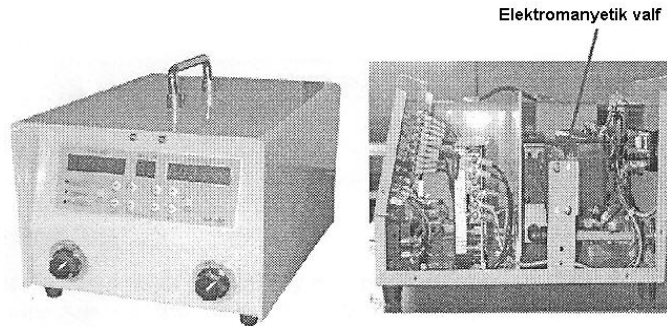
Şekil 2. 21 Argon koruyucu gaza %9,3 ila %15,4 CO₂ ilavesinde ark şekilleri [65]

GAZALTI KAYNAĞINDA ALTERNATİF KORUYUCU GAZ YÖNLENDİRMELERİ VE MIG/MAG KAYNAĞINDA ÇİFT KANALLI KORUYUCU GAZ BESLEME

Gazaltı kaynağı ile ilgili araştırmalarda koruyucu gaz olarak çeşitli gaz karışımlarının incelenmesinin yanında koruyucu gazların kaynak bölgesine alternatif şekilde gönderilmeleri ile ilgili çalışmalar da yapılmış ve prosese olan etkileri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

3.1 Alternatif Şekilde Koruyucu Gaz Yönlendirmeleri

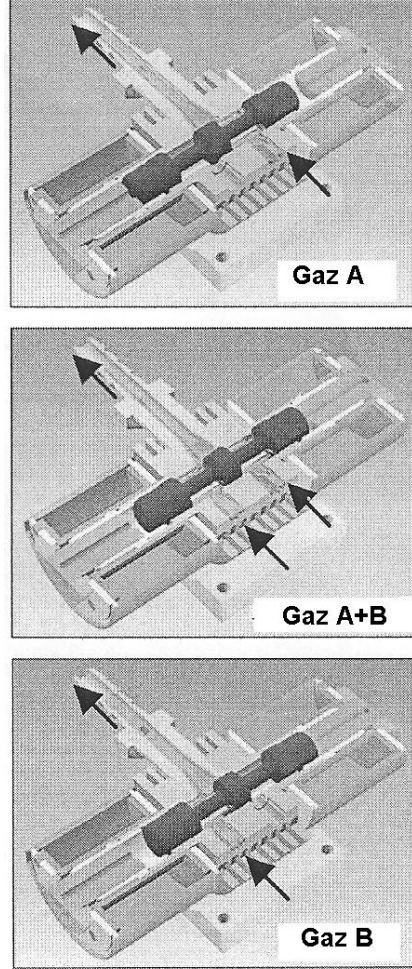
Kang vd. [66] yaptıkları çalışmada kaynak bölgesine saf argon ve saf helyum koruyucu gazları dönüşümlü olarak gönderecek bir sistem tasarlamışlar ve bunu, alüminyumun gazaltı kaynağına uygulamışlardır.



Şekil 3. 1 Koruyucu gazların dönüşümlü şekilde beslenmesi için aparat [66]

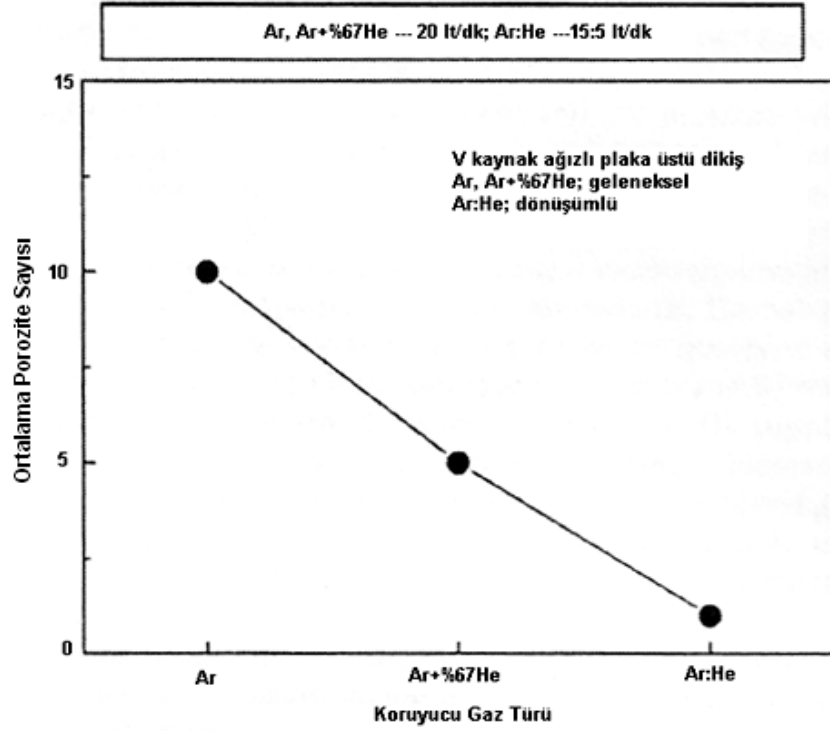
Şekil 3.1’de görülen ekipman, koruyucu gazların debisini ve beslenme frekansını kontrol eden elektronik parça ile gazları dönüşümlü olarak besleyen elektromanyetik kuvvetle çalışan valftir. Şekil 3.2’de elektromanyetik valfin çalışma prensibi görülmektedir. Geleneksel metodun aksine bu yöntemde valf, farklı debilerde önce bir gazı sonra bu iki gazın karışımını ve daha sonra diğer gazı, 2 ila 10 Hz arasındaki

frekanslarda göndermektedir. Yapılan çalışmada ilk olarak dönüşümlü gaz beslemenin kaynak gerilimi dalga formları incelenmiş ve gazların dönüşümlü olarak beslendikleri kanıtlanmıştır.

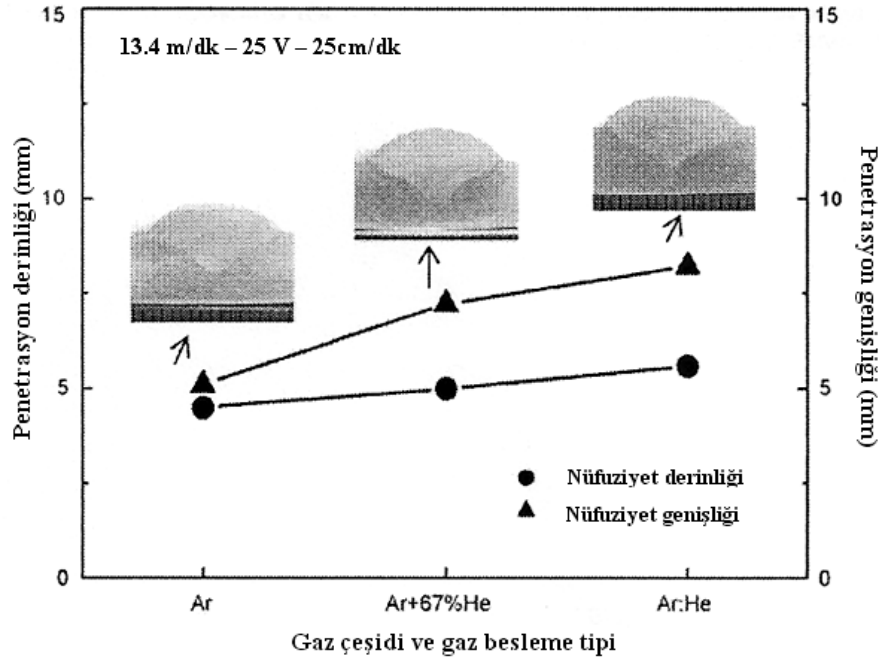


Şekil 3. 2 Dönüşümlü gaz besleme yönteminde elektromanyetik valf [66]

Daha sonra alüminyumun gazaltı kaynağında, dönüşümlü gaz beslemenin geleneksel gaz beslemeye kıyasla kaynak gözenekliliği (porozitesi) ve kaynak şekline olan etkileri incelenmiştir. Dönüşümlü gaz besleme ile elde edilen gözeneklilik seviyesi, saf Ar ve Ar+%67He karışım gazı koruyuculuğunda olanlara kıyasla oldukça düşük çıkmıştır (şekil 3.3). Ayrıca bu yöntemle gerçekleştirilen kaynakların makroskopik muayeneleri yapıldığında (şekil 3.4), nüfuziyet derinliği ve genişliğinin de geleneksel karışım gazı ile elde edilenlere kıyasla fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 3 Koruyucu gaz tipi ve besleme çeşidinin ortalama porozite sayısına etkisi [66]

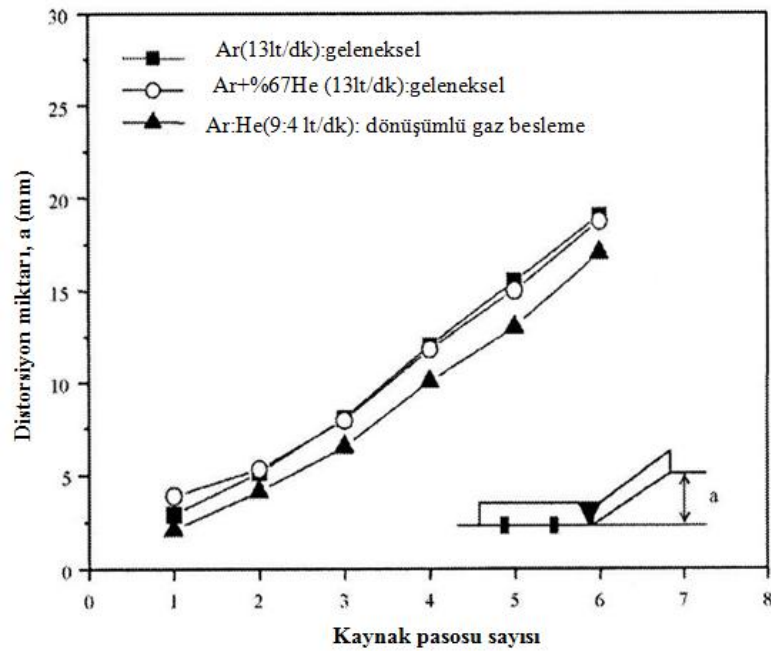


Şekil 3. 4 Kaynak dikişi şeklinin gaz çeşidi ve gaz besleme tipi ile değişimi [66]

Aynı araştırmacıların dönüşümlü gaz besleme yöntemi ile yaptığı diğer bir araştırmada ise 304 östenitik paslanmaz çelik malzemelerin TIG kaynağı gerçekleştirilmiştir. Dikiş genişliği ve yüksekliği sabit tutularak yapılan kaynak denemelerinde, geleneksel metotla saf Ar, Ar+%67He karışımı göndermeye kıyasla, saf argon ve saf helyumun

dönüşümlü olarak kaynak bölgesine beslenmesi ile kaynak hızında artış gözlemlenmiştir.

Dönüşümlü olarak gaz besleme ile gerçekleştirilen kaynaktaki ısı girdisi, saf Ar ve Ar+%67He karışım gazı ile elde edilen ısı girdisinden daha düşük olmuştur. Geleneksel metodlara (saf Ar ve Ar+%67He koruyucu gaz ile) kıyasla dönüşümlü gaz besleme metoduyla daha düşük derecede kaynak distorsiyonu meydana gelmiştir. Ayrıca geleneksel karışım gazları ile kaynakla karşılaştırıldığında, yeni geliştirilen metodlarla kaynak kalitesinin artırılmasının yanında enerji tüketimi %20 azalmakta ve gaz emisyon miktarı da düşüş göstermektedir.



Şekil 3. 5 Koruyucu gaz çeşidi ve gaz besleme tipine göre TIG kaynağında alın kaynak dikişindeki açıl çarpılma [44]

Kim vd. [67], östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynağında koruyucu gazların alternatif beslenmelerinin bilgisayarlı analizini gerçekleştirmişlerdir. Koruyucu gazların alternatif şekilde beslenmelerinin etkisini doğrulamak için iki boyutlu eksenel simetrik ısı ve akışkan matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Modelde elde edilen sonuçları, Ar ve He gazlarının akışının 5 Hz'lik frekansla değiştiği deneyde elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Ar ile elde edilen ark basıncının He ile elde edilene göre 3 kat fazla olduğu bulunmuştur. Ayrıca deneysel ölçümler ile modellemede elde edilen sonuçların da birbirine çok yakın olduğunu ortaya koymuşlardır.

Schultz [68] ise çift koruyucu gazlı TIG kaynağını incelemiştir. Araştırmacı, dış kanaldan akan koruyucu gazın iletkenliği iyi ise (örneğin helyum) ve/veya merkezdeki gaz çok yüksek sıcaklıklara ulaşırsa, ark sütununun merkezinden önemli ölçüde uzakta iyonize olmuş gaza rastlanacağını ve bunun da arkın sınırlanması açısından istenmeyen bir durum olduğunu belirtmektedir. Ayrıca çevresel ikinci bir gaz akışının arkın sınırlanması üzerine etkisi olduğunu ifade etmektedir. Sabit bir ark boyu için gaz debisinde bir noktaya kadar ark geriliminin sabit olduğu, gaz akış miktarının bu noktanın altında olması durumunda ise ark geriliminin birden yükseldiği rapor edilmiştir. Ark gerilimi yükselmesinin sebebinin ise arkın stabilitesinin bozulması olduğu düşünülmektedir. Aynı araştırmacıya göre ark boyunun artması durumunda ark gerilime de artacak ve bu ark geriliminin sabit kalması için de gaz debisinin artırılması gerekecektir. Yine çift kanallı TIG yöntemi ile, geleneksel TIG yöntemine kıyasla ve ön hazırlık işlemleri yapmadan daha kalın parçaların kaynak edilebildiği söylenmektedir.

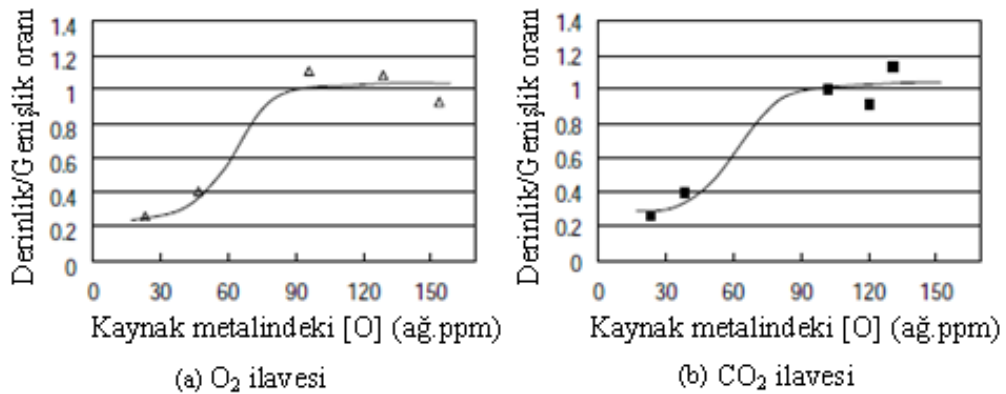
Kutsuna vd. [69], karbonlu çelik ve paslanmaz çeliğin masif ve özlü telle çift kanallı torç ile kaynağını ve hem iç hem de dış nozulda biriken çapak miktarlarını ayrıca hem iç hem de dış nozuldan akan koruyucu gazlardaki Reynolds sayısındaki farkları da araştırmışlardır. Araştırmacılar, özlü tel kullanılarak spre transfer modunda DMAG yöntemiyle en düşük sıçrama miktarını 20mg/dk olarak elde etmişlerdir. Ayrıca özlü tel kullanımındaki metal transferinin masif tele göre daha farklı olduğu ve metal damlacıklarının cüruf kutbu üzerinden olduğunu bulmuşlardır. Reynolds sayısındaki fark -200 ila 400 arasında olduğunda nozuldeki sıçrama miktarı 200mg/dk olmuştur; fakat bu aralığın dışına çıkıldığında daha yüksek sıçrama değerleri elde etmişlerdir.

Sato vd. [70], 304 tip paslanmaz çelik malzeme üzerine çift kanal gaz korumalı TIG yöntemi ile çeşitli kaynaklar gerçekleştirmişlerdir. İlk deney, tungsten elektrodun tüketimi üzerine çift koruyucu gazlı torcun etkisini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Dış koruyucu gaz küçük bir miktar oksijen içeren oksitleyici bir gaz ve iç koruyucu gaz sadece soy gazdır. Ayrıca normal torçtaki koruyucu gaz, çift koruyucu gazlı torçtaki dış gaz ile aynıdır. Elde edilen sonuçlara göre normal torçta koruyucu gazdaki küçük bir miktar oksijen bile tungsten elektrodun ucunun bozulmasına yol açmışken, çift kanallı torçta böyle bir olumsuzluğa rastlanmamıştır (şekil 3.6).

Normal torç				
Çift gazlı torç				
Koruyucu gaz	%0.2CO ₂ -He	%0.5CO ₂ -He	%1.0CO ₂ -He	%5.0CO ₂ -He

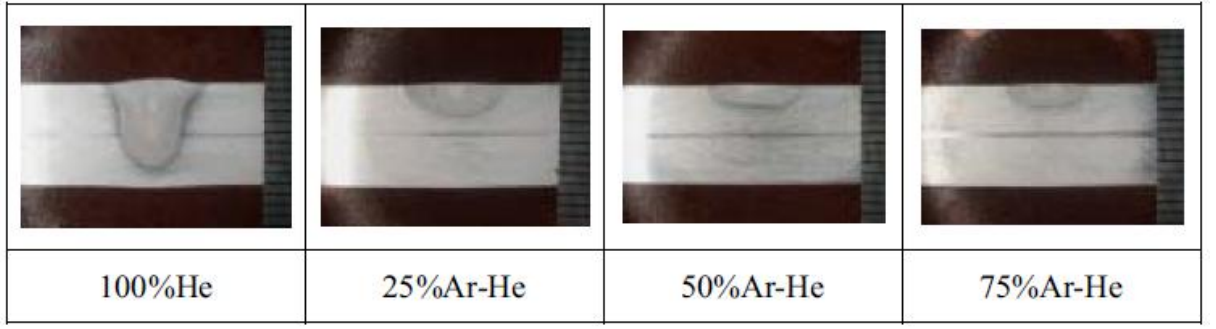
Şekil 3. 6 Farklı torçlar ve koruyucu gazlar kullanılan TIG kaynağında kaynaktan sonra tungsten elektrotların yüzeylerinin görünümü [70]

İkinci deney, çift koruyucu gazlı torçta gaz kompozisyonunu optimize etmek için gerçekleştirilmiştir. Kaynak metalindeki penetrasyon derinliği, penetrasyon şekli ve oksijen içeriği değerlendirilmiştir. İkinci deneyde iç kanaldan gönderilen koruyucu gaz saf helyumdur. Dış kanaldan ise hafif oksitleyici olan küçük miktarda oksijen veya karbondioksit gönderilmiştir. Kaynaktaki oksijen miktarı 90 ppm'in üzerine çıktığında, oksitleyici gazın oksijen veya karbondioksit olması farketmeksizin derinlik/genişlik oranı keskin şekilde artmaktadır (şekil 3.7).



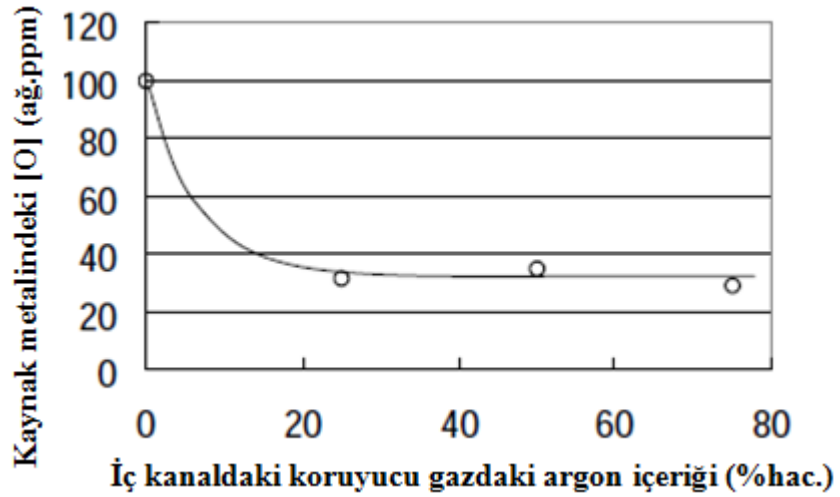
Şekil 3. 7 Değişik oksidasyon potansiyellerine sahip koruyucu gazlarla kaynak metalindeki oksijen içeriğine karşılık derinlik/genişlik oranı [70]

Araştırmacılar ayrıca çift kanallı torçta iç kanaldan çeşitli karışım oranlarında soy gazlar (Ar ve He) ve dış kanaldan da hafif oksitleyici bir gaz göndererek elde edilen kaynak dikişlerini incelemişlerdir. İç kanaldan gönderilen gazdaki argon miktarı arttıkça nüfuziyet derinliğinde önemli bir azalma görülmüştür (şekil 3.8).



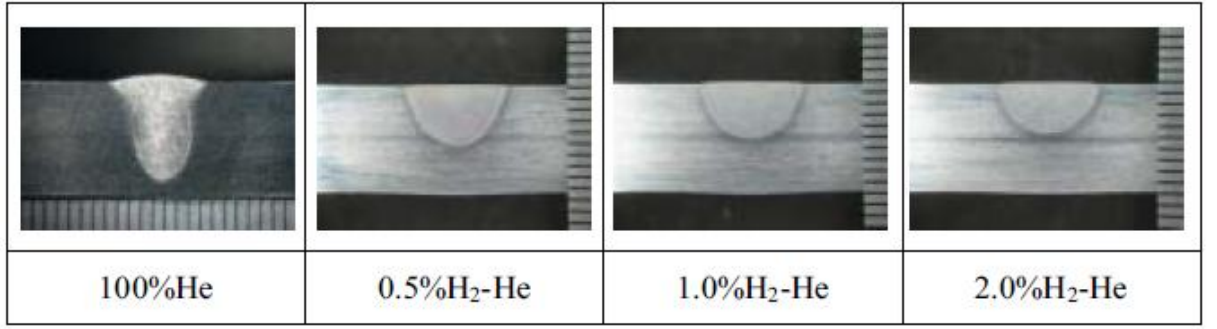
Şekil 3. 8 Çift kanallı TIG kaynağında iç kanaldan farklı karışım oranında soygazlar gönderilmesi ile elde edilen kaynak dikiş kesitleri [70]

İç kanaldan gönderilen koruyucu gazdaki argon içeriği ile kaynaklardaki oksijen içeriği şekil 3.9’da gösterilmiştir. Helyuma argon ilavesi kaynak metalindeki oksijen içeriğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bundan ötürü, nüfuziyet derinliğindeki önemli derecedeki düşüş, oksijen miktarının azalmasıyla açıklanabilmektedir. Argon gazı koruyuculuğundaki arkın plazma akışı helyumunkinden daha geniştir. Bu yüzden, kaynaklardaki oksijen içeriğinin azalmasının sebebi, argonun geniş plazma akımının, oksitleyici dış kanaldaki gazdan ergimiş kaynak metaline oksijen soğurulmasını engellemektedir.



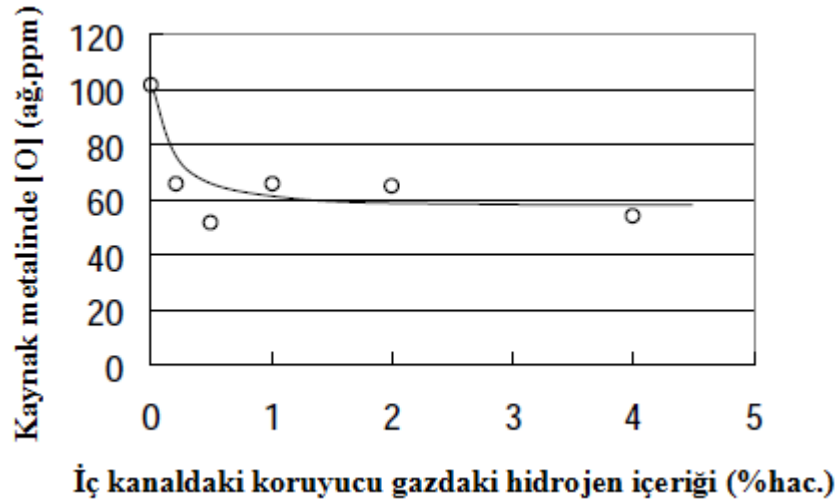
Şekil 3. 9 İç kanaldaki koruyucu gazdaki argon içeriğine karşılık kaynak metalindeki [O] içeriği [70]

İç kanaldan gönderilen koruyucu gazda soygaza (He) hafif redükleyici gaz (H_2) ilavesi ile elde edilen kaynak dikişlerinin makroskopik görüntüleri şekil 3.10’da verilmiştir. Helyum gazı hidrojenin küçük miktarlarda ilavesi ile nüfuziyet derinliğinde önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir.



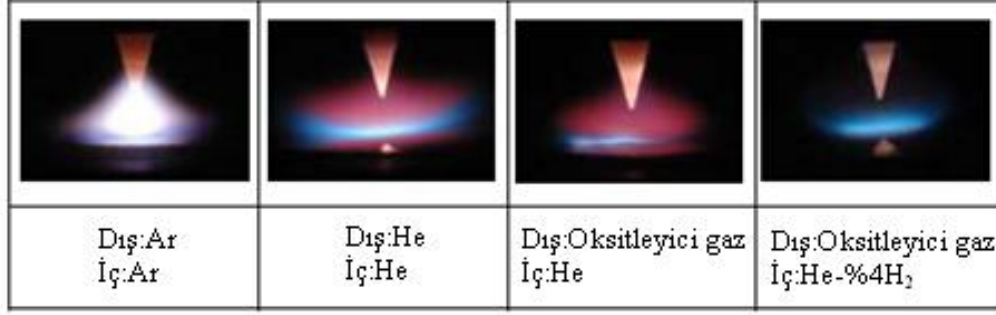
Şekil 3. 10 Çift kanaldan gaz korumalı TIG kaynağında iç kanaldaki koruyucu gazda farklı oranlarda redükleyici gazlar kullanılarak elde edilen kaynak dikiş kesitleri [70]

İç kanal koruyucu gazındaki hidrojen içeriği ile kaynaklardaki [O] miktarı arasındaki ilişki şekil 3.11’de gösterilmiştir. Nüfuziyet derinliğindeki önemli ölçüde azalmanın sebebi kaynaklardaki [O] içeriğinin azalmasıdır.



Şekil 3. 11 İç kanaldaki koruyucu gazdaki hidrojen içeriğine karşılık kaynak metalindeki [O] içeriği [70]

Koruyucu gaza hidrojen ilavesi ile ark sütununun sınırlandırıldığı bilinmektedir (şekil 3.12). Redükleyici gazlar ile ark sütununun sınırlandırılması ark verimliliğinin artmasına neden olacaktır. Sonuç olarak da nüfuziyet derinliği artacaktır. Deneysel sonuçlarda görülen önemli derecedeki derinlik/genişlik oranındaki artışın nedeni koruyucu gaz ile arkın sınırlandırılması değil, uygun miktarda oksijen soğuran ergimiş metalin yüzey geriliminden kaynaklanan Marangoni konveksiyonundaki değişimdir. Buna ilaveten iç kanaldan gönderilen saf helyum kullanımı ile plazma sürüklenme kuvvetindeki azalma, Marangoni konveksiyonunun etkisini hızlandırmıştır.



Şekil 3. 12 Çift kanallı koruyucu gazlı TIG kaynağında farklı koruyucu gazlardaki ark sütununun görünümü [70]

Gerçekleştirilen kaynaklar sonucunda numunelere mekanik testler de uygulanmıştır. Elde edilen değerler kaynak metalinin çekme mukavemetinin ana malzemenin standardından (520 MPa) daha yüksek olduğunu göstermiştir. Çentik darbe testleri ise, numuneler -196°C'ye soğutulduktan sonra gerçekleştirilmiştir. Hem kaynak metalinin hem de ısı tesiri altındaki bölgenin çentik darbe değerleri TIG kaynağı için yeterlidir sünek kırılma alanı oranı ve yanal genişleme gibi parametreler de yüksek tokluğu göstermektedir (çizelge 3.1 ve çizelge 3.2). Ayrıca yapılan eğme testlerinde de herhangi bir hataya rastlanmamıştır. Yapılan testler dış kanalda hafif oksitleyici bir gaz olsa bile elde edilen mekanik değerlerin, geleneksel TIG kaynaklı bağlantılarında elde edilenler gibi olduğunu göstermiştir.

Çizelge 3. 1 Çift kanallı koruyucu gazlı TIG ile kaynak edilen alın birleştirmesinde çekme mukavemeti değerleri [70]

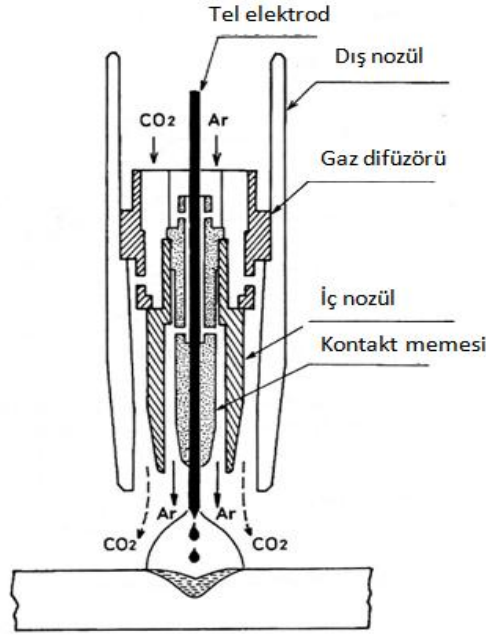
Test numune no	Çekme mukavemeti (MPa)	Kırılma yeri
T1	593	Kaynak metal
T2	588	Kaynak metal

Çizelge 3. 2 Çift kanallı koruyucu gazlı TIG ile kaynak edilen alın birleştirmesinde çentik darbe mukavemeti değerleri [70]

Test numune no	V-çentiğin konumu	Soğurulan enerji (J)		Sünek kırılma alanı oranı (%)		Yanal genişleme (mm)	
		Tek	Ortalama	Tek	Ortalama	Tek	Ortalama
CD1	Kaynak metal	82	85	100	100	1,37	1,41
CD2		83		100		1,38	
CD3		89		100		1,49	
CH1	ITAB	177	176	100	100	2,17	2,23
CH2		173		100		2,20	
CH3		179		100		2,33	

3.2 MIG/MAG Kaynağında Çift Kanallı Koruyucu Gaz Yönlendirmeleri

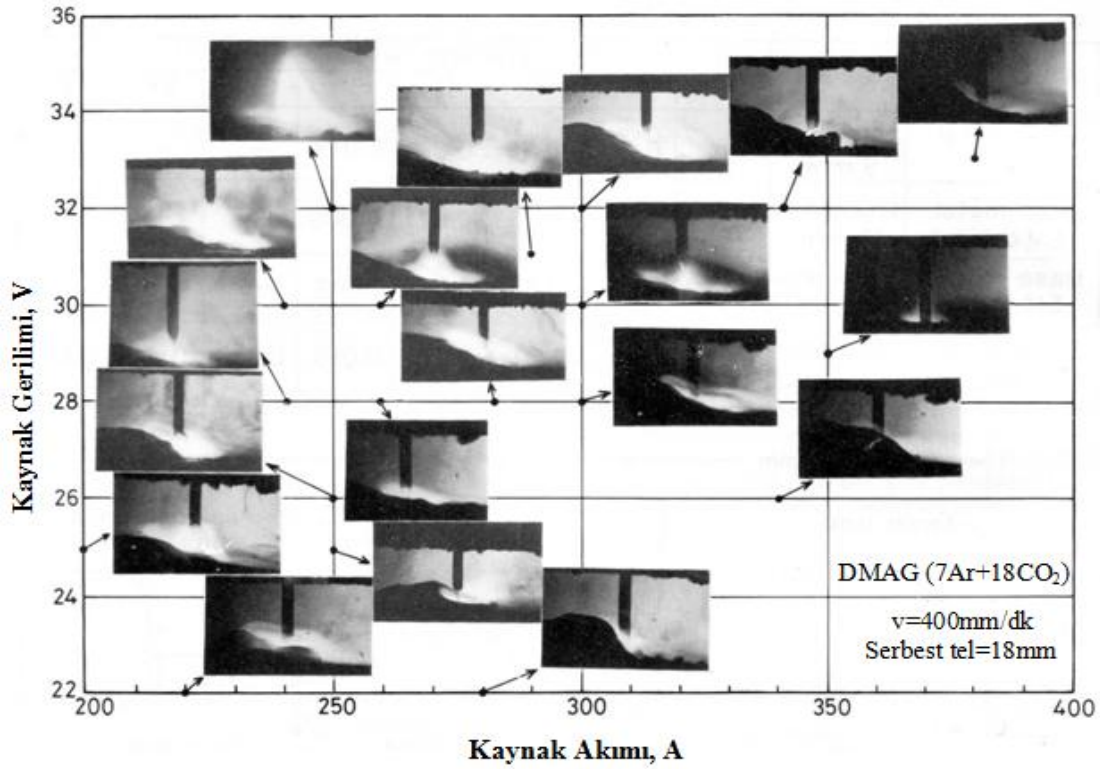
Masumoto vd. [71], DMAG adını verdikleri çift kanallı koruyucu gaz beslemeli torçla çok ayrıntılı araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Şekil 3.13’de DMAG yönteminin prensibi görülmektedir. Bu proseste spreycan transfer damlacıkları elde etmek için, bağımsız şekilde, iç nozûlden soy koruyucu gaz gönderilmektedir. Kaynak bölgesini dış ortamdan korumak için ise, bağımsız olarak, dış nozûlden karbondioksit gazı beslenmektedir. Bu proses 1979 yılında Almanya’da Kohlensaürewerke, C.G. Rommenholler firması tarafından, argon gazı kullanımını ve sıçrantı kayıplarını azaltarak MAG prosesini daha etkili hale getirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu çalışmada DMAG yönteminde metal transferi, sıçrama kayıpları, gözenek oluşumu ve dikiş geometrisi bakımından çok geniş kaynak akımı ve gerilimi aralığında incelenmiştir.



Şekil 3. 13 Çift kanal koruyucu gaz beslemeli DMAG yöntemi [71]

Bu çalışmada yarı otomatik kaynak torcu, işparçası ile elektrot ucu arasındaki mesafeyi 18mm’de sabit tutmak için bir arabaya sabitlenmiştir. Yumuşak çelik malzemeler kullanılmıştır (JIS: SS41 ve SM41B). Tel elektrot 1,2 mm çapındadır (DD50S). Plaka üzerine dikişler ve V-kaynak ağzı dikişleri gerçekleştirilmiştir. Metal transferinin gözlemlenmesi için 1/4000 sn’lik diyafram hızına sahip kamera veya 16mm’lik sinefilm kullanan yüksek hızlı video kamera ve arkın gerisinde Xenon lambalı geri destek ışığı kullanılmıştır. Sıçrantılar bir kutuda toplanmış ve mıknatıs kullanılarak diğer

malzemelerden ayrılmıştır ve ağırlığı ölçülerek ana malzemedeki sıçrantı kaybı bulunmuştur. Buna ilaveten iç ve dış nozüldeki sıçrantı da toplanmış ve nozüldeki sıçrantı kaybı olarak ölçülmüştür. Şekil 3.14'te yüksek hızlı kamera ile çekilmiş DMAG metal transfer modları görülmektedir. Çizelge 3.3'te ise kaynak akımı ve geriliminin metal transfer modları ve dikiş geometrisi üzerine etkileri verilmiştir.

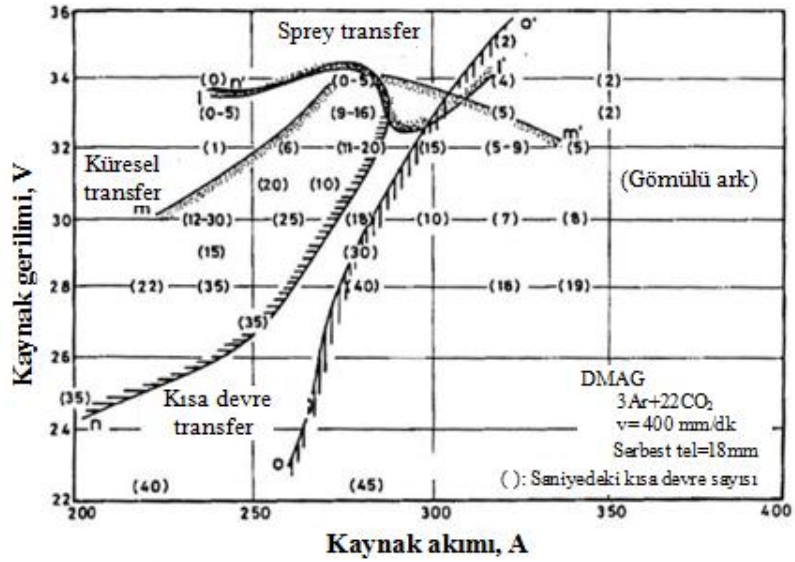


Şekil 3. 14 Yüksek hızlı kamera ile çekilmiş DMAG metal transfer modları (koruyucu gaz: 7lt/dk Ar + 18 lt/dk CO₂) [71]

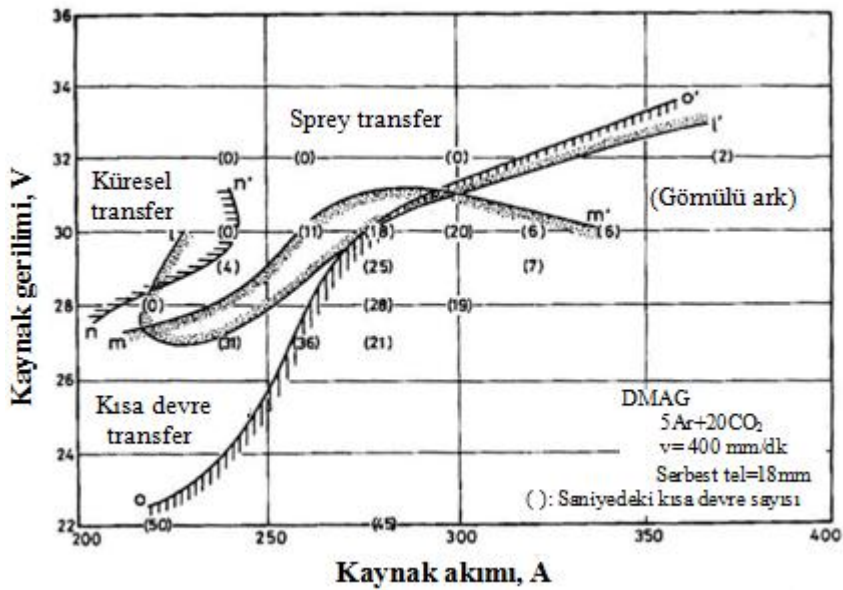
Çizelge 3. 3 DMAG prosesinde kaynak akımı ve geriliminin metal transfer modları ve dikiş geometrisi üzerine etkisi [71]

Kaynak akımı (A)	Kaynak gerilimi (V)	Nüfuziyet derinliği (mm)	Dikiş genişliği (mm)	Dikiş yüksekliği (mm)	Metal transfer modu
220	24	2,8	10,2	2,8	Kısa devre
220	27	2,8	10,4	2,7	Kısa devre
240	30	3,1	10,8	2,8	Sprej
250	27	3,3	11,1	2,9	Sprej+kısa devre
280	27	5,1	10	3,4	Sprej+kısa devre
300	30	5,8	10,6	3,6	Sprej
320	30	6,7	10,5	4	Sprej
320	32	5,6	11,9	3,4	Sprej

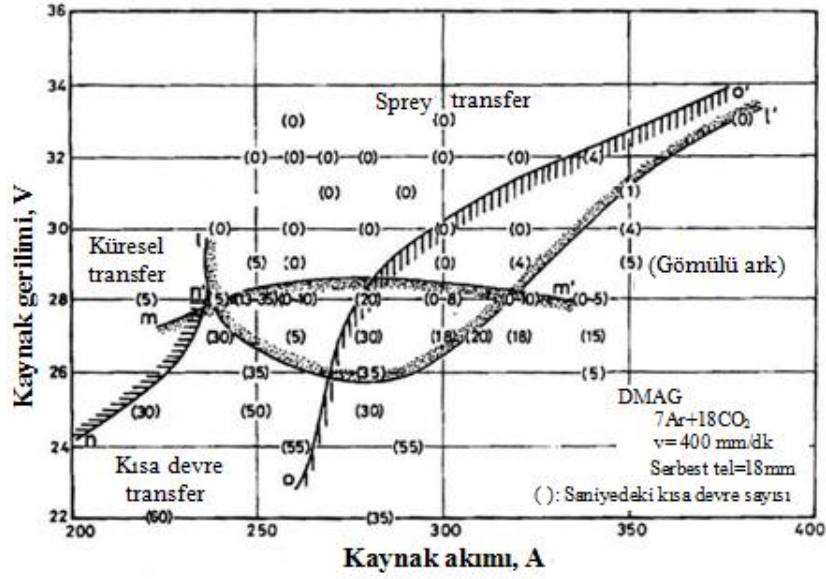
Farklı koruyucu gaz akış miktarlarına göre metal transfer modu aralığının kaynak akımı ve kaynak gerilimine göre konumları şekil 3.15, 3.16 ve 3.17’de verilmektedir. Şekil 3.18’de ise geleneksel MAG yöntemi ve DMAG yöntemi için kaynak akımı ve gerilimine göre spre transfer bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 15 DMAG’da metal transfer modu aralığı (%12Ar+%88CO₂, toplam 25lt/dk) [71]

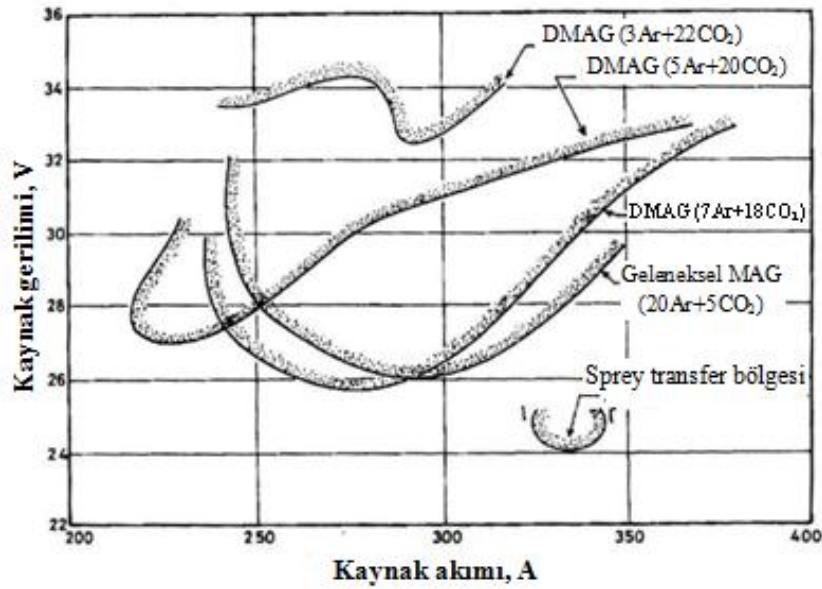


Şekil 3. 16 DMAG’da metal transfer modu aralığı (%20Ar+%80CO₂, toplam 25lt/dk) [71]



Şekil 3. 17 DMAG'da metal transfer modu aralığı (%28Ar+%72CO₂, toplam 25lt/dk) [71]

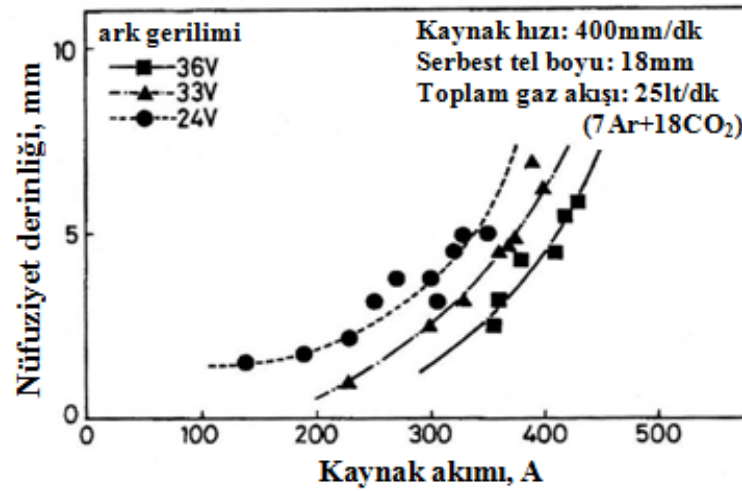
Metal transfer modu şekillerindeki mm' çizgisi kısa devre oluşumu için minimum değerleri göstermektedir. Görüleceği üzere argon oranı yükseldikçe ll' çizgisinin üstündeki spray transfer modu ve mm' çizgisinin altındaki kısa devre transfer modu aralıkları daha yüksek bir gerilim seviyesine kaymıştır ayrıca argon oranı düştükçe nn' çizgisinin sol kısmındaki küresel transfer modu aralığı genişlemiştir.



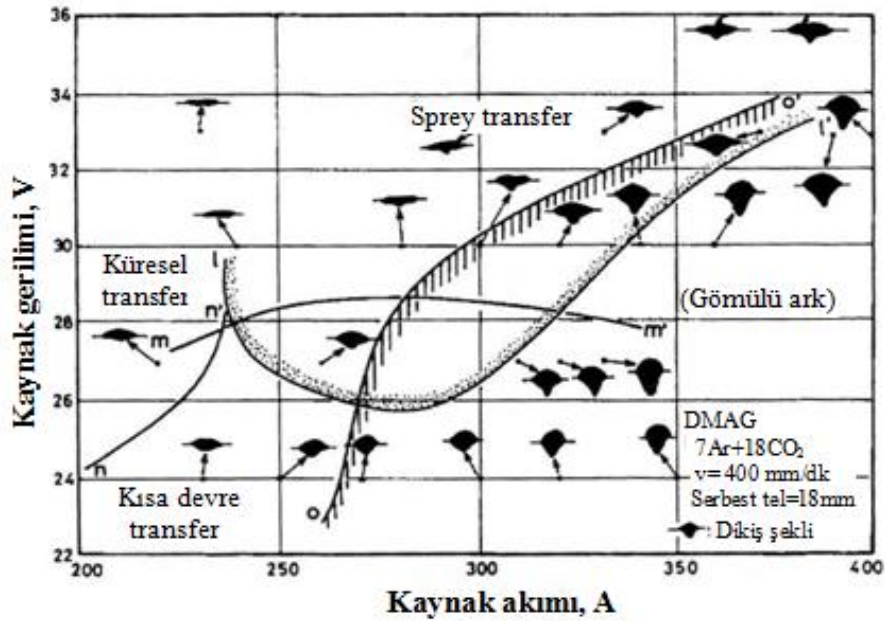
Şekil 3. 18 DMAG ve geleneksel MAG kaynağında spray transfer bölgelerinin karşılaştırılması [71]

Nüfuziyetin metal transfer moduna ve akım yoğunluğuna bağlı olduğu bilinmektedir. DMAG prosesindeki nüfuziyet, 8 mm kalınlığa sahip SS41 karbon çeliği plaka üzerinde

kaynak dikişleri yapıldıktan sonra araştırılmıştır (şekil 3.19). Aynı ark geriliminde kaynak akım şiddeti arttıkça nüfuziyetin arttığı, aynı akım şiddetinde ise kaynak gerilimi arttıkça nüfuziyetin azaldığı görülmektedir. Sıçramasız metal transferi için bu proseste spreyl transfer modu gereklidir ve daha fazla nüfuziyet için kaynak parametreleri gömülü ark sınır bölgesinin yakınında seçilmelidir (şekil 3.20).



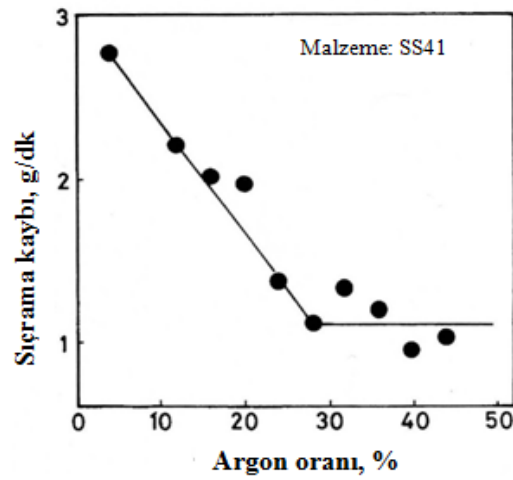
Şekil 3. 19 Kaynak akımı ve gerilimi ile nüfuziyet derinliğinin değişimi [71]



Şekil 3. 20 Farklı transfer modları için dikiş geometrileri [71]

Çalışmada ayrıca 300-320 A akım aralığında ve 32V kaynak geriliminde iç ve dış nozülde toplanan çapaklar (sıçramalar) tartılmıştır. Koruyucu gazdaki argon oranı %28'e kadar arttığında ana malzeme ve nozüldeki çapakların azaldığı görülmüştür (şekil 3.21). Sprey transfer damlacıkları nedeniyle %28'den fazla argon oranında sıçrama

miktarı sabittir ve 1,2g/dk olarak ölçülmüştür. Şekil 3.22’de ise farklı kaynak akımı, ark gerilimi ve kaynak sürelerinde iç ve dış nozülde biriken çapaklar görülmektedir.

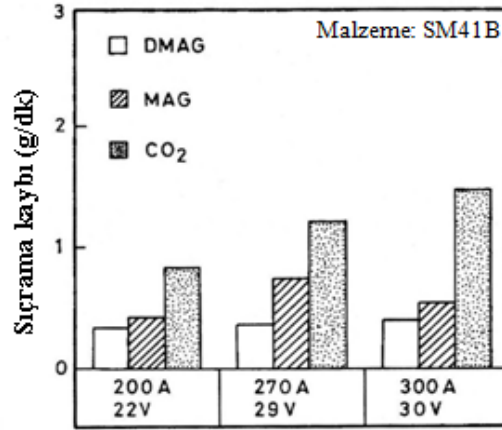


Şekil 3. 21 Ana malzeme ve nozüldeki sıçrama kaybına argon oranının etkisi (kaynak akımı: 300-320A, ark gerilimi: 32V, koruyucu gaz debisi toplam 25lt/dk) [71]

İç nozül	Dış nozül	
		260A, 24V, 3dk
		270A, 27V, 3dk
		300A, 30V, 5dk

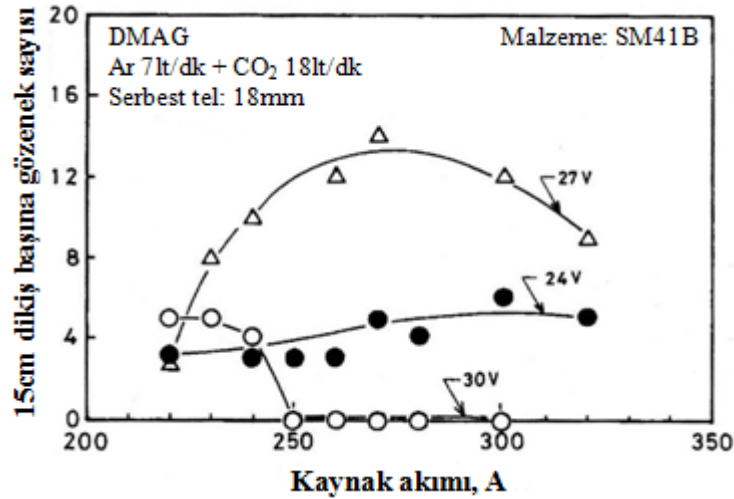
Şekil 3. 22 DMAG kaynağında farklı metal transfer modlarında nozüle yapışan çapakların karşılaştırılması [71]

Şekil 3.23’ten görüleceği üzere, DMAG yöntemi ile kaynakta ana malzeme üzerindeki sıçrama kayıpları, CO₂ ile kaynaktakinden çok daha azdır ve geleneksel MAG yöntemi ile ya yaklaşık aynı ya da bu yöntemden bile daha azdır.



Şekil 3. 23 DMAG, MAG ve CO₂ kaynağı yöntemlerinde ana malzemedeki sıçrama kaybı [71]

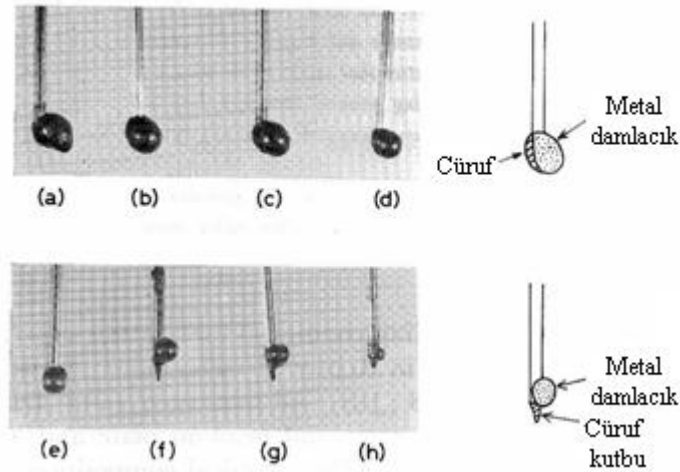
Çeliğin MAG kaynağında karışım gazındaki argon oranı arttıkça ve ark gerilimi düştükçe, gözenekler kolaylıkla meydana gelmektedir. DMAG yöntemindeki gözenek oluşumu ise SM41B malzeme üzerinde, 260A ve 24V ile kısa devre transfer, 270A ve 27V ile geçiş modu ve 300A ve 30V ile sprej transfer modunda kaynaklar gerçekleştirildikten sonra 15cm dikiş boyu için X-ışını filmi değerlendirilerek ortaya çıkartılmıştır. Geçiş modunda yüksek sayıda gözenek tespit edilmiştir ve bunun nedeni istikrarlı olmayan metal transferi ve kısa devrelerdir. Sprej transfer modunda gözenek tespit edilmemiştir.



Şekil 3. 24 15cm'lik X-ışını filminde sayılan gözenek sayısı [71]

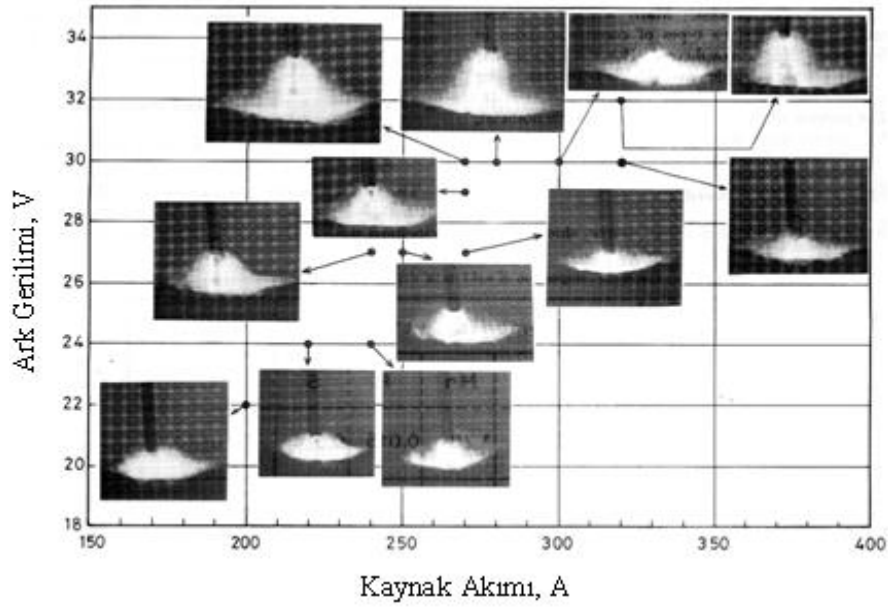
Kutsuna ve Abraham'ın [72] devam ettirdikleri çalışmanın ikinci kısmında 1,2 mm çaplı özlü teller (DL50, SF-1) kullanılarak, yumuşak çelik (SM41B) malzeme üzerinde plaka üstü dikiş ve V kaynak ağzı dikişleri gerçekleştirilmiştir. İç nozuldeki argon oranının ve kaynak parametrelerinin metal transfer modları üzerine etkisi yüksek hızlı sinefilm ve

1/4000 sn'lik diyafram hızına sahip kamera ile incelenmiştir. Şekil 3.25'te damlacığın kopmasından önce özlü teldeki damlacık oluşumu verilmektedir. Düşük ve orta güç seviyelerinde büyük damla oluşmaktadır. Damlacık, elektrodun kenarına yönelmiş ergimiş metal ve elektrot eksenini boyuncu cüruf içermektedir. Kaynak akımı ve ark gerilimi yükseldiğinde damlacık boyutu önemli ölçüde düşmektedir. Yüksek güç seviyelerinde metal kılıf cüruftan hızlı ergimektedir ve elektrot ucu genellikle ergimiş cüruf kutbu ve ergimiş metal formunda olmaktadır.



Şekil 3. 25 DMAG ile özlü tel kaynağında kopmadan önce damlacık oluşumu: a) 180A 22V , b) 200A 22V, c) 220A 22V, d) 240A 24V, e) 250A 24V, f) 280A 30V, g) 300A 30V, h) 320A 32V [72]

İç nozülünden 7lt/dk debiyle argon ve dış nozülünden 18lt/dk debiyle CO₂ beslenmesi durumunda farklı transfer modları Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Düşük güç seviyelerinde kısa devre transfer ve küresel transfer meydana gelmiştir. Bu bölgede sayılan kısa devre frekansları saniyede 5 ila 30 döngüdür ve CO₂ ile masif telli DMAG kaynağına kıyasla düşük damlacık frekansıdır. Yüksek güç seviyelerinde ise sprej transfer modu görülmektedir. Özlü telle elde edilen damlacıklar, DMAG prosesinde masif telle elde edilenlere kıyasla daha farklı şekilde oluşmuşlardır. Kaynak akımı ve ark gerilimi arttığında ark boyu da artmaktadır ve saf argon koruyuculuğunda olduğu gibi ark elektrot ucunda oluşmaktadır. Elektrot ucundan kopan ergimiş metal ergimiş cüruf kutbu boyunca akmakta veya serbest olarak yada patlayıcı kuvvetler etkisinde düşmektedir. Damlacıkların kenarları elektrodun çapından daha küçük olmaktadır.



Şekil 3. 26 Özlü telle DMAG kaynağında yüksek hızlı kamera ile çekilmiş metal transfer modları (koruyucu gaz: 7lt/dk Ar+18lt/dk CO₂) [72]

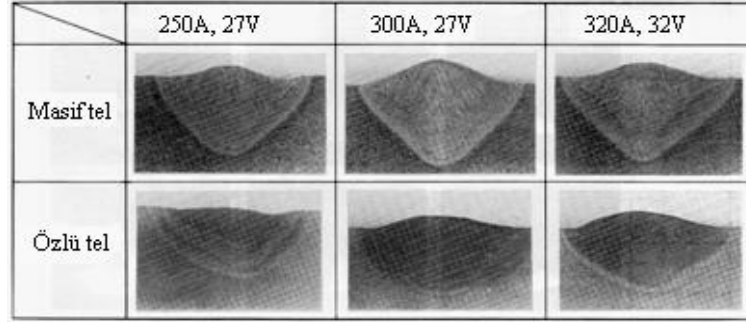
Şekil 3.27 ise argon gaz oranı değiştiğinde metal transfer modlarının nasıl değiştiğini göstermektedir. Burada arkın oluşumunda argon önemli bir rol oynamaktadır. Argon oranı azaldığında ark boyu azalmaktadır ve metal transfer modu da değişmektedir. Şekilden de görüleceği üzere aynı kaynak şartları için, argon gaz akışı 3lt/dk'dan 7lt/dk'ya çıktığında metal transferi küreselden spreye geçiş göstermektedir. Ergimiş cüruf kutbunun uzunluğu azalan argon gaz akışı ile beraber ortadan kaybolmaktadır.

	Ar 3 l/min +CO ₂ 22 l/min	Ar 5 l/min +CO ₂ 20 l/min	Ar 7 l/min +CO ₂ 18 l/min
240 A 28 V			
300 A 30 V			

Şekil 3. 27 Farklı argon içeriklerinde ark olgusunun karşılaştırılması (240A/28V ve 300A/30V) [72]

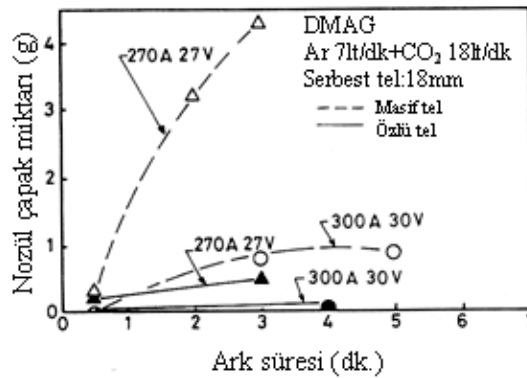
Nüfuziyet şartları, ark tipine (metal transferi modu), akım yoğunluğuna ve gaz oranına bağlıdır. Nüfuziyet şartlarının gözlemlenmesi için 12 mm kalınlığında SM41B karbon çeliği malzeme üzerine farklı gaz oranları ile V-kaynak ağzı doldurma ve plaka üstü dikiş

kaynağı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.28, argon debisi 7lt/dk ve CO₂ debisi 18lt/dk olmak üzere V-kaynak ağzının doldurulmasında masif tel ve özlü teller arasındaki nüfuziyet farkını göstermektedir. Özlü tele kıyasla masif tel ile daha derin nüfuziyet elde edilmiştir ve dikiş geometrisi, CO₂ ve karışım gazı kaynaklarında elde edileni andırmaktadır.



Şekil 3. 28 Masif tel ve özlü tel ile DMAG kaynağında dikiş geometrilerinin karşılaştırılması [72]

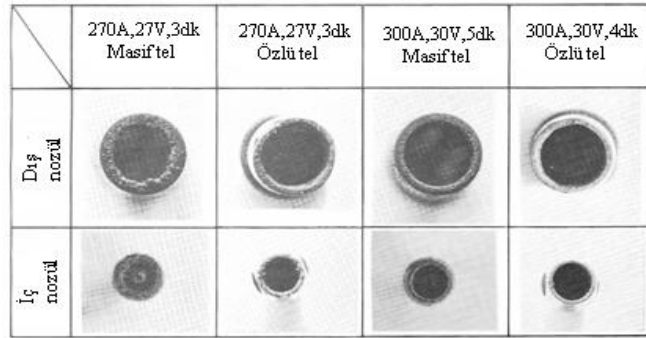
Özlü telle DMAG kaynağında sıçrama oluşumu da yüksek hızlı sinofilm kullanılarak çalışılmıştır. Sıçramanın, kısa devre köprüsü kırıldığında ve telin ve kaynak banyosunun kenarından damlalar gönderildiğinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu tip sıçrama hem kısa devre hem de küresel transferde meydana gelmiştir. Buna ilaveten, küresel transferde büyük bir damla kaynak banyosuna düşmekte ve dikey yukarı hareket ederek nozüle yapışmaktadır.



Şekil 3. 29 Özlü telle DMAG prosesinde uzun ark süresinde nozül çapak miktarı [72]

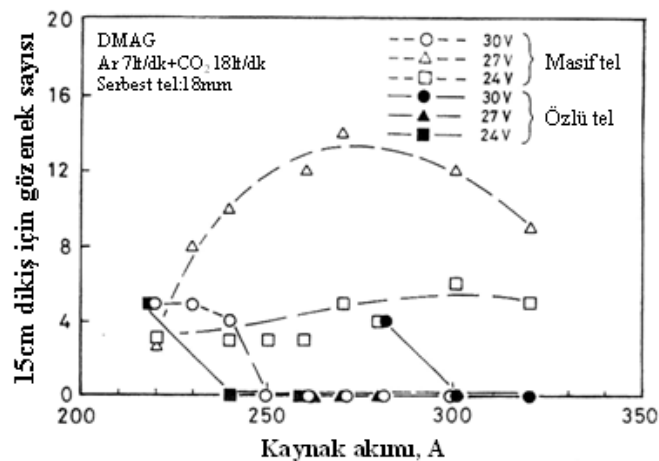
Sıçrama miktarlarının ölçümü için iç ve dış nozüldeki çapaklar bir kutuda toplanmış ve daha sonra tartılmıştır. Şekil 3.29'dan görüleceği üzere en büyük sıçrama miktarı bile 0,02 g/dk gibi düşük bir değerdedir ve 300A ve 30V parametrelerinde uzun ark süresinde (4 dk.) bile nozüle yapışan sıçrama miktarı 0,076 g'dır. Şekil 3.30'da ise farklı

akım ve gerilim değerleri ile masif ve özlü tellerle kaynakta iç ve dış nozüldeki çapak miktarlarını göstermektedir.



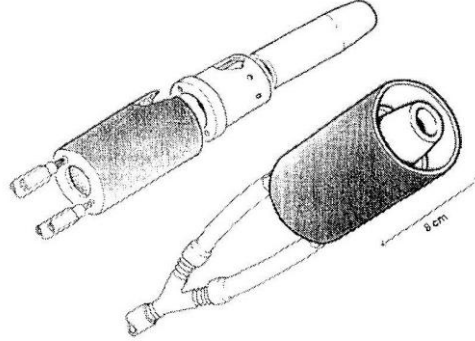
Şekil 3. 30 Masif tel ve özlü telle DMAG kaynağında nozüle yapışan çapakların karşılaştırılması [72]

Gözenek oluşumunun temel nedenleri, kaynak akımı/ark gerilimi, yüzey temizliği, elektrot telinin kimyasal kompozisyonu, nozül ve ana metal arasındaki mesafe ve koruyucu gaz debisidir. Özlü telle kaynakta öz metalin içinde kaynak banyosuna gitmektedir böylece gaz oluşturmalar etkin olarak kullanılamamaktadır. Metali dışarı atmosfere doğru iterler; bundan ötürü arkı ve kaynak metalini kirlenmeden korumak için çevresel gaz koruma gerekmektedir. Özlü telle DMAG kaynağındaki gözenek oluşumu, SM41B yumuşak çelik malzeme kullanılarak V-kaynak ağzı kaynağı gerçekleştirilerek incelenmiştir. Şekil 3.31, 15 cm dikiş uzunluğu için, farklı ark gerilimlerinde masif tel ve özlü telle elde edilen gözenek sayısını göstermektedir. Özlü telle kaynakta gözenek sayısı, masif telle olana göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 3. 31 Özlü telle DMAG kaynağında 15 cm dikiş uzunluğu için X-ışını filmindeki gözenek sayısı [72]

Dennis vd. [73] ise ikincil koruyucu gaz kullanımı ile paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynağında altı değerlikli krom ve ozona maruz kalmanın kontrol edilebilmesini incelemişlerdir. Bu çalışma için çift nozullu bir torç geliştirmişlerdir (şekil 3.32).



Şekil 3. 32 Cr(VI) ve ozona maruz kalma deneylerinde kullanılan çift kanallı torç [73]

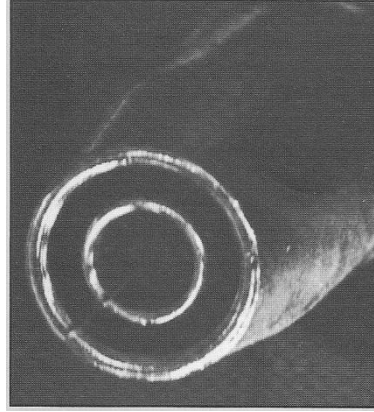
Araştırmacıların yaptıkları çalışmada Ar, Ar+C₂H₄ dışında Argoshield 5, MISON, Helishield1 ve Helishield 101 gibi ticari ve patentli koruyucu gazlar da kullanılmıştır. Bu gazlar tek kanallı geleneksel torç ve çift kanallı torçta kullanılmıştır. Geleneksel ve geleneksel olmayan çift kanallı torçla gazaltı kaynakta elde edilen ozon (O₃) ve altı değerlikli krom (Cr(VI)) miktarları çizelge 3.4’te verilmektedir.

Çizelge 3. 4 Tek ve çift kanallı torç için ozon ve Cr(VI) sonuçları [73]

Geleneksel torç (tek kanal)			Modifiyeli torç (çift kanal)			
Koruyucu gaz	O ₃ (p.p.m.)	Cr(VI) (%)	Ana koruyucu gaz	İkincil koruyucu gaz	O ₃ (p.p.m.)	Cr(VI) (%)
Ar	1,32	0,61	Argoshield 5	Ar	1,10	0,64
Argoshield 5	0,95	0,57	Argoshield 5	-	0,83	0,58
MISON	0,39	0,18	Argoshield 5	MISON	0,05	0,35
Ar+C ₂ H ₄	0,69	0,38	Argoshield 5	Ar+C ₂ H ₄	0,11	0,37
Helishield 1	0,57	0,45				
Helishield 101	0,68	0,51				

Elde edilen sonuçlara göre MISON gazının çift kanallı torç ile birlikte kullanımı çok daha etkili olmuştur. Benzer bir sonuç Ar+C₂H₄ gazının kullanımı için de geçerli olmaktadır. Çift kanallı torçta ikincil gaza indirgeyici ajanların (NO ve C₂H₄) katılması, geleneksel torca göre ozon konsantrasyonunun azaltılmasında avantajlar sergilemişken, aynı etki Cr(VI)’nın azaltılmasında gözlemlenmemiştir.

Killing [74], alüminyumun MIG kaynağında birbirinden bağımsız eşeksenli akan iki koruyucu gazlı çift nozül sistemi kullanarak deneyler yapmıştır. Deneyler çalışma karakteristiklerinin görsel ve işitsel kanıtları, akım ve gerilim ölçümleri ve makro kesitlerin incelenmesiyle değerlendirilmiştir. Çift kanallı torçta dış nozülün iç çapı 17mm, iç nozülün çapı 8mm'dir (şekil 3.33).



Şekil 3. 33 Alüminyumun MIG kaynağında kullanılan çift kanallı torç [74]

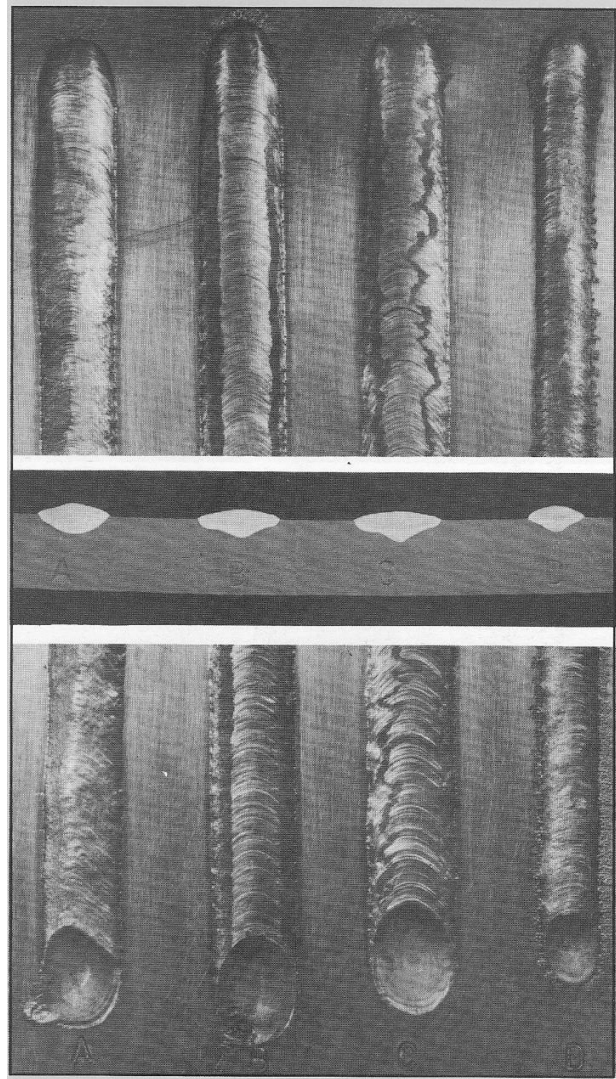
Karşılaştırma amacıyla, saf Ar ve He ile testler gerçekleştirilmiş ve bunun için iç nozül çıkartılarak ilgili giriş bağlanmıştır. Ön ısıtma olmadan 20mm kalınlığa sahip AlMg3 plakalar üzerinde kaynaklar gerçekleştirilmiştir ve kullanılan elektrot 1,6 mm çaplı S-AlMg3'dür. Koruyucu gaz kompozisyonunun ve kaynak hızının etkisi ile ilgili çalışma parametreleri ve dikişlerin geometrisi ile bilgiler sırasıyla, çizelge 3.5 ve 3.6'da verilmiştir. Koruyucu gaz kompozisyonunun dikişe olan etkisi şekil 3.34'te, kaynak hızının dikişe olan etkisi ise şekil 3.35'de görülmektedir.

Çizelge 3. 5 İki bağımsız ve eşeksenli gaz akışlı torç ile alüminyumun MIG kaynağı parametreleri: koruyucu gaz kompozisyonunun etkisi [74]

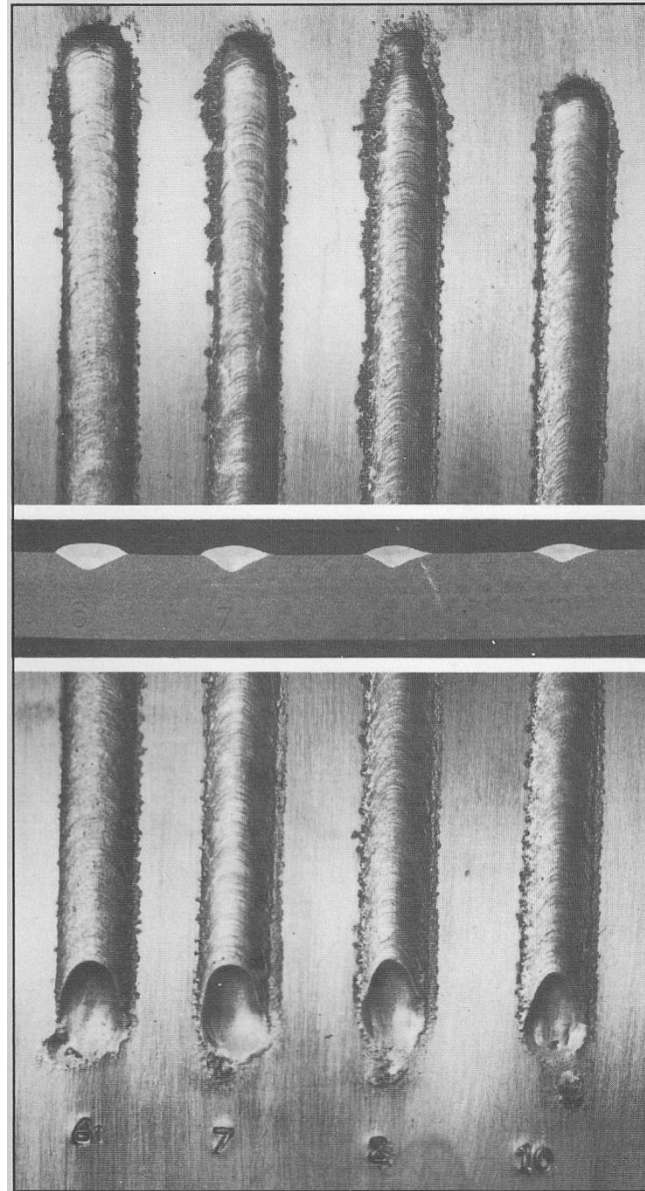
Test	Koruyucu gaz		Akım (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak hızı (cm/dk)	Kaynak dikiş geometrisi		Dikiş yüksekliği (mm)	Dikiş yükseklik alanı (mm ²)	Dikiş genişliği (mm)
	İç (lt/dk)	Dış (lt/dk)				Nüfuziyet derinliği (mm)	Nüfuziyet alanı (mm ²)			
A	He/15	Ar/15	270	32,5	40	5,1	61,67	3,2	40,25	18,5
B	He/25	Ar/15	270	35	40	5,0	62,57	2,7	39,77	20,5
C	-	He/70	265	38	40	6,0	72,72	2,6	37,61	21,6
D	-	Ar/20	270	28	40	3,6	27,10	3,3	34,18	13,9

Çizelge 3. 6 İki bağımsız ve eşeksenli gaz akışlı torç ile alüminyumun MIG kaynağı parametreleri: kaynak hızının etkisi [74]

Test	Koruyucu gaz		Akım (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak hızı (cm/dk)	Kaynak dikiş geometrisi		Dikiş yüksekliği (mm)	Dikiş yükseklik alanı (mm ²)	Dikiş genişliği (mm)
	İç (lt/dk)	Dış (lt/dk)				Nüfuziyet derinliği (mm)	Nüfuziyet alanı (mm ²)			
A	He/15	Ar/15	270	32,5	40	5,1	61,67	3,2	40,25	18,5
6	He/15	Ar/15	273	32,2	60	4,1	35,92	2,4	30,05	16,1
7	He/15	Ar/15	277	32	70	4,0	31,40	2,2	24,28	15,9
8	He/15	Ar/15	273	32,2	80	3,0	22,55	1,9	19,42	14,9
10	He/15	Ar/15	273	32,2	100	2,9	19,53	1,8	16,50	14,3
D	-	Ar/20	270	28	40	3,6	27,10	3,3	34,18	13,9



Şekil 3. 34 Koruyucu gaz kompozisyonunun dikişe olan etkisi [74]

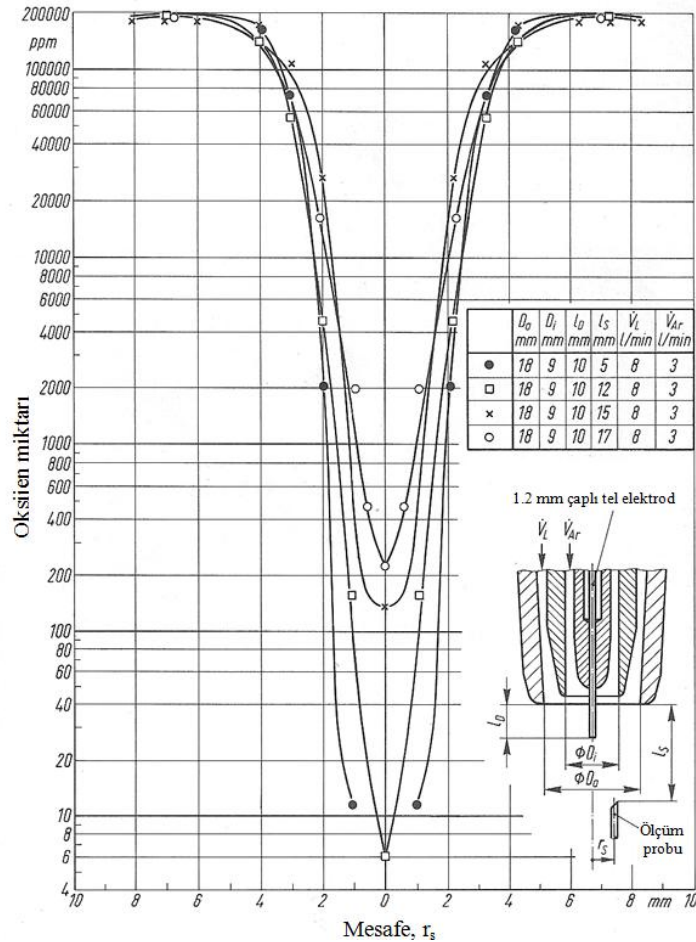


Şekil 3. 35 Kaynak hızının dikişe olan etkisi [74]

Deney sonuçlarına göre, çift nozül sisteminin iç nozülünde göreceli olarak az He kullanımıyla, aynı kaynak hızı için daha derin ve geniş penetrasyon elde edilebileceği veya aynı penetrasyon alanı için kaynak hızının önemli ölçüde artacağı görülmüştür.

Benzer bir çalışma yapan Böhme ve Heuser [75] ise iki ayrı kanaldan beslenen koruyucu gazlı (argon, CO₂) gazaltı kaynağını, kaynak prosesinin stabilitesi, metal transferi, ısı transfer davranışı ve geleneksel karışım gaz kaynağına kıyasla kaynak bağlantılarının kalitesi açısından incelemişlerdir. Çift nozüllü torç ile değişik çaplarda nozüller (dış nozülün iç çapı: 15, 18, 21 mm ve iç nozülün iç çapı: 8 ve 9 mm) kullanmışlardır. İç kanaldaki soygazın stabilitesini belirlemek için oksijen seviyesi ölçüm cihazı ile ölçümler

gerçekleştirilmiştir. Metrolojik sebeplerden ötürü dış kanaldan beslenen karbondioksit gazı yerine hava gönderilmiştir. Şekil 3.36, iç kanaldan koruyucu gaz akışında hem yatay hem de dikey durumda çeşitli mesafelerdeki oksijen miktarlarını göstermektedir. Beklendiği üzere oksijen miktarı, argon koruyucu gaz akışında nozül merkezinde en düşük seviyededir.

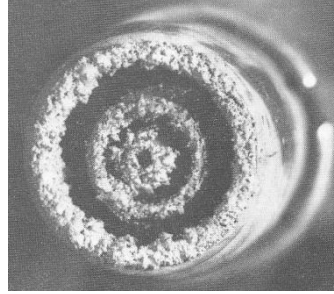


Şekil 3. 36 Gaz çıkış düzleminde yatay ve dikey mesafenin fonksiyonu olarak iç gaz akışındaki (argon) oksijen miktarı [75]

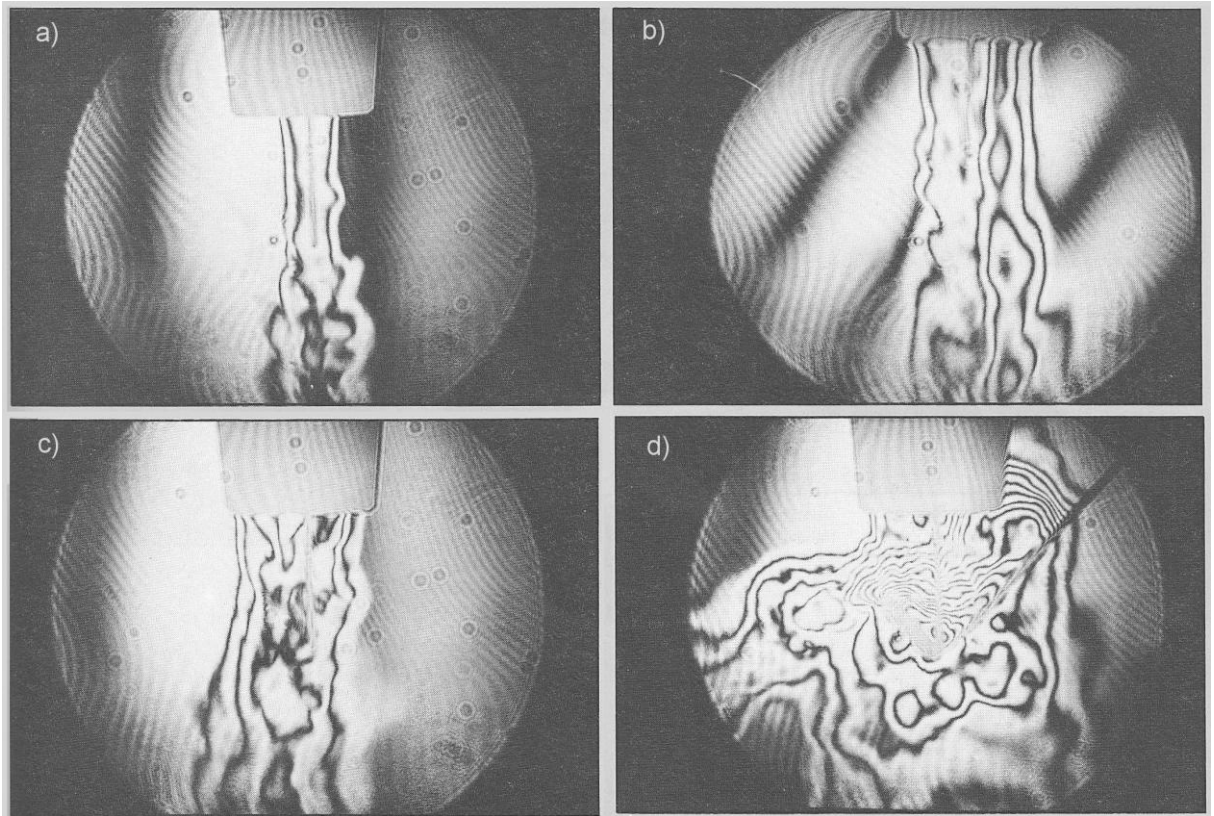
İç ve dış kanaldan gönderilen üç farklı kantitatif Ar ve CO₂ oranı ile, iç kanaldaki argon akışında ve sabit bir dikey mesafeden yapılan ölçümlerde oksijen miktarlarının hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Kaynak sırasında hem iç hem de dış nozülde sıçramaların birikmesinin, koruyucu gaz akışlarının stabilitesi açısından kritik bir öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir. Torç kirli olduğunda ve nozüllerde sıçramalar biriktiğinde koruyucu gazlar girdap şeklinde akmaktadır. Şekil 3.37'de nozülleri sıçramalarla dolu çift kanallı torç görülmektedir. Yapılan oksijen miktarı ölçümlerinde, nozüllerde sıçramalar biriktiğinde nozülün merkezinde ölçülen oksijen miktarının %0,5 olduğu ve

bu değerin, temiz torcun nozülünde ölçülen değere (5 ppm) kıyasla 1000 kat fazla olduğu not edilmiştir.

Çift kanallı torcun iç ve dış nozülünden farklı debilerdeki koruyucu gaz akışının holografik görüntüleri şekil 3.38’de verilmiştir.



Şekil 3. 37 İç ve dış nozülleri kaynak sıçramaları ile kirlenmiş çift kanallı torç [75]



Şekil 3. 38 İç ve dış kanaldan gönderilen koruyucu gazlara ait holografik fotoğraflar: a) sadece iç nozülden 5lt/dk’lık CO₂ akışı, b) iç kanaldan 4lt/dk ile Ar ve dış kanaldan 9lt/dk ile CO₂ akışı, c) sadece dış nozülden 10lt/dk ile CO₂ akışı, d) köşe kaynağına çarpan gaz akışları: iç kanaldan 4lt/dk’lık Ar ve dış kanaldan 14lt/dk’lık CO₂ [75]

Şekil 3.38 incelendiğinde sadece iç nozülden 5lt/dk’lık gaz akışında hafif türbülanslı bir akış olduğu görülmektedir. Sadece dış kanaldan gaz akışı durumunda ise, iç nozüle göre daha büyük çap nedeniyle daha büyük sürtünme yüzeyleri oluşmakta ve bu da istikrarlı

bir akış sağlanamamasına neden olmaktadır. Ayrıca nozül yüzeylerinin farklı koniklik eğimleri de buna neden olabilmektedir. Hem iç hem de dış kanaldan koruyucu gaz akışı durumunda ise daha az türbülanslı bir akış gözlemlenmektedir. İç ve dış kanallardan eşit hacimsel debide bir akış durumunda ise hemen hemen laminar bir akış göze çarpmaktadır. Koruyucu gazlar eğimli bir yüzeye veya köşe kaynak parçasına çarptığında yine türbülans meydana gelmektedir.

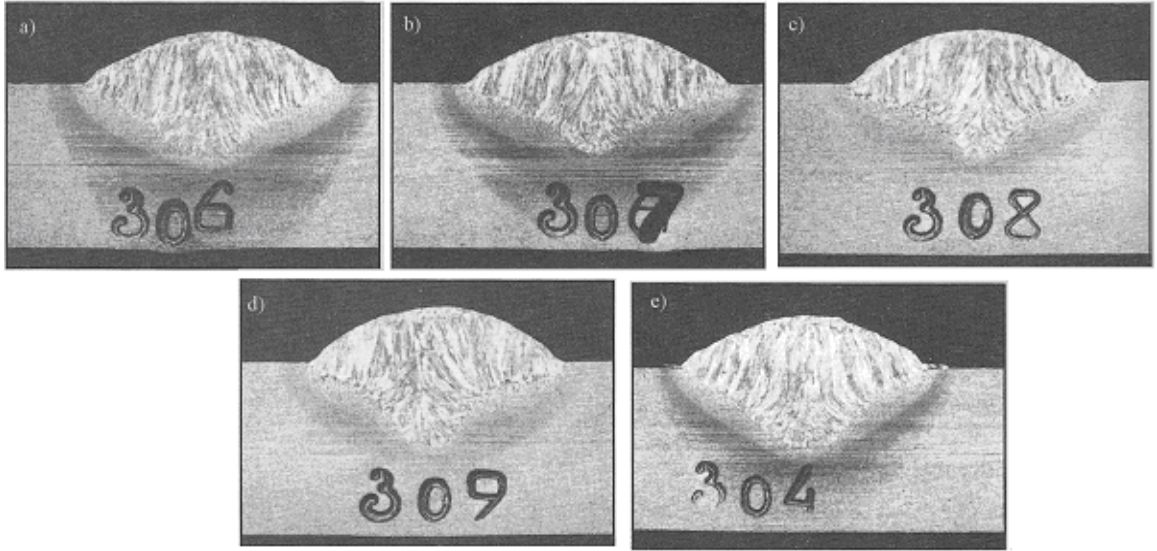
Yapılan deneylerin sonucunda koruyucu gaz tipinin arka ve maksimum kaynak hızına olan etkisine ait değerler çizelge 3.7 ve çizelge 3.8’de verilmektedir. Kaynak dikişlerine ait makro fotoğraflar ise şekil 3.39 ve şekil 3.40’da verilmektedir.

Çizelge 3. 7 Ark tipi üzerine koruyucu gazın etkisi [75]

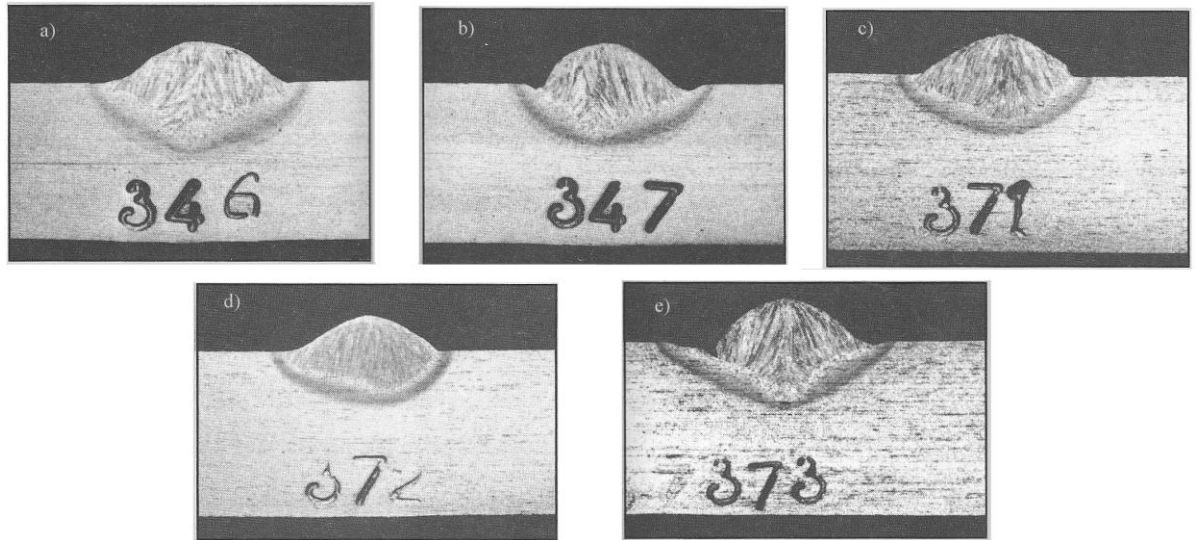
Kaynak akımı (A)	Kaynak gerilimi (V)	Ar miktarı (lt/dk)	CO ₂ miktarı (lt/dk)	Argon oranı (%)	Ark tipi
240	27,5	3,5	8,5	29,2	Sprey
245	27,5	3	9	25	Transfer/sprey
250	27,5	2,5	9,5	20,8	Transfer
240	28	2	10	16,6	Transfer
233	27,7	-	12	-	Uzun
230	28	2	10	16,6	Transfer
233	28	2,5	9,5	20,8	Transfer/sprey
233	27,8	3	9	25	Transfer
233	28	3,5	8,5	29,1	Sprey
236	27,5	4	8	33,3	Sprey
226	28	4,5	7,5	37,5	Sprey

Çizelge 3. 8 Sprey arkta ulaşılan maksimum kaynak hızları [75]

Kaynak hızı (cm/dk)	Kaynak akımı (A)	Kaynak gerilimi (V)	Kaynak kesiti (mm ²)	Kaynak yüksekliği (mm)	Nüfuziyet derinliği (mm)	Kaynak genişliği (mm)	Koruyucu gaz (lt/dk)
33	246	30,5	49,3	2,6	4,1	12,6	3Ar/9CO ₂
40	250	30,7	39,7	2,4	4,1	11,3	3Ar/9CO ₂
45	248	30,7	36,1	2,5	3,5	11,0	3Ar/9CO ₂
50	248	30,7	32,8	2,4	3,4	9,8	3Ar/9CO ₂
60	250	30,7	24,7	2,1	2,7	8,2	3Ar/9CO ₂
50	254	30,1	33,1	2,4	3,0	10,3	12 (%82Ar+%18CO ₂)
60	254	30,1	27,8	2,3	2,5	8,4	12 (%82Ar+%18CO ₂)
80	254	30,1	21,6	1,9	2,2	8,4	12 (%82Ar+%18CO ₂)
60	256	31,5	29,2	2,6	3,4	8,8	12 (%97,5Ar+%2,5CO ₂)

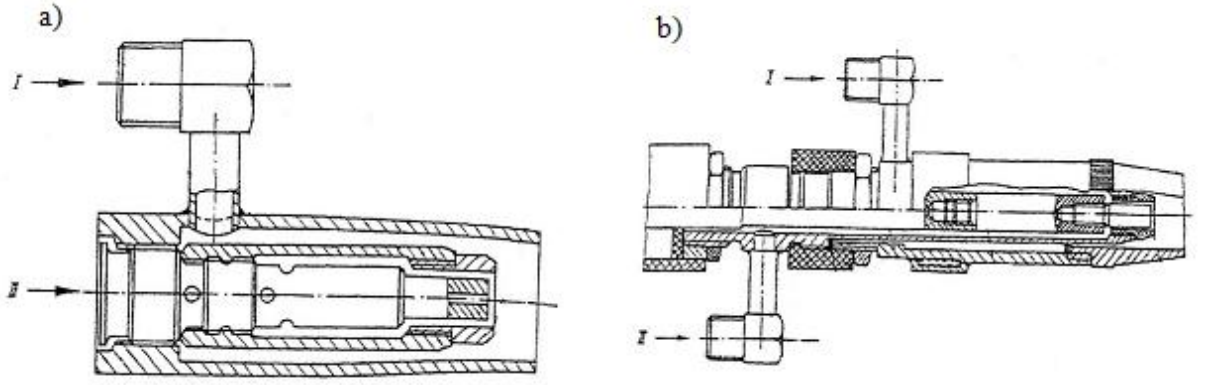


Şekil 3. 39 Koruyucu gazdaki argon oranının nüfuziyet şekline etkisi: a) %20Ar (2,5lt/dk Ar, 9,5lt/dk CO₂), b) %25Ar (3lt/dk Ar, 9 lt/dk CO₂), c) %29Ar (3,5lt/dk Ar, 8,5lt/dk CO₂), d) %33 Ar (4lt/dk Ar, 8 lt/dk CO₂), e) %100 CO₂ [75]



Şekil 3. 40 Kaynak hızının dikiş şekli üzerine etkisi: a) çift kanallı torç - 50 cm/dk, b) çift kanallı torç - 60cm/dk, c) karışım gazı (Ar+%18CO₂) - 60cm/dk, d) karışım gazı (Ar+%18CO₂) - 80cm/dk, e) karışım gazı (Ar+%2,5CO₂) - 60cm/dk [75]

Hartung [76] da yaptığı çift kanallı torç ile gazaltı kaynağı araştırmasında otomasyona ve elle kullanılma yönelik çift kanallı torç tasarımları vermiştir (şekil 3.41). Araştırmacı çift gazlı yöntem için, kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı ile elektrot çapı ve serbest elektrot ucu mesafesi, gaz memesinin iş parçasından olan mesafesi ve gaz memesinin biçimi ile iç ve dış gaz oranları ve gaz akış hızlarının önemli parametreler olduğunu belirtmiştir.



Şekil 3. 41 Çift gazlı üfleç tasarımları: a) El üfleci (I-dış gaz, II-iç gaz), b) Makine üfleci (I-CO₂, II-Ar) [76]

Deneylerde kullanılan elektrot malzemesi 10MnSi6 tipi tel elektrottur ve 0,8 ila 1,6 mm arasındaki çaplar denenmiştir. Bu denemeler sonucunda az sıçrama yaratan bazı değerler çizelge 3.9’da verilmektedir.

Çizelge 3. 9 Az sıçramalı çift gazlı kaynak için teknolojik standartlar [76]

Elektrot çapı (mm)	I _s (A)	U _s (V)	φ _s (cm/dk)	Q _{CO2} (lt/dk)	Q _{Ar} (lt/dk)
1,6	300-320	32-34	40-50	10	2,5-5
1,2	290-300	32-34	40-50	10	2,5-5
1,0	230-300	32-34	40-50	7	2,5-4
0,8	90	21	50-60	5	2,5

Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlara göre malzeme akışı ve kaynak formu saf argon gazı altında yapılan MIG kaynağına benzer olmaktadır. Kritik kaynak akımının üzerinde sıçramasız ve düzgün malzeme akışı, 1,0 ile 1,6 mm çapındaki elektrotlarla ve daha yüksek ark gerilimi ve ark uzunluğuyla elde edilmektedir. Gerekli yüksek kaynak geriliminin neden olduğu uzun argon arkı, kaynak dikişinin geniş ve nüfuziyet derinliğinin daha az olmasına (yaklaşık 4 mm) sebebiyet vermektedir. Eğer dış kanaldaki gaz CO₂+O₂ ve iç kanaldaki gaz Ar+CO₂ karışımları olarak seçilirse, iç gazı oluşturan karışım argon arkının uzunluğunu bir miktar düşürecektir ve arkın sapma meyili azaltılmış olacaktır. Ayrıca bu şekilde bir miktar argon tasarrufu daha yapılmış olacaktır. Kısa bir argon arkı ile hem kaynak formu iyileştirilmiş hem de nüfuziyet derinliği bir miktar daha artmış olmaktadır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Deney Düzeneğinin Oluşturulması ve Ön Hazırlıklar

Deneyisel çalışma kapsamında öncelikle deney düzeneği oluşturulması ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. Bu bağlamda öncelikle çift kanallı torç tasarımına gidilmiş ve bu torcun imalini gerçekleştirecek olan Sekon Kaynak Elemanları ve San. Tic. Ltd. Şti. ile birlikte tasarımda bazı ufak değişiklikler yapılmış ve su soğutmalı olan çift kanallı nozulun iç ve dış nozulundaki çaplar, Killing'in [74] çalışmasındaki iç ve dış nozul çapları baz alınarak imal edilmiştir (şekil 4.1); torcun toplanmış ve kablolanmış hali şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4. 1 Çift kanallı gazaltı kaynak torcu



Şekil 4. 2 Toplanmış ve kablolanmış çift kanallı gazaltı kaynak torcu

Torcun imal ettirilmesinden sonra geleneksel gazaltı kaynağının yanında çift kanallı torçta iç ve/veya dış kanaldan karışım gazı da gönderebilmek amacıyla 29-06-01-04 nolu Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamında her biri 3 farklı gaz karışımı ($\text{Ar-CO}_2\text{-N}_2$ ve Ar-He-O_2) gerçekleştirebilen 2 adet gaz karışım cihazı (şekil 4.3) Almanya'daki WITT firmasından temin edilmiştir.



Şekil 4. 3 $\text{Ar-CO}_2\text{-N}_2$ gaz karışım cihazı

TS EN 1597-1 [77] standardına göre V-alın kaynaklarında kullanılmak üzere 20 mm x 125 mm x 600 mm ebatlarında 24 adet S235JR düşük karbonlu çelik malzeme ile 8 mm x 32 mm x 600 mm ebatlarında 12 adet S235JR altlık da temin edilmiştir. Ayrıca T-köşe kaynak deneylerinde kullanılmak üzere 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığında 50'şer adet 100 mm x 200 mm ile 200 mm x 200 mm ebatlarında S235JR düşük karbonlu çelik ve düşük karbonlu ostenitik paslanmaz çelik malzeme X2CrNi 18 9 temin edilmiştir. Bu malzemelerin kimyasal bileşim değerleri Hilger Analytical Optik Emisyon Spektrometre cihazı (şekil 4.4) ile analiz edilmiş olup, elde edilen veriler S235JR malzeme için çizelge 4.1'de, X2CrNi 18 9 malzeme için de çizelge 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4. 4 Hilger Analytical Optik Emisyon Spektrometre Cihazı

Çizelge 4. 1 20 mm, 6 mm, 8mm ve 10 mm kalınlığındaki S235JR malzemenin kimyasal bileşimi (% ağı.)

Malzeme	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Al	%Fe
S235JR (20 mm)	0,130	0,720	0,207	0,021	0,033	0,015	-	98,97
S235JR (6 mm)	0,060	0,550	0,140	0,013	0,022	0,050	0,034	99,07
S235JR (8 mm)	0,077	0,689	0,137	0,011	0,006	0,007	0,040	99,03
S235JR (10 mm)	0,094	0,729	0,191	0,016	0,004	0,017	0,048	98,87

Çizelge 4. 2 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığındaki X2CrNi 18 9 malzemenin kimyasal bileşimi (% ağı.)

Malzeme	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%P	%S	%Cu	%Co	%Fe
X2CrNi189 (6 mm)	0,008	1,45	0,379	18,52	8,93	0,118	0,024	0,011	0,117	0,038	69,9
X2CrNi189 (8 mm)	0,002	1,36	0,231	18,26	8,59	0,367	0,033	0,011	0,332	0,184	70,2
X2CrNi189 (10 mm)	0,024	1,42	0,425	18,11	8,59	0,402	0,038	0,008	0,381	0,166	70

20 mm x 125 mm x 600 mm ebatlarında 24 adet S235JR düşük karbonlu çelik malzemelere İlhan Makina firmasında TS EN 1597-1 [77] standardına göre 10°'lik kaynak ağzı açtırılmıştır; oksijenle kesilmiş olan diğer S235JR malzemeler de taşlanarak çapak ve cürüflardan arındırılmıştır. X2CrNi 18 9 paslanmaz malzemeler ise giyotin makasta kesildiklerinden ve bu nedenle şekilsel bozukluklara sahip olduklarından dolayı, Özkoç Pres firmasında 300 tonluk hidrolik preste düzeltme işlemine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmada kullanılmak üzere %35 devrede kalmada 400A ve %60 devrede kalmada ise 350A verebilen, Lincoln Electric Avrupa'dan getirtilen Lincoln Electric Powerwave 405M model inverter tabanlı, sinerjik kontrollü, darbeli akım

üretebilen ve su soğutmalı kaynak makinası ve LF45 tel sürme ünitesi (şekil 4.5) ile Moggy marka torç hareket ettirici elektrikli araba (şekil 4.6) ve deneylerde kullanılmak üzere, 1,2 mm çapa sahip masif tel elektrot, metal özlü tel elektrot, paslanmaz masif tel elektrot ve paslanmaz rutil özlü tel elektrot Kaynak Tekniği (Askaynak) firması tarafından sağlanmıştır.



Şekil 4. 5 Lincoln Electric Powerwave 405M kaynak makinası ve LF45 tel sürme ünitesi



Şekil 4. 6 Moggy marka torç hareket ettirici elektrikli araba

Genel yapı çeliklerinin kaynağında kullanılan masif ve metal özlü kaynak tellerine ait kimyasal bileşim değerleri çizelge 4.3'te verilmektedir. Ostenitik CrNi paslanmaz çeliklerinin kaynağında kullanılan paslanmaz masif ve paslanmaz rutil özlü kaynak tellerine ait kimyasal bileşim ise çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4. 3 Genel yapı çeliklerinin kaynağında kullanılan 1,2 mm çaplı masif [78] ve metal özlü [79] kaynak tellerine ait kimyasal bileşim (% ağı.)

Kaynak Teli	%C	%Mn	%Si	%P	%S
Masif tel ¹	0,08	1,50	0,85	-	-
Metal özlü tel ²	0,05	1,50	0,65	< 0,01	< 0,02

Çizelge 4. 4 CrNi ostenitik paslanmaz çeliklerinin kaynağında kullanılan 1,2 mm çaplı paslanmaz masif [80] ve paslanmaz rutil özlü [81] kaynak tellerine ait kimyasal bileşim (% ağı.)

Kaynak Teli	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	% P+S
Paslanmaz masif tel ³	< 0,03	1,7	0,85	20	10	0,15	< 0,035
Paslanmaz rutil özlü tel ⁴	0,03	1,2	0,6	23,3	12,6	-	-

Ayrıca Linde firması aracılığıyla Ar, CO₂, O₂, He, H₂ ve N₂ koruyucu gaz tüpleri ve bu gazlara uygun manometreli basınç düşürücüler de aynı firma tarafından sağlanmıştır. Ancak deneylerde koruyucu gaz oranları debi cinsinden ayarlanacağından, O₂, He, H₂ ve N₂ tüpleri için manometreli basınç düşürücülerde standart olan basınç ayarını debi cinsinden ayarlama gereği doğmuştur; bu nedenle standart basınç düşürücüler Güneş Gaz Armatürleri firmasında modifiye edilmiş ve tüp çıkışındaki basınç sabitlenerek çıkış debisi ayarlanabilir hale getirilmiştir (şekil 4.7).



Şekil 4. 7 Çıkış debisi ayarlanabilir, manometreli basınç düşürücü

Geleneksel karışım gazı ile gazaltı kaynağında ve çift kanallı gaz beslemesi ile gazaltı kaynağında koruyucu gazların beslenme debileri büyük önem arz ettiğinden, hem gaz

¹ Askaynak SG2 masif tel (TS EN ISO 14341: G 42 3 CM G3Si1) [82]

² Starweld MCW-7100 metal özlü tel (TS EN ISO 17632: T 42 3 M M H8) [83]

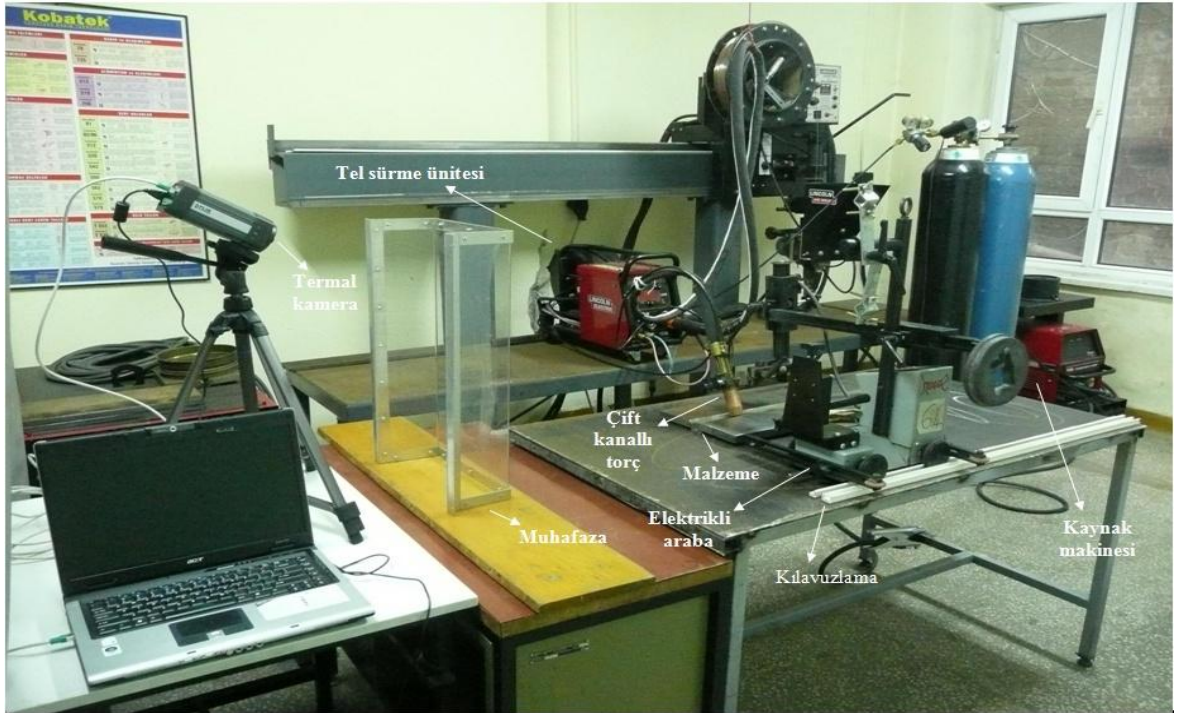
³ Kobatek 308LSi paslanmaz masif tel (EN 12072: G 19 9 LSi) [84]

⁴ Lincoln Electric Cor-A-Rosta P309L paslanmaz rutil özlü tel (ISO 17633-A: T 23 12 L P C/M 2) [85]

karışım cihazı hem de çift kanallı torçta bağımsız şekilde beslenen gazların giriş-çıkış debi ve basınçlarının ölçülmesi amaçlanmıştır. Üreticinin verdiği bilgilere göre Witt marka gaz karışım cihazına bağlanan gazların giriş basıncının minimum 4 bar, maksimum da 13 bar olması ve iki gazın basınç farkının 3 bar'ı geçmemesi gerekmektedir. Öncelikle, gaz karışım cihazına gelen gazların yeterli basınçta olup olmadığı kontrol edilmek istenmiştir. Hem tüp çıkışındaki basıncı 4,5 bara ayarlı olan standart basınç düşürücülerle hem de tüp çıkışındaki basınç ayarı 7 bara ayarlı olan basınç düşürücülerle yapılan ölçümlerde, gaz karışım cihazına giren basınç miktarının yeterli olduğu ve elde edilen debi ölçümlerinin aynı olduğu görülmüştür. Böylece standart ve modifiye edilmiş basınç düşürücülerin deneylerde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Deneylerde, tüpe bağlı basınç düşürücünün veya gaz karışım cihazının debimetresinin gösterdiği değer yerine, torç ucundan çıkan gaz miktarı temel alınacağından, basınç düşürücüler üstündeki akış debisi ölçerden veya gaz karışım cihazı üzerinde ayarlanan debi değerinin, torç ucundan aynı değerde gelip gelmediği de kontrol edilmiştir. Bu ölçümlerin ve gaz kaçağı kontrollerinin sonucunda, gaz karışım cihazının sisteme bağlı olmadığı durumda, kaynak makinesinin tel besleme ünitesi üzerindeki torç bağlantı noktasına kadar gaz çıkışında herhangi bir kaybın olmadığı görülmüştür. Torcun bağlı olduğu durumda ise, 15 lt/dk'ya ayarlanan gaz debisi, Abicor Binzel marka kuru hava debi ölçer ile torç ucunda 12,5 lt/dk olarak okunmuştur. Gaz karışım cihazının sisteme bağlı olduğu fakat torcun bağlanmadığı durumda, 15 lt/dk'lık ayar için kaynak makinesinin tel sürme ünitesinin çıkışındaki gaz debisinin 12,5 lt/dk olarak okunduğu görülmüştür. Hem gaz karışım cihazının hem de torcun bağlı olduğu durumda, 15 lt/dk'lık ayar için okunan değer 10 lt/dk olmuştur. Çift kanal beslemeli torçta, dış nozulun takılı olması veya olmaması, okunan değerlerde herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Bahsedilen bu kayıplar nedeniyle, torç çıkışında elde edilmek istenen debi değeri, gaz karışım cihazı ve/veya koruyucu gaz tüpüne bağlı basınç düşürücülerde ayarlanmamış; bunun yerine torç çıkış debisi temel alınarak gaz karışım cihazında ve/veya koruyucu gaz tüpüne bağlı basınç düşürücüde ayarlanması gereken değerler herbir koruyucu gaz debisi ile bunların kombinasyonları için not edilmiştir. Bunu gerçekleştirmek için, normalde Ar/CO₂ karışımları için kalibre edilmiş olan torç ucuna takılan debi ölçerde okunan debi değerlerinin, TS EN ISO 2503'deki [86]

düzeltilme katsayısı ile saf helyum gibi diğer koruyucu gazlara da uyarlanması gerekmiştir. Piyasada hazır olarak argon-helyum karışımının debisini gösterebilecek debi ölçer bulunmadığından, bu gazlar kullanıldığında, moleküler ağırlıkları ile düzeltilme katsayıları birlikte göz önünde bulundurularak debi ölçerde okunması ve bunun sonucu olarak ayarlanması gereken debi miktarları bulunmuştur.

Deneyler esnasında kaynak metalinin ve ITAB'ın sıcaklık değerlerini okumak ve kaydetmek için $\pm 2^{\circ}\text{C}$ hassasiyete ve 1200°C 'a kadar ölçüm kapasitesine sahip FLIR A320 termal kamera kullanılmıştır. Çok pasolu kaynak uygulamalarında pasolar arası sıcaklığın sabit bir değerde tutulması için de $-25^{\circ}\text{C} \sim +1200^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ölçüm aralığına ve $\pm 1^{\circ}\text{C}$ hassasiyete sahip TIME TI213EL kızılötesi lazerli sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Şekil 4.8'de genel haliyle deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 4. 8 Deney düzeneği genel görünümü

Deney numuneleri ısı ve suya dayanıklı kalemle işaretlenmiş ve hangi yöntem ve koruyucu gaz oranlarıyla kaynak edileceklerini belirtmek için kodlanmışlardır. Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ şeklindeki bir kodlama, kaynak işleminin 1 no'lu düşük karbonlu çelik (S235JR) malzemeden numunede, masif tel (SG2) kullanılarak çift kanallı gazaltı kaynak yöntemi ile iç kanaldan 7,5 lt/dk Ar, dış kanaldan ise 7,5 lt/dk CO₂ koruyucu gaz beslemesi ile gerçekleştirileceğini ifade etmektedir. Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ (veya

kısaca Ç2-%50Ar-%50CO₂) şeklindeki bir kodlama ise, kaynak işleminin 2 no’lu düşük karbonlu çelik (S235JR) malzemeden numunede, masif tel kullanılarak geleneksel karışım gazı yöntemiyle %50Ar-%50CO₂ karışım gazı beslemesi ile gerçekleştirileceğini ifade etmektedir. Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-MCW şeklindeki kodlamada, kodun sonuna gelen MCW ifadesi, masif tel yerine ‘metal özlü tel’ kullanılacağını belirtmektedir.

T-köşe kaynak numunelerinin açılmal çarpılmalarının ölçümü için 0,01 mm hassasiyete ve 0-25 mm stroka sahip 3 adet komperatörden oluşan daha küçük ebatlarda bir açılmal çarpılma ölçüm fikstürü imal edilmiştir (şekil 4.9). 100 mm x 200 mm’lik dikme ve 200 mm x 200 mm’lik flanştan oluşan puntalanmış olan çift taraflı T-köşe kaynak numunelerinin kaynağını kolaylaştırmak ve oluk pozisyonunda kaynak edilmelerini sağlamak için Y şekilli bir T-köşe kaynak fikstüründen yararlanılmıştır (şekil 4.10).



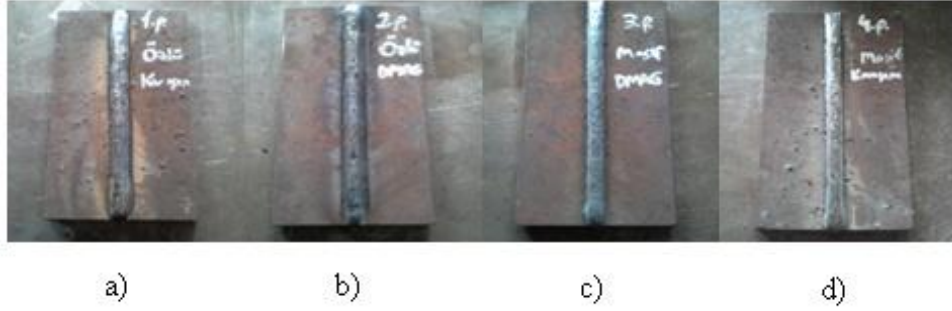
Şekil 4. 9 T-köşe kaynaklı numunelerin açılmal çarpılma ölçüm fikstürü



Şekil 4. 10 T-köşe numunelerin kaynağında kullanılacak olan Y şekilli fikstür

4.2 Ön Deneme Kaynakları, Yapılan Düzeltmeler ve Ön Ölçümler

Öncelikle kaynak makinasının karakteristiklerini sınamak ve parametre saptanması amacı ile plaka üstü dikiş şeklinde bazı deneme kaynakları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 8 mm kalınlığa sahip S235JR malzeme üzerinde masif ve metal özlü telle hem geleneksel karışım gazı (%50Ar-%50CO₂) ile hem de çift kanallı gaz yönlendirmesi (7,5 lt/dk Ar iç, 7,5 lt/dk CO₂ dış) ile 11,4 m/dk tel besleme hızı ve 36 cm/dk kaynak hızı ayarında tek pasolu kaynak dikişleri çekilmiştir (şekil 4.11). Elde edilen kaynak dikişleri, yükseklik, genişlik ve dikiş düzgünlüğü açısından makro olarak incelenmiştir. Ayrıca torç nozulunda ve numuneler üzerinde biriken çapak miktarları da incelenmiştir. Daha sonra da çok pasolu uygulama ile 20 mm kalınlığa sahip, kaynak ağzı açılmış ve altlığa sahip S235JR malzemeden ön deneme parçalarının kaynağına geçilmiştir (şekil 4.12).



Şekil 4. 11 Masif ve özlü telle çift kanallı ve geleneksel torçla gerçekleştirilen tek pasolu ön deneme kaynakları. a) Özlü tel ve geleneksel torç, b) Özlü tel ve çift kanallı torç, c) Masif tel ve çift kanallı torç, d) Masif tel ve geleneksel torç



Şekil 4. 12 V- kaynak ağzına ve 20 mm kalınlığa sahip çift kanallı torç ve SG2 kaynak teli ile kaynak edilmiş ön deneme parçası (iç nozul: 9lt/dk Ar, dış nozul: 6lt/dk CO₂)

Deneme numunelerinin kaynağında gerek dikişlerin düzgün bir hat boyunca ilerlemesi gerekse de kalitesi bakımından tatminkar sonuç eldesi için uygulamalar yapılmıştır. İmal ettirilmiş olan çelik çalışma masasındaki 2 mm'lik sacın çok pasolu kaynaklar sonrasındaki ısınma sebebiyle bombe yapması, elektrikli torç yürütme arabasına bağlı

olan torç ile torç kablolarının ağır olması ve ebat olarak büyük olan çift kanallı gazaltı kaynak torcunun 10°'lik kaynak ağzında ana malzemeye yeteri kadar yaklaşamaması ve bu yüzden serbest tel boyunun uzatılmak zorunda kalınmasının, ön denemelerde tatminkar sonuç alınamamasının sebepleri olduğu düşünülmüştür. Bu olumsuzlukları düzeltmek adına deney düzeneğinde bazı iyileştirmelere gidilmiştir. Bunlardan birincisi çelik çalışma masasının daha kalın bir saca yenilenmesi olmuştur. İkinci olarak, torç ve torç kablolarının ağırlığı nedeniyle, elektrikli arabanın yerinden kalkmasının önlenmesi için torç kabloları, kaynak esnasında elektrikli arabanın hareketini engellemeyecek serbestiye sahip şekilde tavana sabitlenmiştir; ayrıca bahse konu bu ağırlığın, elektrikli arabanın yolunu saptırmaması için elektrikli arabanın sol tekerlerinin olduğu yere kılavuzlama yapılmıştır. Üçüncü olarak, V-alın kaynağı deney numunelerinin kaynak ağzı açıları 10°'den 30°'ye çıkartılmıştır (şekil 4.13). Son olarak da çelikten imal edilmiş olan dış nozulun iç yüzeyinin, ön deneyler sırasında sıçrayarak yapışan çapaklara maruz kalması neticesinde, bu durumun ikincil çevresel gaz akışının karakteristiğini bozabileceği riskine karşılık, dış nozulun malzemesinin değiştirilmesine ve ticari bakırdan tekrar imal ettirilmesine karar verilmiştir (şekil 4.14).

Ayrıca deneme numunelerinin altlıkları oniki noktadan malzemelere puntalanmıştır ancak deneme kaynakları esnasında ısıl genleşme nedeniyle bazı puntaların kırıldığı ve kaynak pasosu çekilirken ergimiş metalin altlıktan dışarı fışkırdığı görülmüştür. Bundan ötürü altlıkların birkaç noktadan puntalanmak yerine sürekli dikiş ile malzemelere kaynak edilmesine karar verilmiştir (şekil 4.15).



Şekil 4. 13 30°'lik kaynak ağzına sahip deney numuneleri

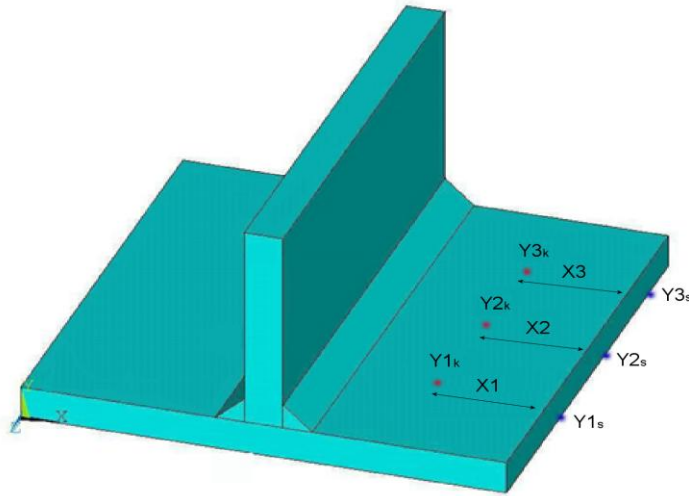


Şekil 4. 14 Çelikten imal edilmiş eski dış nozul (solda) ve bakırdan imal edilen yeni dış nozul (sağda)

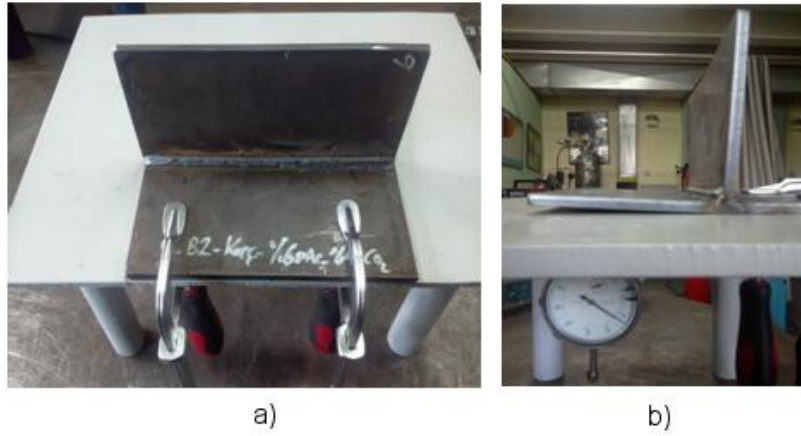


Şekil 4. 15 Sürekli dikiş ile kaynak edilmiş altlık

Çift taraflı T-köşe numunelerinin kaynak öncesi açısal çarpılmalarının ölçümünde, 3 adet komperatör, bu bölgede kendini çekme gerilmelerinin meydana getirdiği eğrisellik olmayacağı için, çift taraflı T-köşe kaynak numunesinin 100 mm x 200 mm ebatlara sahip flanş parçasının eninin 2/3'lük kısmına denk gelecek şekilde ve birbirlerinden eşit mesafede olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 4.16'da T-köşe kaynak numunesi üzerindeki ölçüm noktaları (Y_{1k} , Y_{2k} , Y_{3k}) şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 4.17'de ise açısal çarpılma ölçüm fikstürü ve fikstüre sabitlenmiş numune üstten ve sol yandan görülmektedir.



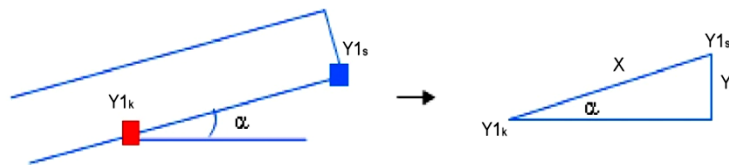
Şekil 4. 16 Çift taraflı T-köşe kaynak numunesi üzerindeki açısal distorsiyon için ölçüm noktaları



Şekil 4. 17 Çift taraflı T-köşe kaynak numunesi için açısız çarpılma fikstürü ve numunenin görünüşü. a) üstten, b) sol yandan

Numune, fikstürün üst yüzeyinin kenarına, önceden belirlenmiş ve işaretlenmiş referans noktalarına hizalanmış ve iki adet mengene ile sonuna kadar sıkıştırılmıştır. Böylece numunenin bir yüzeyi fikstür ile örtülmüş, diğeri yüzeyi ise toplam açısız çarpılmayı verecek şekilde havaya kalkmıştır (şekil 4.17 b). Bu halde iken 3 adet komperatörün gösterdiği değerler okunmuş ve (Y_{1k} , Y_{2k} ve Y_{3k}) noktaları olarak kaydedilmiştir [87]. Bundan sonra ise havaya kalkmış durumda olan en uç kenarın alt yüzeyinin, üç noktaya karşılık gelen yükseklikleri (Y_{1s} , Y_{2s} ve Y_{3s}) kumpas ile okunmuştur. Daha sonra da işkenceler çözülerek numune fikstürden alınmış ve ters çevrilmiştir. Yine kumpas ile komperatör ucunun, açısız çarpılmanın ölçüldüğü tarafta alt yüzeye sıvanmış olan kil üzerinde bırakmış olduğu herbir izin en uç kenara olan mesafeleri (X_1 , X_2 ve X_3) ölçülmüştür. Böylece, komperatörlerin temas ettiği noktadan en uçtaki kenara kadar olan üç noktadaki açısız çarpılma değerleri basit trigonometrik hesaplamayla (4.1) bulunmuştur (şekil 4.18). Daha sonra bu üç adet açısız çarpılma değerinin aritmetik ortalaması alınmış ve kaynak işlemi öncesi ortalama açısız çarpılma değeri elde edilmiştir.

$$\sin \alpha = Y/X \rightarrow \alpha = \arcsin (Y/X) \quad (4.1)$$



Şekil 4. 18 Komperatör ölçüm noktası (Y_{1k}) ve numunenin kenarındaki noktanın (Y_{1s}) ve açısız çarpılma miktarının (α) trigonometrik olarak gösterilmesi

4.3 V-alın Kaynak Numuneleri

4.3.1 V-alın Kaynak Numunelerinin Kaynak Edilmesi

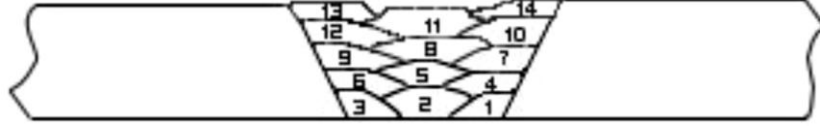
TS EN 1597-1'e [77] göre hazırlanan, ısı ve suya dayanıklı kalemle kodlamaları yapılmış S235JR malzemeden V-kaynak ağzına sahip numuneler, çalışma masası üzerinde belirlenmiş referans noktalarına göre herhangi bir kısıtlama olmaksızın serbest şekilde yerleştirilmişlerdir. Yapılan ön deneylerde mevcut kaynak ağzının 14 pasoda ve 5 sırada doldurulabileceği anlaşılmıştır ve bu paso ve sıra sayısı, deney numunelerinin kaynak işleminde de korunacaktır. Parametre ayarları için ön deneyler ve TS EN ISO 14341 [82] standardı baz alınmış; kaynak makinesi tel besleme hızı, kaynak hızının ve kontakt memesi ile malzeme arası mesafenin sabit tutularak, sırasıyla, 11,4 m/dk, 36 cm/dk ve 22 mm olmasına karar verilmiştir. Deneylerde 1,2 mm çaplı masif tel elektrot ve 1,2 mm çaplı metal özlü tel elektrot kullanılmıştır; her bir kaynak telinin kullanıldığı durum için, koruyucu gaz debisi toplam 15 lt/dk olmak üzere, hem geleneksel karışım yöntemi hem de çift kanallı torç yöntemiyle 3'er farklı koruyucu gaz oranında toplam 6 farklı koruyucu gaz kombinasyonu kullanılmıştır. Bu gaz kombinasyonları, %50 Ar-%50 CO₂ karışımı ve buna karşılık gelen iç kanaldan 7,5 lt/dk Ar ve dış kanaldan 7,5 lt/dk CO₂ beslemesi; %40 Ar-%60 CO₂ karışımı ve buna karşılık gelen iç kanaldan 6 lt/dk Ar ve dış kanaldan 9 lt/dk CO₂ beslemesi; %60 Ar-%40 CO₂ karışımı ve buna karşılık gelen iç kanaldan 9 lt/dk Ar ve dış kanaldan 6 lt/dk CO₂ beslemesidir. Deneylerde kullanılan gaz oranları çizelge 4.5'de topluca verilmektedir.

Çizelge 4. 5 V-alın numunelerin masif ve özlü tel ile kaynak deneylerinde kullanılan koruyucu gaz oranları

<i>Masif Tel</i>	<i>Metal Özlü Tel</i>	<i>Masif Tel</i>	<i>Metal Özlü Tel</i>
Karışım Gazı Yöntemi		DMAG Çift Kanal Yöntemi	
%40 Ar - %60 CO ₂		İç: 6lt/dk Ar ; Dış: 9 lt/dk CO ₂	
%50 Ar - %50 CO ₂		İç: 7,5 lt/dk Ar ; Dış: 7,5 lt/dk CO ₂	
%60 Ar - %40 CO ₂		İç: 9 lt/dk Ar ; Dış: 6 lt/dk CO ₂	

Kaynak torcunun yatay eksenle (x) yaptığı açı, köşeye denk gelen 1., 4., 7. ve 10. pasolarda 104°, diğer köşeye denk gelen 3., 6., 9. ve 12. pasolarda 76°, diğer yerlerde

ise 90° olacaktır. Şekil 4.19’da V- kaynak ağzına sahip numunelerde paso sıra ve sayıları görülmektedir.



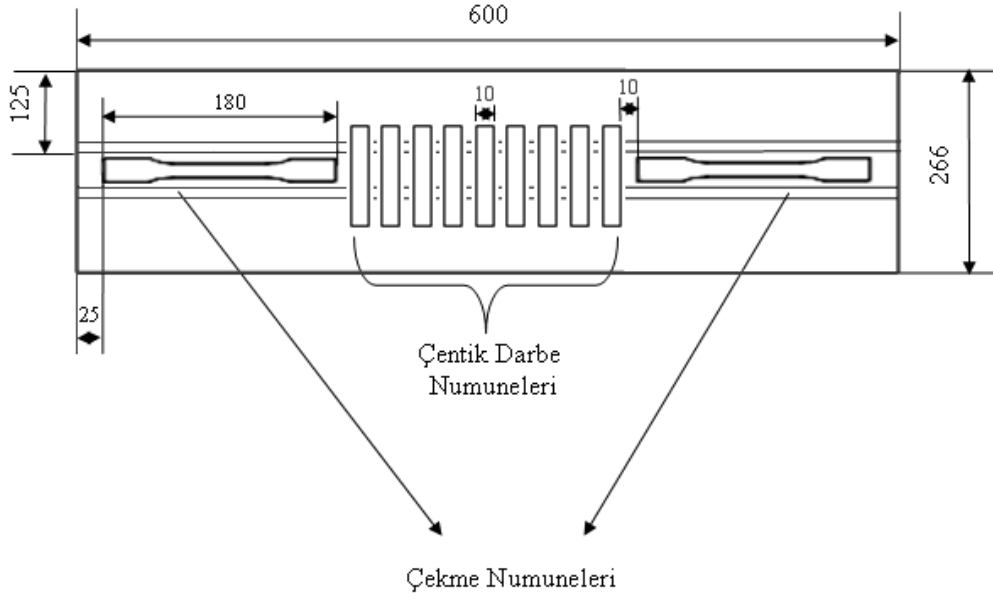
Şekil 4. 19 V- kaynak ağzlı numunelerin paso sıra ve sayıları

TS EN ISO 14341’e [82] göre ara paso sıcaklığı olarak +150°C belirlenmiştir. Kaynak dikişinin sıcaklık kontrolü TIME TI213EL kızılötesi lazerli sıcaklık ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Dikiş soğumaya devam ederken, elektrikli arabanın yerine çekilmesi, kaynak dikişinin fırçalanarak temizlenmesi, bir sonraki paso için torç açısının ve serbest tel boyunun ayarlanması ve gerekliyse torcun nozulunun temizlenmesi gibi hazırlık işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dikiş yaklaşık olarak 150°C’a soğuduğu zaman diğer paso çekilmiştir. Ayrıca 1., 4., 7. ve 10. paslarda FLIR A320 termal kamera ile kayıt alınmış ve ITAB bölgesindeki sıcaklık haritası elde edilmiştir. Her bir paso için kaynak işlemi esnasında kaynak makinesinin tel sürme ünitesi üzerinden okunan akım şiddeti (A) ve ark gerilimi (V) değerleri de verilerin not edilmesi için hazırlanmış forma girilmiştir. Tüm pasolar çekildikten sonra kaynaklı numune oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Kaynaklı parçanın sıcaklığı 100°C’ın altına indikten sonra parça masanın üzerinden alınmıştır; tüm parçaların aynı oda ve masa sıcaklığında kaynak edilmesine dikkat edildiğinden, kaynağı bitmiş parça masadan alındıktan sonra masanın üst yüzeyinin fan ile soğutulması ve oda sıcaklığına indirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca kaynak işleminden sonra torcun nozulunda biriken çapaklar bir kutuda toplanmış ve 0,0001g hassasiyete sahip tartıda tartılmıştır ve ölçüm değerleri torcun nozul çapak kaybı olarak not edilmiştir.

4.3.2 V-alın Kaynaklı Numunelerden Çıkarılan Çekme ve Çentik Darbe Numunelerinin Test Edilmesi

12 adet S235JR malzemeden V- kaynak ağzına sahip parçanın kaynak işlemleri bittikten sonra bu parçalardan, dairesel çekme çubukları ve V- Charpy çentik darbe numuneleri talaşlı işlemle çıkartılmıştır. Öncelikle V- kaynaklı parçanın başından ve sonundan 25 mm’lik kısım atılmıştır. Daha sonra dairesel çekme çubukları TS EN 876’ya [88] göre

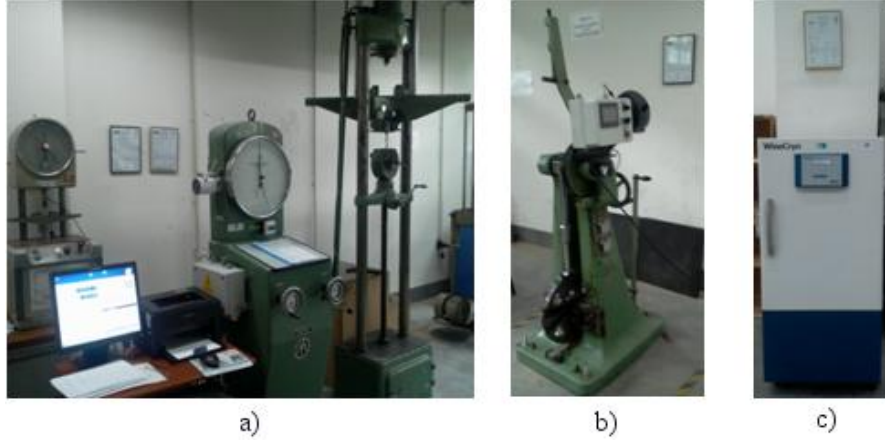
kaynak dikişinin ortasından ve kaynak dikişi boyunca çıkartılmış ve numune boyutları TS 138 EN 10002-1'e [89] uygun olacak şekilde işlenmiştir. V- çentik darbe numuneleri ise TS EN 875 [90] uyarınca VWT 0/5 düzeninde hazırlanmıştır; numune boyutları ise TS EN 10045-1'e [91] uygun olacak şekilde işlenmiştir. Herbir V- kaynak ağzına sahip deney numunesinden 2 adet çekme çubuğu ve +20°C, -20°C ve -30°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta test etmek için 9 adet çentik darbe çubuğu çıkartılmıştır. Ayrıca, V- çentik darbe numuneleri ile aynı boyutlara sahip fakat çentiği olmayan, sadece mikrosertlik ölçümlerinin ve mikroyapı fotoğraflarının alınmasında kullanılacak bir adet numune daha çıkartılmıştır. Çekme işlemi öncesi çekme numunesi üzerindeki ölçme uzunluğu (L_0) asetat kalemi ile eşit aralıklara bölünmüştür. Numune kırıldıktan sonra da son boy ölçülerek % uzama miktarı hesaplanmıştır. Şekil 4.20'de kaynaklı parçadan çıkartılacak olan çekme çubukları ve V-çentik darbe numunelerinin yeri gösterilmektedir. Şekil 4.21'de ise kaynaklı parçadan çıkartılan ve numaralandırılan çekme çubukları ile V- çentik darbe numuneleri görülmektedir. TS EN 10045-1 [91] standardı uyarınca, -20°C ve -30°C'de kırılacak olan çentik darbe numuneleri, deneyden önce 30 dk. süreyle WiseCryo marka soğutucuda tutulmuş ve deney numunelerinin tüm kesit boyunca aynı sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır. Çekme deneyleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Laboratuvarlarında, TSE kalibrasyonuna sahip 100kN kapasiteli Mohr&Federhaff marka çekme makinesinde; çentik darbe deneyleri ise yine aynı laboratuvarında bulunan TSE kalibrasyonlu 300J'luk Mohr&Federhaff marka çentik darbe cihazında gerçekleştirilmiştir (şekil 4.22).



Şekil 4. 20 Çekme çubuğu ve V- çentik darbe numunelerinin yeri



Şekil 4. 21 Çekme çubukları ve V- çentik darbe numuneleri

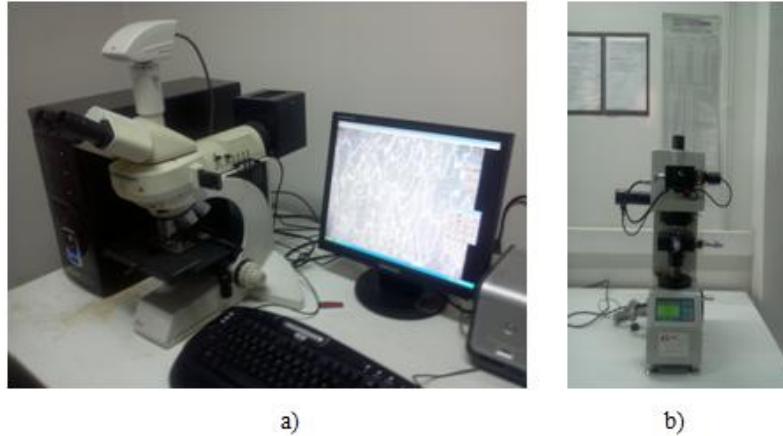


Şekil 4. 22 TSE kalibrasyonuna sahip 100kN kapasiteli Mohr&Federhaff marka çekme makinesi (a), 300J'luk Mohr&Federhaff marka çentik darbe cihazı (b) ve WiseCryo marka soğutucu (c)

4.3.3 V-alın Kaynaklı Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları ve Mikrosertlik Ölçümleri

Mikroyapı fotoğraflarının alınmasından ve Vickers mikrosertlik ölçümlerinden önce, bu amaçla kullanılacak olan 12 adet numune, Buehler Metaserv 2000 zımparalama/parlatma cihazında 200 mm çapa sahip döner diske monte edilmiş SiC zımparalar ile sulu zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için sırasıyla, 60, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 kumluk (grit) SiC zımpara kağıtları kullanılmıştır. Daha sonra alumina için uygun parlatma çuhası takılmış ve Buehler marka 0,05 mikronluk γ -alumina pasta ile parlatma işlemine geçilmiştir. İnce parlatma için de elmas parlatıcıya uygun olan parlatma çuhası takılmış ve Metkon marka 1 mikronluk elmas süspansiyon kullanılmıştır. Parlatılan numuneler etil alkolle temizlenip kurutulmuştur. Mikrodağlama için de Nital2 (%2 HNO_3 +%98 etil alkol) [92] kullanılmıştır. Dağlamadan sonra numuneler tekrar etil alkolle temizlenmiş ve kurutulmuştur.

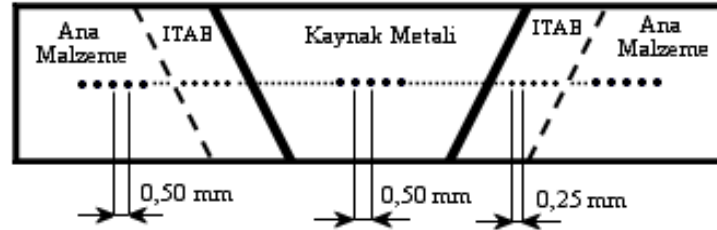
Mikroyapı fotoğrafları için Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan LEICA DFC 280 Image Analyser optik mikroskop (şekil 4.23) kullanılmıştır. Mikroyapı fotoğrafları, 100x, 200x ve 500x büyütmelemlerde, ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden alınmıştır.



Şekil 4. 23 LEICA DFC 280 Image Analyser optik mikroskop (a) ve Bulut Makina HVS-1000 mikrosertlik cihazı (b)

Sertlik taramaları öncesi TS 9913 EN 1043-1 [93] ve TS EN 1043-2 [94] standartlarından yararlanılmıştır. Ana malzeme ve kaynak metali bölgeleri geniş olduğu için iki iz arasında 0,5 mm, ITAB bölgeleri ise dar olduğu için iki iz arasında 0,25 mm mesafe bırakılmıştır. Vickers mikrosertlik ölçümü için kalibrasyona sahip Bulut Makina HVS-

1000 mikrosertlik cihazı (şekil 4.23-b) kullanılmıştır ve sırasıyla, ana malzeme, ITAB, kaynak metali (KM), ITAB ve ana malzemede, 100 g yük ve 10 s bekleme süresi kullanarak, her numune boyunca 5 farklı bölgede 5'er mikrosertlik ölçümü ile sertlik taraması yapılmıştır. Şekil 4.24'de mikrosertlik taramasının nasıl yapıldığı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4. 24 V-alın kaynaklı parçalarda mikrosertlik ölçümünün şematik gösterimi

4.4 T-Köşe Kaynak Numuneleri

4.4.1 T-Köşe Kaynaklı Numunelerin Kaynak Edilmesi

6, 8 ve 10 mm kalınlığa sahip 100 mm x 200 mm'lik dikme ve 200 mm x 200 mm'lik flanştan oluşan ve puntalanarak T-köşe kaynak numunelerini meydana getiren S235JR düşük karbonlu çelik malzemelerin kaynağında seçilen koruyucu gaz çeşitleri ve oranları, V-alın kaynak numunelerinin kaynağında kullanılanlar ile aynıdır. Kaynak parametrelerini belirlemek için köşe kaynak dikiş boyutları esas alınmıştır [95]. 6, 8 ve 10 mm kalınlıklar için hesaplanan dikiş boyutlarını elde etmek için çeşitli parametrelerle deneme kaynakları gerçekleştirilmiştir ve istenen kaynak kol boyları (6 mm kalınlık için kaynak kol boyu 4,5 mm, 8 mm kalınlık için kaynak kol boyu 6 mm ve 10 mm kalınlık için kaynak kol boyu 7,5 mm) elde edildiğinde o anki mevcut parametreler not edilmiştir. T-köşe kaynak numunelerinin kaynağında makinede ayarlanacak parametreler, serbest tel boyu sabit ve 19 mm olmak üzere, 6, 8 ve 10 mm kalınlıklar için sırasıyla, tel besleme hızları, 9,55 m/dk, 10,51 m/dk ve 12,01 m/dk, araba hızları ise 47 cm/dk, 43 cm/dk ve 34 cm/dk olarak belirlenmiştir.

X2CrNi 18 9 ostenitik paslanmaz çelik malzemelerin T-köşe kaynağında kullanılacak koruyucu gaz çeşitleri ve oranlarını belirlemek için yine bazı deneme kaynakları gerçekleştirilmiş ve elde edilen kaynak dikişleri makro olarak değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda %100 Ar ve DMAG 6lt/dk He - 9lt/dk Ar gaz oranlarının kullanılmamasına

karar verilmiştir. Bunun yanında %50Ar-%50CO₂, DMAG 7,5lt/dkAr – 7,5lt/dk CO₂, %40Ar-%60CO₂, DMAG 6lt/dk Ar – 9lt/dk CO₂, DMAG 7,5lt/dk %40He-%60Ar – 7,5lt/dk CO₂ (iç kanaldan %40He-%60Ar karışımı, dış kanaldan CO₂) ve DMAG 7,5lt/dk %50He-%50Ar – 7,5lt/dk CO₂ (iç kanaldan %50He-%50Ar karışımı, dış kanaldan CO₂) koruyucu gaz oranlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca seçilen koruyucu gaz oranlarıyla, 6, 8 ve 10 mm kalınlıklar için hesaplanan dikiş boyutlarını elde etmek için çeşitli parametrelerle deneme kaynakları gerçekleştirilmiştir ve istenen kaynak boyutları (6 mm kalınlık için kaynak kol boyu 4,5 mm, 8 mm kalınlık için kaynak kol boyu 6 mm ve 10 mm kalınlık için kaynak kol boyu 7,5 mm) elde edildiğinde o anki mevcut parametreler, T-köşe kaynak numunelerinin kaynağında makinede ayarlanacak parametreler, serbest tel boyu sabit ve 19 mm olmak üzere, 6, 8 ve 10 mm kalınlıklar için sırasıyla, tel besleme hızları, 8 m/dk, 8,3 m/dk ve 8,76 m/dk, araba hızları ise 38 cm/dk, 36 cm/dk ve 30 cm/dk olarak belirlenmiştir.

Y şekilli T-köşe kaynak fikstürüne (şekil 4.12) yerleştirilen hem S235JR hem de X2CrNi 18 9 malzemelerden T-köşe kaynak numuneleri oluk pozisyonuna getirilmektedir ve kaynak torcu açısı 90° olmak üzere kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her bir paso için kaynak işlemi esnasında kaynak makinesinin tel sürme ünitesi üzerinden okunan akım şiddeti (A) ve ark gerilimi (V) değerleri de verilerin not edilmesi için hazırlanmış forma girilmiştir.

Kaynak işlemi biten T-köşe kaynak numunelerinin bölüm 4.2’de belirtildiği gibi öncelikle kaynak sonrası açılmal çarpılma ölçümleri yapılmıştır ve bunlar kaydedilmiştir. Daha sonra her bir numune kalınlığı için, karşılaştırma amaçlı, en yüksek açılmal çarpılmayı veren kaynaklı numune ve varsa aynı gaz oranlarındaki muadili, yoksa en düşük açılmal çarpılmayı veren farklı gaz oranlarına sahip kaynaklı numune seçilmiştir. Çizelge 4.6’da S235JR malzemeden, çizelge 4.7’de ise X2CrNi 18 9 malzemeden, hem masif hem de özlü telle kaynak edilmiş olan seçilmiş kaynak numuneleri toplu şekilde yer almaktadır. Mikro ve makro yapı fotoğraflarının alınmasında ve mikrosertlik ölçümlerinde kullanılmak üzere, seçilen bu kaynaklı numunelerin orta bölgesinden küçük T- köşe kaynaklı numuneler çıkartılmıştır.

Çizelge 4. 6 Açısal çarpılma miktarlarına göre seçilen, S235JR malzemedan T-köşe kaynak numuneleri

S235JR Malzeme T-Köşe Kaynak Numuneleri		
Masif Tel	6 mm	Ç-C1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂
		Ç-D1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂
	8 mm	Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂
		Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂
	10 mm	Ç-F1-Karışım-%40Ar-%60CO ₂
		Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂
Özlü Tel	6 mm	Ç-F2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ -ÖZLÜ
		Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂ -ÖZLÜ
	8 mm	Ç-C2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ
		Ç-D2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ
	10 mm	Ç-B1-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ -ÖZLÜ
		Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ -ÖZLÜ

Çizelge 4. 7 Açısal çarpılma miktarlarına göre seçilen, X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numuneleri

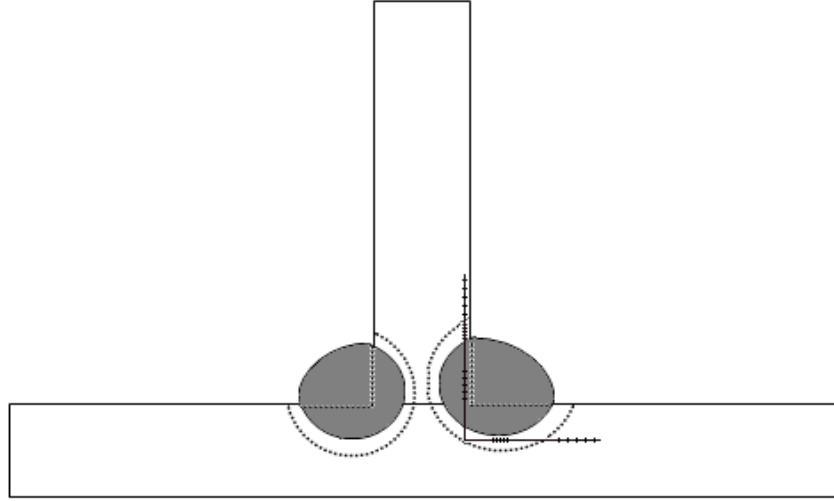
X2CrNi 18 9 Malzeme T-Köşe Kaynak Numuneleri		
Masif Tel	6 mm	P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂
		P-D2-DMAG-6Ar-9CO ₂
	8 mm	P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂
		P-D1-DMAG-6Ar-9CO ₂
	10 mm	P-F2-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂
		P-E2-DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂
Özlü Tel	6 mm	P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ
		P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ
	8 mm	P-A1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ
		P-F1-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂ -ÖZLÜ
	10 mm	P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ
		P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ

4.4.2 T-Köşe Kaynaklı Numunelerin Mikrosertlik Ölçümleri ve Mikroyapı Fotoğrafları

Mikroyapı fotoğraflarının alınmasından ve Vickers mikrosertlik ölçümlerinden önce, S235JR malzeme için 12 adet ve X2CrNi 18 9 malzeme için de 12 adet olmak üzere toplam 24 adet numune Buehler Metaserv 2000 zımparalama/parlatma cihazında 200 mm çapa sahip döner diske monte edilmiş SiC zımparalar ile sulu zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için sırasıyla, 60, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 kumluk (grit) SiC zımpara kağıtları kullanılmıştır. Daha sonra alumina için uygun parlatma çuhası takılmış ve Buehler marka 0,05 mikronluk γ -alumina pasta ile parlatma işlemine geçilmiştir. İnce parlatma için de elmas parlatıcıya uygun olan parlatma çuhası takılmış ve Metkon marka 1 mikronluk elmas süspansiyon kullanılmıştır. Parlatılan numuneler etil alkolle temizlenip kurutulmuştur. S235JR düşük karbonlu çelik malzemedan numunelerin mikro dağlanması için Nital2 (%2 HNO₃+%98 etil alkol) [92], [96] kullanılmıştır. Dağlamadan sonra numuneler tekrar etil alkolle temizlenmiş ve kurutulmuştur. X2CrNi 18 9 malzemedan numunelerin mikro dağlanması için ise 10 ml HCl+10 ml HNO₃+10 ml H₂O [96] karışımından oluşan dağlayıcı kullanılmıştır.

Mikroyapı fotoğrafları için yine LEICA DFC 280 Image Analyser optik mikroskop (şekil 4.23) kullanılmıştır. Mikroyapı fotoğrafları, 100x, 200x ve 500x büyütmelerde, ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden alınmıştır.

Sertlik taramaları öncesi yine TS 9913 EN 1043-1 [93] ve TS EN 1043-2 [94] standartlarından yararlanılmıştır. Ana malzeme ve kaynak metali bölgeleri geniş olduğu için iki iz arasında 0,5 mm, ITAB bölgeleri ise dar olduğu için iki iz arasında 0,25 mm mesafe bırakılmıştır. Vickers mikrosertlik ölçümü için kalibrasyona sahip Bulut Makina HVS-1000 mikrosertlik cihazı (şekil 4.23-b) kullanılmıştır ve sırasıyla, ana malzeme, ITAB, kaynak metali (KM), ITAB ve ana malzemede, 100 g yük ve 10 s bekleme süresi kullanarak, her numune boyunca 5 farklı bölgede 5'er mikrosertlik ölçümü ile sertlik taraması yapılmıştır. Şekil 4.25'de mikrosertlik taramasının nasıl yapıldığı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4. 25 T-köşe kaynak numunelerinde mikrosertlik ölçüm bölgeleri

4.4.3 T-Köşe Kaynaklı Numunelerin Makro Fotoğrafları, Kaynak Metali ve ITAB Alanı Ölçümleri

Mikroyapı fotoğrafları ve mikrosertlik değerleri alınan numuneler daha sonra makro dağlamaya tabi tutulmuşlardır. S235JR malzemedan numuneler için makro dağlayıcı olarak Nital10 (%10 HNO_3 + %90 etil alkol) kullanılmışken, X2CrNi 18 9 malzemedan numuneler için 20 ml HCl +10 ml HNO_3 +10 ml H_2O [96] kullanılmıştır. Numunelerin makro fotoğraflarının alınması stereo optik mikroskop (şekil 4.26) ile 3,5x ve 5x büyötmelerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 26 Makro fotoğrafların alınmasında kullanılan stereo optik mikroskop

Daha sonra elde edilen makro fotoğraflar bilgisayar yazılımına yüklenmiş ve ilave metal ergime kesit alanı, kaynak metali ve ana malzeme ergime kesit alanları ile ITAB alanları ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 V-alın Kaynak Numunelerinin Kaynağına Ait Deney Sonuçları

Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ ve Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO₂ V-alın kaynak numunelerine ait parametreler, sırasıyla, çizelge 5.1 ve 5.2’de ayrıntılı olarak verilmektedir. Çizelge 5.3’te ise hem masif tel hem de metal özlü tel kullanımında tüm koruyucu gaz oranları ve gaz yönlendirme türleri için parametre değerleri toplu şekilde verilmektedir.

Çizelge 5. 1 Ç5–DMAG–6Ar–9CO₂ kaynak numunesi için parametreler

Kaynak Teli			Koruyucu Gaz		Gaz Debisi (lt/dk)	
φ 1,2 mm Askaynak SG2			İç: 6 lt/dk Ar, Dış: 9 lt/dk CO ₂		15	
Paso	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Tel besleme hızı (m/dk)	Kontak memesi – parça arası mesafe (mm)	Torç açısı (°)	Kaynak hızı (cm/dk)
1	258	31	11,4	22	104	36
2	265	31	11,4	22	90	36
3	272	30	11,4	22	76	36
4	272	30	11,4	22	104	36
5	285	29,5	11,4	22	90	36
6	255	31,5	11,4	22	76	36
7	267	30,5	11,4	22	104	36
8	267	31	11,4	22	90	36
9	260	30	11,4	22	76	36
10	265	29,5	11,4	22	104	36
11	255	31,5	11,4	22	90	36
12	268	30,5	11,4	22	76	36
13	270	30,5	11,4	22	90	36

14	265	31,5	11,4	22	90	36
Not: Çizelgedeki akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri, ark süresi boyunca alınan ağırlıklı ortalama değerlerini göstermektedir.						

Çizelge 5. 2 Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO₂ kaynak numunesi için parametreler

Kaynak Teli			Koruyucu Gaz		Gaz Debisi (lt/dk)	
φ 1,2 mm Askaynak SG2			%40 Ar - %60 CO ₂		15	
Paso	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Tel besleme hızı (m/dk)	Kontak memesi – parça arası mesafe (mm)	Torç açısı (°)	Kaynak hızı (cm/dk)
1	280	30	11,4	22	104	36
2	270	30	11,4	22	90	36
3	270	31	11,4	22	76	36
4	265	31	11,4	22	104	36
5	270	31	11,4	22	90	36
6	265	31	11,4	22	76	36
7	268	31	11,4	22	104	36
8	253	32	11,4	22	90	36
9	253	32	11,4	22	76	36
10	260	31	11,4	22	104	36
11	254	31,5	11,4	22	90	36
12	250	32	11,4	22	76	36
13	255	32	11,4	22	90	36
14	252	31	11,4	22	90	36
Not: Çizelgedeki akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri, ark süresi boyunca alınan ağırlıklı ortalama değerlerini göstermektedir.						

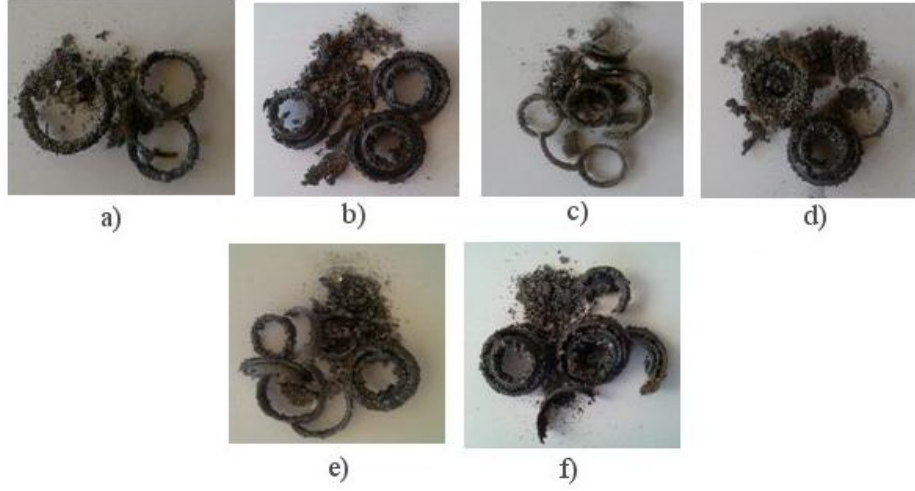
Çizelge 5. 3 Masif ve metal özlü telle kaynak edilen numunelerdeki 14 paso için ortalama parametreler

	Yöntem	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Tel besleme hızı (m/dk)	Kontak memesi-parça arası mesafe (mm)	Koruyucu gaz toplam debisi (lt/dk)
Masif Tel	%40Ar- %60CO ₂	261,79	31,18	36	11,4	22	15
	DMAG-6Ar- 9CO ₂	266,00	30,57	36	11,4	22	15
	%50Ar- %50CO ₂	275,14	29,93	36	11,4	22	15
	DMAG-7,5Ar- 7,5CO ₂	260,14	30,04	36	11,4	22	15
	%60Ar- %40CO ₂	260,79	30,79	36	11,4	22	15
	DMAG-9Ar- 6CO ₂	261,93	29,74	36	11,4	22	15
Metal Özlü Tel	%40Ar- %60CO ₂ - MCW	259,07	31,11	36	11,4	22	15
	DMAG-6Ar- 9CO ₂ -MCW	260,79	30,82	36	11,4	22	15
	%50Ar- %50CO ₂ - MCW	256,00	31,39	36	11,4	22	15
	DMAG-7,5Ar- 7,5CO ₂ -MCW	275,86	30,42	36	11,4	22	15
	%60Ar- %40CO ₂ - MCW	258,57	31,35	36	11,4	22	15
	DMAG-9Ar- 6CO ₂ -MCW	269,86	30,55	36	11,4	22	15

Karışım gazı yönteminde masif tel kullanımında, özlü tele kıyasla elde edilen akım şiddeti değerleri daha yüksekken ark gerilimi değerleri biraz daha düşüktür. Çift kanal gaz yönlendirme yönteminde ise, masif tele kıyasla, metal özlü tel ile elde edilen akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri artış göstermiştir. Masif telle kaynakta eş koruyucu gaz oranları için, karışım gazı yöntemine göre çift kanal gaz yönlendirmesi ile elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Yine eş koruyucu gaz oranları için, özlü tel

kullanımında, karışım gazı yöntemine kıyasla, çift kanallı gaz yönlendirmesi yöntemiyle elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha yüksek, ark gerilimi değerlerinin ise daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

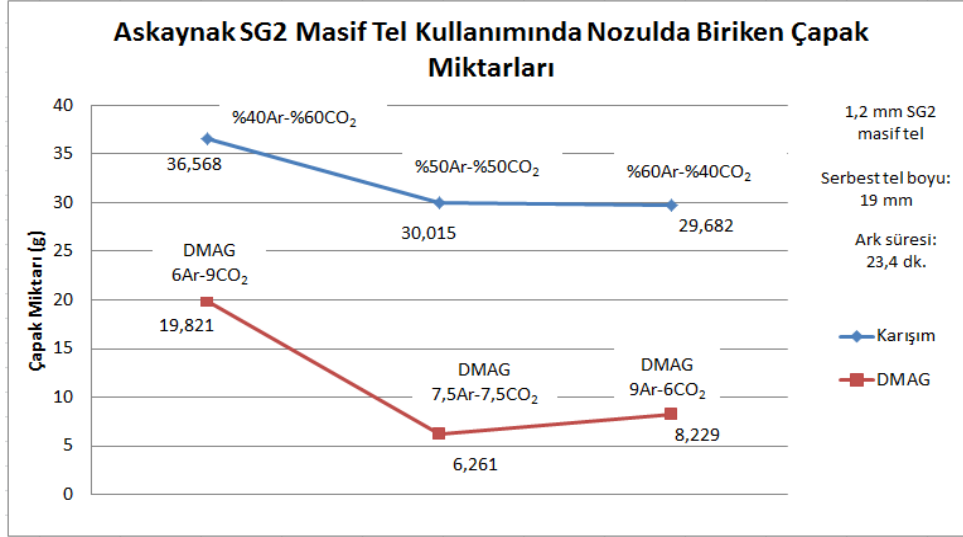
Serbest tel boyu 19 mm olmak üzere, ark süresinin toplam 23,4 dk. olduğu, V-alın parçaların 14 pasoda hem geleneksel karışım gazı hem de DMAG ile kaynağında torcun nozulunda biriken çapaklar, masif tel için şekil 5.1’de, metal özlü tel içinse şekil 5.2’de gösterilmektedir. Bunlara ait toplam çapak miktarlarını gösteren grafikler, sırasıyla, şekil 5.3 ve şekil 5.4’te verilmektedir. Masumoto vd.’nin [71] de bulduğu gibi hem masif tel ile kaynakta hem de özlü telde DMAG ile elde edilen nozul çapak miktarları, karışım gazı ile elde edilenlere göre çok daha düşük çıkmıştır. Hem geleneksel karışım gazı ile kaynakta hem de Kutsuna ve Abraham’ın [72] çalışmasında rastlandığı gibi, çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynakta, özlü tel ile elde edilen çapak miktarları masif telle elde edilenlere göre daha düşük seviyededir. Masif telle kaynakta 7,5lt/dk Ar – 7,5lt/dk CO₂’li DMAG, 9lt/dk Ar – 6lt/dk CO₂’li DMAG yöntemine göre daha az çapak oluşturmuştur. 6lt/dk Ar – 9lt/dk CO₂’li DMAG ise bu üçü içinde en fazla çapağı oluşturmuştur. Masif telle kaynakta karışım gazı kullanımında ise karışımdaki CO₂ oranı arttıkça çapak miktarının arttığı görülmektedir. Metal özlü telle DMAG yönteminde ise yine en düşük çapak miktarını 7,5lt/dk Ar – 7,5lt/dk CO₂ oluşturmuştur. 9lt/dk Ar – 6lt/dk CO₂ ise 7,5lt/dk Ar – 7,5lt/dk CO₂’e göre daha yüksek miktarda çapak oluşturmuşken, bu miktar, 6lt/dk Ar – 9lt/dk CO₂’den ise daha düşük seviyede kalmıştır. Metal özlü telle kaynakta karışım gazı kullanımında ise masif telle karışım gazı kullanımındakine benzer şekilde, karışımdaki CO₂ gazı arttıkça çapak miktarının da arttığı görülmektedir. Buna istisna ise %40Ar-%60CO₂ içeren karışımdır ve bu karışım gazı ile elde edilen çapak miktarı, üç karışım gazı içinde en düşük olmuştur.



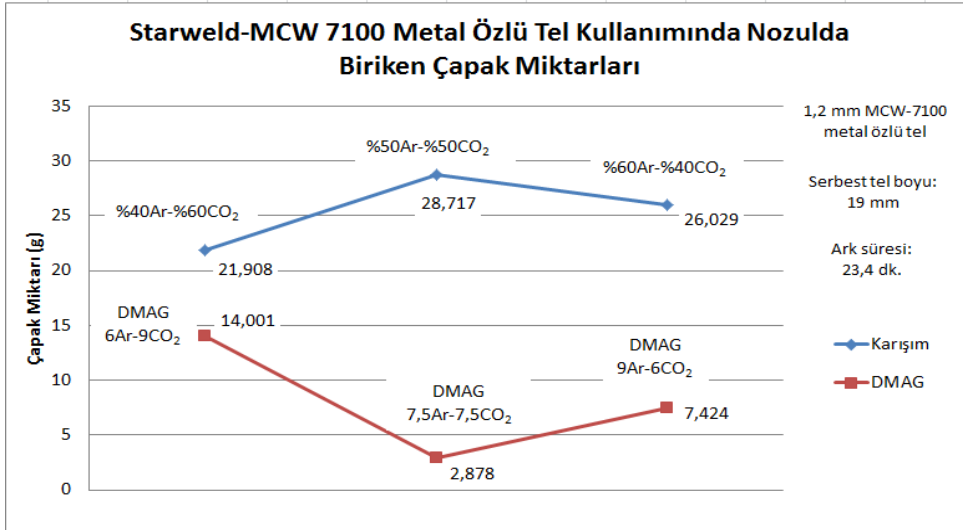
Şekil 5. 1 Askaynak SG2 masif telle V-alın parçaların 14 paso ile kaynağında torcun nozulunda biriken çapaklar. a) Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂, b) Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂, c) Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂, d) Ç4-Karışım-%60Ar-%40CO₂, e) Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂, f) Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO₂



Şekil 5. 2 Starweld MCW-7100 metal özlü telle V-alın parçaların 14 paso ile kaynağında torcun nozulunda biriken çapaklar. a) Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-MCW, b) Ç8-Karışım-%50Ar-%50CO₂-MCW, c) Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-MCW, d) Ç9-Karışım-%60Ar-%40CO₂-MCW, e) Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-MCW, f) Ç12-Karışım-%40Ar-%60CO₂-MCW



Şekil 5. 3 Askaynak SG2 masif tel kullanımıyla nozulda biriken çapak miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 5. 4 Starweld MCW-7100 metal özlü tel kullanımıyla nozulda biriken çapak miktarlarının karşılaştırılması

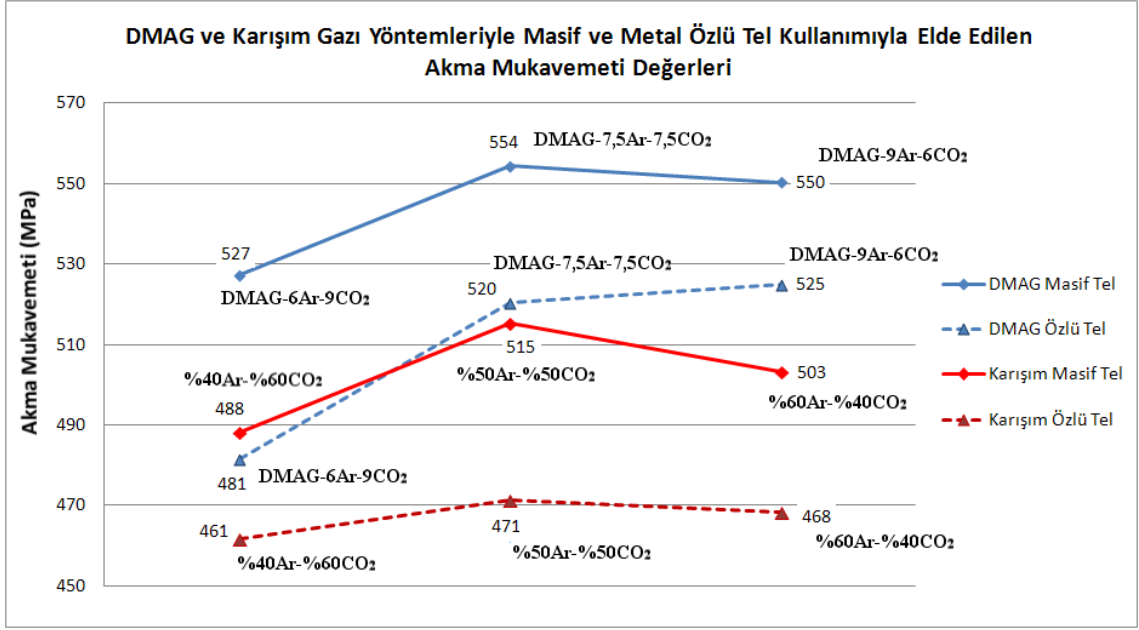
Çizelge 5.4’de Askaynak SG2 masif tel ile, çizelge 5.5’te ise Starweld MCW-7100 metal özlü tel ile kaynak edilmiş V-alın parçalardan çıkartılan ikişer çekme çubuğu ve üç farklı sıcaklık için üçer V- çentik darbe numunesinden elde edilen deney verilerinin aritmetik ortalamaları verilmektedir. Bu sonuçlar, grafiksel olarak şekil 5.5 – 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5. 4 Askaynak SG2 masif telle kaynak edilmiş V-alın parçalardan çıkartılan çekme numuneleri ile V-çentik darbe numunelerine ait deney sonuçlarının ortalamaları

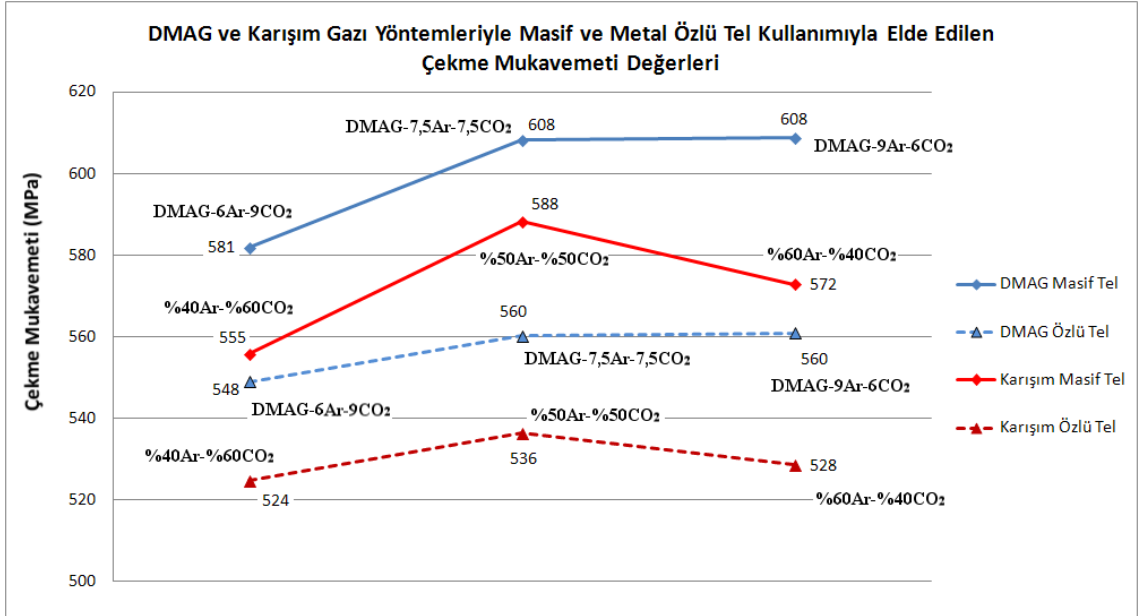
Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	554,48	608,23	28,16
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	245,86	205,86	203,84
Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	515,43	588,18	28,42
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	188,31	153,51	112,02
Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	550,41	608,80	25,74
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	229,65	207,94	217,37
Ç4-Karışım-%60Ar-%40CO₂			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	503,16	572,83	29,64
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	205,17	175,79	178,08
Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	527,40	581,78	29,14
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	229,57	179,24	203,23
Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO₂			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	488,24	555,80	28,38
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	184,66	159,76	124,19

Çizelge 5. 5 Starweld MCW-7100 metal özlü telle kaynak edilmiş V-alın parçalardan çıkartılan çekme numuneleri ile V-çentik darbe numunelerine ait deney sonuçlarının ortalamaları

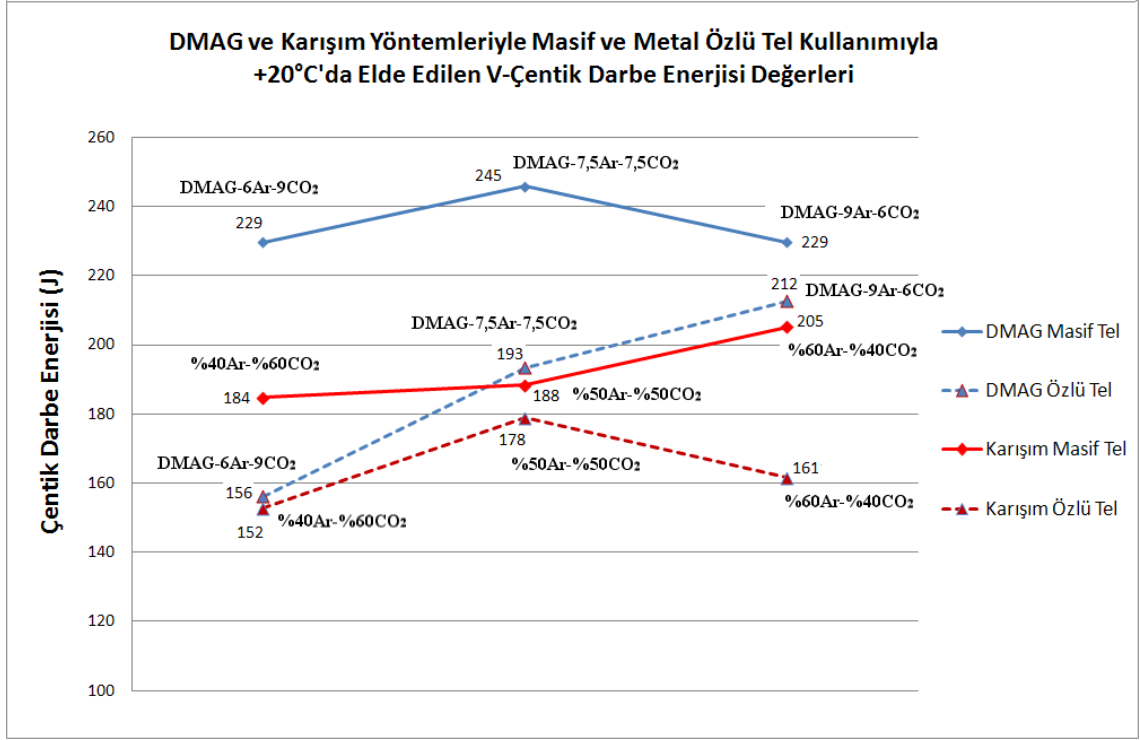
Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-MCW			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	520,32	560,25	25,23
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	193,38	150,36	171,97
Ç8-Karışım-%50Ar-%50CO₂-MCW			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	471,34	536,40	27,3
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	178,84	119,64	79,28
Ç9-Karışım-%60Ar-%40CO₂-MCW			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	468,24	528,47	26,31
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	161,48	103,82	84,99
Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-MCW			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	525,04	560,90	26,3
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	212,63	175,29	181,95
Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-MCW			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	481,58	548,96	25,14
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	156,10	110,29	60,77
Ç12-Karışım-%40Ar-%60CO₂-MCW			
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çekme Numunesi	461,73	524,79	27,18
Çentik Darbe Enerjisi (J)	+20 (°C)	-20 (°C)	-30 (°C)
	152,67	79,53	61,86



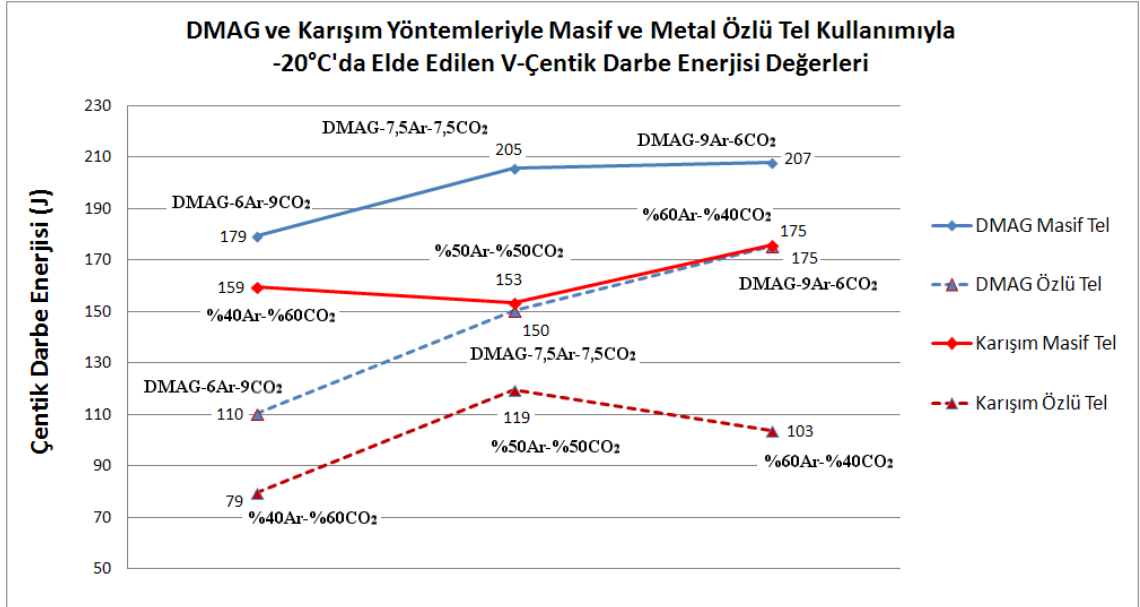
Şekil 5. 5 Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle elde edilen akma mukavemeti değerleri



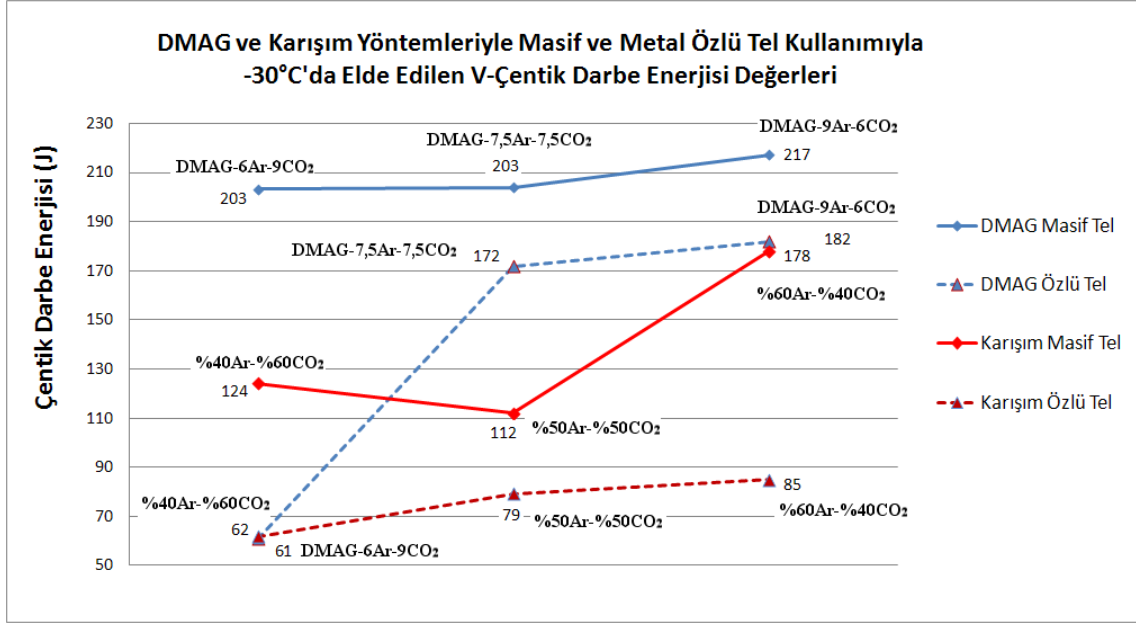
Şekil 5. 6 Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle elde edilen çekme mukavemeti değerleri



Şekil 5. 7 Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle +20°C'da elde edilen V-çentik darbe enerjisi değerleri



Şekil 5. 8 Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle -20°C'da elde edilen V-çentik darbe enerjisi değerleri



Şekil 5. 9 Masif ve metal özlü tel kullanımıyla, farklı koruyucu gaz oranlarına sahip DMAG ve karışım yöntemleriyle -30°C'da elde edilen V-çentik darbe enerjisi değerleri

Masif telle gerçekleştirilen DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ile kaynakta elde edilen akma mukavemeti değerlerinin ortalaması, %50Ar-%50CO₂ ile elde edilenlerden %7,57 fazla olmuştur. Çekme mukavemeti değerleri de paralellik göstermiş ve DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ile elde edilen değerler %3,4 daha yüksek çıkmıştır. Bunun aksine uzama değerleri, karışım gazıyla elde edilenlere göre %0,91 daha düşük çıkmıştır. DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ yöntemi ile kaynak edilmiş parçaların, +20°C, -20°C ve -30°C'da gerçekleştirilen V-çentik darbe test sonuçlarına bakıldığında ise, %50Ar-%50CO₂ karışım gazı yöntemine kıyasla elde edilen değerlerin, sırasıyla, %30,56, %34,10 ve %81,96 daha yüksek çıktığı görülmüştür. DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ ile elde edilen akma mukavemeti değerleri, %60Ar-%40CO₂ ile elde edilenlerden %9,39 fazla olmuştur. Çekme mukavemeti değerleri de paralellik göstermiş ve DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ ile elde edilen değerler %6,27 daha yüksek çıkmıştır. Bunun aksi olarak uzama değerleri ise, karışım gazıyla elde edilenlere göre %13,15 daha düşük çıkmıştır. DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yöntemi ile kaynak edilmiş parçaların, +20°C, -20°C ve -30°C'da gerçekleştirilen V-çentik darbe test sonuçlarına bakıldığında ise %60Ar-%40CO₂ karışım gazı yöntemine kıyasla elde edilen değerlerin, sırasıyla, %11,93, %18,28, %22,06 daha yüksek olduğu görülmüştür. DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ ile elde edilen akma mukavemeti değerleri, %40Ar-%60CO₂ ile elde edilenlerden %8,02 fazla

olmuştur. Çekme mukavemeti değerleri de paralellik göstermiş ve DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ ile elde edilen değerler %4,67 daha fazla çıkmıştır. Buna ilaveten uzama değerleri de %2,67 daha yüksek ölçülmüştür. DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ yöntemi ile kaynak edilmiş parçaların, +20°C, -20°C ve -30°C'da gerçekleştirilen V-çentik darbe test sonuçlarına bakıldığında, %40Ar-%60CO₂ karışım gazı yöntemine kıyasla elde edilen değerlerin, sırasıyla, %24,32, %12,19 ve %63,64 daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Metal özlü telle gerçekleştirilen DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ile kaynakta elde edilen akma mukavemeti değerleri, %50Ar-%50CO₂ ile elde edilenlerden %10,39, çekme mukavemeti değerleri de %4,44 daha fazla olmuştur. Buna karşın uzama değerleri, karışım gazıyla elde edilenlere göre %7,58 daha düşük çıkmıştır. Metal özlü telle DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ yöntemi ile kaynak edilmiş parçaların, +20°C, -20°C ve -30°C'da gerçekleştirilen V-çentik darbe test sonuçlarına bakıldığında, %50Ar-%50CO₂ karışım gazı yöntemine kıyasla elde edilen değerlerin, sırasıyla, %8,13, %25,67 ve %116,91 daha fazla olduğu görülmüştür. DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ ile kaynakta elde edilen akma mukavemeti değerleri, %60Ar-%40CO₂ ile elde edilenlerden %12,13 fazla olmuştur. Çekme mukavemeti değerleri de benzer bir eğilimle, karışım gazı ile elde edilenlerden %6,13 fazla çıkmıştır. Uzama değerleri ise her iki yöntemde de birbirine çok yakın çıkmıştır. DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yöntemi ile kaynak edilmiş parçaların, +20°C, -20°C ve -30°C'da gerçekleştirilen V-çentik darbe test sonuçlarına bakıldığında, %60Ar-%40CO₂ karışım gazı yöntemine kıyasla elde edilen değerlerin, sırasıyla, %31,67, %68,84 ve %114,08 daha yüksek çıktığı kaydedilmiştir. DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ ile kaynakta elde edilen akma mukavemeti değerleri, %40Ar-%60CO₂ ile elde edilenlerden %4,29, çekme mukavemeti değerleri de %4,60 daha yüksek olmuştur. Bunun aksine uzama değerleri ise, karışım gazıyla elde edilenlere göre %7,50 daha düşük çıkmıştır. Metal özlü telle DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ yöntemi ile kaynak edilmiş parçaların, +20°C, -20°C'da gerçekleştirilen V-çentik darbe test sonuçlarına bakıldığında, %40Ar-%60CO₂ karışım gazı yöntemine kıyasla elde edilen değerlerin, sırasıyla, %2,24, %38,67 daha yüksek olduğu görülürken; -30°C'da gerçekleştirilen testte ise DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ yönteminin, %40Ar-%60CO₂ karışımından %1,76 daha düşük sonuç verdiği görülmüştür.

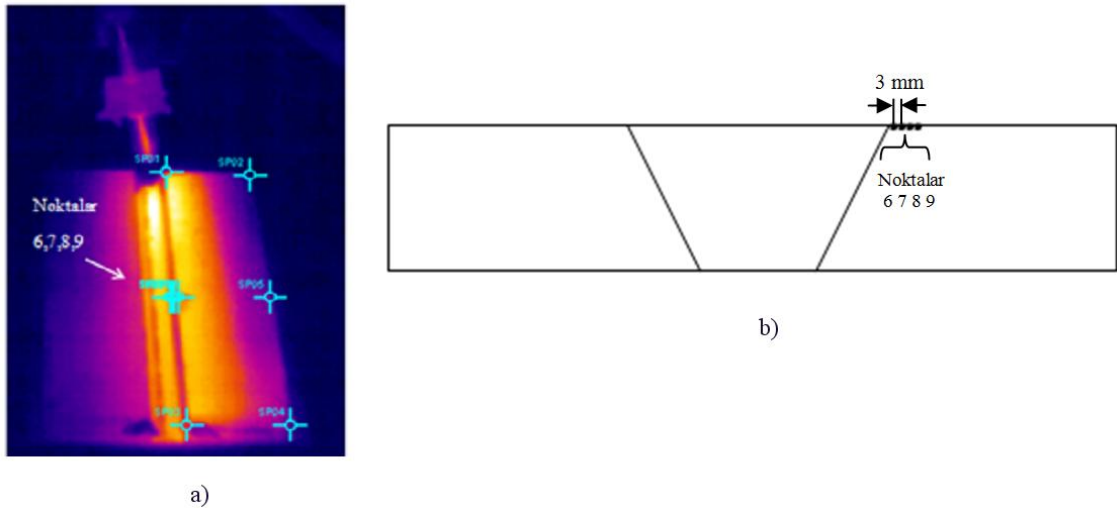
Masif telle kaynakta en yüksek ortalama akma mukavemeti, 554,48 MPa ile DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ yönteminde, en yüksek ortalama çekme mukavemeti ise 608,80 MPa ile DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yönteminde elde edilmiştir ve bu değer DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ile elde edilene (608,23 MPa) çok yakındır. En yüksek ortalama uzama değeri ise %29,64 ile %60Ar-%40CO₂ karışımıyla elde edilmiştir. En yüksek ortalama V-çentik darbe dayanımları ise +20°C'da 245,86 J ile DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ yönteminde, -20°C'da 207,94 J ile DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yönteminde (DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ile 205,86 J), -30°C'da ise 217,37 J ile DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yönteminde elde edilmiştir (DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ile 203,84 J). Masif telle kaynakta en düşük ortalama akma ve çekme mukavemetleri, sırasıyla, 488,24 MPa ve 555,80 MPa olarak %40Ar-%60CO₂ karışımıyla elde edilmiştir. En düşük ortalama uzama değeri ise %25,74 ile DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yönteminde gözlemlenmiştir. En düşük ortalama V-çentik darbe dayanımları ise +20°C'da 184,66 J ile %40Ar-%60CO₂ karışımında, -20°C'da 153,51 J ile %50Ar-%50CO₂ karışımı ile elde edilmiştir ve bu değer, %40Ar-%60CO₂ karışımıyla elde edilen değere (159,76 J) çok yakındır. -30°C'da ise 112,02 J ile %50Ar-%50CO₂ karışımında elde edilmiştir ve bu değer de %40Ar-%60CO₂ karışımı ile elde edilen 124,19 J değerine oldukça yakındır. Metal özlü telle kaynakta en yüksek ortalama akma mukavemeti, 525,04 MPa ile DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yöntemi ile elde edilmiştir. En yüksek ortalama çekme mukavemeti ise 560 MPa ile DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ ve DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yöntemlerinde elde edilmiştir. En yüksek ortalama uzama değeri ise %27,3 ile %50Ar-%50CO₂ karışımıyla elde edilmiştir ve bu uzama değeri, %40Ar-%60CO₂ ile elde edilene (%27,18) çok yakındır. En yüksek ortalama V-çentik darbe dayanımları ise +20°C'da 212,63 J ve -20°C'da 175,29 J ve -30°C'da ise 181,95 J ile DMAG 9 lt/dk Ar-6 lt/dk CO₂ yöntemiyle elde edilmiştir. Özlü telle kaynakta en düşük akma ve çekme mukavemeti değerleri, sırasıyla, 461,73 MPa ve 527,48 MPa ile %40Ar-%60CO₂ karışımıyla elde edilmiştir. En düşük ortalama uzama değeri ise %25,14 ile DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ ile elde edilmiştir. En düşük ortalama V-çentik darbe dayanımları ise +20°C'da 152,67 J ve -20°C'da 79,53 J ile %40Ar-%60CO₂ karışımıyla, -30°C'da ise 60,77 J ile DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ yöntemiyle elde edilmiştir ve bu değer, %40Ar-%60CO₂ karışımıyla elde edilen değere (61,86 J) çok yakındır.

İlginç bir sonuç olarak, metal özlü telin kullanıldığı DMAG 6 lt/dk Ar-9 lt/dk CO₂ yöntemi hariç, masif ve özlü telin kullanıldığı tüm çift kanallı gaz yönlendirme deneylerinde, -20°C'a kıyasla -30°C'da V-çentik darbe tokluğu değerlerinin arttığı görülmüştür (DMAG 7,5 lt/dk Ar-7,5 lt/dk CO₂ yönteminde hemen hemen aynı kalmıştır). Beklendiği üzere, geleneksel karışım gazı yöntemleriyle hem masif hem de metal özlü telle kaynakta -20°C'a kıyasla -30°C'ta elde edilen çentik darbe değerleri daha düşük çıkmıştır.

5.2 V-alın Kaynaklı Numunelerin Mikrosertlik Ölçümleri ve Mikroyapı Fotoğrafları

5.2.1 Mikrosertlik Ölçümleri

Bölüm 4.3.3'te belirtildiği gibi hazırlanan 12 adet V-alın kaynak numunesi şekil 4.24'deki şekilde sertlik taramasına tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar şekil 5.11, 5.13, 5.15, 5.17, 5.19, 5.21, 5.23, 5.25, 5.27, 5.29, 5.31 ve 5.33'de grafik olarak verilmektedir. 1. pasolar çekilirken termal kamera ile kaydedilen ve V-alın kaynak parçasının ağız kısmının en geniş olduğu üst yüzeyde, kaynak ağzına komşu olan dört noktanın (nokta 6, 7, 8 ve 9) (şekil 5.10) zamana bağlı sıcaklık değişimleri şekil 5.12, 5.14, 5.16, 5.18, 5.20, 5.22, 5.24, 5.26, 5.28, 5.30, 5.32 ve 5.34'de verilmiştir.



Şekil 5. 10 V-alın kaynak numunelerinde sıcaklık ölçüm noktaları (6,7,8,9). a) Termal kamera ile üstten görünüş, b) Sıcaklık ölçüm noktalarının şematik önden görünüşü

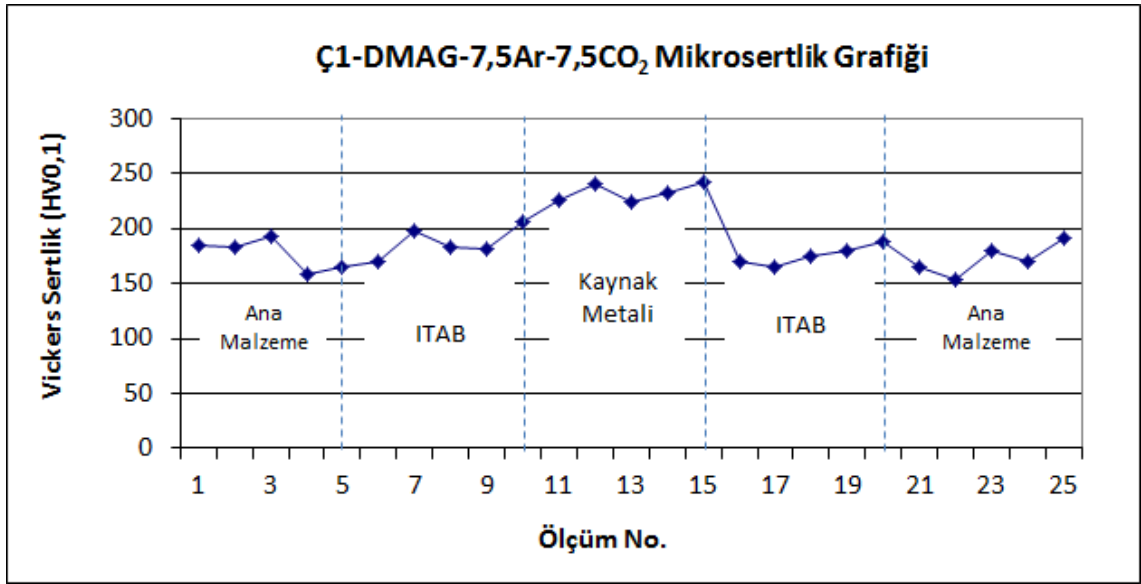
Ayrıca her bir V-alın kaynak numunesi için, 6, 7, 8 ve 9 noktaları arasından en yüksek sıcaklığa çıkan nokta olan 6. noktanın çıktığı maksimum sıcaklıktan 400°C'a soğuma hızları da hesaplanmıştır (çizelge 5.6).

Masif telin kullanıldığı durumda (Ç1-Ç6 arası numuneler için), DMAG yöntemindeki soğuma hızlarının karışım gazına göre büyük olduğu, ancak bu farkın çok olmadığı görülmektedir. Bu şartlarda da Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂ numunelerindeki ortalama sertlik değerlerinin, karışım gazı numuneleri Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ ve Ç4-%60Ar-%40CO₂ için olan değerlerle hemen hemen aynı olduğu (DMAG numunelerindeki sertlik çok küçük miktarda daha fazla) görülmüştür. Soğuma hızı farkının daha büyük olduğu durumda ise, Ç6-%40Ar-%60CO₂'ye göre, Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ numunesindeki ortalama sertlik değerinin biraz daha yüksek olduğu görülmüştür; ancak mikroyapısal dönüşümler meydana gelmediği için sertliklerdeki bu farklılıklar çok küçük oranlarda kalmıştır. Ç4-%60Ar-%40CO₂ ve Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂ numunelerindeki durum hariç, diğer numunelerde (Ç1-Ç2 ve Ç5-Ç6) karışım gazı ile kaynak edilmiş olanlarda daha yüksek maksimum sıcaklıklara çıkıldığı görülmüştür.

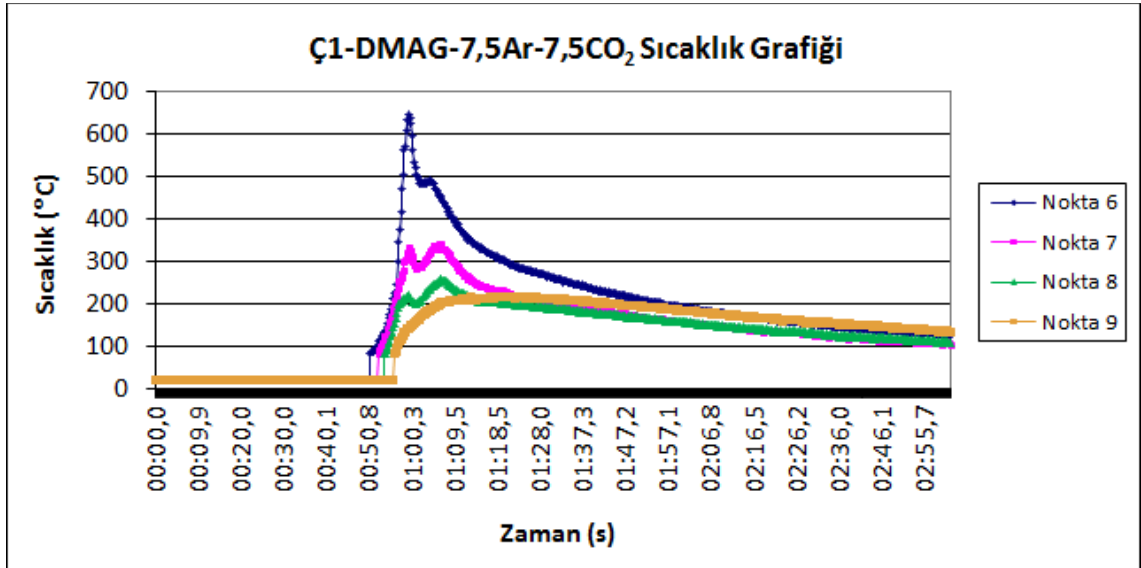
Metal özlü telin kullanıldığı durumda (Ç7-Ç12 arası numuneler için) ise, Ç12-%40Ar-%60CO₂-ÖZLÜ numunesindeki soğuma hızının, Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-ÖZLÜ numunesinden fazla olduğu görülmektedir. Bunun dışındaki numunelerde soğuma hızları DMAG yöntemiyle kaynak edilmiş olanlarda daha yüksektir. Ç8-%50Ar-%50CO₂-ÖZLÜ numunesinin sertliğinin, soğuma hızı daha büyük olan Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-ÖZLÜ numunesine göre biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Soğuma hızları daha büyük olan Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-ÖZLÜ ve Ç12-%40Ar-%60CO₂-ÖZLÜ numunelerinde elde edilen sertlik değerlerinin ise, sırasıyla, Ç9-%60Ar-%40CO₂-ÖZLÜ ve Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-ÖZLÜ numunelerine göre biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca karışım gazları ile çıkılan maksimum sıcaklıkların daha yüksek olduğu da gözlemlenmiştir.

Çizelge 5. 6 V-alın kaynaklı numunelerde 6. noktanın çıktığı maksimum sıcaklık ve 400°C'a soğuma hızı

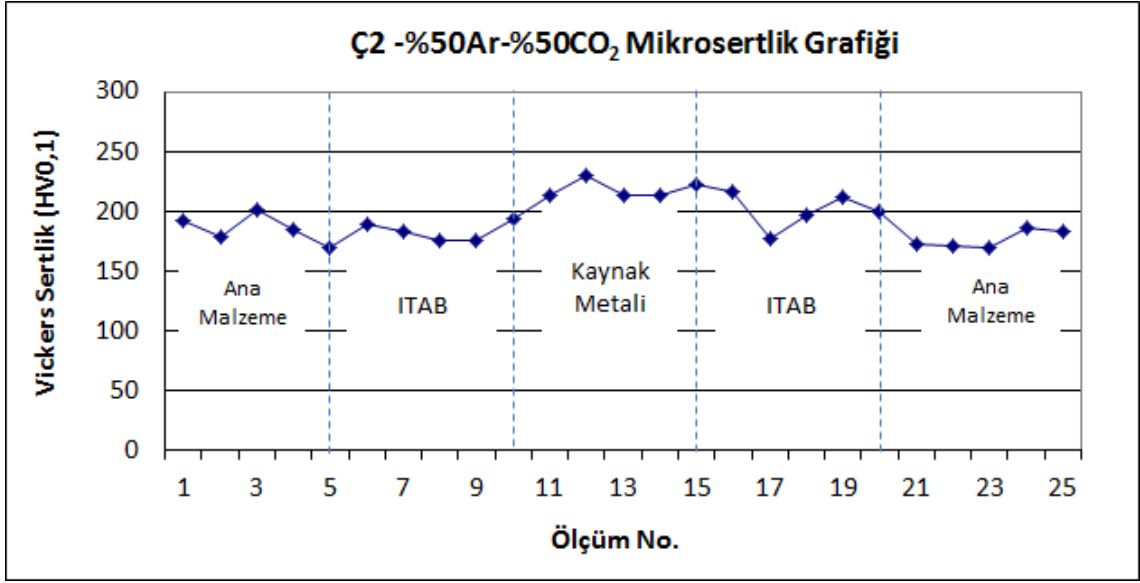
Numune	6. nokta (ITAB ve civarı)	
	Maksimum Sıcaklık (°C)	Soğuma Hızı (°C/s)
Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	646	25,6
Ç2-%50Ar-%50CO ₂	1139	22,6
Ç3-DMAG-9Ar-6CO ₂	975	25,5
Ç4-%60Ar-%40CO ₂	707	22,4
Ç5-DMAG-6Ar-9CO ₂	1066	30,4
Ç6-%40Ar-%60CO ₂	1191	23,6
Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ	605	23,3
Ç8-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ	764	14,7
Ç9-%60Ar-%40CO ₂ -ÖZLÜ	852	19,1
Ç10-DMAG-9Ar-6CO ₂ -ÖZLÜ	743	27,4
Ç11-DMAG-6Ar-9CO ₂ -ÖZLÜ	644	18,6
Ç12-%40Ar-%60CO ₂ -ÖZLÜ	1047	20,2



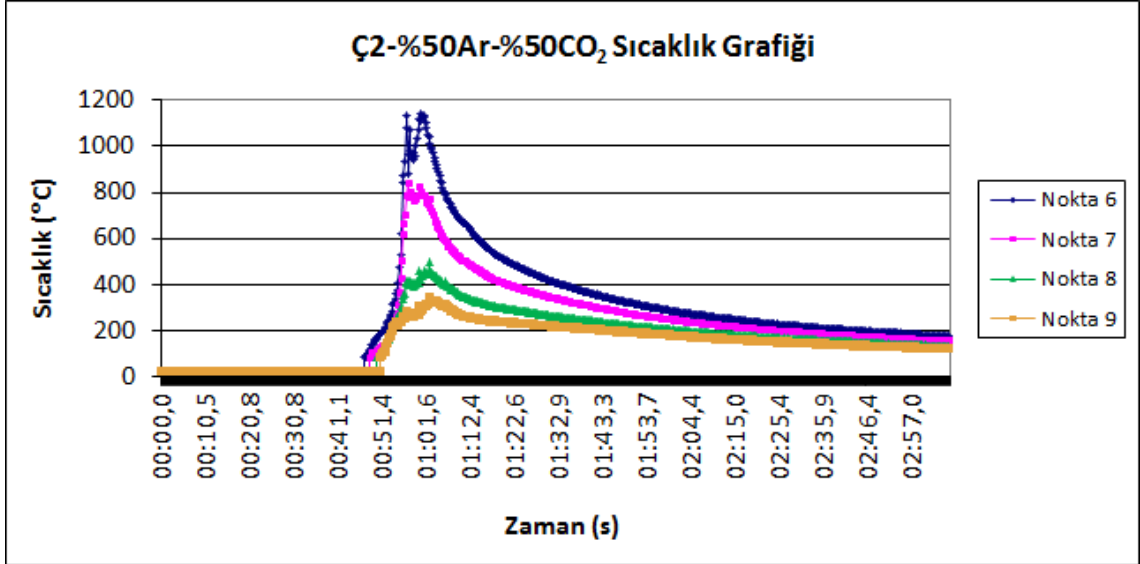
Şekil 5. 11 Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



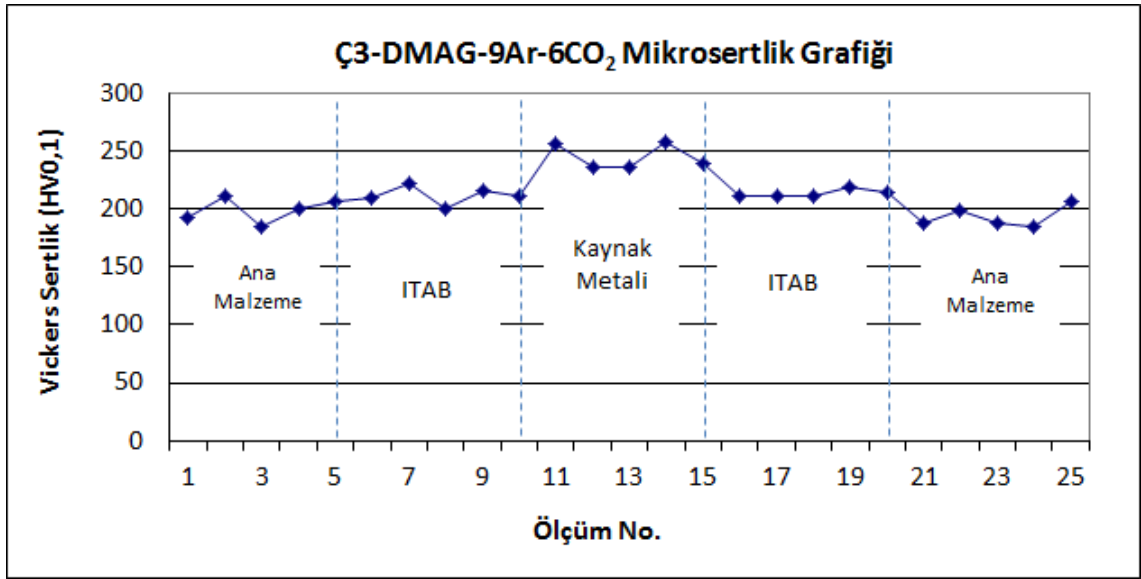
Şekil 5. 12 Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



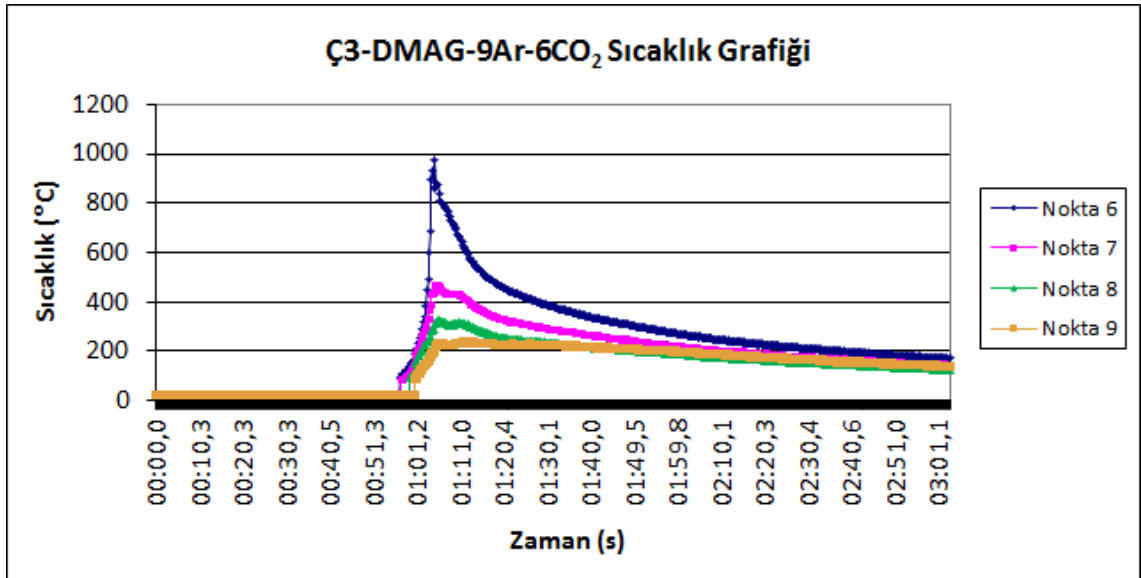
Şekil 5. 13 Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



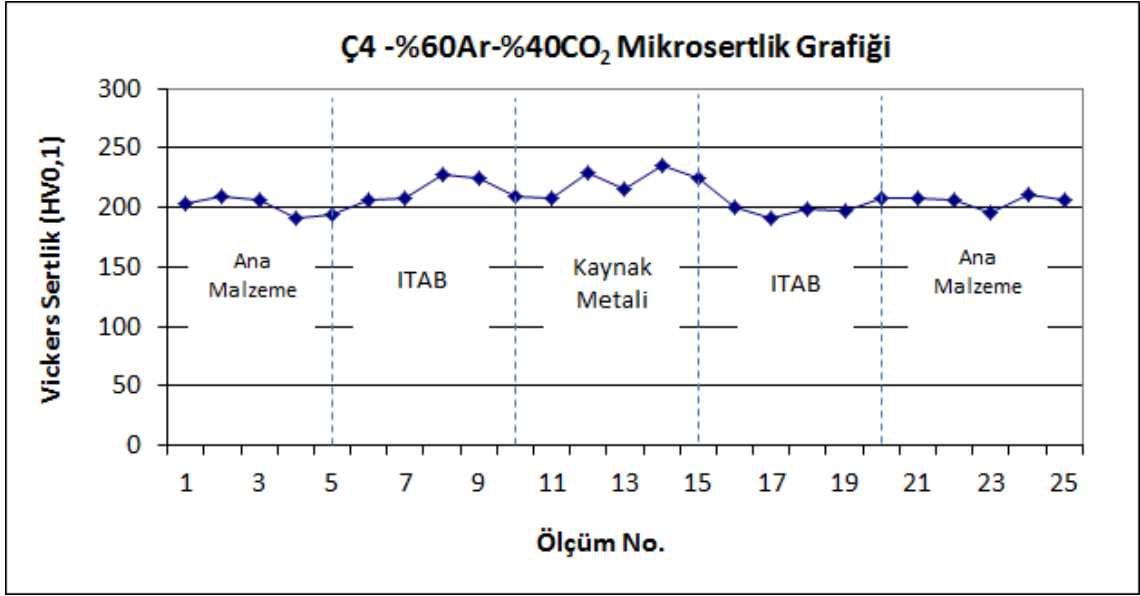
Şekil 5. 14 Ç2-%50Ar-%50CO₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



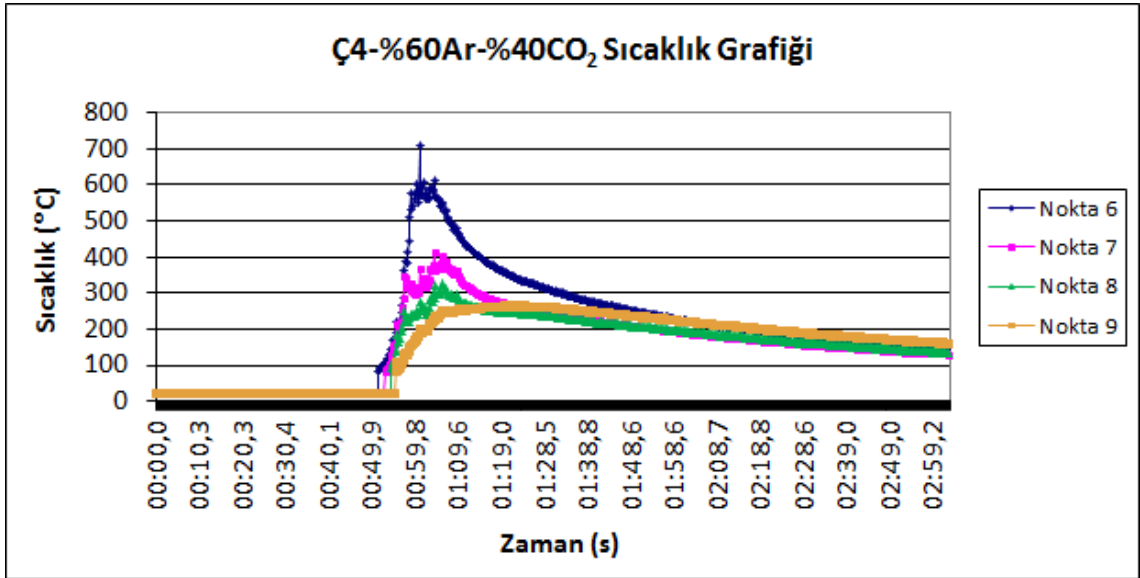
Şekil 5. 15 Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



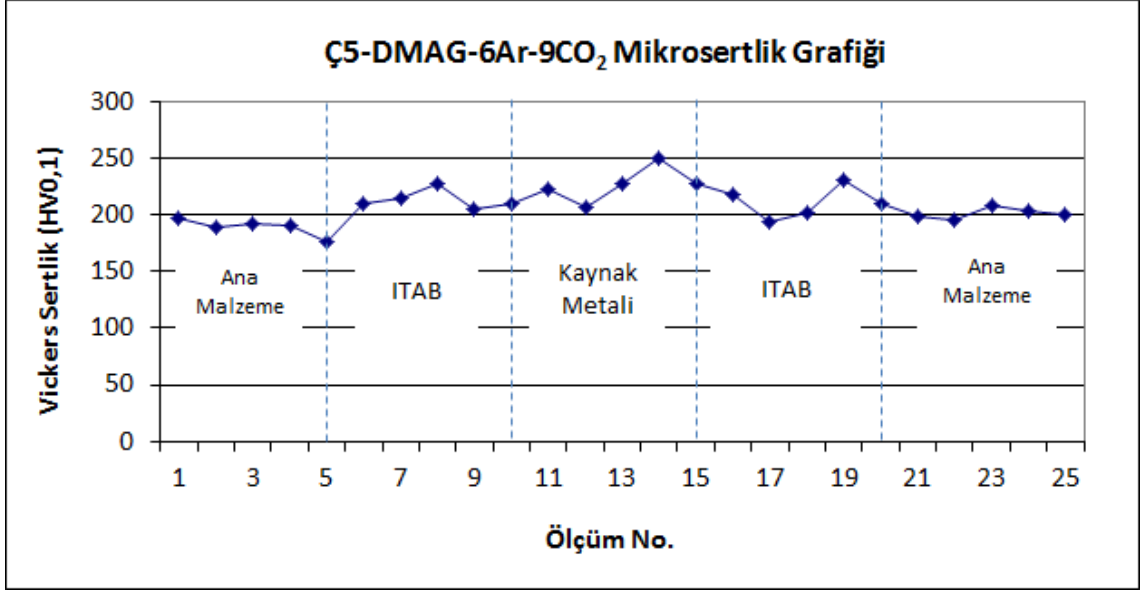
Şekil 5. 16 Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



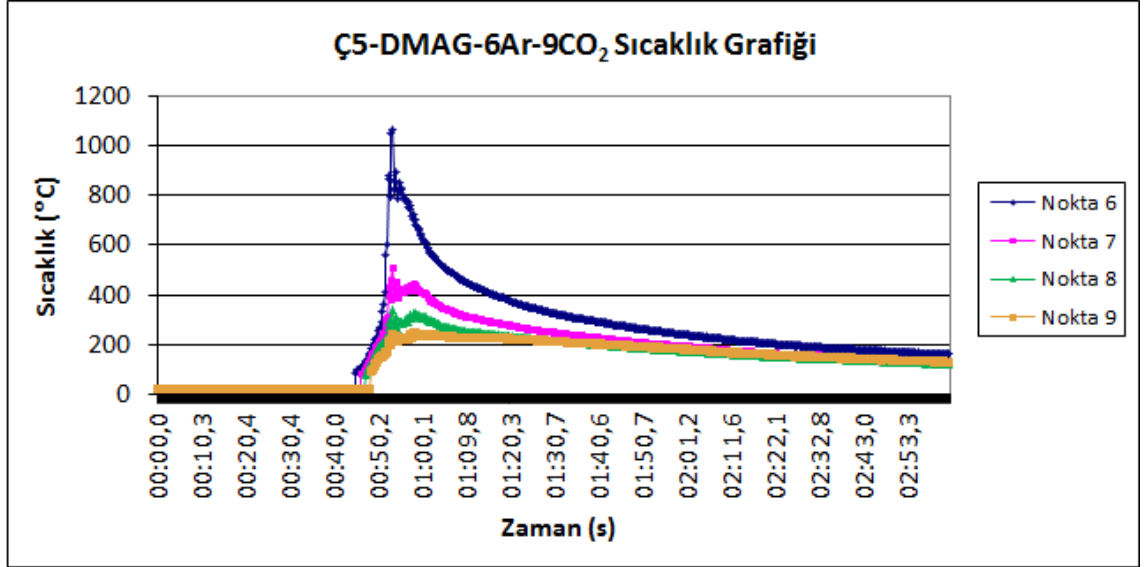
Şekil 5. 17 Ç4-%60Ar-%40CO₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



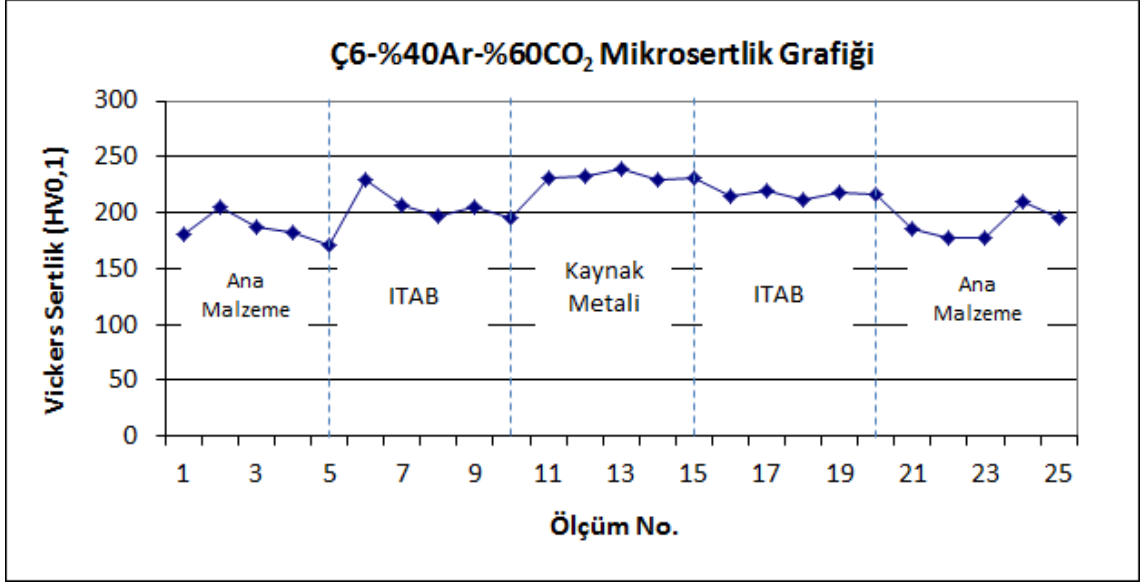
Şekil 5. 18 Ç4-%60Ar-%40CO₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



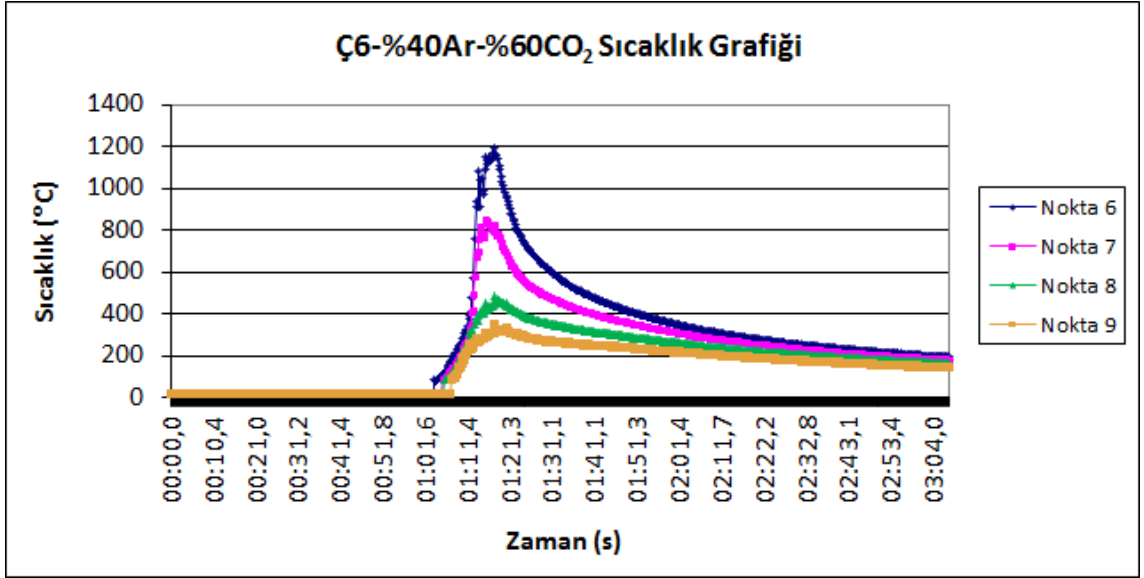
Şekil 5. 19 Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



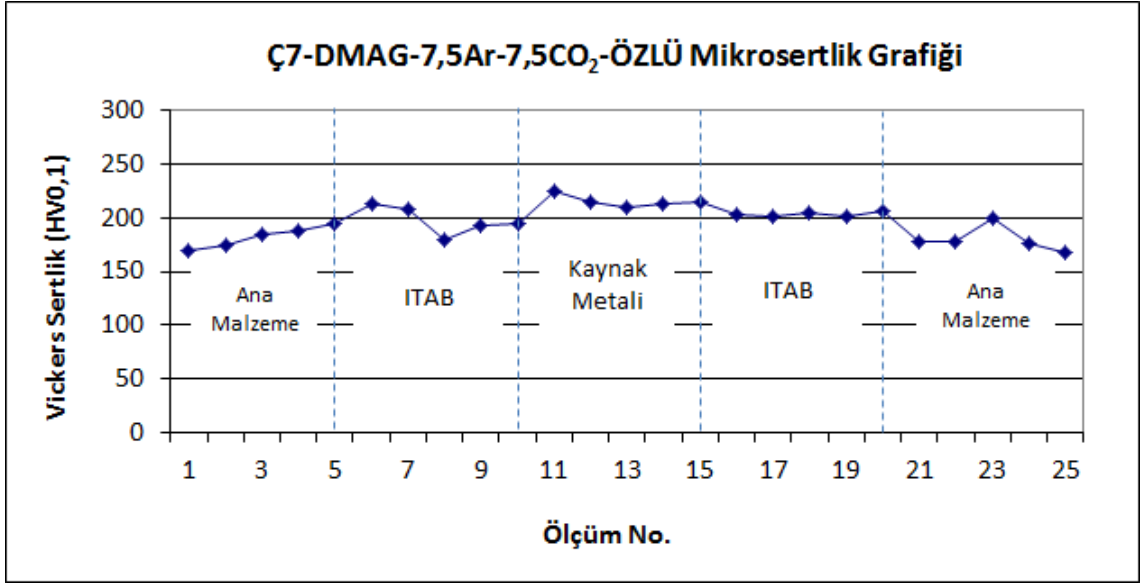
Şekil 5. 20 Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



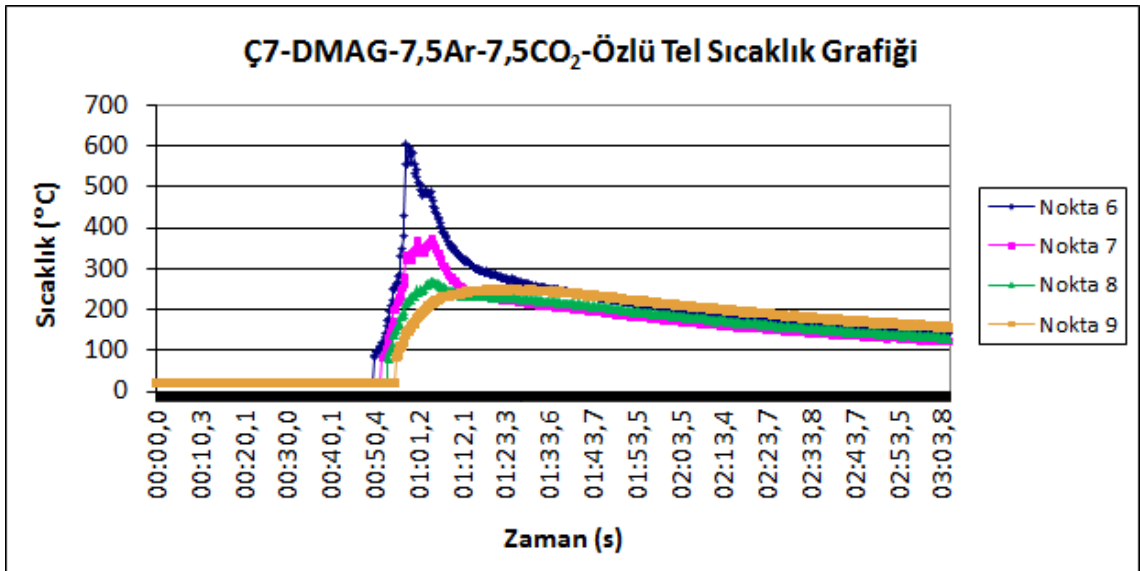
Şekil 5. 21 Ç6-%40Ar-%60CO₂ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



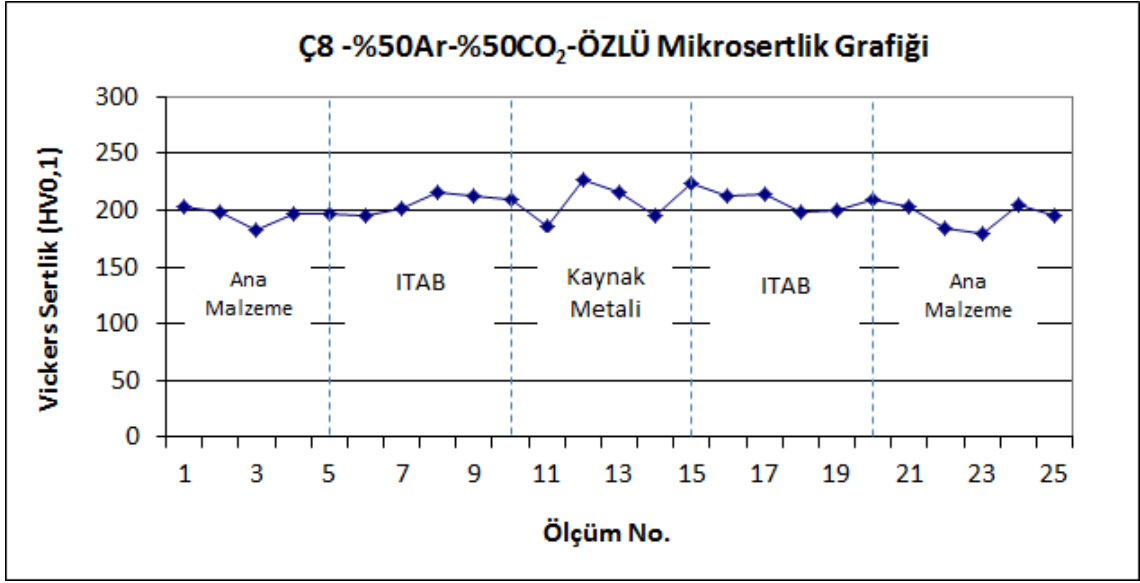
Şekil 5. 22 Ç6-%40Ar-%60CO₂ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



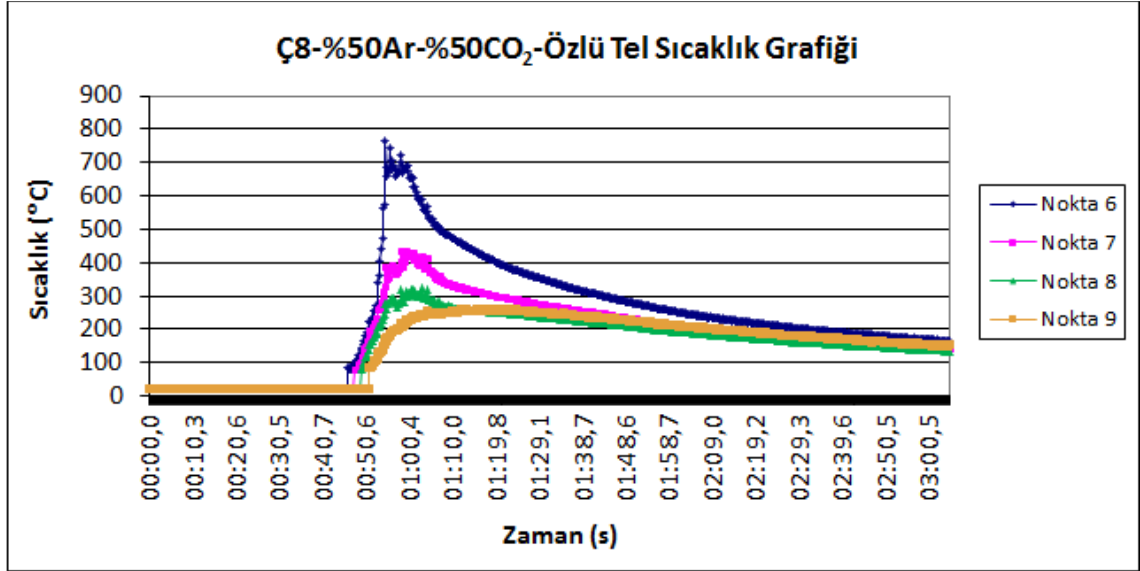
Şekil 5. 23 Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



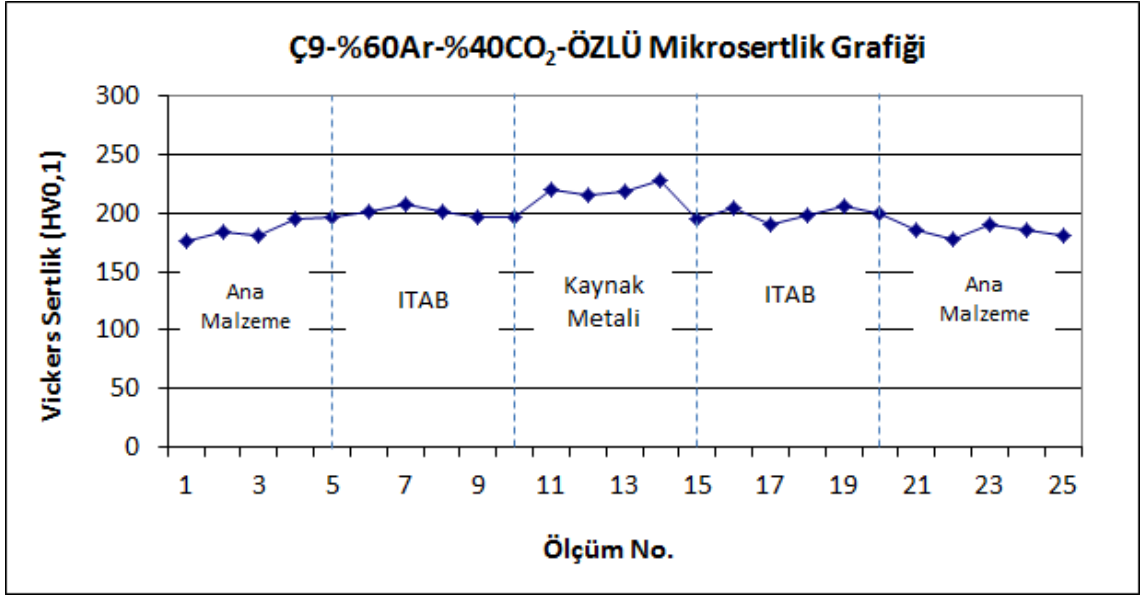
Şekil 5. 24 Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



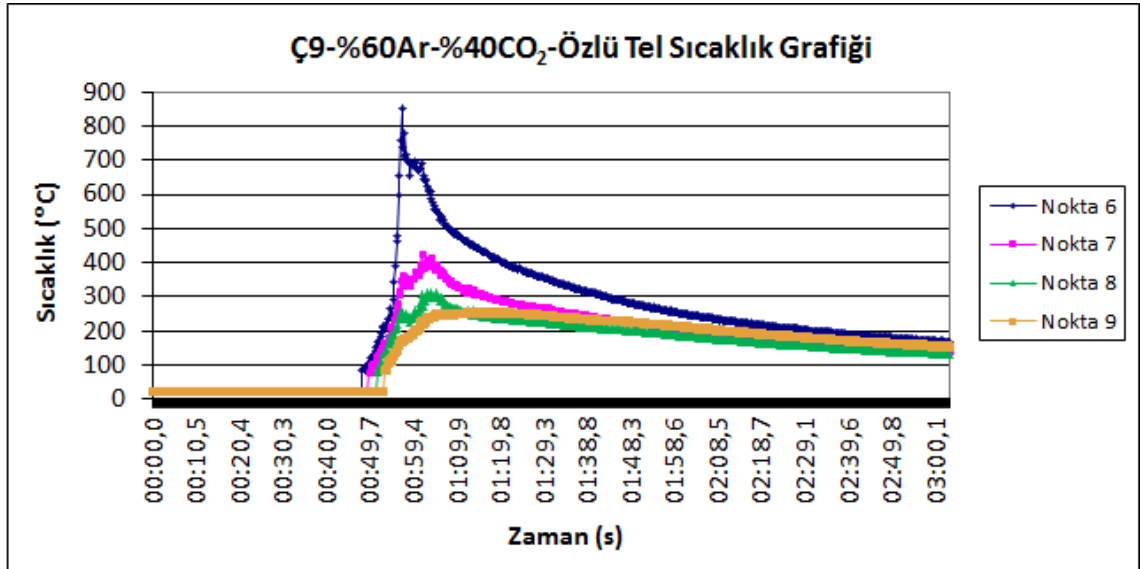
Şekil 5. 25 Ç8-%50Ar-%50CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



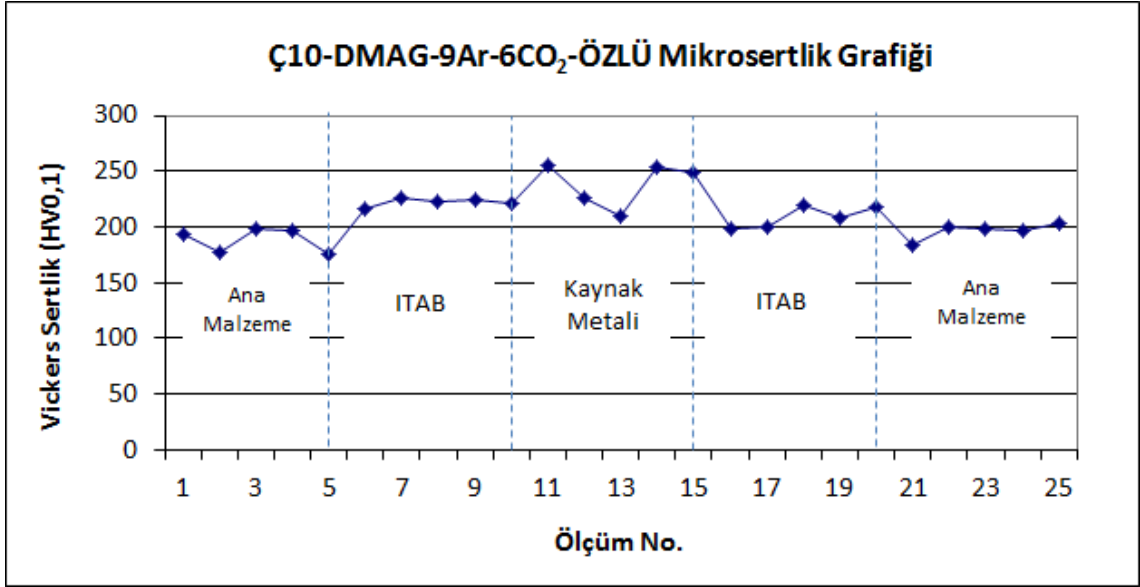
Şekil 5. 26 Ç8-%50Ar-%50CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



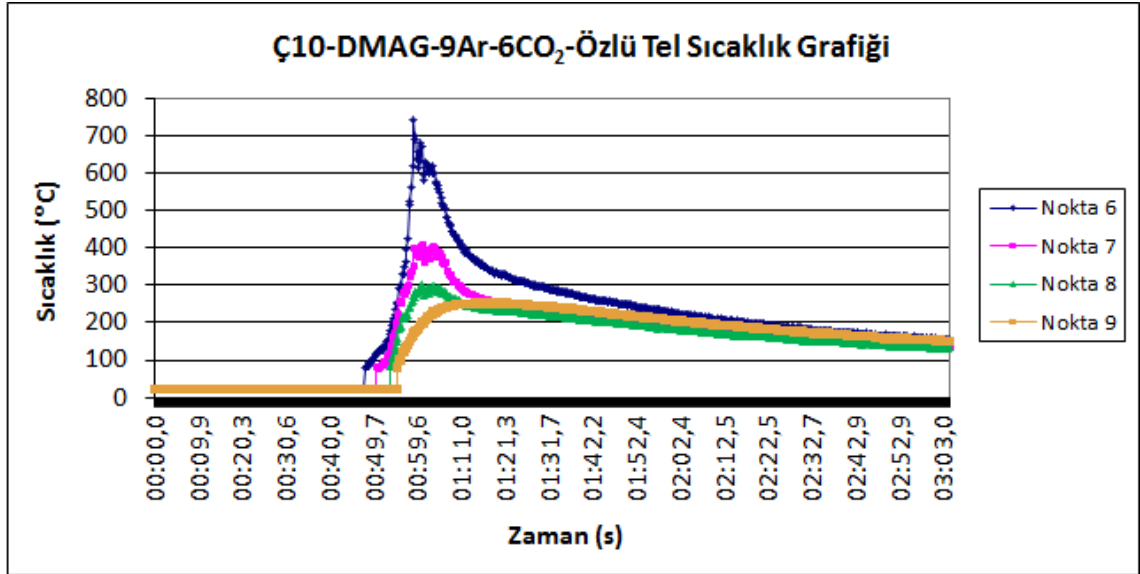
Şekil 5. 27 Ç9-%60Ar-%40CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



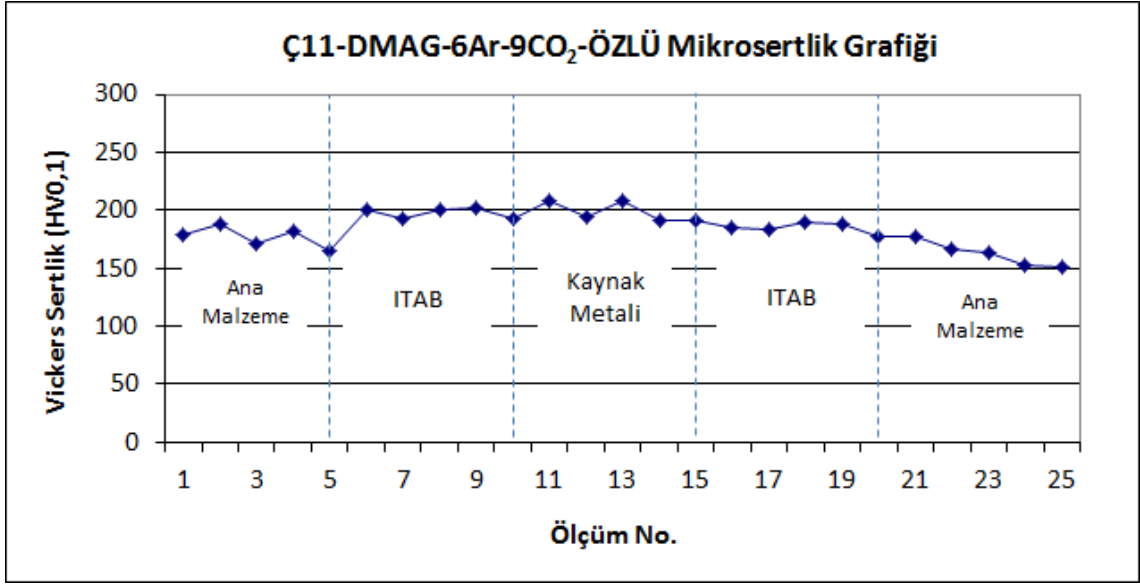
Şekil 5. 28 Ç9-%60Ar-%40CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



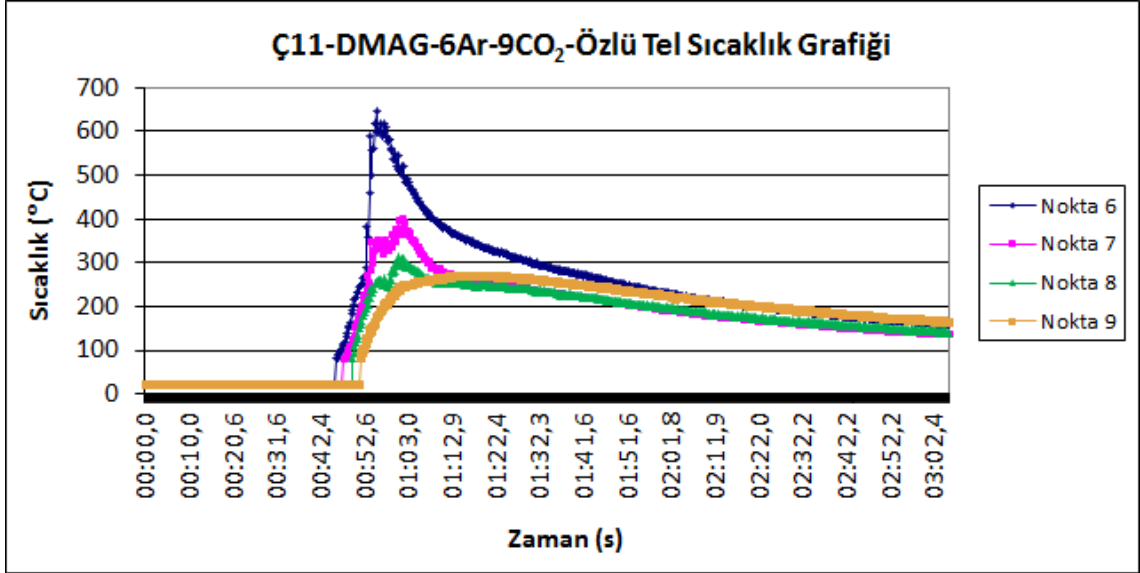
Şekil 5. 29 Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



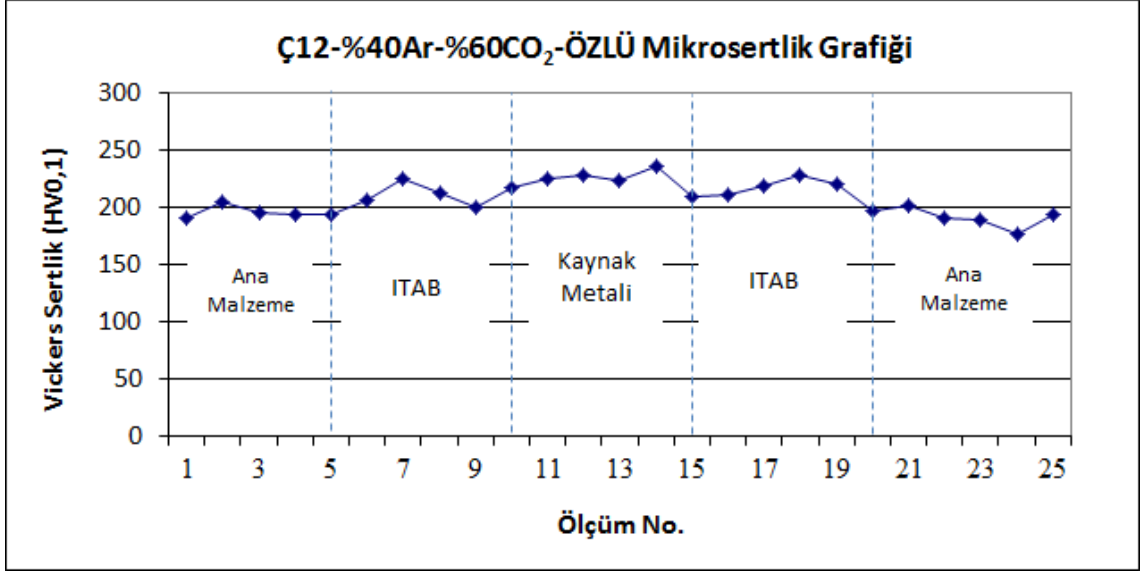
Şekil 5. 30 Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



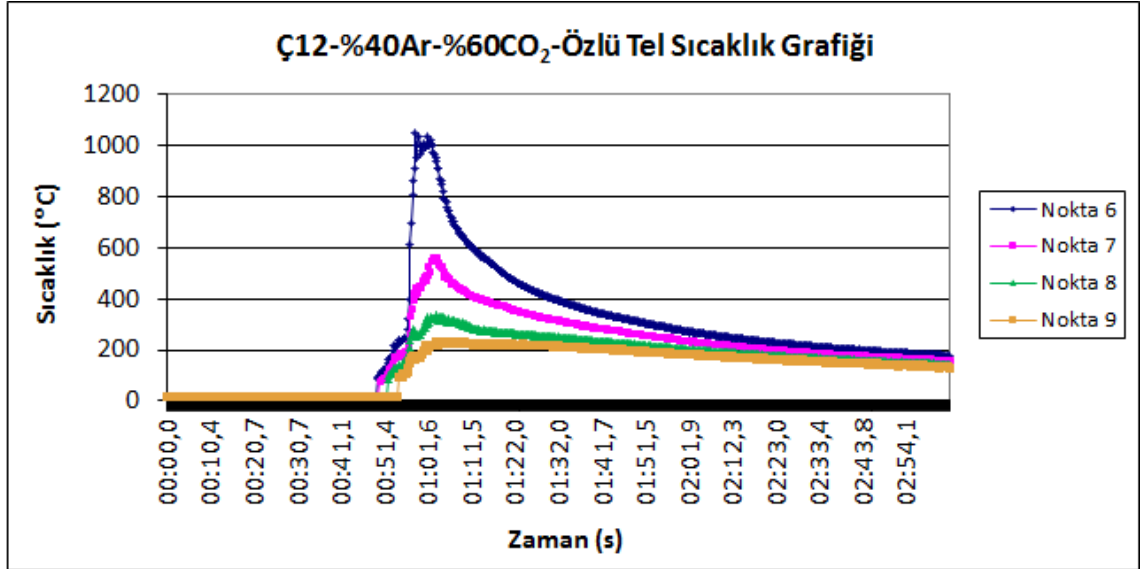
Şekil 5. 31 Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



Şekil 5. 32 Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği



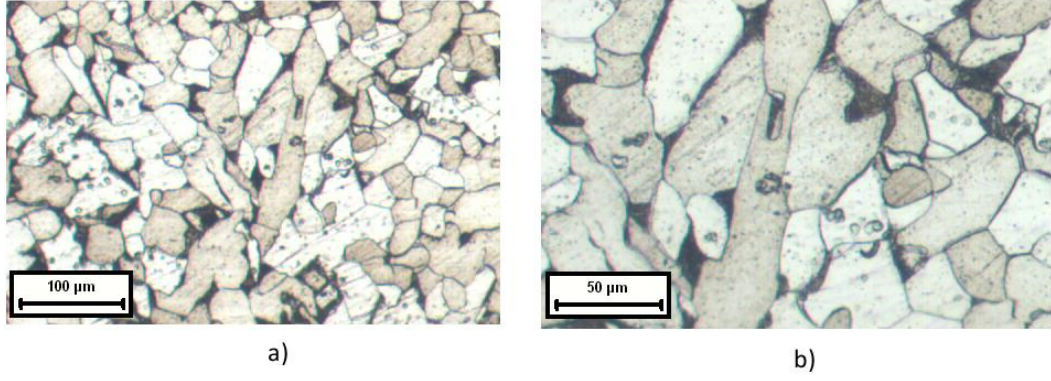
Şekil 5. 33 Ç12-%40Ar-%60CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



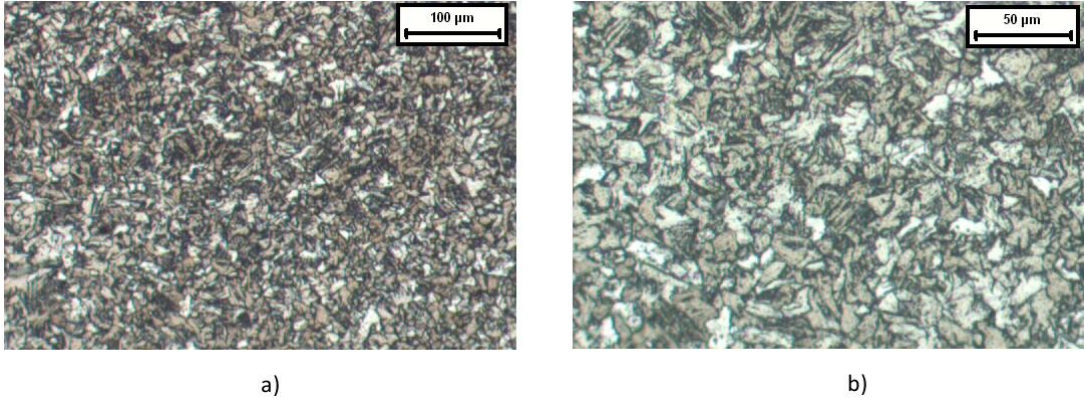
Şekil 5. 34 Ç12-%40Ar-%60CO₂-ÖZLÜ V-alın kaynak numunesinin ITAB ve civarındaki sıcaklık grafiği

5.2.2 Mikroyapı Fotoğrafları

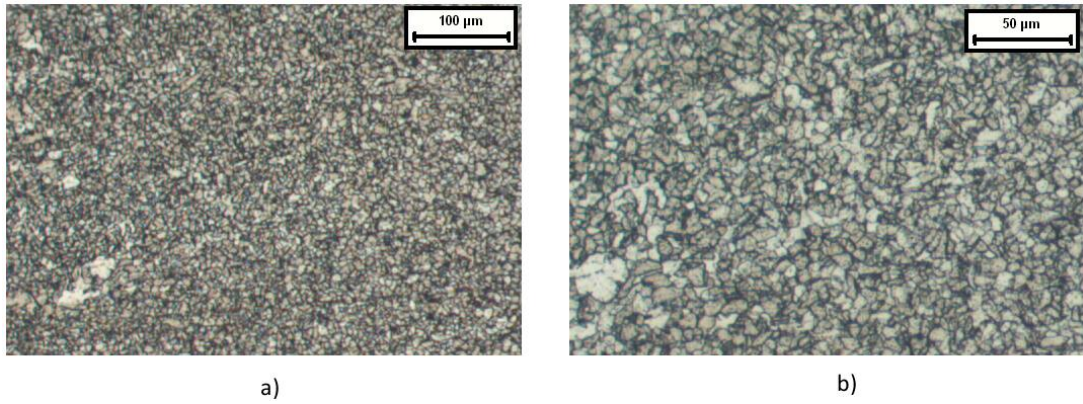
S235JR düşük karbonlu çelik ana malzemeye ait 100x ve 200x büyütmelelerdeki mikroyapı fotoğrafları şekil 5.35’de verilmektedir. Ana malzeme tipik ferritik+perlitik içyapı göstermektedir.



Şekil 5. 35 S235JR ana malzemeye ait mikroyapı fotoğrafları. a) 100x, b) 200x büyütme V-alın kaynaklı numunelerin ısı tesiri altındaki bölgelerinin (ITAB) ve kaynak metallerinin mikroyapı fotoğrafları da alınmıştır. Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ numunelerine ait 100x ve 200x’de alınmış ITAB mikroyapı fotoğrafları, sırasıyla, şekil 5.36 ve 5.37’de, yine 100x ve 200x’de alınmış kaynak metali mikroyapı fotoğrafları ise, sırasıyla, şekil 5.38 ve 5.39’da verilmektedir.

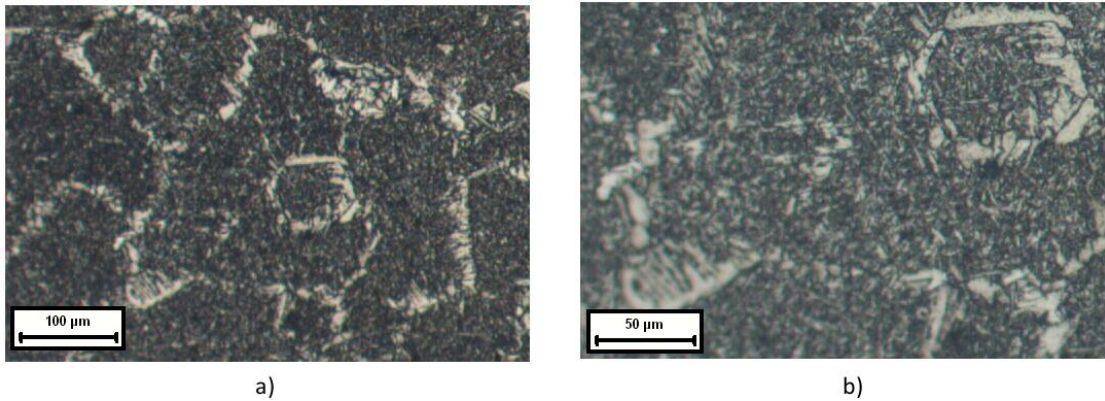


Şekil 5. 36 Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ numunesinin ITAB bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları. a) 100x, b) 200x

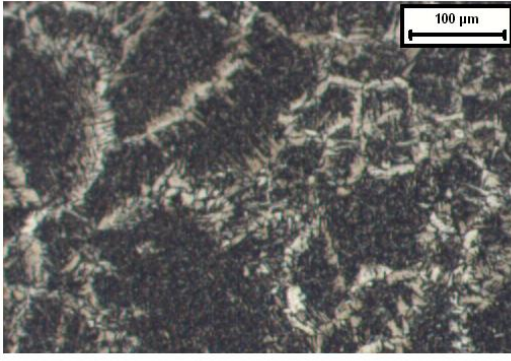


Şekil 5. 37 Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ numunesinin ITAB bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları. a) 100x, b) 200x

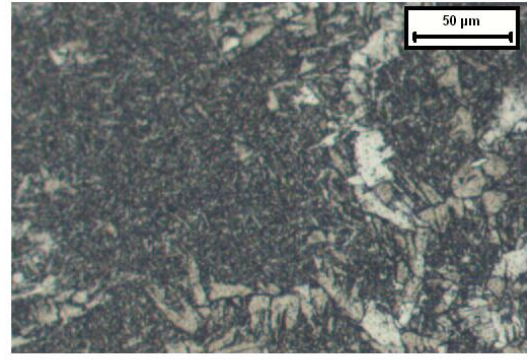
Şekil 5.40 ve şekil 5.41’de ise Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ numunelerine ait kaynak metallerinin 500x büyütmedeki mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Masif tel kullanılarak kaynak edilmiş olan Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂, Ç4-%60Ar-%40CO₂, Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ ve Ç6-%40Ar-%60CO₂ numunelerine ait kaynak metallerinin 500x büyütmedeki mikroyapı fotoğrafları ise sırasıyla, şekil 5.42, 5.43, 5.44 ve 5.45’de verilmiştir. Mikroyapı fotoğraflarından görüleceği üzere, geleneksel karışım gazı ile kaynağa kıyasla, çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynakta katılaşma aşamasında dallantılı (dendritik) doku oluşumu daha düşük seviyede kalmıştır. Bu durum, çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynak edilen numunelerde akma ve çekme dayanımları ile tokluk değerlerinde artış olmasına neden olmuştur. Dayanım değerlerindeki artışa paralel olarak uzama miktarlarında da bir miktar düşüş olması beklenen bir sonuç olmaktadır. Hem çift kanallı gaz yönlendirmesi ile hem de geleneksel karışım gazı ile kaynakta sertlikteki ufak farklılıklar dışında sertliklerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir ve bunun nedeni olarak aynı kalınlığa sahip (20 mm) V-alın kaynak numunelerinde ısı transferinin numunenin genişliği boyunca, kaynak metalinden ana malzemeye doğru büyük oranda homojen şekilde gerçekleşmesi ve bunun sonucu olarak da aynı oranda koruyucu gaz kullanımı durumlarında tane boyutlarının birbirine yakın (eşdeğer) olması söylenebilmektedir.



Şekil 5. 38 Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ numunesinin kaynak metaline ait 100x (a) ve 200x (b) büyütme mikroyapı fotoğrafları

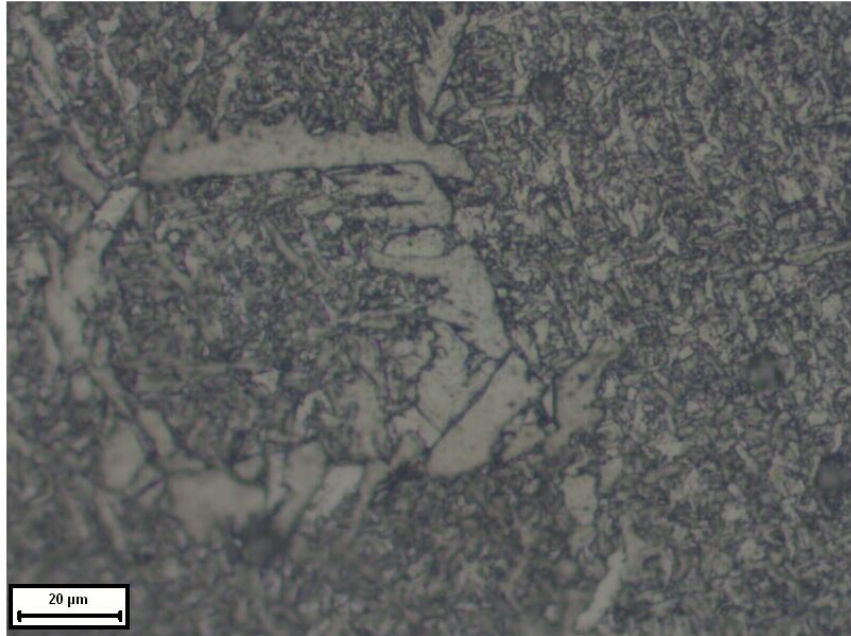


a)

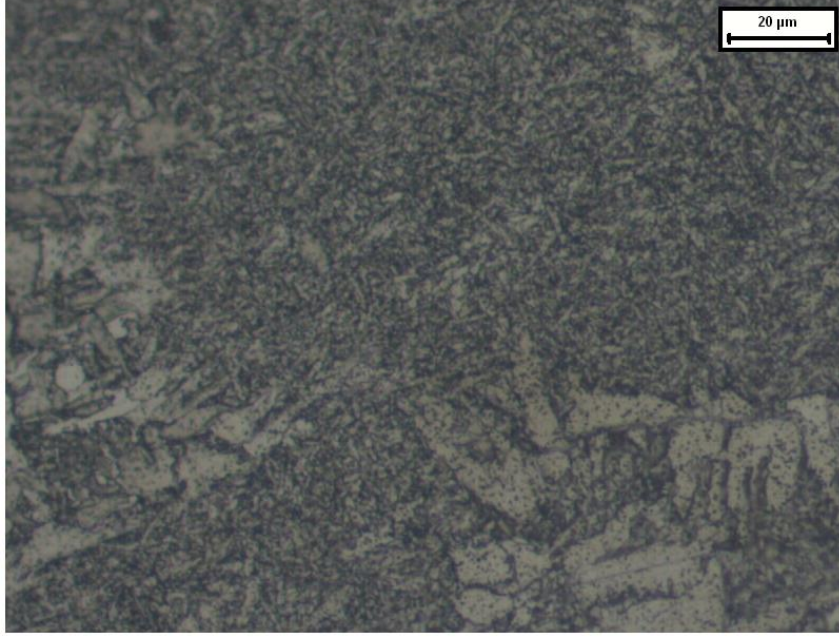


b)

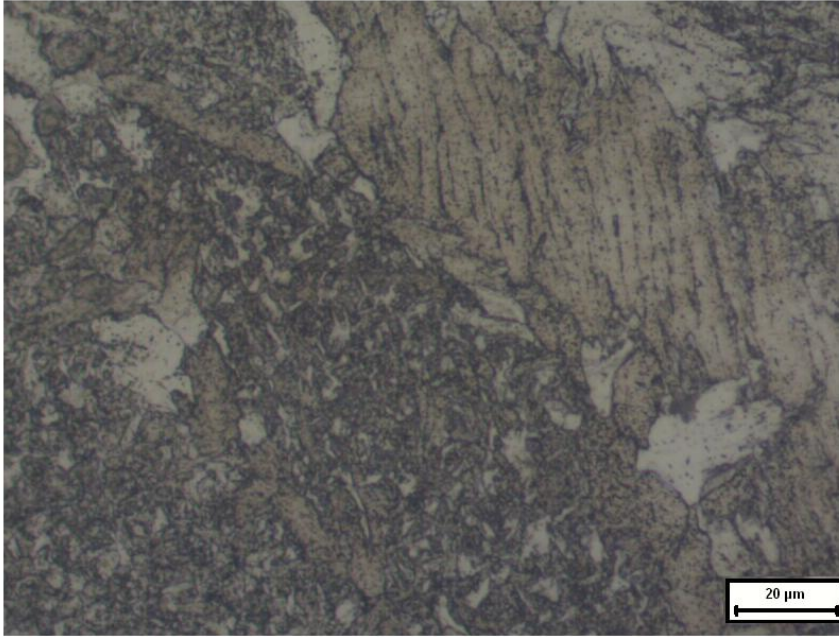
Şekil 5. 39 Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ numunesinin kaynak metaline ait 100x (a) ve 200x (b) büyütmeli mikroyapı fotoğrafları



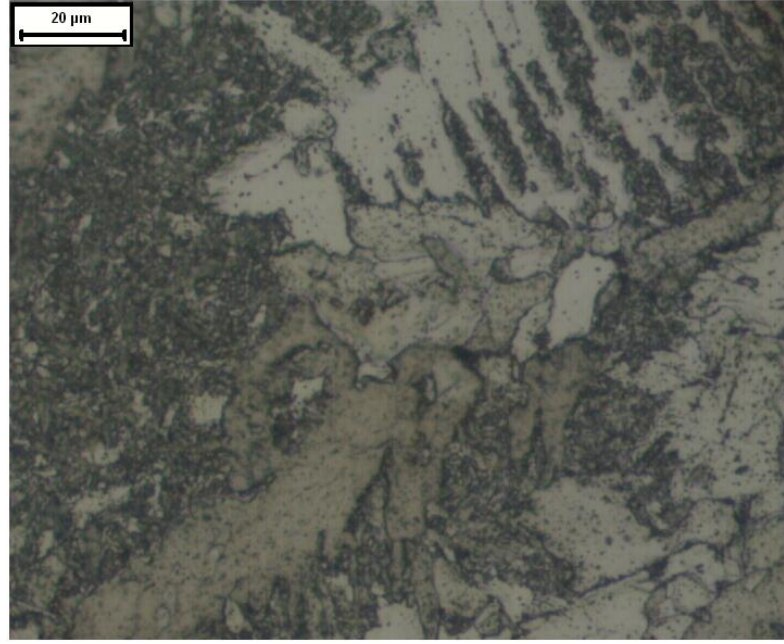
Şekil 5. 40 Ç1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



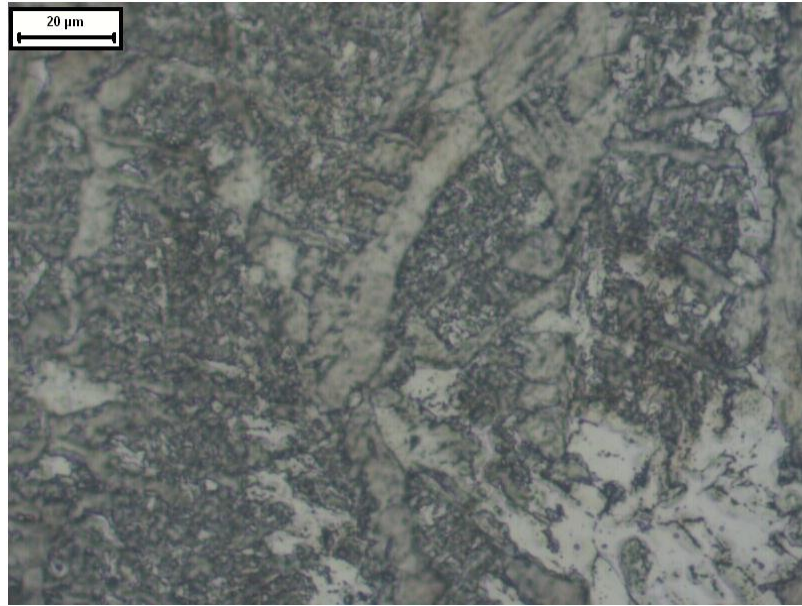
Şekil 5. 41 Ç2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



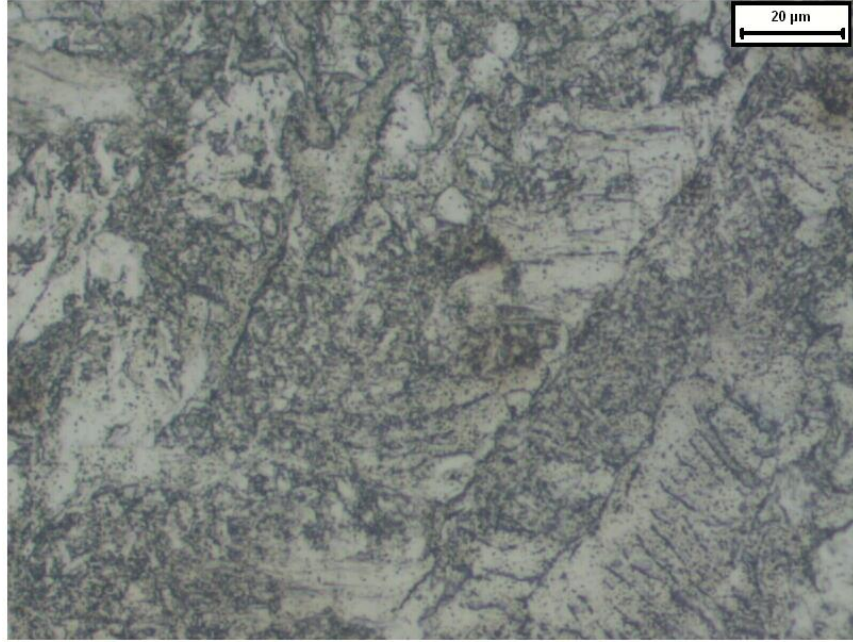
Şekil 5. 42 Ç3-DMAG-9Ar-6CO₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



Şekil 5. 43 Ç4-Karışım-%60Ar-%40CO₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı

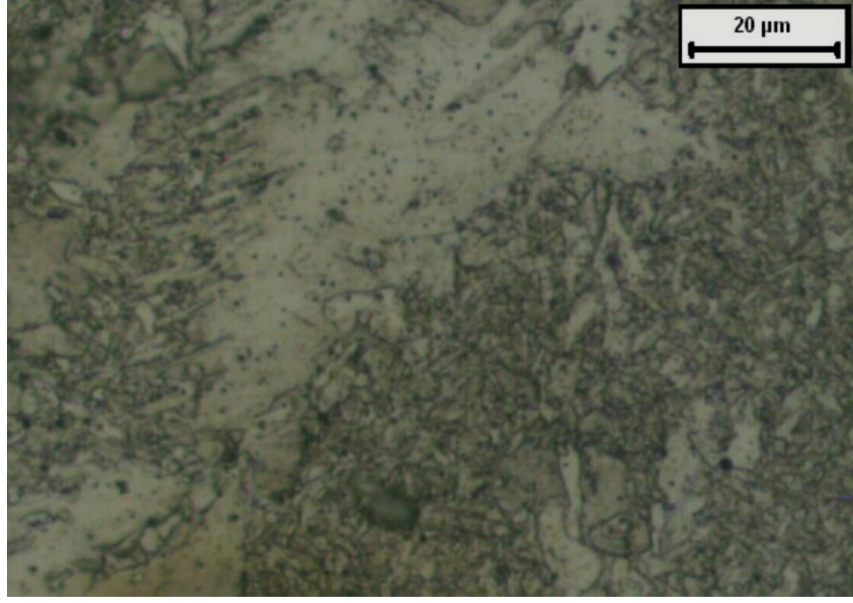


Şekil 5. 44 Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı

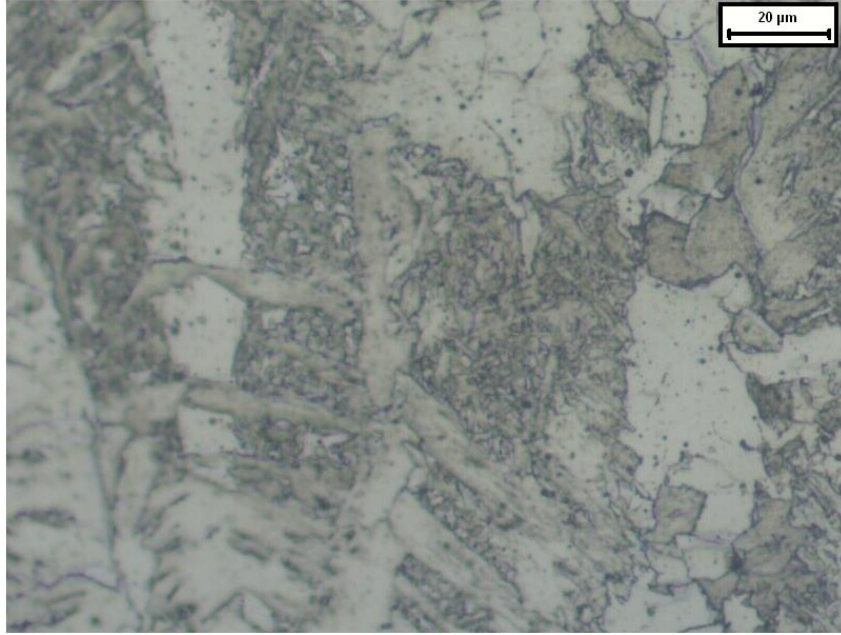


Şekil 5. 45 Ç6-Karışım-%40Ar-%60CO₂ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı

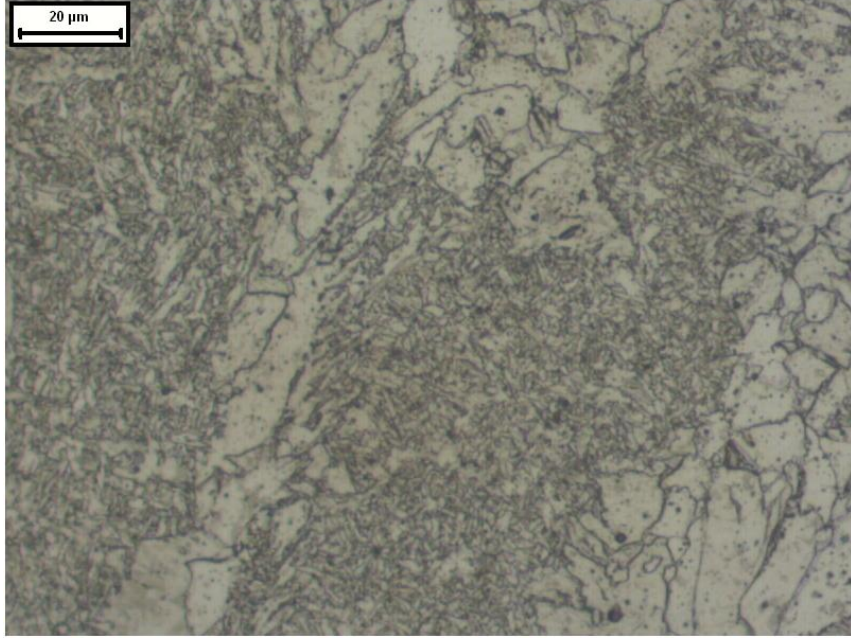
Metal özlü tel kullanımında da, masif tel kullanımında olduğu gibi çift kanallı gaz yönlendirmesi ile dallantılı (dendritik) dokunun daha az oluştuğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak da yine akma ve çekme mukavemeti ile tokluk değerlerinin DMAG yönteminde daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Mukavemet değerlerindeki artışa paralel olarak uzama miktarında da bir miktar düşüş olması beklenen bir sonuç olmaktadır. Şekil 5.46, 5.47, 5.48, 5.49, 5.50 ve 5.51’de sırasıyla, Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-ÖZLÜ, Ç8-%50Ar-%50CO₂-ÖZLÜ, Ç9-%60Ar-%40CO₂-ÖZLÜ, Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-ÖZLÜ, Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-ÖZLÜ ve Ç12-%40Ar-%60CO₂-ÖZLÜ numunelerine ait 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafları verilmektedir.



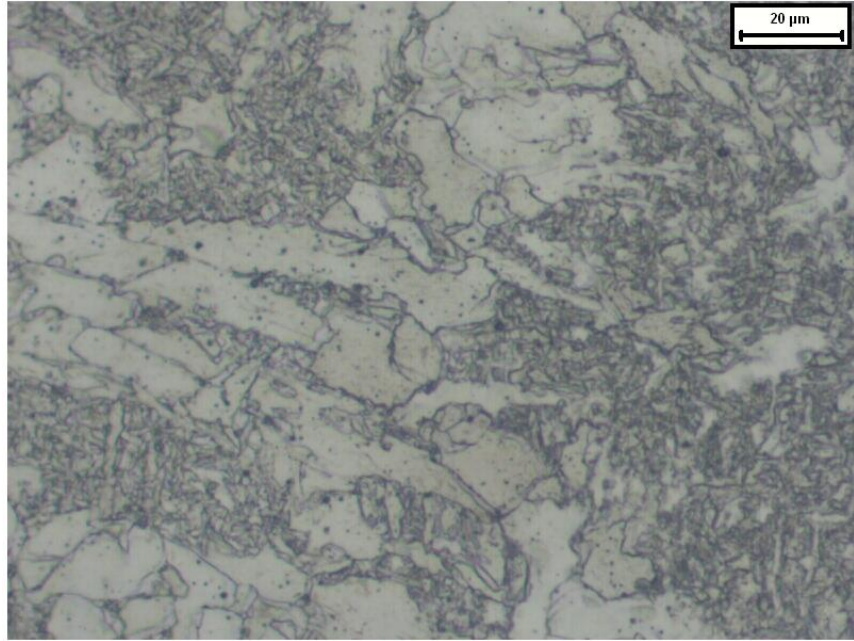
Şekil 5. 46 Ç7-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂-ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



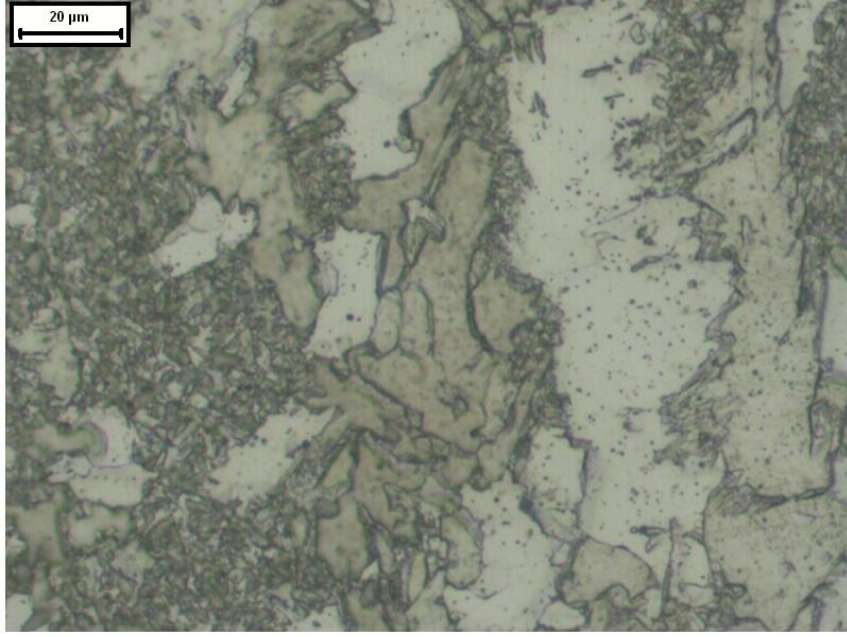
Şekil 5. 47 Ç8-Karışım-%50Ar-%50CO₂-ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



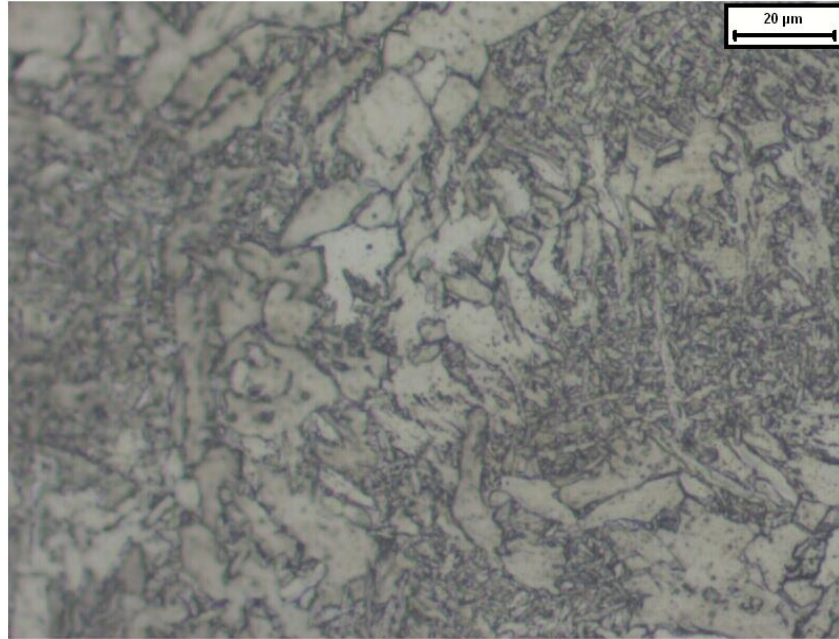
Şekil 5. 48 Ç9-Karışım-%60Ar-%40CO₂-ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



Şekil 5. 49 Ç10-DMAG-9Ar-6CO₂-ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



Şekil 5. 50 Ç11-DMAG-6Ar-9CO₂-ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı



Şekil 5. 51 Ç12-Karışım-%40Ar-%60CO₂-ÖZLÜ numunesinin 500x büyütmedeki kaynak metali mikroyapı fotoğrafı

5.3 T-Köşe Kaynak Numunelerinin Kaynağına Ait Deney Sonuçları

Bölüm 4.4.1’de anlatılan tel besleme hızları, kaynak hızları ve gaz oranları ile kaynak edilen S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemedan 6, 8 ve 10 mm kalınlığa sahip T-köşe kaynak numunelerine ait kaynak parametreleri, sırasıyla, bölüm 5.3.1.1 ve 5.3.2.1’de

verilmektedir. Vickers mikrosertlik sonuçları ise, sırasıyla, bölüm 5.3.1.2 ve 5.3.2.2’de verilmektedir. Numunelerin makro fotoğrafları ile kaynak metali ve ITAB alanları ise, sırasıyla, bölüm 5.3.1.3 ve 5.3.2.3’de verilmektedir.

5.3.1 S235JR T-Köşe Kaynak Numuneleri

5.3.1.1 S235JR Malzemedan T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Parametreleri

Çizelge 4.6’da belirtilen numunelerin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri, 6 mm, 8 mm ve 10 mm numune kalınlıkları için sırasıyla, çizelge 5.7, 5.8 ve 5.9’da verilmektedir.

Burada seçilmiş olan numunelerin haricindeki eldeki tüm numunelere ait kaynak parametreleri de incelendiğinde, masif telle kaynakta eş koruyucu gaz oranları için, karışım gazı yöntemine göre çift kanal gaz yönlendirmesi ile elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu ve birim dikiş enerjisi ile toplam ısı girdisi değerlerinin karışım gazı ile kaynakta daha büyük olduğu görülmektedir. Masif tel kullanımında, parça kalınlığının farklı olmasının bu değişikliklere direkt etkisinin olmadığı görülmektedir. Metal özlü tel kullanımında ise çift kanallı gaz yönlendirmesi yönteminde ortalama ark gerilimi değerlerinin arttığı ve karışım gazı yöntemine çok yaklaştığı görülmektedir. Ortalama akım şiddeti değerlerinin de daha yüksek olması ile birlikte birim dikiş enerjisi ve toplam ısı girdisi değerlerinin de karışım gazı yöntemine göre daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Özlü tel kullanımında, parça kalınlığı arttıkça, o parça kalınlığına ait ayarlarla bu değişiklikler daha çok görülmektedir. Tüm parça kalınlıkları ve hem karışım gazı yöntemi hem de çift kanallı gaz yönlendirme yöntemiyle kaynakta, masif tele kıyasla metal özlü telle elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha düşük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha büyük olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 5. 7 6 mm kalınlıĝa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri

Ç-C1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	247	28,8	470	0,817	327
2.paso	238	29,9	470	0,818	
Ç-D1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	250	27,5	470	0,790	319,7
2.paso	247	28,5	470	0,809	
Ç-F2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	229	30,1	470	0,792	318,9
2.paso	221	31,6	470	0,802	
Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (A)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	223	31	470	0,794	314
2.paso	225	30	470	0,776	

Çizelge 5. 8 8 mm kalınlıĝa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri

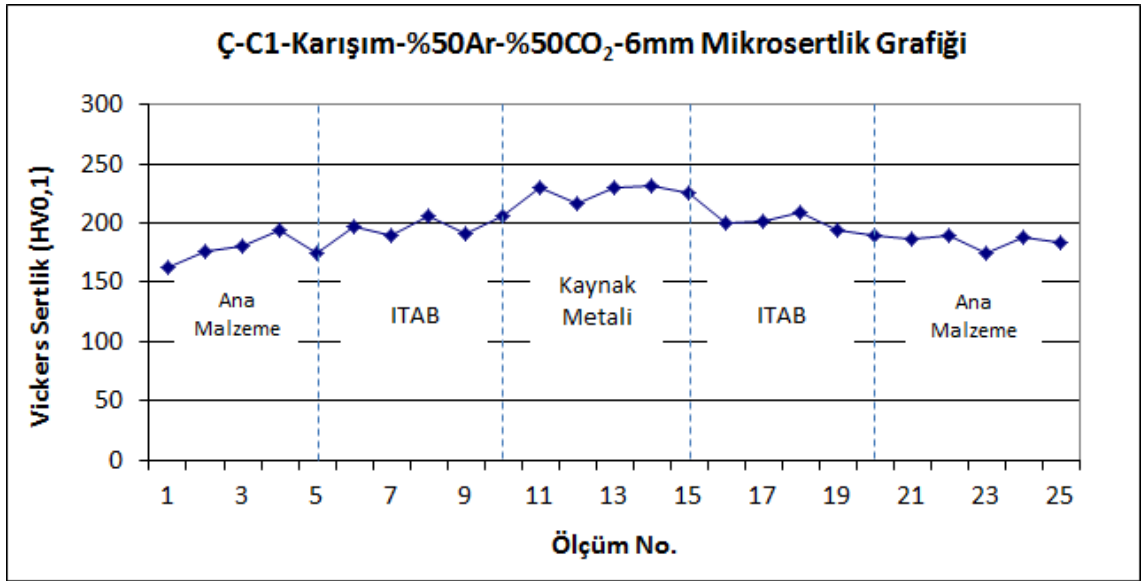
Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	260	28,6	430	0,934	376,9
2.paso	262	28,9	430	0,951	
Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	260	27,5	430	0,898	356,5
2.paso	258	27,3	430	0,885	
Ç-C2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	234	29,5	430	0,867	348,8
2.paso	236	29,6	430	0,877	
Ç-D2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	255	29	430	0,929	369,5
2.paso	248	29,5	430	0,919	

Çizelge 5. 9 10 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri

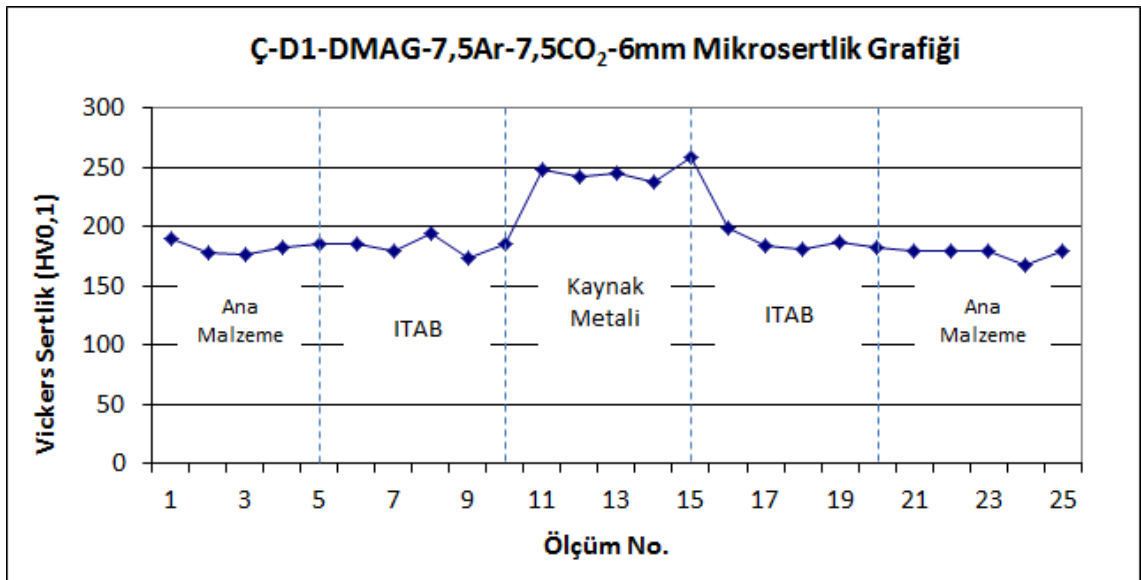
Ç-F1-Karışım-%40Ar-%60CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	278	30,8	340	1,360	549
2.paso	285	30,6	340	1,385	
Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	292	29,2	340	1,354	548,9
2.paso	305	28,7	340	1,390	
Ç-B1-Karışım-%60Ar-%40CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	269	31,2	340	1,333	528,4
2.paso	265	31,1	340	1,309	
Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	275	31	340	1,354	545,6
2.paso	280	30,9	340	1,374	

5.3.1.2 S235JR Malzemeden T-Köşe Kaynak Numunelerinin Mikrosertlik Değerleri

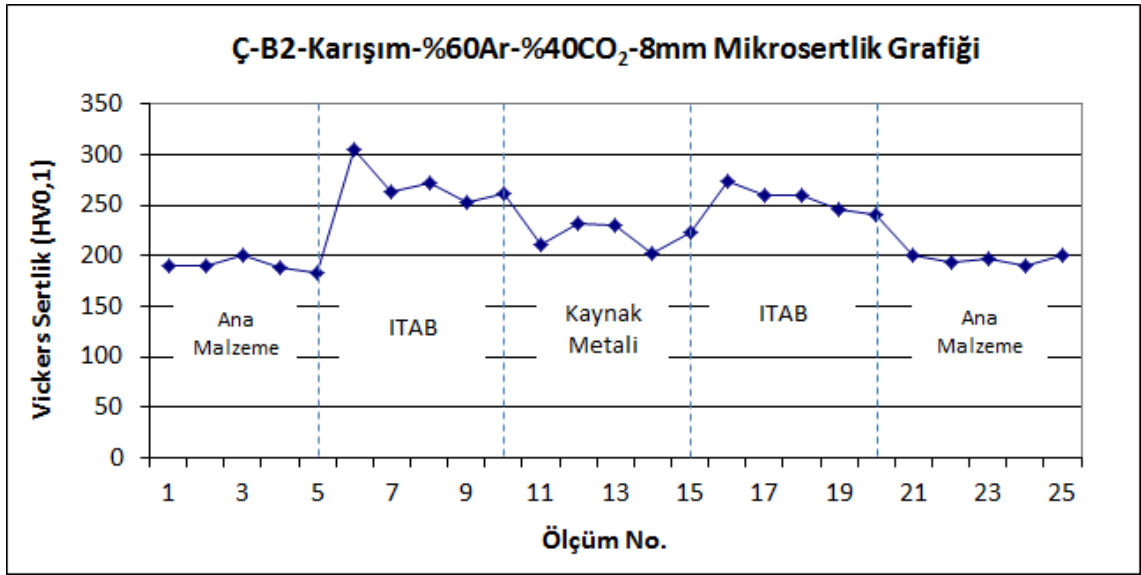
Bölüm 4.4.2’de belirtildiği şekilde T-köşe kaynak numunelerinin Vickers mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları şekil 5.52 – 5.63’de gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde hem masif telle hem de özlü telle yapılan kaynaklarda, 6 mm kalınlığa sahip numunelerdeki aksine, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip numunelerdeki ITAB sertliklerinin, kaynak metali sertliklerinin de üstüne çıktığı görölmüştür. 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip parçaların ısı tesiri altında kalan bölgelerinin sertliklerindeki bu artış, parça geometrisi nedeniyle meydana gelen daha hızlı soğumayla açıklanabilir.



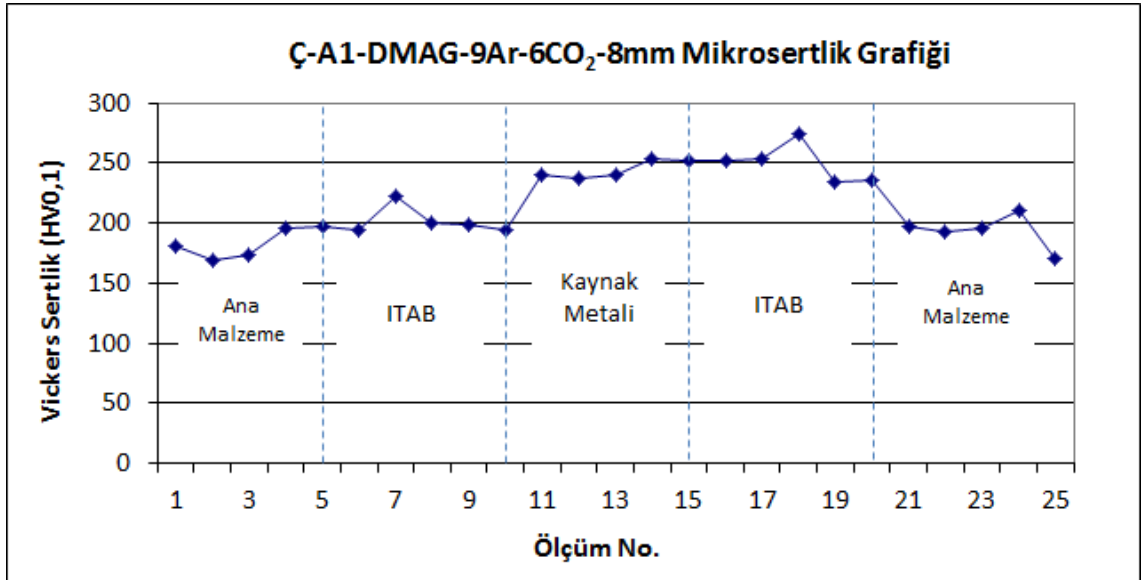
Şekil 5. 52 6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-C1-Karışım-%50Ar-%50CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



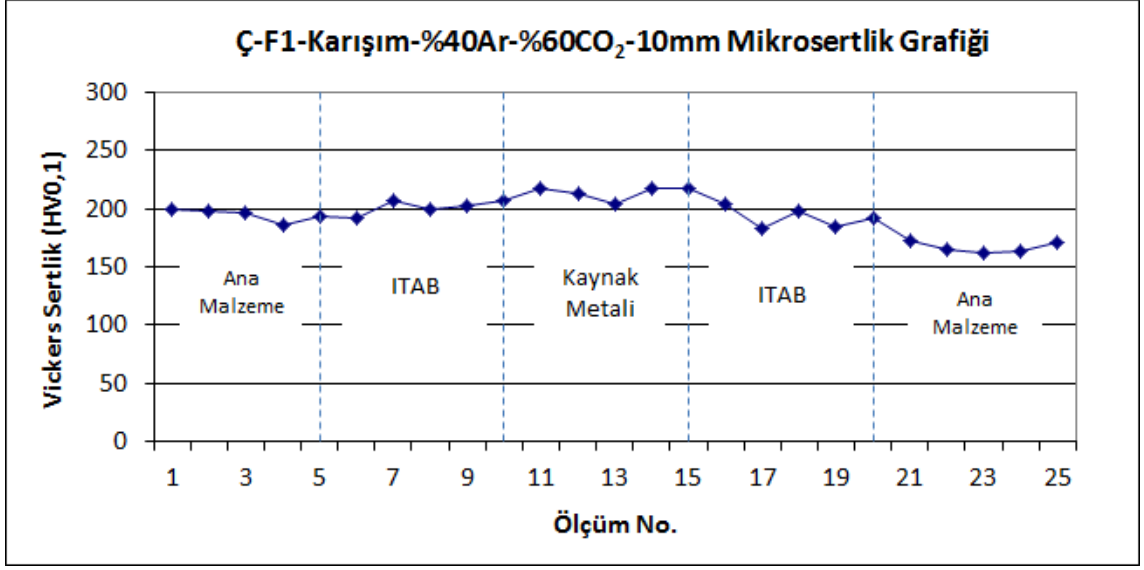
Şekil 5. 53 6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-D1-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



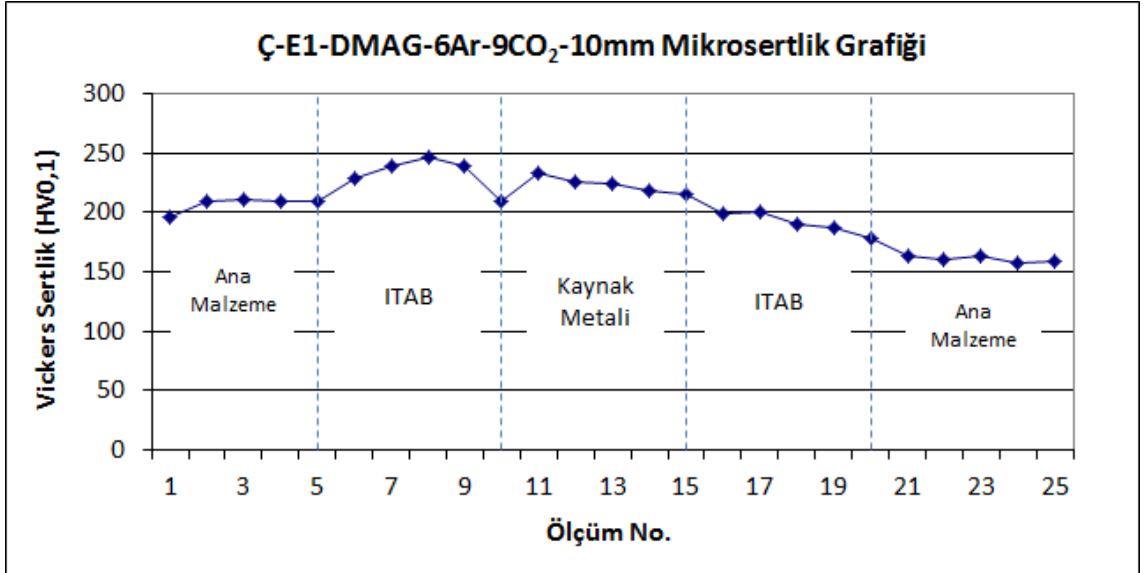
Şekil 5. 54 8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



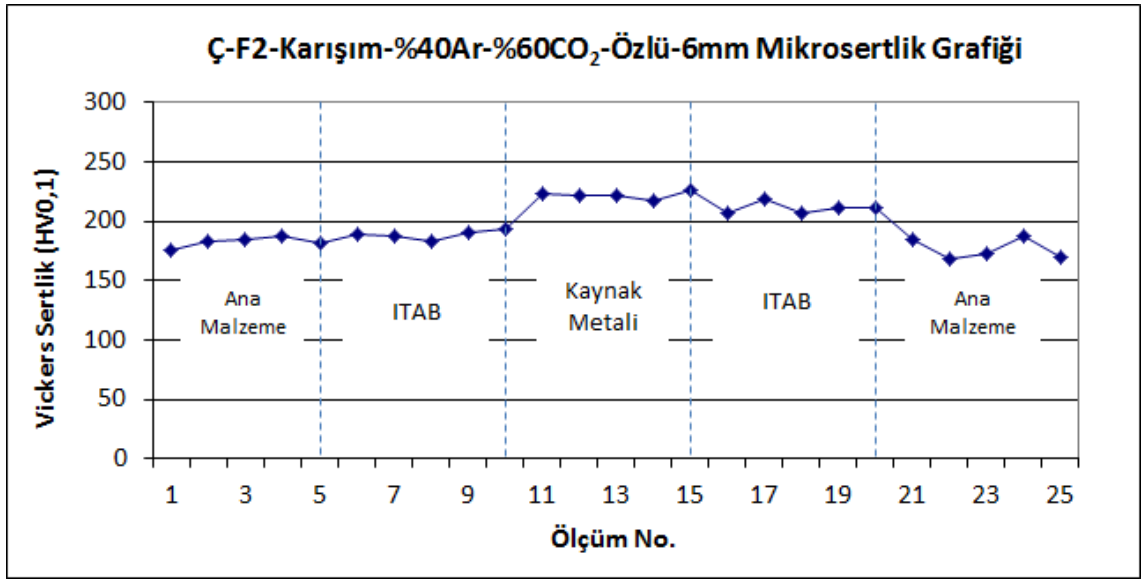
Şekil 5. 55 8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



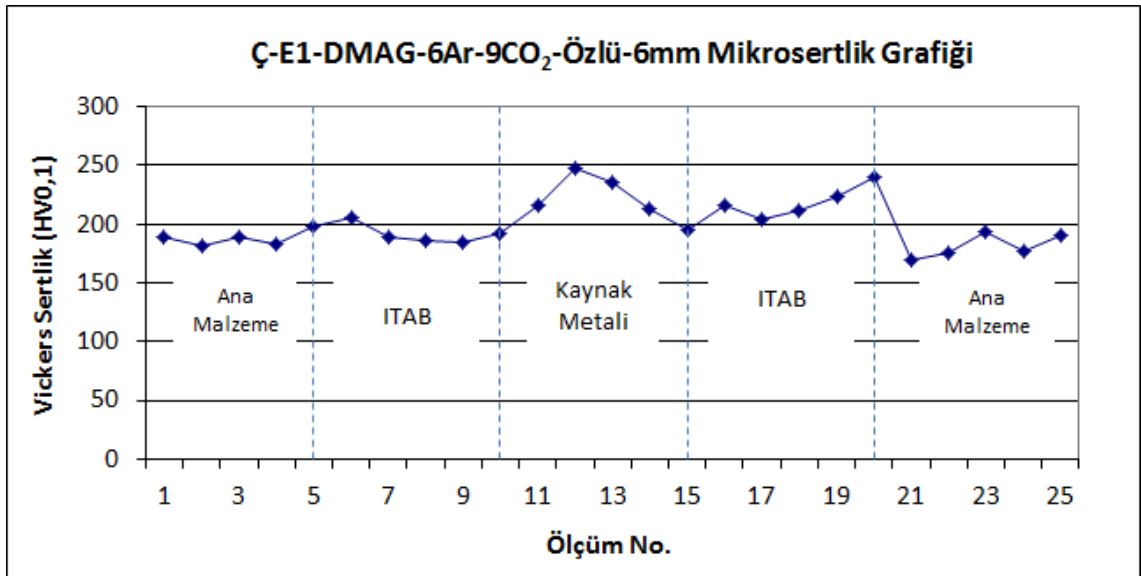
Şekil 5. 56 10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-F1-Karışım-%40Ar-%60CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



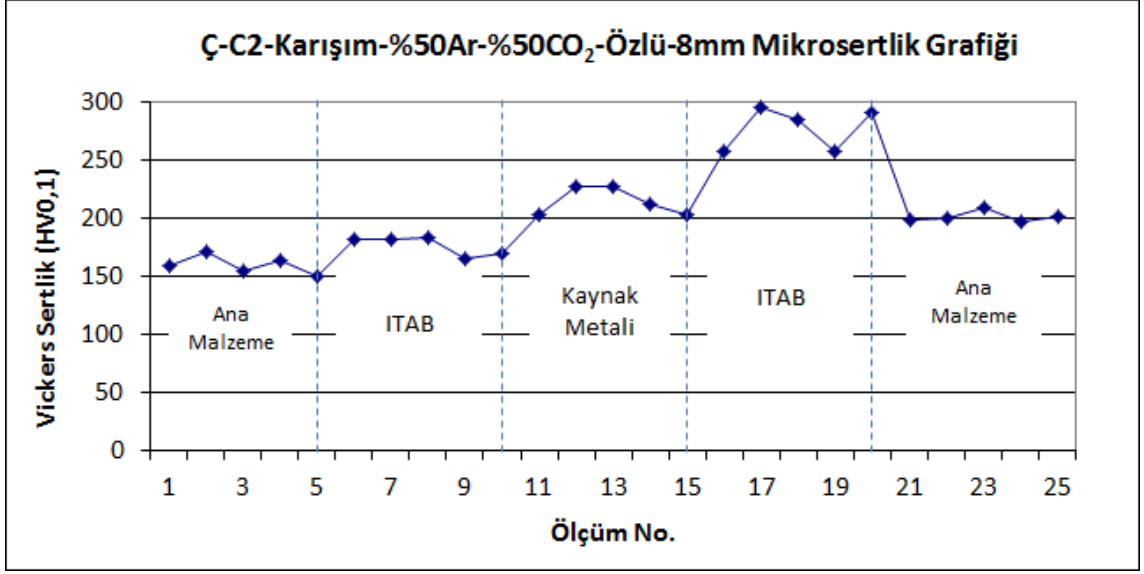
Şekil 5. 57 10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



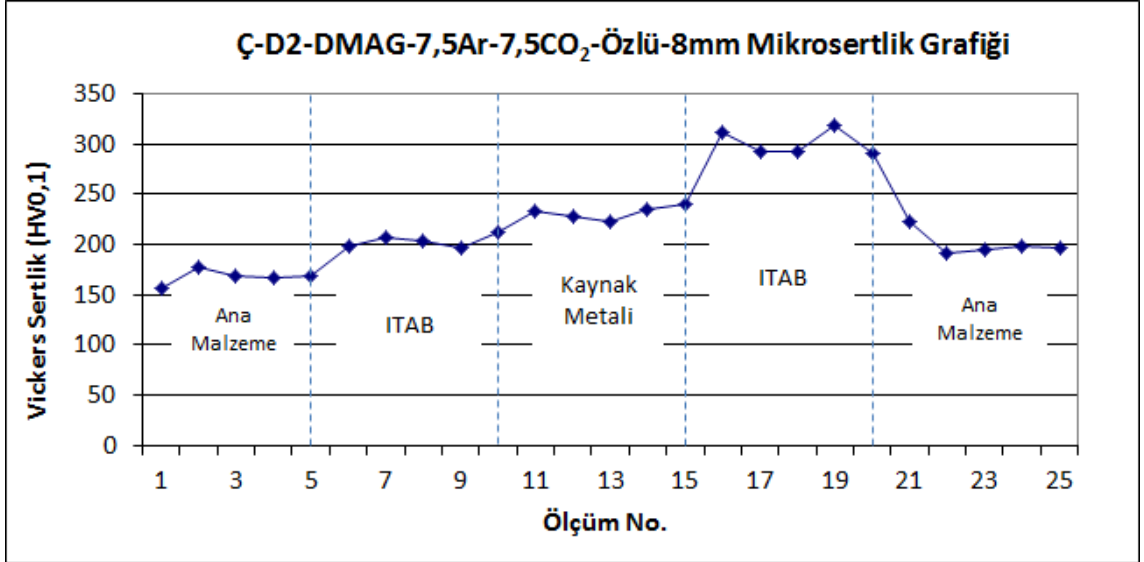
Şekil 5. 58 6 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedен Ç-F2-Karışım-%40Ar-%60CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



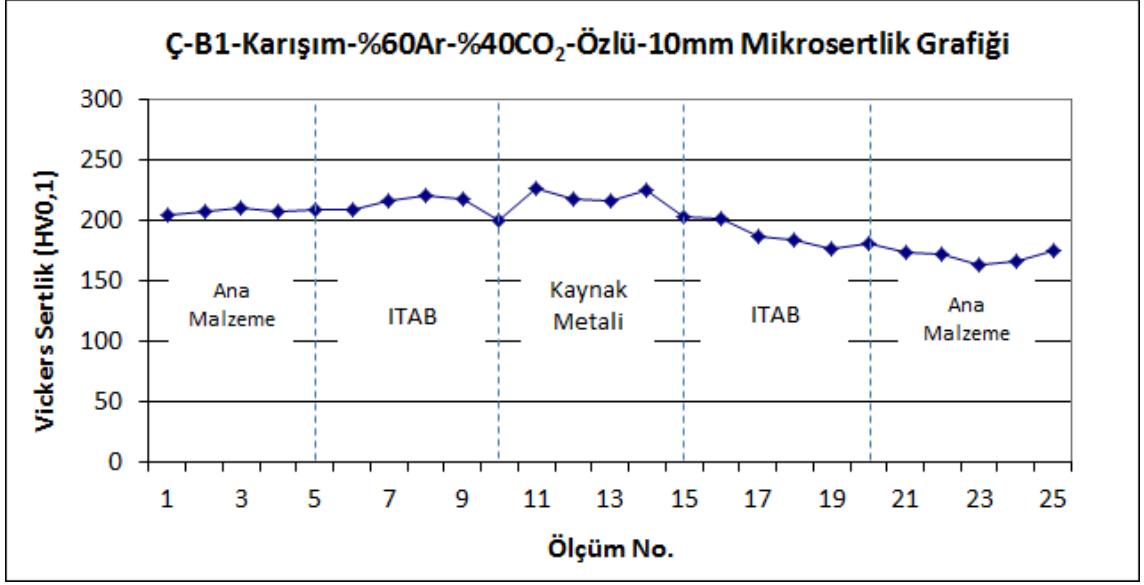
Şekil 5. 59 6 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedен Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



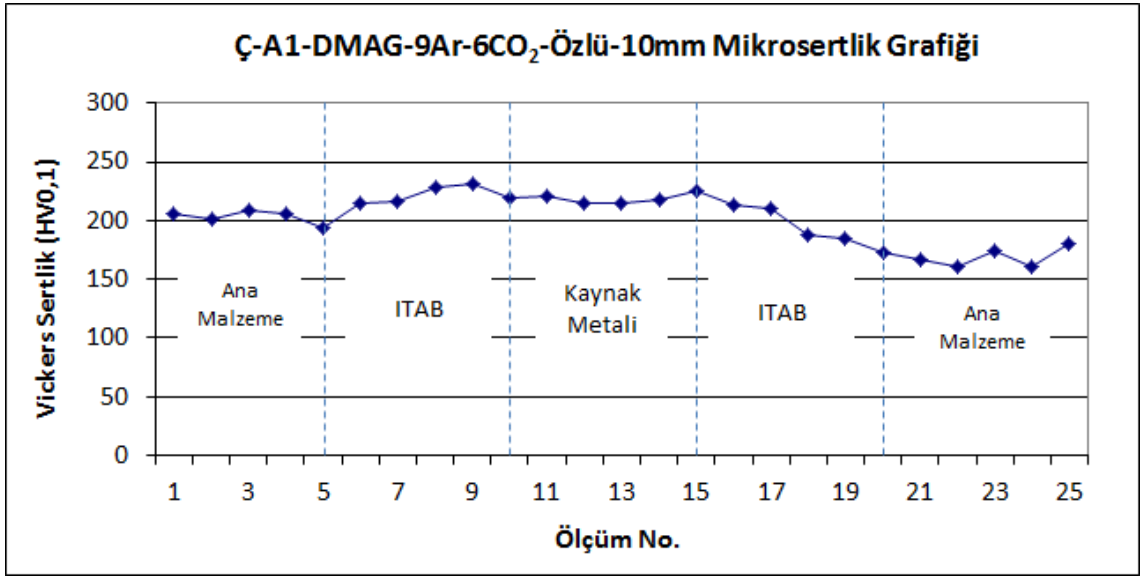
Şekil 5. 60 8 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden Ç-C2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



Şekil 5. 61 8 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemeden Ç-D2-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



Şekil 5. 62 10 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-B1-Karışım-%60Ar-%40CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği

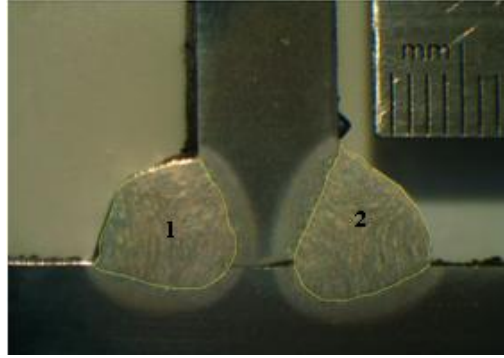


Şekil 5. 63 10 mm kalınlığa sahip ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği

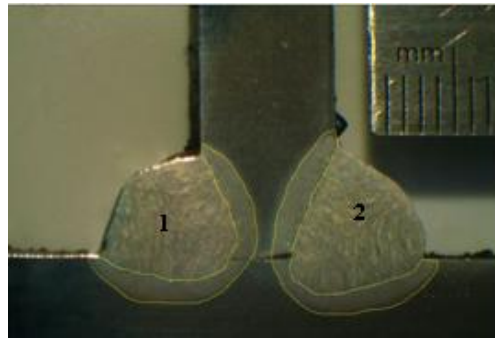
5.3.1.3 S235JR Malzemedan T-Köşe Kaynak Numunelerinin Makro Fotoğrafları, Kaynak Metali ve ITAB Alanları Ölçümü

Bölüm 4.4.3'te belirtildiği şekilde S235JR malzemedan T-köşe kaynak numunelerinin 3,5x ve 5x büyütmede makro fotoğrafları alınmıştır. Alınan fotoğraflar bilgisayar yazılımına aktarılmış ve çizelge 4.6'daki her bir kaynak numunesi için kaynak metali alanı, ITAB alanı ve ana malzeme ergime alanı hesaplanmıştır. Ayrıca kaynak metali

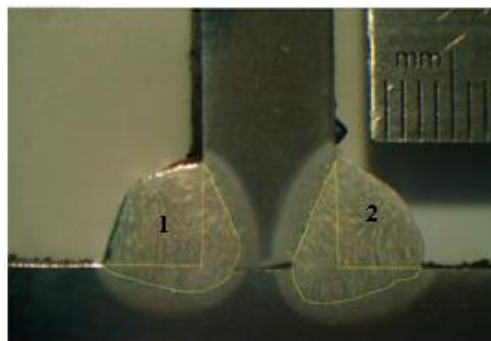
alanından ana malzeme ergime alanı çıkartılarak ilave metalin ergime alanı hesaplanmıştır. 8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO₂ numunesi için kaynak metali alanı, ITAB alanı ve ana malzeme ergime alanı, sırasıyla, şekil 5.64, 5.65 ve 5.66’da gösterilmektedir.



Şekil 5. 64 8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)



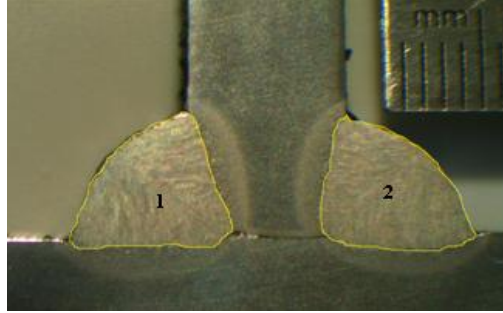
Şekil 5. 65 8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ITAB alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)



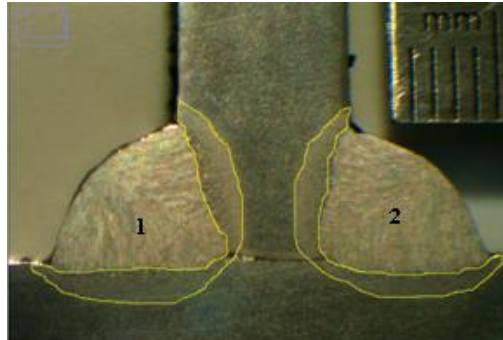
Şekil 5. 66 8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)

8 mm kalınlığa sahip çift gaz yönlendirmesi ile kaynak edilmiş Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO₂ numunesi için kaynak metali alanı, ITAB alanı ve ana malzeme ergime alanı, sırasıyla, şekil 5.67, 5.68 ve 5.69’da gösterilmektedir. Çizelge 5.10’da açisal çarpılma sonuçlarına

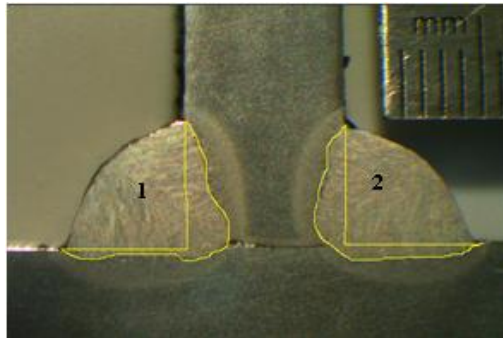
göre seçilmiş bulunan ve hem masif telle hem de metal özlü telle kaynak edilmiş olan, 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip 12 adet, S235JR malzemedan T-köşe kaynak numunesinin kaynak metali, ITAB, ana malzeme ergime ve ilave metal ergime alanları topluca verilmektedir.



Şekil 5. 67 8 mm kalınlığa sahip Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)



Şekil 5. 68 8 mm kalınlığa sahip Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ITAB alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)



Şekil 5. 69 8 mm kalınlığa sahip Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)

Çizelge 5. 10 S235JR Malzemedan T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Metali, ITAB, Ana Malzeme Ergime ve İlave Metal Ergime Alanları

S235JR Malzeme T-Köşe Kaynak Numunesi Kodlaması			Paso	Kaynak Metali Alanı (mm ²)	ITAB Alanı (mm ²)	Ana Malzeme Ergime Alanı (mm ²)	İlave Metal Ergime Alanı (mm ²)
Masif Tel	6 mm	Ç-C1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂	1	32,42	18,02	12,35	20,07
			2	31,05	18,29	10,21	20,84
		Ç-D1-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	1	33,89	21,54	10,36	23,53
			2	35,43	19,23	11,57	23,86
	8 mm	Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO ₂	1	42,40	21,00	16,49	25,91
			2	43,75	23,84	20,05	23,7
		Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂	1	36,19	19,66	10,36	25,83
			2	35,83	14,89	10,35	25,48
	10 mm	Ç-F1-Karışım-%40Ar-%60CO ₂	1	51,47	34,97	12,55	38,92
			2	50,74	31,87	16,53	34,21
		Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂	1	53,70	32,50	17,24	36,46
			2	60,38	29,78	21,40	38,98
Özlü Tel	6 mm	Ç-F2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂	1	33,63	14,76	14,83	18,8
			2	35,87	13,21	15,92	19,95
		Ç-E1-DMAG-6Ar-9CO ₂	1	32,15	16,82	13,21	18,94
			2	34,13	16,17	13,25	20,88
	8 mm	Ç-C2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂	1	42,24	18,13	18,90	23,34
			2	40,55	16,67	15,36	25,19
		Ç-D2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	1	35,36	20,19	7,89	27,47
			2	34,80	17,00	6,86	27,94
	10 mm	Ç-B1-Karışım-%60Ar-%40CO ₂	1	56,86	33,84	21,77	35,09
			2	58,55	33,26	20,64	37,91
		Ç-A1-DMAG-9Ar-6CO ₂	1	60,00	30,05	20,81	39,19
			2	56,13	31,56	19,65	36,48

5.3.2 X2CrNi 18 9 T-Köşe Kaynak Numuneleri

5.3.2.1 X2CrNi 18 9 Malzemedan T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Parametreleri

Çizelge 4.7’de belirtilen numunelerin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri, 6 mm, 8 mm ve 10 mm numune kalınlıkları için sırasıyla, çizelge 5.11, 5.12 ve 5.13’de verilmektedir.

Her üç kalınlık için de hem masif hem de özlü telle gerçekleştirilen kaynaklarda, karışım gazı yöntemine kıyasla, çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemi ile elde edilen ortalama kaynak akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Paslanmaz masif telle kaynakta DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ yöntemi kullanımıyla, tüm gaz kombinasyonu ve yönlendirmelerine kıyasla ortalama akım ve gerilim değerleri daha yüksek olduğundan dolayı ısı girdisi en yüksek olmuştur. En düşük ısı girdisi, 6 mm kalınlığa sahip malzemede iç kanaldan 7,5lt/dk %40He ve %60Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG, 8 mm kalınlığa sahip malzemede iç kanaldan 7,5lt/dk %50He ve %50Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG, 10 mm kalınlığa sahip malzemede ise DMAG 6ltAr-9ltCO₂ yöntemleriyle elde edilmiştir. 6 mm kalınlığa sahip malzemenin DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile kaynağında, %50Ar-%50CO₂ karışımına kıyasla akım ve gerilim değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. %40Ar-%60CO₂ karışımında, %50Ar-%50CO₂ karışımına göre CO₂ oranı arttığından bunun ark gerilimi üzerine de etkisi olmuş ve gerilim yükselmiştir. %40Ar-%60CO₂ karışımı ile aynı oranda koruyucu gaz içeren DMAG 6ltAr-9ltCO₂'e göre akım ve gerilim değerleri daha yüksek olmuştur. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği DMAG yöntemlerinde ise iç kanaldan gönderilen karışımdaki He miktarı arttıkça, akım ve gerilim değerlerinin bir miktar arttığı görülmüştür. 8 mm kalınlığa sahip malzemenin DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile kaynağında, %50Ar-%50CO₂ karışımına kıyasla ark gerilimi ile birlikte özellikle akım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. DMAG 6ltAr-9ltCO₂'e göre, %40Ar-%60CO₂ karışımında ark geriliminin biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ yönteminde ise akım değerleri bir miktar daha yüksektir. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği DMAG yöntemlerinde ise iç kanaldan gönderilen karışımdaki He miktarı arttıkça, gerilim değerlerinin çok az arttığı görülürken, akım değerleri aynı kalmıştır. 10 mm kalınlığa sahip malzemenin DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile kaynağında yine, %50Ar-%50CO₂ karışımına kıyasla daha yüksek kaynak akımı değerleri elde edilirken, ark gerilimi değerleri hemen hemen aynı çıkmıştır. DMAG 6ltAr-9ltCO₂'e göre, %40Ar-%60CO₂ karışımında ortalama ark geriliminin biraz daha yüksek olduğu ve ortalama akım değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği

DMAG yöntemlerinde ise iç kanaldan gönderilen karışımdaki He miktarı azaldıkça, kaynak akımı az miktar artarken, ark gerilimi değerlerinin hemen hemen aynı kaldığı görülmüştür.

Paslanmaz özlü telle kaynakta da yine, masif telle kaynakta olduğu gibi, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ yöntemi kullanımıyla, tüm gaz kombinasyonu ve yönlendirmelerine kıyasla ortalama akım ve gerilim değerleri daha yüksek olduğundan dolayı ısı girdisi en yüksek olmuştur. En düşük ısı girdisi, 6 mm kalınlığa sahip malzemede %40Ar-%60CO₂ ve %50Ar-%50CO₂ karışımları ile, 8 mm kalınlığa sahip malzemede ise %40Ar-%60CO₂ karışımı ile, 10 mm kalınlığa sahip malzemede de %50Ar-%50CO₂ karışımı ile elde edilmiştir. 6 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik malzemenin özlü tel kullanılarak gerçekleştirilen DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile kaynağında, %50Ar-%50CO₂ karışımına kıyasla akım değerleri oldukça yüksek çıkmışken, ark gerilimi değerleri küçük bir miktar yüksek çıkmıştır. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilen akım değerleri, %40Ar-%60CO₂'e göre az miktar yüksekken, ark gerilimi değerleri hemen hemen aynı kalmıştır. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği DMAG yöntemlerinde ise iç kanaldan gönderilen karışımdaki He miktarı arttıkça, akım ve gerilim değerlerinin bir miktar azaldığı görülmüştür. 8 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik malzemenin özlü telle kaynağında ise, %50Ar-%50CO₂ karışımına kıyasla DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilen akım değerleri %10 civarlarında daha yüksek iken, ark gerilimi değerleri az miktar düşük çıkmıştır. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilen akım ve gerilim değerleri, %40Ar-%60CO₂'e göre az miktar yüksek çıkmıştır. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği DMAG yöntemlerinde akım değerleri hemen hemen aynı kalırken, gerilim değerlerinin, iç kanalda %40He-%60Ar karışımının kullanımında çok küçük miktar daha yüksek olduğu görülmüştür. 10 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik malzemenin özlü telle kaynağında yine DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilen akım değerlerinin, %50Ar-%50CO₂ ile elde edilenlerden ortalama %10 daha fazla olduğu, ark gerilimlerinin ise birbirlerine yakın olmakla birlikte %50Ar-%50CO₂ karışımında daha yüksek olduğu görülmüştür. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilen akım ve gerilim değerleri, %40Ar-%60CO₂'e göre az miktar yüksek çıkmıştır. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği DMAG

yöntemlerinde ise akım ve gerilim değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Özlü tel ile kaynağa kıyasla masif telle kaynakta akım şiddeti değerlerinin çok daha büyük, ark gerilimi değerlerinin ise biraz daha düşük olduğu not edilmiştir. Özlü tel ile hem karışım gazı hem de çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemleriyle kaynakta toplam ısı girdisi değerlerinin, masif tel ile elde edilenlere göre daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir.

Çizelge 5. 11 6 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri

P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	182	28	380	0,724	288,1
2.paso	180	28	380	0,716	
P-D2-DMAG-6Ar-9CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	185	27	380	0,710	282,9
2.paso	185	26,8	380	0,705	
P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	142	29	380	0,585	233,7
2.paso	145	28,3	380	0,583	
P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	168	28,5	380	0,680	255,9
2.paso	149	28,3	380	0,599	

Çizelge 5. 12 8 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri

P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	190	27,5	360	0,784	313,5
2.paso	188	27,8	360	0,784	
P-D1-DMAG-6Ar-9CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	195	27	360	0,790	316,8
2.paso	194	27,3	360	0,794	
P-A1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	145	30	360	0,653	263,7
2.paso	149	29,8	360	0,666	
P-F1-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	146	29,5	360	0,646	261,1
2.paso	149	29,5	360	0,659	

Çizelge 5. 13 10 mm kalınlığa sahip, masif ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan T-köşe kaynak numunelerinin kaynak parametreleri, birim dikiş enerjileri ve toplam ısı girdileri

P-F2-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	200	28,5	300	1,026	405,2
2.paso	197	28,2	300	1,000	
P-E2-DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	202	28,4	300	1,033	404,1
2.paso	196	28	300	0,988	
P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	157	30	300	0,848	337,5
2.paso	154	30,3	300	0,840	
P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂ -ÖZLÜ					
	Akım Şiddeti (A)	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/mm)	Toplam Isı Girdisi (kJ)
1.paso	185	29,9	300	0,996	373,7
2.paso	160	30,3	300	0,873	

5.3.2.2 X2CrNi 18 9 Malzemedan T-Köşe Kaynak Numunelerinin Mikrosertlik Değerleri

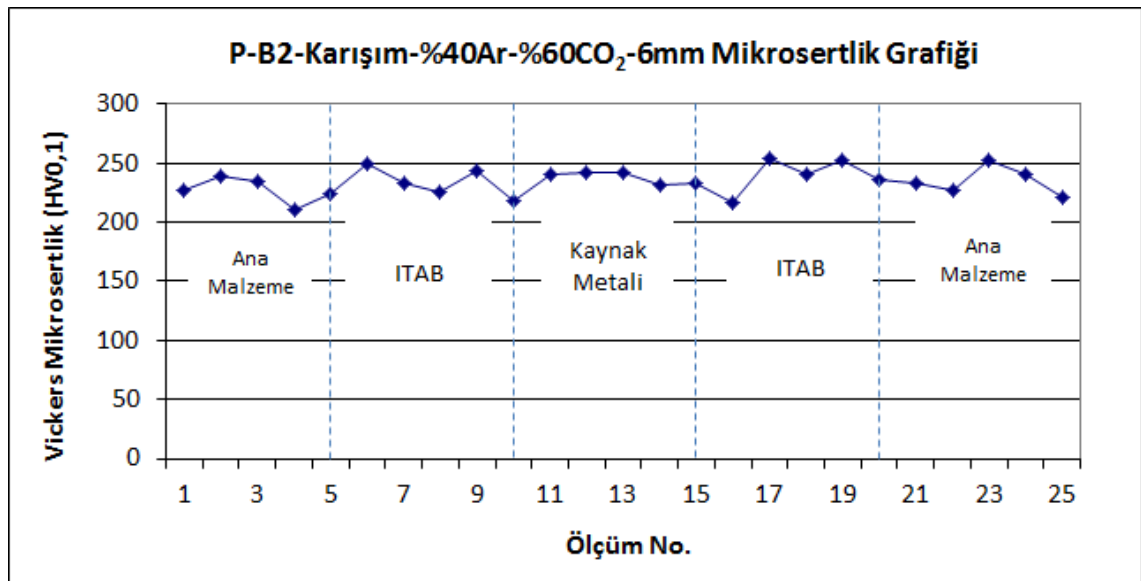
Bölüm 4.4.2’de belirtildiği şekilde T-köşe kaynak numunelerinin Vickers mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları şekil 5.70 – 5.81’de gösterilmektedir.

Masif paslanmaz telle kaynakta, hem 6 mm hem de 8 mm malzeme kalınlıkları için, karışım gazı yöntemi ile kaynak metalinde elde edilen mikrosertlik değerleri çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemine kıyasla biraz daha yüksektir. 10 mm malzeme kalınlığında ise, iç kanaldan %50He+%50Ar, dış kanaldan ise CO₂ gönderilmesi durumundaki kaynak metali sertlik değerleri, iç kanaldan %40He+%60Ar dış kanaldan ise CO₂ gönderilmesi

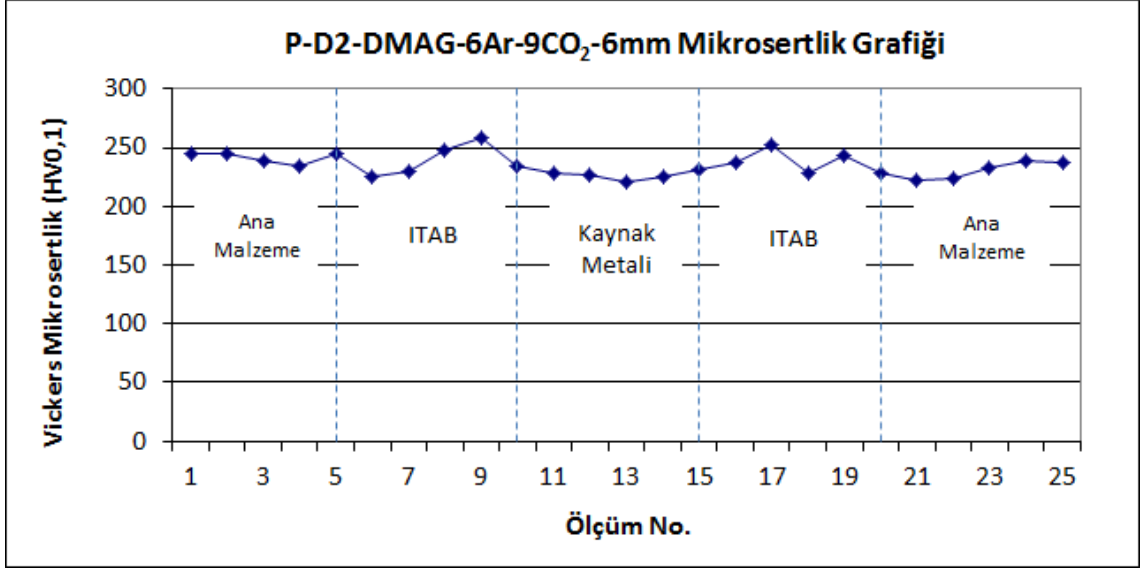
durumuna göre biraz daha fazla olmuştur. Her üç parça kalınlığı için de ITAB sertliklerinin kaynak metali sertliklerine yakın ancak bir miktar fazla olduğu görülmektedir. Paslanmaz çelik malzemenin ısı iletim katsayısı düşük olduğundan ötürü bu durum ısının yavaş yayılmasına ve dolayısıyla komşu bölgeler arasında sıcaklık farklılıklarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak da 6 mm kalınlığa sahip göreceli olarak ince parçalarda bile ITAB'da elde edilen sertlik değerleri daha yüksek olabilmektedir.

Paslanmaz özlü tel kullanımında ise karışım gazı yöntemine kıyasla, çift kanal gaz yönlendirmesi ile kaynak metali sertlikleri biraz daha yüksek olmuştur.

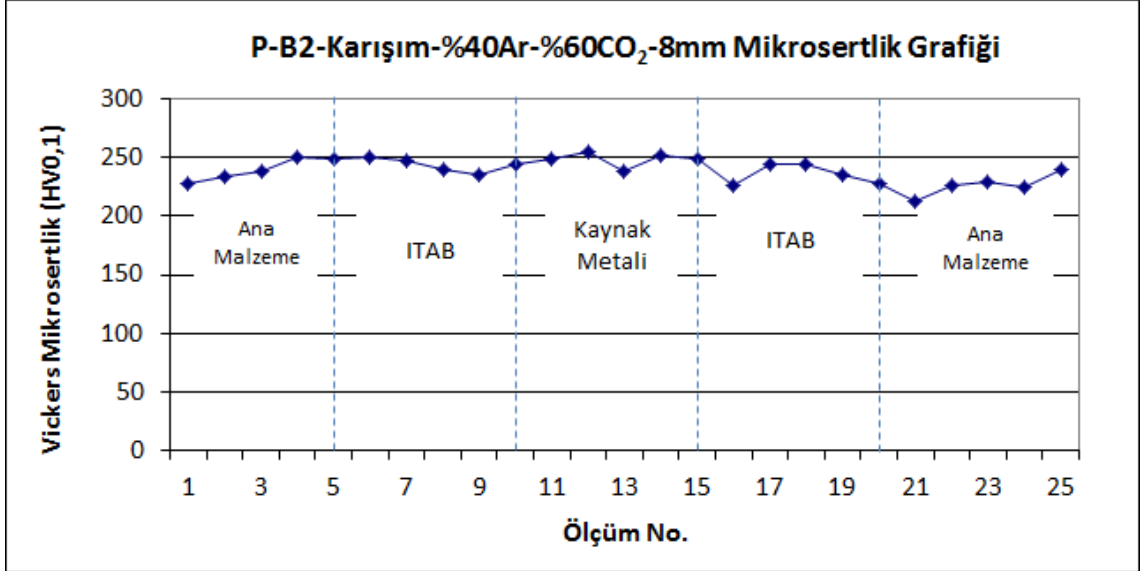
Numunelerin mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında, ana malzemede görülen yüksek sertlik değerlerinin nedeni olarak sert kromkarbür yapılarının olduğu söylenebilmektedir.



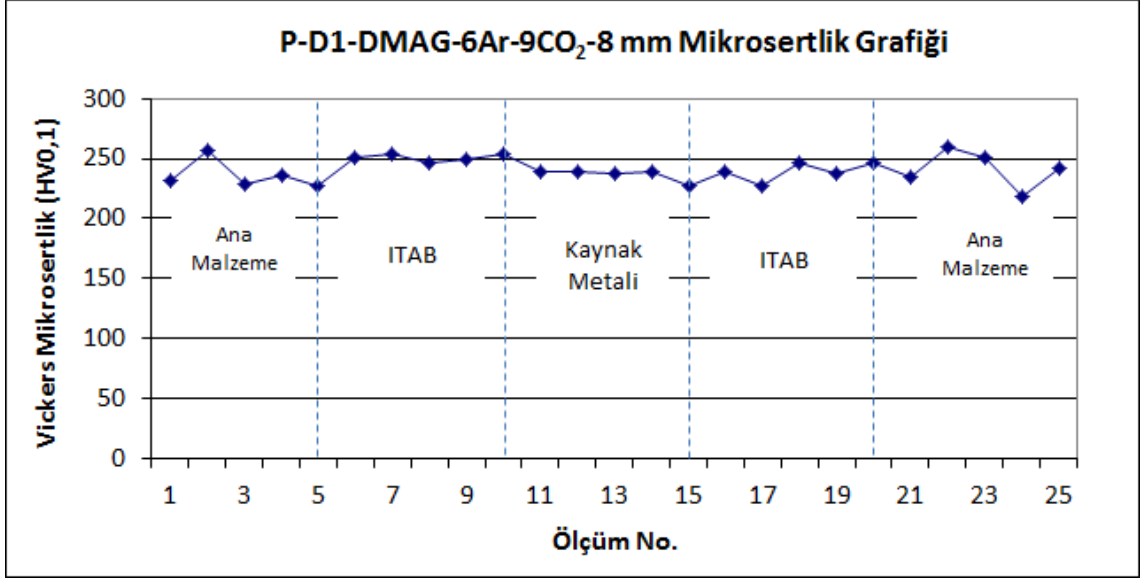
Şekil 5. 70 6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



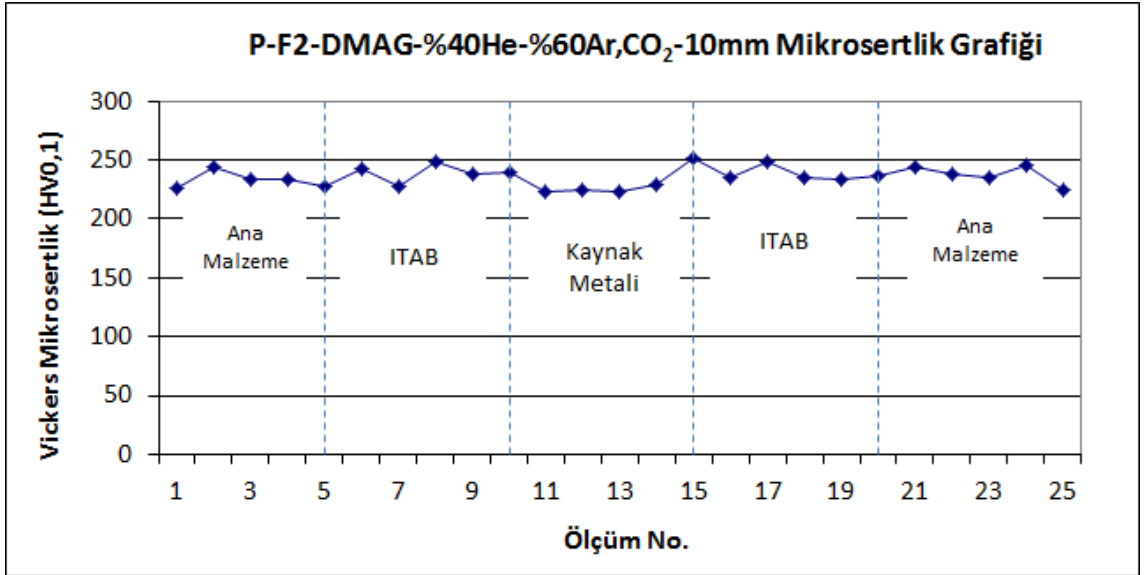
Şekil 5. 71 6 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-D2-DMAG-6Ar-9CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



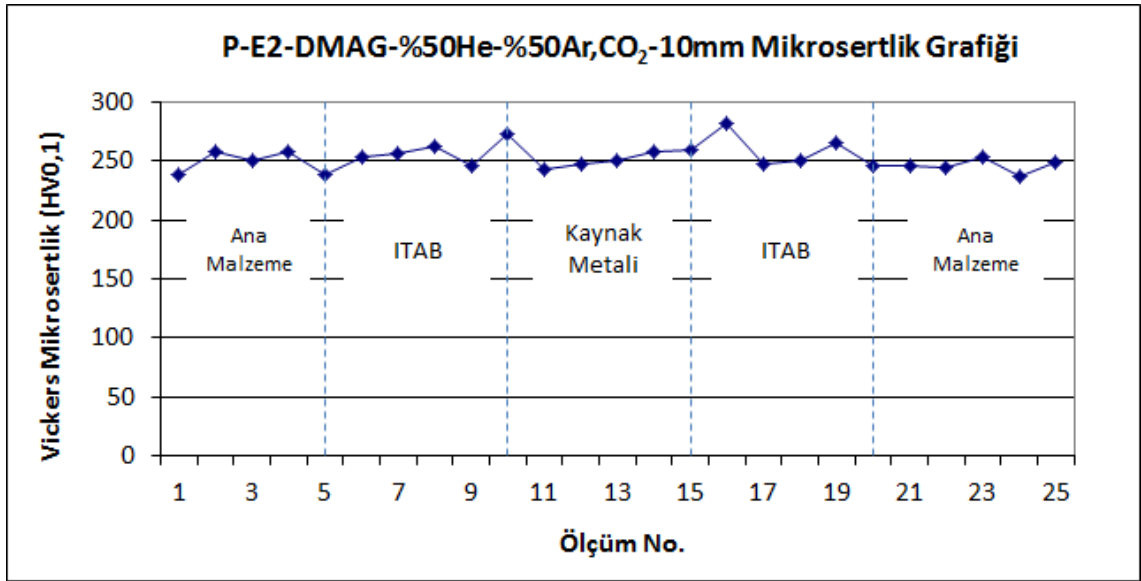
Şekil 5. 72 8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



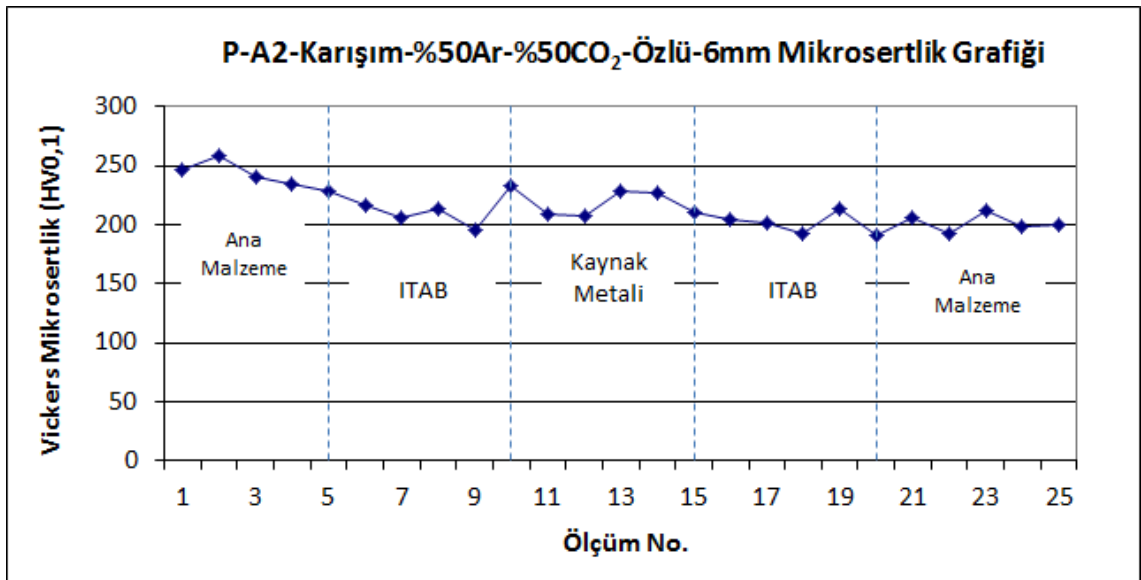
Şekil 5. 73 8 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedен P-D1-DMAG-6Ar-9CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



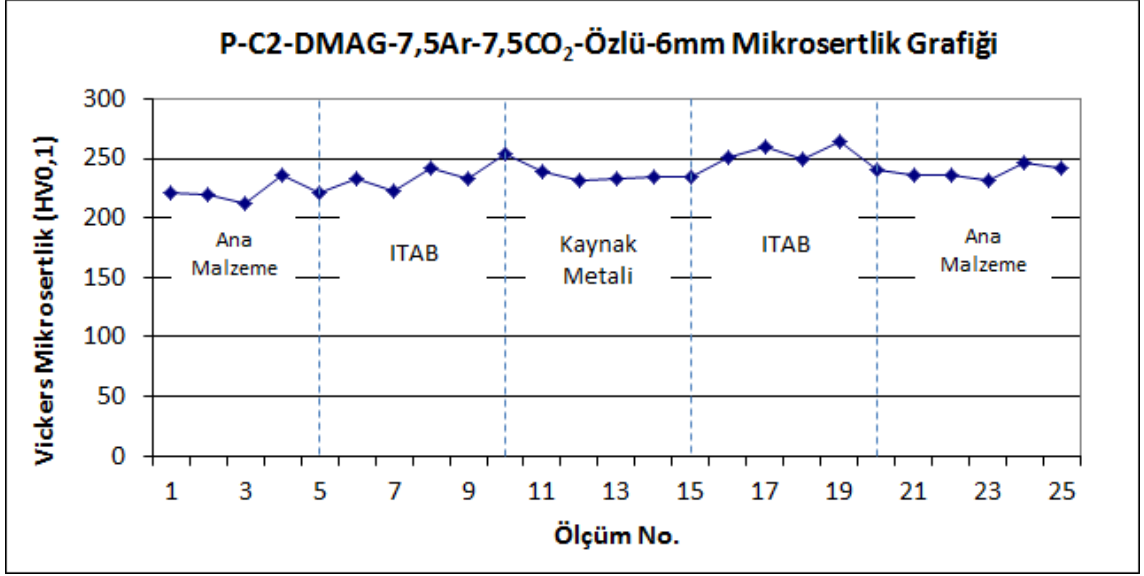
Şekil 5. 74 10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedен P-F2-DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



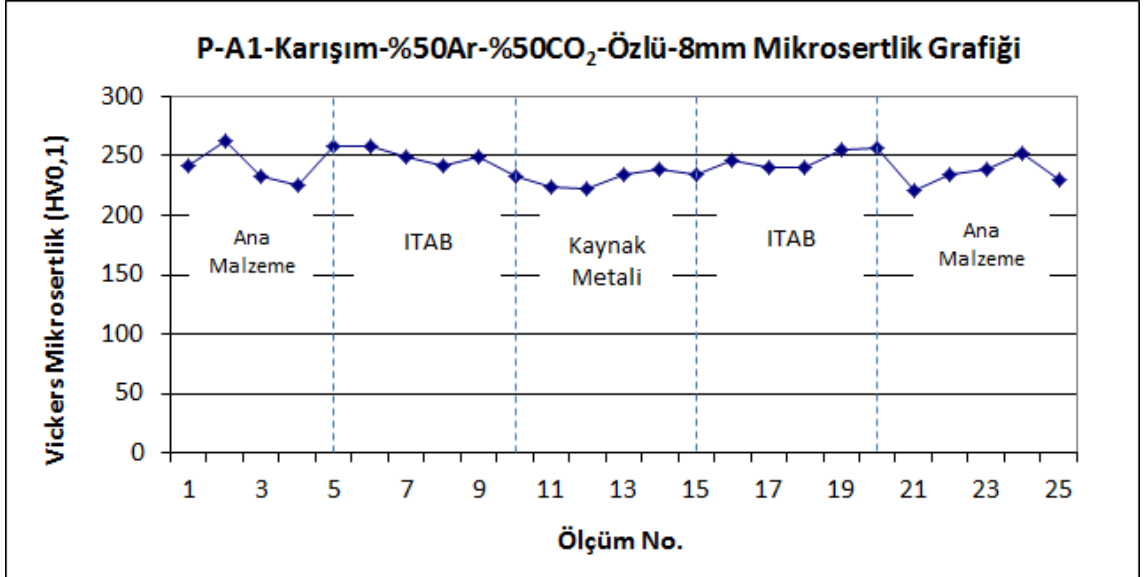
Şekil 5. 75 10 mm kalınlığa sahip ve masif telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-E2-DMAG-%50He-%50Ar,CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



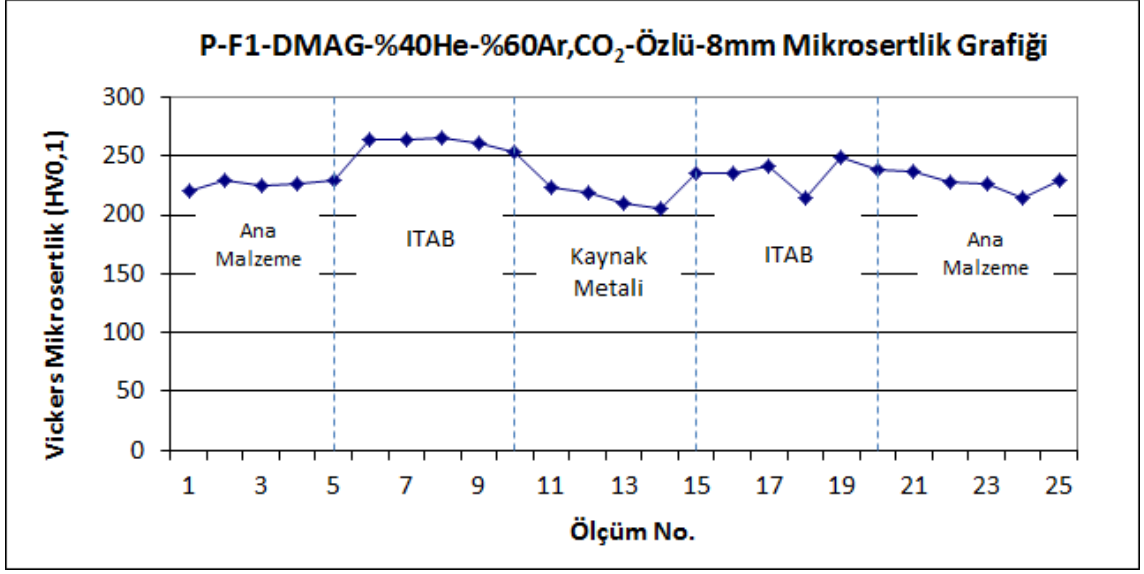
Şekil 5. 76 6 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



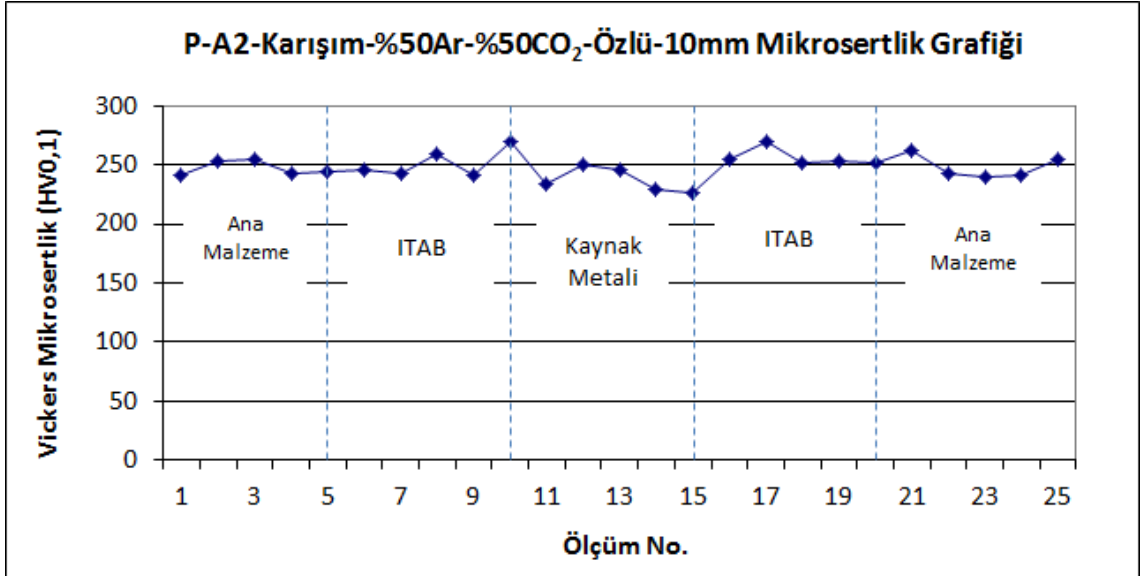
Şekil 5. 77 6 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



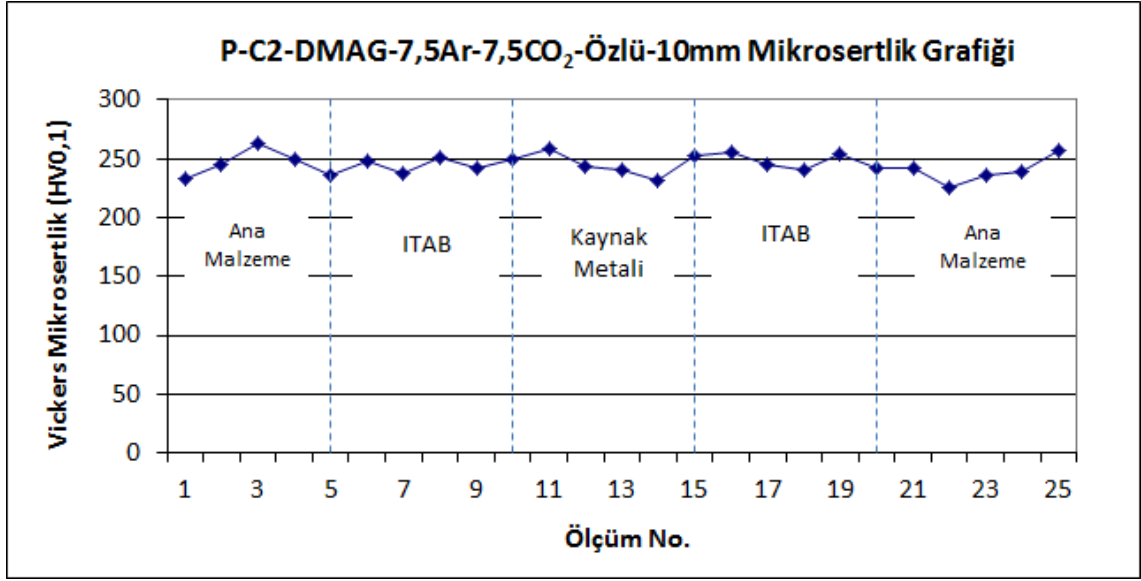
Şekil 5. 78 8 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedan P-A1-Karışım-%50Ar-%50CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



Şekil 5. 79 8 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-F1-DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



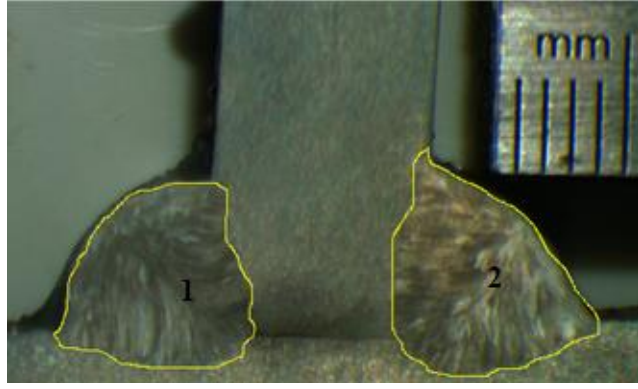
Şekil 5. 80 10 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği



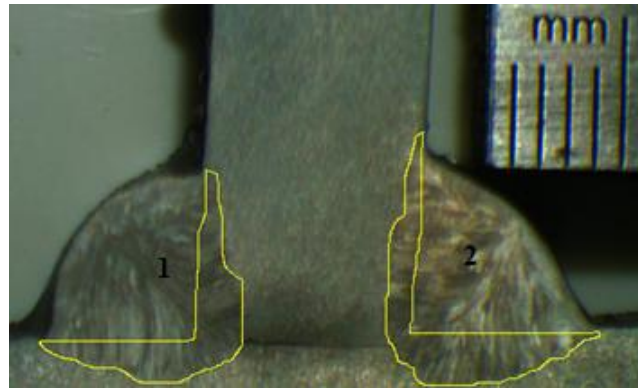
Şekil 5. 81 10 mm kalınlığa sahip ve özlü telle kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemedен P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ T-köşe kaynak numunesi için mikrosertlik grafiği

5.3.2.3 X2CrNi 18 9 Malzemedен T-Köşe Kaynak Numunelerinin Makro Fotoğrafları, Kaynak Metali ve ITAB Alanları Ölçümü

Bölüm 4.4.3'te belirtildiği şekilde X2CrNi 18 9 malzemedен T-köşe kaynak numunelerinin 3,5x ve 5x büyütmede makro fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar bilgisayar yazılımına aktarılmış ve çizelge 4.7'deki her bir kaynak numunesi için kaynak metali alanı ve ana malzeme ergime alanı hesaplanmıştır. Ayrıca kaynak metali alanından ana malzeme ergime alanı çıkartılarak ilave metalin ergime alanı hesaplanmıştır. X2CrNi 18 9 malzemelerin kaynağında ITAB alanları çok dardır dolayısıyla makro dağlamada görülememektedir ancak mikroskop ile ITAB incelenebilmiştir. 8 mm kalınlığa sahip P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO₂ numunesi için kaynak metali alanı ve ana malzeme ergime alanı, sırasıyla, şekil 5.82 ve 5.83'de gösterilmektedir.

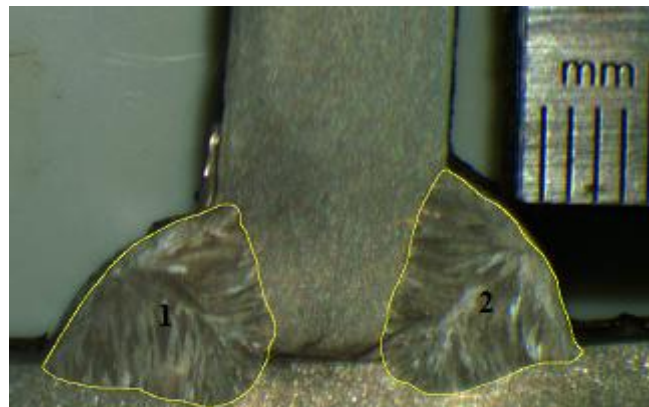


Şekil 5. 82.8 mm kalınlığa sahip P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)

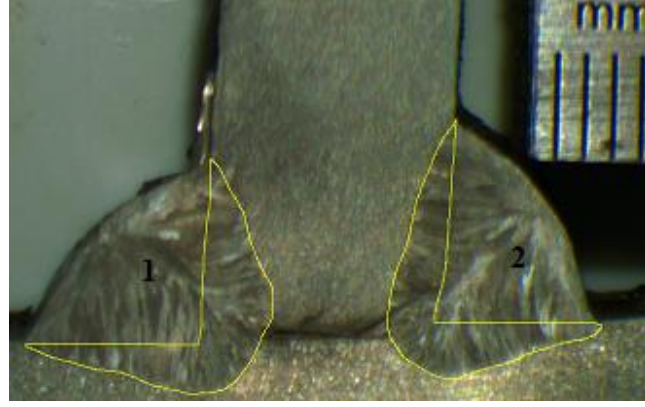


Şekil 5. 83.8 mm kalınlığa sahip Ç-B2-Karışım-%60Ar-%40CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)

8 mm kalınlığa sahip çift gaz yönlendirmesi ile kaynak edilmiş P-D1-DMAG-6Ar-9CO₂ numunesi için kaynak metali alanı ve ana malzeme ergime alanı, sırasıyla, şekil 5.84 ve 5.85’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 84.8 mm kalınlığa sahip P-D1-DMAG-6Ar-9CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve kaynak metali alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)



Şekil 5. 85 8 mm kalınlığa sahip P-D1-DMAG-6Ar-9CO₂ numunesinin makro fotoğrafı (3,5x) ve ana malzeme ergime alanı (sol taraf 1. paso, sağ taraf 2. paso)

Çizelge 5.14’de açılma çarpılma sonuçlarına göre seçilmiş bulunan ve hem paslanmaz masif telle hem de paslanmaz özlü telle kaynak edilmiş olan, 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip 12 adet, X2CrNi 18 9 malzemedan T-köşe kaynak numunesinin kaynak metali, ana malzeme ergime ve ilave metal ergime alanları topluca verilmektedir.

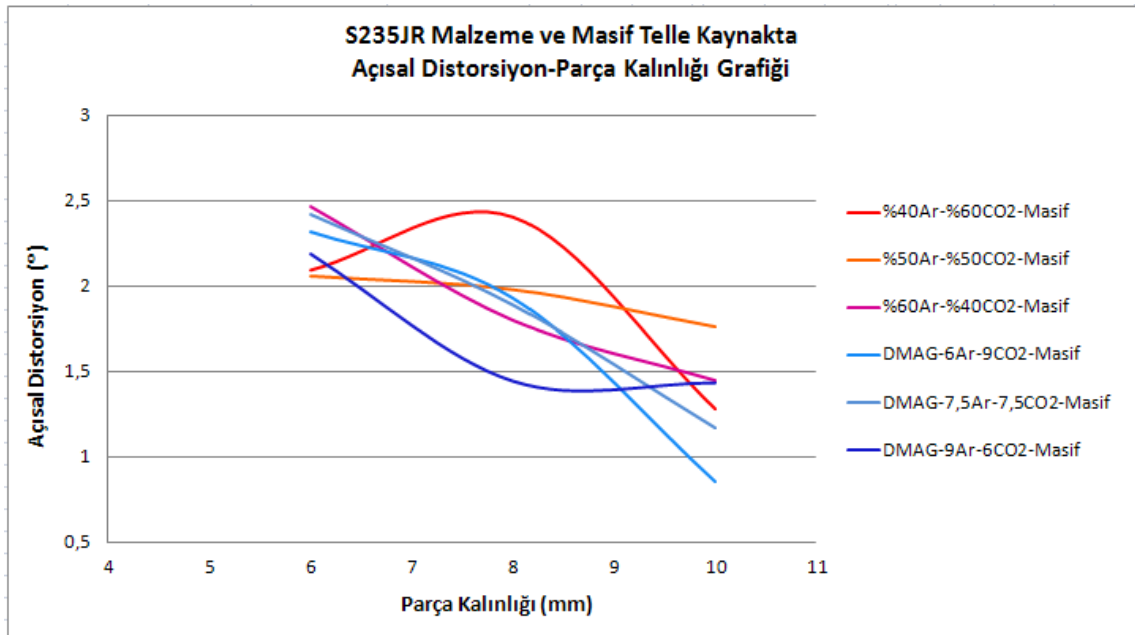
Çizelge 5. 14 X2CrNi 18 9 Malzemedan T-Köşe Kaynak Numunelerine Ait Kaynak Metali, Ana Malzeme Ergime ve İlave Metal Ergime Alanları

X2CrNi 18 9 Malzeme T-Köşe Kaynak Numunesi Kodlaması			Paso	Kaynak Metali Alanı (mm ²)	Ana Malzeme Ergime Alanı (mm ²)	İlave Metal Ergime Alanı (mm ²)
Masif Tel	6 mm	P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂	1	30,20	10,97	19,23
			2	33,43	11,04	22,39
		P-D2-DMAG-6Ar-9CO ₂	1	39,58	15,09	24,49
			2	36,02	12,39	23,63
	8 mm	P-B2-Karışım-%40Ar-%60CO ₂	1	37,36	13,10	24,26
			2	40,18	14,75	25,43
		P-D1-DMAG-6Ar-9CO ₂	1	41,11	17,87	23,24
			2	38,42	16,34	22,08
	10 mm	P-F2-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	1	49,84	20,58	29,26
			2	50,52	17,93	32,59
		P-E2-DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂	1	56,31	28,74	27,57
			2	46,02	18,23	27,79
Özlü Tel	6 mm	P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂	1	24,42	7,12	17,30
			2	25,04	10,31	14,73
		P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	1	23,42	6,28	17,14
			2	25,33	7,98	17,35
	8 mm	P-A1-Karışım-%50Ar-%50CO ₂	1	28,90	9,46	19,44
			2	25,74	7,54	18,20

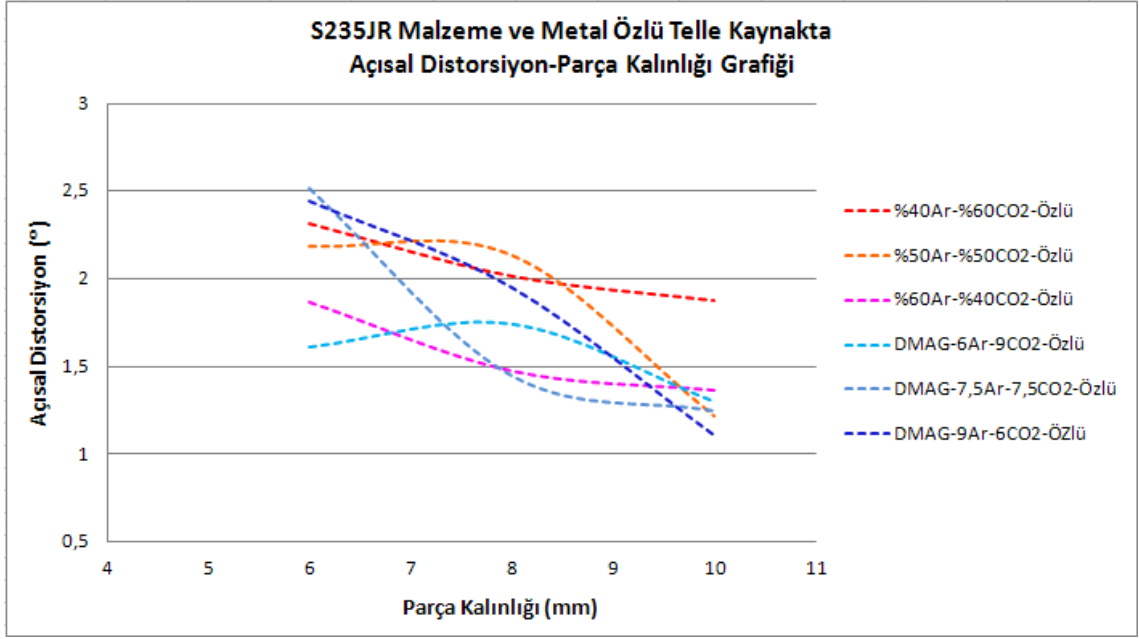
	10 mm	P-F1-DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	1	27,00	9,99	17,01
			2	26,73	7,93	18,80
		P-A2-Karışım-%50Ar-%50CO ₂	1	34,47	11,20	23,27
			2	32,80	9,56	23,24
		P-C2-DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	1	31,74	7,25	24,49
			2	30,60	6,89	23,71

5.3.3 T-Köşe Kaynak Numunelerinde Distorsiyon

S235JR malzeme için Çizelge 4.6'daki ve X2CrNi 18 9 malzeme için de çizelge 4.7'deki gaz oranları ve bölüm 4.4.1'de bahsedilen parametre ve ayarlarla kaynak edilmiş olan T-köşe kaynak numunelerinin açısal distorsiyon ölçümleri bölüm 4.2'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir. Masif tel ve metal özlü telle kaynak edilmiş S235JR malzemedan T-köşe kaynaklı numunelerin parça kalınlığına bağlı açısal distorsiyon grafikleri, sırasıyla, şekil 5.86 ve şekil 5.87'de verilmektedir.



Şekil 5. 86 Masif tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemedan T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği



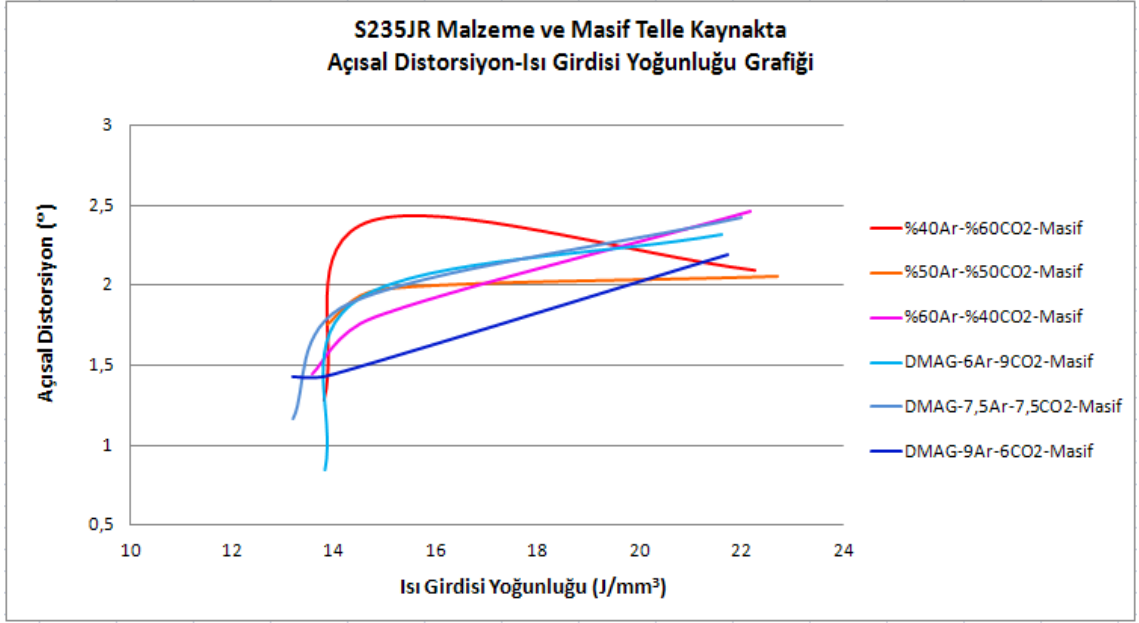
Şekil 5. 87 Metal özlü tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği

Şekil 5.86'dan da görüldüğü üzere 6 mm kalınlığa sahip düşük karbonlu çelik S235JR malzemenin T-köşe kaynağında masif tel (SG2) kullanımında ile karışım gazlarıyla elde edilen açısal çarpılma (distorsiyon) değerleri, %60Ar-%40CO₂ karışımı kullanılarak elde edilen hariç, çift kanallı kaynağa (DMAG) göre daha düşük çıkmıştır. 8 ve 10 mm kalınlığa sahip T-köşe kaynak numunelerinde ise DMAG ile elde edilen açısal distorsiyon değerleri daha küçük kalmıştır. 6 mm kalınlığa sahip T-köşe kaynak numunesinin kaynağında DMAG 9ltAr-6ltCO₂ ile elde edilen açısal çarpılma değeri, %60Ar-%40CO₂ ile elde edilenden %10,97 daha düşük çıkmıştır. Bunun aksine, %50Ar-%50CO₂ karışımı kullanıldığındaki çarpılma değeri ise DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂'e göre %14,87 düşük çıkmıştır. %40Ar-%60CO₂ karışımı kullanıldığındaki eğilim de benzerdir ve bu karışım ile elde edilen açısal çarpılma miktarı, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilenden %9,91 düşük çıkmıştır. 8 mm kalınlığa sahip numunede ise, %60Ar-%40CO₂ karışımına göre DMAG 9ltAr-6lt CO₂ ile %20 daha az distorsiyon meydana gelmiştir. %50Ar-%50CO₂ karışımına göre ise, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ %4,54 daha az distorsiyon oluşturmuştur. Koruyucu gaz olarak %40Ar-%60CO₂ karışımı kullanıldığında ise, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilen distorsiyon değeri bu karışımla elde edilenden %19,58 daha düşük çıkmıştır. 10 mm kalınlıkta ise, DMAG 9ltAr-6ltCO₂ ile elde edilen distorsiyon değeri, %60Ar-%40CO₂'e göre %1,38 daha düşük çıkmıştır. DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile

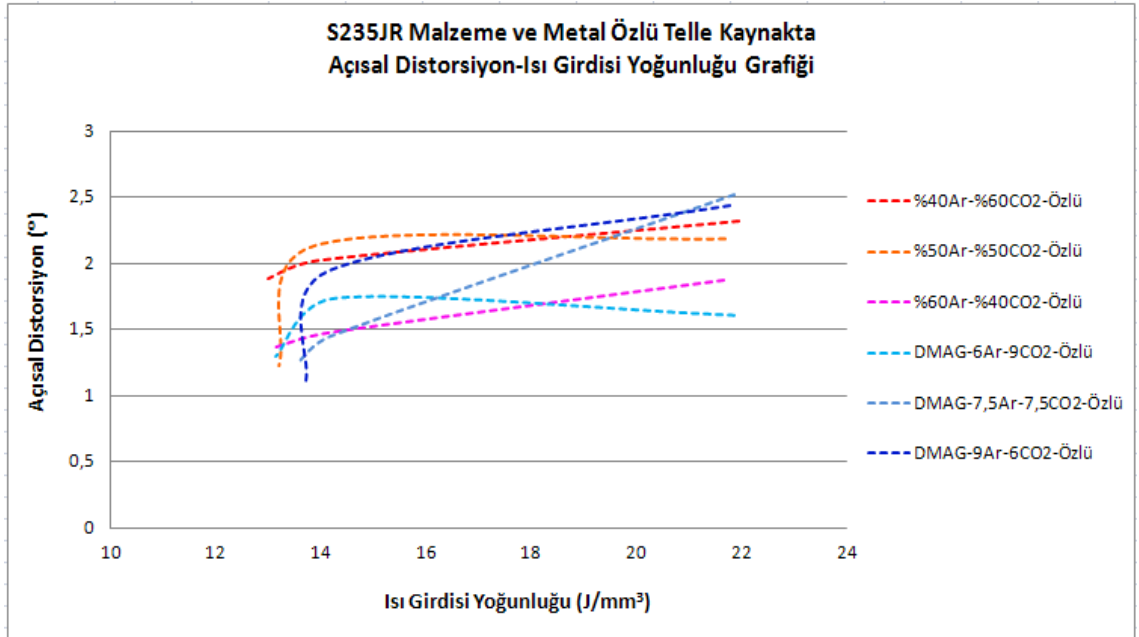
elde edilen distorsiyon ise %50Ar-%50CO₂'e göre %33,52 daha düşük çıkmıştır. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ kullanıldığında ise meydana gelen distorsiyon %40Ar-%60CO₂'e göre %33,59 daha düşüktür. Hem karışım gazı ile hem de çift kanallı gaz yönlendirmesi yöntemlerinde, beklenildiği üzere, parça kalınlığı arttıkça açısal distorsiyon miktarı azalmaktadır.

Şekil 5.87'den de görüldüğü gibi, ilave malzeme olarak metal özlü tel (MCW-7100) kullanıldığında ise, 6 mm kalınlığa sahip parçanın kaynağında %60Ar-%40CO₂ karışımı kullanıldığında elde edilen açısal çarpılma değeri, DMAG 9ltAr-6ltCO₂ ile elde edilenden % 23,04 daha az olmuştur. %50Ar-%50CO₂ karışımı kullanıldığında ise, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂'e göre %13,09 daha az distorsiyon meydana gelmiştir. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ise, %40Ar-%60CO₂ karışımına nazaran %31,03 daha az açısal çarpılma oluşturmuştur. 8 mm'lik parçaların kaynağında ise, %60Ar-%40CO₂ karışımı kullanımında elde edilen çarpılma değeri, DMAG 9ltAr-6ltCO₂'e göre %24,1 daha düşük olmuştur. Bunun aksine, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ kullanımında ise elde edilen çarpılma değeri, %50Ar-%50CO₂ karışımına göre %32,24 daha düşüktür. Benzer şekilde, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ kullanımında elde edilen çarpılma değeri, %40Ar-%60CO₂ karışımı kullanımına göre %13,43 daha az çarpılma meydana getirmiştir. 10 mm'lik parçaların kaynağında ise, DMAG 9ltAr-6ltCO₂, %60Ar-%40CO₂ karışımına göre %18,38 daha az açısal çarpılma göstermiştir. %50Ar-%50CO₂ karışımında elde edilen çarpılma miktarı, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilene çok yakın olmakla birlikte %2,46 daha azdır. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ise, %40Ar-%60CO₂ karışımına göre %30,85 daha az açısal çarpılma göstermiştir.

Distorsiyon olgusunda ısı girdisinin etkisi çok önemli olmaktadır. Bunun yanında parça kalınlığı da distorsiyonu birinci derecede etkilemektedir. Dolayısıyla, hem çizgisel ısı girdisi hem de parça kalınlığı verisini içeren ve malzeme birim hacmi başına ısı girdisi miktarını gösteren, ısı girdisi yoğunluğunun da değerlendirilmesi gerekmektedir. Masif tel ve metal özlü telle yapılan kaynaklar için, sırasıyla, şekil 5.88 ve 5.89'da ısı girdisi yoğunluğuna karşılık açısal distorsiyon değerleri verilmiştir.



Şekil 5. 88 Masif tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiği

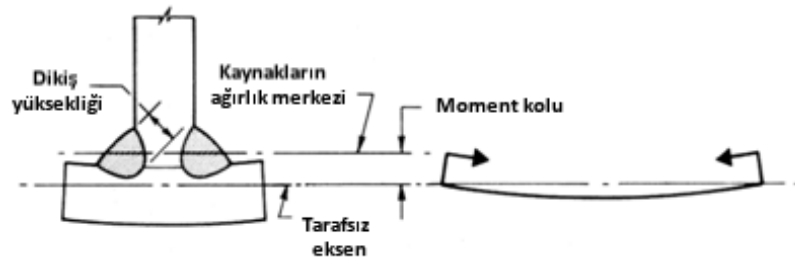


Şekil 5. 89 Metal özlü tel ile kaynak edilmiş S235JR malzemeden T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiği

Masif tel ve metal özlü telle hem geleneksel karışım gazı metoduyla hem de çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemiyle kaynakta, bazı istisnalar dışında genel eğilim olarak, ısı girdisi yoğunluğu arttıkça açısal distorsiyonun da arttığı gözlemlenmektedir. Hacimsel olarak %50 ve %60CO₂ içeren karışım gazlarıyla kaynakta, ısı girdisi yoğunluğu arttıkça yani parça kalınlığı azaldıkça, açısal distorsiyonun ya artmadığı veya azaldığı

görülmektedir. Benzeri bir durum metal özlü telle çift kanal gaz yönlendirmeli kaynak için sadece hacimsel olarak %60CO₂ içeren DMAG-6Ar-9CO₂ ile kaynakta da görülmektedir. Açısal distorsiyonun göreceli olarak düşük tutulması için, ısı girdisi yoğunluğunun yüksek olduğu ince, düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında yüksek CO₂ oranına sahip karışım gazları, ısı girdisi yoğunluğunun düşük olduğu kalın, düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında ise çift kanallı gaz yönlendirme yöntemi tercih edilmelidir.

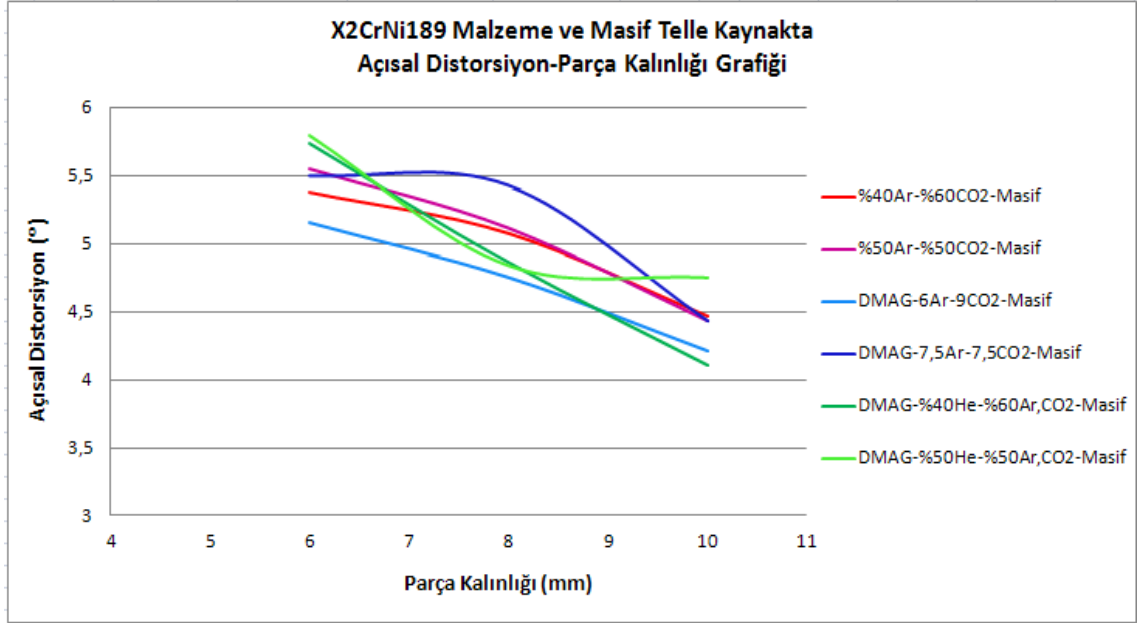
Açısal distorsiyon ele alındığında, kalın parçaların masif telle çift kanallı kaynağında en uygun seçim DMAG-6Ar-9CO₂ olurken, ince parçaların kaynağında en uygun seçimler %50 veya %60 CO₂ içeren Ar-CO₂ karışımları olacaktır. 6 mm kalınlığa sahip ince parçanın kaynağında, daha küçük kaynak metali ergimiş alanına sahip olan %50Ar-%50CO₂ karışımı daha düşük distorsiyon vermiştir. 10mm'lik kalın parçanın kaynağında ise daha büyük kaynak metali ergimiş alanına sahip olan DMAG-6Ar-9CO₂ daha düşük distorsiyon vermiştir (çizelge 5.10). Rijit olmayan ince parçalarda, daha küçük kaynak metali ergimiş alanı ile daha küçük kendini çekme gerilmeleri oluşacaktır ve bu da açısal distorsiyonun küçük olması sonucunu doğuracaktır. Parça kalınlaştıkça, daha büyük kaynak metali ergimiş alanıyla, daha büyük kendini çekme gerilmeleri hasıl olacaktır ancak kaynak metalinin ağırlık merkezi değişeceğinden ve parçanın tarafsız eksenine yaklaşıcağından, parçanın tarafsız eksen ve kaynak metallerinin ağırlık merkezleri arasındaki moment kolu kısalmaktadır; bunun sonucunda da açısal distorsiyonda azalma görülecektir [87]. Şekil 5.90'da T-köşe kaynaklı parçada kaynakların ağırlık merkezi ve parçanın tarafsız eksen gösterilmektedir.



Şekil 5. 90 T-köşe kaynaklı parçanın açısal distorsiyonunda kaynak metali ağırlık merkezi ve parçanın tarafsız eksen [87]

Şekil 5.91'den de görüldüğü gibi, 6 mm'lik T-köşe kaynak numunesinin paslanmaz masif tel (MIG 308LSi) ile kaynağında en düşük açısal çarpılma değeri DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile

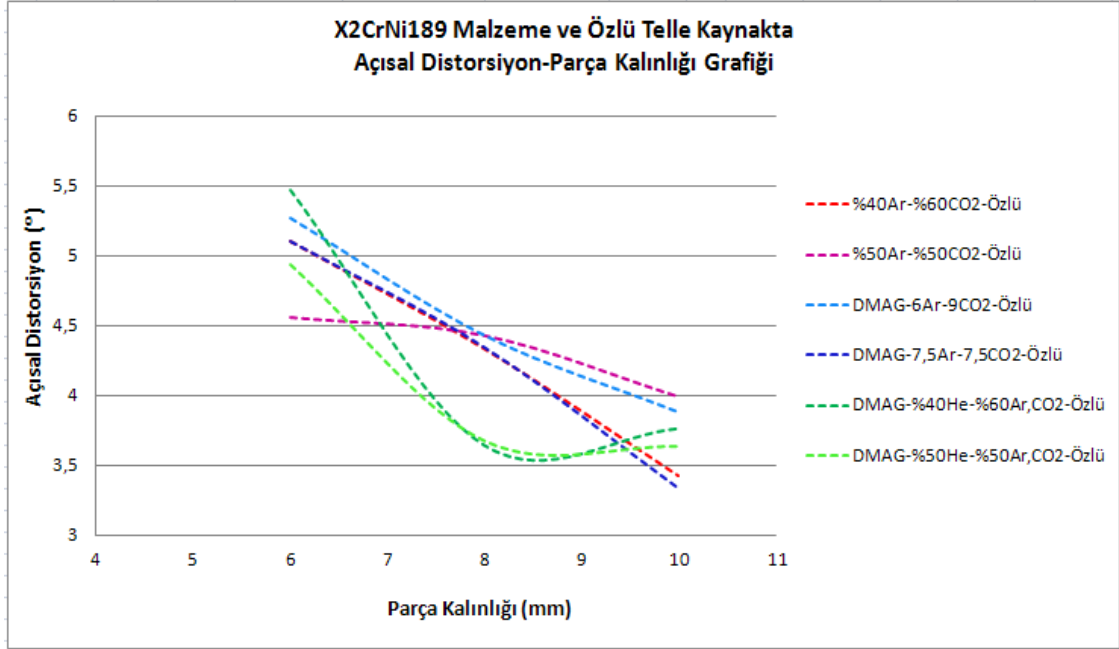
elde edilmiştir. DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilen açısıl çarpılma değeri, %50Ar-%50CO₂ ile elde edilene çok yakın olmakla birlikte %1,08 daha düşüktür. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilen çarpılma miktarı ise %40Ar-%60CO₂'e göre %4,09 daha düşük olmuştur. İç kanaldan 7,5lt/dk %50He ve %50Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂'in gönderildiği DMAG yönteminde ise distorsiyon değeri, iç kanaldan 7,5lt/dk %40He ve %60Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG yöntemindeki yakın çıkmıştır ve bu değerler, diğer çift kanal gaz yönlendirme ve karışım gazlarıyla elde edilenlerden yüksek olmuştur. 8 mm'lik kalınlığa sahip parçaların köşe kaynağında en düşük çarpılma değeri, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilirken, en yüksek çarpılma değeri DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile meydana gelmiştir. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ kullanımı ile elde edilen çarpılma değeri, %40Ar-%60CO₂ karışımıyla elde edilenden %6,3 daha az gerçekleşmiştir. %50Ar-%50CO₂ kullanıldığında ise çarpılma değeri, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂'e göre %5,7 daha az gerçekleşmiştir. İç kanaldan 7,5lt/dk %50He ve %50Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂'in gönderildiği DMAG yönteminde ise distorsiyon değeri, iç kanaldan 7,5lt/dk %40He ve %60Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG yöntemindeki yakın çıkmıştır ve bu değerler, en düşük çarpılmayı veren DMAG 6ltAr-9ltCO₂'e göre sadece %1,7 daha fazladır. 10 mm'lik kalınlığa sahip parçaların köşe kaynağında ise en düşük çarpılma değeri yine iç kanaldan 7,5lt/dk %40He ve %60Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG yöntemi ile elde edilmiştir ve bu değer, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilenden %2,37, iç kanaldan 7,5lt/dk %50He ve %50Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂'in gönderildiği DMAG'dan ise %13,47 daha azdır. %50Ar-%50CO₂ karışımı ile elde edilen çarpılma değeri, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilenle aynı olmuştur. DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilen değer ise, %40Ar-%60CO₂ karışımıyla elde edilenden %5,81 daha düşüktür.



Şekil 5. 91 Paslanmaz masif tel ile kaynak edilmiş X2CrNi189 malzemeden T-köşe kaynaklı numunelerin açısal distorsiyon-parça kalınlığı grafiği

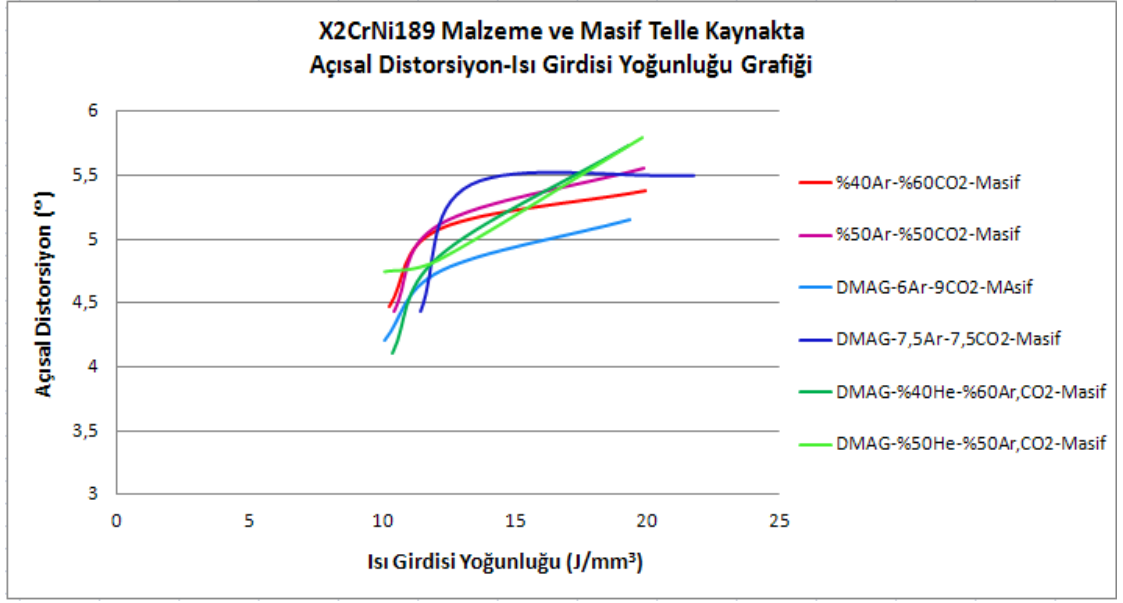
Şekil 5.92'deki grafik incelendiğinde görüleceği üzere, ilave malzeme olarak dekapan özlü tel (P309L) kullanıldığında, 6 mm'lik kalınlığa sahip parçanın kaynağında en düşük açısal çarpılma, %50Ar-%50CO₂ karışımı ile elde edilirken, en yüksek çarpılma iç kanaldan 7,5lt/dk %40He ve %60Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG yöntemi ile elde edilmiştir. %50Ar-%50CO₂ ile elde edilen çarpılma değeri, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilenden %10,76 daha az olmuştur. %40Ar-%60CO₂ ile elde edilen değer ise, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ kullanımıyla elde edilenden %2,84 daha azdır. İç kanaldan 7,5lt/dk %50He ve %50Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂'in gönderildiği DMAG ise, %50Ar-%50CO₂ karışımından %8,3 daha fazla distorsiyon meydana getirmiştir. 8 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik parçaların özlü telle kaynağında en düşük açısal çarpılma iç kanaldan 7,5lt/dk %40He ve %60Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG yöntemi ile elde edilmiştir ve bu değer; iç kanaldan 7,5lt/dk %50He ve %50Ar karışımı, dış kanaldan ise 7,5lt/dk CO₂ gönderilen DMAG yöntemi ile elde edilene çok yakındır. DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilen çarpılma değeri, %50Ar-%50CO₂ ile elde edilene göre %5,87 daha azdır. %40Ar-%60CO₂ ile elde edilen değer ise, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilene göre %2,03 daha düşüktür. 10 mm sahip paslanmaz çelik parçaların özlü telle kaynağında ise en düşük açısal çarpılma DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂ ile elde edilmiştir ve bu açısal çarpılma değeri, %50Ar-

%50CO₂ ile elde edilenden %16,29 daha azdır. %40Ar-%60CO₂ ile elde edilen çarpılma ise, DMAG 6ltAr-9ltCO₂ ile elde edilenden %11,59 daha düşüktür. İç kanaldan He ve Ar karışımı, dış kanaldan ise CO₂ gönderilen DMAG yöntemlerinde açısıl distorsiyon değerleri, DMAG 7,5ltAr-7,5ltCO₂'e göre yaklaşık %9 ila %12,5 daha yüksek çıkmıştır.

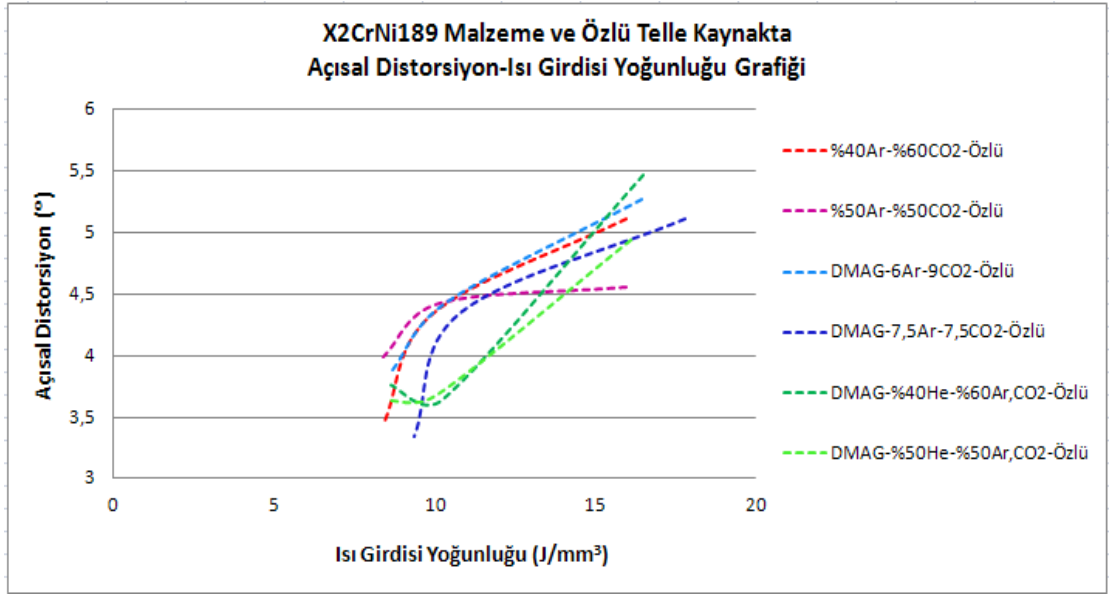


Şekil 5. 92 Paslanmaz özlü tel ile kaynak edilmiş X2CrNi189 malzemedan T-köşe kaynaklı numunelerin açısıl distorsiyon-parça kalınlığı grafiği

Aynı koruyucu gaz oranları ve gaz yönlendirme türleriyle ve düşük karbonlu çelik malzemede kullanılanlara kıyasla, daha düşük kaynak akım şiddeti ve ark gerilimi kullanımına rağmen, ostenitik paslanmaz çeliğin ısı iletim kabiliyetinin düşük ve ısıl genleşme kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle, daha yüksek açısıl distorsiyon değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Hem paslanmaz masif hem de paslanmaz özlü telle çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemiyle ve karışım gazı metoduyla kaynakta, ısı girdisi yoğunluğu arttıkça açısıl distorsiyonun arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 93 Paslanmaz masif tel ile kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynaklı numunelerin açısai distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiğı



Şekil 5. 94 Paslanmaz özlü tel ile kaynak edilmiş X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynaklı numunelerin açısai distorsiyon-ısı girdisi yoğunluğu grafiğı

Paslanmaz masif telle kaynakta, hem ısı girdisi yoğunluğunun düşük olduğı yani kalın parçalarda hem de ısı girdisi yoğunluğunun yüksek olduğı ince parçalarda DMAG-6Ar-9CO₂ yöntemi açısai distorsiyon bakımından en uygun değeri vermektedir. Karışım gazı yöntemine bakıldığında ise, ince parçaların kaynağında %40Ar-%60CO₂ karışımının, %50Ar-%50CO₂ karışımından daha düşük açısai distorsiyon değeri verdiği tespit edilirken, kalın parçaların kaynağında ise bu iki karışım gazı arasında bir fark olmadığı

belirlenmiştir. Hem DMAG hem de karışım gazı yöntemlerinde, toplam gaz miktarında Ar oranının düşük olması ile daha düşük açisal distorsiyon değerleri elde edilmiştir. İç kanaldan %40He-%60Ar, dış kanaldan ise CO₂ gönderilen yöntem ince parçaların kaynağında iyi bir performans sergileyemezken, kalın parçaların kaynağında iyi sonuç vererek, DMAG-6Ar-9CO₂ yönlendirmesine oldukça yakın açisal distorsiyon değerleri elde edilmesini sağlamıştır.

Paslanmaz özlü telle kaynakta ise herhangi bir gaz karışım oranı veya gaz yönlendirme türünün tüm kalınlıklar için etkili bir çözüm sunduğu söylenememektedir. Kalın parçaların kaynağında DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ en düşük açisal distorsiyon değerini vermişken, ince parçaların kaynağında ise %50Ar-%50CO₂ karışım gazı en uygun çözümü vermiştir. İç kanaldan %40He-%60Ar ve %50He-%50Ar, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği yöntemlerle kaynakta, parçalar kalın olduğunda tatminkar sonuçlar elde edilirken, ince parçaların kaynağında benzer bir sonuç elde etmek olası olmamaktadır. İç kanaldan %50He-%50Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂ gazının gönderildiği yöntem de tercih edilebilir bir seçenek olarak gözükmemektedir.

KAYNAK MALİYETİ HESABI VE PROSES ANALİZİ

Kaynak maliyeti iki kategoride incelenebilmektedir. Sabit maliyetler, yönetim maliyeti, vergiler, sigorta, malzemenin transferi ve yerleştirilmesi, kaynak yerinin temizlenmesi gibi kaynak işleminden ve dolgu metalinden bağımsız olan maliyetlerden oluşmaktadır. Değişken maliyetler ise kaynak işi tipine bağlıdır ve de işçilik, taşeron vb. maliyetleri kapsamaktadır.

Kaynak maliyetinde kullanılan malzeme ve işçilik birlikte ele alınmalıdır. Malzeme maliyetini ise, elektrot, toz, koruyucu gaz, enerji vb. tüketilenler teşkil etmektedir. İşçilik maliyetini ise insan gücü maliyeti, işletme giderleri vb. oluşturmaktadır. Kaynak maliyeti hesaplarında malzeme ve işçilik maliyetleri için ortak birim maliyetler kullanılmalıdır [97].

Bu tezde kaynak maliyeti hesaplanırken, amaç, geleneksel karışım gazı yöntemi ile çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemlerinin birbirlerine göre maliyetlerini incelemek ve çift kanal gaz yönlendirme yönteminin endüstriye ilave bir maliyet getirip getirmeyeceğini incelemek olmuştur.

Gerçek imalat uygulamalarında karışım gazı cihazının kullanılması yerine karışım gazı tüplerinin hazır alınmasına sıklıkla rastlanmaktadır; farklı bir toç kullanımında da kayıpların mevcut torçtaki kayıplardan farklı olabileceği öngörülmüştür. Yarı otomatik kaynak için her iki kaynak yönteminde de işçilik maliyetlerinin eşit olacağı öngörüsüyle, bu maliyet hesaplara dahil edilmemiştir. Dolayısıyla anlaşılabilirliği ve hesapları kolaylaştırmak adına, bölüm 4.1’de belirtilen karışım gazı cihazı ve torca bağlı koruyucu gaz kayıpları, ön ve son gaz akışları vb. kayıplar da hesaplara katılmamıştır. Maliyet hesapları, 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip, S235JR düşük karbonlu çelik ve

X2CrNi 18 9 ostenitik paslanmaz çelik T-köşe kaynak numunelerinin kaynağı için gerçekleştirilmiştir.

6.1 Birim Maliyetler

6.1.1 Koruyucu Gaz Birim Maliyeti

%100 Ar tüpü 50 lt'lik ve 230 bar dolum basıncı ile 12,06 m³ gaz ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 188,2 TL'dir [98]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0156 TL olarak hesaplanmaktadır.

%100 CO₂ tüpü 50 lt'lik ve 50 bar dolum basıncı ile 35 kg sıvı CO₂ ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 63,72 TL'dir [98]. CO₂'in yoğunluğu 1,977 kg/m³'tür [47]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0036 TL olarak hesaplanmaktadır.

%40Ar+%60CO₂ tüpü 50 lt'lik ve 85 bar dolum basıncı ile 6,1 m³ gaz ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 192,5 TL'dir [98]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0315 TL olarak hesaplanmaktadır.

%50Ar+%50CO₂ karışım gazı 50 lt'lik tüpte 102 bar dolum basıncı ile 7,1 m³ gaz ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 196,5 TL'dir [98]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0276 TL olarak hesaplanmaktadır.

%60Ar+%40CO₂ tüpü 50 lt'lik ve 127 bar dolum basıncı ile 8,6 m³ gaz ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 198,8 TL'dir [98]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0231 TL olarak hesaplanmaktadır.

%40He+%60Ar tüpü 50 lt'lik ve 200 bar dolum basıncı ile 9,8 m³ gaz ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 360,8 TL'dir [98]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0368 TL olarak hesaplanmaktadır.

%50He+%50Ar tüpü 50 lt'lik ve 200 bar dolum basıncı ile 9,6 m³ gaz ihtiva etmektedir. 1 tüpün maliyeti KDV dahil 395,2 TL'dir [98]. Dolayısıyla 1 lt gazın maliyeti 0,0411 TL olarak hesaplanmaktadır.

6.1.2 Kaynak Teli Birim Maliyeti

Düşük karbonlu çelik ve paslanmaz çelik malzeme için olan masif ve özlü tellerin KDV dahil maliyetleri aşağıda verilmektedir.

- 1) Askaynak SG2 masif tel → 3,83 TL/kg [99]
- 2) Starweld MCW-7100 metal özlü tel → 2,85€/kg → 6,7 TL/kg [100]
- 3) Kobatek MIG308LSi paslanmaz masif tel → 10,11€/kg → 23,8 TL/kg [101]
- 4) Lincoln Electric Cor-A-Rosta P309L paslanmaz rutil özlü tel → 17,98€/kg → 42,3 TL/kg [102] (1€=2,35 TL; 12 Ocak 2012 TCMB kuru)

6.1.3 Elektrik Birim Maliyeti

Sanayi elektriğinin 1kWh maliyeti KDV dahil 0,318 TL'dir [103].

6.2 Tüketimler ve Maliyetleri

6.2.1 Koruyucu Gaz Tüketimi ve Maliyeti

Koruyucu gaz tüketimine kullanılan tel elektrodun direkt etkisi bulunmamaktadır. Aşağıda aynı gaz oranları için, harcanan koruyucu gaz miktarları ve 1 dakika ve 1 saat ark zamanındaki koruyucu gaz maliyetleri verilmiştir.

A) DMAG 6Ar-9CO₂ → İç kanal: 6 lt/dk Ar, dış kanal: 9 lt/dk CO₂

→ 6*0,0156 TL + 9*0,0036 TL = 0,126 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,126 TL = 7,56 TL

Karışım %40Ar+%60CO₂ → 15 lt/dk %40Ar-%60CO₂ karışım gazı

→ 15*0,0315 TL = 0,4725 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,4725 TL = 28,35 TL

B) DMAG 7,5Ar-7,5CO₂ → İç kanal: 7,5 lt/dk Ar, dış kanal: 7,5 lt/dk CO₂

→ 7,5*0,0156 TL + 7,5*0,0036 TL = 0,144 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,144 TL = 8,64 TL

Karışım %50Ar+%50CO₂ → 15 lt/dk %50Ar-%50CO₂ karışım gazı

→ 15*0,0276 TL = 0,414 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,414 TL = 24,84 TL

C) DMAG 9Ar-6CO₂ → İç kanal: 9 lt/dk Ar, dış kanal: 6 lt/dk CO₂

→ 9*0,0156 TL + 6*0,0036 TL = 0,162 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,162 TL = 9,72 TL

Karışım %60Ar+%40CO₂ → 15 lt/dk %60Ar-%40CO₂ karışım gazı

→ 15*0,0231 TL = 0,3465 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,3465 TL = 20,79 TL

D) DMAG-%40He+%60Ar, CO₂ → İç kanal: 7,5lt/dk %40He+%60Ar, dış kanal: 7,5lt/dk CO₂

→ 7,5*0,0368 TL+7,5*0,0036 TL = 0,303 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,303 TL = 18,18 TL

DMAG-%50He+%50Ar, CO₂ → İç kanal: 7,5lt/dk %50He+%50Ar, dış kanal: 7,5lt/dk CO₂

→ 7,5*0,0411 TL + 7,5*0,0036 TL = 0,335 TL (1 dk ark zamanı)

1 saatlik ark zamanı için koruyucu gaz maliyeti → 60*0,335 TL = 20,10 TL

6.2.2 Kaynak Teli Tüketimi ve Maliyeti

200 mm uzunluğa sahip, S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numunelerinin kaynağında kullanılan tel besleme hızları ve kaynak hızları bölüm 4.4.1'de verilmiştir. Bu bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 6. 1 S235JR malzemeden T-köşe kaynak numuneleri için tel besleme ve kaynak hızları ile 1 paso için gerekli ark süresi

Kalınlık (mm)	Tel besleme hızı (mm/dk)	Kaynak hızı (mm/dk)	1 paso için ark süresi (dk)
6	9550	470	0,425
8	10510	430	0,465
10	12010	340	0,588

Çizelge 6. 2 X2CrNi 18 9 malzemeden T-köşe kaynak numuneleri için tel besleme ve kaynak hızları ile 1 paso için gerekli ark süresi

Kalınlık (mm)	Tel besleme hızı (mm/dk)	Kaynak hızı (mm/dk)	1 paso için ark süresi (dk)
6	8000	380	0,526
8	8300	360	0,555
10	8760	300	0,667

1 saatte yığılan ilave metal miktarlarını hesaplamak için kullanılan kaynak tellerinin birim hacimlerinin kütle değerlerini bilmeye gerek vardır. Yapılan ölçümlerle ve hesaplamalarla, 1 m uzunluğundaki tel elektrotların hacim ve birim hacimdeki kütle değerleri elde edilmiştir. Çizelge 6.3'te Askaynak SG2 masif tel, Starweld MCW-7100 metal özlü tel, Kobatek MIG308LSi paslanmaz masif tel ve Lincoln Electric Cor-A-Rosta P309L paslanmaz rutil özlü tele ait birim hacimdeki kütle değerleri verilmektedir. Çizelge 4.6 ve 4.7'deki numuneler için çizelge 5.9 ve çizelge 5.13'deki ilave metal ergime alanları dikkate alınarak bu numuneler için 1 saatteki ilave metal harcama miktarları ve ilave metal yığma miktarları hesaplanmıştır. Bunun için makro fotoğraflardan elde edilen ilave metal ergime alanlarının ortalaması alınmış ve bu değer numunelerin boyu ile çarpılarak ilave metal hacmi bulunmuştur. Hacim değeri de birim hacim kütle değeri ile çarpılarak 1 paso için olan ark süresinde yığılan ilave metal kütlesi hesaplanmıştır. Daha sonra da 1 saatte yığılan ilave metal miktarı hesaplanmıştır.

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{m \text{ (g)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}} \rightarrow m \text{ (g)} = \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} * V \text{ (cm}^3\text{)} \quad (6.1)$$

$$V \text{ (mm}^3\text{)} = A \text{ (mm}^2\text{)} * L \text{ (mm)} \quad (6.2)$$

$$A \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{\pi}{4} * d^2 \quad (6.3)$$

S235JR malzeme için olan sonuçlar çizelge 6.4'te, X2CrNi 18 9 malzeme için olan sonuçlar ise çizelge 6.5'de verilmektedir. Çizelge 6.6'da ise S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemelerin T-köşe kaynağında 1 saatte harcanan ilave malzeme miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 6. 3 Tel elektrotlara ait birim hacimdeki ağırlık değerleri

Tel Elektrot	1 m telin kütlesi (g)	Telin birim hacminin kütlesi (g/cm ³)
Askaynak SG2 masif	8,429	7,46
Starweld MCW-7100 metal özlü	8,079	7,15
Kobatek MIG308LSi paslanmaz masif	8,568	7,58
Lincoln Electric Cor-A-Rosta P309L paslanmaz rutil özlü	7,485	6,62

Çizelge 6. 4 S235JR malzeme için ilave metal yığma miktarları

S235JR Malzeme			İlave Metal Alanı (mm ²)	1 paso için ark süresinde yığılan ilave metal miktarı (g)	1 saatte yığılan ilave metal miktarı (kg/sa)
Masif Tel	6 mm	%50Ar-%50CO ₂	20,455	30,52	4,31
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	22,416	33,44	4,72
	8 mm	%60Ar-%40CO ₂	24,805	37,00	4,77
		DMAG-9Ar-6CO ₂	25,655	38,27	4,94
	10 mm	%40Ar-%60CO ₂	36,565	54,55	5,56
		DMAG-6Ar-9CO ₂	37,72	56,28	5,74
Özlü Tel	6 mm	%40Ar-%60CO ₂	19,375	27,70	3,91
		DMAG-6Ar-9CO ₂	19,910	28,47	4,02
	8 mm	%50Ar-%50CO ₂	24,265	34,69	4,47
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	26,447	37,82	4,88
	10 mm	%60Ar-%40CO ₂	36,500	52,19	5,32
		DMAG-9Ar-6CO ₂	37,835	54,10	5,52

Çizelge 6. 5 X2CrNi 18 9 malzeme için ilave malzeme yığma miktarları

X2CrNi 18 9 Malzeme			İlave Metal Alanı (mm ²)	1 paso için ark süresinde yığılan ilave metal miktarı (g)	1 saatte yığılan ilave metal miktarı (kg/sa)
Masif Tel	6 mm	%40Ar-%60CO ₂	20,81	31,54	3,59
		DMAG-6Ar-9CO ₂	23,30	35,33	4,03
	8 mm	%40Ar-%60CO ₂	24,84	37,65	4,07
		DMAG-6Ar-9CO ₂	22,66	34,35	3,71
	10 mm	DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	30,92	46,87	4,21
		DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂	27,68	41,96	3,77
Özlü Tel	6 mm	%50Ar-%50CO ₂	16,01	21,19	2,41
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	17,24	22,82	2,60
	8 mm	%50Ar-%50CO ₂	18,82	24,91	2,69
		DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	17,90	23,70	2,56
	10 mm	%50Ar-%50CO ₂	23,25	30,78	2,77
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	24,10	31,91	2,87

Çizelge 6. 6 Üç farklı kalınlığa sahip (6 mm, 8 mm ve 10 mm) S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemelerin T-köşe kaynağında 1 saatte harcanan ilave malzeme miktarları

Malzeme	Kalınlık (mm)	İlave Malzeme Türü	1 saatte Harcanan İlave Malzeme Miktarı (kg/sa)	1 saatte Harcanan İlave Malzeme Maliyeti (TL)	Yığılan 1 kg Kaynak Metali İçin İlave Malzeme Maliyeti (TL)	
					Karışım	DMAG
S235JR	6	Masif	4,83	18,50	4,29	3,70
		Özlü	4,63	31,02	7,93	7,71
	8	Masif	5,31	20,33	4,26	4,11
		Özlü	5,09	34,10	7,63	6,67
	10	Masif	6,07	23,25	4,18	4,05
		Özlü	5,82	39,00	7,33	7,06
X2CrNi 18 9	6	Masif	4,11	97,82	27,24	24,27
		Özlü	3,59	151,85	63,00	58,40
	8	Masif	4,26	101,39	24,91	27,33
		Özlü	3,72	157,35	58,49	61,46
	10	Masif	4,50	107,10	25,44	28,41
		Özlü	3,93	166,24	60,01	57,92

Dolgu verimi, yığılan kaynak metali ağırlığının, elektrodun kullanılan kısmının ağırlığına oranlanmasıyla elde edilmektedir [104]. DMAG ve geleneksel karışım yöntemlerinin dolgu verimlerine bakıldığında ise, DMAG yönteminin daha verimli olduğu görülmektedir. S235JR malzemenin kaynağındaki dolgu verimi değerlerinin, geleneksel karışım gazı yöntemi ve masif tel kullanımı için %89-%92, özlü tel kullanımı için %84-%91; DMAG yöntemi ve masif tel kullanımı için %93-%98, özlü tel kullanımı içinse %87-%96 arasında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde X2CrNi 18 9 malzemenin kaynağındaki dolgu verimi değerlerinin, geleneksel karışım gazı yöntemi ve masif tel kullanımı için %87-%95, özlü tel kullanımı için %67-%70; DMAG yöntemi ve masif tel kullanımı için %87-%98, özlü tel kullanımı içinse %72-%73 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmelere, gaz oranlarının farklı olması nedeniyle karşılaştırılabilir olmaması bakımından, iç kanalda Ar+He karışımı, dış kanaldan ise CO₂ akışının olduğu DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ ve DMAG-%50He-%50Ar,CO₂ gaz yönlendirmeleri dahil edilmemiştir. Bu iki tip gaz yönlendirmesi kendi arasında karşılaştırıldığında ise, masif tel kullanımında DMAG-%50He-%50Ar,CO₂ ile yığılan 1 kg kaynak metali için ilave malzeme maliyetinin, DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ ile elde edilene kıyasla %11,6 daha fazla olduğu görülmektedir. Özlü tel kullanımında, DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ ile yığılan 1 kg kaynak metali için ilave malzeme maliyetinin, %50Ar-%50CO₂ karışımına kıyasla %5 daha fazla olduğu görülmektedir.

6.2.3 Enerji Tüketimi ve Maliyeti

Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiş olan S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemedan numunelerin kaynağına ait parametreler, sırasıyla, çizelge 5.6, 5.7 ve 5.8 ve çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12’de verilmişti. Lincoln Electric Powervawe 405M kaynak makinasının verim değeri (η) 0,95’tir. Güç (P) ve enerji (E) değerleri aşağıdaki formüller uyarınca ve kaynak süreleri dikkate alınarak hesaplanabilmektedir. Hesaplamalarda ortalama akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri kullanılmıştır.

$$P (W) = \frac{U (V) * I (A)}{\eta} \quad (6.4)$$

$$P (W) = \frac{E (J)}{t (s)} \rightarrow E (J) = \frac{U (V) * I (A) * t (s)}{\eta} \quad (6.5)$$

Çizelge 6. 7 S235JR numunelerin T-köşe kaynağı için ortalama enerji tüketim maliyeti

S235JR Malzeme			Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Ark Gerilimi (V)	Ortalama Enerji Tüketimi (kWh)	Ortalama Enerji Maliyeti (TL)
Masif Tel	6 mm	%50Ar-%50CO ₂	242,5	29,3	7,48	2,378
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	248,5	28	7,32	2,329
	8 mm	%60Ar-%40CO ₂	261	28,7	7,88	2,507
		DMAG-9Ar-6CO ₂	259	27,4	7,47	2,375
	10 mm	%40Ar-%60CO ₂	281,5	30,7	9,10	2,893
		DMAG-6Ar-9CO ₂	298,5	28,9	9,08	2,888
Özlü Tel	6 mm	%40Ar-%60CO ₂	225	30,8	7,29	2,320
		DMAG-6Ar-9CO ₂	224	30,5	7,19	2,287
	8 mm	%50Ar-%50CO ₂	235	29,5	7,30	2,321
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	251,5	29,2	7,73	2,458
	10 mm	%60Ar-%40CO ₂	267	31,1	8,74	2,780
		DMAG-9Ar-6CO ₂	277,5	30,9	9,03	2,870

Çizelge 6. 8 X2CrNi 18 9 numunelerin T-köşe kaynağı için ortalama enerji tüketim maliyeti

X2CrNi 18 9 Malzeme			Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Ark Gerilimi (V)	Ortalama Enerji Tüketimi (kWh)	Ortalama Enerji Maliyeti (TL)
Masif Tel	6 mm	%40Ar-%60CO ₂	181	28	5,33	1,696
		DMAG-6Ar-9CO ₂	185	26,9	5,24	1,667
	8 mm	%40Ar-%60CO ₂	189	27,6	5,49	1,746
		DMAG-6Ar-9CO ₂	194	27,1	5,53	1,760
	10 mm	DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	198	28,3	5,90	1,876
		DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂	199	28,2	5,91	1,878
Özlü Tel	6 mm	%50Ar-%50CO ₂	143	28,6	4,31	1,369
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	158,5	28,4	4,74	1,507
	8 mm	%50Ar-%50CO ₂	147	29,9	4,63	1,471
		DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	147,5	29,5	4,58	1,457
	10 mm	%50Ar-%50CO ₂	155,5	30,1	4,93	1,567
		DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	172,5	30,1	5,47	1,738

6.2.4 Toplam Maliyet

1 saatlik kaynak işlemi için koruyucu gaz maliyeti, yığılan 1 kg kaynak metali için ilave metal (kaynak teli) maliyeti ve 1 saatlik ortalama enerji maliyeti eklenerek toplam maliyet çıkartılmış ve çizelge 6.9'da verilmiştir. Daha önceden de belirtildiği üzere bu toplam maliyetin içinde, ilk yatırım ve amortisman maliyetleri, yarı otomatik kaynak için her iki kaynak yönteminde de işçilik maliyetlerinin eşit olacağı öngörüsüyle işçilik maliyetleri, kaynak öncesi hazırlık ve kaynak sonrası temizlik işlemlerinin maliyetleri, torçtaki gaz kayıpları, ön ve son gaz akışlarındaki kayıplardan ileri gelen ekstra maliyetler yer almamıştır.

Çizelge 6. 9 S235JR ve X2CrNi 18 9 malzemelerin T-köşe kaynağında toplam maliyet

Malzeme, Kalınlık, Kaynak Teli, Gaz Yönlendirmesi				Koruyucu Gaz Maliyeti (TL)	Kaynak Teli Maliyeti (TL)	Ortalama Enerji Maliyeti (TL)	Toplam Maliyet (TL)
S235JR	Masif Tel	6 mm	%50Ar-%50CO ₂	24,84	4,29	2,378	31,508
			DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	8,64	3,70	2,329	14,669
		8 mm	%60Ar-%40CO ₂	20,79	4,26	2,507	27,557
			DMAG-9Ar-6CO ₂	9,72	4,11	2,375	16,205
		10 mm	%40Ar-%60CO ₂	28,35	4,18	2,893	35,423
			DMAG-6Ar-9CO ₂	7,56	4,05	2,888	14,498
	Özlü Tel	6 mm	%40Ar-%60CO ₂	28,35	7,93	2,320	38,600
			DMAG-6Ar-9CO ₂	7,56	7,71	2,287	17,557
		8 mm	%50Ar-%50CO ₂	24,84	7,63	2,321	34,791
			DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	8,64	6,67	2,458	17,768
		10 mm	%60Ar-%40CO ₂	20,79	7,33	2,780	30,900
			DMAG-9Ar-6CO ₂	9,72	7,06	2,870	19,65
X2CrNi 18 9	Masif Tel	6 mm	%40Ar-%60CO ₂	28,35	27,24	1,696	57,286
			DMAG-6Ar-9CO ₂	7,56	24,27	1,667	33,497
		8 mm	%40Ar-%60CO ₂	28,35	24,91	1,746	55,006
			DMAG-6Ar-9CO ₂	7,56	27,33	1,760	36,65
		10 mm	DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	18,18	25,44	1,876	45,496
			DMAG-%50He-%50Ar,CO ₂	20,10	28,41	1,878	50,388
	Özlü Tel	6 mm	%50Ar-%50CO ₂	24,84	63,00	1,369	89,209
			DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	8,64	58,40	1,507	68,547
		8 mm	%50Ar-%50CO ₂	24,84	58,49	1,471	84,801
			DMAG-%40He-%60Ar,CO ₂	18,18	61,46	1,457	81,097
		10 mm	%50Ar-%50CO ₂	24,84	60,01	1,567	86,417
			DMAG-7,5Ar-7,5CO ₂	8,64	57,92	1,738	68,298

Hem S235JR hem de X2CrNi 18 9 malzeme ile gerçekleştirilen T-köşe kaynaklarının tümünde, DMAG prosesinin, hem koruyucu gaz, hem kaynak teli hem de tüketilen enerji maliyetlerinin ve de dolayısıyla toplam maliyetinin, karışım gazı prosesinden daha düşük olduğu görülmektedir. Maliyetteki bu farkın, özellikle koruyucu gaz tüketiminden kaynaklandığı, kaynak teli kullanım maliyetlerindeki farkların, koruyucu gaz tüketim maliyetindekiler kadar büyük olmadığı ve de tüketilen enerji maliyetlerinin ise birbirlerine yakın olduğu ve de toplam maliyeti 3. dereceden etkilediği görülmektedir. Toplam maliyeti 1. dereceden etkileyen koruyucu gaz maliyetleri karşılaştırıldığında, karışım gaz yöntemi ile oluşan maliyetlerin, DMAG yöntemindekine kıyasla ~%114 ila %275 daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Toplam maliyeti 2. dereceden etkileyen kaynak teli maliyetleri karşılaştırıldığında, karışım gazı yöntemi ile oluşan maliyetlerin, DMAG yöntemindekine kıyasla, sırasıyla, S235JR malzemenin masif ve metal özlü telle kaynağında ~%3 ila %16, X2CrNi 18 9 malzemenin paslanmaz masif ve paslanmaz özlü telle kaynağında ise, ~%4 ila %16 daha fazla olduğu görülmektedir. Buna istisna ise 8 mm kalınlığa sahip X2CrNi 18 9 malzemenin kaynağıdır ve burada DMAG yöntemiyle kaynak teli maliyeti karışım gazı yöntemine kıyasla %9 daha fazla çıkmıştır. Toplam maliyeti 3. dereceden etkileyen enerji tüketim maliyetleri karşılaştırıldığında, özellikle X2CrNi 18 9 malzemenin kaynağında, karışım gazı yönteminden daha yüksek akım şiddeti ve karışım gazına yakın ark gerilimi nedeniyle, DMAG yönteminin karışım gazı yöntemine kıyasla enerji tüketim maliyetinin genellikle biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Toplam maliyetler kıyaslandığında ise, karışım gazı yöntemiyle oluşan maliyetlerin DMAG yöntemine göre, sırasıyla, S235JR malzemenin kaynağında ~%57 ila %144, X2CrNi 18 9 malzemenin kaynağında ise ~%26 ila %75 daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Hem S235JR hem de X2CrNi 18 9 malzemelerin kaynağında, masif tel kullanımına kıyasla özlü tel kullanımında, karışım yöntemi ve DMAG yöntemlerinin maliyetleri arasındaki fark azalmaktadır. Bunun nedeni ise, hem düşük karbonlu çelik hem de paslanmaz çelik malzemeler için olan özlü tellerin, masif tellerden daha maliyetli olması ve böylece, toplam maliyet içindeki paylarının artarak, koruyucu gaz maliyetleri arasındaki farkın toplam maliyete olan etkisini azaltmalarıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Düşük karbonlu çelik (S235JR) ve ostenitik paslanmaz çelik (X2CrNi 18 9) malzemelerin, geleneksel karışım gazı ve çift kanallı gaz yönlendirmesi (DMAG) yöntemleri ile ve farklı koruyucu gaz oranlarında yapılan V- alın ve T-köşe kaynakları neticesinde elde edilen bulgular aşağıda özetlenmektedir.

V-alın kaynak ağzına sahip numunelerin hem masif hem de metal özlü telle kaynağında, %40Ar-%60CO₂, %50Ar-%50CO₂ ve %60Ar-%40CO₂ karışım gazları ile gaz oranları olarak bunların muadili ve çift kanallı gaz yönlendirme yöntemleri olan, sırasıyla, DMAG-6Ar-9CO₂, DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve DMAG-9Ar-6CO₂ kullanılmıştır.

1. Karışım gazı yönteminde masif tel kullanımında, özlü tele kıyasla elde edilen akım şiddeti değerleri daha yüksekken ark gerilimi değerleri biraz daha düşük olmuştur. Çift kanal gaz yönlendirme yönteminde ise, masif tele kıyasla, metal özlü tel ile elde edilen akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri artış göstermiştir. Özellikle iç kanaldan gönderilen Ar gazı miktarı arttığında bu etki daha net hissedilmektedir. %50Ar-%50CO₂ karışımı ve buna karşılık gelen DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ hariç, masif telle kaynakta eş koruyucu gaz oranları için, karışım gazı yöntemine göre çift kanal gaz yönlendirmesi ile elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Yine eş koruyucu gaz oranları için, özlü tel kullanımında çift kanallı gaz yönlendirmesi yönteminde ortalama akım şiddeti ve ark gerilimi değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir ve buradaki fark, masif telde elde edilenlere göre daha belirgin olmaktadır.

2. Ark süresi toplam 23,4 dk. olmak üzere 14 pasolu ve hem geleneksel karışım gazı hem de çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynakta, torcun hem iç hem de dış nozulunda biriken çapak miktarları hassas terazide tartılmıştır. Masumoto vd.'nin [71] de bulduğu gibi hem masif tel ile kaynakta hem de özlü telde DMAG ile elde edilen nozul çapak miktarları, karışım gazı ile elde edilenlere göre çok daha düşük çıkmıştır.

Hem geleneksel karışım gazı ile kaynakta hem de Kutsuna ve Abraham'ın [72] çalışmasında rastlandığı gibi, çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynakta, özlü tel ile elde edilen çapak miktarları masif telle elde edilenlere göre daha düşük seviyededir.

Hem masif hem de metal özlü telle DMAG kaynağında, iç kanaldan gönderilen Ar miktarı, 7,5 lt/dk'lık debi değerine kadar arttığında çapak miktarında düşüş gözlemlenmektedir ve masif telle en düşük çapak değeri DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ile elde edilmektedir. Bu Ar miktarının aşılması ile çapak oluşumu bir miktar artmaktadır fakat bu, düşük Ar miktarlarına kıyasla çapak miktarının daha düşük seviyelerde kalmasına sebep olmaktadır.

Masif telle kaynakta karışım gazı kullanımında ise karışımdaki CO₂ oranı arttıkça çapak miktarının arttığı görülmektedir. Metal özlü tel ve karışım gazıyla kaynakta, %50Ar-%50CO₂ en yüksek çapak miktarını vermişken, en düşük değeri %40Ar-%60CO₂ karışımı vermiştir.

Tüm tel ve gaz kombinasyonları dikkate alındığında, en düşük çapak değerini 2,878 g ile metal özlü tel ve DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ yönlendirmesinin, en yüksek çapak değerini ise 36,568 g ile, masif tel kullanımında %40Ar-%60CO₂ karışımının verdiği görülmektedir. Hem nozulda biriken çapak miktarları hem de kaynak sonrası ana malzeme üzerinde biriken çapak miktarları bakımından DMAG yönteminin tartışmasız üstünlüğü bulunmaktadır. Kaynak işleminin az çapaklı olması, hem koruyucu gazların daha laminar akışını sağlayacak ve dolayısıyla kaynak metali atmosferden daha iyi korunabilecek hem de nozul ve ana malzeme temizleme gereksinimi en aza inerek zamandan ve işçilikten tasarruf sağlanabilecektir.

3. 20 mm kalınlığa ve V- kaynak ağzına sahip S235JR malzemeler 14 paso ile doldurulduktan sonra kaynak metalinden çekme çubukları ve çentik darbe numuneleri

çıkartılmıştır. Gerçekleştirilen testler neticesinde elde edilen akma, çekme ve çentik darbe enerjisi ile uzama değerleri kıyaslamaya tabi tutulmuştur.

Hem masif hem de metal özlü tel kullanımında DMAG ile elde edilen akma mukavemeti değerleri, karışım gazları ile elde edilenlerden yüksek olmuştur. Ayrıca DMAG yönteminde Ar miktarı arttıkça akma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmektedir; ancak DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve DMAG-9Ar-6CO₂ arasındaki fark yok denecek kadar azdır. Masif ve metal özlü tellerle DMAG kaynağında en yüksek akma mukavemeti değerleri, sırasıyla, DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ (554 MPa) ve DMAG-9Ar-6CO₂ (525 MPa) ile elde edilmiştir. Karışım gazları kullanımında ise karışımdaki Ar miktarı arttıkça akma mukavemeti değerlerinin önce arttığı sonra bir miktar düştüğü gözlemlenmektedir. Karışım gazları ile hem masif hem de metal özlü tel kullanımında en yüksek akma mukavemeti değerleri %50Ar-%50CO₂ ile elde edilmiştir ve bu değerler, sırasıyla, 515 MPa ve 471 MPa'dır.

Çekme mukavemeti sonuçları da akma mukavemeti sonuçları ile paralellik göstermektedir ve hem masif hem de metal özlü tel kullanımında DMAG ile elde edilen çekme mukavemeti değerleri, karışım gazları ile elde edilenlerden yüksek olmuştur. Yine hem masif hem de metal özlü tel kullanımıyla DMAG kaynağında, iç kanaldan gönderilen Ar miktarı arttıkça, çekme mukavemeti artmaktadır ve iç kanaldan 7,5 lt/dk debi ile Ar beslenmesi sınır miktar teşkil etmektedir zira Ar debisi 9 lt/dk'ya çıksa bile çekme mukavemeti değerleri sabit kalmaktadır; masif ve metal özlü tel kullanımında bu değerler, sırasıyla, 608 MPa ve 560 MPa olmaktadır. Yine karışım gazları ile hem masif hem de metal özlü tel kullanımında en yüksek akma mukavemeti değerleri %50Ar-%50CO₂ ile elde edilmiştir ve bu değerler, sırasıyla, 588 MPa ve 536 MPa olmaktadır. Karışımdaki Ar miktarı arttıkça akma mukavemeti değerlerinin önce arttığı sonra bir miktar düştüğü gözlemlenmektedir.

Karışım gazı yöntemine göre akma ve çekme mukavemetinin yüksek olduğu DMAG yönteminde, buna paralel olarak ve beklendiği üzere uzama değerleri genel olarak daha düşük çıkmıştır. Bu husus, hem masif hem de metal özlü telle gerçekleştirilen kaynaklar için geçerli olmaktadır. Bu duruma istisnalar olarak, masif telle gerçekleştirilen kaynakta DMAG-6Ar-9CO₂ numunesindeki uzama miktarının (%29,14),

%40Ar-%60CO₂ karışımı ile elde edilenden (%28,38) yüksek olması ayrıca %60Ar-%40CO₂ ve DMAG-9Ar-6CO₂ ile metal özlü telle gerçekleştirilen kaynaklardaki uzama değerlerinin birbirinin aynı (%26,3) çıkması gösterilebilir.

4. V-çentik darbe testleri +20°C, -20°C ve -30°C'da gerçekleştirilmiştir. +20°C'da hem masif hem de metal özlü telle gerçekleştirilen testlerin sonucunda, tüm koruyucu gaz oranlarında DMAG ile elde edilen çentik darbe enerjisi değerlerinin karışım gazları ile elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Masif tel kullanımıyla ve DMAG yöntemi ile en yüksek çentik darbe enerjisi DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ile (245 J) elde edilmiştir. DMAG yönteminde metal özlü tel kullanımında ise iç kanaldan gönderilen argon miktarı arttıkça çentik darbe enerjisi değerlerinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir ve en yüksek değeri DMAG-9Ar-6CO₂ vermiştir (212 J). Karışım gazları ve masif telle kaynakta ise karışımdaki Ar miktarı arttıkça çentik darbe enerjisi değerlerinin arttığı görülmektedir ve en yüksek değeri %60Ar-%40CO₂ karışımı vermektedir (205 J). Karışım gazları ve metal özlü tel kullanımındaysa en yüksek çentik darbe enerjisi değerini %50Ar-%50CO₂ karışımı vermiştir (178 J).

-20°C'da gerçekleştirilen deneyler sonucunda, yine +20°C'da olduğu gibi, hem masif hem de metal özlü tel kullanımında, tüm koruyucu gaz oranlarında DMAG ile elde edilen çentik darbe enerjisi değerlerinin karışım gazları ile elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Masif tel ve DMAG ile kaynakta, iç kanaldan beslenen Ar miktarının artmasının, çentik darbe enerjisi üzerine çok az bir etkisi olmaktadır ve biraz artış görülmektedir. En yüksek darbe enerjisi değeri DMAG-9Ar-6CO₂ ile elde edilmiştir ve bu değer, DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ile elde edilene çok yakındır. Metal özlü tel ve DMAG ile yapılan kaynakta ise iç kanaldaki Ar miktarı arttıkça, darbe enerjisi değerinin de doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir ve en yüksek değer DMAG-9Ar-6CO₂ ile elde edilmiştir (175 J). Masif tel ve karışım gazı kullanımıyla en yüksek darbe enerjisi değeri %60Ar-%40CO₂ ile elde edilmiştir (175 J). Metal özlü tel ve karışım gazı kullanımında ise %50Ar-%50CO₂ karışımı ile en yüksek sonucun (119 J) elde edildiği gözlemlenmiştir.

-30°C'da gerçekleştirilen deneyler sonucunda da, yine hem +20°C hem de -20°C'da olduğu gibi, masif ve metal özlü kullanımının her ikisinde de tüm koruyucu gaz oranlarında DMAG ile elde edilen çentik darbe enerjisi değerlerinin karışım gazları ile

elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Masif tel ve DMAG ile kaynakta, iç kanaldan gönderilen Ar miktarı arttıkça, darbe enerjisi değerlerinin de çok az artış gösterdiği görülmektedir ve en yüksek değer, DMAG-9Ar-6CO₂ ile (217 J) elde edilmiştir. Metal özlü tel ve DMAG kullanımında, iç kanaldan gönderilen Ar miktarı arttıkça, darbe enerjisi değerlerinin ciddi şekilde arttığı görülmektedir ve en yüksek değer DMAG-9Ar-6CO₂ ile (182 J) elde edilmiştir. Masif tel ve karışım gazı kullanımında ise Ar artışı önce darbe enerjisi değerini düşürmüştü; argonun artmaya devam etmesi ile darbe enerjisi değerinde ciddi artışlar gözlenmiştir ve %60Ar-%40CO₂ ile bu değer 178 J olarak elde edilmiştir. Metal özlü tel ve karışım gazı kullanımında ise karışımdaki argon miktarı arttıkça, uç seviyelerde olmasa bile darbe enerjisi değerlerinde düzenli bir artış görülmektedir.

5. V-alın kaynaklı numunelerin çok pasolu kaynağı sırasında termal kamera cihazı ile yapılan sıcaklık kayıtları incelendiğinde, tek bir durum hariç tüm koruyucu gaz kombinasyonlarında karışım gazları ile daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığı görülmüştür. Kaynak metaline komşu ve termal kameranın kayıt edebildiği en yakın noktanın, her bir koruyucu gaz kombinasyonu için 400°C'a kadar soğuma hızları da hesaplandığında, DMAG yöntemi ile elde edilen soğuma hızlarının daha büyük olduğu görülmektedir.

6. V-alın kaynaklı parçalardan çıkartılan sertlik numuneleri, sertlik taramasına tabi tutulmuştur. Masif telle kaynakta soğuma hızı farkının fazla olmadığı durumda sertlikler birbirine yakın çıkmışken, bu farkın biraz daha fazla olduğu durumlarda (Ç5-DMAG-6Ar-9CO₂ ve Ç6-%40Ar-%60CO₂), çift kanal ile gaz yönlendirmesi yönteminde elde edilen ortalama sertlik değerlerinin biraz daha yüksek olduğu görülmüştür; ancak mikroyapısal dönüşümler meydana gelmediği için sertlikteki bu farklılıklar önemsiz seviyelerde kalmaktadır. Metal özlü telle kullanımında ise karışım gazları ile elde edilen sıcaklık değerlerinin daha yüksek olduğu ancak DMAG yöntemiyle elde edilen soğuma hızlarının ise daha yüksek olduğu görülmektedir. DMAG-9Ar-6CO₂ ile elde edilen sertlik değerlerinin, %60Ar-%40CO₂ ile elde edilenlere göre fark edilir şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin de soğuma hızlarındaki farklılık olduğu düşünülmektedir.

7. V-alın kaynaklı parçaların mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, geleneksel karışım gazı ile kaynağa kıyasla, çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynakta katılaşma aşamasında dallantılı (dendritik) doku oluşumunun daha düşük seviyede kalığı görülmektedir. Bu durum, çift kanallı gaz yönlendirmesi ile kaynak edilen numunelerde akma ve çekme dayanımları ile tokluk değerlerinde artış olmasına neden olmuştur. Hem çift kanallı gaz yönlendirmesi ile hem de geleneksel karışım gazı ile kaynakta, sertlikteki ufak farklılıklar dışında sertliklerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak aynı kalınlığa sahip (20 mm) V-alın kaynak numunelerinde ısı transferinin numunenin genişliği boyunca, kaynak metalinden ana malzemeye doğru büyük oranda homojen şekilde gerçekleşmesi ve bunun sonucu olarak da aynı oranda koruyucu gaz kullanımı durumlarında tane boyutlarının birbirine yakın (eşdeğer) olması söylenebilmektedir. Metal özlü tel kullanımında da, masif tel kullanımında olduğu gibi çift kanallı gaz yönlendirmesi ile dallantılı (dendritik) dokunun daha az oluştuğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak da yine akma ve çekme mukavemeti ile tokluk değerlerinin DMAG yönteminde daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

8. 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip S235JR malzemedan T-köşe kaynak numunelerine ait kaynak parametreleri incelendiğinde masif telle kaynakta eş koruyucu gaz oranları için, karışım gazı yöntemine göre çift kanal gaz yönlendirmesi ile elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu ve birim dikiş enerjisi ile toplam ısı girdisi değerlerinin karışım gazı ile kaynakta daha büyük olduğu söylenebilmektedir. Özlü tel kullanımında ise çift kanallı gaz yönlendirmesi yönteminde ortalama ark gerilimi değerlerinin arttığı ve karışım gazı yöntemine çok yaklaştığı görülmektedir. Ortalama akım şiddeti değerlerinin de daha yüksek olması ile birlikte birim dikiş enerjisi ve toplam ısı girdisi değerlerinin de karışım gazı yöntemine göre daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Özlü tel kullanımında, parça kalınlığı arttıkça, o parça kalınlığına ait ayarlarla bu değişiklikler daha çok görülmektedir. Eldeki tüm deneysel veriler göz önünde bulundurulduğunda, tüm kalınlıklar ve hem karışım gazı yöntemi hem de çift kanallı gaz yönlendirmesi yöntemleriyle kaynakta, masif tele kıyasla metal özlü telle

elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha düşük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha büyük olduğu gözlemlenmektedir.

X2CrNi 18 9 malzemedan T-köşe kaynak numunelerine ait kaynak parametreleri incelendiğinde, S235JR malzemedan T-köşe kaynak numunelerinin parametrelerinde gözlemlendiği gibi, hem masif hem de özlü telle gerçekleştirilen kaynaklarda, karışım gazı yöntemine kıyasla, çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemi ile elde edilen ortalama kaynak akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Eldeki tüm deneysel veriler incelendiğinde, hem karışım gazı yöntemi hem de çift kanallı gaz yönlendirmesi yöntemleriyle kaynakta ve tüm parça kalınlıkları için, paslanmaz özlü tele kıyasla paslanmaz masif tel kullanımıyla elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha yüksek ve ortalama ark gerilimi değerlerinin daha düşük olduğu not edilmiştir. İç kanaldan He ve Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂'in gönderildiği DMAG yöntemlerinde, hem paslanmaz masif hem de paslanmaz özlü telle elde edilen akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, iç kanaldan gönderilen karışımdaki He miktarı arttıkça, akım ve gerilim değerlerinin bir miktar arttığı söylenebilmektedir.

9. T-köşe kaynaklı S235JR malzemedan parçaların mikrosertlik değerleri incelendiğinde, hem masif telle hem de özlü telle yapılan kaynaklarda, 6 mm kalınlığa sahip numunelerdeki aksine, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip numunelerdeki ITAB sertliklerinin, kaynak metali sertliklerinin de üstüne çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni, T- köşe kaynak numunesinde parça kalınlığı arttıkça, parça kalınlığı boyunca meydana gelen ısı kaçışının artması ve bunun da ITAB soğuma hızını arttırarak sertliğini yükseltmesi olduğu düşünülmektedir.

X2CrNi 18 9 ostenitik paslanmaz malzemedan T-köşe kaynaklı parçaların mikrosertlik değerleri incelendiğinde ise, paslanmaz masif tel kullanımında, her üç parça kalınlığı için de ITAB sertliklerinin kaynak metali sertliklerine yakın ancak bir miktar fazla olduğu görülmektedir. Paslanmaz çelik malzemenin ısı iletim katsayısı düşük olduğundan ötürü bu durum ısının yavaş yayılmasına ve dolayısıyla komşu bölgeler arasında sıcaklık farklılıklarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak da 6 mm kalınlığa sahip göreceli olarak ince parçalarda bile ITAB'da elde edilen sertlik değerleri

daha yüksek olabilmektedir. Paslanmaz özlü tel kullanımında ise karışım gazı yöntemine kıyasla, çift kanal gaz yönlendirmesi ile kaynak metali sertlikleri biraz daha yüksek meydana gelmiştir. Ana malzemede görülen yüksek sertlik değerlerinin nedeni olarak sert kromkarbür yapılarının olduğu söylenebilmektedir.

10. S235JR malzemedan ve hem masif hem de metal özlü tel kullanımıyla kaynak edilmiş, seçilmiş olan T-köşe numunelerinin makro fotoğrafları incelendiğinde, karışım gazı yöntemine kıyasla, ortalama ilave metal ergime alanlarının çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemiyle daha büyük olduğu bunun aksine ise ortalama ana malzeme ergime alanlarının karışım gazları ile daha büyük elde edildiği tespit edilmiştir.

X2CrNi 18 9 malzemedan ve seçilmiş olan T-köşe numunelerinin paslanmaz masif tel ile kaynağında, karışım gazıyla elde edilenlere kıyasla DMAG ile daha büyük ortalama toplam ergime alanı değerleri elde edilmiştir. Paslanmaz masif tel kullanımı ve iç kanaldan Ar ve He karışımının, dış kanaldan ise karbondioksitin gönderildiği çift kanal gaz yönlendirmesi yönteminde, iç kanaldan gönderilen argon ve helyum karışımındaki helyum miktarı artınca, ortalama toplam kaynak metali alanının arttığı not edilmiştir. Paslanmaz özlü telle kaynakta ise durumun tersine döndüğü ve DMAG yöntemine kıyasla, karışım gazı yöntemiyle elde edilen ortalama toplam ergime alanı değerlerinin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Paslanmaz özlü tel kullanımında, iç kanaldan 7,5 lt/dk debiyle %40He-%60Ar karışımının, dış kanaldan ise 7,5 lt/dk debiyle CO₂'in gönderildiği çift kanal yöntemiyle elde edilen ortalama toplam kaynak metali alanının, %50Ar-%50CO₂ karışımı ile elde edilene çok yakın olduğu görülmüştür.

11. S235JR malzemedan T-köşe kaynaklı parçalardaki açılal distorsiyon değerleri ele alındığında, masif tel kullanımında, 6 mm kalınlığa sahip parçalarda genel olarak karışım gazı yöntemleriyle elde edilen açılal distorsiyon değerleri daha düşük kalırken, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip parçaların kaynağında, DMAG yöntemi ile daha düşük açılal distorsiyon değerleri elde edilmiştir. 6 mm kalınlık için en düşük distorsiyon değerini %50Ar-%50CO₂ vermişken, 8 mm ve 10 mm kalınlık için en düşük distorsiyon değerleri, sırasıyla, DMAG-9Ar-6CO₂ ve DMAG-6Ar-9CO₂ ile elde edilmiştir. Metal özlü tel kullanımında ise, 6 mm kalınlığa sahip parçaların T-köşe kaynağında en düşük distorsiyon değerini DMAG-6Ar-9CO₂ vermişken, 8 mm ve 10 mm kalınlığa sahip

parçaların kaynağında ise en düşük distorsiyon değerlerini, sırasıyla, DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve DMAG-9Ar-6CO₂ vermiştir.

Distorsiyon olgusunda ısı girdisinin etkisi çok önemli olmaktadır. Bunun yanında parça kalınlığı da distorsiyonu birinci derecede etkilemektedir. Dolayısıyla, hem çizgisel ısı girdisi hem de parça kalınlığı verisini içeren ve malzeme birim hacmi başına ısı girdisi miktarını gösteren, ısı girdisi yoğunluğunun da değerlendirilmesi gerekmektedir. Masif tel ve metal özlü telle hem geleneksel karışım gazı metoduyla hem de çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemiyle kaynakta, bazı istisnalar dışında genel eğilim olarak, ısı girdisi yoğunluğu arttıkça açısal distorsiyonun da arttığı gözlemlenmektedir.

Açısal distorsiyonun göreceli olarak düşük tutulması için, ısı girdisi yoğunluğunun yüksek olduğu ince, düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında yüksek CO₂ oranına sahip karışım gazları, ısı girdisi yoğunluğunun düşük olduğu kalın, düşük karbonlu çelik parçaların kaynağında ise çift kanallı gaz yönlendirme yöntemi tercih edilmelidir. Açısal distorsiyon ele alındığında, kalın parçaların masif telle çift kanallı kaynağında en uygun seçim DMAG-6Ar-9CO₂ olurken, ince parçaların kaynağında en uygun seçimler %50 veya %60 CO₂ içeren Ar-CO₂ karışımları olacaktır. Rijit olmayan ince parçalarda, daha küçük kaynak metali ergimiş alanı ile daha küçük kendini çekme gerilmeleri oluşacaktır ve bu da açısal distorsiyonun küçük olması sonucunu doğuracaktır. Parça kalınlaştıkça, daha büyük kaynak metali ergimiş alanıyla, daha büyük kendini çekme gerilmeleri hasıl olacaktır ancak kaynak metalinin ağırlık merkezi değişeceğinden ve parçanın tarafsız eksenine yaklaşacağından, parçanın tarafsız ekseni ve kaynak metallerinin ağırlık merkezleri arasındaki moment kolu kısılacaktır; bunun sonucunda da açısal distorsiyonda azalma görülecektir.

X2CrNi 18 9 malzemedan T-köşe kaynaklı parçalardaki açısal distorsiyon değerleri incelendiğinde, 6mm ve 8 mm parça kalınlıkları için DMAG-6Ar-9CO₂ yönteminin en düşük açısal distorsiyonu verdiği, 10 mm kalınlık içinse en düşük distorsiyon değerinin iç kanaldan %40He-%60Ar karışımının, dış kanaldan ise CO₂ gazının gönderildiği DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ yöntemiyle elde edildiği ve bu şekilde elde edilen distorsiyon değerinin, DMAG-6Ar-9CO₂ ile elde edilen yalnız bir miktar fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en uygun gaz oranı ve yönlendirmesi yöntemi olarak DMAG-6Ar-9CO₂'in

olduğu söylenebilmektedir. Paslanmaz özlü telle kaynakta ise, 6 mm kalınlık için en düşük distorsiyon değeri %50Ar-%50CO₂ ile elde edilmişken, 8 mm kalınlık için DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ ve DMAG-%50He-%50Ar,CO₂ yöntemleriyle en düşük distorsiyon seviyesi yakalanmıştır. 10 mm kalınlık içinse DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ en düşük distorsiyonu vermiştir.

Aynı koruyucu gaz oranları ve gaz yönlendirme türleriyle ve düşük karbonlu çelik malzemede kullanılanlara kıyasla, daha düşük kaynak akım şiddeti ve ark gerilimi kullanımına rağmen, ostenitik paslanmaz çeliğin ısı iletim kabiliyetinin düşük ve ısı genleşme kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle, daha yüksek açısız distorsiyon değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Hem paslanmaz masif hem de paslanmaz özlü telle çift kanal gaz yönlendirmesi yöntemiyle ve karışım gazı metoduyla kaynakta, ısı girdisi yoğunluğu arttıkça açısız distorsiyonun arttığı görülmektedir.

Paslanmaz masif telle kaynakta, hem ısı girdisi yoğunluğunun düşük olduğu yani kalın parçalarda hem de ısı girdisi yoğunluğunun yüksek olduğu ince parçalarda DMAG-6Ar-9CO₂ yöntemi açısız distorsiyon bakımından en uygun değerleri vermektedir. Paslanmaz özlü telle kaynakta ise herhangi bir gaz karışım oranı veya gaz yönlendirme türünün tüm kalınlıklar için etkili bir çözüm sunduğu söylenememektedir.

12. Hem karışım gazlarıyla hem de çift kanal gaz yönlendirmesi ile kaynakta kaynak maliyeti hesaplanırken, amaç, bu iki yöntemin birbirlerine göre maliyetlerini incelemek ve çift kanal gaz yönlendirme yönteminin endüstriye ilave bir maliyet getirip getirmeyeceğini incelemek olmuştur. Yarı otomatik kaynak için her iki kaynak yönteminde de işçilik maliyetlerinin eşit olacağı öngörüsüyle, bu maliyet hesaplara dahil edilmemiştir. Dolayısıyla anlaşılabilirliği ve hesapları kolaylaştırmak adına, bölüm 4.1’de belirtilen karışım gazı cihazı ve torca bağlı koruyucu gaz kayıpları, ön ve son gaz akışları vb. kayıplar da hesaplara katılmamıştır.

Koruyucu gaz tüketimleri dikkate alındığında, saf Ar ve saf CO₂ gazlarının çift kanallı gaz yönlendirmesinde kullanımına kıyasla, Ar-CO₂ karışım gazı kullanımının maliyetinin çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki yöntemin gaz maliyetleri arasındaki farklar, %114 ila %275 arasında değişmektedir.

DMAG ve geleneksel karışım yöntemlerinin dolgu verimlerine bakıldığında ise, DMAG yönteminin daha verimli olduğu görülmektedir. S235JR malzemenin kaynağındaki dolgu verimi değerlerinin, geleneksel karışım gazı yöntemi ve masif tel kullanımı için %89-%92, özlü tel kullanımı için %84-%91; DMAG yöntemi ve masif tel kullanımı için %93-%98, özlü tel kullanımı içinse %87-%96 arasında olduğu görülmektedir. X2CrNi 18 9 malzemenin kaynağındaki dolgu verimi değerlerinin, geleneksel karışım gazı yöntemi ve masif tel kullanımı için %87-%95, özlü tel kullanımı için %67-%70; DMAG yöntemi ve masif tel kullanımı için %87-%98, özlü tel kullanımı içinse %72-%73 arasında olduğu görülmektedir. Toplam maliyeti 2. dereceden etkileyen kaynak teli maliyetleri karşılaştırıldığında, karışım gazı yöntemi ile oluşan maliyetlerin, DMAG yöntemindekine kıyasla, sırasıyla, S235JR malzemenin masif ve metal özlü telle kaynağında ~%3 ila %16, X2CrNi 18 9 malzemenin paslanmaz masif ve paslanmaz özlü telle kaynağında ise, ~%4 ila %16 daha fazla olduğu not edilmiştir.

Enerji tüketim maliyetleri karşılaştırıldığında ise, DMAG yönteminin, karışım gazı yöntemine kıyasla enerji tüketim maliyetinin genellikle biraz daha yüksek olduğu görülmektedir.

Toplam maliyetler karşılaştırıldığında ise, karışım gazı yöntemiyle oluşan maliyetlerin DMAG yöntemine göre, sırasıyla, S235JR malzemenin kaynağında ~%57 ila %144, X2CrNi 18 9 malzemenin kaynağında ise ~%26 ila %75 daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

GENEL SONUÇLAR

Sonuç olarak, akma ve çekme mukavemetleri ve her üç sıcaklıktaki çentik darbe enerjisi değerleri bakımından, S235JR malzemenin kaynağında, hem DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ hem de DMAG-9Ar-6CO₂ yöntemlerinin oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmekle beraber DMAG-9Ar-6CO₂'in tercih edilmesi daha mantıklı olacaktır. Buna karşın DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ yöntemi hem masif hem de metal özlü telle daha düşük seviyede nozulda çapak birikmesi meydana gelecektir; bu da hem prosesin daha stabil olmasını sağlayacak hem de nozulun daha seyrek temizlenmesi nedeniyle işçilik maliyetlerini düşürecektir. Açısal distorsiyon değerleri dikkate alındığında ise, S235JR malzemenin masif telle kaynağında 9 mm kalınlığa kadar DMAG-9Ar-6CO₂ yönteminin seçilmesi olumlu olacaktır. Metal

özlü kaynakta ise 8 mm ila 10 mm parça kalınlıkları için DMAG-7,5Ar-7,5CO₂'in, 10 mm parça kalınlığı için de DMAG-9Ar-6CO₂ yönteminin seçilmesi mantıklı olacaktır. Açısal distorsiyon açısından, X2CrNi 18 9 malzemenin paslanmaz masif telle kaynağında, her üç kalınlık için de, uygun açısal değerler vermesi bakımından DMAG-6Ar-9CO₂'i seçmek uygun olacaktır. Yine 7 mm ila 10 mm parça kalınlıkları aralığında DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ çift kanal gaz yönlendirme yöntemi seçilebilecektir. Paslanmaz özlü tel kullanımıyla kaynak yapılması durumunda ise 7 mm ila 9 mm kalınlıklar arasında DMAG-%40He-%60Ar,CO₂ veya DMAG-%50He-%50Ar,CO₂ yöntemlerini seçmek uygun olacaktır. 10 mm parça kalınlığı içinse DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ yönteminin seçilmesi uygun düşecektir. Toplam maliyet açısından bakıldığında ise, S235JR düşük karbonlu çelik malzemenin kaynağında, DMAG-9Ar-6CO₂ yöntemi, DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ yönteminden yaklaşık %10 daha maliyetli olmaktadır. X2CrNi 18 9 ostenitik paslanmaz çelik malzemenin kaynağında, maliyet açısından DMAG-6Ar-9CO₂ ve DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ yöntemlerinin avantajı görülmektedir.

Yüksek mukavemet ve çentik darbe tokluğu ve düşük açısal distorsiyon beklenen, kalın, düşük karbonlu çelik malzemelerin düşük maliyetle kaynağında DMAG-7,5Ar-7,5CO₂ ve özellikle de DMAG-9Ar-6CO₂ yöntemlerinin tercih edilmesi uygun olacaktır. Gemi inşaa sanayii, çelik konstrüksiyon imalatı, basınçlı kap ve kazan imalatı gibi alanlarda çift kanallı gaz yönlendirme yönteminden verim alınacağı ve karışım gazı ile kaynağa ciddi bir alternatif teşkil edeceği hatta tercih sebebi olabileceği düşünülmektedir.

Ostenitik paslanmaz çelik malzemelerin paslanmaz masif tel kullanımıyla, düşük maliyetle ve düşük açısal distorsiyonla kaynağı için de DMAG-6Ar-9CO₂ yöntemi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Tülbentçi, K., (1998), MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayın, İstanbul
- [2] ASM International, (2005), Metals Handbook volume 6 Welding, Brazing and Soldering, U.S.A.
- [3] Anık, S. ve Vural, M., (1988), Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG), Gedik Eğitim Vakfı Yayını, İstanbul
- [4] Iordachescu, D., Quintino, L., Miranda, R. ve Pimenta, G., (2006), "Influence of Shielding Gases and Process Parameters on Metal Transfer and Bead Shape in MIG Brazed Joints of the Thin Zinc Coated Steel Plates", Materials and Design, 27:381-390
- [5] Mukhopadhyay, S. ve Pal, T. K., "Effect of Shielding Gas Mixture on Gas Metal Arc Welding of HSLA Steel Using Solid and Flux-Cored Wires", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29:262-268
- [6] 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", International Journal of Hydrogen Energy, 25:369-376
- [7] Gülenç, B., Develi, K., Kahraman, N. ve Durgutlu, A., (2005), "Experimental Study of the Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in MIG Welding of Austenitic Stainless Steel", International Journal of Hydrogen Energy, 30:1475-1481
- [8] Kuk, J. M., Jang, K. C., Lee, D. G. ve Kim, I. S., (2004), "Effects of Temperature and Shielding Gas Mixture on Fatigue Life of 5083 Aluminium Alloy", Journal of Materials Processing Technology, 155-156:1408-1414
- [9] Uygur, I. ve Gülenç, B., (2004), "The Effect of Shielding Gas Composition for MIG Welding Process on Mechanical Behavior of Low Carbon Steel", Metalurgija, 43 (1):35-40
- [10] Pires, I., Quintino, L. ve Miranda, R. M., (2007), "Analysis of Influence of Shielding Gas Mixtures on the Gas Metal Arc Welding Metal Transfer Modes and Fume Formation Rate", Materials and Design, 28:1623-1631

- [11] Thier, H., Helwig, R. ve Tremmer, D., (1996), "Weld Seam Quality in Gas Shielded Arc Welding of Steels with Root Protection Using Hydrogen and Nitrogen Containing Gases", *Welding and Cutting*, 12:33-37
- [12] Pavlyuk, S. K., Khrustaeva, E. ve Bodganov, V. M., (1984), "Effect of the Quality of Gas Shielding on the Process of CO₂ Welding and Detection of Disruptions in Shielding", *Welding Production*, January:36-37
- [13] Liao, M. T. ve Chen, W. J., (1998a), "The Effect of Shielding-Gas Compositions on the Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments", *Materials Chemistry and Physics*, 55:145-151
- [14] Dillenbeck, V. R. ve Castagno, L., (1987), "The Effects of Various Shielding Gases and Associated Mixtures in GMA Welding of Mild Steel", *Welding Journal*, 66 (9):45-49
- [15] Kaçar, R. ve Kökemli, K., (2005), "Effect of Controlled Atmosphere on the MIG-MAG Arc Weldment Properties", *Materials and Design*, 26:508-516
- [16] Lozano, J., Moreda, P., Llorente, C. L. ve Bilmes, P. D., (2003), "Fusion Characteristics of Austenitic Stainless Steel GMAW Welds", *Latin American Applied Research*, 33:27-31
- [17] Takeuchi, Y. ve Shinoda, T., (1991), "Spatter and Blowhole Formation Phenomena in Pulsed GMAW", *Materials Science and Technology*, 7:869-876
- [18] Arayama, T. ve Nakata, K., (2007), "Effect of He Gas Addition in Ar Shielding Gas on Weld Penetration of GMA Welds of Aluminum Alloy. Improvement of Weld Penetration of GMA Welds of Aluminum Alloy Circular Fillet Joint", *Welding International*, 21 (1):39-44
- [19] Balasubramanian, V., Ravisankar, V. ve Reddy, G. M., (2008), "Effect of Pulsed Current Welding on Mechanical Properties of High Strength Aluminum Alloy", *International Journal of Manufacturing Technology*, 36:254-262
- [20] Ebrahimnia, M., Goodarzi, M., Nouri, M. ve Sheikhi, M., (2009), "Study of the Effect of Shielding Gas Composition on the Mechanical Weld Properties of Steel St 37-2 in Gas Metal Arc Welding", *Materials and Design*, 30:3891-3895
- [21] Allum, C. J. ve Quintino, L., (1985), "Control of Fusion Characteristics in Pulsed Current MIG Welding – Part 1", *Metal Construction*, 17 (4):242R-245R
- [22] Quintino, L. ve Allum, C. J., (1984), "Pulsed GMAW: Interactions Between Process Parameters-Part 2", *Welding and Metal Fabrication*, 52 (3):126-129
- [23] Ghosh, P. K., Dorn, L., Devakumaran, K. ve Hofmann, F., (2009a), "Pulsed Current GMAW under Different Shielding and Pulse Parameters; Part 1: Arc Characteristics", *ISIJ International*, 49 (2):251-260
- [24] Ghosh, P. K., Dorn, L., Devakumaran, K. ve Hofmann, F., (2009b), "Pulsed Current GMAW under Different Shielding and Pulse Parameters; Part 1: Behaviour of Metal Transfer", *ISIJ International*, 49 (2):261-269

- [25] Ghosh, P. K., Gupta, S. R. ve Randhawa, H. S., (2000), "Characteristics of a Pulsed-Current, Vertical-Up GMAW in Steel", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 31A:2247-2259
- [26] Oğuz, B., (1989), *Ark Kaynağı*, Oerlikon Yayını, İstanbul
- [27] Liao, M. T. ve Chen, W. J., (1999), "A Comparison of Gas Metal Arc Welding with Flux-Cored Wires and Solid Wires Using Shielding Gas", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15:49-53
- [28] Lathabai, S. ve Stout, R. D., (1985), "Shielding Gas and Heat Input Effects on Flux Cored Weld Metal Properties", *Welding Research Supplement*, November:303s-313s
- [29] Suban, M. ve Tusek, J., (2001a), "Dependence of Melting Rate in MIG/MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used", *Journal of Materials Processing Technology*, 119:185-192
- [30] Liao, M. T. ve Chen, W. J., (1998b), "The Influence of Shielding Gas on Notch Toughness of Stainless Steel Weld Metals", *Materials and Manufacturing Processes*, 13 (4):565-573
- [31] Grong, O., Kluken, A. O. ve Bjornbakk, B., (1988), "Effect of Nitrogen on Weld Metal Toughness in Self-Shielded Flux-Cored Arc Welding", *Joining&Materials*, 1 (4):164-169
- [32] Svoboda, H. G., Ramini de Rissone, N. M., De Vedia, L. A. ve Surian, E. S., (2004), "The Effect of Welding Procedure on ANSI/AWS A5.29-98 E81T1-Ni1 Flux Cored Arc Welded Metal Deposits", *Welding Journal*, 83 (11):301s-307s
- [33] Davey, T. G., Gooch, T. G. ve Robinson, J. L., (1987a), "An Assessment of Flux Cored Wire Welding Type 316L Austenitic Stainless Steel – Part 1", *Metal Construction*, 19 (8):431-435
- [34] Davey, T. G., Gooch, T. G. ve Robinson, J. L., (1987b), "An Assessment of Flux Cored Wire Welding Type 316L Austenitic Stainless Steel – Part 2", *Metal Construction*, 19 (9):545-553
- [35] Abe, N., Kitada, T. ve Miyata, S., (1980), "Effects of Alloying Elements on the Toughness and Microstructure of High Current Density Gas Shielded Arc Process Weld Metals", *Transactions of the Japan Welding Society*, 11 (1):29-34
- [36] Ghosh, P. K. ve Rai, B. K., (1996), "Characteristics of Pulsed Current Bead on Plate Deposit in Flux Cored GMAW Process", *ISIJ International*, 36 (8):1036-1045
- [37] Arivazhagan, B., Sundaresan, S. ve Kamaraj, M., (2009), "A Study on Influence of Shielding Gas Composition on Toughness of Flux-Cored Arc Weld of Modified 9Cr-1Mo(P91) Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:5245-5253
- [38] Hertzman, S., Petterson, R. J., Blom, R., Kivineva, E. ve Eriksson, J., (1996), "Influence of Shielding Gas Composition and Welding Parameters on the N-

- content and Corrosion Properties of Welds in N-alloyed Stainless Steel Grades”, ISIJ International, 36 (7):968-976
- [39] Shanping, L. U., Hidetoshi, F. ve Kiyoshi, N., (2005), “Effects of Shielding Gas Additions and Welding Speed on GTA Weld Shape”, Journal of Materials Science, 40:2481-2485
- [40] Lin, Y. C. ve Chen, P. Y., (2001), “Effect of Nitrogen Content and Retained Ferrite on the Residual Stress in Austenitic Stainless Steel Weldments”, Materials Science and Engineering A, 307:165-171
- [41] Uygur, I. ve Dogan, I., (2005), “The Effect of TIG Welding on Microstructure and Mechanical Properties of a Butt-Joined Unalloyed Titanium”, Metalurgija, 44 (2):119-123
- [42] Shankar, V., Gill, T. P. S., Mannan, S. L. ve Sundaresan, S., (2003), “Effect of Nitrogen Addition on Microstructure and Fusion Zone Cracking in Type 316L Stainless Steel Weld Metals”, Materials Science and Engineering A, 343:170-181
- [43] Lothongkum, G., Chaumbai, P. ve Bhandhubanyong, P., (1999), “TIG Pulse Welding of 304L Austenitic Stainless Steel in Flat, Vertical and Overhead Positions”, Journal of Materials Processing Technology, 89-90:410-414
- [44] Kang, B. Y., Prasad, Y. K. D. V., Kang, M. J., Kim, H. J. ve Kim, I. S., (2009b), “The Effect of Alternate Supply of Shielding Gases in Austenite Stainless Steel GTA Welding”, Journal of Materials Processing Technology, 209:4722-4727
- [45] O’Neil, B. ve Rodgers III, M.E., (2004), “Bay Bridge Puts New Gas Mixtures to the Test”, Welding Journal, 83 (12):26-28
- [46] Gülenç, B. ve Tülbentçi, K., (1996), “Düşük Karbonlu ve Az Alaşımlı Çeliklerin MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi”, Uluslararası Kaynak Teknolojisi ’96 Sempozyum Bildirileri, 15-17 Mayıs 1996, İstanbul, 56-65
- [47] TS EN ISO 14175, (2008). Kaynak Sarf Malzemeleri – Ergitme Kaynağı ve Yardımcı Prosesler İçin Gazlar ve Gaz Karışımları
- [48] Stenbacka, N. ve Persson, K.A., (1987), “Shielding Gases for Gas-Metal Arc Welding of Stainless Steels”, Scandinavian Journal of Metallurgy, 16:229-232
- [49] Bennett, B., (1989), “Effects of Shielding Gas in Pulsed MIG Welding”, Joining&Materials, 2 (6):277-280
- [50] Hilton, D., (1990), “Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding”, Welding&Metal Fabrication, 58 (6):332-334
- [51] Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul
- [52] Suban, M., Tusek, J. ve Uran, M., (2001b), “Use of Hydrogen in Welding Engineering in Former Times and Today”, Journal of Materials Processing Technology, 119:193-198

- [53] Yılmaz, R. ve Barlas, Z., (2005), "Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi", Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (3):391-400
- [54] Williams, A. ve Cording, W., (2000), "New Shielding Mixtures Improve Weld Quality, Increase Weld Speeds", Welding Design & Fabrication, 73 (11):43-46
- [55] Stenbacka, N. ve Persson, K.A., (1989), "Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding", Welding Journal, 68 (11):41-47
- [56] Vaidya, V. V., (2002), "Shielding Gas Mixtures for Semiautomatic Welds", Welding Journal, 81 (9):43-48
- [57] Stenbacka, N., Persson, K.A. ve Runnerstam, O., (1995), "Shielding Gas Technology When Welding Ordinary and High Alloyed Stainless Steels", Welding in the World/Le Soudage Dans Le Monde, 36:83-90
- [58] Lucas, B., (1997), "FCAW, Multiwire&Gas Selection – Techniques to Enhance MIG Productivity", Welding and Metal Fabrication, 65 (5):10-12
- [59] Louthan, Jr. M. R. ve Cannell, G. R., (2005), "Impact of H₂ in Shielding Gas for Welding Austenitic Stainless Steels", Welding Journal, 84 (4):38-40
- [60] Hilton, D. ve McKeown, D., (1986), "Improvements in Mild Steel Weld Properties by Changing the Shielding Gas-Theory or Practice?", Metal Construction, 18 (10):617-619
- [61] Moyer, N., (2002), "The Evolution of Shielding Gas", Welding Journal, 81 (9):51-52
- [62] Kotecki, D. J., (2001), "Carbon Pickup from Argon-CO₂ Blends in GMAW", Welding Journal, 80 (12):43-48
- [63] Stenbacka, N., (1990), "The Influence of Shielding Gas on Cored Wires", Welding Journal, 69 (11):43-45
- [64] Subramaniam, S. ve White, D.R., (2001), "Effect of Shield Gas Composition on Surface Tension of Steel Droplets in a Gas-Metal-Arc-Welding Arc", Metallurgical and Materials Transactions B, 32B (2):313-318
- [65] Zielinska, S., Pellerin, S., Valensi, F., Dzierzega, K., Musiol, K., Izarra, Ch. de ve Briand, F., (2008), "Gas Influence on the Arc Shape in MIG-MAG Welding", The European Physical Journal Applied Physics, 43:111-122
- [66] Kang, B. Y., Prasad, K. D. V., Kang, M. J., Kim, H. J. ve Kim, I. S., (2009a), "Characteristics of Alternate Supply of Shielding Gases in Aluminum GMA Welding", Journal of Materials Processing Technology, 209:4716-4721
- [67] Kim, H. H., Kim, I. S., Seo, J. H., Kang, B. Y., Kim, I. J., Jang, K. C. ve Lee, D. G., (2006), "A Computational Analysis of Alternate Supply of Shielding Gases on GTA Welding Process", IIW Doc. No. ICRA-2006-TH55, 512-517
- [68] Schultz, J. F., (1986), "TIG Process with Dual Shield: Intermediate Process Between TIG and Plasma Arc Welding", Welding in the World, 24 (11-12):248-259

- [69] Kutsuna, M., Abraham, M., Kotani, Y., Yamawaki, K. ve Hayashi, D., (1997), "Development of D-MAG Process Using Ar-He, Ar-He-O₂ or Ar-O₂ As an Inner Shielding Gas", IIW Doc. No. XII-1485-97, 65-70
- [70] Sato, T., Ochiai, T., Fujii, H., Lu, S. ve Nogi, K., (2006), "Effect of Shielding Gas on Penetration Shape in Double Shielded GTA Welding", IIW Doc. No. XII-1892-06, 1-12
- [71] Masumoto, I., Kutsuna, M. ve Abraham, M., (1988), "Metal Transfer and Spatter Loss in Double Gas Shielded Metal Arc Welding – Study on Double Gas Shielded Metal Arc Welding (report 1)", Transactions of the Japan Welding Society, 19 (2):38-44
- [72] Kutsuna, M. ve Abraham, M., (1989), "Metal Transfer and Spatter Loss in Double Gas Shielded Metal Arc Welding Using Flux-Cored Wire – Study on Double Gas Shielded Metal Arc Welding (Report 2), Transactions of the Japan Welding Society, 20 (1):45-51
- [73] Dennis, J., French, M.J., Hewitt, P.J., Mortazavi, S.B. ve Redding, C.A.J., (2002), "Control of Exposure to Hexavalent Chromium and Ozone in Gas Metal Arc Welding of Stainless Steels by Use of a Secondary Shield Gas", The Annals of Occupational Hygiene, 46 (1):43-48
- [74] Killing, R., (1984), "Gas-Shielded Metal-Arc Welding of Aluminium with Two Separate, Concentric Flows of Shielding Gas", Welding and Cutting, 36 (9):E148-E150
- [75] Böhme, D. ve Heuser, H., (1988), "Gas-Shielded Metal-Arc Welding with Two Separately Fed Shielding Gases – Flow Behaviour and Influence of the Argon Proportion on the Penetration Conditions", Welding and Cutting, 40 (2):E25-E28
- [76] Hartung, F., (1984), "Spritzerarmes MAG-Schweissen mit Zweigasbrennern", Schweisstechnik, 34 (8):351-353
- [77] TS EN 1597-1, (2002). Kaynak Sarf Malzemeleri – Deney metotları – Bölüm 1: Çelik, Nikel ve Nikel Alaşımlarında Saf Kaynak Metali Deney Numuneleri İçin Deney Parçası, Ankara
- [78] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., AS MIG SG2, http://www.askaynak.com.tr/contents/268/20111204170640_as_mig_sg2.pdf, 12 Ocak 2012
- [79] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Starweld MCW-7100, http://www.askaynak.com.tr/contents/417/20110717154746_star_mcw7100.pdf, 12 Ocak 2012
- [80] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kobatek MIG 308LSi, http://www.askaynak.com.tr/contents/516/20111009200429_kob_mig_308ls_i.pdf, 12 Ocak 2012
- [81] Lincoln Electric, Cor-A-Rosta Stainless Steel Flux Cored Wires, <http://content.lincolnelectric.com/en/pdfs/products/literature/corarosta.pdf>, 12 Ocak 2012

- [82] TS EN ISO 14341, (2009). Kaynak Sarf Malzemeleri - Alaşimsız ve İnce Taneli Çeliklerin Koruyucu Gaz Metal Ark Kaynağı İçin Tel Elektrotlar ve Yığılmış Kaynaklar – Sınıflandırma
- [83] TS EN ISO 17632, (2009). Kaynak Sarf Malzemeleri - Alaşimsız ve İnce Taneli Çeliklerin Gaz Korumalı veya Korumasız Metal Ark Kaynağı İçin Boru Şeklindeki Özlü Elektrotlar - Sınıflandırma
- [84] TS EN 12072, (2003). Kaynak Sarf Malzemeleri - Paslanmaz ve Isıya Dirençli Çeliklerin Ark Kaynağı İçin Tel Elektrotlar, Teller ve Çubuklar - Sınıflandırma
- [85] TS EN ISO 17633, (2006). Kaynak Sarf Malzemeleri - Paslanmaz ve Isıya Dayanımlı Çeliklerin Gaz Korumalı veya Gaz Korumasız Ark Kaynağı İçin Boru Şeklinde Özlü Tel Elektrotlar ve Çubuklar Sınıflandırma
- [86] TS EN ISO 2503, (2003). Gaz Kaynak Donanımı Basınç Regülatörleri (300 Bar’a Kadar)-Kaynak, Kesme ve Benzeri İşlerde Kullanılan Gaz Tüpleri İçin
- [87] Mert, T., Tsai, C. L., Babu, S. S. ve Yang, Y., (2011), “Strain-Based Assessment and Modeling for Low-Distortion Welding Procedure”, Materials and Manufacturing Processes, DOI: 10.1080/10426914.2011.602794
- [88] TS EN 876, (1996). Tahribatlı Muayeneler - Metalik Malzemede Kaynaklar Üzerinde Ergitme Kaynaklı Birleştirmelerde Kaynak Üzerinde Boyuna Çekme Deneyi
- [89] TS 138 EN 10002-1, (2004). Metalik Malzemeler – Çekme Deneyi – Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu
- [90] TS EN 875, (2002). Metalik Malzemelerde Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Muayeneler - Vurma Deneyleri - Deney Numunesi Yeri, Çentik Yönü ve Muayene
- [91] TS EN 10045-1, (1999). Metalik Malzemeler - Charpy Vurma Deneyi Bölüm 1 - Deney Metodu (V ve U - Çentikleri)
- [92] TS CR 12361, (1999). Metalik Malzemeler - Kaynaklarda Tahribatlı Muayene - Makroskopik ve Mikroskopik Muayene İçin Dağlayıcılar, Ankara
- [93] TS 9913 EN 1043-1, (2003). Metalik Malzemelerdeki Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler Sertlik Deneyi - Bölüm 1 : Ark Kaynaklı Birleştirmelerde Sertlik Deneyi
- [94] TS EN 1043-2, (1997). Metalik Malzeme Kaynaklarında Tahribatlı Deneyler - Sertlik Deneyi - Bölüm 2: Kaynaklı Birleştirmelerde Mikro Sertlik Deneyi
- [95] WebCivil, Basic Welding Design, <http://www.webcivil.com/uswelding.aspx>, 12 Ocak 2012
- [96] Geçkinli, A. E., (1989), Metalografi I. Kısım, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul
- [97] Seçer, M., (2007), “Çeşitli Kaynak Yöntemleri İçin Pratik Kaynak Maliyeti Hesap Yöntemlerinin İncelenmesi”, 2. Çelik Yapılar Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 10-11 Mayıs 2007, Eskişehir, 230-242

- [98] Linde Gaz A.Ş. Türkiye, Genel Müdürlük İletişim, <http://www.lindegaz.com.tr/international/web/lg/tr/likelgtr.nsf/docbyalias/kontakt>, 12 Ocak 2012
- [99] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Askaynak Son Kullanıcı Fiyat Listesi, http://www.askaynak.com.tr/contents/265/20120113083514_askaynak-tef13012012.pdf, 12 Ocak 2012
- [100] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Starweld Son Kullanıcı Fiyat Listesi, http://www.askaynak.com.tr/contents/265/20111209135702_starweld_09122011.pdf, 12 Ocak 2012
- [101] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kobatek Son Kullanıcı Fiyat Listesi, http://www.askaynak.com.tr/contents/265/20111129114111_kob270711te.pdf, 12 Ocak 2012
- [102] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Lincoln Electric Son Kullanıcı Fiyat Listesi, http://www.askaynak.com.tr/contents/265/20110811090604_lincoln_sarf_09082011.pdf, 12 Ocak 2012
- [103] İstanbul Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş., İletişim, <http://www.ayedas.gov.tr/gmilet.aspx>, 12 Ocak 2012
- [104] Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Askaynak Ürünleri, http://www.askaynak.com.tr/contents/32/20111204102114_askaynak-urunleri.pdf, 12 Ocak 2012

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Tolga MERT
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.06.1978 – İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : tmert@yildiz.edu.tr / tolga_mert@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Y.T.Ü.	2004
Lisans	Makine Müh.	İ.Ü.	2000
Lise	Fen/Matematik	Haydarpaşa Lisesi	1996

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2001 -	Y.T.Ü.	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. **Mert, T.**, Tsai, Chon L., Babu, Suresh S. and Yang, Yu-ping, “Strain-Based Assessment and Modeling for Low-Distortion Welding Procedure”, Materials and Manufacturing Processes, 3 October 2011, DOI: 10.1080/10426914.2011.602794
2. Yumurtacı, S. ve **Mert, T.**, “Ark Kaynak Robotlarının Sahip Olması Gereken Özellikler ve Ark Kaynak Hücresinin Elemanları”, Mühendis ve Makine, v.50, (591), Nisan 2009, p.2-7
3. Yumurtacı, S. ve **Mert, T.**, “Endüstriyel Robotlar ve Türkiye’deki Dağılımları”, MakineTek Dergisi, (103), Mayıs 2006, p.68-71
4. Yumurtacı, S. ve Mert, T., “Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri”, Mühendis ve Makine Dergisi, v.44, (526), Kasım 2003, p.32-40
5. Akdoğan, A. ve Mert, T., “Deniz Suyunda Korozyon”, Metal Makina Dergisi, (136), Temmuz-Ağustos 2002, p.214-218

Bildiri

1. Yıldırım, O., Yumurtacı, S., ve **Mert, T.**, “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Nokta Direnç Kaynak Uygulamalarında İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi”, Kaynak Teknolojisi VIII. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiri Kitapçığı, 18-19 Kasım 2011, Ankara, p.249-264
2. Mert, T., Yumurtacı, S., “Programming of Welding Robots and an Application of a Case Study: Automated Arc Welding of an Automobile Crash Box with Six-Axis Articulated Arm Welding Robot”, Conference of the International Journal of Arts & Sciences, Vol. 4 (19), ISSN: 1944-6934, p.177-198, 7-10 March 2011, Las Vegas, U.S.A.
3. Mert, T., “Finite Element Analysis of Bolted Steel Plates and the Effect of Element Type and Size on Simulation Results”, Conference of the International Journal of Arts & Sciences, Vol. 3 (9), ISSN: 1944-6934, p.404-414, 24-27 May 2010, Toronto, Canada
4. Mert, T., “Finite Element Analysis of Effect of Weld Toe Radius and Root Gap on Fatigue Life of T-Fillet Welded Joint”, Conference of the International Journal of Arts & Sciences, Vol. 1 (20), ISSN: 1943-6114, 22-25 June 2009, Boston, MA, U.S.A
5. Yumurtacı, S. ve Mert, T., “Endüstriyel Robotlar ve Türkiye’deki Dağılımlarının İrdelenmesi”, V. Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi Bildiri Kitapçığı, 11-12 Kasım 2005,

Kocaeli, p.155-161

6. Yumurtacı, S. ve Mert, T., "Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri", IV. Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi Bildiri Kitapçığı, 24-25 Ekim 2003, Kocaeli, p.167-177

Proje

1. BAPK Proje No:29-06-01-04, Proje Konusu: Çift Gaz Yönlendirmeli Gazaltı Kaynağında Koruyucu Gaz Türlerinin Kaynak Dikişinde Ortaya Çıkardığı Farklılıkların Araştırılması, Proje Yöneticisi: Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı

Ödüller/Burslar

1. 2007-2008 Fulbright Doktora Araştırma Bursu (Ohio Devlet Üniversitesi, A.B.D.)