



**T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYNAK YÖNTEMLERİNDE KULLANILAN KORUYUCU
GAZIN KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Esin Tuğba ŞİMŞEK
(20169216002)**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet AKKUŞ**

**SİVAS
NİSAN 2022**

Esin Tuğba ŞİMŞEK'in hazırladığı ve “**KAYNAK YÖNTEMLERİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZIN KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Doç. Dr. Ahmet AKKUŞ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YÜCEL Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Sinan AYDIN Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ceyhun KÖSE Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖNEN Mersin Üniversitesi	

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Esin Tuğba ŞİMŞEK, 2022

Çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve yanımda olan
babama, anneme ve kardeşime...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

9.01.2022

Esin Tuğba ŞİMŞEK

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Öncelikle, bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarıyla yol gösteren ve destek olan danışman hocam Doç. Dr. Ahmet AKKUŞ'a çok teşekkür ederim.

Beni maddi manevi hiçbir konuda yalnız bırakmayan, emeklerini esirgemeyen babam Erol ŞİMŞEK'e, annem Emine ŞİMŞEK'e, kardeşim Ankara Üniversitesi'nde Arş. Gör. Emre ŞİMŞEK'e;

Bu tez çalışmasının bütün deney ve test aşamalarında bana yardımcı ve destek olan, bilgi ve tecrübelerini hiçbir vakit esirgemeyen Makine Yüksek Mühendisi ve Kaynak Mühendisi Başar Ersegün ÇELİK'e;

Bu tezin bir çok aşamasında bana yardımcı olan bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Cumhuriyet Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi M. Şemseddin ÇİMEN'e, Afyon Kocatepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Şükrü TALAŞ'a, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nden Doç. Dr. Tahsin BOYRAZ'a, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nden Arş. Gör. Lütuf ERTÜRK'e, Kocaeli Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Sinan YILMAZ'a, Mersin Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖNEN'e;

Bana deneylerimi gerçekleştirebilme imkanı sağlayan GÖK YAPI San. ve Tic. A.Ş.'ye ve çalışanlarına, test numunelerimi işlememde yardımcı olan Twona Şirketi ve çalışanlarına, CMS Makine Şirketi ve çalışanlarına;

Bu tezin test aşamalarını gerçekleştirmemi sağlayan Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'ne, Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne, Kocaeli Üniversitesi'ne;

Bu teze desteği ve katkısı olan ismini sayamadığım ve emeklerini esirgemeyen bütün çalışanlara ve arkadaşlarıma;

Tüm destek ve yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

ÖZET

KAYNAK YÖNTEMLERİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZIN KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Esin Tuğba ŞİMŞEK

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet AKKUŞ

2022, 170+xviii sayfa

Bu tez çalışmasında, kaynak işlemi için oluşturulan yarı otomatik kaynak mekanizmasında MAG (Metal Aktif Gaz Kaynağı) kaynak yöntemi ile S355J2+N yapı çeliğinin kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında kullanılan farklı koruyucu gaz bileşimlerinin ve farklı kaynak hızlarının kaynak kalitesine etkisinin gözlemlenmesi amacıyla, 9 adet gaz karışımı ve 3 hız değeri kullanılarak toplamda 27 adet kaynaklı parça elde edilmiştir.

MAG kaynak yöntemi ile kaynak işlemi gerçekleştirilirken karışım gazları etkileri de göz önünde bulundurularak kaynak hızları, amper ve voltaj değerleri belirlenmiştir. Bu işlem yapılırken her hız değeri için ve her gaz karışımı için amper ve voltaj değerleri sabit tutulmuştur.

Kaynak işlemi sonrasında bu kaynaklı parçalar Ultrasonik Test (UT) ve Manyetik Parçacık Testi (MT) muayenelerine tabi tutulmuşlardır. Kaynak hatası belirlenen parçalar yerine yeniden kaynak işlemi yapılmıştır. Bir sonraki aşama olarak şerit testere yardımı ile makro numuneleri ile sertlik numuneleri çıkarılarak numune kodlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında malzemede bulunan ufak miktarlarda bölgesel çarpılmalar nedeniyle 10 mm et kalınlığına sahip kaynak yapılmış parçalar freze yardımı ile 7.5 mm'lik et kalınlığına sahip olacak şekilde talaş kaldırılmıştır. Bu işlemten sonra da kaynaklı parçaların mekanik özelliklerinin incelenebilmesi için CNC freze yardımı ile TS EN ISO ve ASTM standartları göz önünde bulundurularak gerekli ölçülerdeki ve adetlerdeki makro ve sertlik test

numuneleri, çentik darbe test numuneleri, çekme test numuneler, eğme test numuneleri elde edilmiştir. Sertlik ölçüm testi ve mikroskop görüntüleri öncesinde zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Sonrasında ana malzeme, kaynak metali ve ITAB bölgelerinin mikroyapısal incelemeleri için mikroskop görüntüleri elde edilmiştir. Sertlik ölçüm testi yapılmış ve sertlik değerleri elde edilmiştir. Sertlik testinden sonra da sırasıyla Çekme testi, Eğme testi, Charpy V-çentikli darbe testleri uygulanmış ve SEM görüntüleri ve EDS analizleri elde edilmiştir.

Test sonuçlarına göre; kaynak hızı arttıkça malzeme ısı girdisi azalmakta ve dolayısıyla ITAB'ın soğuma hızı artmaktadır bu da sertliği arttırmaktadır. Koruyucu gaz bileşimindeki CO₂ miktarındaki artış nedeniyle ısı girdisi ve bu yüzden de soğutma süresi arttığı için kaynak metali sertliği azalmaktadır. Koruyucu gaz içindeki O₂ ve CO₂ miktarları arttığında kaynak metali içerisindeki O₂ oranı artmakta bu durum da oksitlenmelere sebebiyet verdiğinden dolayı sertlik değerlerini etkilemektedir. Tane kabalaşması, yalnızca kaynak metaline birleşik bölgede meydana geldiği gözlemlenmektedir. ITAB'ın ana malzeme tarafında kaba taneli iç yapıdan dolayı sertlik düşmeleri görülmektedir.

Koruyucu gaz içindeki O₂ sabitken, CO₂ miktarı arttıkça ya da CO₂ sabitken, O₂ miktarı arttıkça genellikle çekme dayanımı düşüş göstermektedir. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle çekme dayanımı önce artmakta belli bir noktadan sonra sabit kalmaktadır. Yüksek hızda paso sayısı arttığından dolayı ısı girdisi artmakta çekme dayanımı azalmaktadır.

Eğme testinde herhangi bir yırtılma ve çatlama tespit edilmemiş olması, soğuk yapışma gibi kaynak hatalarına da rastlanmamış olması eğme testinin dolayısıyla kaynağın başarılı olduğunu göstermiştir.

Koruyucu gaz içindeki O₂ sabitken, CO₂ miktarı arttıkça ya da CO₂ sabitken, O₂ miktarı arttıkça darbe dayanımı değeri önce artış göstermekte sonra sabit kalmakta ya da düşmektedir. Kaynak hızı arttıkça, ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle tokluk değeri azalmaktadır. Yüksek hızda paso sayısı arttığından dolayı ısı girdisi artmakta, kaynak bölgesinde temperleme etkisi yaratmakta böylece darbe dayanımı artmaktadır. Numunelerin kaynak metali bölgesindeki darbe dayanım değerleri yüksek çıktığından dolayı numunelerde sünek kırılma gözlemlenmiştir. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarı

arttıkça ark sıcaklığı arttığından dolayı ısı girdisi artmakta, bu durum da tokluk değerini artırmaktadır.

Kaynak işlemi sırasında koruyucu gazdaki CO₂ miktarının artması, çeşitli reaksiyonlar oluşturarak kaynak metalinde küresel inklüzyonlar oluşturmaktadır. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarının kaynak metalindeki inklüzyon sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Inklüzyonlar oksijen içermektedir ve Si, Mn, Ti, Al gibi oksijene ilgisi yüksek elementlerle birleşerek çoklu oksit formları oluşturdıkları anlaşılmaktadır. Bu oksitlerin kompleks oksitler olduğu ve Si₂O, TiO₂, MnO ve Al₂O₃'ten oluştuğu düşünülmektedir. Darbe tokluğu değerleri, kaynak metali içindeki inklüzyonların miktarı ve boyutundan olumsuz etkilenir.

Genel olarak; test sonuçlarına göre deneyde kullanılan bütün gaz karışımları içerisinde en iyi mekanik ve mikro yapı özellikleri %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak, 15 cm/dak ve 22,5 cm/dak hızlarda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilmiştir. Ar+ CO₂+ O₂ üçlü gaz karışımlarında CO₂ ve O₂ artışı ve kaynak hızı artışı sertliği, çekme dayanımını, darbe dayanımını, eğme dayanımını ve mikro yapıyı doğrudan etkilemektedir.

Anahtar kelimeler: Mag Kaynağı, S355 Yapı Çeliği, Koruyucu Gaz Karışımı, Otomatik Kaynak

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SHIELDING GAS USED IN WELDING METHODS ON WELDING QUALITY

Esin Tuğba ŞİMŞEK

PhD Thesis

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Ahmet AKKUŞ

2022, 170+xviii pages

In this thesis, welding process of S355J2+N structural steel was carried out with MAG (Metal Active Gas Welding) welding method in a semi-automatic welding mechanism created for welding process. In order to observe the effect of different shielding gas compositions and different welding speeds used during welding on the welding quality, a total of 27 welded parts were obtained by using 9 gas mixtures and 3 speed values.

Welding speeds, amperage and voltage values were determined by taking into account the effects of mixed gases while performing the welding process with the MAG welding method. While doing this, the amperage and voltage values were kept constant for each velocity value and for each gas mixture.

After welding, these welded parts were subjected to Ultrasonic Test (UT) and Magnetic Particle Test (MT) examinations. Welding was performed again instead of the parts with welding faults. As the next step, with the help of a band saw, macro samples and hardness samples were extracted and sample coding processes were carried out. Afterwards, due to small amounts of local distortions in the material, welded parts with a wall thickness of 10 mm were chipped with the help of a milling cutter with a wall thickness of 7.5 mm. After this process, in order to examine the mechanical properties of the welded parts, macro and hardness test specimens, notch

impact test specimens, tensile test specimens, bending test specimens were obtained with the help of CNC milling, taking into account TS EN ISO and ASTM standards. Sanding, polishing and etching processes were performed before the hardness test and microscope images. Afterwards, microscope images were obtained for microstructural investigations of base material, weld metal and HAZ regions. Hardness measurement test was carried out and hardness values were obtained. After the hardness test, Tensile test, Bending test, Charpy V-notched impact tests were applied, respectively, and SEM images and EDS analyzes were obtained.

According to the test results; as the welding speed increases, the material heat input decreases and therefore the cooling rate of the ITAB increases, which increases the hardness. Due to the increase in the amount of CO_2 in the shielding gas composition, the heat input and therefore the cooling time increase, so the hardness of the weld metal decreases. When the amount of O_2 and CO_2 in the shielding gas increases, the O_2 ratio in the weld metal increases and this affects the hardness values because it causes oxidation. Grain coarsening is observed to occur only in the weld metal-associated region. Hardness decreases are observed on the main material side of ITAB due to the coarse-grained internal structure.

Generally, the tensile strength decreases as the amount of O_2 in the shielding gas increases, as the amount of CO_2 increases or as the amount of O_2 increases, while the amount of CO_2 is constant. Since the heat input decreases as the welding speed increases, the tensile strength generally increases first and remains constant after a certain point. As the number of passes increases at high speed, the heat input increases and the tensile strength decreases.

The fact that no tearing or cracking was detected in the bending test, and welding defects such as cold adhesion were not encountered, showed that the bending test was therefore successful.

While O_2 in the shielding gas is constant, as the amount of CO_2 increases or CO_2 is constant, as the amount of O_2 increases, the impact resistance value first increases and then remains constant or decreases. As the welding speed increases, the toughness value generally decreases because the heat input decreases. Due to the increase in the number of passes at high speed, the heat input increases, creating a tempering effect in the weld area, thus increasing the impact resistance. Due to the high impact strength

values in the weld metal region of the samples, ductile fracture was observed in the samples. As the amount of CO₂ in the shielding gas increases, the heat input increases because the arc temperature increases, which increases the toughness value.

The increase in the amount of CO₂ in the shielding gas during the welding process creates various reactions and creates spherical inclusions in the weld metal. It was determined that the amount of CO₂ in the shielding gas caused an increase in the number of inclusions in the weld metal. The inclusions contain oxygen and it is understood that they form multiple oxide forms by combining with elements with high affinity for oxygen such as Si, Mn, Ti, Al. These oxides are thought to be complex oxides and consist of Si₂O, TiO₂, MnO and Al₂O₃. Impact toughness values are adversely affected by the amount and size of inclusions in the weld metal.

Generally; According to the test results, the best mechanical and microstructural properties among all gas mixtures used in the experiment were obtained from the welds of the 92% Ar + 5% CO₂ + 3% O₂ gas mixture at speeds of 10 cm/min, 15 cm/min and 22.5 cm/min. In Ar+ CO₂+ O₂ triple gas mixtures, the increase in CO₂ and O₂ and the increase in welding speed directly affect the hardness, tensile strength, impact strength, bending strength and microstructure.

Key Words: Mag Welding, S355 Structural Steel, Shielding Gas Mixture, Automatic Welding

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xviii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
SİMGELER DİZİNİ	xxiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 MIG-MAG Kaynak Donanımı	4
1.1.1 Kaynak torçları	4
1.1.2 Torç bağlantı paketi	7
1.1.3 Tel sürme tertibatı	7
1.1.4 Kontrol ünitesi	9
1.1.5 Koruyucu gaz sağlama sistemleri	10
1.1.6 Sulu soğutma sistemleri	12
1.1.7 MIG-MAG kaynağı akım üreteçleri	12
1.1.7.1 Motor generatör tipi akım üreteçleri	16
1.1.7.2 Redresör tipi akım üreteçleri	17
1.1.7.3 Sinerjik darbeli akım üreteçleri	17
1.1.7.4 İnverter türü kaynak akım üreteçleri	18
2. ARK TÜRLERİ ve ARKTA KAYNAK METALİ TAŞINIMI	20
2.1 Kısa Ark (Kısa Devreli Metal Taşınımı)	21
2.2 Uzun Ark (Damlasal metal taşınımı)	22
2.3 Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)	22
2.4 Darbeli Sprey Ark ile Metal Taşınımı	23
2.5 Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi	25
3. KORUYUCU GAZLARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ	27
3.1 Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri	29
3.1.1 İyonizasyon enerjisi	29
3.1.2 Isıl iletkenlik	30
3.1.3 Disosasyon ve rekombinasyon	30
3.1.4 Reaktiflik/oksidasyon potansiyeli	31
3.1.5 Yüzey gerilimi	31
3.1.6 Gaz saflığı ve çığ noktası	31
3.1.7 Gaz yoğunluğu	32
3.1.8 Koruyucu gaz debisi	32
3.2 Koruyucu Gazlar	32
3.2.1 Argon	34
3.2.2 Helyum	34
3.2.3 Karbondioksit	35
3.2.4 Azot	36
3.2.5 Oksijen	36
3.2.6 Hidrojen (H ₂)	37
3.2.7 Argon-oksijen	37

3.2.8 Argon-karbondioksit.....	38
3.2.9 Argon-helyum.....	39
3.2.10 Argon-oksijen-karbondioksit.....	40
3.2.11 Argon-helyum-karbondioksit.....	40
3.2.12 Argon-karbondioksit-hidrojen.....	40
3.3 Koruyucu Gaz Seçimi	41
4. GAZ ALTI KAYNAK ELEKTROTLARI	42
4.1 İçi Dolu (Masif) Tel Elektrot.....	42
4.2 Özlü Elektrotlar	44
4.3 Elektrot Seçimi	50
4.4 Kaynak Teli İçeriğindeki Alaşım Elementleri.....	51
4.4.1 Karbon	51
4.4.2 Silisyum	51
4.4.3 Mangan	51
4.4.4 Alüminyum, titanyum, zirkonyum.....	52
4.4.5 Diğer alaşım elementleri.....	52
5. KAYNAK PARAMETRELERİ	53
5.1 Kaynak Öncesi Ayarlanan Parametreler	53
5.2 Tel Elektrot ve Çapı	53
5.3 Koruyucu Gaz ve Türü	54
5.4 Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler	55
5.4.1 Akım şiddeti.....	55
5.4.2 Ark gerilimi (ark boyu).....	57
5.4.3 Kaynak Hızı	60
5.5. İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler.....	61
5.5.1 Torç açısı.....	61
5.5.2 Serbest tel uzunluğu.....	63
5.5.3 Nozul mesafesi.....	64
5.5.4 Kutup bağlantısı (polarite).....	65
5.5.5 Koruyucu gaz debisi	66
6. MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE ROBOT KULLANIMI	67
7. ÇELİKLER.....	69
8. LİTERATÜR ÖZETİ	73
9. MATERYAL VE METOD	84
9.1 DeneySEL Metotlar	84
9.2 DeneySEL Malzemeler	84
9.2.1 Ana malzeme	84
9.2.2 MAG kaynak ilave metali.....	85
9.2.3 Kaynak Gazı Karışımları	85
9.2.4 MAG kaynak makinesi	86
9.2.5 Kaynak mekanizması.....	87
9.3 Kaynak İşlemi Öncesi Deney Numunesinin Konumlandırılması	90
9.3.1 Deney numunelerinin birleştirilmesi ve kaynak parametreleri.....	91
9.4 Testler ve Analizler	95
9.4.1 Deney numunelerinin yeri ve alınması	96
9.4.1.1 Ana malzeme ve kaynaklı birleştirmenin mikro yapı incelemeleri	98
9.4.1.2 Ana malzeme ile kaynak metalinin SEM ve EDS incelemeleri.....	99
9.4.1.2 Ana Malzeme ile Kaynak Metalinin Mekanik Testleri.....	100
9.4.1.2.1 Ana malzeme ile kaynak metalinin sertlik ölçümü	100

9.4.1.2.2 Ana malzeme ile kaynak metalinin charpy v-çentik darbe testi.	102
9.4.1.2.3 Ana malzeme ile kaynak metalinin çekme testi	105
9.4.1.2.4 Ana malzeme ile kaynak metalinin eğme testi	106
10. BULGULAR	108
10.1 Mikro Yapı Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	108
10.2 Sertlik Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	110
10.3 Çekme Testi ve Eğme Testi Sonuçlarının İncelenmesi.....	116
10.3.1 Çekme testi	116
10.3.2 Eğme testi	123
10.3.3 Çentik Darbe Testi Sonuçları.....	129
10.3.4 SEM görüntüleri ve EDS sonuçları	134
11. TARTIŞMA ve SONUÇ	148
KAYNAKLAR	156
EKLER	163
EK-1 Teknik Resimler	163
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	MAG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	2
Şekil 1.2	MAG kaynağının prensip şeması.....	3
Şekil 1.3	Hava soğutmalı kuğu boynu tür bir torç kesiti ve torç bağlantı paketi.....	5
Şekil 1.4	Çeşitli MIG-MAG torçları.....	6
Şekil 1.5	İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması.....	8
Şekil 1.6	Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması.....	9
Şekil 1.7	Basınç düşürme manometresi.....	11
Şekil 1.8	Bilyalı debimetre takılı manometre.....	12
Şekil 1.9	Kaynak akım üreteçlerinde volt-amper karakteristikleri.....	13
Şekil 1.10	Sabit gerilimli akım üreticinde ark boyunun kaynak süresince sabit kalması.....	14
Şekil 1.11	MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-generatör akım üretici.....	16
Şekil 1.12	MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi.....	18
Şekil 2.1	Elektrotun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri.....	21
Şekil 2.2	Karışım gaz ile çeşitli ark türlerinde çalışma bölgeleri.....	23
Şekil 2.3	Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (şematik).....	25
Şekil 3.1	Doğru akım elektrot pozitif kutupta kullanılarak yapılan kaynaklarda koruyucu gaz karışımlarının kaynak profili üzerine etkileri.....	39
Şekil 4.1	Masif tel elektrotların AWS'ye göre gösterilişi.....	44
Şekil 4.2	Özlü tel imalatının akış şeması.....	45
Şekil 4.3	AWS A.5.20.'ye göre özlü elektrotların gösterilişi.....	46
Şekil 4.4	Özlü tel elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri.....	46
Şekil 4.5	Özlü tel elektrot ile kaynakta ark bölgesi.....	47
Şekil 5.1	Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve tel elektrot çapı arasındaki ilişki.....	54
Şekil 5.2	Akım şiddetinin tel besleme hızına etkisi.....	56
Şekil 5.3	Çeşitli koruyucu gazların tolerans kutuları.....	57
Şekil 5.4	Ark gerilimi ve akım şiddetinin kaynak dikiş formuna etkileri.....	59
Şekil 5.5	Kaynak hızının nüfuziyete etkisi.....	60
Şekil 5.6	Kaynak hızı ve kaynak pozisyonunun nüfuziyete etkisi.....	61
Şekil 5.7	Sağa kaynak ve sola kaynak.....	62
Şekil 5.8	MIG-MAG kaynak yönteminde torcun dik, kaynak yönünde ya da ters yönde eğilmesinin dikiş formuna etkisi.....	62
Şekil 5.9	Serbest tel uzunluğu.....	63
Şekil 5.10	Serbest tel uzunluğunun akım şiddetine etkisi.....	63
Şekil 5.11	Çeşitli ark türlerinde serbest tel uzunluğu ve dikiş geometrisine etkisi.....	64
Şekil 5.12	Nozul nesafesi.....	65
Şekil 5.13	Akım şiddetine göre nozul mesafesi.....	65

Şekil 5.14 (+) ve (-) kutup durumlarında dikiş formu, sıçramaya etkisi ve erime miktarı.	65
Şekil 5.15 MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz sarfıyatı, nozul çapı ve akım şiddetlerindeki bağıntı. [10].....	66
Şekil 7.1 Numaralı kalite grubuna giren çelik açıklaması.	71
Şekil 7.2 Alaşımli çeliklerin gösterimi.	71
Şekil 7.3 Alaşımli çeliklerin gösterimi.	71
Şekil 7.4 Alaşımli çeliklerin gösterimi.	72
Şekil 9.1 MAG kaynağında kullanılan karışım gaz tüpleri.....	86
Şekil 9.2 MAG kaynağında kullanılan kaynak makinesi.....	86
Şekil 9.3 Alüminyum sigma profil.....	87
Şekil 9.4 Mil tutucu.	87
Şekil 9.5 Step motor.....	88
Şekil 9.6 Kaplin 6.35x8 mm.	88
Şekil 9.7 Step motor tutucu.....	88
Şekil 9.8 Vidalı mil.	89
Şekil 9.9 Mil.	89
Şekil 9.10 Rulmanlı yatak.....	89
Şekil 9.11 Lineer rulman.....	89
Şekil 9.12 İskelet.....	89
Şekil 9.13 Step motor ve parça tutucular.	89
Şekil 9.14 Torç tutacağı.	90
Şekil 9.15 Led ekran çıktısı.	90
Şekil 9.16 Yazılım panosu.	90
Şekil 9.17 MAG kaynağında kullanılan kaynak mekanizması.....	90
Şekil 9.18 Kaynak ağzı detayı.	91
Şekil 9.19 PA kaynak pozisyon detayı.	91
Şekil 9.20 Kaynak öncesi montaj.	91
Şekil 9.21 Kök paso ve kapak paso.	92
Şekil 9.22 10cm/dak ve 15cm/dak hızda kaynak pasoları.	92
Şekil 9.23 22,5 cm/dak hızda kaynak pasoları.....	92
Şekil 9.24 Ultrasonik test.....	96
Şekil 9.25 Manyetik parçacık test.....	96
Şekil 9.26 Numune bölgeleri.	97
Şekil 9.27 Şerit testerede kesim.	98
Şekil 9.28 Freze tezgahında talaş kaldırma.....	98
Şekil 9.29 CNC makinesinde kesim.	98
Şekil 9.30 CNC’de işlenen eğme, çekme, çentik darbe test numuneleri.	98
Şekil 9.31 Zımparalama ve parlatma cihazı.....	99
Şekil 9.32 Makro test numunesi.	99
Şekil 9.33 Optik mikroskop.	99
Şekil 9.34 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	100
Şekil 9.35 TS Standartına uygun olarak sertlik testi bölgeleri.....	101
Şekil 9.36 TS EN 1043-2 standartına uygun olarak kaynaklı malzemede sertlik alınan bölgelerin detaylı gösterimi.....	101
Şekil 9.37 Sertlik ölçüm cihazı.	102

Şekil 9.38 TS EN 875 Standartına uygun olarak çentik darbe testi yeri.....	103
Şekil 9.39 ASTM Standartına uygun olarak çentik darbe testi ölçüleri.	103
Şekil 9.40 Çentik darbe testi için V-çentik açma cihazı	104
Şekil 9.41 Charpy-V çentik darbe testi cihazı.	104
Şekil 9.42 ASTM E 8M-01 standartı çekme testi ölçüleri.....	105
Şekil 9.43 ASTM E 8M-01 standartta uygun olarak hazırlanmış çekme test numunesi ölçüleri.....	105
Şekil 9.44 Çekme test cihazı.....	106
Şekil 9.45 ASTM E 190-14 standartına uygun olarak eğme testi ölçüleri. .	106
Şekil 9.46 Eğme test cihazı.....	107
Şekil 9.47 ASTM E 190-14 standartta göre hazırlanmış eğme test numune ölçüleri	107
Şekil 10.1 %93Ar+%5CO ₂ +%2O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	108
Şekil 10.2 %88Ar+%10CO ₂ +%2O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	108
Şekil 10.3 %83Ar+%15CO ₂ +%2O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	108
Şekil 10.4 %92Ar+%5CO ₂ +%3O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	108
Şekil 10.5 %87Ar+%10CO ₂ +%3O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	109
Şekil 10.6 %82Ar+%15CO ₂ +%3O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	109
Şekil 10.7 %91Ar+%5CO ₂ +%4O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	109
Şekil 10.8 %86Ar+%10CO ₂ +%4O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	109
Şekil 10.9 %81Ar+%15CO ₂ +%4O ₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.....	109
Şekil 10.10 %93Ar+%5CO ₂ +%2O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	112
Şekil 10.11 %88Ar+%10CO ₂ +%2O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	112
Şekil 10.12 %83Ar+%15CO ₂ +%2O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	112
Şekil 10.13 %92Ar+%5CO ₂ +%3O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	113
Şekil 10.14 %87Ar+%10CO ₂ +%3O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	113
Şekil 10.15 %82Ar+%15CO ₂ +%3O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	113
Şekil 10.16 %91Ar+%5CO ₂ +%4O ₂ sertlik dağılımı grafiği.....	114
Şekil 10.17 %86Ar+%10CO ₂ +%4O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	114
Şekil 10.18 %81Ar+%15CO ₂ +%4O ₂ sertlik dağılımı grafiği.	114
Şekil 10.19 Kaynaklı numunelerin ortalama sertlik değerleri-kaynak hızı dağılımı.	116
Şekil 10.20 Çekme testi gerçekleştirilmiş numune.....	117
Şekil 10.21 Çekme testi gerçekleştirilmiş numunenin mukavemet-yüzde uzama grafiği.	117
Şekil 10.22 Ar+%2O ₂ +(%5CO ₂ ,%10CO ₂ ,%15CO ₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.....	119
Şekil 10.23 Ar+%3O ₂ +(%5CO ₂ ,%10CO ₂ ,%15CO ₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.....	119
Şekil 10.24 Ar+%4O ₂ +(%5CO ₂ ,%10CO ₂ ,%15CO ₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.....	119
Şekil 10.25 Ar+%5CO ₂ +(%2O ₂ ,%3O ₂ ,%4O ₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.....	120
Şekil 10.26 Ar+%10CO ₂ +(%2O ₂ ,%3O ₂ ,%4O ₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.....	120
Şekil 10.27 Ar+%15CO ₂ +(%2O ₂ ,%3O ₂ ,%4O ₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.....	120

Şekil 10.28 Gaz karışımlarının kaynak hızı-çekme dayanımı dağılımı grafiği.	121
Şekil 10.29 Eğme testi sonrası numunelerin görünümü.	124
Şekil 10.30 Eğme testi gerçekleştirilmiş numunenin yük-deformasyon grafiği.....	125
Şekil 10.31 Ar+%2O2+(%5CO2,%10CO2,%15CO2)-kaynak hızı eğme grafiği... 126	
Şekil 10.32 Ar+%3O2+(%5CO2,%10CO2,%15CO2)-kaynak hızı eğme grafiği... 126	
Şekil 10.33 Ar+%4O2+(%5CO2,%10CO2,%15CO2)-kaynak hızı eğme grafiği... 127	
Şekil 10.34 Ar+%5CO2+(%2O2,%3O2,%4O2)-kaynak hızı eğme dağılımı grafiği.	127
Şekil 10.35 Ar+%10CO2+(%2O2,%3O2,%4O2)-kaynak hızı eğme dağılımı grafiği.	127
Şekil 10.36 Ar+%15CO2+(%2O2,%3O2,%4O2)-kaynak hızı eğme dağılımı grafiği.	128
Şekil 10.37 Gaz karışımlarının kaynak hızı-eğme dağılımı grafiği.	128
Şekil 10.38 Charpy-V çentik darbe testi sonrası numuneler.	130
Şekil 10.39 Ar+%2O2+(%5CO2,%10CO2,%15CO2)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.	130
Şekil 10.40 Ar+%3O2+(%5CO2,%10CO2,%15CO2)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.	131
Şekil 10.41 Ar+%4O2+(%5CO2,%10CO2,%15CO2)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.	131
Şekil 10.42 Ar+%5CO2+(%2O2,%3O2,%4O2)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.	131
Şekil 10.43 Ar+%10CO2+(%2O2,%3O2,%4O2)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.	132
Şekil 10.44 Ar+%15CO2+(%2O2,%3O2,%4O2)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.	132
Şekil 10.45 Gaz karışımlarının kaynak hızı-darbe dayanımı dağılımı grafiği.....	133
Şekil 10.46 %93 Ar+%5 CO2+%2 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	135
Şekil 10.47 %88 Ar+%10 CO2+%2 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	135
Şekil 10.48 %83 Ar+%15 CO2+%2 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	136
Şekil 10.49 %92 Ar+%5 CO2+%3 O2 karışım 10 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	136
Şekil 10.50 %92 Ar+%5 CO2+%3 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	137
Şekil 10.51 %92 Ar+%5 CO2+%3 O2 karışım 22,5 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	137
Şekil 10.52 %87 Ar+%10 CO2+%3 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	138
Şekil 10.53 %82 Ar+%15 CO2+%3 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	138
Şekil 10.54 %91 Ar+%5 CO2+%4 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	139

Şekil 10.55 %86 Ar+%10 CO2+%4 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	139
Şekil 10.56 %81 Ar+%15 CO2+%4 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	140
Şekil 10.57 Ana metal SEM görüntüsü ve EDS analizi.	141
Şekil 10.58 %93 Ar+%5 CO2+%2 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	142
Şekil 10.59 %88 Ar+%10 CO2+%2 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsüne EDS analizi.....	142
Şekil 10.60 %83 Ar+%15 CO2+%2 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsüne EDS analizi.....	143
Şekil 10.61 %92 Ar+%5 CO2+%3 O2 karışım 10 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	143
Şekil 10.62 %92 Ar+%5 CO2+%3 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	144
Şekil 10.63 %92 Ar+%5 CO2+%3 O2 karışım 22,5 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	144
Şekil 10.64 %87 Ar+%10 CO2+%3 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	145
Şekil 10.65 %82 Ar+%15 CO2+%3 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	145
Şekil 10.66 %91 Ar+%5 CO2+%4 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	146
Şekil 10.67 %86 Ar+%10 CO2+%4 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	146
Şekil 10.68 %81 Ar+%15 CO2+%4 O2 karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	147

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları	26
Çizelge 3.1 MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların özellikleri	28
Çizelge 3.2 MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar.....	29
Çizelge 3.3 GMAW’de kullanılan farklı koruma gazları	33
Çizelge 3.4 Karbonlu çeliklerin GMAW yöntemi için koruyucu gaz seçimi.....	41
Çizelge 7.1 Çelik gruplarına ait fiziksel özellikler	70
Çizelge 7.2 Çelik gruplarına ait kimyasal özellikler.....	70
Çizelge 9.1 S355J2+N yapı çeliğın kimyasal birleşimi (% ağırlık)	84
Çizelge 9.2 S355J2+N yapı çeliğın mekanik özellikleri.....	85
Çizelge 9.3 Magmaweld MG 3 kaynak teli kimyasal içeriğı (%ağ.).....	85
Çizelge 9.4 Magmaweld MG 3 kaynak teli mekanik özellikleri	85
Çizelge 9.5 Kaynak makinesi özellikleri	87
Çizelge 9.6 Kaynak gaz karışımları ve hızları ile ilgili kodlama.....	93
Çizelge 9.7 Kaynak parametreleri.....	993
Çizelge 10.1 G1H1 numunesinin ölçümleri sonucunda bulunan sertlik değeri ..	111
Çizelge 10.2 Çekme numuneleri değeri.....	117
Çizelge 10.3 Eğme testi parametreleri	123
Çizelge 10.4 Eğme testi sonuçları.....	125
Çizelge 10.5 Çentik darbe testi sonuçları	129

SİMGELER DİZİNİ

Ar	Argon
CO₂	Karbondioksit
O₂	Oksijen
A	Amper
I	Akım, Amper
Cr	Krom
Ni	Nikel
Lt	Litre
Dak	Dakika
°C	Santigrat derece
V	Gerilim, Volt
I_B	Temel akım şiddeti (A)
I_P	Darbeli akım (A, Amper)
t_P	Darbe süresi (ms, milisaniye)
f	Darbe frekansı (hz, Hertz)
I_{ort}	Ortalama akım şiddeti (A)
Hz	Frekans, Hertz
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
H₂	Hidrojen
CO	Karbonmonoksit
Cu	Bakır
Al	Alüminyum
V	Vanadyum
Zr	Zirkonyum
Ti	Titanyum
Mo	Molibden
U	En kesit
D	Yarıçap
LA	Akım memesi ucundan ark başlangıcına kadarki mesafe
L	Gaz nozulunun iş parçasından mesafesi
D	Çap
Ø	Çap
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Mangan
W	Wolfram
Fe-C	Demir-karbon
Ppm	Milyonda bir parça
N₂	Azot
He	Helyum
eV	İyonizasyon enerjisi
S	Kükürt
Fe	Demir

FeO	Demir oksit
SiO₂	Silisyumdioksit
Cr₂O₃	Kromyumoksit
MnO	Manganoksit
P	Fosfor
N	Azot
B	Bor
Nb	Niyobyum
As	Arsenik
Sn	Kalay
MPa	Megapascal
J	Tokluk, Joule
Kg	Kilogram
DC	Doğru akım
kVA	Kilovoltamper
W	Genişlik
H	Yükseklik
D	Derinlik
HV	Sertlik ölçü birimi, Vickers sertliği
N	Newton
kN	Kilonewton
mm²	Milimetrekaare
σ	Orta noktada kiriş yüzeyindeki gerilme, N/mm ²
P	Yük sehim eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet, N
L	İki destek arası mesafe, mm
b	Kiriş genişliği, mm
d	Kirişin yüksekliği, mm
μm	Mikronmetre
AF	Asiküler ferrit
WF	Widmanstatten ferrit
PF	Poligonal ferrit
F	Flor
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
Cl	Klor
K	Potasyum
kV	Kilovolt
TiO₂	Titanyumdioksit
Al₂O₃	Alüminyumoksit

KISALTMALAR DİZİNİ

MIG	: Metal Inert Gas
MAG	: Metal Active Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
ASTM	: American Society for Testing and Materials
SEM	: Scanning Electron Microscope
EDS	: Energy Dispersive Spectrometry
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
GMAW	: Gas metal arc welding
AWS	: American Welding Society
RIA	: Amerikan Robot Enstitüsü'ne
JARA	: Japon Robot Birliği'ne
TS	: Türk Standartı
EN	: European Norm
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
AISI	: American Iron and Steel Institute
SAE	: Society of Automobile Engineers
ITAB	: Isının Tesiri Altında Kalan <i>Bölge</i>
HAZ	: Heat Affected Zone
DMAG	: MIG/MAG kaynağında çift kanallı koruyucu gaz besleme
ASME	: American Society of Mechanical Engineers
LCD	: Liquid Crystal Display
CNC	: Computer Numeric Control
UT	: Ultrasonik Test
MT	: Manyetik Parçacık Testi

1. GİRİŞ

Bu çalışmada ilk önce MAG (Metal Active Gas) kaynak yöntemine ait genel bilgiler verilecektir. Genel itibariyle koruyucu gazlar ve temel özellikleri, arklar, elektrotlar, kaynak parametreleri, MAG kaynak yönteminde robot kullanımı ve çelikler hakkında konulara girildikten sonra, bu tez çalışmasına yönelik literatür çalışmalarından bahsedilecektir. Yapılan mekanik testler hakkında da bazı genel bilgilere yer verilmiştir.

Sonrasında, yapılan deneysel çalışmalar, mekanik testler, SEM ve EDS analizleri ele alınacak; bu çalışmaların değerlendirilmesinden sonra sonuç ve önerilerle tez çalışması sonuçlandırılmıştır.

Metal veya termoplastik malzemeleri ısı, basınç ya da her ikisini birden kullanarak aynı cinsten ya da ergitme aralığı yakın olan başka bir malzeme katarak veya katmadan birleştirme işlemine kaynak adı verilir [1].

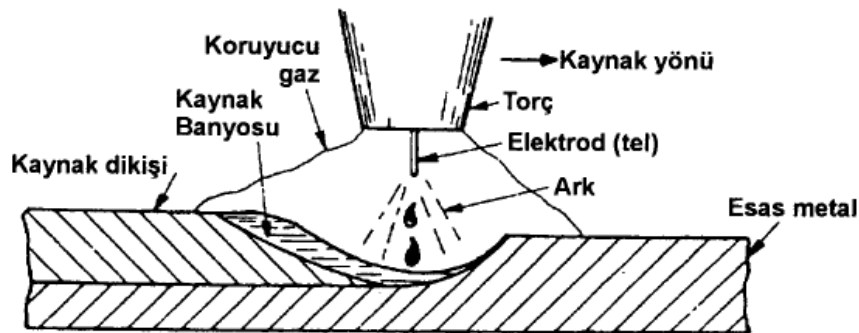
Gaz koruması altında ergiyen bir elektrotla kaynak işlemi düşüncesinden her ne kadar 1920'li yıllarda bahsedilmiş olsa da bu kaynak işleminin yaygın olarak kullanılmaya başlanması 1948 yılından sonrasına dayanmaktadır [2]. İlk başlarda bu yöntem ile kaynak işlemi çoğunlukla alüminyum malzeme kullanılarak yapılmış olmakla birlikte, ince elektrot ile yüksek akım yoğunluklarında ve koruyucu gaz olarak da soy gaz kullanılarak yapılmıştır. Kaynak işleminde ergiyen metal elektrot ve soy gaz kullanılmasından dolayı yönteme MIG (Metal Inert Gas) kaynağı denilmiştir. Daha sonraları darbeli akım ve düşük akım yoğunlukları ile farklı metallere uygulanmaya başlanmış ve koruyucu gaz olarak da aktif ve karışım gazların kullanılması sağlanmıştır. Bu yaşanan ilerlemelerden sonra aktif koruyucu gazın (CO_2) kullanıldığı durumlara MAG (Metal Active Gas) kaynağı denilmiştir [3].

Argon fiyatları önceleri pahalı olsa da 1960'lı yılları sonrası fiyatların düşüşe geçmesiyle birlikte argon karbondioksit karışımı gazlar ile dünya genelinde daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Koruyucu gazlar fiyat olarak karbondioksit gazından daha pahalı olmasına karşın gelişmesini sürdürmüş ve son dönemlerde MAG kaynağında %80 oranında karışım gazları kullanılmaya başlanmıştır [5].

Kaynakta CO₂ gazı kullanıldığında sıçrama oluşumu gözlemlenmiş, bu da kısa arkla kaynak diye adlandırılan tekniğin ilerlemesini sağlamıştır. Gaz altı metal ark kaynağının kısa arkla uygulaması, CO₂ gazı ile sıçramayan kaynak yapılabilmesini sağlamış ve öncelikle ince sacların birleştirilmesi olmak üzere, aynı zamanda kök pasolarının kaynağı ve zor pozisyonlardaki kaynaklar için en uygun kaynak yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Mevcut olan tüm ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş kaynak dikişleri arasında gaz altı metal ark (MAG) kaynağı ile yapılan kısmı, %70 gibi büyük bir bölümünü oluşturmaktadır ve halen ilerlemesine devam etmektedir. Çok fazla sıçrama oluşumu ve yalnızca yatay pozisyonda yapılabilmesi gibi durumlar söz konusu olduğundan dolayı araştırmacıları bu yöndeki çalışmalara yönelmelerini sağlamıştır [6].

Metal Aktif Gaz (MAG) Kaynağı, koruyucu gaz atmosferi altında sonsuz ve ergiyen tel elektrotla yapılan bir ark kaynağı yöntemi olması ile birlikte elle veya tam otomatik olarak yapılabilir. Kaynak işlemi esnasında doğru akım kullanılmakta olup, kuraldan dolayı tel elektrotun artı (pozitif) kutup olması gerekmektedir [7].

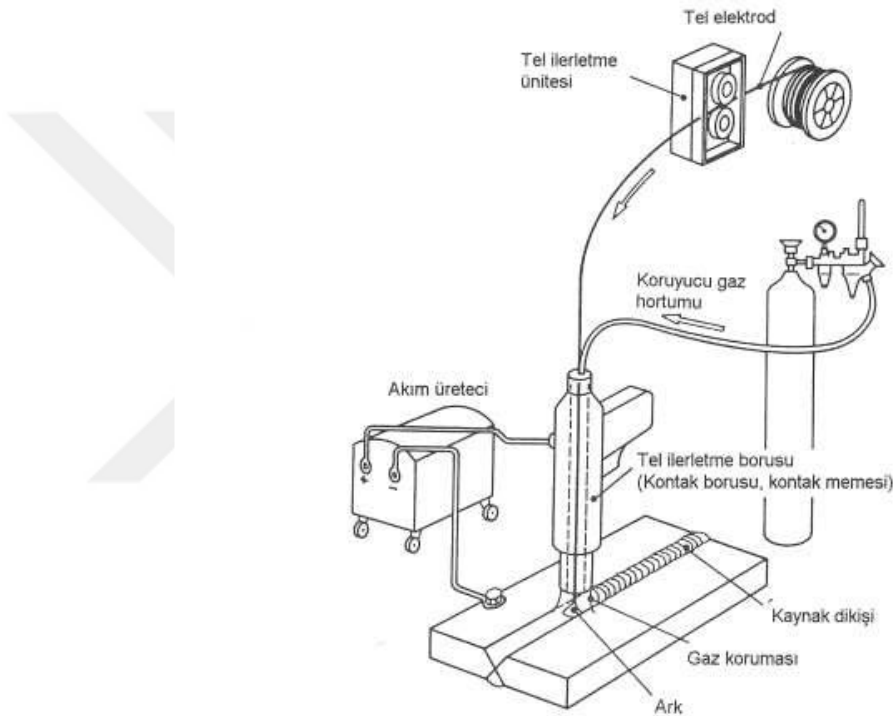
MAG kaynağında ark, ilave tel görevi özelliği de olan ergiyen bir elektrot ile iş parçası arasında yanmaktadır. MAG kaynağında oluşan ark bölgesi Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Koruyucu gaz, CO₂ kaynağında CO₂'den veya Karışım Gaz Kaynağında inert (soy) gazla aktif gazların karışımından oluşan bir karışım gazdır [6].



Şekil 1.1 MAG kaynak yönteminde ark bölgesi. [6,8]

Şekil 1.2'de MAG kaynağının prensip şeması gösterilmektedir. "Uçsuz" elektrot, bir tel makarasından bir tel iletme mekanizması vasıtasıyla kontak borusuna

gelmektedir. Serbest tel ucu nispeten kısadır; bu sayede ince elektrota yüksek akım şiddeti ($> 100 \text{ A/mm}^2$) uygulanabilmektedir. Kaynak makinesinin artı (pozitif) ve eksi (negatif) kutuplarından bir tanesi elektrota ötekisi ise parçaya bağlanarak; bu sayede oluşan arkın, eriyen elektrot ile parça arasında yanması sağlanmış olmaktadır. Elektrotun kaynak ilave metali olarak kullanılmasının yanı sıra enerji taşıma görevi de mevcuttur. Elektrotun eş eksenli olduğu bir memeden arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş kaynak banyosunu atmosferin zararlı etkilerinden koruyucu gaz korumaktadır [6].



Şekil 1.2 MAG kaynağının prensip şeması. [6]

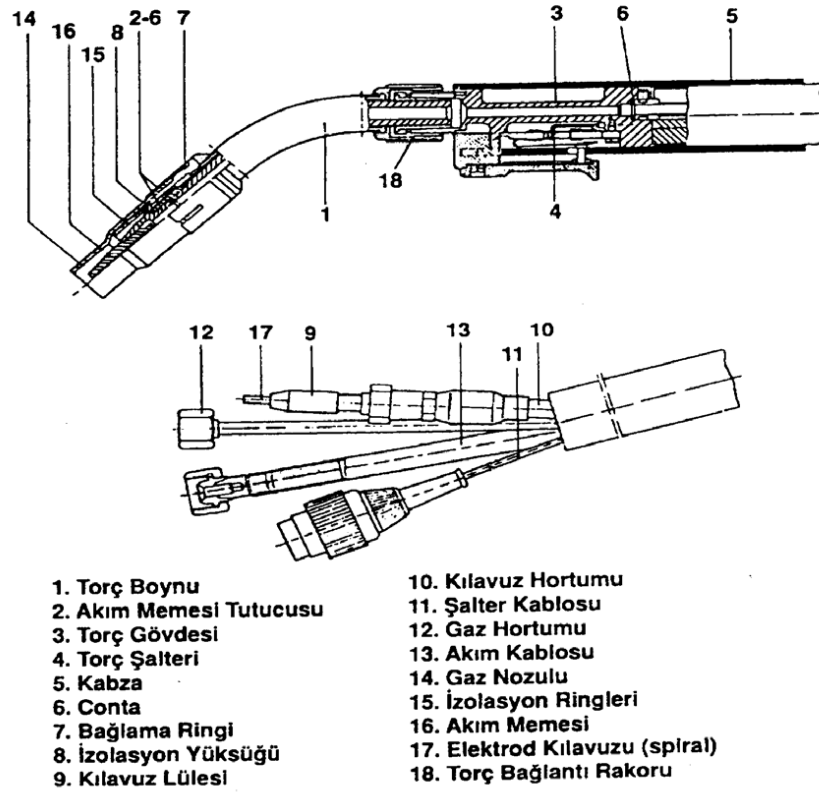
Kolaylıkla oksitlenebilme özelliği sergileyen alüminyum ve alaşımları gibi malzemelerin kaynağında MAG kaynağı yöntemi kullanılmamaktadır. MAG kaynağı günümüzde çoğunlukla çelik malzemelerin kaynağında tercih edilmektedir. MAG kaynağında kullanılan CO₂ gazı; renksiz, kokusuz ve havadan daha ağır bir gaz türü olma özelliklerine sahiptir. Kaynak işlemi esnasında kullanılacak olan CO₂ gazının hem saf hem de kuru olması gerekmektedir. Gaz içerisinde bulunma ihtimaline sahip nem, kaynak dikişinin gevrekleşmesine ve kaynakta gözenek oluşması gibi olumsuz durumlara neden olmaktadır [6].

MIG/MAG kaynak yöntemi ile gerçekleştirilen kaynakların maliyetlerinde azalmalar olmuştur. Ayrıca kaynak işlemi uygulama zamanının azaldığı görülmüş ve kaynakçının kaynak dikişinin kalitesine yapmış olduğu etkinin en az seviyeye indiği gözlemlenmiştir. Günümüzde MIG/MAG kaynak yöntemi modern kaynak yöntemleri arasında olmakla birlikte bu kaynak yönteminin kullanımı son dönemde dünya endüstrisinde geniş yer bulmuştur [2,4].

1.1 MIG-MAG Kaynak Donanımı

1.1.1 Kaynak torçları

Torçun görevi, MIG-MAG kaynağında tel elektrotta akımın yüklenmesini ve kaynak bölgesine iletilmesini ayrıca ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesini sağlamaktır. Kaynak işlemi esnasındaki akımın şiddetine ve kaynak yönteminin otomatik veya yarı otomatik olma durumuna göre farklı çeşitlerde ve boyutlarda torçlar mevcuttur. Torç, ark sıcaklığından etkilendiğinden dolayı daima soğutulması gereklidir; koruyucu gaz akımı soğutma işlemini düşük akım şiddetlerinde gayet iyi bir şekilde gerçekleştirmektedir. Büyük çapa sahip elektrotlar, bir başka deyişle yüksek akım şiddetlerinin kullanıldığı durumlarda ise ($I > 250 \text{ A}$) su ile soğutma sistemi olmalıdır. Su ile soğutma, düşük akım şiddetlerinde de daha iyi bir soğutma gerçekleştirirse de, uygulamada torçta sızdırmazlık için kullanılan contaların bakımı masraflı olduğundan ve torç kütlesini fazlalaştırdığından dolayı tercih edilmemektedir [6,8]. Şekil 1.3'te hava soğutmalı kuğu boynu tür bir torç kesiti ve torç bağlantı paketi şekli gösterilmektedir.

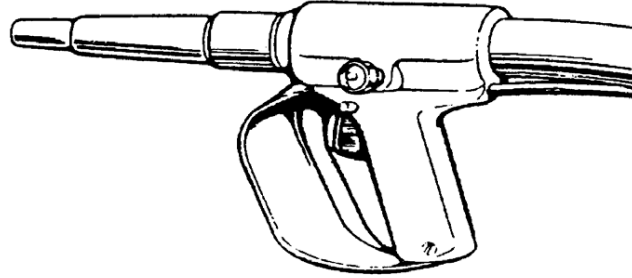


Şekil 1.3 Hava soğutmalı kuğu boynu tür bir torç kesiti ve torç bağlantı paketi.
[6,8,9]

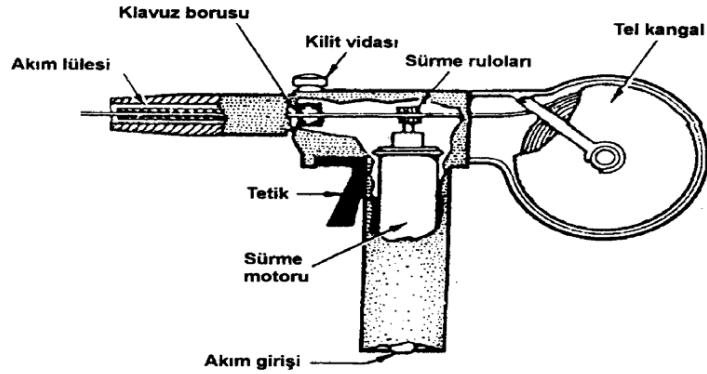
Yarı otomatik yöntemlerde operatörün arkın sıcaklığından etkilenmemesi için çeşitli türlerde torçlar olmasına karşın, en çok tercih edilen torç oksî-asetilen üflecini benzeyen şekilde bükülmüş ve kuğu boynu ismi verilmiş olan çeşididir. Erişilmesi zor bölgelerdeki ve zor pozisyonlardaki kaynak dikişlerinin yapımında kaynakçının işini kolaylaştırır ve oldukça ergonomiktirler. Fakat otomatik veya mekanize kaynak işlemleri ile alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tel elektrotun spiral içinde itilerek rahatlıkla sürülebilmesine imkan verdiğinden dolayı düz boyunlu torçlar kullanılması yeğlenir. Spiral kılavuz içinde ilerlemesinde sıkıntı yaşanan alaşımlardan yapılmış tel elektrotlar için, üzerinde tel iletme tertibatı ve ufak bir tel kangalı mevcut olan tabanca biçiminde torçlar kullanılmaktadır [6,8]. Şekil 1.4'te çeşitli MIG-MAG torç örnekleri gösterilmektedir.



Hava soğutmalı MIG-MAG torcu.



Hava soğutmalı dik MIG-MAG torcu.



Hava soğutmalı MIG torcu (tel çekmeli tür).

Şekil 1.4 Çeşitli MIG-MAG torçları. [6,8]

MIG-MAG kaynak yönteminde tel elektrot daima ilerlemesini sürdürdüğünden dolayı tele elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile sağlanır. Bakır esaslı bir akım memesi içinden geçerek kaynak akımı ile yüklenen tel elektrot, torçtan çıkışını gerçekleştirir; torcun ağız bölgesinde akım memesi ile eş merkezli olan bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu nozulun görevi, koruyucu gaz akımını laminar (girdapsız) bir şekilde kaynak bölgesine ulaştırmaktır. Akım memesinin malzemesi çok iyi bir elektrik iletkenliğine sahiptir ve ayrıca aşınmaya (özellikle elektro erozyona) karşı dayanıklıdır. Uygulamada, memenin iç çapının tel elektrot çapından yaklaşık olarak 0,2 mm daha büyük olmasına müsaade edilmekle birlikte, yumuşak tel elektrotların kullanılması söz konusu olduğunda bu değerin 0,2 mm'den de büyük olmasına müsaade edilmektedir [6,8].

1.1.2 Torç bağlantı paketi

1.1.3 Tel sürme tertibatı

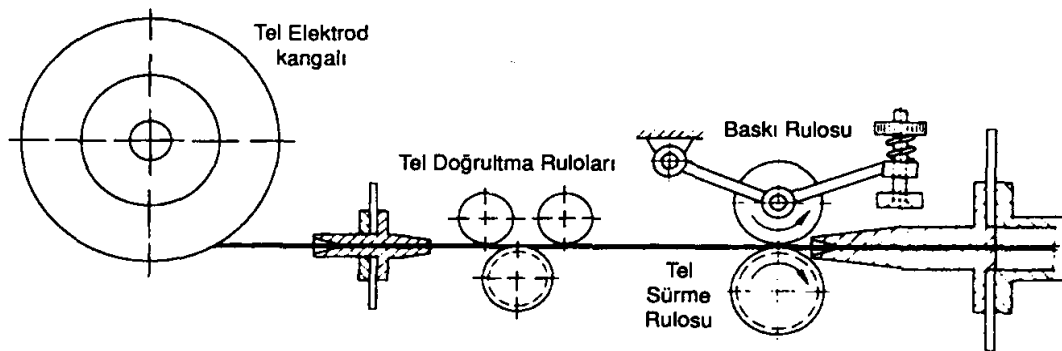
7

Tel sürme tertibatları çalışma prensiplerine göre, makaralı (rulolu) tertibatlar ve planet tertibatlar olarak ayrılır. Makaralı tertibatlarda tel elektrot iki veya dört makara arasından geçmekle beraber; üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmış olan alt makaralar istenilen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerken, bazıları düz bazıları kanal açılmış olan üst makaralar ise geliş güzel dönerler. Elektrotun sert olması halinde teli kaydırmamaları için makaralar tırtıllı olarak yapılmışlardır [6,8].

Tel sürme tertibatında makaraların tel üzerine yaptıkları basıncın iyi ayarlanması, tel tür ve çapına uygun makaraların kullanılması gerekmektedir. Yumuşak malzemeli tel elektrot ile özlü tel elektrotlarda dördü de tahrikli olan dört makaralı tel sürme tertibatlarının kullanılması ve makara basıncının azaltılması gerekmekte olup buna ilaveten tırtılların biçimi, kalitesi ve makara basıncının ayarı da önem arz etmektedir [6,8].

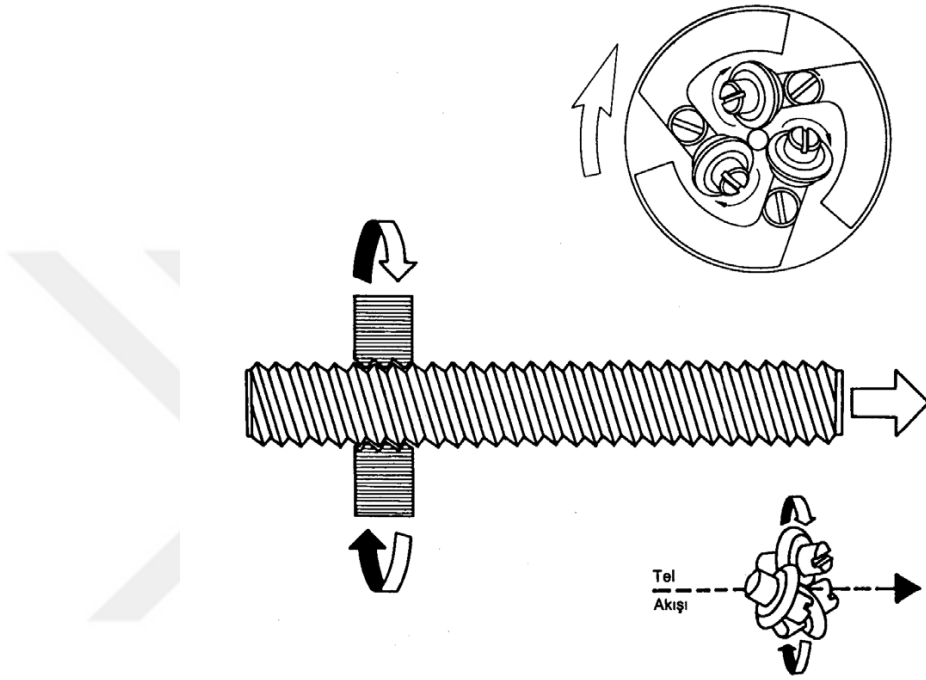
Tel bobinden çıkarken düz değildir ve kaynak bölgesine gönderilirken, spiral kılavuz içinde sürtünme yaparak sürme tertibatını zorladığından dolayı tel ilerletme hızı değişken olmakta; bu da kaynak dikişinin kalitesini etkilemektedir [6,8].

Makaralı tel sürme tertibatlarındaki sorunun makaradan çıkan telin düz olmaması olmakla beraber dört makaralı tertiplerde telin biraz da olsa düzelme imkanı varken, iki makaralı tertibatlarda ise sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma makaraları grubuna ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 1.5'te iki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması gösterilmektedir [6,8].



Şekil 1.5 İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması.
[6,8]

Dönel veya planet sistemi tel sürme tertibatlarında tel elektrot, eksenleri birbirlerine göre çarpık olan üç rulo arasından geçerken ruloların bağlı olduğu gövde döndürülmekte ve aynı zamanda ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizmektedir ve bu sayede de tel dönmediğinden dolayı ilerleme hareketi yapmaktadır. Şekil 1.6’da planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.6 Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması. [34,8]

Bu sistemin avantajı tel elektrotu çok iyi doğrultabilmesidir; bu sayede de tel ile spiral kılavuz arasındaki sürtünme azalmış olmasından dolayı 6 m’ye kadar uzatılabilen hortumlar kullanılmasına imkan sağlanmış olmaktadır. Fakat bu sistem ince ve yumuşak metallerden yapılmış tel elektrotlar ile özlü tel elektrotlar için uygun olmamaktadır [6,8].

1.1.4 Kontrol ünitesi

Kaynaktaki gerekli fonksiyonlar; hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar vasıtasıyla kontrol ünitesinde devreye sokulur [11]. Kontrol sistemleri iki zamanlı ve dört zamanlı olarak ayrılmışlardır.

- a. İki zamanlı kontrol: Torçtaki anahtardan aynı anda akımın, tel ilerlemesinin ve koruyucu gazın devreye sokulmasının yanı sıra anahtarın bırakılmasıyla da bu fonksiyonların tümünün aynı anda kesilmesi gerçekleşmektedir. Bu kontrol tipi, puntalama işleminde ve kısa dikişler için kullanılmaktadır [11].
- b. Dört zamanlı kontrol: Torçtaki anahtara basıldığında ilk başta yalnızca magnet ventili açılarak koruyucu gaz akmaya başlamakta olup; anahtarın bırakılmasıyla da akım ve tel ilerlemesi gerçekleşmektedir. Kaynak işleminin sonunda anahtara tekrar basıldığında ise akım ve tel ilerlemesinin kesilmesinin yanı sıra anahtar bırakılana kadar koruyucu gaz akışı bir miktar daha devam etmektedir [11].

Yeni cihazlarda arkın geri yanma süresi (telin ilerleyişinin durması ile akımın kesilmesi arasında geçen süre) de ayarlanabilmektedir. Böylece arkın olağan dışı ani sönmelerinde telin kaynak banyosuna yapışması engellenmiş olmaktadır. Bu durum, telin ilerlemesinin akım kesilmesinden hemen önce durması ile sağlanmaktadır. Fakat geri yanma süresi uzun ayarlanmış olursa, telin ilerlemesi erken kesileceğinden dolayı telin kontak borusu içine kadar yanması gerçekleşebilmekte olup ve bu yüzden de kontak borusu hasara uğrayabilmektedir [11].

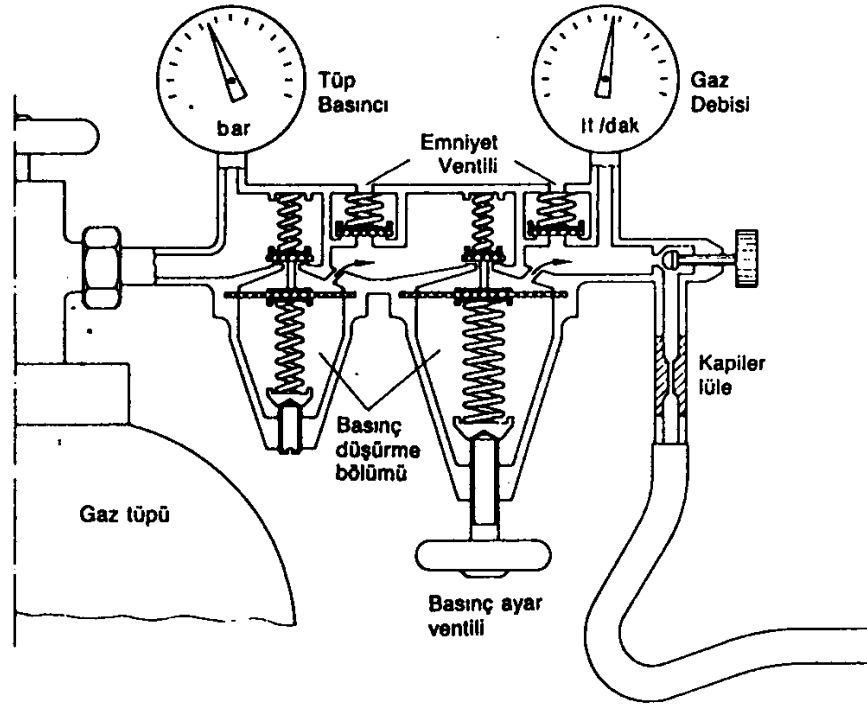
1.1.5 Koruyucu gaz sağlama sistemleri

MIG-MAG kaynak yönteminde, kaynak bölgesinin ve arkın, atmosferin zararlı etkilerinden korunması bir koruyucu gaz örtüsü ile sağlanmaktadır. Bu gazın kaynak işlemi boyunca yeterli miktarda kesintisiz bir şekilde sürekli olarak kaynak bölgesini beslenmesi koruyucu gaz donanımı sayesinde olmaktadır. Kaynak işlemi için gerekli koruyucu gaz; basınçlı gaz tüpünden ve merkezi gaz dağıtım sisteminden olmak üzere iki farklı sistem ile sağlanabilmektedir [6,8].

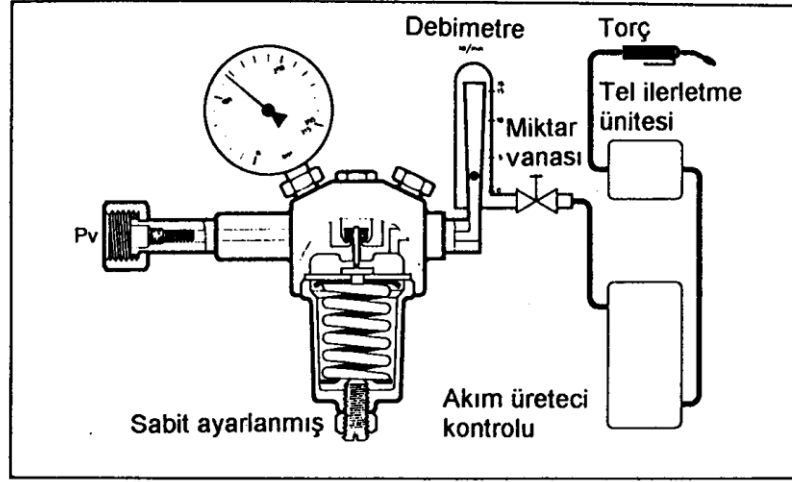
Ülkemizde MIG-MAG kaynağı için gerekli koruyucu gaz basınçlı tüplerden sağlanmakla beraber, MIG-MAG kaynak donanımının ekonomik olabilmesi için işletme içinde yoğun kullanılması gerektiğinden dolayı işletme içi merkezi sistem gaz dağıtım şebekeleri uygulaması sağlanamamaktadır [6,8].

Tüpten veya dağıtım hattından gelen koruyucu gazın öncelikle basıncının kullanma basıncına indirilmesi ve akabinde de debisinin ayarlanması gerekmektedir. Ayarlanan

akış debisi, kapiler boru ile birleşik olan ve lt/dak cinsinden ölçüm yapan manometreden okunabilmektedir. Basınç düşürme manometresi Şekil 1.7’de gösterilmektedir. Kapiler boru arızalı olursa, gerçek koruyucu gaz debisi, manometrede gösterilenden fazla olur ki bu da kaynak için sakıncalı bir durum oluşturmaktadır. Çünkü koruyucu gaz debisi ne kadar yüksek olursa kaynaktaki hata ihtimali o kadar fazla olmaktadır. Böyle durumlarda her ne kadar pahalı olsa da bilyalı ölçüm en uygun yöntemdir. Bilyalı debimetre takılı manometre Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Burada kapiler boru gerekli olmamakla birlikte tüketim, lt/dak cinsinden rota metredeki iğneli bir ventil ile ayarlanır ve debi ölçme borusu içindeki uçan bilya aracılığı ile gösterilmektedir [11].



Şekil 1.7 Basınç düşürme manometresi. [11]



Şekil 1.8 Bilyalı debimetre takılı manometre. [11]

Bilyalı ölçüm aleti, torçtan çıkan gerçek gaz debisini ölçen küçük bir gaz ölçüm borusu olmakla beraber doğrudan gaz çıkış lülesine irtibatlandırılabilir. Kullanılan gaz türüne göre bilyalı borunun üzerindeki işaretlerden, gaz debisi ayarlanabilmektedir [11].

1.1.6 Sulu soğutma sistemleri

MIG-MAG kaynak yöntemi otomatik veya mekanize olarak yapıldığında daha yüksek akım şiddetlerinde ve daha yoğun olarak çalışılmaktadır. Böyle olduğunda hava ile soğutulan torçlar verimli olmamakta ve su soğutmalı torçlar tercih edilmektedirler. Yaygın olarak bir su deposu ve soğutmayı gerçekleştiren fanlı bir radyatör ile pompadan oluşan kapalı sistem su soğutucular tercih edilmektedir. Böylece, suya inhibitörler ilave edilerek korozyon tehlikesi en düşük seviyeye getirilmiş olmaktadır. Ayrıca suyun sertliği ayarlanabilmekte ve su filtrelenerek dar su kanallarının tıkanmasının önlenmiş olmaktadır. Aynı zamanda termostat debi ayar kontrolü yapan sistem sayesinde suyun sıcaklığının 60 °C'yi geçmemesi sağlanmaktadır. Su bu sistemden torca hortum ile iletilmemekte, soğutucunun hortumları kaynak donanımının kumanda dolabına bağlanmaktadır ve buradan kontrollü bir şekilde torca iletilmektedir. Su devresinde bir tutukluk olduğu takdirde otomatik olarak kaynak akımı kesilmektedir [6,8].

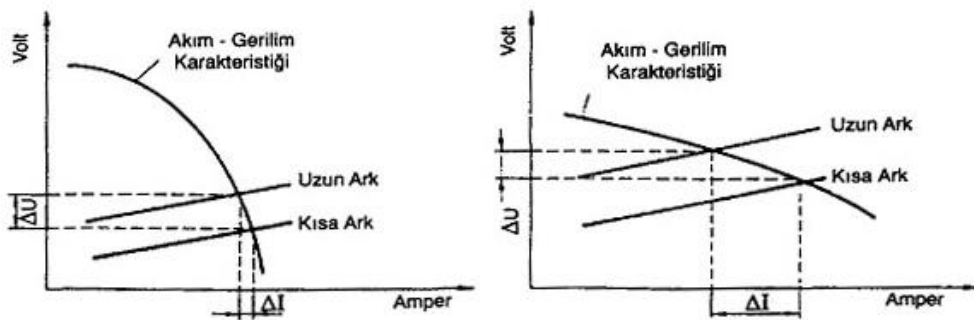
1.1.7 MIG-MAG kaynağı akım üreticileri

Ark kaynak yöntemlerinde, yöntemin gerektirdiği tür, akım şiddeti, gerilim ve volt-ampere karakteristiğinde elektrik akımı gerekir ve bu sebepten de her kaynak yöntemi

için çeşitli tür ve boyutta akım üretici mevcuttur. Kaynak için ihtiyaç duyulan elektrik akımı ya bir jeneratör aracılığıyla üretilmekte ya da şebeke akımının dönüştürülmesi ile elde edilebilmektedir [6,8].

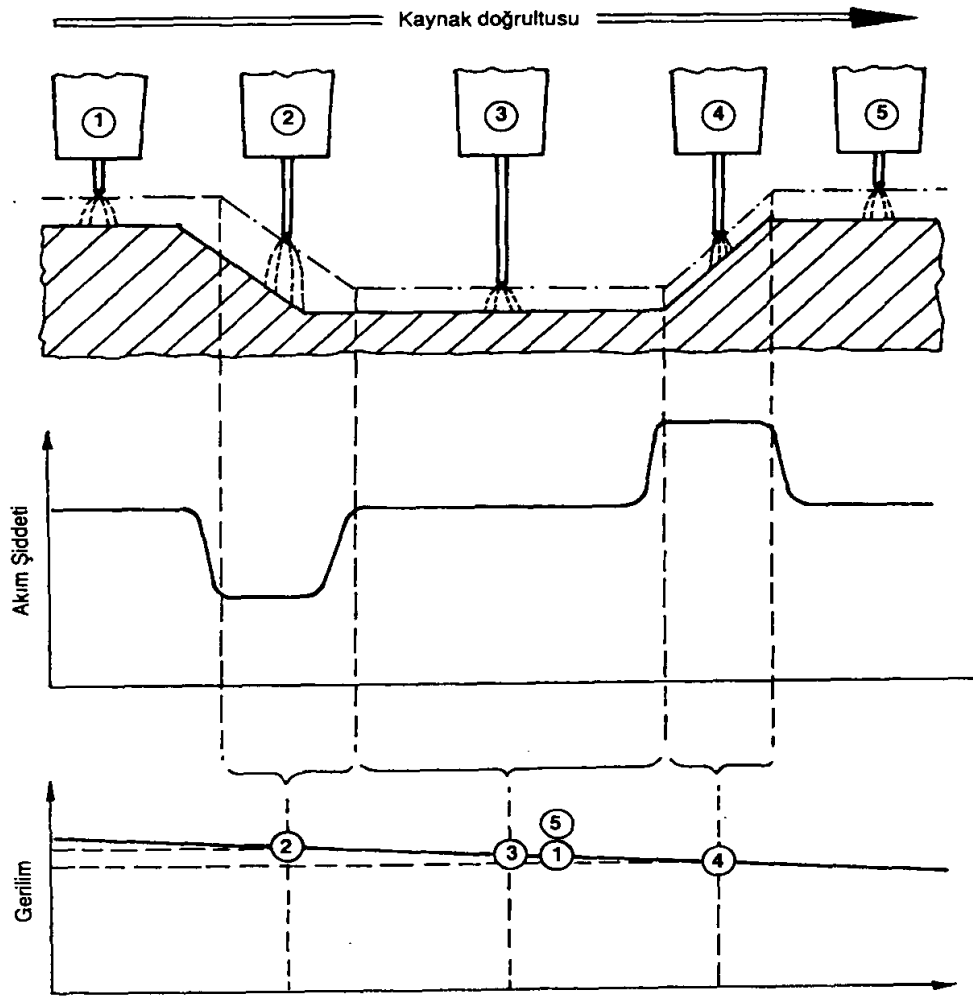
MIG-MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin V-I (Volt- Amper) karakteristiği, örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerindeki gibi düşey karakteristikli olabildiği gibi daha yaygın olarak kullanılan tip olarak yatay karakteristikli de olabilmektedir [6,8].

Düşey karakteristikli akım üreteçlerinde ark gerilimindeki değişim fazla miktarda olsa da akım şiddetindeki değişim azdır. Bu durum ark boyunun kaynakçı tarafından ayarlandığı örtülü elektrot ile ark kaynağı ve TIG kaynağında önem arz etmekle birlikte, kaynakçının el hareketlerinden dolayı ark boyunda değişme olduğunda ergime gücünde oluşan değişim az olmaktadır ve böylece daha iyi kaynak dikişi elde edilmesi için önem arz etmektedir. Ark boyunun kaynak donanımı tarafından ayarlandığı ve sabit olduğu MIG-MAG yönteminde düşey karakteristikli bir akım üretici kullanıldığında ark boyunun değişmesi, yani ark geriliminin değişmesinden dolayı ark boyunu sabit tutabilmek için tel sürme motorunun hızının değiştirilmesi gerekmektedir. Bu sistem pahalıdır ve yavaştır fakat tel ilerleme hızının yavaş olduğu kalın çaplı tel elektrotlar için kullanışlı olmaktadır. MIG-MAG yönteminde genelde ince tel (0.8, 1.0, 1.2 ve 1.6 mm) elektrot kullanıldığından ve sistem de yavaş olduğundan dolayı kullanışlı olmamaktadır. Bu sistem 2,5 mm'den daha kalın çaplı tel elektrotların kullanıldığı otomatik kaynak sistemlerinde, toz altı kaynak yönteminde ve elektrocuruf kaynak yönteminde daha kullanışlı olmaktadır [6,8]. Şekil 1.9'da kaynak akım üreteçlerinde volt-amper karakteristikleri gösterilmektedir.



Şekil 1.9 Kaynak akım üreteçlerinde volt-amper karakteristikleri. [6]

Sabit gerilimli yani yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark geriliminin dolayısı ile de ark boyunun değişiminin az olmasına karşın akım şiddetinde yani ergime gücünde değişim fazla olmaktadır. Yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde başka bir ilave donanım gerektirmeyen ve iç ayar da denilen kendinden oluşan bir ark boyu ayarı mevcuttur. Bu akım üreteçlerinde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı dolayısıyla da akım şiddeti ayarlanabilmektedir. Tel hızı sabit olmakla birlikte tel ilerleme motoru, seçilmiş sabit bir devirde dönmektedir [6,8].



Şekil 1.10 Sabit gerilimli akım üreteçinde ark boyunun kaynak süresince sabit kalması. [6,12]

Kaynak esnasında bir sebepten dolayı ark boyu uzarsa Şekil 1.10'daki gibi akım şiddeti fazla miktarda azalmaktadır. Bu sebepten dolayı da ergiyen tel miktarı azalmakta ve bu esnada tel sürme devam ettiğinden dolayı ark normal boyuna dönmekte; tam tersi durumda ise, yani ark boyu azaldığında akım şiddeti sürekli artmakta, ergiyen tel miktarı da bu sebepten dolayı artacağı için ark boyu normale dönmektedir [6,8].

Ark boyu kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır. Sabit gerilimli diye adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulmasına olanak olmadığı gibi aynı zamanda sakıncalıdır. Zira, böyle bir üreteşte elektrot iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve bu da elektrot ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur; bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 amper için azami 7 Volt kadar ark gerilimi düşümüne izin verilir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ile 5 V arasındadır [6,8].

Ergiyen elektrot ile gaz altı kaynağında büyük bir çoğunlukla doğru akım ve yatay karakteristikli, nadiren de düşey karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde elektrot pozitif veya negatif kutba bağlanabilir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrotun kesinlikle pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanması gereklidir.

Diğer metal ve alaşımlarının özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü kullanılabilirse de, çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir; doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde kullanılır [6,8].

MIG-MAG kaynak yönteminde doğru akım kullanılır ve kaynak elektrotu pozitif kutba bağlanır, bu nedenle akım üretici kaynak koşullarına uygun doğru akım üretmek zorundadır.

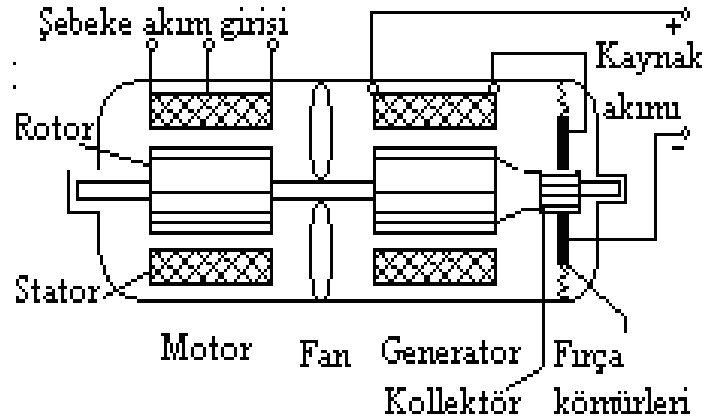
Bu kaynak yönteminde anlaşıldığı üzere yarı otomatik kaynak halinde dahi ark boyunun ayarlanması, kaynakçının el becerisine mahkum edilmemiştir ve kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği aracılığıyla kendinden ayarlanmaktadır [6,8].

1.1.7.1 Motor generatör tipi akım üreticileri

Elektrik akımı olmadığı takdirde, çoğunlukla şantiyelerde kullanılan, dizel veya benzin motoruyla tahrik edilmektedir. Bir doğru akım jeneratörü bir tahrik ve bir de dinamo makinesinden meydana gelmektedir.

Bu makineler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine (kaynak enerjisine) dönüştürerek kaynak akımını çalışılan mekanda üretmektedir. Yatay ve düşey karakteristik ile çalışabilmekte, bu niteliği sayesinde de boru hatlarının kaynağında hem örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı ve hem de MIG-MAG kaynak yönteminde iyi iş görmektedir [6,8,19].

MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-generatör akım üretici Şekil 1.11’de gösterilmektedir.



Şekil 1.11 MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-generatör akım üretici. [6]

1.1.7.2 Redresör tipi akım üreteçleri

İşletmedeki standart üreteçler olmakla birlikte bir transformatörden ve bir doğrultucu köprüden meydana gelmektedir. MIG/MAG kaynak yönteminde iyi bir kaynak işlemi için akım şiddeti ve gerilimin ayarlanabilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sabit gerilimli yani yatay karakterli kaynak akım üreteçlerinde kaynak akımı ve gerilimi, akım üretecinin ince ayar ve kaba ayar düğmelerinden kademeli ayrıca birbirinden bağımsız şekilde ayarlanabilmektedir. Özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz ve birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. Çoğunlukla MIG/MAG kaynak akım üretecinde 3 kaba ayar ve 5 ince ayar mevcuttur, yani 15 kademede gerilim ayarı yapılabilmesine müsaade etmektedir. MIG/MAG kaynak üreteçlerinde tel sürme düğmesi aracılığıyla ise kaynak akım şiddeti ayarı yapılmaktadır. Belirlenmiş durumdaki gerilim ve akım şiddeti, dikiş şeklini ve ark transferi türünü etkilemektedir. Ark sakın ve kararlı olarak yanıyor ise çalışma noktası iyi belirlenmiş demektir [6].

1.1.7.3 Sinerjik darbeli akım üreteçleri

Kaynak yapılan parçaya ısı girdisinin sınırlı bir biçimde transferinin sağlanması ve aynı zamanda da nüfuziyetinin de iyi olması arzu edildiğinde kullanılan üreteçtir. Darbeli doğru akım ve alternatif akım birbirinden farklıdır. Darbeli doğru akımda belirlenmiş akım şiddeti, öncesinden belirlenmiş iki değer aralığında istenilen frekansta değişmektedir. Şekil 1.12’de MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi gösterilmekte ve gösterilen kısaltmaların anlamlarına da yer verilmektedir [25].

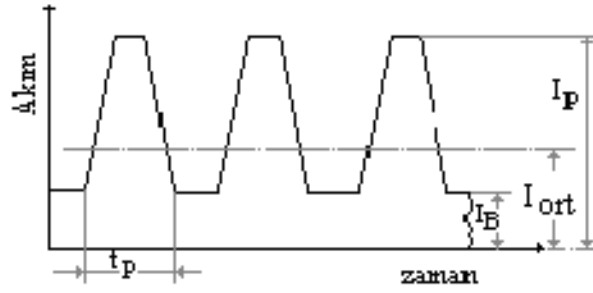
I_B : Temel akım şiddeti (A)

I_P : Darbeli akım (A, Amper)

t_P : Darbe süresi (ms, milisaniye)

f : Darbe frekansı (hz, Hertz)

I_{ort} : Ortalama akım şiddeti (A)



Şekil 1.12 MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi. [6]

Elektrottan ergiyen damlaların kaynak banyosuna transferinin ana ve darbe akım şiddetine göre iki değişik hızda olması bu sistemin avantajı olmaktadır. Darbe akımı esnasında, pik akımda, kaynak metali çabucak ergiyerek ve kaynak banyosuna sprey ark şeklinde transferi gerçekleşmektedir. Akabinde ana akımda ise elektrot ucunun ergimesinde azalma gerçekleşmekte ve ihtiyaç durumunda hiç ergimemesi sağlanmakta ve kaynak banyosuna da ısı girdi miktarı azalmakta ve bu esnada kaynak banyosu kısmen de olsa katılaşmaya başlamaktadır. Ana akım şiddeti arkın sönmeyeceği bir değerde olduğundan dolayı arkın yeniden tutuşturulması riski de ortadan kalkmış olmaktadır. Böyle bir ark ile her türlü pozisyonda kaynak yapılabilir. Güç elektroniği aracılığı ile frekans, ana akım şiddeti, darbe akım şiddeti ile bunların sürelerinin birbirlerinden bağımsız ayarlanabilmesini sağlayan akım üreteçleri mevcuttur. Böylece her akım darbesinde kaynak banyosuna tek bir damla kaynak metali iletebilen MIG/MAG kaynak makineleri oluşturulmuştur [6,8].

1.1.7.4 İnverter türü kaynak akım üreteçleri

Kaynak teknolojisinde günümüzdeki gelişmelerden biri inverter türü akım üreteçleridir. İnverterler önceleri uçak endüstrisinde, kontrol devrelerinde doğru akım üretiminde kullanılmakta olup sonradan kaynak endüstrisinde de güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır [6].

Standart kaynak akım üreteçlerinde, şebekeden alınan alternatif akım direkt transformatöre girmekte, burada akımın frekansı aynı kalıp yalnızca gerilimi değiştirilmektedir. Bu akım redresörde doğrultulmakta ve kaynak için gerekli olan doğru akım sağlanmaktadır ve kontrol devreleri de çıkış akımından aldıkları sinyalleri giriş kontrol sinyalleri (akım üreticinin ayar değerleri) ile karşılaştırıp redresör çıkışını ayarlamaktadır [6].

İnverterlerde ise, şebekeden alınan alternatif akım ilk önce redresöre girmekte ve doğru akıma çevrilmekte ve bu akım Chooper denilen özel bir cihazda yüksek frekanslı alternatif akıma çevrilmektedir; kaynak işlemlerinde kullanılan inverterlerde bu frekans 20.000 Hz dolaylarında olmaktadır. Bu yüksek frekanslı alternatif akım transformatör gerilimi kaynak için gerekli değere düşürülmekte ve buradan çıkan akım redresörde doğrultulmakta ve kaynak için gerekli olan doğru akım sağlanmaktadır. Böylece hem standart akım üreteçlerinde hem de inverterlerde şebeke akımı kaynak için lazım olan doğru akıma çevrilmiş olmaktadır [6].

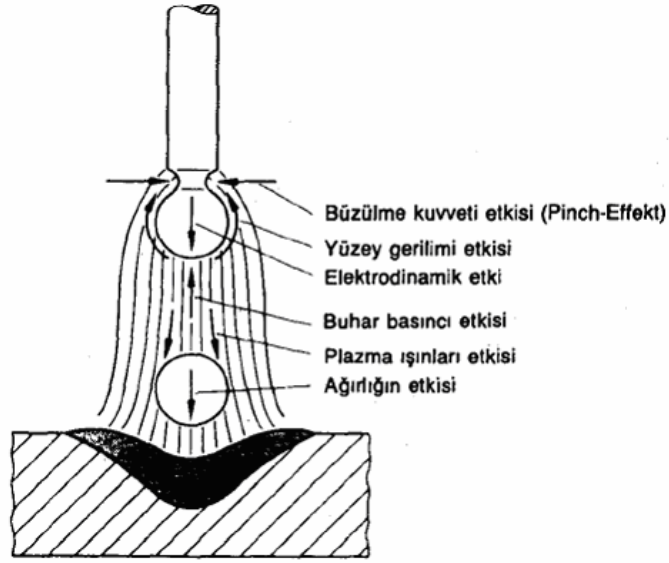


2. ARK TÜRLERİ ve ARKTA KAYNAK METALİ TAŞINIMI

Metal transfer formu, eriyen tel elektrottan kaynak banyosuna geçen metalin davranışdır. MIG-MAG kaynağında ark karakteristikleri, ergimiş elektrotun ucundan kaynak havuzuna olan metal transfer şekline bağlıdır ve bu transfer şekli de arkta oluşacak olan sıçrama miktarını, işlem kararlılığını, farklı pozisyonlarda kaynak yapma imkanını, ana malzemenin nemlendirilmesini, kaynak dikişinin yüzey durumunu ve kaynak metalinin kalitesi gibi birçok parametreyi etkilemektedir [13].

Kaynak arkı içinde metal taşınım türü; kaynak akım şiddeti, tel elektrot çapı, elektrotun bileşimi, serbest tel uzunluğu, koruyucu gazın türü faktörlerinin etkisi altında olmaktadır. Kaynak arkı bir çeşit elektrik iletkeni olduğundan dolayı çevresinde bir manyetik alan oluşmakta; akı yoğunluğu arttıkça da radyal büzülme kuvvetini oluşturan manyetik alanın şiddeti artmaktadır ve bu duruma Pinch-Effect denilmektedir. Arkın bilhassa elektrot ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan dolayı en şiddetli büzülme kuvveti bu kısımda oluşmakta ve bu da telin ucunda ergimiş olan metalin damla haline dönüşümünü basitleştirmektedir [6].

Radyal büzülme kuvvetinin büyük olduğu kısımdan zayıf olduğu kısma doğru bir eksenel kuvvet oluşmakta ve bu da oluşmuş damlanın elektrot ucundan ayrılmasına ve kaynak ağzına transfer edilmesine katkıda bulunmaktadır [6]. Şekil 2.1’de elektrotun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Elektrotun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri. [6,12]

Gaz altı kaynağında metal damlalar, elektrottan iş parçasına; Kısa Ark (kısa devreli metal taşınımı), Uzun Ark (damlasal metal taşınımı), Sprey Ark (ince damlalı metal taşınımı), Darbeli Sprey Ark ile metal taşınımı olmak üzere dört şekilde taşınmaktadır [6].

2.1 Kısa Ark (Kısa Devreli Metal Taşınımı)

İnce elektrotlar ile (0.6 ila 1.2 mm) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti kullanılarak yapılan kaynakta kısa ark oluşmaktadır. İnce kesitlerin birleştirilmesi için, pozisyon kaynağı için ve geniş kök aralıklarını birleştirmeye uygun olan küçük ve çabuk katılaştan kaynak banyosu elde etmek için kullanılmaktadır [3].

Ark meydana gelince elektrotun uç kısmı hızlıca ergimeye ve damlacık oluşmaya başlamakta, oluşan damlacık kaynak banyosuna doğru akarken elektrot ve iş parçası arasında kısa devre meydana gelmekte, gerilim düşmekte, akım şiddeti artmakta damla elektrottan kopmaktadır ve kısa devre ortadan kalkmaktadır [10]. Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi, koruyucu gaz türü ve elektrot metaline bağlı olarak bu işlem saniyede 20 ila 200 kere tekrarlanmaktadır. Damlanın boyutu ve kısa devrenin süresi, ergimiş metalin yüzey gerilimini etkilemekte olan koruyucu gazın çeşidine göre farklılık göstermektedir. Uygulamada böyle bir metal transferi için demir esaslı malzemelerde saf CO₂ veya karbondioksitçe zengin karışım gazlar tercih edilmektedir [6].

Kaynak metali iş parçasına yalnızca kısa devre anında transfer olmakta ve ark aracılığıyla taşınmamaktadır. Kısa ark boyu durumunda düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışılması ve metal aktarımının kısa devre sırasında olmasından dolayı iş parçasına uygulanan ısı girdisi çok az olmaktadır. Bu sebepten ince parçaların kaynağı ve çarpılma riskinin fazla olduğu durumlarda iyi iş görmektedir [6].

2.2 Uzun Ark (Damlasal metal taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali transferi yerine bu sefer damlasal metal taşınımı gerçekleşmektedir. Arkın tutuşmasının hemen sonrasında elektrotun uç kısmında ergime başlamakta ve bir damlacık oluşmaktadır, damlacık boyutu gitgide artmakta ve elektrot çapını geçtikten sonra elektrotdan kopmakta ve yer çekimi sayesinde ark sütunu boyunca ilerlemekte ve kaynak banyosuna erişmektedir. Ark gerilimi yüksek olduğu için burada ark boyu uzundur ve bundan dolayı normal durumda damla kaynak banyosuna erişirken kısa devre oluşumu pek görülmemektedir [12].

Bu tür ark neredeyse bütün kullanılan koruyucu gazlar ile meydana gelmekte olup, sadece CO₂ dışındaki diğer gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde oluşmaktadır, buna karşılık olarak CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanıldığı durumda neredeyse her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı oluşmaktadır [12].

Damlaların boyutunun büyük olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntem ile tavan kaynağı yapmak zor olmaktadır. Damlasal metal taşınımı halinde ark sabit değildir ve sıçrama miktarı fazla olmaktadır [12].

2.3 Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)

Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde taşınımı, sprej ark durumunda oluşmaktadır. Bu şekilde transfer, elektrotun uç kısmının sivrileşmesinden dolayı bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok ufak boyutta damlalar şeklinde taşınımı ile oluşmaktadır. Damlacıkların boyutu tel çapından daha ufak olmakta ve uzun ark durumundan çok daha hızlı bir şekilde telden ayrılmaktadırlar. Saniyede yüzlerce damla oluşabilmektedir [12].

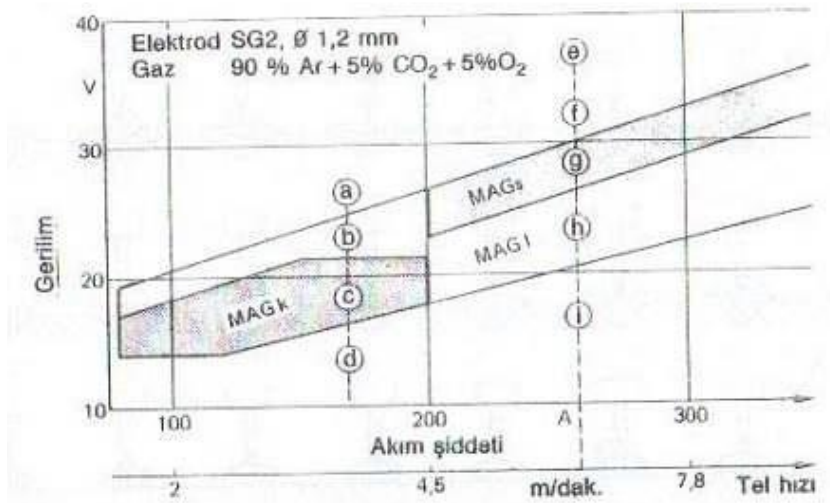
Çoğunlukla argon veya argon oranı yüksek koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığında meydana gelmektedir. %10-15'den daha fazla CO₂ içeren koruyucu gaz karışımlarında doğru sprej ark genellikle oluşmamaktadır [14].

Yüksek akım şiddetlerinde oluştuğunda özellikle kalın parçaların kaynağı için oldukça uygundur ve sıçrama çok az meydana gelmektedir. Yüksek ergime gücüne sahip olduğundan dolayı kaynak banyosu çok geniş olmaktadır. Bu sayede yatay ve oluk pozisyonlarında dolgu ve kapak pasoları için oldukça uygundur; eğer altlık kullanılırsa kök pasolara da uygulanabilmektedir. Yüksek güçlerde çalışıldığı için torcun iyi soğutulması ihtiyacı doğmaktadır [12].

2.4 Darbeli Sprej Ark ile Metal Taşınımı

Bu tür metal transferin oluşabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreteci gereksinim olmaktadır. Yani darbeli doğru akım ile alternatif akımın iyi ayırt edilebilmesi gerekmektedir, darbeli doğru akımda akım şiddeti, belirlenmiş olan iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir [10].

Bu yöntem ile istenilen her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmada iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışılabilmektedir ve ayrıca frekans ayarlanarak arzu edilen sayıda ve büyüklükte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına transferi gerçekleştirilebilmektedir. Tek olumsuz tarafı, kaynak akım üretecinin ve tel iletme tertibatının fiyatının yüksek olması ve donanımın bakımının da pahalı olmasıdır [10]. Şekil 2.2'de karışım gaz ile çeşitli ark türlerinde çalışma bölgeleri gösterilmektedir.



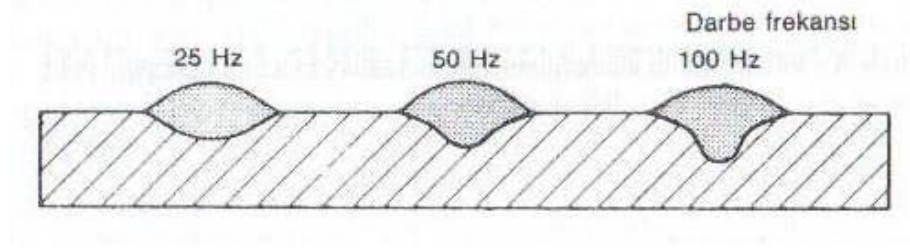
Şekil 2.2 Karışım gaz ile çeşitli ark türlerinde çalışma bölgeleri. [10]

Akım şiddeti ayarlanırken, temel akım şiddeti darbeler arasında arkın sönmeyeceği bir değer olarak belirlenmesi gerekmektedir. Gerekli olan temel akım şiddetinin değeri, genellikle darbe frekansının etkisinde olmakta olup, frekans arttıkça akım şiddeti düşürülebilmektedir [10].

Akım şiddetinin artması ile parçaya olan ısı girdisi artmaktadır ve daha da artması durumunda darbeler arasındaki sürede de erime olabileceğinden damla oluşum düzeni kaybolmaktadır. Bu sebepten dolayı kalın ve ısıyı iyi ileten metallerin kalın elektrot kullanarak kaynak işlemi yapılması gerekmektedir. Darbe akımı, elektrot ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (Pinch Effect) uygulamakta ve damla kısa devre oluşturmadan ark tarafından kaynak banyosuna taşınmaktadır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşınımı sadece darbe akımı belirli bir değere ulaştığında olmaktadır ve bu değer elektrot malzemesi ile koruyucu gazın çeşidine ve tel çapına göre değişmektedir [10].

Yüksek şiddetli darbe akımı, damlanın çok fazla ivmelenmesine sebep olmakta ve bu da sıçramayı arttırmaktadır, kaynak banyosuna hızlı bir şekilde düşen damla yarıcı bir etki yapmakta, dikiş kenarlarında kertikler oluşmasına neden olmaktadır. Çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılamaz, keza darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna zıt yönde etki yapmaktadır [10].

Darbe genişliğinin küçülmesi, sinüzoidal değişim gösteren darbede, ortalama akım değerinin azalmasına sebep olmakta; sadece darbe genişliği küçültülürken damlaların gereken şekilde ivmelenip elektrot ucundan ayrılması için gerekli olan zamanın dikkate alınması gerekmektedir. Darbe frekansının yükselmesi, damla sayısını, etkin akım şiddetini, parçaya olan ısı girdisini arttırmakta ve böylece dikiş biçimini etkilemektedir. Darbe frekansı akım üreteçlerinde çoğunlukla 25, 33, 50 ve 100 olarak kademelendirilmiştir; 25 ve 33 gibi düşük frekans değerlerinde oluşan ark, gözler için zararlıdır ve el ile yapılan kaynakta kullanılmamaktadır [10]. Şekil 2.3'te darbe frekansının dikiş profiline etkisi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (şematik). [10]

2.5 Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi

MIG-MAG kaynak yöntemi geniş ayar imkanları, çeşitli yardımcı malzeme ve donanımlar sayesinde günümüz endüstrisinde ince parçalardan kalın kesitli parçalara kadar uygulanabilmektedir. İnce parçaların kaynağında düşük ark güçlerinde çalışılırken; kalın parçalarda ekonomik olması ve iyi bir nüfuziyetin sağlanması, uygun pozisyonlarda çalışılabilmesi gibi sebeplerden dolayı yüksek güçlü arklar kullanılmaktadır. Yine de her kaynak makinesinde her koruyucu gazla bütün ark türlerinin oluşması olanağı yoktur. Mesela spreyci ark durumu uygun elektrot ve gaz kombinasyonu ile soğutulması iyi yapılmış torç kullanarak orta akım şiddetlerinde oluşabilmektedir. Darbeli ark ise sadece bunun için oluşturulmuş olan akım üreteçlerinde elde edilebilmektedir [10]. Çizelge 2.1’de MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 2.1 MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları [10]

	SPREY ARK	UZUN ARK	KISA ARK	DARBELİ ARK
MIG	Alüminyum Bakır	Alüminyum -	Alüminyum S≤1.5 mm.	Alüminyum Bakır
MAGM	Alaşımsız, az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler	Alaşımsız ve az alaşımli çelikler	Alaşımsız, az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler	Az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler
MAG	-	Alaşımli ve az alaşımli çelikler	Alaşımli ve alaşımli çelikler	-
KAYNAK POZİSYONU	Yatay ve oluk pozisyonunda kalın ve orta kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında. Oluk pozisyonunda kök ve dolgu pasolarında.	Yatay, oluk ve yukarıdan aşağıya dik pozisyonlarda kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonunda ince parçaların içköşe, alın birleştirmelerinde Her pozisyonunda kalın parçaların alın birleştirmelerinin kök pasolarında. Tavan, içköşe tavan, yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı dik, komiş pozisyonlarında içköşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonunda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında. Kök paso için özel hallerde. Az ısı girdisinin uygulanmasının gerekli olduğu hallerde.

3. KORUYUCU GAZLARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Kaynak işlemi performansına, kaynakta kullanılan koruyucu gazların önemli derecede etkisi bulunmaktadır. Kaynakta kullanılan koruyucu gazların öncelikli görevi erimiş kaynak metali banyosunun oluşumu esnasında bu banyoyu hidrojen, azot ve oksijenin zararlı etkilerinden korumaktır [15]. Ergimiş durumda neredeyse tüm metaller havadan oksijen ve azot kaparlar ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştan kaynak metalindeki elementler ile birleşerek yeni bileşikler oluşturmaktadırlar; bu durum kaynak metalinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemekte, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye sebep olmaktadır [6,8].

Koruyucu gazların ayrıca ark stabilitesini de sağlama görevleri bulunmaktadır. MIG/MAG kaynağında kullanılan gaz, kaynak esnasında metal transferi oluşması için ilave etki yapmakta, kaynağın damla şeklini ve nüfuziyet durumunu da etkilemektedir. Koruyucu gazın çeşidi ve bileşimi, büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve sonuç olarak da elektrottan ergime sonucu damlacıkları meydana getiren kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkilemektedir. Bu durum da kaynak işleminin yapılabilirliğini, verimini ve kalitesini etkilemektedir [15].

Sürekli elektrik boşaltılması kaynak arkı olarak adlandırılmakta ve bu da ark plazması denilen taşıyıcı bir vasıta aracılığıyla meydana getirilmekte ve muhafaza edilmektedir. Plazma, elektron, iyon, nötral atom, foton, uyarılmış atom ve moleküllerin karışımından oluşmaktadır [16].

Plazmanın meydana gelmesi ve yapısı, kaynak işleminde kullanılan koruyucu gazın özellikleri ile alakalıdır. Çizelge 3.1’de kaynak işleminde kullanılan gazların temel özellikleri verilmektedir [17].

Çizelge 3.1 MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların özellikleri [17]

Gaz	Kimyasal Sembolü	Moleküler Ağırlığı	Özgül Ağırlığı	Yoğunluk		İyonizasyon Enerjisi
				g/ft ³	g/L	
Argon	Ar	39,95	1,39	0,1114	1,784	15,7
Karbondiyoksit	CO ₂	44,04	1,53	0,1235	1,978	14,4
Helyum	He	4	0,1368	0,0111	0,178	24,5
Hidrojen	H ₂	2,016	0,0596	0,0056	0,090	13,5
Azot	N ₂	28,01	0,967	0,782	12,5	14,5
Oksijen	O ₂	32	1,105	0,0892	1,43	13,2

Koruyucu gazın etkilediği kaynak parametreleri arasında; kaynak banyosunu atmosferden koruma, arkın kararlılığını sağlama ve ark karakteristiği, metal transferin şekli, nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili, yanma oluğu oluşma eğilimi, ısı girdisi, kaynak hızı, kaynak metalinin kimyasal bileşimi ve kimyasal özellikleri, kaynak metalinin mekanik özellikleri, temizleme etkisi bulunmaktadır. Koruyucu gazın temel özellikleri iyi bilinirse, kaynak işlemi için seçilecek olan koruyucu gaz veya gazların tercihi isabetli olur ve bu da kaynak kalitesini arttıracak, maliyeti düşürecektir [3,18].

Kaynak işlemi için gaz seçiminde göz önünde bulundurulması gereken etmenler arasında; kaynak edilen metal veya alaşımın türü, ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi, kaynak hızı, parça kalınlığı, gerekli olan nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi, kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler, kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi, tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti bulunmaktadır [6,8]. Çizelge 3.2’de MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar verilmektedir [10].

Çizelge 3.2 MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar [10]

Kaynak Usulü	Gazın Karakteri	Gazın İşareti DİN 32526	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri
MIG	Asal	I.1	Ar % 100	Çelik haricinde bütün metal ve alaşımları
	Asal	I.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	I.3	He % 25-75	
			Ar kalanı	Cu ve Al alaşımları
karışım gazlar	Hafif Oksitleyici	M. 1.1	O ₂ % 1... 3 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.2	CO ₂ % 2... 5 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.3	CO ₂ % 6... 14 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Oksitleyici	M. 2.1	CO ₂ % 15... 25 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrod ile)
		M. 2.2	CO ₂ % 5... 15 O ₂ % 1... 3 Ar kalanı	Alaşımlı ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.1	CO ₂ % 26... 40 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Kuvvetli Oksitleyici	M. 3.2	CO ₂ % 5... 20 O ₂ % 4... 6 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.3	O ₂ % 9... 12 Ar kalanı	Alaşımsız çelikler
MAG		C	CO ₂ % 100	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler

3.1 Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri

3.1.1 İyonizasyon enerjisi

Bir gaz atomundan bir elektron çıkararak iyon veya elektriksel olarak yüklenmiş bir gaz atomu yapmaya yarayan enerji, iyonizasyon enerjisidir ve elektron volt diye tanımlanmaktadır. Diğer faktörler sabit tutulduğunda gazın moleküler ağırlığı arttığında, iyonizasyon enerjisi azalmaktadır. Kaynak işlemi esnasında kullanılan koruyucu gazların iyonizasyon enerjileri, ark başlamasını ve stabilitesini önemli derecede etkilemektedir. Düşük iyonizasyon enerjisine sahip Argon gazının atomları basit bir şekilde iyonla dönüştürülebilmektedir. Yüksek iyonizasyon enerjisine sahip

Helyum gazı ise çok sert bir ark başlaması ve stabilitesi az bir ark meydana getirmektedir [15]. Plazmanın oluşmasında diğer faktörler yardımcı olsalar bile, bu gazların iyonize olması için gerekli olan enerji miktarının sağlanmasında bilhassa ark gerilimi doğrudan etki etmektedir. Aynı ark boyları ve kaynak akımları için Helyum gazı ile kaynak işleminde kullanılan gerilim, Argon gazı ile kaynak işleminde kullanılan gerilimden daha fazla olmaktadır. Bundan dolayı iş parçasına ısı girişini Helyum gazı kullanıldığında, Argon gazı kullanılan duruma oranla daha kolay olmasını sağlamaktadır [19].

3.1.2 Isıl iletkenlik

Bir gaz ısıyı ne kadar iyi taşıyabiliyorsa ısı iletkenliği o kadar iyi olmaktadır. Bu durum plazma ile ergimiş metal arasındaki ısı transferi esnasında ark kolonunun merkezinden dış kısma doğru meydana gelen radyal ısı kaybını etkilemektedir. Argon gazı düşük ısı iletkenliğe sahip olduğundan dolayı dar, sıcak bir öz (kor) ve nispeten daha soğuk bir dış bölgeye sahip iki bölgeyi bir ark oluşturmaktadır. Kaynak birleşme bölgesinin nüfuziyet biçimi, kökte dar kapakta ise daha geniş bir biçimde olmaktadır. Daha büyük ısı iletkenliğe sahip bir gaz merkezden dışarıya doğru ısı taşımakta; dolayısıyla geniş ve sıcak bir ark merkezi oluşmaktadır. Bu şekilde ısı dağılımı Helyum, Hidrojen ve Argon- Karbondioksit gazları ile olmaktadır. Bu da çalışma alanına ısının daha fazla dağılmasını sağlayarak daha geniş ergime alanı meydana getirmektedir [74].

3.1.3 Disosasyon ve rekombinasyon

Karbondioksit, Hidrojen, Oksijen gibi moleküler koruyucu gazlar, ark plazması içinde yüksek sıcaklıklarda parçalanmakta veya atomlarına ayrılmaktadır. Ayrışmış (dissose olmuş) gaz, soğuk iş alanıyla karşılaştığında atomlar re kombine olmakta ve bu noktaya ısı bırakmaktadırlar. Bu re kombinasyon ısı çok atomlu gazların, helyum gazı gibi yüksek ısı iletkenliği varmış gibi davranmasına sebep olmaktadır. Ayrışma (disosasyon) ve birleşme (re kombinasyon) bazı gazlarda (örneğin Argon gibi tek atomlu gazlarda) meydana gelmemektedir. Bundan dolayı eşit ark sıcaklığında karbondioksit ve hidrojen gibi gazlar ile iş parçası yüzeyinde oluşan ısı, argon gazı ile oluşana göre daha fazla olmaktadır [19].

3.1.4 Reaktiflik/oksidasyon potansiyeli

Koruyucu gazların oksidasyon özelliği kaynak performansını ve kaynak işlemi sonucunda meydana gelen kaynak dolgusunun özelliklerini etkilemektedir. Argon ve Helyum gazları tamamen asal (soy gaz) olduğundan dolayı, kaynak metali üzerinde direkt kimyasal etkileri olmamaktadır. Oksitleyici veya aktif gazlar (örneğin Karbondioksit ve Oksijen gibi gazlar), dolgu metali veya iş parçasıyla tepkimeye girerek kaynak dolgusu yüzeyinde cüruf oluşturmaktadır. Manganez ve Silisyum gibi çelikten kaybolan elementler kaynak işleminin kalite ve maliyetini etkilemektedir. Koruyucu gazların oksidasyon özelliği artarsa, kaynak mukavemeti ve tokluğu azalmaktadır [19].

Karbondioksit ve Oksijen gibi reaktif gazların ilavesi ark stabilitesini arttırmakta ve böylece meydana gelen metal transferi biçimini etkilemektedir. Koruyucu gazdaki Oksijen oranı artarsa metal damlacıklarının boyutları azalmakta ve bundan dolayı da birim zamanda transfer olan damlacık sayısı artmaktadır. Oksijen ergimiş kaynak damlasının yüzey gerilimini düşürmekte, iyi kaynak damlası akışı ve yüksek kaynak hızları sağlamaktadır [19].

3.1.5 Yüzey gerilimi

Kaynak arkına ve ark içerisindeki parçacıklara etkileyen birçok kuvvet mevcuttur ve onlar aracılığıyla ark yönlendirilmektedir. Ergimiş metal ve çevresindeki atmosfer arasındaki yüzey geriliminin damla yapısı üzerinde oldukça mühim etkisi bulunmaktadır. Yüksek yüzey enerjisi varsa, damla konveks olmaktadır. Oksijen gibi reaktif gazların düşük oranlarda ilave edilmesi, yüzey gerilimini azaltmakta ve akışkanlık sağlamaktadır. Ayrıca ana malzemenin daha iyi ısınmasını sağlamakla birlikte ve kaynak metalinde aşırı oksidasyon oluşmasını engellemektedir [19].

3.1.6 Gaz saflığı ve çığ noktası

Kaynak uygulanan metale ve kaynak yöntemine bağlı olan çok düşük miktardaki yabancı gazlar kaynak hızını, kaynak yüzeyinin görüntüsünü, kaynak damlası katılaşmasını ve gözenek miktarını etkilemektedir. Ayrıca kaynak işleminde kullanılan koruyucu gazın her daim kirlenme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle kaynak işlemi yapılırken düzgün şekilde düzenlenmiş gaz boru sistemleri ve yüksek kalitede hortumlar vasıtasıyla koruyucu gazların sevk edilmesi gerekmektedir [17].

Kaynak işlemi esnasında kullanılan koruyucu gazların çok düşük çiğ noktasına sahip olmaları gerekmektedir. Çiğ noktası, bir gazın içerisinde barındığı nem miktarının ölçüsüdür. Nem, arkin yüksek sıcaklıklarında oksijen ve hidrojene ayrılmakta, fakat hidrojen kaynak dikişleri için çok tahrip edici özelliğe sahiptir. Atmosferdeki hidrojenin basıncı kaynak metalinde poroziteye sebebiyet vermekte olup, oksijen ise kaynak banyosunun yüzeyinde bir oksit tabakasının meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu durum da kaynak metalinde inklüzyona ve ergime hatalarına sebep olmaktadır [21].

3.1.7 Gaz yoğunluğu

Gazın birim hacimdeki ağırlığına gaz yoğunluğu denilmektedir. Koruyucu gaz etkileşimini etkileyen ana faktörlerden biri yoğunluktur [19]. Koruyucu gazın yoğunluğu, kaynak bölgesinin korunması ve gaz tüketimi bakımından önem arz etmektedir. Ağır bir gaz kaynak bölgesini daha iyi örtmekte ve korumaktadır. Mesela argon gazı havadan 1,5 kat, helyum gazından 10 kat daha ağır olma özelliğine sahiptir. Bunun için helyum gazı aynı akış hızlarında diğer gazlarla aynı korumayı gerçekleştiremez. Aynı korumayı gerçekleştirebilmesi için daha yüksek akış hızlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Helyum gazının havadan daha hafif bir gaz olma özelliği tavan kaynağında büyük avantaj sağlamaktadır [21].

3.1.8 Koruyucu gaz debisi

Kullanılan nozul çapı ve kaynak akım şiddeti, nozula gönderilen koruyucu gaz miktarını belirlemektedir. Koruyucu gaz debisi çok düşük olduğunda kaynak banyosuna hava girmekte ve dolayısıyla gözenek oluşma ihtimali olmaktadır. Koruyucu gaz debisi çok yüksek olursa da, türbülansın dolaylı koruyucu gaz örtüsü bozulabilmekte ve kaynak banyosuna giren havanın gözenek meydana getirme riski yine olmaktadır. Uygulamada koruyucu gaz debisi; düşük kaynak akımı şiddetlerinde (yaklaşık 50-150 A) 12 litre/dakika, orta kaynak akımı şiddetlerinde (yaklaşık 150-350 A) 15 litre/dakika, yüksek kaynak akımı şiddetlerinde (yaklaşık 350 A'dan yukarı) 15 litre/dakika olmaktadır [22].

3.2 Koruyucu Gazlar

MIG/MAG kaynak yöntemi için geliştirilmiş gaz karışımlarının çoğu özellikle karbonlu çelikler de kullanılmaktadır. Genel itibariyle bu gazlar; Saf gazlar, Argon-

Oksijen karışımı, Argon-Karbondioksit karışımları, Argon dışında yapılan üçlü kombinasyonlar, Helyum, Oksijen, Karbondioksit, Hidrojen olmak üzere kabaca dört kategoride incelenebilirler [19].

Yaygın olarak GMAW’de kullanılan karışım gazların ve inert gazların kimyasal davranışları ve uygulama alanları Çizelge 3.3’de gösterilmektedir [23].

Çizelge 3.3 GMAW’de kullanılan farklı koruma gazları [23]

Gaz türü	Gazın bileşimi %	Kullanım yeri
Argon		Demir dışı metaller
Helyum		Alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları
Karbondioksit		Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler
Argon-helyum	20-50 Ar-50-80He	Alüminyum, magnezyum, bakır ve nikel alaşımları
Argon-oksijen	1-2 O ₂	Paslanmaz çelikler
	3-5 O ₂	Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler
Argon-karbondioksit	20-50 CO ₂	Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler
Helyum-argon- karbondioksit	90 He-7 ^{1/2} Ar-2 ^{1/2} CO ₂	Paslanmaz çelikler
	60-70He-25-35Ar-5CO ₂	Düşük alaşımlı çelikler
Nitrojen		Bakır alaşımları

3.2.1 Argon

Kaynak işleminde kullanılan argon gazı %99.995 saflıkta olmaktadır. Argon mono atomik (her molekülü bir atom) olmakla birlikte, sıvı metalde çözünmeyen ve inert bir gazdır. Havadan %38 daha ağır olduğu için düz ve yatay dolgu pozisyonlarında avantajlı olmaktadır. Tablo 3.3'de de belirtildiği gibi, saf argon neredeyse tüm metallerde koruyucu gaz olarak kullanılabilmekte ancak çeliklerin kaynak işleminde çoğunlukla pek tercih edilmemekte onun yerine argon esaslı karışım gazlar tercih edilmektedir [23]. Alüminyum, nikel, bakır, magnezyum ve alaşımları gibi demir olmayan metaller ve titanyum gibi reaktif metallerin kaynağında saf argon gazı kullanılmaktadır. Bu metaller birbirlerine kaynak edildiğinde, argon kaynağa çok iyi ark stabilitesi, penetrasyon ve damla profili vermektedir. Argon, düşük iyonizasyon enerjisi sayesinde kolay ark başlangıcı (ateşleme) imkanı sağlamaktadır. Argon, yüksek ark enerjisi sebebi ile küçük bir alan üzerinde parmak şeklinde bir penetrasyon sağlayan yüksek akım yoğunluğuna sahip sıkıştırılmış bir ark kolonu oluşturmaktadır. Düşük ısı iletkenliğe sahip olduğu için spre transferi oluşturmaktadır. Bununla birlikte süreksizliklerin veya malzeme distorsiyonlarının (çarpılmalarının) kontrolünde de kullanılmaktadır [24].

Argon, helyumdan daha düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olmakla birlikte bu durum da düşük ark gerilimi ile sonuçlanmaktadır. Belirli amper değerinde argondan elde edilen ısı değeri, helyumda elde edilen ısı değerinden daha düşük olmaktadır, bu durumdan dolayı ince parçaların kaynağında argon kullanılmaktadır. Ayrıca argon gazı, helyum gazından 10 kat daha ağır olmakla birlikte bu özelliği sayesinde kaynak bölgesini korumak için daha az argon gazı kullanımına ihtiyaç duyulmasını sağlamaktadır. Bir diğer özelliği olarak argon helyumdan daha ucuz ve daha verimli olmakla birlikte, bu özelliği sayesinde de kaynak işleminde argon helyumdan daha fazla kullanılmaktadır [25].

3.2.2 Helyum

Helyum inert bir gaz olmakla birlikte öncelikle alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlarında kullanılmaktadır. Doğal gazdan ayrışmayla elde edilir ve hafiftir ayrıca sıvı olarak dağıtılabilir fakat yaygın olarak silindirlerde sıkıştırılmış şekilde kullanılmaktadır. Helyum havadan hafif olduğundan dolayı yeterli koruma için yüksek gaz üfleme miktarları kullanılmaktadır. Yatay pozisyon kaynağında gaz akış oranı

argona göre 2 veya 3 kat daha fazla olmaktadır. Havanın üstünde yüzerek iyi bir koruma oluşturduğu için tavan kaynağında sıklıkla kullanılmaktadır fakat argon ise aşağı doğru akma eğiliminde olmaktadır. Helyum gazı ile çoğunlukla damlasal metal transferi oluşmakta fakat yüksek akımda sprey transfer de meydana gelmektedir. Bu sebepten dolayı argona göre daha fazla sıçrantı ve daha zayıf kaynak dikişi oluşturmaktadır. Helyum belirli olan her ark uzunluğunda ve akım seviyesinde daha sıcak ark oluşturduğundan dolayı kalın parçaların ve yüksek termal iletkenliğe sahip bakır, alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kaynağında kullanılmaktadır. Helyum, argona kıyasla daha fazla nüfuziyet ve geniş kaynak dikişleri oluşturmaktadır [23].

Helyum yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu için, ana malzemeye ilave bir ısı sağlamaktadır. Helyumun iyonizasyon enerjisi (24,6eV) argonunkine (15,8eV) göre büyüktür ve bundan dolayı helyumun yüksek bir ark sıcaklığına sahip olduğu düşünülmektedir, fakat deneysel uygulamalarda helyumun kaynak arkında yüksek bir sıcaklık olmadığı görülmektedir, aksi olsa bile koruyucu gaz olarak aşırı bir ergime etkisi göstermemiştir [26].

Yüksek iyonizasyon enerjisi ve yüksek ısı iletkenliği sayesinde ana malzeme yüzeyine daha fazla miktarda ısı transferi gerçekleştirdiğinden dolayı arkın nüfuziyet miktarını arttırmakta, bu özelliği ile birlikte de yüksek kaynak hızlarının kullanımına imkan sağlamaktadır [19].

3.2.3 Karbondioksit

Karbondioksit reaktif bir gazdır, çoğunlukla sadece karbonlu çeliklerin ve yapı çeliklerinin kaynağında kullanılmaktadır. Elde edilmesi kolaydır ve diğer gazlardan daha ucuzdur. Çok iyi nüfuziyet sağlamakla birlikte yüksek kaynak hızlarında kullanılmaya elverişli olmaktadır [27].

Karbondioksit sprey transfere izin vermediğinden dolayı kaynak metali birikim verimi düşük olmaktadır. Argon gazıyla yapılan kaynaktan daha fazla miktarda sıçrantı ve duman oluşturmaktadır [24]. Oldukça sert ark ve aşırı sıçrantı oluşturmaya rağmen, kaynak sıçrantısı kısa ve üniform ark uzunluğu sağlanarak azaltılabilmektedir [23]. Kaynak dikişi yüzey kısmı daha pürüzlü ve oksitli olmaktadır. Yüksek iyonizasyon enerjisi ve yüksek ısılarda yüksek miktarda ergime hızı ve nüfuziyet sağlamaktadır.

Ark çoğunlukla stabil olmakta ve damlasal transfer şeklinde metal transferi meydana gelmektedir [24].

Reaktif gazlar genellikle tek başlarına koruma için kullanılmamaktadırlar. Karbondioksit gazının; tek başına da bir karışım gaz bileşeni olarak da kullanılabilmesi ve karışım olarak kullanımıyla düzenli ark geçişi ve metal transferi sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Genellikle çeliklerin kaynağında kısa devre metal transferi ile kullanılmaktadır [23].

Karbondioksit, ark sıcaklığında karbon monoksit ve oksijene ayrışmakta bu durum da yaklaşık olarak, %8–10 oksijenli inert gaz kullanımı ile elde edilen oksitleyici etki yaratmaktadır. Bu oksitleyici etki olsa bile, damlasal metal transferi ile deoksidan elektrot teli kullanılarak gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde karbondioksit koruyucu gazı ile porozitesiz güvenilir kaynak dikişleri elde edilebilmektedir [23].

3.2.4 Azot

İki atomlu bir gaz olan azot, kaynak banyosu içerisinde çözünmekte malzeme yüzeyine çıkan gaz tekrar molekül durumuna geçerek almış olduğu ısıyı geri vermektedir. Bundan dolayı tek atomlu olan argon ve helyum gazına göre daha fazla miktarda ısı transferi gerçekleştirmektedir. Azotun ısı girdisi yüksek olduğu için ısı iletkenliği yüksek olan bakırın kaynak işleminde kullanılmaktadır [28,29,30,31].

Azot, bakır malzemelerin kaynak işleminde tepkimeye girmemekle birlikte argon ve helyumun gösterdiği özellikleri sergilediği için argon ve helyum ile karışım halinde kullanılmaktadır. Azot gazı koruması altında gerçekleştirilen bakırın kaynak işleminde fazla sıçrantı ve gözenekli dikiş meydana gelmektedir. Argona %12' ye kadar azot eklenebilmektedir. Azot, yüzey gerilimini azaltıcı özelliğe sahiptir. Kaynak havuzu üzerinde yüzey atıkları oluşturduğundan dolayı gazın arzu edilmeyen kimyasal etkinliğini göstermektedir [32].

3.2.5 Oksijen

Oksijen gazı da azot gazında olduğu gibi doğrudan arkın korunmasında kullanılmamakta bu özelliğinin yanı sıra diğer temel gazlar ile karışım halinde kullanılmaktadır. Oksijen gazı karışıma çok düşük oranda eklediğinde, arkın düzenli olduğu ve gözenegin kaybolduğu görülmektedir. Düşük oranda oksijen çoğunlukla

oksitleme oranını azaltmaktadır. Oksijen, karbon monoksit durumundaki gazları karbondioksit'e dönüştürmektedir [33].

3.2.6 Hidrojen (H₂)

Oksijen kadar olmasa da hidrojen gazı da temel koruyucu gazlara karıştırılarak kullanılmakta, özellikle argon ile karışımı verimli olmaktadır. Bileşimi mekanik özelliklere ve kaynak nüfuziyetine olumlu etki yapmaktadır. Ayrıca hidrojen gazı ark boyunu arttırmakta, yanıcı olmasından dolayı yüksek ısı oluşmasını sağlamaktadır [23].

Hidrojen, renksiz ve kokusuz bir gaz olmakla birlikte yoğunluğu havaya göre 0.07 olup elementler içerisinde en hafif olandır ayrıca helyumdan sonra sıvılaşması en zor olan gazdır [23].

Hidrojen özellikle oksijen ve klor ile hızlıca bileşik oluşturmaktadır. Kaynak metalinde gözenek oluşturduğundan dolayı sadece araştırma çalışmalarında ilgilenilmektedir. Argon ile karışım oluşturduğunda ark kararsız olmakla birlikte kırmızı bir renk halini almaktadır [32, 33].

3.2.7 Argon-oksijen

Argona az miktarlarda oksijen ilavesi kaynak arkının stabilitesini arttırmakta, damla sayısını çoğaltmakta bunların yanı sıra da sprej geçiş akımını azaltmakta ve damla biçimini de etkilemektedir. Kaynak banyosu akışkan bir yapıya sahip olmakla birlikte uzun süre eriyik halde durabilmekte ve kaynak sıvısının kenarlara doğru akmasını sağlamaktadır. Bu durum Şekil 3.1.a'da gösterilmektedir [19].

Çoğunlukla argon içerisinde oksijen %1, %2, %5 ya da %8 oranında bulunmaktadır. Oksijen oranının artması ark stabilitesini ve kaynak banyosunun akışkanlığını arttırmakta böylece çok yüksek hızlarda kaynak işlemi yapılabilmesini sağlamaktadır. Oksijen oranı özellikle %5'in üzerine çıkacak şekilde arttırıldığında, alaşım elementi kaybı ve fazla miktarda dikiş altı çatlağı meydana gelme riski oluşmaktadır. MIG/MAG kaynak yönteminde sprej transfer damla geçişinde az oranlarda oksijen eklenmesi sıçrantsız kaynak yapılmasına imkan tanımaktadır. Karışıma oksijen eklendikçe damlanın ebatı azalmakta böylece birim zamanda kopan damla sayısı daha fazla olmaktadır [19].

Karışım içerisinde bulunan az miktarda oksijen karışımının bir miktar oksitleyici özellik göstermesine neden olmakta bundan dolayı da kullanılan dolgu metalinin, kaynak havuzundan oksijenin temizlenmesine yardımcı olmak ve poroziteyi engellemek için deoksidanlar içermesi gerekmektedir. Saf argon gazı demir esaslı metallerin kaynak işleminde her daim mükemmel bir ark karakteristiği oluşturmamakta çünkü saf argon gazı koruması altında, dolgu metali erime hattına akmama eğilimi sergilemektedir. Oksijenin argona küçük oranlarda ilave edilmesi ile argon sprej ark oluştururken arkin stabil olmasını ve sıçranı miktarının düşmesini sağlamaktadır. Kaynak havuzu erime hattını mükemmel bir şekilde ıslatmakla birlikte yanma çentiği meydana gelmesini azaltmaktadır. %1-2 oranlarında oksijen ilave edilmiş argon paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde kullanılmaktadır. %5 oksijen ve daha fazlası düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler ile oksijeni giderilmiş bakırların kaynak işleminde kullanılmaktadır [23].

3.2.8 Argon-karbondioksit

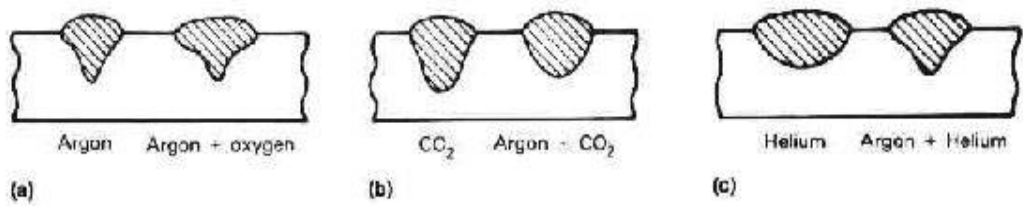
Argon koruyucu gaz karışımına karbondioksit ilavesi; ark stabilitesini, penetrasyonu ve kaynak banyosunun akışkanlığını arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Özellikle karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler ve az da olsa paslanmaz çelikler için kullanılmaktadır. Argona karbondioksit ilavesi, oksijen ilavesi ile aynı etkileri oluşturmakta, ancak karbondioksit oranı arttırıldığında meydana gelen penetrasyon şeklinde bir artma gerçekleşmektedir. Bu durum Şekil 3.1.b’de gösterilmektedir. Sprej transferi için çoğunlukla kullanılan karışımlar argon içine %5, %8, %10 ya da %13 ile %18 karbondioksit ilave edilmesiyle oluşturulmaktadır. Karbondioksit miktarı arttığında çok akışkan durumda olan kaynak banyosu, yüksek hızlarda kaynak işlemi yapılmasını sağlamaktadır. Fazla miktarda karbondioksit içeren karışımlar (çoğunlukla argon içinde %20-25 karbondioksit bulunur) kısa devre transferinde kullanılmaktadır [19].

Karbondioksit, içerisindeki elemanların disosyasyon ve re kombinasyonundan dolayı sahip olduğu yüksek ısı iletkenliği sayesinde ana malzemeye argonun taşıdığı ısı miktarından daha fazla ısı transferi gerçekleştirmektedir. Karbondioksit argonun sağladığı penetrasyona göre daha geniş bir penetrasyon alanı sağlamakta fakat ana malzemede distorsiyon ve süreksizlikler meydana gelmesi riskini arttırmaktadır [34].

İçerisinde %20-50 karbondioksit bulunduran argon-karbondioksit karışımları kısa devre transferi ile çeliklerin kaynak işleminde kullanılmaktadır. Bu karışım daha fazla akım değerlerinde damlasal metal transferi oluşturmaya yatkın olmaktadır. Karışımda fazla oranda aktif gaz olmasından dolayı, argon karbondioksit karışımları bazı çeliklerde olumsuz durumlara neden olabilmektedir. Bu karışımlar paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde kullanılabilmekte ancak kaynak metalinde karbon içeriğini çoğaltabilmekte ve kaynağın korozyon direncini düşürebilmektedirler. Karbondioksit kirliliğe neden olduğu için bu karışımlar demir dışı metallerin kaynak işleminde kullanılmamaktadırlar [23].

3.2.9 Argon-helyum

Bu gazların iyi özelliklerinden faydalanabilmek için argon helyum ile çoğunlukla karıştırılmaktadır. Bu karışımlar genel olarak demir dışı alüminyum, bakır ve nikel gibi metallerin kaynak işlemlerinde kullanılmaktadır. Helyum ana malzemeye transfer edilen ısı miktarını çoğalttığından dolayı yüksek ısıl iletkenliğe sahip kalın levhaların kaynak işleminde kullanılmaktadır. Helyum gazı miktarı çoğaldıkça ark voltajı, sıçrama miktarı ve kaynak genişliğinin nüfuziyete oranı fazlalaşmaktadır. Bu durum Şekil 3.1.c’de gösterilmektedir. Argon-helyum gaz karışımları içinde %25, %50 ve %75 helyum bulunanlar en yaygın kullanılanlardır. Kalın (50 mm) plakalarda özellikle alüminyum ve bakır malzemelerin kaynak işleminde, helyumun en fazla oranlardaki karışımı kullanılmaktadır. Helyum miktarının fazla olduğu gaz karışımları ile yüksek kaynak hızlarında kaynak işlemi yapılabilir [19].



Şekil 3.1 Doğru akım elektrot pozitif kutupta kullanılarak yapılan kaynaklarda koruyucu gaz karışımlarının kaynak profili üzerine etkileri. [19]

Argon helyum karışımları ile helyum gazının iyi nüfuziyet sağlama niteliği ve argon gazının spreysel ark transferi meydana getirme niteliği uygulanmış olmaktadır. %75

helyum-%25 argon karışımı porozitenin azalmasını sağladığı için alüminyumun kaynak işleminde çoğunlukla tercih edilmektedir [23].

3.2.10 Argon-oksijen-karbondioksit

Bu gaz karışımı kısa devre, damlasal ve sprej transfer biçimlerinde kaynak işlemi gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır. Bu karışımlar karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynak işleminde kullanılmaktadır [19].

3.2.11 Argon-helyum-karbondioksit

Islatma özelliğini ve kaynak banyosunun akışkanlığını fazlalaştıran argona, helyum ve karbondioksit ilave edilerek ana metale transfer edilen ısı miktarı artırılmış olmaktadır. Helyuma karbondioksit ilave edildiğinde, karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynak işleminde en az %40 daha iyi sprej transferi meydana gelmekte bununla birlikte ana metal yüzeyinin kirlenmesinde az da olsa çoğalma görülmektedir. Helyum oranı %50, %60'dan fazla olduğunda transfer şekli kısa devre ve damlasal transfer ile sınırlanmaktadır. İçinde az miktarda karbondioksit (%5) ihtiva eden karışımlar korozyon direncinde düşüş olmadan paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde kullanılmaktadır [19].

%90 helyum, %7,5 argon ve %2,5 karbondioksit karışımı paslanmaz çeliklerde kısa devre transferini ve korozyon direncini düşürmeden az aktif bir atmosfer oluşturmaktadır. %60-%70 helyum, %25-%35 argon ve %5 karbondioksit karışımı düşük alaşımlı çeliklerde çok yüksek tokluk istenildiğinde kullanılmaktadır. Bu karışım kısa devre transferi meydana getirmekte ve tokluğu azaltan karbonun kaynağa erişmesini engellemek için karbondioksit miktarını çok az tutmaktadır [23].

3.2.12 Argon-karbondioksit-hidrojen

Bu gaz karışımı, östenitik paslanmaz çeliklerin sprej ve kısa devre transfer şekillerinde kaynak işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu karışımlar hidrojen ilavesi olduğu için karbonlu çeliklerin kaynak işleminde kullanılmamaktadır. Kaynak hızları çok yüksek olsa dahi, karbondioksit ve hidrojen ana metale ısı transferini çoğaltmakta ve kaynak damlası biçimini daha iyi yapmaktadır [15].

Hidrojen, soy (asal) gazlara ilave edildiğinde ana metale transfer edilen ısı miktarını çoğalttığından dolayı kesme veya oluk açma uygulamalarında sıklıkla

kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde ve plazma kesme gibi bir takım özel işlemlerde genellikle kullanılmamaktadırlar. Bunun nedeni ise, birtakım malzemelerin hidrojenli kombinasyonlara karşı hassasiyetinin olmasından dolayıdır (H₂ gevrekliği) [19].

3.3 Koruyucu Gaz Seçimi

Kaynak işleminde kullanılacak olan koruyucu gazın seçimi; ana metalin kalınlık ve çeşidine, fiyat ve farklı gazlarla etkilerine, kaynak dizaynına, kaynak nüfuziyetine, çalışma tekniğine, hız ve istenen niteliklere göre yapılmaktadır. Kısa devre ve sprej ark transferi oluşturularak karbonlu çeliklerin GMAW yöntemi ile kaynak işleminin yapılmasında kullanılacak olan koruyucu gaz seçimleri Çizelge 3.4'te gösterilmektedir [23].

Çizelge 3.4 Karbonlu çeliklerin GMAW yöntemi için koruyucu gaz seçimi [23]

Metal	Koruyucu Gaz	Avantajları
Karbonlu çelikler (kısa devre transfer)	%75 argon+%25 CO ₂	3,2mm'den daha az kalınlıklarda; yüksek kaynak hızları, minimum distorsiyon ve sıçırantı
	%75 argon+%25 CO ₂	3,2mm'nin üstündeki kalınlıklarda; minimum sıçırantı, temiz kaynak görüntüsü, dikey ve tavan pozisyonlarında iyi havuz kontrolü
	CO ₂	En derin nüfuziyet;en fazla kaynak hızı
Düşük alaşımlı çelikler (kısa devre transfer)	%60-70 helyum+%25-35 argon+%4-5 CO ₂	Minimum tepkime; mükemmel tokluk; mükemmel ark kararlılığı, ısılatma karakteristiği ve kaynak hattı;minimum sıçırantı
	%75 argon+%25 CO ₂	İyi tokluk; mükemmel ark kararlılığı, ısılatma karakteristiği ve kaynak hattı; minimum sıçırantı
Karbonlu çelikler (sprej transfer)	Argon+%1-5 oksijen	Arkın kararlılığını düzenler; çok akıcı ve kontrol edilebilir kaynak havuzu, iyi birleşme; minimum yanma oluğu; saf argondan daha yüksek hızlar sağlar
	Argon+%3-10 CO ₂	İyi kaynak biçimi; minimum sıçırantı; soğuk metal geçişini azaltır; oluk pozisyonun dışında kullanılmaz
Düşük alaşımlı çelikler(sprej transfer)	Argon + %2 oksijen	Minimum yanma oluğu; iyi kaynak tokluğu

4. GAZ ALTI KAYNAK ELEKTROTLARI

Gaz altı kaynaklarında kullanılan elektrotlar, içi dolu tel elektrot ve özlü elektrot olmak üzere 2 ana başlık altında incelenebilirler.

4.1 İçi Dolu (Masif) Tel Elektrot

Ergiyen elektrotlu gaz altı kaynağında metal tel elektrotlar kullanılmaktadır. Sürekli elektrot da denilen bu elektrotlar, kaynak yapılan metal ile aynı tür veya benzer kimyasal bileşime sahip olmakla birlikte, soğuk çekme işlemi ile üretilmektedirler. 5,5 ile 6,0 mm çapında sıcak haddelenmiş teller, bu işlem için başlangıç ürünü olmaktadır [11].

Çekme işlemi yapılmadan önce, sıcak haddelemeden dolayı yüzeyde kalan oksitlerin temizlenmesi dağlama veya mekanik temizleme işlemi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. İmalat işlemi esnasında bir bakır kaplama yapılması gerekmektedir. Bir kademedede büyük bir kesit küçülmesi durumu olanaksız olduğundan dolayı çekme işlemi çok kademedede sağlanmaktadır. Bu esnada telin içyapısında deformasyon sertleşmesi oluşmakta ve mukavemet artmakta olduğundan dolayı tele ara tavlamlar uygulanmaktadır. Ara tavlamlar 600 °C ile 650 °C arasında bir rekristalizasyon tavidan oluşmaktadır ve bu işlem esnasında tellerin yüzey kısmında tekrardan oksit meydana gelmesini engellemek amacıyla tavlama işlemi, vakum ortamında veya koruyucu gaz altında fırında yapılmaktadır. Bu sayede yumuşayan teller “bitirme çekmesi” işlemi ile son ölçülerine getirilmiş olmaktadır. Son çekme işlemi gerçekleştirilmeden önce tellerin bakır ile kaplanması gerekmekte ve bu işlem, galvanik bakır kaplama yöntemiyle ya da elektrolitik yöntem ile sağlanmaktadır. İki yöntemde de tel, bakırvitriol/sülfirik asit çözeltisi gibi bakır içeren bir banyoya daldırılmakta ve bu banyo içindeki bakır sülfat yüzey kısmından demir atomlarını çözmekte yerine ise çözeltiden bakır iyonları geçirmektedir [11].

Elektrolitik bakır kaplamada, yüzey tabakasının kalınlığı gerilim ile alakalı iken, galvanik kaplamada kalınlık çözeltide tutma süresi ile alakalı olmaktadır. İki yöntemde de meydana gelen bakır tabakası pürüzlü ve gözenekli olduğundan dolayı daha sonra bir “bitirme çekmesi” uygulanarak pürüzsüz ve daha yoğun duruma dönüştürülmektedir. Bakır tabakası, tel sürme mekanizmasındaki sürtünmeyi ve akım

memesindeki geçiş direncini azaltmakta ve yeterli yoğunluğa sahip olduğunda da elik teli atmosferden dolayı oluşan korozyona karşı korumaktadır. Bitirme çekmesi işleminden sonra teller makaralara sarılmakta veya sonradan makaralara sarılması için 300 kg’lık ara sarımlar yapılmaktadır [11].

Masif elektrotlar ile kaynakta yüksek ark sıcaklığından dolayı karbondioksit,

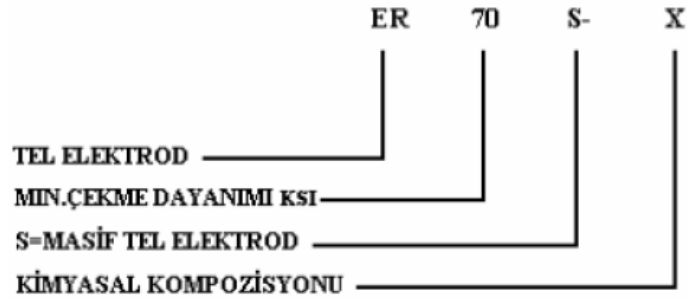


denklemindeki gibi karbon monoksit ve oksijene ayrışmakta ve oksitleyici bir etki oluşturmaktadır. Bundan dolayı silisyum ve manganezin yanma kayıplarını gidermek ve aynı zamanda da gözenek meydana gelmesine engel olmak maksadıyla, kaynak teline yeterli miktarda Si ve Mn katılmaktadır [19].

Kaynak işleminin iyi bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için masif elektrotların bazı özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu zellikler şu şekilde sıralanabilirler:

- Tel yuvarlak ve çapı da belirli toleranslar dahilinde olmalı, aksi taktirde dar toleranslarla işlenmiş anot memesinden telin geçmesinde sıkıntılar çıkabilmektedir.
- Telin yüzeyi temiz, düz ve metal parlaklığında olmalı; yüzeyde oksit, yağ, pas ve kir olmamalıdır.
- Bakır kaplama, iyi bir elektrik akımı geçişi ve iyi bir korozyon direnci sağlanabilmesi için çok iyi bir biçimde yapılmış olmalıdır.
- Tel, makaraya düzgün bir biçimde sarılmalı, mekanik hasarlardan ve bükülmelerden korunmalıdır [19].

Ark uzunluğuna ve damla geçiş biçimine, kullanılan gazın saf CO₂ veya karışım gaz olmasına göre elektrot içerisindeki silisyumun %60’ına ve manganın %50’sine ulaşan miktarları yanmaktadır. Mekanik zellikleri açısından Cu en fazla %0,3, Al ≤ %0,02, V ≤ %0,05, Zr + Ti ≤ %0,15, Cr, Ni ve Mo ≤ %0,15 olması gerekmektedir. Kararlı bir ark ve düzgün kaynak görünüşü için elektrod çap toleransı tel çekme esnasında meydana gelen burulma ve helisleşme oranlarına dikkat edilmeli ve bilhassa ince elektrotlar için (0,6-0,8 mm) tel sertliğinin yeterli olması gerekmektedir. 0,8-1,2 mm arasındaki elektrotların çap toleransının 0,01-0,03 mm olması gerekmektedir. 1,6-2,4 mm arasındaki elektrotların çap toleransının ise 0,01- 0,05 mm olmasına müsaade edilmektedir. şekil 4.1’de masif tel elektrotların AWS’ye göre gösterilişi verilmektedir [19].



Şekil 4.1 Masif tel elektrotların AWS'ye göre gösterilişi. [35]

Şekil 4.1'de E simgesiyle tel elektrotun MIG/MAG kaynak yönteminde kullanıldığını, yanındaki R harfiyle de bu elektrotun ayrıca TIG kaynağı yönteminde de kullanılabileceğini göstermektedir [35].

4.2 Özlü Elektrotlar

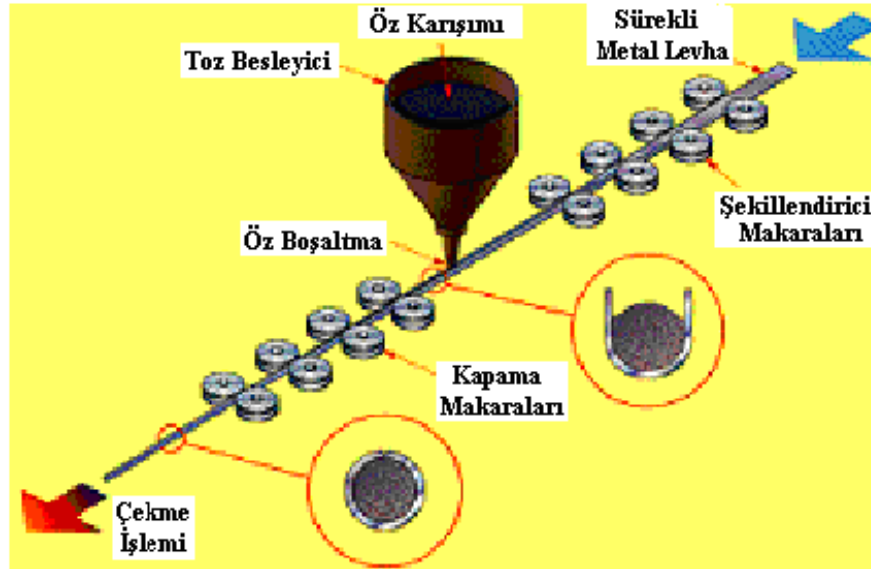
MIG/MAG kaynak işleminde kaynak teli bileşimi esas metalin bileşimine uygun bir kaynak metali oluşturacak biçimde ayarlanmaktadır. Koruyucu gaz olarak karışım gaz veya karbondioksit kullanılması durumunda, ark bölgesinde karbondioksitin ayrışması ile açığa çıkan oksijenin etkisini yok etmek, kaynak banyosunu deokside etmek ve kaynak banyosundaki oksitlerin karbon tarafından redüklenmesini engellemek, esas metalden gelen kükürt ve fosforun olumsuz taraflarını yok etmek için de kaynak teli bileşiminde birtakım alaşım elementleri ihtiva etmek zorunda olmaktadır [6].

Bu sebeplerden dolayı bazı metal ve alaşımların kaynak işlemi için taleplerin düşük olması bu tellerin üretimini ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Ayrıca bazı metal ve alaşımların ise sertlik ve gevrekliklerinden dolayı tel durumuna dönüştürülmelerinin imkanı bulunmamaktadır [6].

Özlü tel elektrot ile kaynak yöntemi, masif elektrottaki gibi dolu tel yerine içi öz denilen ve örtülü elektrotların örtüsü görevini gerçekleştiren bir madde ile doldurulmuş boru biçiminde elektrot kullanılan bir MIG/MAG kaynak yöntemidir [6].

Özlü tel elektrotların üretiminde çelik şerit öncelikle haddelenerek bir U en kesiti durumuna getirilmekte sonrasında ise içine mineral ve metalik öz doldurulmaktadır. Boylamasına eşit ölçülü bir dolgu oluşturmak için dozaj cihazına gereksinim olmaktadır. Sonra U-en kesitli şerit, kenetli borunun kapatılması için yeniden çekilerek

kapatılmakta ve soğuk çekme veya haddeleme ile arzu edilen son çapa getirilmektedir. Şekil 4.2’de özlü tel imalatının akış şeması gösterilmektedir [19].

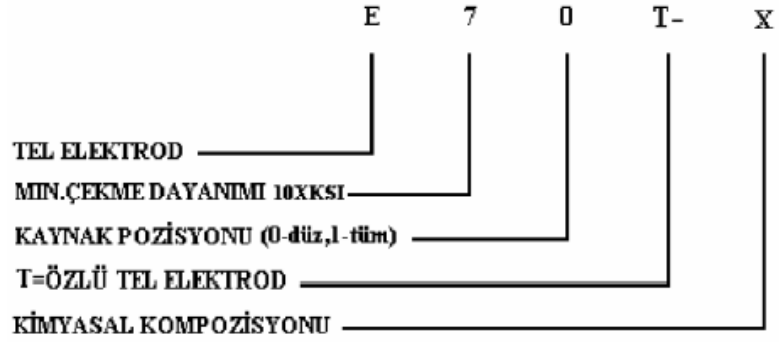


Şekil 4.2 Özlü tel imalatının akış şeması. [19]

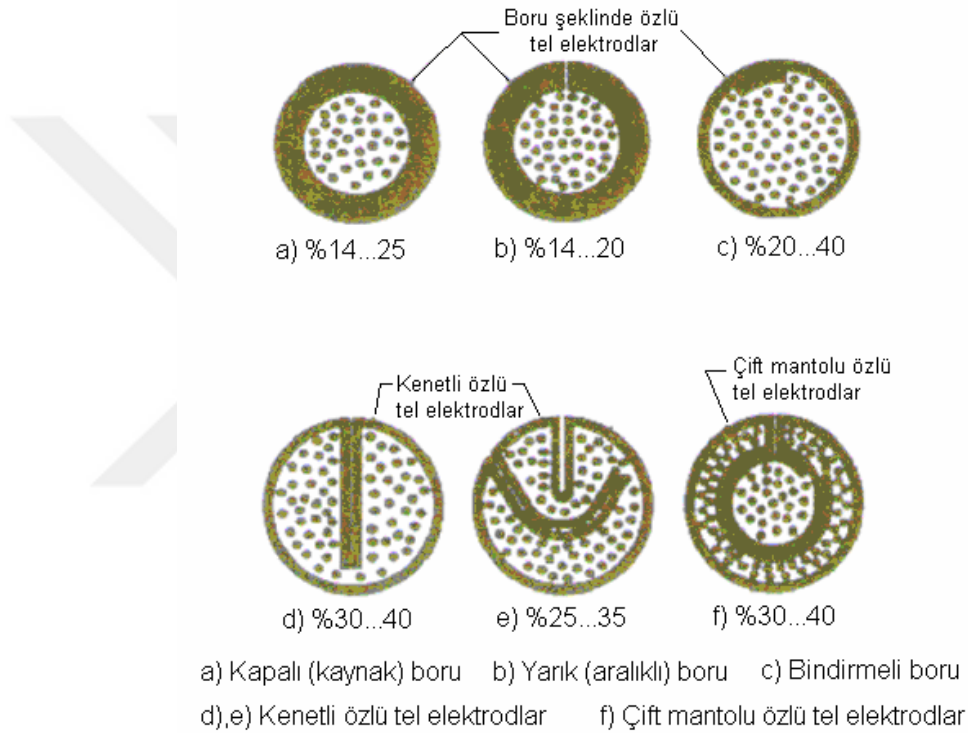
Bu elektrotların sahip oldukları üstün tarafları şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek ergime hızına sahip olduklarından dolayı yüksek hızlarda yapılan kaynak işlemlerinde kullanılmaktadırlar.
- İnce çaplı elektrotlar ile istenilen pozisyonda kaynak yapılabilmesine imkan sunmaktadırlar. Ayrıca bazı tür özlü elektrotlarda koruyucu gaza ihtiyaç olmadığından dolayı tesisat basitleşmiş olmaktadır.
- Örtülü elektrotların bütün üstün taraflarına sahip olmalarının yanı sıra, koçan kaybı ve elektrot değiştirme sırasındaki zamanı kaybı gibi dezavantajları da bulunmamaktadır [6].

Şekil 4.3’te AWS A.5.20.’ye göre özlü elektrotların gösterilişi ve Şekil 4.4’te uygulamada özlü tel elektrot kesitleri verilmektedir.



Şekil 4.3 AWS A.5.20.'ye göre özlü elektrotların gösterilişi. [35]



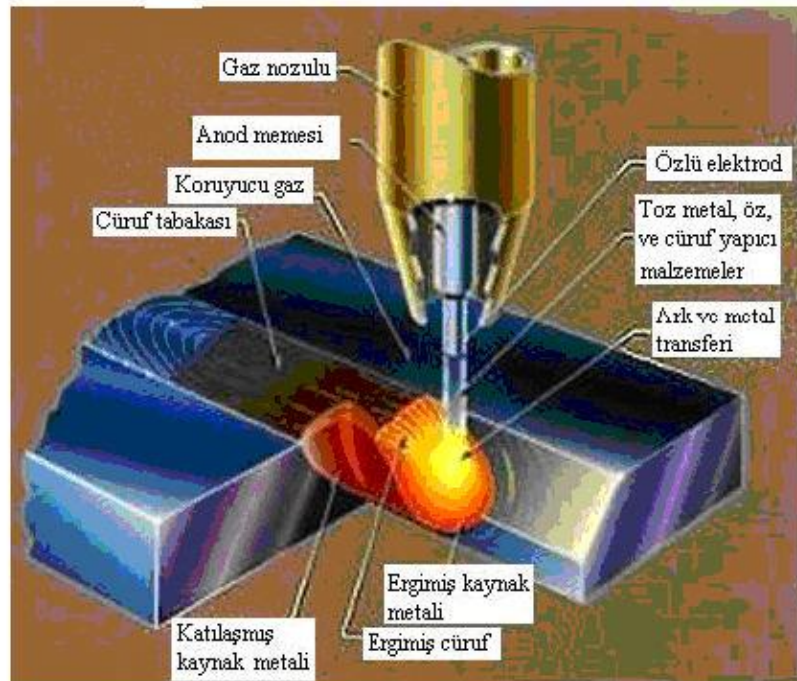
Şekil 4.4 Özlü tel elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri. [36]

Özlü elektrot ile kaynak işleminde, boru şeklindeki eriyen elektrot ile iş parçası arasında meydana gelen ark, kaynak için gerekli olan ısıyı oluşturmaktadır. İyonize olmuş gaz ortamında ilerleyen elektrik akımı, arkı meydana getirmektedir. Gaz molekülleri gerilim altında ayrışmakta ve elektron kaybeden atomlar iyonlaşmaktadır. Pozitif gaz iyonları artı kutuptan eksi kutba, elektronlar da eksi kutuptan artı kutba doğru hızlıca hareket etmektedirler. Ark ısısının %95'i elektronlar %5'i iyonlar

aracılığıyla transfer edilmekle beraber arkın sıcaklığı elektrotun ve iş parçasının erimesini sağlamaktadır [19].

Kaynak bölgesinde ergimiş metal dışarıdan uygulanan bir koruyucu gaz örtüsü ile ya da özün de kompozisyonu sonucu oluşan bir koruyucu gaz atmosferi aracılığı ile korunmakta olup; öz, örtülü elektrotta olduğu gibi örtünün görevini yerine getirmektedir [19].

Ark aracılığı ile erimiş elektrot metali, kaynak banyosuna taşınmakta ve katı hale gelen kaynak banyosu üzerinde cüruf tabakası oluşmaktadır. Bu durum Şekil 4.5'te gösterilmektedir [37].



Şekil 4.5 Özlü tel elektrot ile kaynakta ark bölgesi. [37]

Özlü elektrot ile yapılan kaynak işlemlerinde doğru akım kullanılıyorsa düz ve ters kutuplama yapılabilir. Koruyucu gaz altındaki elektrotlar çoğunlukla ters kutuplama kullanmakta, ters kutuplamada (elektrot pozitif kutupta) derin nüfuziyet sağlanmaktadır. Özlü elektrot ile kaynak donanımı bir MIG-MAG donanımıdır ve koruyucu gaz ile birlikte kullanılması durumunda asal gazlar, aktif gazlar veya karışım gazlar kullanılmaktadır [19].

Özlü elektrot ile kaynak işleminde aktif koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılmaktadır. Kaynak arkında $2\text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$ şeklinde ayrılan ve oksitleyici olan bu gazın etkisi, öze ilave edilmiş deoksidasyon elementleri tarafından karşılanmakta ve meydana gelen oksitler kaynak banyosunun yüzeyinde birikerek cürufa katılmaktadır. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanıldığında, elektrotun kaynak banyosuna kaynak metali iletimi damlasal geçişle gerçekleşmektedir. Argon+CO₂ karışımları kullanıldığında sıçrantı çok az olmakta ve elektrotların iş parçasına kaynak metali iletimi de ince damlalar biçiminde gerçekleşmektedir. Özlü elektrotlarda koruyucu gaz karışımı olarak % 75 Argon- %25 CO₂ de kullanılmaktadır. CO₂ ile kullanılan özlü teller bu tür karışım gazları ile kullanıldığında kaynak dikişi silisyum, mangan ve başka deoksidasyon elementlerince zenginleşmekte böylece bu da mekanik özellikleri etkilemektedir. Argon oksijen karışımları kaynak metalinin arkta sprey biçiminde transferini sağlamakta sıçrantı da çok az olmaktadır. Bu karışım gazlar bilhassa paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde tercih edilmektedir [19].

Özlü elektrot ile kaynak işleminde, elektrot seçilirken şunlara dikkat edilmelidir:

- Ana metalin mekanik özellikleri,
- Ana metalin kimyasal bileşimi,
- Kaynak pozisyonu,
- Kaynak akımı,
- Kaynak ağzı şekli,
- Parça kalınlığı ve geometrisi,
- Kullanma koşulları ve şartları,
- İmalat ve işletme şartları [19].

Özün sağlanması istenilen görevler şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak banyosunun kimyasal bileşimini en uygun şekilde ayarlayarak kaynağın mekanik, metalurjik ve korozyon özelliklerinin sağlanması,
- Kaynak banyosunu atmosferdeki azot, oksijen ve hidrojen muhafaza ederek düzgün bir kaynak metalinin oluşmasının sağlanması,
- Kaynak banyosundaki yabancı maddelerin, cüruf-banyo reaksiyonları ile en aza indirilmesi,

- Kaynak banyosu üzerinde cüruf oluşturup soğumayı kontrol etmek, farklı pozisyonlarda kaynak yapmaya imkan sağlamak ve kaynak dikişi yüzünün şeklini kontrolde tutmak,
- Arkın stabilizasyonunu sağlamak, sıçrantıyı azaltmak ve ergime hızını sabit tutmak [38].

Özlü elektrotla ark kaynağı işleminde kaynak ağzı dizayn edilirken koruyucu gaz kullanılıp kullanılmayacağı dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Koruyucu gaz kullanıldığında daha iyi nüfuziyet gerçekleştiğinden dolayı, daha dar kök aralığı ve daha yüksek kök yüksekliği tercih edilmelidir. Ağız açısı örtülü elektrotla yapılan kaynak işlemindekine nazaran daha dardır. Ağız dizaynında kaynak edilen metalin çeşidi, kalınlığı, kaynaklı halinin mukavemeti, kaynak pozisyonu, dikişin bulunduğu yere ulaşabilme imkanı dikkate alınmalıdır [19].

Özlü tel elektrot ile kaynak yönteminin sunduğu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak ağzı hazırlanması kolaydır,
- Yüksek ergime hızına sahip olduğundan dolayı daha az paso ile kaynak yapma imkanı sağlar,
- Nüfuziyeti derin ve yüzeyi düzgün olan çok iyi kaynak dikişleri gerçekleştirilir,
- Özel ön temizleme yapmadan da oksitli, paslı yüzeyleri bile kaynak yapma imkanı sağlar,
- Öz içine alaşım elementleri eklenerek her malzeme için arzu edilen bileşimde kaynak metali verecek elektrot üretmek mümkündür; ayrıca tel halinde çekilemeyen alaşımlar için bile benzer biçimde elektrot üretmek mümkündür,
- Birçok alaşımlı çelik argon yerine karbondioksit kullanılarak kaynak edilebilmektedir,
- Elektrik enerjisi tüketimi başka yöntemlere nazaran daha azdır,
- Doldurma işlemlerinde koruyucu gaz olmadan kaynak işlemi gerçekleştirilerek doldurulan kısımlarda nitrürler oluşturup, dolguların aşınmaya daha dayanıklı olması sağlanır [10].

4.3 Elektrot Seçimi

Elektrot seçimi yapılırken ana metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi dikkate alınmakla birlikte ayrıca elektrot seçiminde şu kriterler de göz önünde bulundurulmalıdır:

1. Ana metalin mekanik özellikleri: Bu kritere göre elektrot seçimi yapılırken, çoğunlukla ana metalin çekme ve akma mukavemeti göz önünde bulundurulmalıdır; fakat bilhassa ferritik çeliklerin kaynak işleminde malzemenin kırılma tokluğunun da (çentik darbe mukavemeti) göz önüne alınması lazımdır.
2. Ana metalin kimyasal bileşimi: Bilhassa renk uyumunun, korozyon direncinin, sürünme direncinin, elektriksel ve ısı iletkenliğinin söz konusu olduğu durumlarda ana metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Ayrıca ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağının belirlenmesi için de ana metalin kimyasal bileşimi bilinmelidir. Sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için elektrot seçiminde, ana metalin kimyasal bileşimi en önemli faktördür.
3. Koruyucu gazın türü: Koruyucu gaz olarak asal gaz veya karışımlarının kullanılması durumunda yanma kaybı gerçekleşmez; fakat bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya aktif gaz + asal gaz karışımı kullanılması durumunda bazı yanma kayıpları gerçekleşmektedir. Çelikler aktif gaz kullanılarak kaynak edildiğinde az miktarda demirin, oksijen tarafından oksitlenmesi sonucu oluşan demir oksit de bileşiminde bulunan mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrot tarafından karşılanmak durumundadır. Bunun için çeliklerin kaynak işleminde MIG kaynak yönteminde kullanılan elektrotlar MAG kaynak yönteminde kullanılamazlar.
4. Ana metalin kalınlığı ve geometrisi: Kaynak işlemi ile birleştirilecek olan parçalar, kalın kesitli veya karışık kesitli olduklarında, çatlamanın engellenebilmesi için kaynak metali sünek olmalıdır. En iyi süneklik sağlayan ve en iyi kaynak metalini oluşturacak olan bir elektrot seçilmelidir.

5. Çalışma ortamının koşulları: Kaynaklı parçanın çok düşük veya çok yüksek sıcaklıklarda, korozyon ortamlarında çalışması gerektiğinde, kaynak metalinin her açıdan ana metalin özelliklerini sergilemesi gerekmektedir. Ayrıca kaynak metalinin bazı ek özelliklere sahip olması istenirse elektrot seçiminde bu durum da önem arz eder [10].

4.4 Kaynak Teli İçeriğindeki Alaşım Elementleri

4.4.1 Karbon

Karbon, çeliklerin yapısal ve mekanik özelliklerini diğer alaşım elementlerinden daha fazla etkilemekte olduğundan dolayı çelik kaynak tellerinde miktarı %0,05-%0,12 arasında olmaktadır. Bu miktar kaynak telinin yeterli yükseklikte mukavemetini sağlamakla birlikte süneklik ve tokluğunu da olumsuz yönde etkilememektedir [6,8].

Ana metal veya telde karbon oranı miktarı yükseldiğinde ve koruyucu gaz olarak CO₂ kullanıldığında porozite meydana gelmektedir. Ayrıca karbon oranı miktarı arttığında, banyoda CO oluşarak karbon kaybı olduğundan dolayı bu durum da gözenek meydana gelmesine sebebiyet vermektedir. Bu olayın engellenmesi için deoksidasyon elementlerinin ilave edilmesi gerekmektedir [6,8].

4.4.2 Silisyum

Çeliklerin ergiyen elektrotla gaz altı kaynak işleminde, elektrot metalinde en fazla kullanılan deoksidasyon elementi silisyumdur. Çoğunlukla, çelik gaz altı telleri %0,40-% 1,2 arasında silisyum oranı içermekte ve silisyum bu bileşim aralığında mükemmel bir deoksidasyon özelliğine sahip olmaktadır. Silisyum oranı arttığında kaynak metalinin sünekliği çok az miktar da olsa azalmasına karşın mukavemetinde büyük bir artış gerçekleşmektedir. Silisyum miktarının belli bir değerin üzerine çıkacak şekilde artması ise kaynak dikişinin çatlama riskini çoğaltmaktadır [6,8].

4.4.3 Manganez

Kaynak metalinin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi ve kaynak banyosunun deoksidasyonunun sağlanması için tıpkı silisyum gibi manganez ilavesi de yapılmaktadır. Silisyuma nazaran manganez oranı arttığında kaynak dikişinin mukavemeti daha fazla yükselmekte ayrıca kaynak metalinin çatlama riski de azalmaktadır. Çeliklerin kaynak işleminde kullanılan kaynak telleri içerisinde %1 ila %2 arasında manganez bulunmaktadır [6,8]

4.4.4 Alüminyum, titanyum, zirkonyum

Alüminyum, titanyum ve zirkonyum çok güçlü deoksidan olma özelliğine sahip olmalarının yanı sıra, %0.20 oranına kadar kaynak teline eklendikleri taktirde mukavemeti de arttırma niteliğine sahiptirler [6,8].

4.4.5 Diğer alaşım elementleri

Nikel, krom ve molibden mekanik özellikleri iyileştirmek ve korozyona direnci fazlaştırmak için farklı türdeki çelik kaynak tellerine ilave edilmektedirler. Bu elementler kaynak metalinin mukavemet ve tokluğunu çok az da olsa arttırmaktadırlar. Paslanmaz çelikler durumunda ise fazlaca paslanmayı engellemek için ilave edilmektedirler. Kaynak işleminde koruyucu gaz olarak bir soy gaz veya içerisinde az miktarda CO₂ içeren soy gaz kullanıldığında, kaynak dikişinin kimyasal bileşimi ile telin bileşimi aynı özellikte olmakta, fakat saf CO₂ kullanıldığında ise Si, Mn ve başka deoksidasyon elementlerinin oranında azalma gerçekleşmektedir. Çok az oranda (%0,04-%0,05) karbon ihtiva eden teller ile elde edilen kaynak dikişlerinde ise karbon oranında yükselme gerçekleşmektedir [6,8].

5. KAYNAK PARAMETRELERİ

Kaynak işlemini ve kaynağın kalitesini kaynak parametreleri belirlemektedir. Kaynak parametreleri; kaynak yapılmış metal veya alaşım ile, kaynak metalinin türü, kalınlığı, kaynak ağız türü ve geometrisi, kaynak pozisyonu, erime gücü ve kaynağın mekanik özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir [32].

Kaynağı yapan kişi, ark ve kaynak banyosunu etkileyen parametreleri ve bu parametreleri hangi şartlar altında ve nasıl değiştirebileceğini iyi bilmek durumundadır. Parametreler seçilirken birbirleri ile uyumlu olurlarsa yumuşak ve kararlı bir ark oluşmaktadır [39].

Kaynak parametreleri; kaynak öncesi belirlenen ve kaynak işlemi boyunca değiştirilmesi olanaksız olan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir parametreler ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olarak üç gruptan oluşmaktadır. Kaynak öncesi belirlenen parametreler kaynak işlemi boyunca değiştirilmesi olanaksız olan parametrelerdir. Bu parametreler koruyucu gaz türü, elektrot türü ve çapı gibi etmenler olmakla birlikte kaynaklanan malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, erime gücü, ve kaynağın mekanik özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir [23].

Birinci derece ayarlanabilir parametreler; akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı olmakla birlikte dikiş biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini, ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen etmenlerdir. İkinci derece ayarlanabilen parametreler ise önceden seçimi yapılması olanaksız olan, kaynak işlemi esnasında gerçekleşen torç eğimi, serbest tel uzunluğu, nozul mesafesi ve kaynak yönüdür [23].

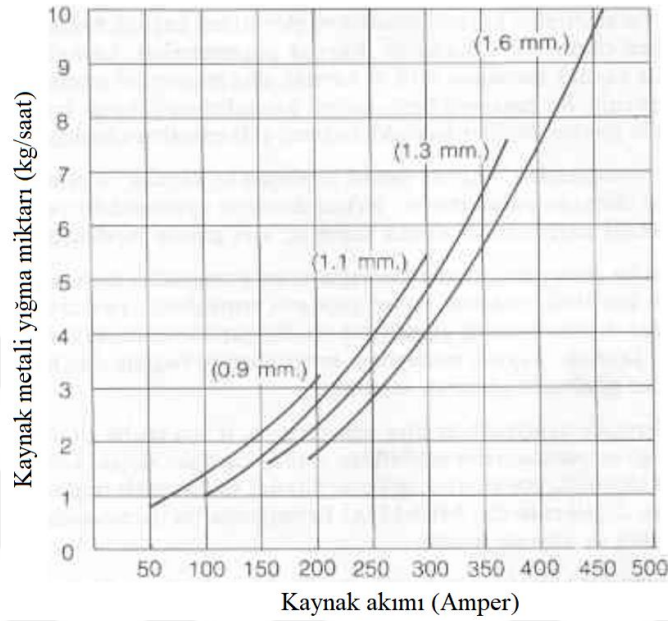
5.1 Kaynak Öncesi Ayarlanan Parametreler

Kaynak işlemi sırasında değiştirilmeleri olanaksız olan tel elektrot çapı ve bileşimi ile koruyucu gaz türü gibi parametrelerdir [25].

5.2 Tel Elektrot ve Çapı

Elektrot çapı belirlenirken; kaynak yapılacak olan parçanın kalınlığı, kaynak ağız geometrisi, kaynak pozisyonu, nüfuziyet derecesi, ergime gücü ve elektrotun fiyatı dikkate alınmaktadır. Her çeşit elektrot bileşimi için çap ve ark türüne göre bir akım şiddeti aralığı mevcuttur. Aynı ark çeşidinde, büyük çaplı elektrotlar yüksek akım

şiddeti kullanılırsa yüksek bir ergime gücüne sahip olmakta ve derin nüfuziyetli dikişler meydana getirmektedirler. Ergime gücü, akım yoğunluğu ile alakalı olduğundan dolayı aynı çaplı iki elektrot farklı akım şiddetlerinde kullanılırsa, yüksek akım şiddetindeki daha yüksek ergime gücü sergilemektedir. Akım şiddeti ile tel çapı ve ergime gücü arasındaki ilişkiler Şekil 5.1’de gösterilmektedir [23].



Şekil 5.1 Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve tel elektrot çapı arasındaki ilişki (yumuşak çelik elektrot CO₂ ile kaynatıldığında). [23]

5.3 Koruyucu Gaz ve Türü

MIG-MAG kaynağı yönteminde, koruyucu gaz, kaynak banyosunu atmosferdeki oksijen ve azotun zararlı etkilerinden korumakla birlikte; ark karalılığı, nüfuziyet, dikiş biçimi, dikişin mekanik özellikleri, kimyasal bileşimi, duman oluşumu ve işlem verimliliği gibi etmenleri de etkilemektedir [25].

Demir esaslı metallerin kaynak işleminde koruyucu gaz olarak saf karbondioksit, Ar+CO₂, Ar+ O₂ ve Ar+ CO₂+ O₂ karışımları kullanılırken; demir dışı metallerin kaynak işleminde ise Argon Helyum ve Argon-Helyum karışımları kullanılmaktadır. Koruyucu gazın dikkatli bir şekilde seçilmesi son derece önemlidir [25].

Koruyucu gaz seçimi yapılırken dikkat edilmesi gerekenler şu şekilde sıralanabilir:

- Gazın kaynak yapılan malzemeye uygun olması,
- Malzemenin fiziksel özellikleri,

- Kaynak yöntemi ve transfer çeşidi,
- Kaynak ekinin şekli ve kalınlığı [23].

Karbondioksit ile yapılan kaynak işleminde sıçrantı sorunları meydana gelmekle birlikte metal transferi çoğunlukla kısa devre arkı şeklinde gerçekleşmektedir. Damlacık büyük ve karasız bir şekilde kaynak banyosuna ulaşmakta, büyük damlalar kaynak banyosuna düşerlerken türbülans oluşturmaktadırlar. Ayrıca damlaların bazıları banyo dışına düşerek fazla miktarda sıçrantı oluşmasına neden olmaktadır. Karbondioksit ile korunan arkta yukarı doğru itici kuvvetlerle tel elektrotun ucu da dönmeye başlamaktadır [25].

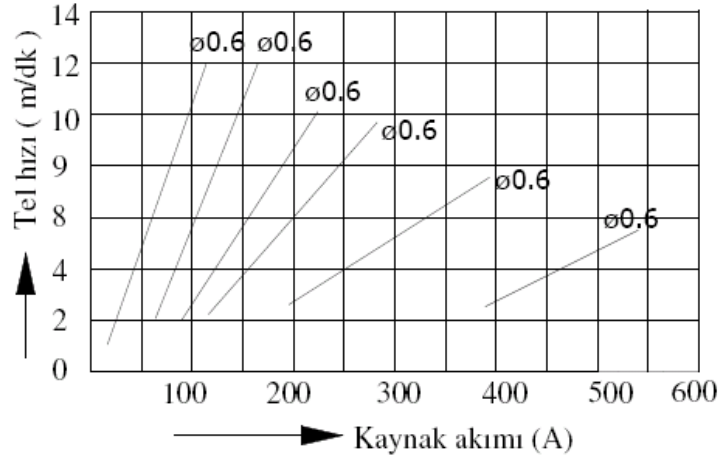
Argonca zengin karışım gazlarda damla transferi daha doğrusal gerçekleşmekte bunun yanı sıra argon gazına %5-%25 CO₂ ya da %2-%5 O₂ eklenmesi çeliklerin kaynak işleminde başka parametreleri de etkilemektedir. Ayrıca oksitlenme kayıplarında da düşüşler gözlemlenmektedir [25].

5.4 Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

Akım şiddeti (tel hızı), ark gerilimi ve kaynak hızı gibi etkenler bu parametrelerdir. İyi bir kaynak ile yetersiz bir kaynak arasındaki farkı, akım ve voltaj arasındaki uyum gözler önüne sermektedir [40].

5.4.1 Akım şiddeti

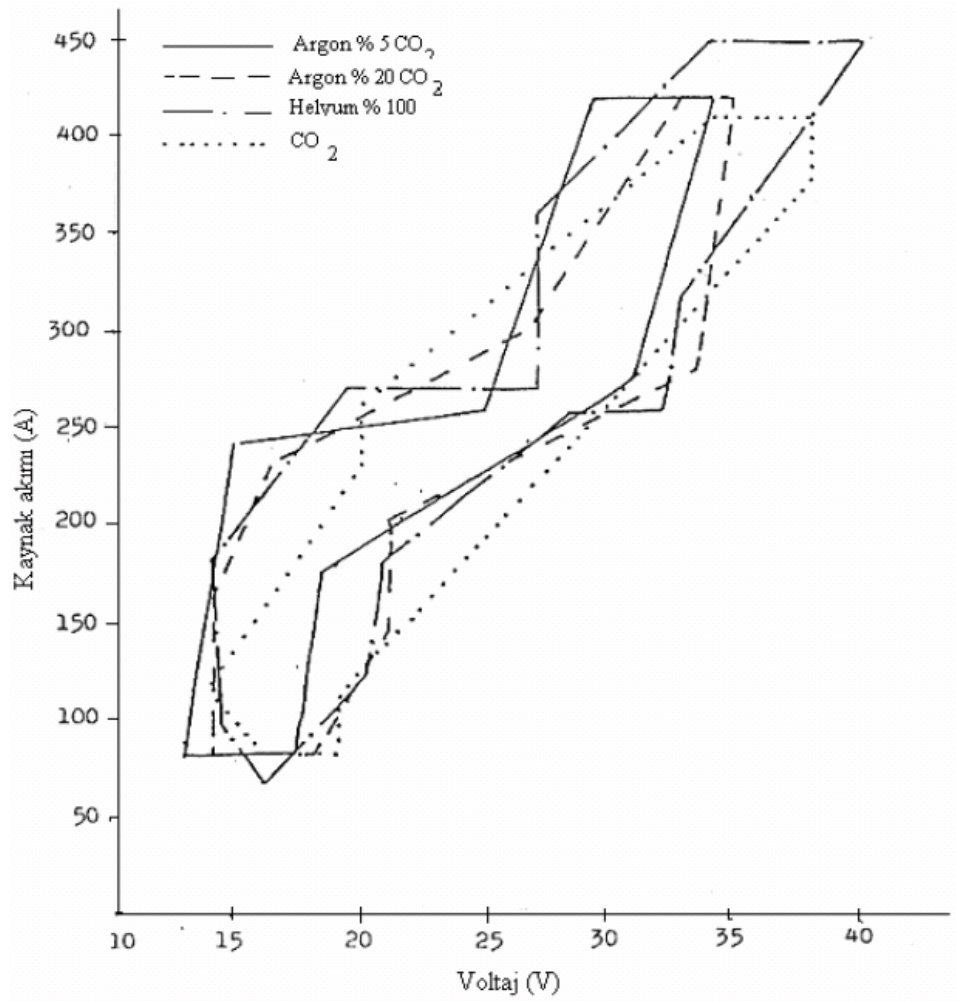
Ergime gücüne, kaynak dikiş şekline ve nüfuziyete kaynakta kullanılan akım şiddetinin etkisi çok fazladır. Sabit gerilim karakteristikli MIG-MAG kaynak makinelerinde ana metalin kalınlığı, tel elektrot çapı, kaynak pozisyonunun şekli ve koruyucu gazın türü (Ar+CO₂, Ar+ CO₂+O₂, Ar+He gibi) göz önünde bulundurularak; kaynak akım şiddeti tel hızı ayar düğmesinden ayarlanmaktadır. Tel ilerleme hızı arttığı müddetçe kaynak ilerleme hızı da artmaktadır. Bu durum Şekil 5.2’de gösterilmektedir [41].



Şekil 5.2 Akım şiddetinin tel besleme hızına etkisi. [11]

Aşırı fazla olan akım şiddeti geniş kaynak banyosu ve derin nüfuziyet oluşturduğundan dolayı ince parçaların kaynağında delinmelere sebebiyet vermekte olup tam tersine çok alçak akım şiddeti de nüfuziyetin yetersiz olmasına ve kaynak metalinin (eriyen tel elektrotun) ana metalde yığılma oluşturmaya neden olmaktadır [23].

MAG kaynak işleminde kaynak akım şiddetini, ark gerilimini ve dikiş durumunu koruyucu gaz çeşidi etkilemektedir. Bazı gazların tolerans kutuları Şekil 5.3'te verilmektedir. Voltaj ve akım değerler bu kutular içindeyse iyi bir kaynak metali elde edilmiş olmaktadır fakat değerler kutuların dışındaysa arkta ve kaynak metalinde bozulmalar meydana gelmektedir [25].



Şekil 5.3 Çeşitli koruyucu gazların tolerans kutuları. [40]

5.4.2 Ark gerilimi (ark boyu)

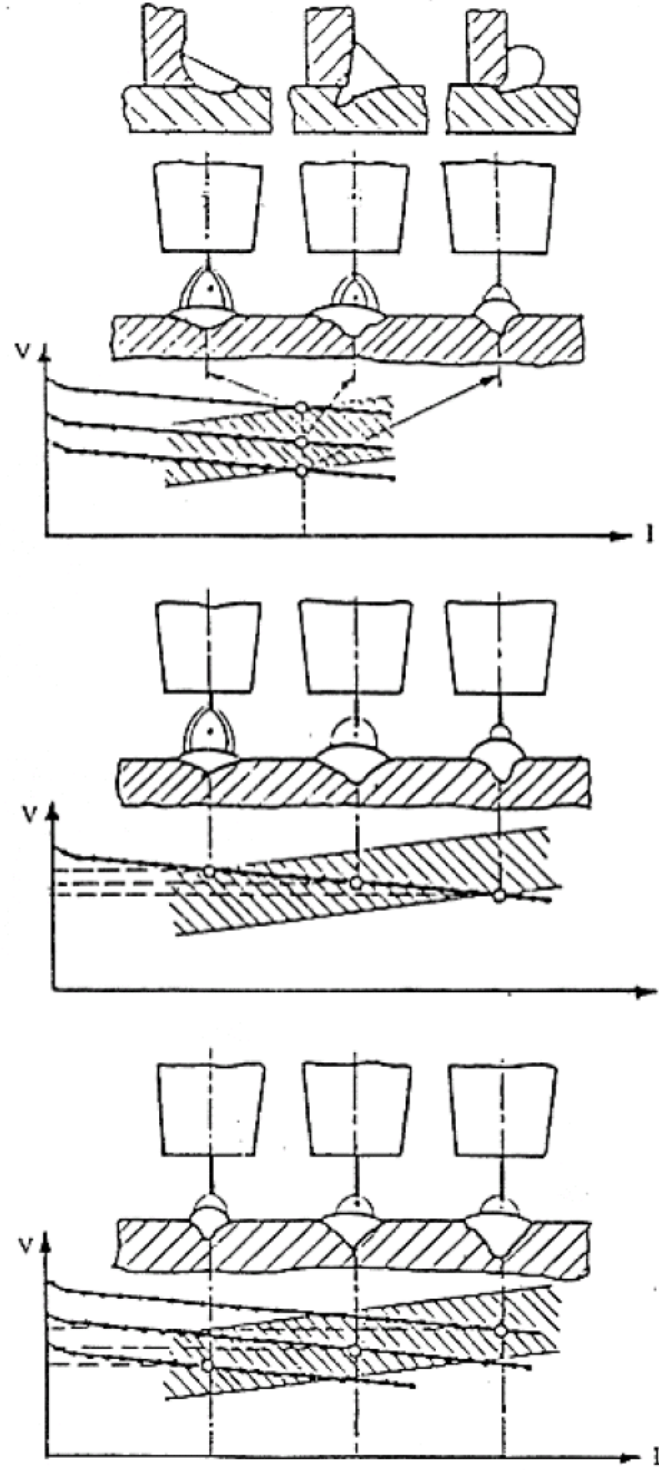
Ark gerilimi, sabit gerilim karakteristikli akım üreteçlerinde tel elektrotun ucu ile iş parçası arasındaki mesafe aracılığıyla belirlenmektedir. Her durumda aynı kaynak dikişini oluşturan sabit bir ark boyutu bulunmamaktadır. Argona nazaran helyum ve karbondioksit kullanıldığında aynı gerilim altında ark boyu, daha uzun olmaktadır [23].

Ark gerilimi; kullanılan koruyucu gaz, kaynak pozisyonu, kaynak ağız şekli, tel elektrot çapı ve ana metalin kalınlığına göre belirlenmektedir [23].

Ark kararlı ve sakin yanıyorsa uygun bir çalışma noktası seçilmiş olduğu anlaşılmaktadır. Optimal çalışma noktası, kaynak akımı üreticinde gerilim ayar imkanı fazla olması ile kolay belirlenebilmektedir. Parametrelerin hepsi sabitken ark

gerilimi artarsa, geniş ve yaygın bir kaynak dikişı oluşmaktadır. Ark gerilimi arttığında nüfuziyet bir optimum değere kadar artış göstermekte fakat bu değerden sonra düşüş gözlemlenmektedir. Düşük ark gerilimi dar ve şişkin kaynak dikişleri oluştururken, çok düşük ark gerilimi ise porozite meydana gelmesine sebebiyet vermektedir [23]. Ark gerilimi ve akım şiddetinin kaynak dikiş formuna etkileri Şekil 5.4'te verilmektedir.



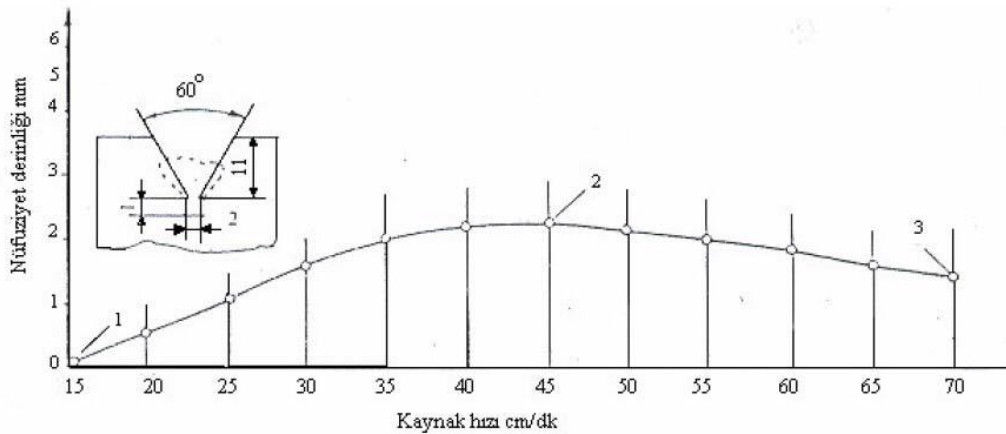


Şekil 5.4 Ark gerilimi ve akım şiddetinin kaynak dikiş formuna etkileri. [10]

5.4.3 Kaynak Hızı

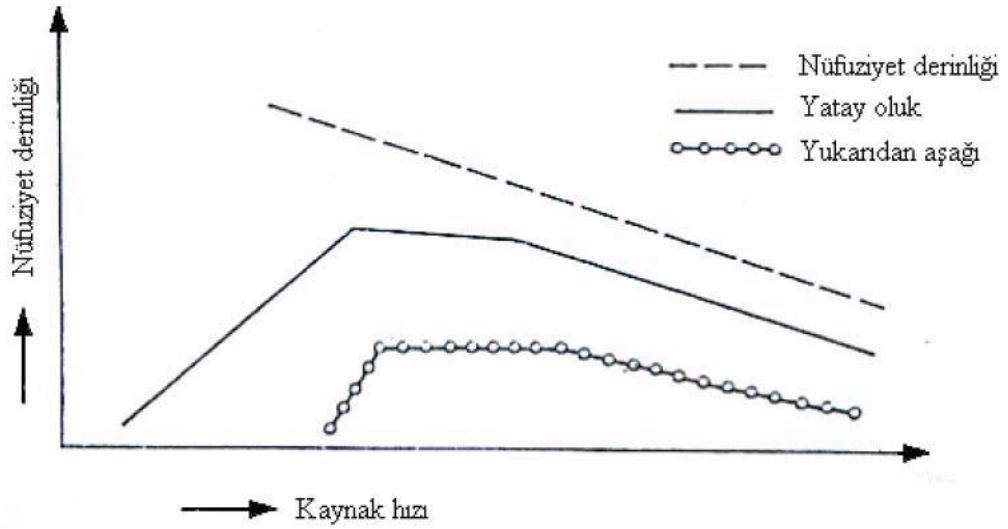
Kaynak arkının iş parçası boyunca hareketi ya da birim zamanda oluşturulan kaynak dikişi boyu, kaynak hızıdır. Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynak işlemini gerçekleştiren kişi tarafından ayarlanırken, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanmaktadır [23].

Kaynak hızı yavaşken, birim boya yığılan kaynak metali arttığından dolayı kaynak banyosu büyümektedir. Akışkan sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne doğru aktığından dolayı nüfuziyet azalmakta bunun sonucu olarak da geniş bir kaynak dikişi oluşmaktadır. Çok düşük kaynak hızında, kaynak metali fazla miktarda yığılmakta ve nüfuziyet de azalmakta olduğundan dolayı ağız kenarlarında kalın bölge meydana gelmektedir. Hız arttığında birim boya transfer edilen ısı miktarı azaldığından dolayı ana metalin ergiyen miktarı azalmakta ve bu durum da nüfuziyetin azalmasına neden olmaktadır. Kaynak hızının optimum değerlerinde en derin nüfuziyet oluşmasına karşın bu hız değerinin altına inildiğinde ya da üstüne çıkıldığında ise nüfuziyet azalmaktadır. Kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi Şekil 5.5’de, kaynak hızının ve kaynak pozisyonunun nüfuziyet derinliğine etkisi ise Şekil 5.6’de gösterilmektedir [25].



Şekil 5.5 Kaynak hızının nüfuziyete etkisi. [41]

1. Öne Akan Banyoda Minimum Nüfuziyet
2. Doğru Kaynak Hızında Maksimum Nüfuziyet
3. Hızlı Kaynakta Düşük Nüfuziyet



Şekil 5.6 Kaynak hızı ve kaynak pozisyonunun nüfuziyete etkisi. [41]

5.5. İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

Torç eğimi, nozul mesafesi, serbest tel uzunluğu, kaynak yönü, kaynak pozisyonu ve koruyucu gaz miktarı gibi kaynak dikişinin biçimini dolaylı etkileyen parametrelerdir [25].

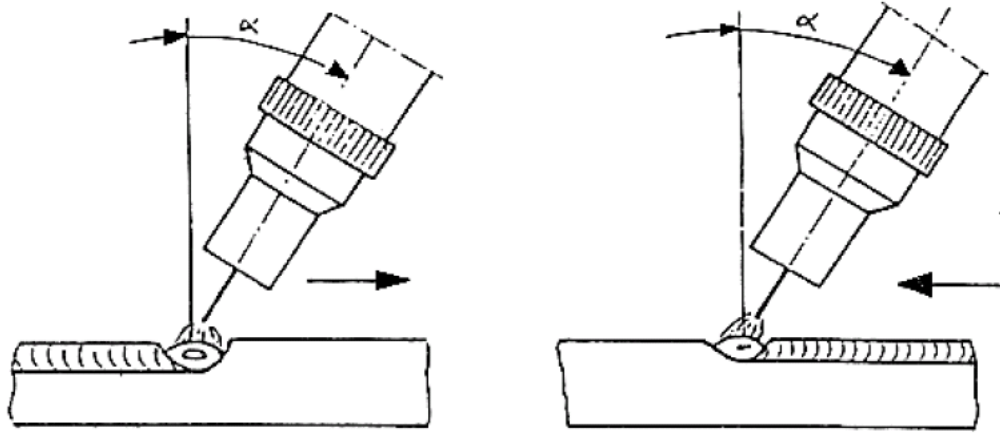
5.5.1 Torç açısı

Oksi-asetilen kaynak işlemindeki gibi MIG-MAG kaynak işleminde de sola ya da sağa kaynak yöntemi uygulanabilmektedir. Kaynak yapılan iş parçasına torç dik tutulduğunda koruyucu gaz kaynak banyosunu ve ergiyen tel elektrot ucunu en iyi biçimde korumaktadır. Kaynak işlemini gerçekleştiren kişi kaynak banyosunu ve elektrot ucunun ergimesini kontrol edebilmesi için torcunu kaynak yönüne ya da ters yönde 100-300 kadar yatırma durumunda kalmakta bu durum da dikiş formunu ve nüfuziyeti fazla miktarda etkilemektedir [10].

Torcun kaynak yönüne yatırılması ile gerçekleştirilen kaynak yöntemine 'sağa kaynak yöntemi' denilmektedir. Bu yöntem Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Sağa kaynak yöntemi ile, ark basıncı sıvı kaynak banyosunu geriye doğru ittiğinden dolayı ana metalin daha derin olarak ergimesi gerçekleşmektedir. Bu yöntemle nüfuziyet artmakla birlikte daha yüksek ve dar olan bir kaynak dikişi oluşmaktadır [10].

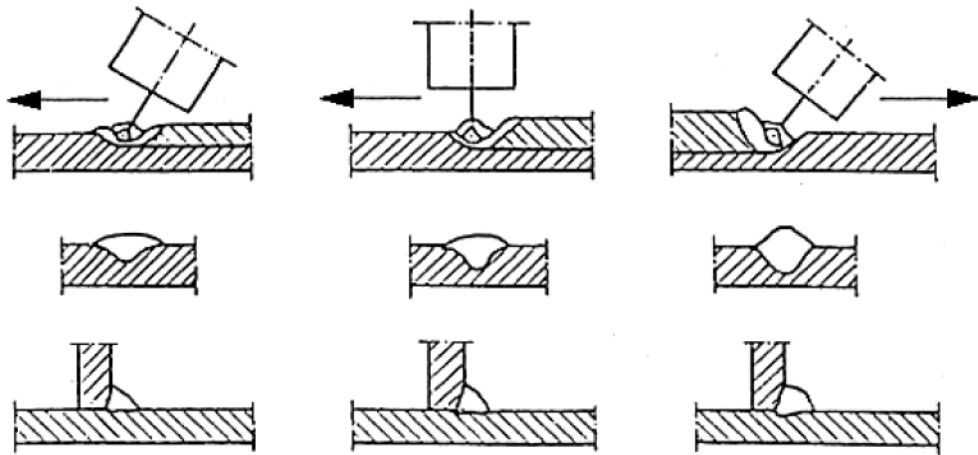
Torcun kaynak yönüne ters yönde yatırılması ile yapılan kaynak yöntemine ise, ‘sola kaynak yöntemi’ denir. Bu yöntem Şekil 5.7’de gösterilmektedir. Sola kaynak yöntemi ile bir miktar ergimiş kaynak metali, ark basıncıyla kaynak yönünde itilmektedir [10].

Böylece kaynak banyosu daha büyük olmakta fakat ana metalde o kadar derin miktarda ergime gerçekleşmemektedir. Torcun kaynak yönünün tersi yöndeki eğim miktarı arttığında daha düz ve geniş bir dikiş oluşmakta, nüfuziyet ise azalmaktadır. Bu yöntem ile kök pasolar ve ince parçaların kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir [10].



Şekil 5.7 Sağa kaynak ve sola kaynak. [10]

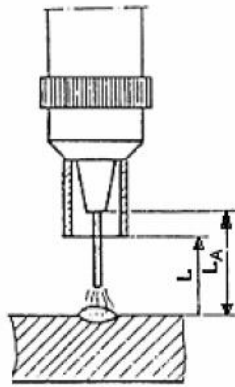
MIG-MAG kaynak yönteminde torcun dik, kaynak yönünde ya da ters yönde eğilmesinin dikiş formuna etkisi Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



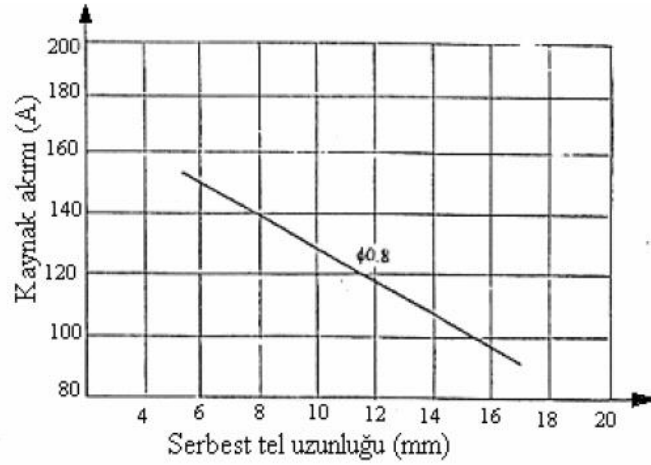
Şekil 5.8 MIG-MAG kaynak yönteminde torcun dik, kaynak yönünde ya da ters yönde eğilmesinin dikiş formuna etkisi. [10]

5.5.2 Serbest tel uzunluğu

Akım memesi ucundan ark başlangıcına kadarki mesafe (L_A) serbest tel uzunluğudur. Şekil 5.9’da gösterilmektedir. Serbest tel uzunluğu mesafesi arttığında, tel elektrotun elektrot direnci artmakta ve elektrotun ön ısınması yani sıcaklığı yükselmektedir, bundan dolayı da elektrotun uç kısmını ergiten akım şiddetinde düşüş gerçekleşmektedir. Bu durum Şekil 5.10’da gösterilmektedir [10].



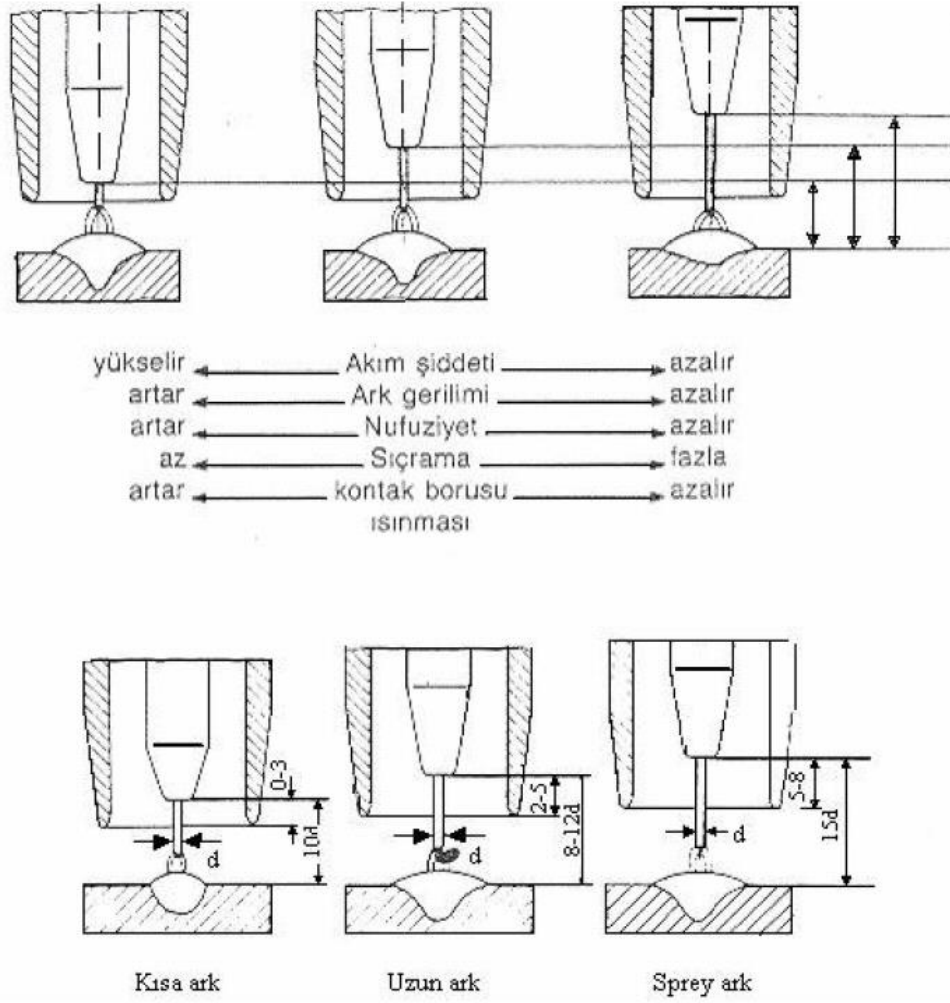
Şekil 5.9 Serbest tel uzunluğu. [10]



Şekil 5.10 Serbest tel uzunluğunun akım şiddetine etkisi. [10]

Serbest tel uzunluğu arttığında, erime gücü artmasına karşın nüfuziyet azalmakta dolayısı ile de serbest tel uzunluğunun aşırı artmasıyla, çok miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta kaynak dikişine) yığılma durumu gerçekleşmektedir. Bundan dolayı kaynak işlemi esnasında serbest tel uzunluğunun sabit tutulması gerekmektedir [10].

Kararlı bir ark ve sakın bir kaynak işlemi için serbest tel uzunluğu kısa tutulmalı; fakat çok kısa olursa da nozul ve kontak lülesi eriyebilmekte ve sıçrantılar nozul içine yapışarak koruyucu gaz akışına engel oluşturmaktadır [10]. Şekil 5.11’de iyi bir kaynak için serbest tel uzunluğunun ark türüne göre değişimi gösterilmiştir.



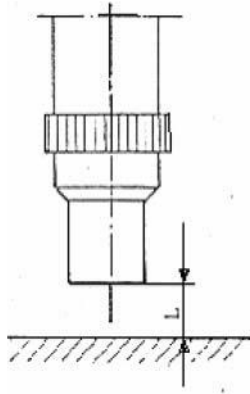
Şekil 5.11 Çeşitli ark türlerinde serbest tel uzunluğu ve dikiş geometrisine etkisi.

[10]

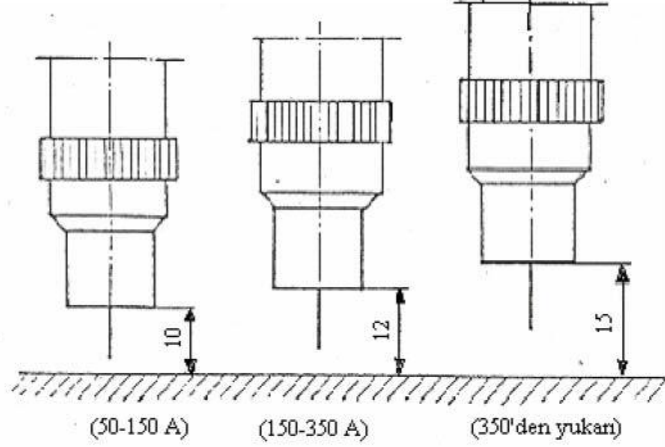
5.5.3 Nozul mesafesi

Gaz nozulunun iş parçasından mesafesinin (L) yeterli gaz korumasını gerçekleştirecek kadar kısa, gaz çıkışını önlemeyecek kadar da uzun olması gerekmektedir. Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Nozulun iş parçasına mesafesi akım şiddetine bağlıdır. Şekil 5.13’de gösterilmiştir [39].

Nozul iş parçasına uzaksa kaynak banyosu gaz ile korunamamakta, yakınsa kaynak işlemini gerçekleştiren kişi kaynak banyosunu görememekte, bundan dolayı da nozul fazla ısınmakta ve sıçrantıların nozula yapışma durumu artmaktadır [10].



Şekil 5.12 Nozul nesafesi. [39]

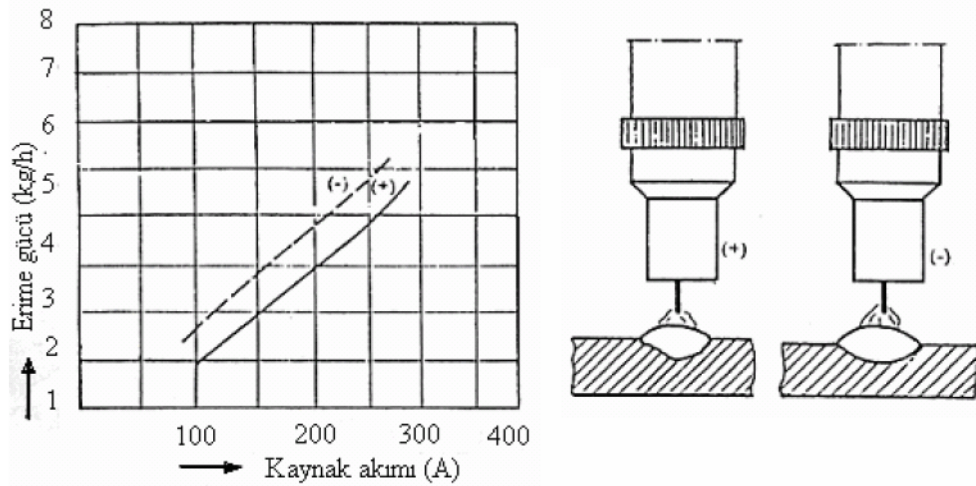


Şekil 5.13 Akım şiddetine göre nozul mesafesi.

5.5.4 Kutup bağlantısı (polarite)

Yatay karakteristikli doğru akım kaynak makinaları MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılmaktadır. Bu makinalarda artı (+) kutup tel elektroda, eksi (-) kutup iş paçasına bağlanmakta ve bu kutuplama türüne ters kutuplama denilmektedir [39].

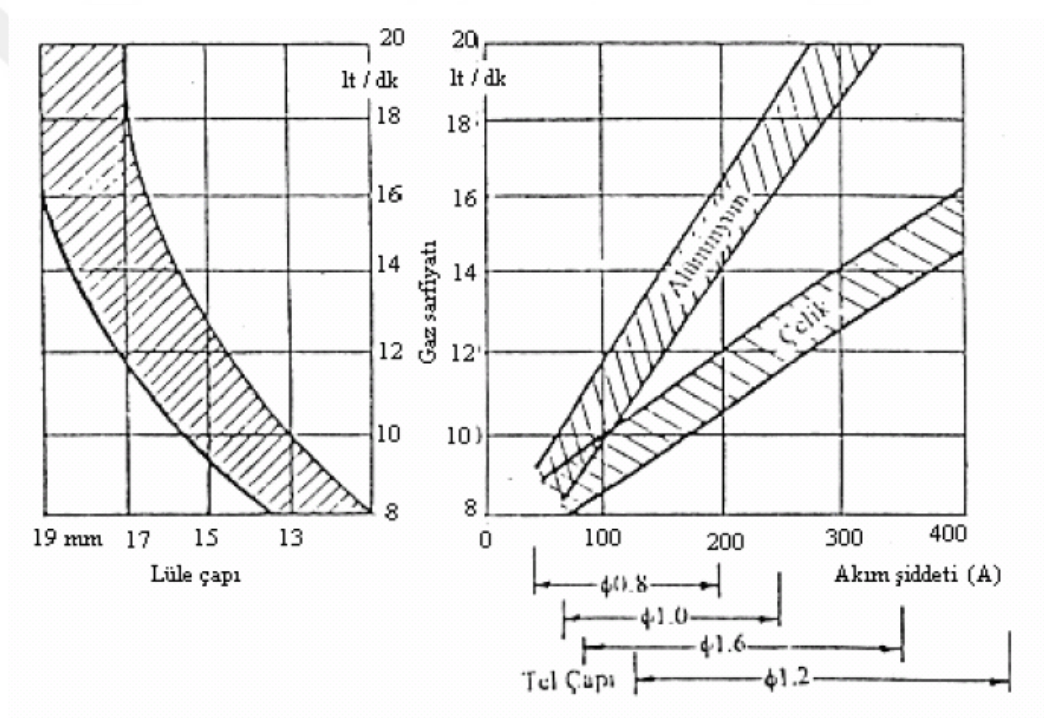
Kutuplama değiştirildiğinde, elektrotun ergime gücü artmakta, nüfuziyet azalmakta, ark düzensiz olmakta ve sıçramı miktarı fazla olan kaynak dikişi oluşmaktadır. Böyle bir durum yüzey kaplamaları için iyi olmaktadır. Şekil 5.14'te tel elektrotun ergime miktarı ve sıçramaya etkisi gösterilmiştir [39].



Şekil 5.14 (+) ve (-) kutup durumlarında dikiş formu, sıçramaya etkisi ve erime miktarı. [39]

5.5.5 Koruyucu gaz debisi

Akım şiddeti, kaynak pozisyonu ve gaz nozulunun çapına göre koruyucu gaz debisi ayarlanmaktadır. Gaz debisi çok az olduğunda yetersiz koruma (kaynak dikişinde gözeneklerin meydana gelmesi) gerçekleşmekte, yeterli miktarda iyonize olmamış bir ortam ve kararsız bir ark oluşumu gerçekleştiğinden dolayı daha fazla sıçrıntı oluşmaktadır. Çok büyük gaz debisi de türbülans meydana getirip, ergimiş metal damlacıklarını kaynak banyosu dışına savurup çok fazla sıçrıntı oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra girdap meydana getirerek gözenek meydana gelmesi hızlanmaktadır. Şekil 5.15’da koruyucu gaz debisinin nozul çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı gösterilmektedir [10].



Şekil 5.15 MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz sarfiyatı, nozul çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı. [10]

6. MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE ROBOT KULLANIMI

Her alanda ihtiyaç, şartlar ve imkanlar daima değişmekte; endüstriyel robotlar günümüz sanayisinde çeşitli alanlarda kullanılmaya devam etmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile zaman kavramı da önem kazanmış, güçlü bir endüstri için ve üretimin ihtiyaçları karşılaması için çeşitli robotlar tasarlanmaya başlanmıştır. Aynı işi defalarca tekrar etmeyi gerektiren alanlarda da robotlar başarı sağlamışlardır. Bu endüstriyel robotlar hatasız ve seri bir üretimi de mümkün kılmışlardır [42].

İlk endüstriyel robotlar üretimde 1960'lı yılların başında kullanılmaya başlanmış fakat robotla kaynak 1970'lerin başında nokta kaynak uygulamasıyla otomotiv endüstrisinde ilk kez kullanılmaya başlanmıştır. Robotların önemini kavrayan şirketler uluslararası piyasalardaki rekabet gücünü arttırmak için, robota dayalı esnek fabrika otomasyon sistemleri kullanmaktadır [43,44].

Programlanabilir robot kollar adapte olabilme yetenekleriyle farklı imalat görevlerini yapabilen eşsiz esneklikte makinelerdir. Robotları bu niteliklerinden dolayı sık sık görev değişikliği gerektiren imalat durumlarında kullanmak oldukça uygun olmaktadır. Böylece pazardaki değişikliklere hızlı uyum sağlamak ve yeni ürünleri piyasaya seri bir şekilde sunabilmek mümkün olmaktadır [45].

Robotlar yaygınlaştıkça farklı kuruluşlar tarafından farklı tanımlanmaya başlanmıştır. Amerikan Robot Enstitüsü'ne (RIA) göre robot; programlanmış farklı ve hareketlerle ve yeniden programlanabilme özelliği ile malzeme, parça, takım veya özel araçlar taşıyabilen, çok amaçlı manipülatördür. Japon Robot Birliği'ne (JARA) göre robot; terminal ile ya da hafıza kartı ile donatılmış, döndürme yeteneği olan ve otomatikleşmiş hareketlerle insan iş gücünün yerini alabilen, çok amaçlı makinedir [46,47].

Mayıs 1996 tarihinde yayımlanan EN ISO 8373 normunda günümüz teknolojisine en uygun kapsamlı ve gerçekçi robot tanımlaması ve robot tiplerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Bu standarda göre robot; endüstriyel otomasyonda çeşitli amaçla kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, sabit ya da hareketli manipülatördür [48,49].

Endüstride kullanılan kaynak robotları, aşırı zor olan ve uzmanlık isteyen kaynak işlemlerini doğru ve sorunsuz olarak gerçekleştirmekte fakat bazı durumlarda zorlu ve tehlikeli bir süreç de barındırmaktadır. Kaynak robotu ile farklı boyutlarda ve niteliklerdeki çalışılan alanlar dar bile olsa en uygun konumlandırma ile kaynak işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmekte, bu sayede verimli çözümler üretilmektedir [50,51].

Kaynak işlemi, en fazla robot kullanılan uygulama alanlarından biridir. Kaynak işleminde robot özellikle otomotiv ve yan sanayi, metal-makine sektörü dahil birçok sektörde kullanılmaya devam etmektedir. Ark kaynağı ve nokta direnç kaynağı robotların en fazla kullanıldığı kaynak yöntemleridir. Çoğunlukla robotik kaynak işlemlerinde kaynak makinalarının devrede kalma süreleri fazla olduğundan dolayı kaynak ekipmanları güçlü ve su soğutmalı olarak tercih edilmektedir [48,52,53].

Yüksek esnekliği, farklı kalınlıklarda çeşitli metallere uygulanabilmesi, otomasyon ve robot kaynağında uygulanabilir olması sayesinde; gaz altı kaynağı kaynaklı imalatla önemli bir yere sahiptir. Yöntemin otomasyona müsaade etmesi ve robotlar ile kullanılabilir olması hem kaynak dikişi kalitesinin daha iyi olmasını hem de kaynak hızının artmasını sağlamaktadır. MAG kaynak yöntemi, yüksek kaynak hızları ve ergime gücü istenildiğinde en çok tercih edilen kaynak yöntemidir [54,73].

7. ÇELİKLER

Teknolojinin gelişmesiyle ve üretim imkânlarının artmasıyla birlikte, farklı kalite ve boyutlarda çelikler üretilmektedir. Fakat yüksek mukavemetli çeliklerde gerilmelerin oluşturduğu deformasyon ve titreşim genlikleri için öngörülen tolerans değerleri de önemsenmelidir [56].

Demir-karbon (Fe-C) alaşımı olan çelikler, karbon elementinin olumsuz taraflarından dolayı mekanik özelliklerini sınırlandırmaktadır. Düşük korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet, düşük kaynak edilebilirlik kabiliyeti, düşük aşınma direnci bu olumsuz etkiler arasında bulunmaktadır [57].

Ürün kalitesi artması için çeliklerde C dışında Si, V, Cr, Ni, Mo, Mn, W, Al gibi farklı elementlerle alaşımlama yapılmaktadır.

Alaşımlama ile; manyetik özellikler, süneklik, aşınma dayanımı, tokluk, sertleşebilme kabiliyeti, korozyon dayanımı, tane küçültme etkisi, yüksek sıcaklık dayanımı, elektriksel dayanım vs. gibi çeliklerin kullanım özelliklerinin ve sıcak şekillendirilebilirlik, soğuk şekillendirilebilirlik, kaynak kabiliyeti, talaşlı imalata elverişlilik, dökülebilirlik, nitrülenebilirlik, vs. gibi imalat özelliklerinin geliştirilebilmesi mümkün olabilmektedir [58].

Çelikler, başka herhangi bir işlem uygulanmadan şekillenebilen ve içerisinde en fazla %2,06 C bulunduran Fe-C alaşımlarıdır. Isıl işlemlerin sertlik, tane boyutu ve dayanımı gibi mekanik özelliklerinde değişiklik yapılabilir. Çeliğin yapısının bilhassa da sertliğinin değişmesinde en etkili element karbondur ve çelik malzemeler içerisinde diğer alaşım elementlerini de belirli miktarlarda bulundurmaktadır. Kullanılan ısıtma ve çeliğin bileşimine göre çelik alaşımlarının mekanik özellikleri farklılık göstermektedir [59]. Bütün çelik tiplerinde genellikle artan karbon miktarı çekme mukavemetini arttırmakta, ancak darbelere karşı dayanma gücü olan tokluğu azalmaktadır. Alaşım elementler olan manganez, nikel, krom, molibden, niobyum ve vanadyum düşük oranlarda ilave edilerek daha yüksek tokluk sağlanabilmektedir. Bu elementler tek başlarına ya da birlikte olarak %0,02 ile %1,0 oranında eklenmektedirler [60].

Çelikler farklı standartlara göre sınıflandırılmakta ve kodlanmaktadır. Örneğin AISI ve SAE 4 veya 5 dijitten oluşan kodlama sistemi oluşturulmuştur. Bunlara standartlara göre sınıflandırma ve kodlama aşağıdaki şekilde olmaktadır [61].

Çizelge 7.1’de çelik gruplarının fiziksel özellikleri, Çizelge 7.2’de çelik gruplarının kimyasal özellikleri verilmektedir.

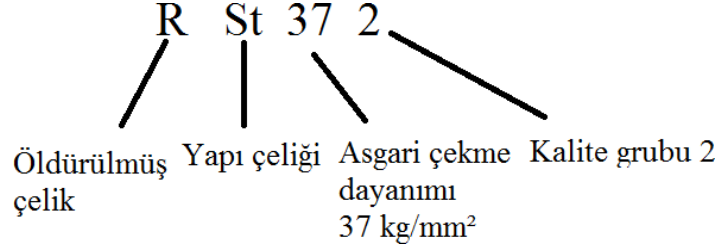
Çizelge 7.1 Çelik gruplarına ait fiziksel özellikler [58].

Sınıf (SAE/AISI)	Alaşım Elementleri	Yaygın Örnekler
10XX	C	1020,1040,1060
11XX	C,S (Otomat)	1120
2XXX	Ni	2130
3XXX	Ni+Cr	3140
4XXX	Mo+Cr+Ni	4140,4340
5XXX	Cr	5160
6XXX	V	6150
7XXX	W	7230
86XX	Ni+Cr+Mo	8620,8660
92XX	Si	9260

Çizelge 7.2 Çelik gruplarına ait kimyasal özellikler [60].

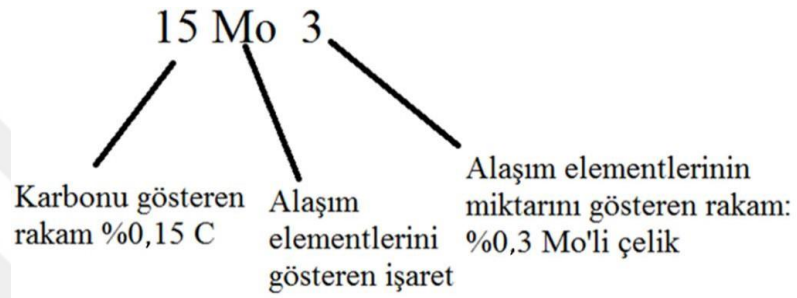
İşareti	Karbon Oranı (%)	Açıklamalar
St 33	Yaklaşık 0,1	Pek saf değildir.
St 34	Yaklaşık 0,1	Kaynağa duyarlı değildir. (Kolay kaynak edilebilir.)
St 37	Yaklaşık 0,15	
St 42	Yaklaşık 0,2	
St 50	Yaklaşık 0,3	Sadece özel önlemlerle kaynak edilebilir.
St 60	Yaklaşık 0,4	
St 70	Yaklaşık 0,55	

Şekil 7.1’de çeliklerin kodlanmasına ilişkin örnek gösterilmektedir.

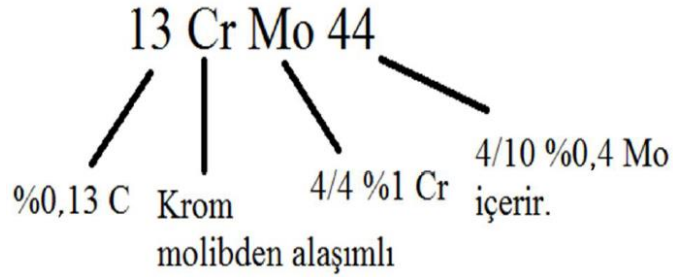


Şekil 7.1 Numaralı kalite grubuna giren çelik açıklaması. [62]

Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te alaşımlı çeliklerin gösterimi verilmektedir.

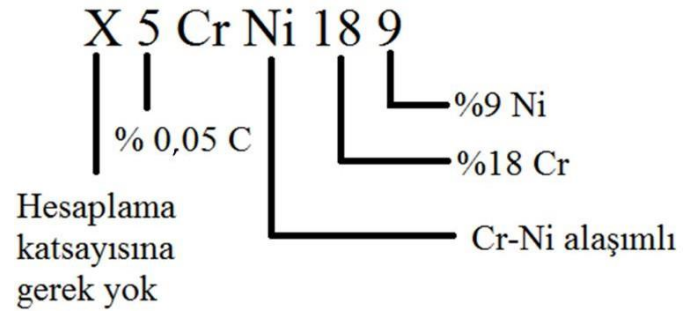


Şekil 7.2 Alaşımlı çeliklerin gösterimi. [60]



Şekil 7.3 Alaşımlı çeliklerin gösterimi. [60]

Şekil 7.3'te görüldüğü gibi alaşımlı çeliklerde manganez, krom ve nikel için hesap katsayısı 4; molibden ve vanadyum için hesap katsayısı 10'dur. Şekil 7.4'te görüldüğü gibi X işareti varsa bir hesap katsayısına ihtiyaç olmamaktadır.



Şekil 7.4 Alaşımlı çeliklerin gösterimi. [60]

8. LİTERATÜR ÖZETİ

Şık A. [64], yapmış olduğu çalışmasında MIG/MAG kaynak yöntemi ile St37-2 yapı çeliği kaynak edilmiştir. $80\text{Ar}+18\text{CO}_2+2\text{O}_2$, $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$ ve $93\text{Ar}+5\text{CO}_2+2\text{O}_2$ olmak üzere üç farklı gaz karışımı kullanılmıştır. Kaynak yapıldıktan sonra kaynak dikişinden çıkarılan numunelerin eğme yorulma deneyleri yapılarak yorulma dayanımının en yüksek olduğu gazı bulabilmek için incelenmiştir. Yorulma dayanımı yüksek olan gaz karışımının $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$ olduğu görülmüştür fakat diğer gazlarla karşılaştırıldığında çok fazla farklılık görülmemiştir.

Şık A. [65], yapmış olduğu çalışmasında 4 mm kalınlığındaki St52-3 yapı çeliği MIG/MAG kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir. $80\text{Ar}+18\text{CO}_2+2\text{O}_2$, $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$ ve $93\text{Ar}+5\text{CO}_2+2\text{O}_2$ olmak üzere üç farklı gaz karışımı kullanılmıştır. Yapılan birleştirmelerde SG2 ve SG3 olmak üzere iki farklı elektrot seçilmiştir. Kaynak yapıldıktan sonra kaynak dikişinden çıkarılan numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. SG3 elektrotu kullanılarak $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$ gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Ada H. ve ark. [66], yapmış oldukları çalışmada doğalgaz ve petrol boru hatlarında kullanılan API 5L X65 kalitesindeki çelik malzemeler, MAG kaynak yöntemiyle özlü rutil tel ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirmelerden alınan numunelerin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda makro ve mikro yapısal olarak, ana malzeme, ITAB ve kaynak metali incelenmiş, meydana gelen yapıların tipik kaynak işlem özelliklerine sahip yapılar olduğu görülmüştür. Çekme, çentik darbe, eğme ve sertlik testlerinde kaynak işlemi özelliklerinin hatasız olduğu görülmüştür.

Türkkan G. [5], yapmış olduğu çalışmada koruyucu gaz kaynağında (MIG/MAG) gaz debisinin kaynak nüfuziyeti ve kaynak hızına etkisini incelemiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, kaynak hızının nüfuziyete etkisi ile arkın çevresinden geçen gazı soğutmanın nüfuziyete etkisi incelenmiş, ikinci aşamada ise kaynak ağzı açılmamış numunenin su soğutmalı ve su soğutmasız nozul ile kaynak işlemi sonucunda meydana gelen nüfuziyet oranları incelenmiştir.

Meriç C. ve ark. [68], yapmış oldukları çalışmada, SAE 1020 kalitesindeki düşük karbonlu çelik MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve kaynak bölgesi incelenmiştir. Ana metal ile kaynak metali arasındaki uyumsuzluk mismatch incelenmesi yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra numunelerin kaynak bölgelerinin, ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) ve ana metalin mekanik incelemeleri gerçekleştirilmiş, bilhassa çatlak ucu açılma ilerlemesi (CTOD) tespiti yapılmıştır.

Şık A. [69], yapmış olduğu çalışmada otomobil karo serisindeki çelik sacların çeşitli koruyucu gaz karışımları ile oluşturulan MAG kaynaklı bağlantıları, taşıt hareket ederken çeşitli mekanik zorlanmalarla karşı karşıya kaldığından dolayı, otomobil üretiminde kullanılan FePO₄ (St14) çelik sacından oluşturulan çeşitli tür birleştirmeler farklı koruyucu gazlar kullanılarak MAG kaynağı yapılmış ve bu bağlantıların eğme mukavemetleri incelenmiştir.

Onar V. [70], yapmış olduğu çalışmada XAR (eXtra Aşınma Dayanımı) çeliği olan ve ağır hizmet makinelerinde kullanılan 4 mm kalınlıktaki XAR 500 çeliğinin robotik MAG kaynağı yönteminde farklı kaynak akımının ve hızlarının kaynaklı birleştirmelerin mikro sertliği üzerine etkisi incelenmiştir. Kaynak edilmiş numunelerde hız, gerilim ve akım kontrollü MAG kaynak robotu kullanılmıştır. 140A, 160A ve 180A olmak üzere üç farklı kaynak akım yoğunluğu seçilmiştir. Kaynak hızı 350mm/dak olarak sabit tutulmuştur. Kaynak hızının etkisini test etmek için 300mm/dak, 350mm/dak, 400mm/dak ve 450 mm/dak olarak seçilmiş kaynak akım şiddeti 160A' de sabit tutulmuştur. %86 Ar, %12 CO₂ ve %2 O₂ içeren karışım gaz ve 1 mm kalınlığında MG-2 kaynak teli kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu malzeme gruplarının kaynaklı bağlantılarında ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) sertliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı da ITAB sertliğinin azaldığında çatlak riskinin azaldığı gözlenmiştir. Oluşturulan kaynaklı bağlantılarda optimum sertlik oranını sağlayan kaynak akımı ve kaynak hızı belirlenmiştir.

Mert T. ve ark. [71], yapmış oldukları çalışmada MIG / MAG kaynağında çift kanallı koruyucu gaz beslemesinin proses parametreleri ve çapak oluşumu üzerindeki etkilerini incelemiştir. %40, %50 ve %60Ar içeren Ar-CO₂ koruyucu gazları kullanan, geleneksel gaz altı kaynağı ve DMAG proseslerinde, proses parametrelerinin kaydedilmesinin yanı sıra çapak oluşumu da incelenmiştir. Masif telle ve metal özlü

telle kaynakta eş koruyucu gaz oranları için, karışım gazı yöntemiyle karşılaştırıldığında, DMAG ile elde edilen ortalama akım şiddeti değerlerinin daha büyük, ortalama ark gerilimi değerlerinin ise daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Masif tel kullanıldığında toplam ısı girdisi değerlerinin karışım gazı ile kaynakta daha büyük olduğu gözlemlenmesine karşın, özlü tel kullanıldığında toplam ısı girdisi değerleri DMAG yöntemi ile daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Ebrahimnia M. ve ark. [72], yapmış oldukları çalışmada gaz metal ark kaynağında dört farklı koruyucu gaz bileşiminin, St37-2 çeliğinin kaynak özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bazı mekanik ve metalografik testler yapılmış, Charpy darbe testinde absorbe edilen enerjinin artışı ayrıca koruyucu gaz bileşimindeki karbondioksit miktarı artması ile artışın devam ettiği görülmüştür. Koruyucu gazdaki karbondioksit oranının artmasıyla, içerik miktarı azalmış ve Widmanstatten ferrit hacim fraksiyonu artmıştır. Ayrıca koruyucu gazdaki karbondioksitin artmasıyla GMAW'daki füzyon bölgesinin derinliği artmıştır.

Pires I. ve ark. [73], yapmış oldukları çalışmada gaz metal ark kaynak işleminde kullanılan yedi koruyucu gaz karışımının en önemli özelliklerini sunmuş ve bu gaz karışımlarının işlem karakteristikleri, yani metal transfer modları ve duman emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir.

Tuşek J. ve ark. [74], yapmış oldukları çalışmada östenitik paslanmaz çeliğin ark kaynağında birleştirilmesi esnasında kullanılan koruyucu gaz olarak argondaki hidrojenin etkisini incelemiştir.

Cai X. ve ark. [75], yapmış oldukları çalışmada dar aralıklı MAG kaynağında koruyucu gaz bileşiminin ark özellikleri ve telle kaynatma özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sabit akımda, ark voltajının artan helyum veya CO₂ içeriği ile arttığını gözlemlemiştir. Sabit tel besleme hızında ve sabit voltajda, helyum veya CO₂ içeriği arttıkça, kaynak akımının azaldığını gözlemlemiştir. Ark uzunluğunun, CO₂ içeriğinin artmasıyla büyük miktarda azaldığını ve ark çekirdeğinin, helyum içeriğinin artmasıyla genişlediğini görülmüştür. Koruyucu gaz bileşimi değiştiğinde, ark özellikleri ve tel ergime özellikleri değişmiş ve ark, tel ergime hızını tel besleme hızına eşit tutmak için yeni bir denge noktasında çalıştığı görülmüştür. Kaynak işleminin ve

kaynak kalitesinin, koruyucu gazın %80 Ar 10% CO₂ 10% He olması durumunda iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhao Y. ve ark. [76], yapmış oldukları çalışmada karbon çeliğinin darbeli akım MAG kaynağında koruyucu gazın metal transferi ve kaynak morfolojisi üzerindeki etkisini incelemiştir. Plaka üzerindeki kaynak ile metal transferini gözlemlemek için yüksek hızlı kamera sistemi kullanılmıştır. Koruyucu gazdaki artan CO₂ konsantrasyonu ile, parlak ark alanının ve ark uzunluğunun, karbondioksitin sıkıştırma etkisine bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Kaynak penetrasyonunun ve kaynak genişliğinin, yüksek ark kuvveti nedeniyle az miktarda arttığı görülmüştür. Kaynak metalindeki ferrit içeriğinin koruyucu gazdaki CO₂ konsantrasyonunun artması ile az miktarda arttığı gözlemlenmiştir.

Schafranski L.L. ve ark. [77], yapmış oldukları çalışmada GMAW'da argon gazı karışımlarında H₂ ve CO₂ ilavelerinin faydalarını incelemiştir. Koruyucu gaz bileşiminin tel erime hızı, birikme etkinliği ve kaynak geometrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Saf Ar, saf CO₂, Ar + CO₂ karışımları ve Ar +%5 H₂ değerlendirilmiştir.

Lenin Singaravelu D. ve ark. [78], yapmış oldukları çalışmada kök geçişli kaynak uygulamaları için modifiye kısa ark gazlı metal ark kaynak işlemini incelemiştir. Araştırma, karbon ve alaşımlı çeliklerin kök geçiş kaynaklarında çeşitli dalga formlarını yürütmeyi amaçlamıştır. Boncuk görünüm, sağlamlık, makro ve mikro yapı analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, optimum dalga şekli aralığı türetilmiş ve proses parametreleri ile uygun şekilde ilişkilendirilmiştir.

Costanza G. ve ark. [79], yapmış oldukları çalışmada östenitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gazlarla metal ark kaynağı ile kaynaklanabilirliğini incelemiştir. Kaynaklı kesitlerin metalografik örnekleri; optik mikroskopu gözlemleri, mikro sertlik, çentik darbe ve çekme testleri uygulanmıştır.

Sathiya P. ve ark. [80], yapmış oldukları çalışmada AISI 904 L süper östenitik paslanmaz çelik bağlantının boncuk geometrisi, mikro yapısı ve mekanik özelliklerini CO₂ lazer-GMAW hibrit kaynak işlemi ile araştırmaktadır. Farklı oranlarda (%50 He +%50 Ar, %50 He +%45 Ar +%5 O₂ ve %45 He +%45 Ar +%10 N₂) farklı koruyucu gaz karışımları ile CO₂ lazer-GMAW hibrit kaynağının detaylı bir çalışması 5 mm kalınlığında AISI 904 L süper östenitik paslanmaz çelik sac üzerinde yapılmıştır.

Pan Q. ve ark. [81], yapmış oldukları çalışmada koruyucu gazın, kalın, yüksek gerilimli çelik plakaların lazer-MAG ark hibrit kaynağı sonuçları üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, yüksek mukavemetli çelik HT780 kalın levhalar üzerinde yüksek güçlü disk lazer-metal aktif gaz arkı hibrit kaynağı gerçekleştirilmiştir. Koruyucu gazın hibrit kaynak boncuklarının nüfuziyeti, kusurları ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, %80 Ar-%20 CO₂ veya %100 CO₂ koruyucu gaz kullanılarak incelenmiştir.

Rogalski G. ve ark. [82], yapmış oldukları çalışmada sualtı yerel kuru odada MAG (135) metodu kaynağı ile %100 CO₂, %18 CO₂ + %82 Ar, %5 H₂ +%95 Ar gaz karışımları altında S235JR çeliğe yapılan kaynak işleminin parametrelerinin etkilerinin sonuçlarını sunmuştur. Isı girdisinin ve koruyucu gaz türünün kaynakların yapısı ve sertliği üzerindeki etkisi oluşturulmuş, ısıdan etkilenen bölgenin maksimum sertliğini tahmin etme fonksiyonları da ayrıca detaylandırılmıştır.

Palani P.K. ve ark. [83], yapmış oldukları çalışmada darbeli GMA kaynağının çeşitli yönlerini, darbe parametrelerinin etkilerini ve daha kaliteli kaynaklar elde etmek için bu parametreleri seçmek için benimsenen farklı metodolojileri araştırmıştır.

Yılmaz R. ve ark. [84], yapmış oldukları çalışmada AISI 316 L östenitik paslanmaz çelik ve AH36 düşük alaşımlı gemi inşa çeliği çifti, farklı oranlarda CO₂ içeren dört farklı koruyucu gaz bileşimi altında özlü ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynaklı malzemelerin mikro yapısı, darbe tokluğu ve birleştirme boyunca mikro sertlik dağılımı belirlenmiştir.

Zhang S. Ve ark. [85], yapmış oldukları çalışmada ana malzeme olarak bir tür yüksek mukavemetli düşük alaşım (HSLA) çelik levha olan 10 mm kalınlığında (BM) 10CrNi3MoV çeliğinin hibrit lazer ark kaynağı ile kaynak edilmesini incelemiştir. Saf CO₂ ve saf Ar dahil koruyucu gazlar, 5% CO₂ + 95% Ar, 10% CO₂ + 90% Ar, 15% CO₂ + 85% Ar, 20% CO₂ + 80% Ar, ve 25% CO₂ + 75% Ar kullanılmıştır. Koruyucu gazların akış hızı 20 lt/dak'da sabit tutulmuştur.

Karlsson L. [86], yapmış olduğu çalışmada dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağındaki son teknoloji ve trendleri tartışmaktadır. Bu tartışmalar arasında sinerjik darbeli MIG/MAG kaynağı ile farklı gaz karışımları altında elde edilmiş kaynaklar da

mevcuttur. Çelik ve kaynak sarf malzemelerinin kullanıcıları ve üreticileri ile literatür dahil olmak üzere dünya çapındaki kaynak topluluğundan gelen girdilere dayanmaktadır. Çoğu durumda, öneriler üzerinde fikir birliği vardır, ancak uygulamalardaki farklılıkları yansıtan farklılıklar özellikle, örneğin izin verilen enerji girdilerindeki sınırların daha az iyi belgelendiği yeni çelik kaliteleri için mevcuttur.

Amman T. [87], yapmış olduğu çalışmada ferrit-östenitik çeliklerin gaz korumalı ark kaynağını incelenmiştir. MIG/MAG yöntemlerini kullanarak kaynak yapmak için, Ar-CO₂ veya Ar-He-CO₂ karışımları kullanılırken, TIG kaynağı için argon veya Ar-He veya Ar-He-N₂ karışımları kullanılmıştır.

Suga T. ve ark. [88], yapmış oldukları çalışmada HT780 çelik plakaları birleştirmek için lazer ışını ve MAG arkını birleştiren hibrit kaynak işlemi için uygun kaynak parametrelerini ve sarf malzemelerini araştırmıştır. Ar+%20 CO₂, Ar+%2 O₂, Ar koruyucu karışım gazları kullanmıştır.

Nakamura T. ve ark. [89], yapmış oldukları çalışmada 100% Ar, %98 Ar+ %2 O₂, %95 Ar+ %5 O₂, %80Ar+ %20 CO₂, %70 Ar+ %30 CO₂ koruyucu gazlarda kararlı MIG kaynağı ile yüksek hızlı bir video kamera sistemi kullanarak istikrarsızlık durumunu araştırmıştır. Gözlem, dengesiz kaynağın davranışının, tel ucunda üretilen bir sıvı metal kolonunun dengesizliğinden kaynaklandığını göstermiştir. Sıvı metal sütununu kısaltmak için, küçük bir kaynak işlemi geliştirmiş eriyen oksijen miktarı ve koaksiyel çok katmanlı katı tel (koaksiyel hibrit katı tel) davranışı kontrol edilebilmiştir. Bu yöntemler kullanılarak kararlı bir kaynak elde edilebilmiştir.

Mvola B. ve ark. [90], yapmış oldukları çalışmada GMAW kaynaklı bağlantı özelliklerine koruyucu gaz karışımlarının ve bileşenlerinin etkilerini incelemiş koruyucu gazın uyarlanabilir kontrol edilebilirliği için yönergeler önermiştir. Çalışma, koruyucu gazın proses verimliliği ve proses çıktısı üzerindeki etkisi açısından bilimsel vaka çalışmalarını ve deneyleri incelemiştir. Çalışma, hem demirli metallerin (yani karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, yüksek mukavemetli çelikler) hem de demir içermeyen metallerin (yani alüminyum ve alaşımları, nikel ve alaşımları ve bakır ve alaşımları) kaynağı için koruyucu gazları dikkate almıştır.

Mirza R.M. ve ark. [91], yapmış oldukları çalışmada özlü ve katı metal inert gaz (MIG) kaynak telleri kullanılarak kaynakların değişken hidrojen içerikleri üzerindeki geniş

kapsamlı koruyucu gazların etkilerini gözlemlemek için çalışmalar yapmıştır. Ar, Ar+ %5 CO₂, Ar+ %20 CO₂, CO₂, Ar+ %2 O₂ karışım gazları kullanmıştır.

Souza D. ve ark. [92], yapmış oldukları çalışmada negatif polaritede neden daha yüksek bir biriktirme oranının olduğunu ve ayrıca kaynak boncuklarının geometrisi üzerindeki ilgili etkiyi anlamaya çalışmıştır. Bunu yapmak için, karşılaştırmalı MIG / MAG kaynakları, iki akım değerinde iki koruyucu gaz bileşimi kullanılarak hem pozitif hem de negatif polaritelerde üretmiştir. Ar+%2 O₂, Ar+%18 CO₂ koruyucu karışım gazları kullanmıştır. Arkın transfer modu ve davranışı senkronize profillemeye ile analiz etmiştir. Kaynak parçasının geometrik profilini, metalografik prosedürler vasıtasıyla değerlendirmiştir. Mevcut literatüre kısmen uymayan sonuçlardan, hem transfer modunun hem de kaynak parçasının morfolojisinin ve görünümünün koruyucu gazın bileşimine bağlı olduğunu görmüştür.

Ates H. [93], yapmış olduğu çalışmada iki düşük karbon çelik plakalar 180 A ve 28 V altında kaynak yapmıştır. MIG/ MAG kaynak makinesi ile CO₂, Ar ve karışımları koruyucu gaz olarak üç gazdan biri kullanmıştır. Gaz akış hızı 15 l/dak kullanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan veriler bir bilgisayar programı ile simüle edilmiştir. Programın girdi parametreleri gaz karışımlarından oluşurken, çıktıları sırasıyla çekme dayanımı, darbe dayanımı, uzama ve kaynak metali sertliği gibi mekanik özellikleri içermektedir. Sonuçlar, hesaplama sonuçlarının ölçülen verilerle iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Elagin V.P. [94], yapmış olduğu çalışmada yüksek alaşımlı tellerle mekanize çok katmanlı MIG/MAG kaynağı, kaynak metalinde füzyon eksikliği ve cüruf parçalarının oluşmasının fizibilitesi ile ilişki olduğundan dolayı farklı çeliklerin mekanize ark kaynağında koruyucu gaz olarak CO₂ +%3 N₂ ve CO₂ +%3 N₂ +%0.5 O₂ karışımlarının uygulanmasının fizibilitesini göstermiştir. Metal oksidasyonunun ağırlıklı olarak kaynak telindeki nikel miktarı arttıkça yoğunluğu artan dendritler arası bölgelerde meydana geldiğini göstermiştir. Nitrojen ile kaynak metali alaşımlaması, metal oksidasyon işleminin yoğunluğunu değiştirmemiştir ve biriken metal yüzeyden cüruf kabuğunun uzaklaştırılması üzerinde neredeyse hiçbir etkisi olmamıştır.

Shigeta M. ve ark. [95], yapmış oldukları çalışmada gaz metal ark kaynağı için bir koruyucu gaz içerisindeki CO₂ karışımının metal transfer sürecine etkisini, sırasıyla

argon plazma bölgesine ve metal plazma bölgesine uygun sıcaklık ölçüm metotları ile damlacığın büyüme-ayırma-transferindeki plazma karakteristiklerini ve dinamik davranışını gözlemleyerek araştırmıştır. %100 Ar, %95 Ar +%5 CO₂, %90 Ar +%10 CO₂ ve %85 Ar +%15 CO₂ olmak üzere dört koruyucu gaz türleri kullanmıştır. Koruyucu gaz akışını 20 l/dak ve kaynak hızını 45 cm/dak kullanmıştır. 25 mm SS400 yumuşak çelik levha kullanmıştır.

Sato T. [96], yapmış olduğu çalışmada koruyucu gazın kaynak sırasında oluşan zararlı gazların konsantrasyonu üzerindeki etkisini incelemiştir. MAG kaynağında, CO konsantrasyonunun Ar-CO₂ ile CO₂'den çok daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Alüminyum TIG kaynağında, Ar-He kullanımı ile ozon konsantrasyonunun Ar ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde azaldığını gözlemlemiştir.

Rykala J. ve ark. [97], yapmış oldukları çalışmada alaşımsız ve yüksek alaşımlı çelikler için tipik olan dolgu metalleri ve koruyucu gazlar kullanılarak MAG kaynak teknolojik koşullarının metal transfer fenomeni üzerindeki etkisine ilişkin araştırma sonuçlarını sunmuştur. Araştırma süreci ve belirli metal transfer türleri için parametre aralıklarını içeren tabloları, farklı elektrot telleri ve koruyucu gaz setleri için sunmuştur. Ar +%18 CO₂, Ar +%8 O₂, Ar +%10 CO₂ +%2 O₂, Ar +%2 O₂, Ar +%2.5 CO₂ koruyucu gaz karışımları kullanmıştır. Test sonuçlarının, metal transfer tipinin belirlenmesi gerektiğinde kaynak prosedürü şartnamelerinin ve kaynak prosedür yeterlilik kayıtlarının hazırlanmasında kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Kah P. ve ark. [98], yapmış oldukları çalışmada ark kaynağı prosesindeki gelişmeleri, özellikle de kaynak prosesi parametrelerinin kurulumunun dalga formu birikimi üzerindeki etkisini incelemiştir. İyi kaynaklanabilirlik, iyi mekanik bağlantı özellikleri ve kabul edilebilir işlem verimliliğinin, özellikle kısa devre, kontrollü polarite ve elektrot tel hareketi üzerinde gelişmiş güç kaynağı düzenlemesi yoluyla ince levhalar için elde edilebileceğini bulmuştur. Ayrıca, gaz akış parametrelerini ve tel hareket kontrolünü entegre eden bir algoritmanın yanı sıra elektrotun ucunda, akımın ve voltaj dalga biçiminin kontrolünün esnekliğine izin veren değişken bir sensör için ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

Liao M.T. ve ark. [99], yapmış oldukları çalışmada paslanmaz çeliğin koruyucu gaz kullanan özlü teller ve katı tellerle Gaz Metal Ark kaynağının karşılaştırmasını

yapmıştır. Özlü tel ile beş farklı koruyucu gaz bileşimi ve katı tel ile üç farklı bileşim kullanmıştır. Sıçrama oranları, kimyasal bileşimler, çekme dayanımı ve uzama testlerini yapmış ve rapor etmiştir. Özlü teller kullanılarak yapılan numunenin sıçrama oranlarının, katı tel kullanılarak yapılan numuneye göre daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Nihai gerilme mukavemeti ve uzama, koruyucu gazın bileşiminden etkilenmemiştir.

Dutra J.C. [100], yapmış olduğu çalışmada, saf CO₂ ve iki gaz karışımı olan argon ve %25 CO₂ kullanmıştır. Kullanılan kaynak prosedürleri yatay dolgu kaynaklarıdır, 1.2mm ER70S-6 tel, 14 l/dak gaz akışı, elektrot teli hızı 3,5 m/dak, ayarlı voltaj CO₂ için 21 V ve %25 CO₂ için 20 V ve bir kontak ucu çalışma mesafesi (CTWD) 15 mm kullanılmıştır. Ortalama akım yaklaşık 130A idi ve etkili akım 145A civarında olmuştur. Kaynaklar manuel olarak yürütülmüştür. MIG / MAG işleminde, bir gaz veya gaz karışımının özellikleri, kullanılacak kaynak güç kaynağının özellikleriyle bağlantılı olarak normalde dikkate alınmadığından dolayı bu çalışma, bunun güç kaynakları veya gazlarla ilgili olarak bazı ticari yönleri etkileyen bilimsel ve teknolojik bir zayıflık olduğunu göstermeyi amaçlamıştır. Ortaya çıkan görünümün, geometrisinin doğrulanmasının, osilograf okumasının ve histogramların ayrıntılandırılmasının gözlemlenmesiyle birlikte köşe kaynak testleri vasıtasıyla, koruyucu gazın kaynak kalitesi üzerindeki etkisinin basit bir sonucu olmadığı gösterilmiştir. Atıfta bulunulan gazın özellikleri, ancak kaynağın özelliklerine bağlı olmaktadır. Kısa devre ile metal transfer kaynağında gazların özellikleri ile kaynakların özellikleri arasındaki ilişki, kısa devre fazlarında kaynağın dinamiklerinin belirli, bağımsız bir şekilde düzenlenmesi ve arkın yeniden kurulması olasılığına göre belirlenmiştir. Kaynak güç kaynağı dinamiğine bağlı olarak saf CO₂ ve argon +%25 CO₂ gazlar ile eşdeğer kalitede kaynaklar elde edilebileceği gösterilmiştir.

Min D. ve ark. [101], yapmış oldukları çalışmada, koruyucu gazın etkisi argon (Ar), argon-helyumun %50/%50'sinin (Ar-He 50/50) ve argon-helyum-oksijen %49.5/%49.5/%1 (Ar-He-O₂ 49.5/49.5/1) kaynak akımı ve ark voltajı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önemli ölçüde saf argonun yan duvarlarda artmadan yeterli ıslanma sağlamıştır. Ancak, saf argon (Ar) başlangıç gazı olarak idealdir. Koruyucu gaz olarak Ar-He 50/50 veya Ar-He-O₂ 49.5/49.5/1 arkı arttırır sıcaklık ve kaynak havuzu hareket sağlar ve böylece herhangi bir ihtiyaç duymadan yan duvarlarda yeterli bir ıslatma

gerçekleşmiştir Kaynak akımını ve ark voltajını arttırıldığında Ar-He-O₂ kullanan oran 49.5/49.5/1 Ar-O 50/50 kaynak sıçraması gerçekleşmiştir. Çalışmanın amacı olan, yüksek spin arklı dar aralıklı MAG sistemi ile su verilmiş ve temperlenmiş düşük karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kalite ve ekonomik verimliliği artırma olanakları değerlendirilmiştir.

Silva R.H.G. ve ark. [102], yapmış oldukları çalışmada, kontrollü kısa devre MIG / MAG kaynak işleminin (CCC) geliştirilmesiyle ilgili olarak, MIG / MAG sürecini en çok ilgilendiren metal transfer modlarını ele almıştır. Birincil amaç, her ikisi de CCC'nin temeli olan darbeli ark ve kısa devre ark kaynağını incelemek olmuştur. Ayrıca metal transfer dinamikleri ile ilgili olarak damla oluşumu ve ona etki eden kuvvetler gözden geçirilmiştir. Daha eksiksiz bir anlayış sağlamak için, ekonomik konular da dahil olmak üzere koruyucu gazlarla ilgili hususlar açıklanmıştır. Herhangi bir kaynak için önemli özellikler olduklarından, kısa devre MIG / MAG kaynak penetrasyonu ve ısı girdisi ile ilgili bilgiler de sağlanmıştır.

Filho D.F. ve ark. [103], yapmış oldukları çalışmada, ferritik paslanmaz çelik ile çeşitli koruyucu gaz karışımları (saf argon ve oksijen ve karbondioksit ile karıştırılmış argon) kullanarak CTWD'nin ortalama kısa devre transfer süresi, ortalama kaynak akımı ve bir kaynak boncuğunun kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, CTWD'nin koruyucu gaz türünden bağımsız olarak kaynak akımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Koruyucu gaz, argonda oksijen veya karbondioksit artışı ile kaynak boncuğunun görünümünü değiştirerek oluşan cüruf miktarını ve sıçrama miktarını önemli ölçüde değiştirmiştir.

Soonrach R. ve ark. [104], yapmış oldukları çalışmada, oksijenin metal transfer modları ve geçiş akımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Kaynak akımlarının ve çeşitli kaynak gazlarının etkisi de incelenmiştir. Kullanılan kaynak akımları 90 ila 310 A arasında değişmiştir. Bu çalışmada yer alan on kaynak gazı kategorisi 2 gruba ayrılmıştır, %5 CO₂/Ar ve %15 CO₂/Ar. Her gruba %0 ile %4 arasında oksijen gazı eklenmiştir. Yüksek hızlı kamera kullanılarak metal transfer davranışları ve modları gözlemlenmiştir. Metal transfer hızı, damlacık boyutu ve geçiş akımı ölçülmüştür. Sonuç, %2-3 oksijen ilavesi ile kısa devre/küresel ve küresel/sprey geçiş akımlarına, geleneksel %5 CO₂/Ar ve %15 CO₂/Ar ile karşılaştırıldığında daha düşük kaynak akımında ulaşılabileceğini göstermiştir (oksijen ilavesi yok). Bununla birlikte, gaz

karışımlarındaki aşırı oksijen miktarı, özellikle %5 CO₂/Ar'da hem kısa devre/küresel hem de küresel/sprey geçiş akımlarını artırabildiği saptanmıştır.

Lu, S., ve ark. [105], yapmış oldukları çalışmada, argon bazlı koruyucu gazdaki oksijen veya karbon dioksit konsantrasyonunun arttırılmasının, koruyucu gazdaki oksijen veya karbon dioksit konsantrasyonu hacimce %0,6'dan daha düşük olduğunda kaynak metali oksijen içeriğinde bir artışa yol açtığını gözlemlemiştir. Ancak, Ar bazlı koruyucu gazda O₂ veya CO₂ konsantrasyonu hacimce %0,6'dan yüksek olduğunda, kaynak metali oksijeni 200 ppm–250 ppm civarında tutulmuştur. Koruyucu gazdaki O₂ veya CO₂ konsantrasyonu hacimce %0,6'dan fazla olduğunda ağır bir oksit tabakası oluşmuştur. Oksit ürünler için Fe, Si, Cr ve Mn'nin sıvı demirdeki oksijen ile denge reaksiyonlarının termodinamik hesaplamasına göre FeO, SiO₂, Cr₂O₃ ve MnO ve kaynak metalindeki deneysel oksijen içeriği, Cr₂O₃ ve SiO₂ oksitler muhtemelen kaynak işlemi sırasında ark kolonunun altındaki sıvı havuz yüzeyinin çevre alanında olduğu gözlemlenmiştir.

9. MATERYAL VE METOD

9.1 Deneysel Metotlar

Bu araştırmada, TS EN ISO 15614-1 Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırması-kaynak prosedür deneyi standardı temel alınarak; kaynak işlemi için oluşturulan yarı otomatik kaynak mekanizmasında MAG (Metal Aktif Gaz Kaynağı) kaynak yöntemi ile S355J2+N yapı çeliğinin kaynağı yapılmıştır. Karışım gazları etkileri de göz önünde bulundurularak kaynak hızları belirlenmiştir. Bu şekilde 9 adet gaz karışımı ve 3 hız değeri kullanılarak toplamda 27 adet kaynaklı parça elde edilmiştir. Kaynak edilmiş parçalardan elde edilen test numunelerinin ana malzeme, kaynak metali ve ITAB bölgelerinde değişken gaz karışımlarının ve kaynak hızlarının etkisi mikro yapısal incelemeleri, sertlik ölçümü testleri, Charpy V-entikli darbe testi, çekme ve eğme testleri, SEM görüntüleri ve EDS analizleri gerçekleştirilerek incelenmiştir.

9.2 Deneysel Malzemeler

9.2.1 Ana malzeme

Bu araştırmada, S355J2+N yapı eliğı 150x250x10 mm boyutlarında toplam 108 adet olacak şekilde plakalardan kesilmiş, freze yardımı ile V kaynak ağızları açılmıştır. S355J2+N yapı eliğinin EN 10025 standartına göre, kimyasal içeriği % ağırlık olarak izelge 9.1’ de ve mekanik özellikleri de izelge 9.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 9.1 S355J2+N yapı çeliğın kimyasal birleşimi (% ağırlık)

C	Mn	P	Si	Cu	N	S	Al	B
0,1758	1,431	0,0105	0,0092	0,0186	0,0071	0,0056	0,0365	0,0001

V	Ti	Nb	Cr	Ni	Mo	As	Sn
0,0024	0,0011	0,0040	0,0192	0,0295	0,0020	0,0007	0,0015

Çizelge 9.2 S355J2+N yapı çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Tokluk (J) (-20 C ⁰)
380	537	27	168

9.2.2 MAG kaynak ilave metali

Çalışmada S355J2+N yapı çeliğinin çok pasolu birleştirmelerinde AWS/ASME SFA-5.18 standartına göre, ER70S-6 (EN ISO 14341-A G46 4 Lot numarası: 27010708) kodlu Magmaweld MG 3 marka 1.2 mm 15 Kg MAG ilave metali kullanılmıştır. Bu ilave kaynak metali S355J2+N yapı çeliği için karışım gazlarında kullanılan yüksek mukavemetli ve tokluğa sahip MAG kaynak telidir. AWS/ASME SFA-5.18 standartına göre, kaynak ilave telinin kimyasal bileşimi % ağırlık olarak Çizelge 9.3'te ve mekanik özellikleri de Çizelge 9.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 9.3 Magmaweld MG 3 kaynak teli kimyasal içeriği (%ağ.)

Elementel % ağırlık		
C	Si	Mn
0,07	0,95	1,7

Çizelge 9.4 Magmaweld MG 3 kaynak teli mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Tokluk (J) (-40 C ⁰)
460	570	30	70

9.2.3 Kaynak Gazı Karışımları

MAG Kaynak yönteminde kullanılmak üzere 9 adet 10'ar litrelik özel gaz karışımları, gaz karışım laboratuvar sertifika analizleri ile birlikte Linde firmasından tedarik edilmiştir. Gaz karışım tüpleri Şekil 9.1'de gösterilmektedir. Bu gaz karışımları ve oranları şu şekildedir:

(%93 Ar+%5 CO₂+%2 O₂), (%88 Ar+%10 CO₂+%2 O₂), (%83 Ar+%15 CO₂+%2 O₂), (%92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂), (%87 Ar+%10 CO₂+%3 O₂), (%82 Ar+%15 CO₂+%3 O₂), (%91 Ar+%5 CO₂+%4 O₂), (%86 Ar+%10 CO₂+%4 O₂), (%81 Ar+%15 CO₂+%4 O₂).



Şekil 9.1 MAG kaynağında kullanılan karışım gaz tüpleri.

9.2.4 MAG kaynak makinesi

Çalışmada yapı çeliğini birleştirmek için MAG Kaynak ünitesinden yararlanılmıştır. Gök yapı San. Ve Tic. A.Ş.'ye ait, Nuriş marka 500 w-wrs model, 4 kaba 10 ince kademeli doğru akım (DC) MAG Kaynak makinesine ait özellikler Çizelge 9.5'te verilmiştir. Kullanılan MAG Kaynak makinesi Şekil 9.2'de gösterilmiştir.



Şekil 9.2 MAG kaynağında kullanılan kaynak makinesi.

Çizelge 9.5 Kaynak makinesi özellikleri

Kaynak makinesinin özellikleri	Değerleri
Şebeke gerilimi (3 faz, 50/60 Hz)	380 V
Akım ayar aralığı	50-500 A
Gerilim ayar aralığı	18-46 V
Nominal kaynak akımı (%60 devrede kalma oranı)	500 A
Sürekli kaynak akımı (%100 devrede kalma oranı)	350 A
Giriş Gücü	23 kVA
Giriş akımı	35 A
Tel süzme hızı aralığı	2-20 m/dk
Torç	3 mm
Şase kablosu ve pensesi	3 mm
Kaynak teli çapı	0,60-0,80-1,00-1,20 mm
Akım ayar şekli	4x10 kademe
Akım ayar tipi	DC
Makine boyutları	W:515xH:915xD:1025 mm
Ağırlık	177 Kg
Gaz regülatörü ve ısıtıcı	1 ad

9.2.5 Kaynak mekanizması

MAG kaynak işleminde kullanılmak üzere yarı otomatik olan kaynak mekanizması oluşturulmuştur. Yarı otomatik kaynak mekanizmasının öncelikle EK-1’de verilen teknik resmi çizilmiştir. Şekil 9.3’te gösterilen 30x90 alüminyum sigma profiller teknik resimdeki ölçülerine göre kestirilmiştir. Bağlantı aparatlarıyla mekanizmanın iskeleti oluşturulmuştur. Şekil 9.4’de gösterilen alüminyumdan üretilmiş olan SK8 tip 8 mm mil tutucu, millerinin sabitlenmesi için kullanılmıştır. Mil yatakları iskeletin üzerine terazide olacak şekilde sabitlenmiştir.



Şekil 9.3 Alüminyum sigma profil.



Şekil 9.4 Mil tutucu.

Lineer yataklar millere monte edilmiştir. Alüminyum tablalara CNC’de delik açılmıştır. Üzerinde kaynak yapılacak tabla, arabaların üzerine monte edilmiştir. Diğer tabla, torç tutacağı için iskeletin üzerine sabitlenmiştir. Daha sonra Şekil 9.5’te gösterilen Nema 23 tipi step motor, iskelete monte edilip Şekil 9.6’da gösterilen kaplinle mile bağlanmıştır. Şekil 9.7’de gösterilen Nema 23 tipi iş parçası, step motoru sabitleyebileceğimiz L tipi bir aparatır. Tutucunun montajı için 4 adet 16mm uzunluğunda M4 civata, somun ve pullar kullanılmıştır. Nema 23 tipi step motoru 1.47 Nm tork, 4.9 Amper akım, 57x57 mm flanş ölçüsü, 79 mm boy, 6 adet kablo ve üçgen bağlamaya (siyah+sarı:U, beyaz+mavi:V, kırmızı+kahve:W) sahiptir. Kaplin, 6.35 mm mili 8 mm’ye çevirmek için kullanılacaktır. Alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Kaplin 6.35x8 mm shaft, 25 mm uzunluk, 19mm çap, 16 gram net ağırlığa sahiptir.



Şekil 9.5 Step motor.



Şekil 9.6 Kaplin 6.35x8 mm.



Şekil 9.7 Step motor tutucu.

Torç tutacağı tablanın üzerine Şekil 9.8’de gösterilen vidalı mil ile monte edilmiştir. Milin ucuna torcu tutan kelepçe kaynatılmıştır. Şekil 9.9’da gösterilen malzemesi CK55 olan miller; 8 mm çapında 500 mm uzunluğunda, indüksiyon sertleştirilmiş ve kromla kaplanmıştır. Aşınmalara karşı dayanıklı olup dış yüzeyinde sert bir tabakaya sahiptir. Yüzey sertlik değeri: HRC 62 (+/-2) 0,4-2,2 mm ISO h7 olan bu miller hareket mekanizmasında kullanılmıştır. Şekil 9.10’da verilen KP08 model rulmanlı yatak; malzemesi galvaniz döküm, çapı 8 mm, ölçüleri 55x13x28mm (boy/en/yükseklik)’dir. Şekil 9.11’de verilen SCE8UU lineer rulman; 8mm iç çapına, 4 adet M4 vida açılmış bağlantı deliğine sahiptir.



Şekil 9.8 Vidalı mil.



Şekil 9.9 Mil.



Şekil 9.10 Rulmanlı yatak.



Şekil 9.11 Lineer rulman.

Bu işlemlerden sonra yazılım yapılmıştır ve elektronik devre kurulmuştur. Devre iskeletin üzerine monte edilip motora bağlanmıştır. Yazılım olarak Arduino Uno kullanılmıştır. Elektronik devre elemanları olarak ise buton, LCD (Liquid Crystal Display) yani sıvı kristal ekran görüntü teknolojisi, tel sargılı WX118 tip potansiyometre, sigorta yuvası kullanılmıştır. Elektrik sigortası, devreden geçen akımın belli bir değerin üstüne çıkmasını engelleyerek devre elemanlarının ve devreye bağlı alıcıların zarar görmesini meydana gelebilecek kaza ve arızalara karşı koruma sağlayan açma elemanlarıdır. Sigorta devreye seri bağlanarak fazla akımın geçmesini engeller. Şekil 9.12’de mekanizmanın iskeleti, Şekil 9.13’te step motor ve parça tutucuların bağlanmış hali, Şekil 9.14’te torç tutacağı, Şekil 9.15’te Led ekran çıktısı, Şekil 9.16’da yazılım panosu gösterilmektedir.



Şekil 9.12 İskelet.



Şekil 9.13 Step motor ve parça tutucular.



Şekil 9.14 Torç tutacağı.



Şekil 9.15 Led ekran çıktısı.



Şekil 9.16 Yazılım panosu.

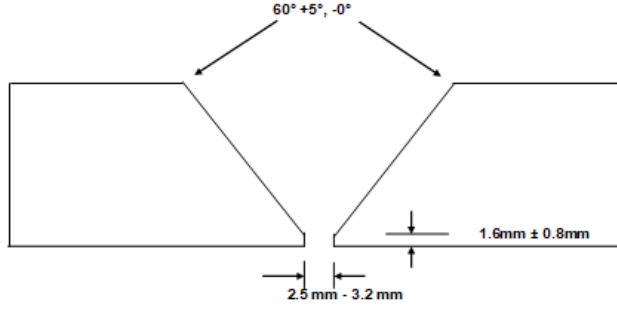
Kaynak mekanizmasının son halleri Şekil 9.17’de verilmiştir. Oluşturulan bu kaynak mekanizmasının kaynak işlemi yapılması esnasındaki hızları sırasıyla 10cm/dak, 15 cm/dak ve 22,5 cm/dk olarak seçilmiştir.



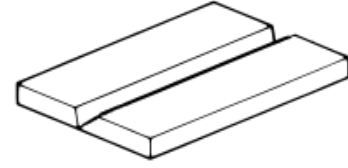
Şekil 9.17 MAG kaynağında kullanılan kaynak mekanizması.

9.3 Kaynak İşlemi Öncesi Deney Numunesinin Konumlandırılması

S355J2+N yapı çeliği 150x250x10 mm ölçülerinde kesilerek kaynak ağızları açılmıştır. Kaynak ağızları karşılıklı olarak gönye ve terazi yardımı ile hizalanarak aynı malzemeden kesilerek yapılmış ve kaynak ağzına oturacak şekilde hazırlanan parçalar yardımı ile puntalanmış ve kaynağa hazır hale getirilmiştir. Daha sonra TS ISO EN standardında belirtilen PA pozisyonunda çalışma masasına sabitlenmiştir. Şekil 9.18’de kaynak ağzı detayı ve Şekil 9.19’da PA pozisyonu gösterilmiştir.



Şekil 9.18 Kaynak ağzı detayı.



Şekil 9.19 PA kaynak pozisyon detayı.

9.3.1 Deney numunelerinin birleştirilmesi ve kaynak parametreleri

Kaynak işlemleri dokuz farklı gaz karışımı ve her bir gaz karışımı için üç farklı hızda gerçekleştirilmiştir. Bu hızlar sırasıyla 10cm/dak, 15 cm/dak ve 22,5 cm/dk dır. Yapılan ön çalışmalarda kök nüfuziyet problemleri veya kökte sarkma hataları söz konusu olduğu için bütün çalışma boyunca bakır altlık kullanılmıştır. Parçanın kaynak öncesi montajı Şekil 9.20’de gösterilmiştir.



Şekil 9.20 Kaynak öncesi montaj.

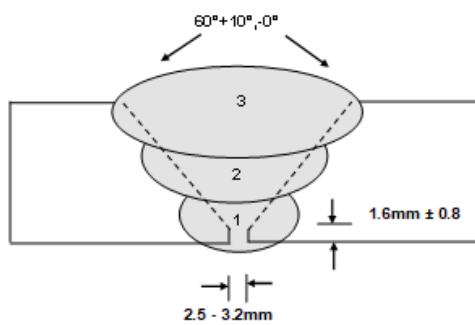
Parçada ani ısı girdisi sebebi ile oluşacak çarpılmaları en düşük seviyeye indirebilmek amacı ile çoklu noktalarda sabitlenmişlerdir. Montaj sonrası kaynak ağzı tekrar mekanik temizlenerek, 20-25 °C lık bir ön ısıtma uygulanarak malzemedan nem uzaklaştırılmıştır. Uygun şartlar sağlandıktan sonra 10cm/dak ve 15 cm/dak hızlar için kök pasodan başlanarak, sıcak paso ve bir kapak paso, 22,5 cm/dak hız için ise kök paso, sıcak paso ve iki kapak paso olacak şekilde MAG

kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. MAG kaynak yönteminde dokuz farklı gaz karışımı 12 lt/dk debi ile tel sürme hızı 4,9 m/dak olarak kullanılmıştır. Gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde gazın etkilerinin temel anlamda inceleneceğinden dolayı gaz debileri, amper, voltaj ve tel sürme hızları sabit tutulmaya çalışılmıştır. Şekil 9.20’de MAG kaynak yöntemi gerçekleştirilmiş kök paso ve Şekil 9.21’de MAG kaynak yöntemi gerçekleştirilmiş kapak paso gösterilmektedir.

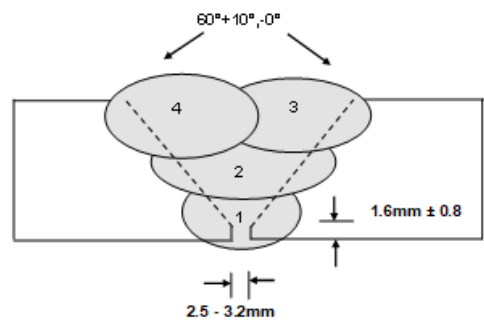


Şekil 9.21 Kök paso ve kapak paso.

MAG Kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmiş olan birleştirmenin kaynak paso katmanları ve kaynak paso detayları Şekil 9.22’de ve Şekil 9.23’de gösterilmiştir.



Şekil 9.22 10cm/dak ve 15cm/dak hızda kaynak pasoları.



Şekil 9.23 22,5 cm/dak hızda kaynak pasoları.

Kaynak gaz karışımlarına göre ve değişken hızlara göre gerçekleştirilmiş olan kaynaklı parça kodlanması Çizelge 9.6’da verilmiştir.

Çizelge 9.6 Kaynak gaz karışımları ve hızları ile ilgili kodlama

Gaz Karışımı	Hız (cm/dak)	Kod Numarası
%93 Ar+%5 CO ₂ +%2 O ₂	10	G1H1
%93 Ar+%5 CO ₂ +%2 O ₂	15	G1H2
%93 Ar+%5 CO ₂ +%2 O ₂	22,5	G1H3
%88 Ar+%10 CO ₂ +%2 O ₂	10	G2H1
%88 Ar+%10 CO ₂ +%2 O ₂	15	G2H2
%88 Ar+%10 CO ₂ +%2 O ₂	22,5	G2H3
%83 Ar+%15 CO ₂ +%2 O ₂	10	G3H1
%83 Ar+%15 CO ₂ +%2 O ₂	15	G3H2
%83 Ar+%15 CO ₂ +%2 O ₂	22,5	G3H3
%92 Ar+%5 CO ₂ +%3 O ₂	10	G4H1
%92 Ar+%5 CO ₂ +%3 O ₂	15	G4H2
%92 Ar+%5 CO ₂ +%3 O ₂	22,5	G4H3
%87 Ar+%10 CO ₂ +%3 O ₂	10	G5H1
%87 Ar+%10 CO ₂ +%3 O ₂	15	G5H2
%87 Ar+%10 CO ₂ +%3 O ₂	22,5	G5H3
%82 Ar+%15 CO ₂ +%3 O ₂	10	G6H1
%82 Ar+%15 CO ₂ +%3 O ₂	15	G6H2
%82 Ar+%15 CO ₂ +%3 O ₂	22,5	G6H3
%91 Ar+%5 CO ₂ +%4 O ₂	10	G7H1
%91 Ar+%5 CO ₂ +%4 O ₂	15	G7H2
%91 Ar+%5 CO ₂ +%4 O ₂	22,5	G7H3
%86 Ar+%10 CO ₂ +%4 O ₂	10	G8H1
%86 Ar+%10 CO ₂ +%4 O ₂	15	G8H2
%86 Ar+%10 CO ₂ +%4 O ₂	22,5	G8H3
%81 Ar+%15 CO ₂ +%4 O ₂	10	G9H1
%81 Ar+%15 CO ₂ +%4 O ₂	15	G9H2
%81 Ar+%15 CO ₂ +%4 O ₂	22,5	G9H3

Çalışmada yürütülen MAG Kaynak yönteminin her paso kaynaklarında amper, voltaj, hız gibi parametrelerin kayıtları tutularak Çizelge 9.7’de verilmiştir.

Çizelge 9.7 Kaynak parametreleri

KOD NUMARASI	PASO	AMPER (A)	VOLTAJ (V)	KAYNAK HIZI (cm/dak)	ISI GİRDİSİ (Joule/mm)
G1H1	1	140	18,9	10	1,270
	2	147	18,3	10	1,291
	3	147	18,3	10	1,291
G1H2	1	139	19	10	1,268
	2	143	18,3	15	0,837

	3	143	18,3	15	0,837
G1H3	1	140	18,9	10	1,270
	2	140	18,3	22,5	0,547
	3	139	18,3	22,5	0,543
	4	136	18,4	22,5	0,534
G2H1	1	140	19	10	1,277
	2	145	18,5	10	1,288
	3	138	18,6	10	1,232
G2H2	1	136	19,1	10	1,247
	2	148	18,3	15	0,867
	3	145	18,4	15	0,854
G2H3	1	138	19,1	10	1,265
	2	138	18,6	22,5	0,548
	3	138	18,6	22,5	0,548
	4	143	18,5	22,5	0,564
G3H1	1	145	19	10	1,322
	2	145	18,3	10	1,274
	3	143	18,3	10	1,256
G3H2	1	136	19,1	10	1,247
	2	148	18,4	15	0,871
	3	144	18,5	15	0,852
G3H3	1	135	18,7	10	1,212
	2	142	18,6	22,5	0,563
	3	147	18,5	22,5	0,580
	4	146	18,4	22,5	0,573
G4H1	1	144	19,1	10	1,320
	2	146	18,5	10	1,296
	3	144	18,5	10	1,279
G4H2	1	142	19	10	1,295
	2	140	18,5	15	0,829
	3	142	18,5	15	0,841
G4H3	1	138	19	10	1,259
	2	140	18,5	22,5	0,553
	3	145	18,5	22,5	0,572
	4	144	18,4	22,5	0,565
G5H1	1	141	19	10	1,286
	2	145	18,5	10	1,288
	3	148	18,3	10	1,300
G5H2	1	145	19	10	1,322
	2	145	18,5	15	0,858
	3	150	18,3	15	0,878
G5H3	1	140	19,1	10	1,284
	2	144	18,3	22,5	0,562
	3	160	18,5	22,5	0,631
	4	148	18,5	22,5	0,584
G6H1	1	143	18,8	10	1,290
	2	144	18,6	10	1,286
	3	144	18,5	10	1,279

G6H2	1	142	19	10	1,295
	2	150	18,5	15	0,888
	3	145	18,5	15	0,858
G6H3	1	146	18,8	10	1,318
	2	150	18,5	22,5	0,592
	3	155	18,3	22,5	0,605
	4	150	18,3	22,5	0,586
G7H1	1	148	19	10	1,350
	2	145	18,6	10	1,295
	3	145	18,5	10	1,288
G7H2	1	143	19	10	1,304
	2	145	18,6	15	0,863
	3	144	18,5	15	0,852
G7H3	1	146	19,1	10	1,339
	2	153	18,3	22,5	0,597
	3	155	18,3	22,5	0,605
	4	150	18,3	22,5	0,586
G8H1	1	148	18,9	10	1,343
	2	155	18,3	10	1,362
	3	155	18,3	10	1,362
G8H2	1	150	18,8	10	1,354
	2	155	18,3	15	0,908
	3	155	18,3	15	0,908
G8H3	1	148	18,8	10	1,336
	2	158	18,9	22,5	0,637
	3	158	18,9	22,5	0,637
	4	150	18,5	22,5	0,592
G9H1	1	142	18,3	10	1,247
	2	145	18,3	10	1,274
	3	140	18,3	10	1,230
G9H2	1	142	18,3	10	1,247
	2	143	18,3	15	0,837
	3	145	18,2	15	0,844
G9H3	1	140	18,8	10	1,263
	2	140	18,9	22,5	0,564
	3	142	18,7	22,5	0,566
	4	155	18,5	22,5	0,612

9.4 Testler ve Analizler

MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen deney parçasının kaynaklarının hatalarını tespit edebilmek için tahribatsız test yöntemlerinden Ultrasonik Test (UT) ve Manyetik Parçacık Testi (MT) muayenelerine başvurulmuştur. Şekil 9.24’de UT testi ve Şekil 9.25’te manyetik parçacık testi gösterilmiştir.



Şekil 9.24 Ultrasonik test.



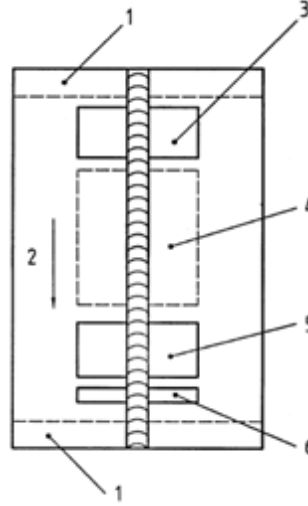
Şekil 9.25 Manyetik parçacık test.

Manyetik parçacık testi yapılacak bölge önce temizlenmiş daha sonra beyaz manyetik kontrast boyası püskürtülerek beklenmiştir. Daha sonra manyetik alanı oluşturacak Yoke yani manyetize edici sekman, parçaya dokundurulmuştur. Yoke'nin iki ucu arasında geçici manyetik alan oluşturulur ve demir tozu içeren siyah manyetik sprej uygulanarak çatlak ve diğer yüzey hataları için gözle muayene gerçekleştirilmiştir.

Muayene sonuçlarında herhangi bir hata tespit edilmeyen numuneler mikro yapı incelemesi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile TS ISO EN ve ASTM standartlarında belirtilen ölçülerde ve sayıda numuneler çıkarılmıştır. Muayene sonuçlarında hata tespit edilen numunelerin ise kaynak işlemleri aynı parametrelerde tekrar yapılmış sonuç dataları güncellenmiş ve tekrar Ultrasonik test ve Manyetik parçacık testi gerçekleştirilmiştir.

9.4.1 Deney numunelerinin yeri ve alınması

TS EN ISO 15614 standartı deney numune bölgelerini detaylı bir şekilde açıklamış olup yapılan çalışmada bu standart baz alınarak deney numuneleri yerleri belirlenmiştir. Şekil 9.26'da bu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 9.26 Numune bölgeleri.

Bu bölgeler sırası ile;

1. Hurda kısım 25mm
2. Kaynak yönü
3. Bir adet çekme numunesi ile eğme numunelerinin alınabileceği bölge
4. Çentik darbe test numuneleri ile gerektiğinde ilave test numuneleri
5. Bir adet çekme numunesi ile eğme numunelerinin alınabileceği bölge
6. Bir makro ve bir sertlik numuneleri alınacak bölgedir.

Kaynak işlemleri biten deney numunelerinde öncelikli olarak standartta hurda diye nitelendirilen bölgeler bor yağı ilaveli şerit testere ile kesilerek atılmıştır. Bir sonraki aşama olarak şerit testere yardımı ile makro numuneleri ile sertlik numuneleri çıkarılarak numune kodlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için kullanılan Cuteral marka şerit testere Şekil 9.27’de gösterilmiştir. Daha sonrasında malzemede bulunan ufak miktarlarda bölgesel çarpılmalar nedeniyle 10 mm et kalınlığına sahip kaynak yapılmış parçalar freze yardımı ile 7.5 mm’lik et kalınlığına sahip olacak şekilde talaş kaldırılmıştır. Bu çarpılmaları ortadan kaldırmak için yapılmış bir işlem olup ısı girdisini engellemek amacı ile soğutma sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır. Bu işlem için kullanılan Vouga marka freze Şekil 9.28’de gösterilmiştir. Şekil 9.26’da gösterilen numune bölgelerinden test numunelerini elde etmek için kullanılan Arion marka CNC Şekil 9.29’da verilmiş olup, son boyutlarına getirilmiş olan çekme, eğme ve çentik darbe test numune örnekleri Şekil 9.30’da gösterilmiştir.



Şekil 9.27 Şerit testerede kesim.



Şekil 9.28 Freze tezgahında talaş kaldırma.



Şekil 9.29 CNC makinesinde kesim.



Şekil 9.30 CNC’de işlenen eğme, çekme, çentik darbe test numuneleri.

9.4.1.1 Ana malzeme ve kaynaklı birleştirmenin mikro yapı incelemeleri

Çalışmada ana malzeme ve kaynak bölgesini içeren numune TS EN ISO 15614 standardına göre belirlenerek çıkartılmıştır. Bu incelemeler için hazırlanan numune sırasıyla 60, 120, 400, 600, 800, 1200 numaralı zımparalarla zımparalanmış ardından alümina oksit pastası ile parlatma çuhasında parlatılmıştır. Bu işlem için kullanılan Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne ait, Metkon marka cihaz Şekil 9.31’de gösterilmiştir. Dağlama işlemi %2’lik Nital çözeltisinde yaklaşık 3 saniye tutularak yapılmıştır. Şekil 9.32’de dağlanmış makro test numunesi örneği gösterilmiştir.



Şekil 9.31 Zımparalama ve parlatma cihazı. **Şekil 9.32** Makro test numunesi.

Numunenin mikro yapısının incelenmesinde Nikon marka optik mikroskobundan 50X, 100X, 400X büyütme için yararlanılmıştır. Bu işlem için kullanılan Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne ait, optik mikroskobu Şekil 9.33'de gösterilmiştir. Her bir numunenin kapak bölgesindeki pasodan, kapağın sağ ve sol tarafındaki ITAB bölgelerinden, kök bölgesindeki pasodan, kökün sağ ve sol tarafındaki ITAB bölgelerinden, kaynak dolgu metalinden ve ana metalden olmak üzere görüntüleri alınmış ve bu görüntülerin her biri için 50X, 100X, 400X büyütme yapılarak toplamda 30 adet mikroskop görüntüsü alınmıştır. Bu işlem 27 numune için de aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9.33 Optik mikroskop.

9.4.1.2 Ana malzeme ile kaynak metalinin SEM ve EDS incelemeleri

Çalışmada, kaynak metali bölgesine Charpy V-çentik darbe testi gerçekleştirilmiş numunelerin kırık yüzeyleri kullanılmıştır. Bu numunelerin yanısıra optik

mikroskobu için hazırlanmış olan parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numuneler de bu çalışma da kullanılmıştır. Kırık yüzeyli numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile 250X, 500X, 1000X, 2000X büyütme görüntüleri çekilmiş ve elementel analizleri (EDS) yapılmıştır. Aynı işlemler parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numunelere de uygulanmıştır. SEM ve EDS işlemleri için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne ait, Şekil 9.34'de gösterilen TESCAN MIRA3 XMU marka ve model cihaz kullanılmıştır.



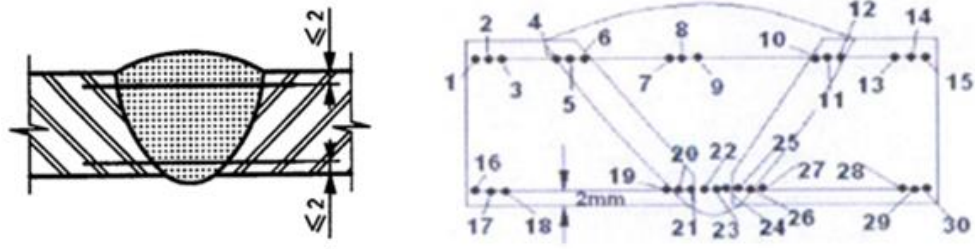
Şekil 9.34 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

9.4.1.2 Ana Malzeme ile Kaynak Metalinin Mekanik Testleri

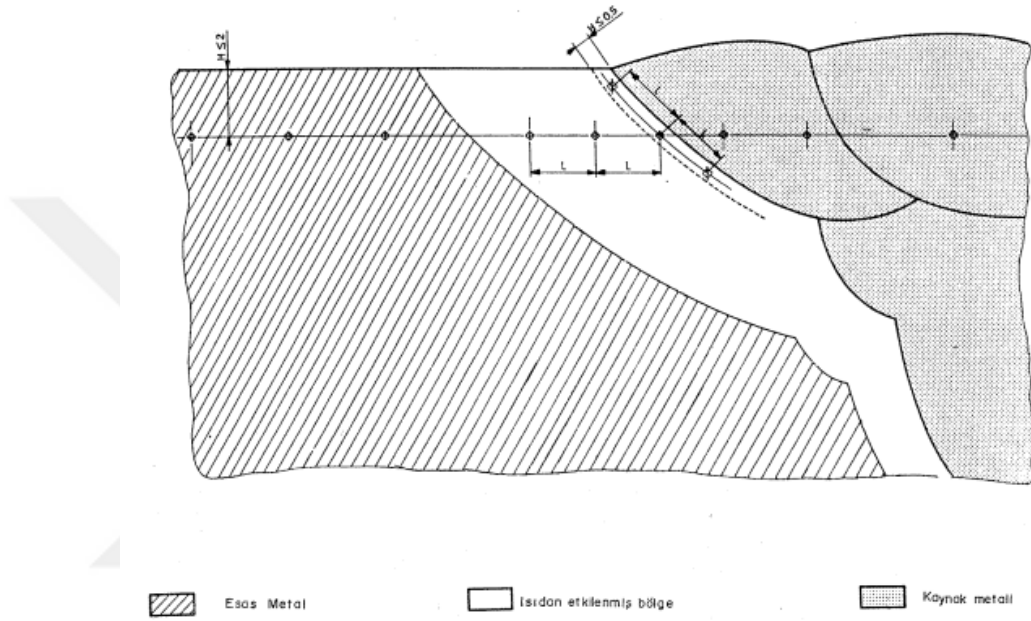
Çalışmada kullanılan farklı kaynak hızları ve farklı gaz karışımlarının kaynağının mekanik özelliklerine etkisi incelenmek üzere yapılmıştır. Mekanik testler; sertlik ölçümü, çekme deneyi, eğme testi ve Charpy v-çentikli darbe testi olarak dört başlıkta yapılmıştır.

9.4.1.2.1 Ana malzeme ile kaynak metalinin sertlik ölçümü

Kaynaklı deney numunesinin; kaynak dolgu metali, ITAB bölgesi ve ana malzeme olmak üzere toplam 30 noktadan sertlik ölçümleri TS EN ISO 15614, TS EN 1043-2 ve TS EN ISO 6507-1 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.35'te ve Şekil 9.36'da sertlik ölçümü alınan bölgeler detayları ile gösterilmiştir.



Şekil 9.35 TS Standartına uygun olarak sertlik testi bölgeleri.



Şekil 9.36 TS EN 1043-2 standartına uygun olarak kaynaklı malzemede sertlik alınan bölgelerin detaylı gösterimi.

Vickers Sertlik taramaları Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne ait, HV 0,5 kg yük kapasiteli Shimadzu marka Vickers Sertlik Ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.37'de bu işlem için kullanılan sertlik ölçüm cihazı görülmektedir. İlk numune olan G1H1 numunesi için Şekil 9.35'de gösterilen bölgelerden toplam 30 adet sertlik değeri elde edilmiştir. Bu işlem toplam 27 adet kaynaklı numune için de uygulanmıştır.



Şekil 9.37 Sertlik ölçüm cihazı.

9.4.1.2.2 Ana malzeme ile kaynak metalinin charpy v-çentik darbe testi

Bu testte, S355J2+N yapı çeliğinin farklı gaz karışımları ve farklı hızlarda MAG kaynak yöntemi ile kaynatılmasının tokluğuna etkisi incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla TS EN ISO 15614 standartına göre ilgili bölgelerden, ASTM A370 ve ASTM E23 standartlarına göre numune ölçüleri baz alınarak ve TS EN ISO 15614 ve TS EN 875 standartlarına göre kaynak metali ve ITAB bölgelerinden üçer adet numune hazırlanmıştır, Şekil 9.38’de gösterilmiştir. Numune boyutları kaynak metalinin ve ITAB bölgesinin hafif dağlanarak belirlenmesi için 10x7,5x110 mm olarak bor yağı soğutmalı CNC freze yardımı ile talaş kaldırılarak işlenmiştir. Numune daha sonra Şekil 9.39’da de gösterildiği üzere standartlara uygun olarak kesilerek 10x7,5x55 son boyutlarına ulaştırılarak çentiği açılmış ve test için hazır hale getirilmiştir.

Çentik darbe testinde kullanılan numunelere V-çentik açmak için Microanaliz marka Newton V model Charpy çentik açma cihazı kullanılmıştır. Şekil 9.40’da bu işlem için kullanılan Kocaeli Üniversitesi’ne ait, Charpy-V çentik açma cihazı görülmektedir.



Şekil 9.40 Çentik darbe testi için V-çentik açma cihazı

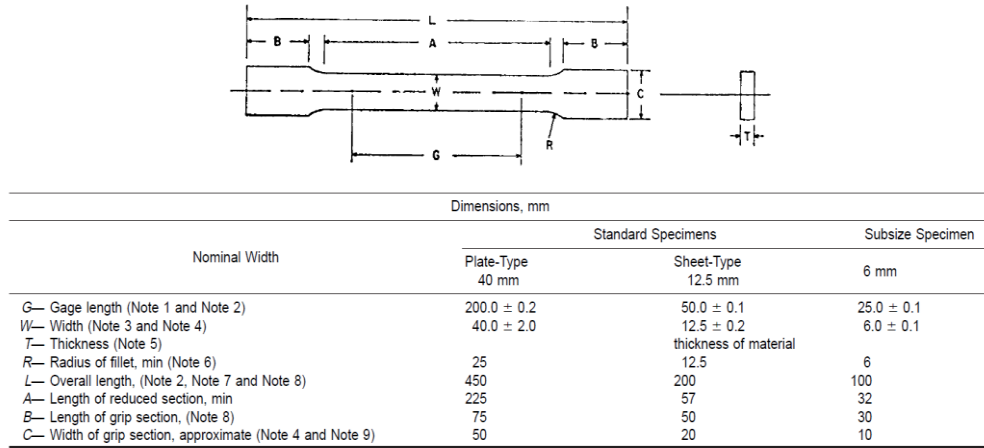
Charpy-V çentik darbe testi 0-300 Joule darbe enerji kapasiteli Time marka JB-300B model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.41’de bu işlem için kullanılan Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne ait, Charpy-V çentik darbe test cihazı görülmektedir.



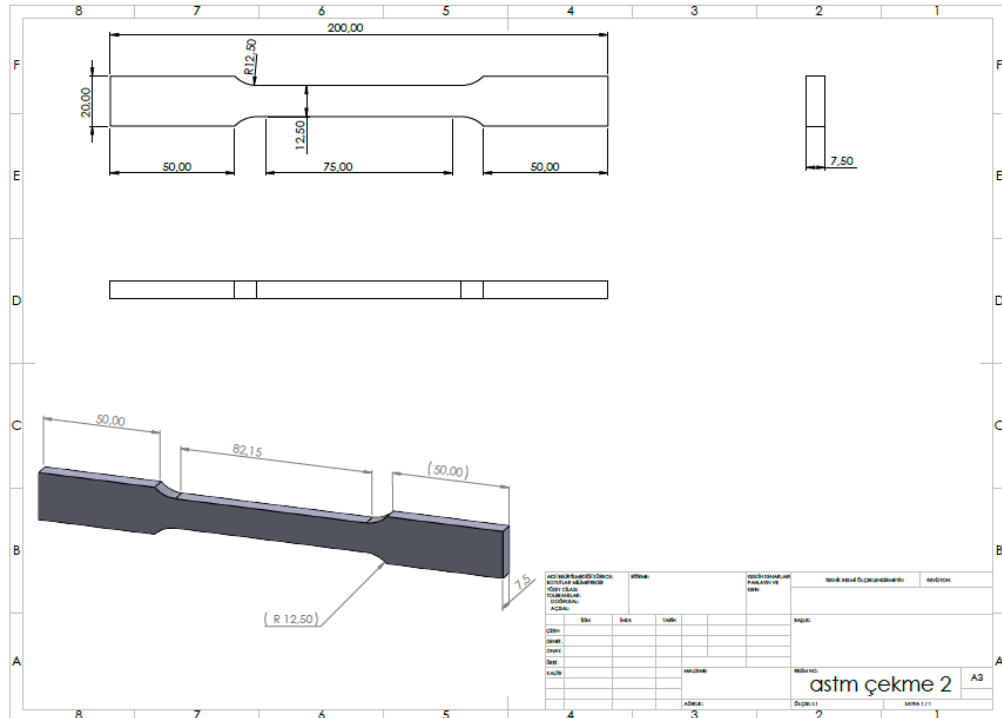
Şekil 9.41 Charpy-V çentik darbe testi cihazı.

9.4.1.2.3 Ana malzeme ile kaynak metalinin çekme testi

Kaynaklı deney numunesi Şekil 9.42’de gösterilen ASTM E 8M-01 standartına uygun şekilde CNC frezede işlenerek çekme testi için son boyutlarına getirilmiştir. Şekil 9.43’de ASTM E 8M-01 standartına uygun olarak hazırlanmış çekme test numunesi ölçüleri verilmiştir. Her kaynaklı parçadan ikişer adet çekme test numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 9.42 ASTM E 8M-01 standartı çekme testi ölçüleri.



Şekil 9.43 ASTM E 8M-01 standartına uygun olarak hazırlanmış çekme test numunesi ölçüleri.

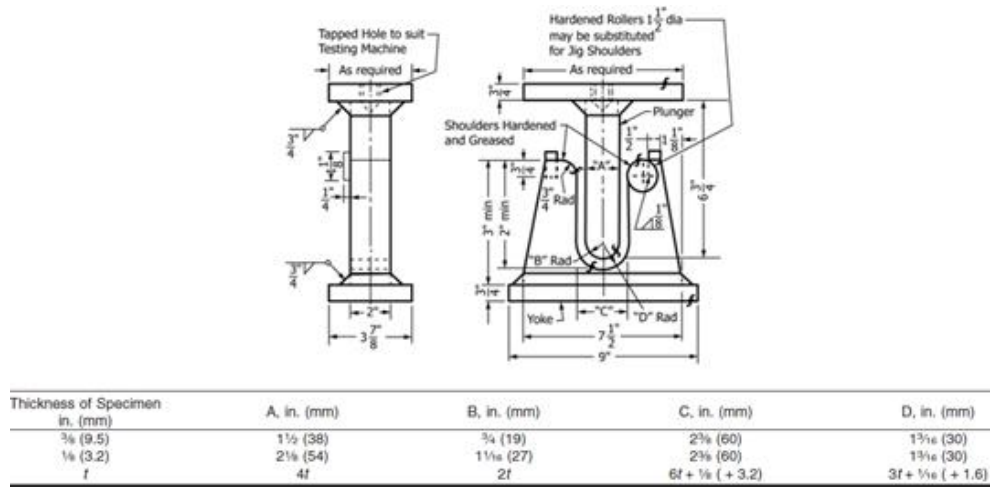
Çekme testi 100 KN kapasiteli Microanaliz marka Universal test machine model cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.44'te bu işlem için kullanılan Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne ait, çekme test cihazı görülmektedir.



Şekil 9.44 Çekme test cihazı.

9.4.1.2.4 Ana malzeme ile kaynak metalinin eğme testi

Kaynaklı deney numunesi Şekil 9.45'te gösterilen ASTM E 190-14 standartına uygun şekilde CNC frezede işlenerek eğme testi için son boyutlarına getirilmiştir. Her kaynaklı parçadan 4'er adet eğme test numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 9.45 ASTM E 190-14 standartına uygun olarak eğme testi ölçüleri.

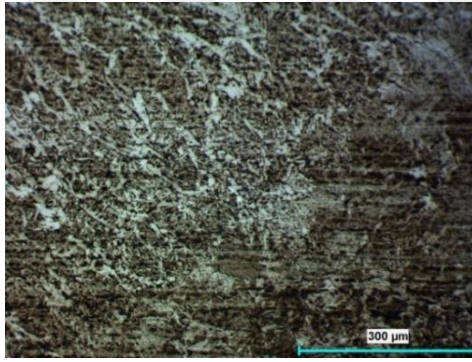
A large, black, vertical universal test machine is shown. It has a control panel on the right side with a digital display and several buttons. The machine is used for testing the mechanical properties of materials.

107

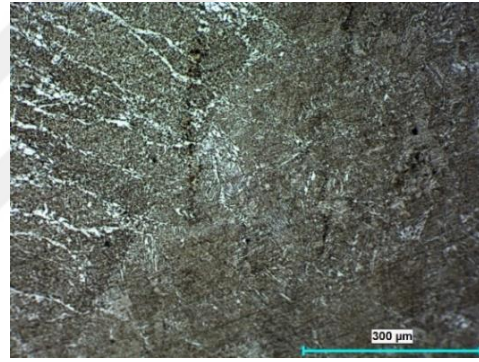
10. BULGULAR

10.1 Mikro Yapı Test Sonuçlarının İncelenmesi

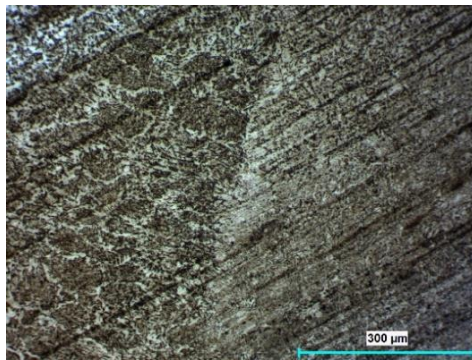
Numunenin mikro yapısının incelenmesinde her bir numunenin kapak bölgesindeki pasodan, kapağın sağ ve sol tarafındaki ITAB bölgelerinden, kök bölgesindeki pasodan, kökün sağ ve sol tarafındaki ITAB bölgelerinden, kaynak dolgu metalinden ve ana metalden olmak üzere görüntüleri alınmış ve bu görüntülerin her biri için 50X, 100X, 400X büyütme yapılarak toplamda 30 adet mikroskop görüntüsü alınmıştır. Bu işlem 27 numune için de aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle 810 adet mikroskop görüntüsü elde edilmiştir. Şekil 10.1-10.9 arasında numunelerin ITAB bölgelerinin 100x büyütülmüş mikroskop görüntüleri verilmiştir.



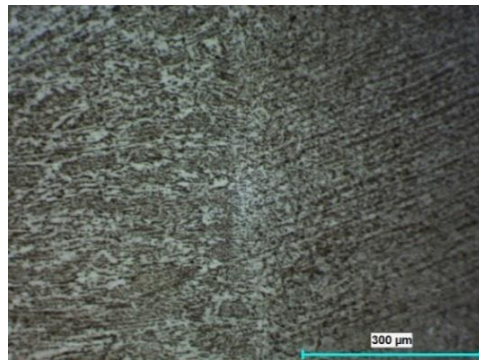
Şekil 10.1 %93Ar+%5CO₂+%2O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



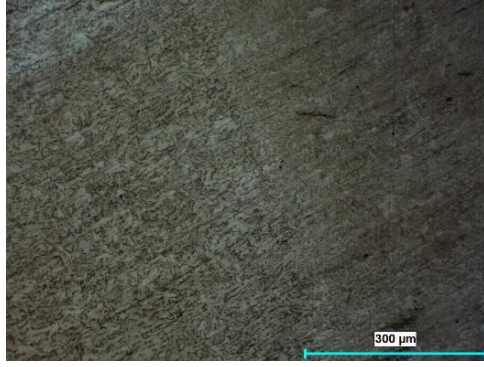
Şekil 10.2 %88Ar+%10CO₂+%2O₂
gaz 15 cm/dak hızda ITAB.



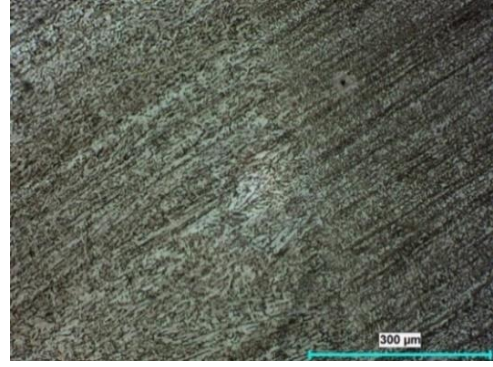
Şekil 10.3 %83Ar+%15CO₂+%2O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



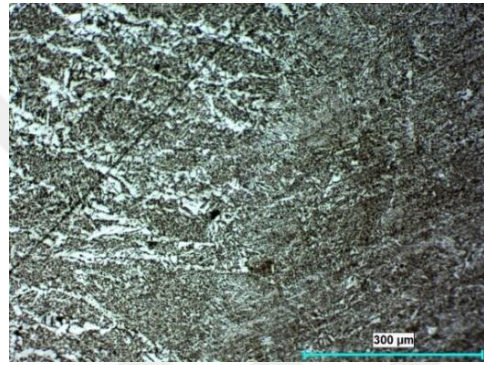
Şekil 10.4 %92Ar+%5CO₂+%3O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



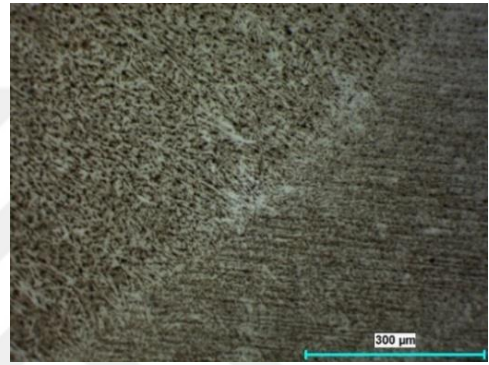
Şekil 10.5 %87Ar+%10CO₂+%3O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



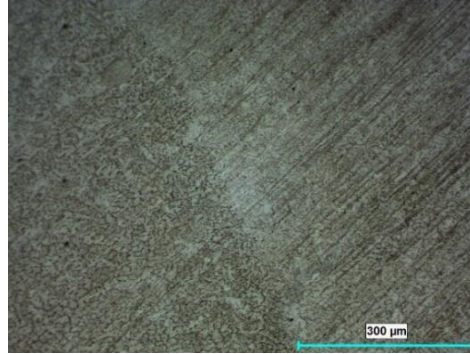
Şekil 10.6 %82Ar+%15CO₂+%3O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



Şekil 10.7 %91Ar+%5CO₂+%4O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



Şekil 10.8 %86Ar+%10CO₂+%4O₂ gaz
15 cm/dak hızda ITAB.



Şekil 10.9 %81Ar+%15CO₂+%4O₂ gaz 15 cm/dak hızda ITAB.

Yukarıda Şekil 10.1-10.9 arasındaki mikro yapı görüntüleri verilmiş olan numunelerin şekillerinde kaynak metali, ergime çizgisi ve ITAB bölgeleri görülmektedir. Kaynak metali ve ITAB'larında oluşan ısı girdisiyle alakalı olarak tane büyümesi görülmektedir. Tane kabalaşması, yalnızca kaynak metaline birleşik bölgede meydana

geldiği gözlemlenmektedir. ITAB'nin ana malzeme tarafında kaba taneli iç yapıdan dolayı sertlik düşmeleri görülmektedir.

ITAB'daki soğuma hızı esas olarak ısı girdisi ve bağlantıdaki metal kalınlığı tarafından belirlenmektedir. Yüksek ısı girdileri ITAB'da düşük soğuma hızlarına neden olmaktadır. Kalın kesitlerdeki soğuma hızları da ince kesitlerden daha yüksektir. Soğuma hızları esas metalin kaynaktan önce ve kaynak sırasındaki sıcaklığından da etkilenmektedir [5,106].

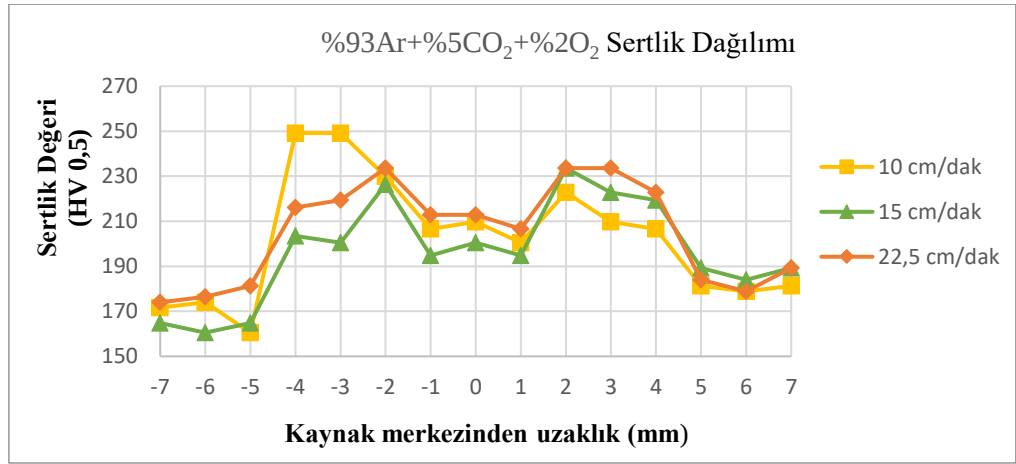
Kaynak işleminde aşırı ısınma ve hızlı soğuma etkilerine bağlı olarak oluşan asiküler ferrit tanelerinin yoğunluğu nedeniyle, kaynak metali içerisinde daha ince taneli yapının oluştuğu görülebilmektedir [107,108]. Oluşan ince taneli yapıların mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [110]. ITAB'da ısının etkisi ile tanelerin, ana metal yönünden kaynak metali yönüne doğru kolonsal olarak uzadığı görülmektedir. Kolonsal yapının hakim olduğu ITAB tane yapısı içerisinde yer yer iğnemsî widmanstatten ferrit yapının oluştuğu da tespit edilmiştir [109]. Kaynak bölgesindeki sertlik değeri, numunelerdeki asiküler ferrit içeriğinin azalmasıyla azalmaktadır. Koruyucu gazdaki karbondioksitin artmasıyla asiküler ferrit miktarının azaldığı ve widmanstatten ferrit miktarının arttığı sonucuna varılabilmektedir [72]. Bu durum, farklı koruyucu gaz bileşimleri altında soğutma hızının değişimi dikkate alınarak açıklanabilmektedir [111]. Koruyucu gazda karbondioksit miktarı arttığında, ısı girdisi ve dolayısıyla soğutma süresi arttığından dolayı bu da mikro yapının daha az denge dışı faza sahip olmasını sağlamaktadır [72].

10.2 Sertlik Test Sonuçlarının İncelenmesi

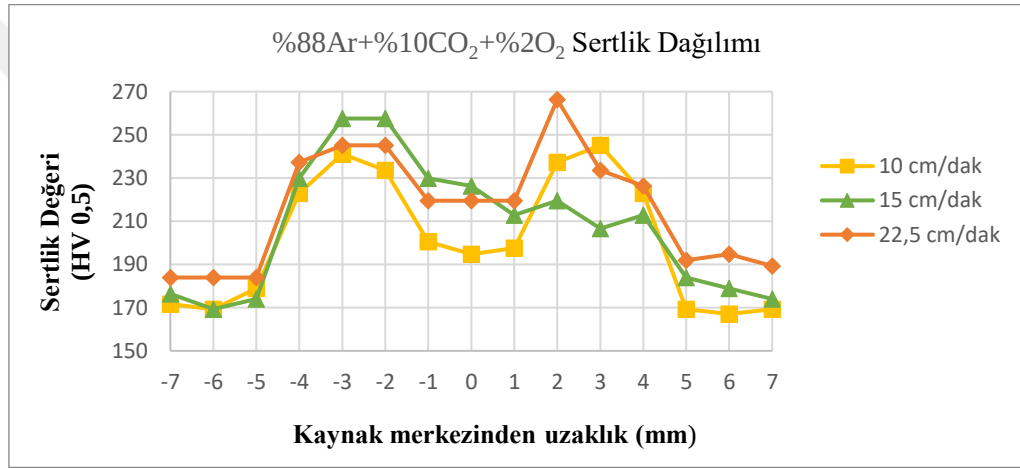
İlk numune olan G1H1 numunesi için Şekil 9.33b'de gösterilen bölgelerden elde edilen toplam 30 adet sertlik değeri Çizelge 10.1'de verilmiştir. Bu işlem toplam 27 adet kaynaklı numune için de uygulanmıştır. Her bir kaynaklı numunenin sertlik ölçümleri sonucu elde edilen sertlik değerleri sırasıyla Şekil 10.10-10.18 arasındaki grafiklerde gösterilmiştir. Bütün kaynaklı numunelerin ortalama sertlik değerleri-kaynak hızı dağılımı grafiği Şekil 10.19'da verilmiştir.

Çizelge 10.1 G1H1 numunesinin ölçümleri sonucunda bulunan sertlik değerleri

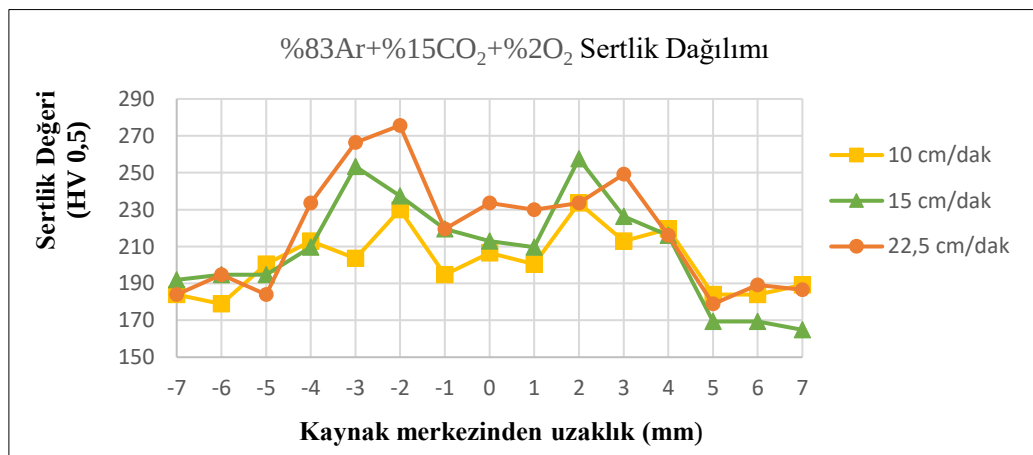
Numune Kodları	Sertlik ölçümü bölgesi	Sertlik ölçümü numarası	Sertlik Değeri (HV 0,5)	Sertlik ortalaması
G1H1	Kapak	1	171,6	168,7
G1H1	Kapak	2	174,0	
G1H1	Kapak	3	160,5	
G1H1	Kapak	4	249,2	242,8
G1H1	Kapak	5	249,2	
G1H1	Kapak	6	229,9	
G1H1	Kapak	7	206,5	205,6
G1H1	Kapak	8	209,7	
G1H1	Kapak	9	200,5	
G1H1	Kapak	10	222,9	213,0
G1H1	Kapak	11	209,7	
G1H1	Kapak	12	206,5	
G1H1	Kapak	13	181,4	180,5
G1H1	Kapak	14	178,9	
G1H1	Kapak	15	181,4	
G1H1	Kök	16	174,0	178,9
G1H1	Kök	17	178,9	
G1H1	Kök	18	183,9	
G1H1	Kök	19	212,9	229,3
G1H1	Kök	20	229,9	
G1H1	Kök	21	245,1	
G1H1	Kök	22	212,9	213,2
G1H1	Kök	23	226,4	
G1H1	Kök	24	200,5	
G1H1	Kök	25	237,4	235,3
G1H1	Kök	26	249,2	
G1H1	Kök	27	219,5	
G1H1	Kök	28	183,9	183,9
G1H1	Kök	29	183,9	
G1H1	Kök	30	183,9	



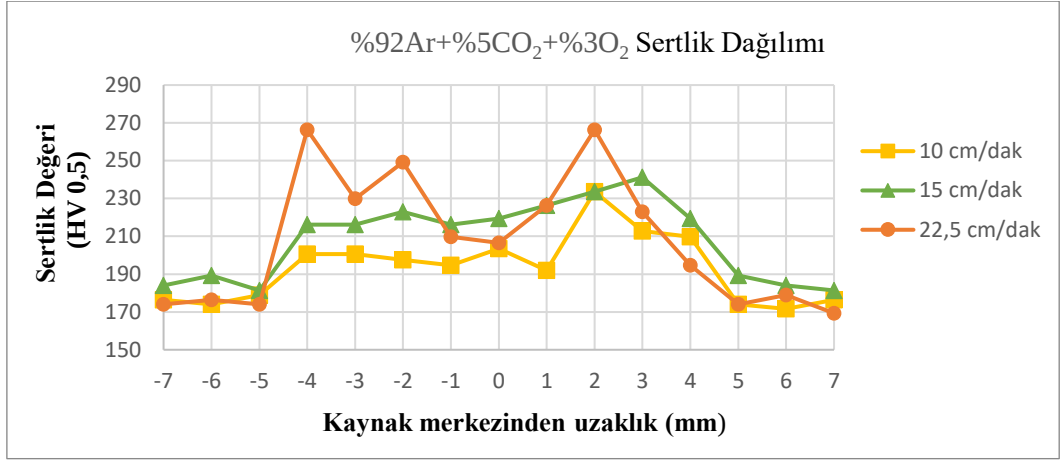
Şekil 10.10 %93Ar+%5CO₂+%2O₂ sertlik dağılımı.



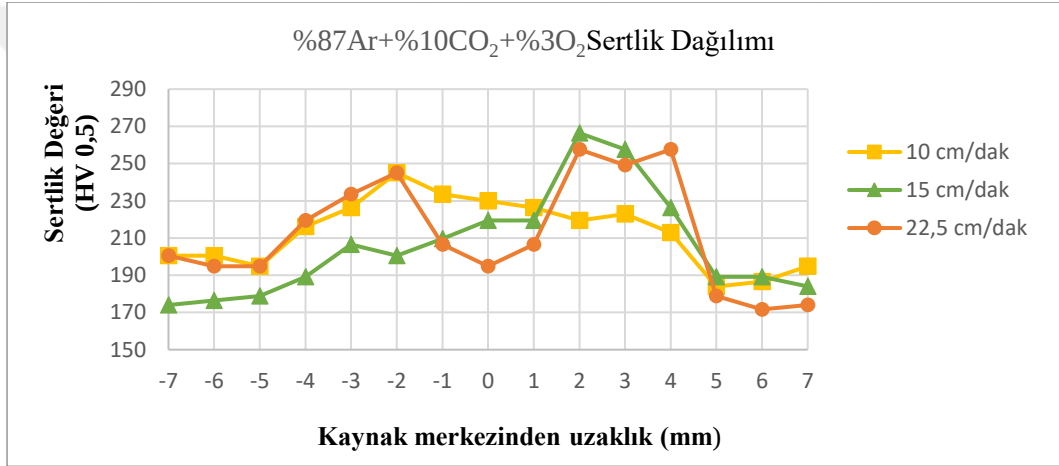
Şekil 10.11 %88Ar+%10CO₂+%2O₂ sertlik dağılımı.



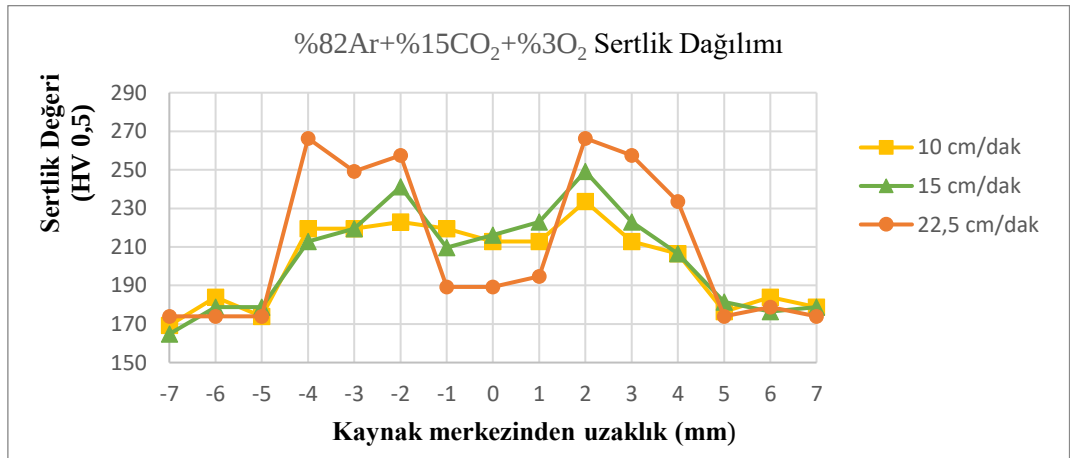
Şekil 10.12 %83Ar+%15CO₂+%2O₂ sertlik dağılımı.



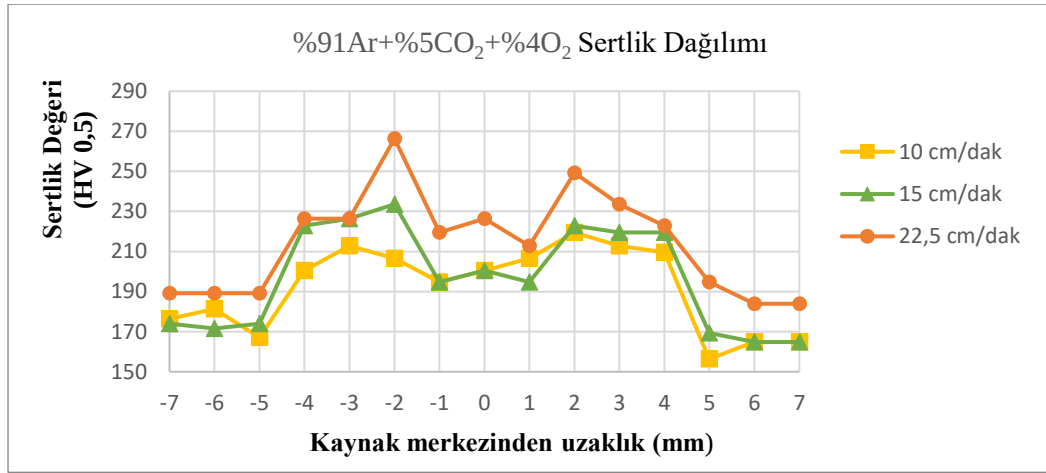
Şekil 10.13 %92Ar+%5CO₂+%3O₂ sertlik dağılımı.



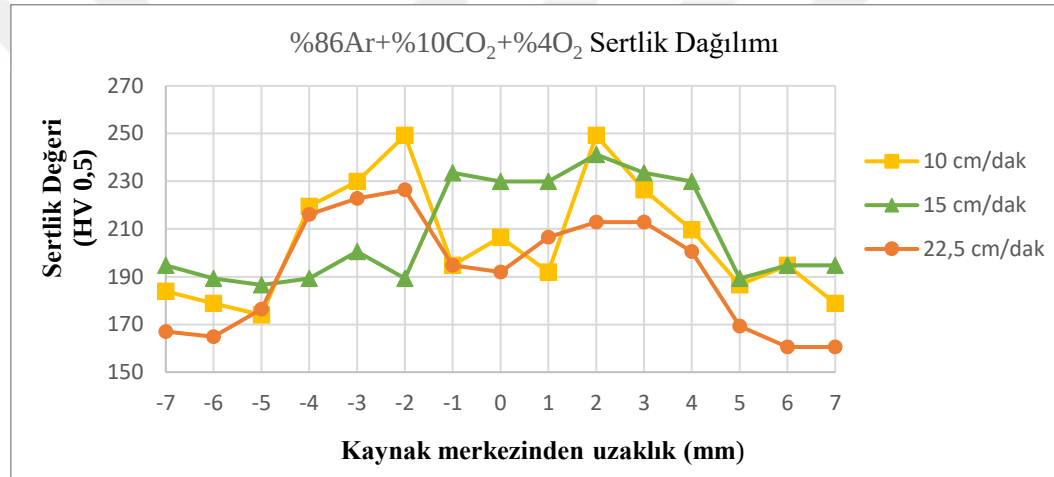
Şekil 10.14 %87Ar+%10CO₂+%3O₂ sertlik dağılımı.



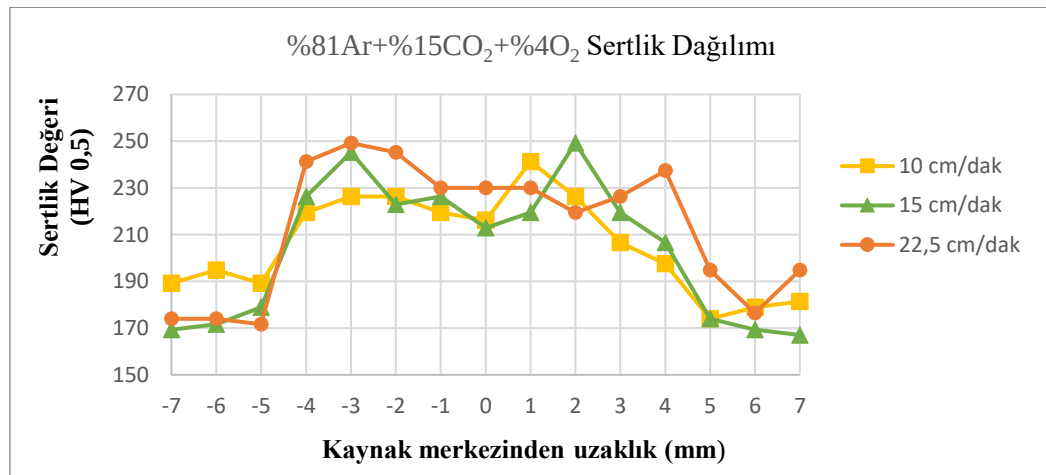
Şekil 10.15 %82Ar+%15CO₂+%3O₂ sertlik dağılımı.



Şekil 10.16 %91Ar+%5CO₂+%4O₂ sertlik dağılımı.



Şekil 10.17 %86Ar+%10CO₂+%4O₂ sertlik dağılımı.

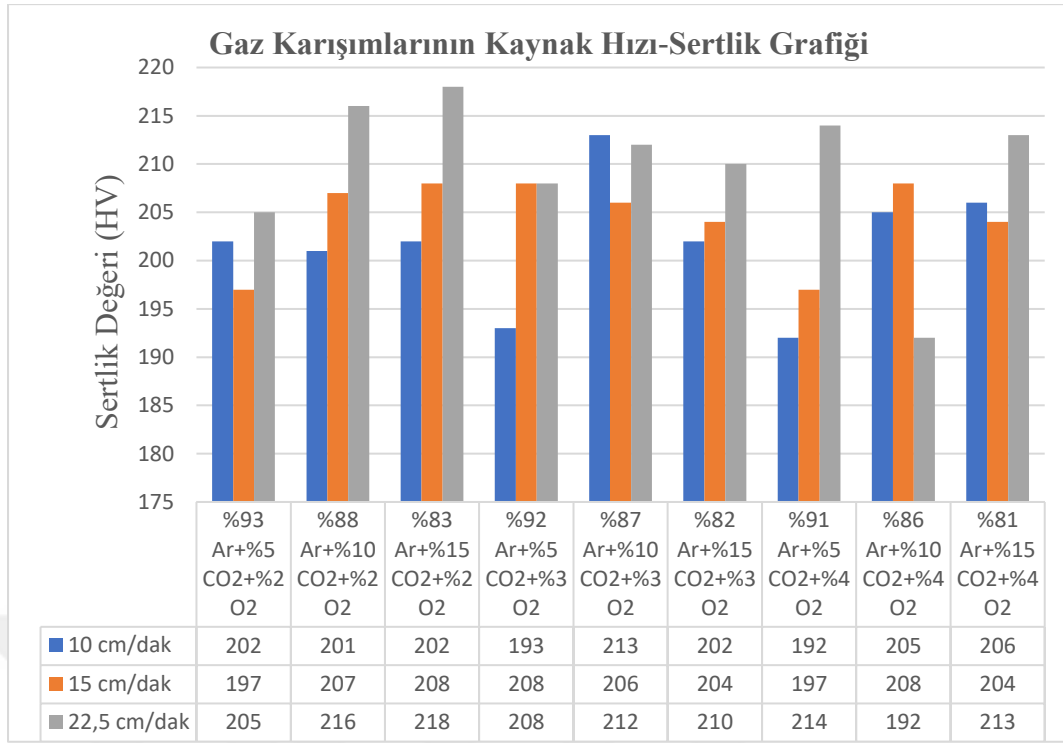


Şekil 10.18 %81Ar+%15CO₂+%4O₂ sertlik dağılımı.

Yukarıda verilen Şekil 10.10-10.18 arasındaki sertlik grafiklerindeki kapak ve kök paso sertlik değerlerine bakıldığında en düşük sertlik değerlerinin ana metalde, en yüksek sertlik değerlerinin ITAB bölgesinde olduğu görülmektedir. ITAB bölgeleri arasındaki sertlik değerlerine göre en düşük sertlik değerleri en düşük kaynak hızı olan 10 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülmektedir. ITAB bölgeleri arasındaki sertlik değerlerine göre en yüksek sertlik değerleri ise en yüksek kaynak hızı olan 22,5 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülmektedir. Bu durum, CO₂ ve O₂ oranları düşük olan Şekil 10.10-10.13 arasındaki sertlik değerlerinde yaklaşık olarak görülmektedir. Kaynaklı bağlantılarda sertlik, soğuma hızına ve ana malzemenin kimyasal yapısına bağlıdır. Kaynak hızı, ark akımı ve ark gerilimi ısı girdisini etkileyen temel faktörlerdir. Yaptığımız deneylerde ark gerilimi ve ark akımı sabit kabul edilirse kaynak hızı arttıkça malzeme ısı girdisi azalmakta ve dolayısıyla ITAB'ın soğuma hızı artmaktadır. Bu durum martenzitik yapı oluşumuna neden olduğu için numunelerde kaynak hızı arttıkça sertlik artmaktadır [5,106].

Koruyucu gazda karbondioksit miktarı arttığında, arktaki plazmanın sıcaklığı daha yüksek olacaktır, bu nedenle kaynak havuzundaki ısı girdisi artmaktadır [72]. Artan ısı girdisi ise toplam soğutma süresini arttırdığından dolayı, koruyucu gazdaki karbondioksit miktarının artması ile kaynak numunelerinde kaynak metali sertliğinin azaldığı görülmektedir.

CO₂ ve O₂ oranları yüksek olan Şekil 10.14-10.18 arasındaki sertlik değerlerine bakıldığında bazı yerlerinde, Şekil 10.10-10.13 arasındaki durumun tam tersi olduğu görülmektedir. Yani Şekil 10.14-10.18 arasında ITAB bölgeleri arasındaki sertlik değerlerine göre en düşük sertlik değerleri bazı yerlerde 22,5 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülürken, en yüksek sertlik değerleri ise bazı yerlerde 10 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülmektedir. Bu duruma CO₂ ve O₂ oranlarındaki artışın sonucu oluşan oksitlerin neden olduğu düşünülebilir. Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O₂ ve CO₂ miktarları) fazla olduğunda kaynak metali içerisindeki O₂ oranı artmakta, yüksek oranda O₂ elektrottaki Mn ve Si oranını azaltmaktadır [112]. Mn ve Si mekanik özelliklerin artmasına neden olmaktadır [113]. Oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırmaktadır ve bundan dolayı oksijenin oksitleyici etkisi, kaynak telindeki mangan, silisyum, alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi alaşım elementlerinin arttırılması ile dengelenir [114].



Şekil 10.19 Kaynaklı numunelerin ortalama sertlik değerleri-kaynak hızı dağılımı.

Şekil 10.19’da bütün kaynaklı numunelerin ortalama sertlik değerleri-kaynak hızı dağılımı grafiğine bakıldığında; en yüksek sertlik ortalamasının 218 HV ile %83 Ar+ %15 CO₂+ %2 O₂ gaz karışımının 22,5 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden, en düşük sertlik ortalamasının ise 192 HV ile %91 Ar+ %5 CO₂+ %4 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden ve yine 192 HV ile %86 Ar+ %10 CO₂+ %4 O₂ gaz karışımının 22,5 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edildiği görülmektedir.

10.3 Çekme Testi ve Eğme Testi Sonuçlarının İncelenmesi

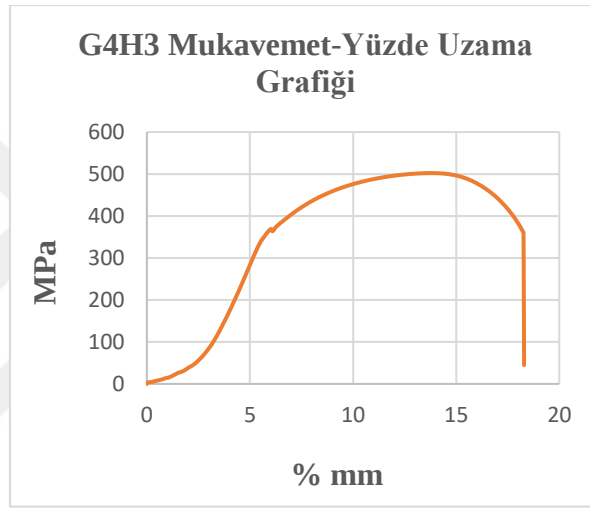
10.3.1 Çekme testi

Çalışmada standartlarca hazırlanan ana malzeme ve 54 adet numuneye çekme testi yapılmıştır. Çekme testi gerçekleştirilen ana malzeme akma dayanımı 320 MPa, kopma dayanımı 468 MPa, % uzama 29 olarak ölçülmüştür.

Şekil 10.20’de çekme numunelerinin test sonrası kopma bölgeleri gösterilmiştir. Şekil 10.21’de bu numunelere ait mukavemet-yüzde uzama grafiği verilmiştir. Bütün numunelerin çekme testi sonuçları Çizelge 10.2’de verilmiştir.



Şekil 10.20 Çekme testi gerçekleştirilmiş numune.

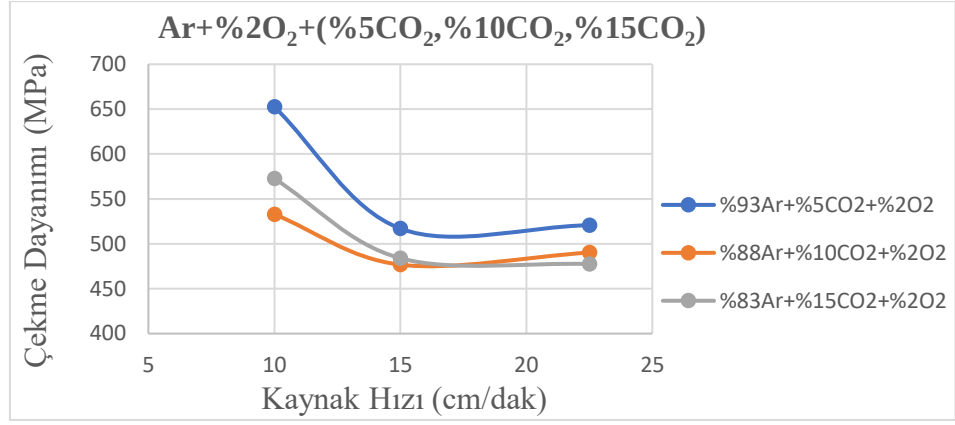


Şekil 10.21 Çekme testi gerçekleştirilmiş numunenin mukavemet-yüzde uzama grafiği.

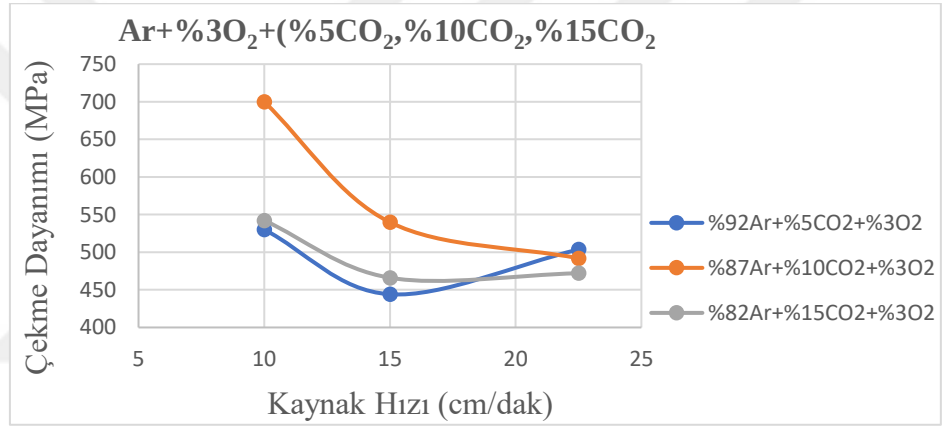
Çizelge 10.2 Çekme numuneleri değerleri

Numune Kodu	Kesit Alanı (mm ²)	Akma Noktası (N/mm ²)	Fmax (kN)	Kopma Noktası (N/mm ²)	% Uzama
Ana metal	88,2	320,587	41,27	468,011	29,26
G1H1-01	67,21	471,202	45,59	678,406	12,19
G1H1-02	71,99	452,673	45,11	626,695	13,41
G1H2-01	97,07	340,767	47,30	487,277	19,51
G1H2-02	83,29	379,450	45,56	546,760	13,41
G1H3-01	80,02	392,012	45,06	563,125	12,80
G1H3-02	97,5	331,696	46,63	478,354	19,51
G2H1-01	81,60	381,559	43,46	532,617	14,63
G2H1-02	79,23	371,434	42,24	533,114	10,97

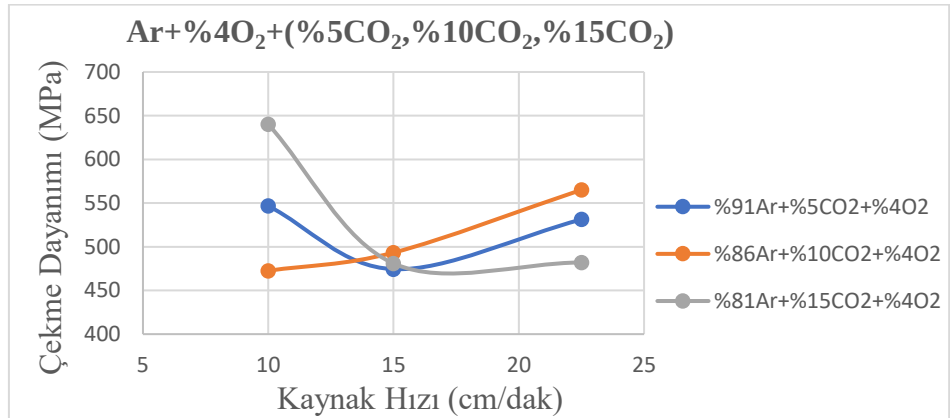
G2H2-01	95,88	332,202	45,23	471,819	22,56
G2H2-02	95,5	339,997	46,00	481,735	21,95
G2H3-01	96,13	341,981	47,24	491,389	19,51
G2H3-02	95,38	340,621	46,66	489,199	18,29
G3H1-01	80,32	388,568	46,00	572,707	18,29
G3H1-02	81,77	382,111	46,81	572,481	15,85
G3H2-01	96,38	351,544	46,64	483,993	21,95
G3H2-02	96,38	351,544	46,64	483,993	19,51
G3H3-01	97,27	330,148	46,44	477,454	21,95
G3H3-02	97,27	330,148	46,44	477,454	20,73
G4H1-01	69,09	417,402	38,16	552,356	9,75
G4H1-02	71,73	394,029	36,43	507,848	8,53
G4H2-01	94,14	357,219	45,12	479,283	19,51
G4H2-02	96,86	333,834	46,58	408,915	18,29
G4H3-01	96,00	371,344	48,47	504,948	17,68
G4H3-02	95,17	364,468	47,79	502,212	18,29
G5H1-01	60,79	530,581	44,69	735,140	10,97
G5H1-02	65,17	499,962	43,32	664,714	10,97
G5H2-01	77,36	396,663	40,60	524,821	6,09
G5H2-02	78,87	390,651	43,76	554,872	8,53
G5H3-01	94,74	342,763	46,92	495,289	19,51
G5H3-02	95,61	336,621	46,72	488,643	19,51
G6H1-01	72,16	415,999	37,85	524,602	6,09
G6H1-02	73,91	429,504	41,37	559,846	9,75
G6H2-01	96,00	315,22	44,52	463,799	20,73
G6H2-02	94,55	317,428	44,28	468,345	24,39
G6H3-01	92,97	329,433	44,58	479,524	23,17
G6H3-02	93,64	312,651	43,51	464,671	20,73
G7H1-01	78,87	396,899	44,16	559,970	13,41
G7H1-02	79,50	380,262	42,40	533,331	9,75
G7H2-01	95,88	333,271	45,91	478,818	19,51
G7H2-02	96,03	323,508	45,13	469,927	18,29
G7H3-01	72,51	416,304	42,19	581,803	10,97
G7H3-02	93,32	334,843	44,85	480,669	20,73
G8H1-01	94,67	334,866	44,84	473,635	20,12
G8H1-02	95,30	334,541	44,93	471,433	19,51
G8H2-01	94,67	340,56	46,30	489,145	19,51
G8H2-02	94,90	356,551	47,21	497,461	19,51
G8H3-01	77,37	420,335	43,92	567,642	20,12
G8H3-02	76,00	392,870	42,76	562,627	21,95
G9H1-01	66,48	483,221	40,14	603,854	7,31
G9H1-02	62,24	522,837	42,11	676,559	8,53
G9H2-01	96,58	327,431	46,06	476,885	20,73
G9H2-02	96,51	334,628	46,79	484,892	20,73
G9H3-01	97,52	321,44	46,21	473,889	19,51
G9H3-02	97,90	340,176	47,99	490,217	19,51



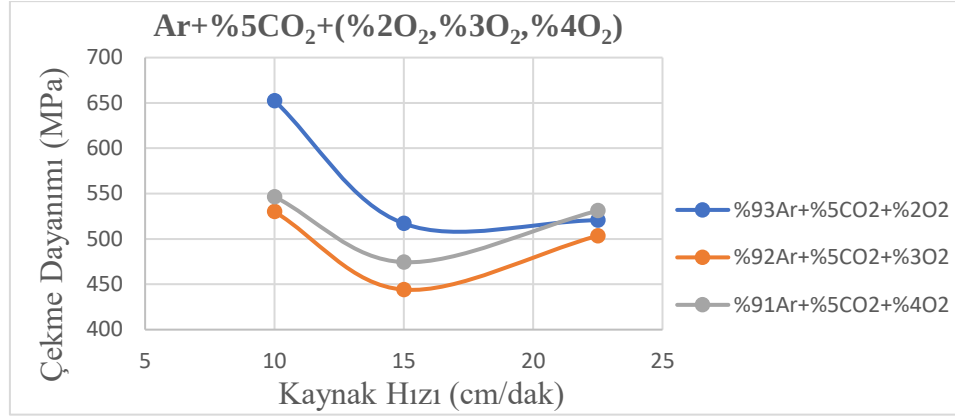
Şekil 10.22 Ar+%2O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.



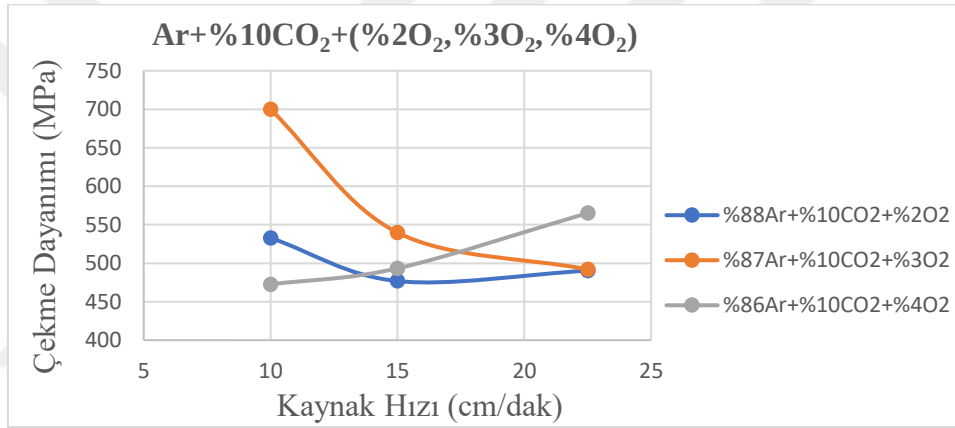
Şekil 10.23 Ar+%3O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.



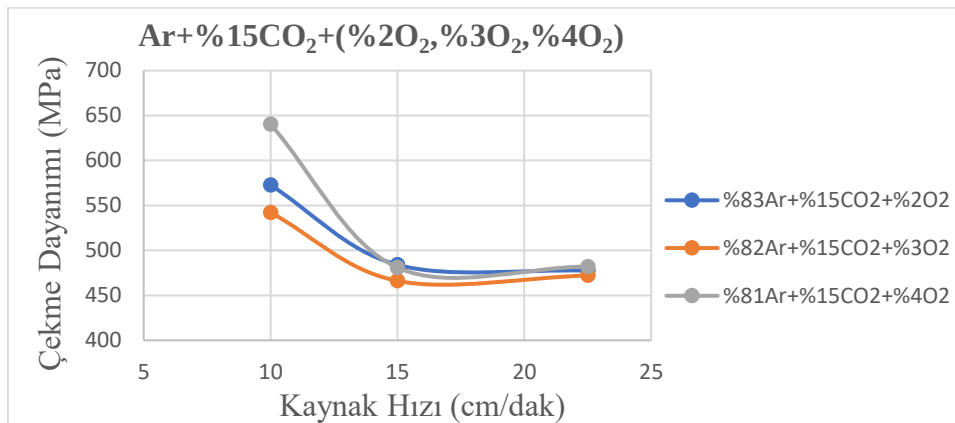
Şekil 10.24 Ar+%4O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.



Şekil 10.25 Ar+%5CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.



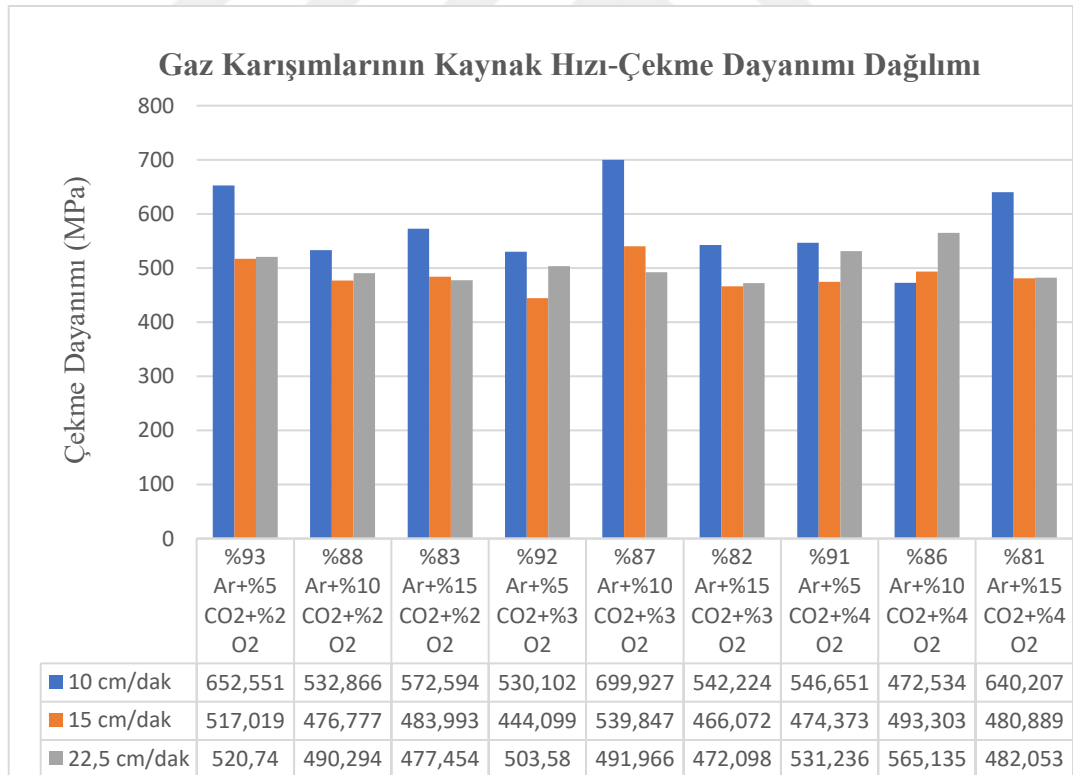
Şekil 10.26 Ar+%10CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.



Şekil 10.27 Ar+%15CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı çekme dayanımı dağılımı grafiği.

Şekil 10.22-10.24'te farklı hızlarda, sabit O₂'de artan CO₂ miktarlarının kaynak üzerindeki etkisini gösteren çekme değerleri dağılımı grafikleri gösterilmektedir. Şekil 10.22-10.24'e bakıldığında farklı hızlarda, O₂ sabitken CO₂ miktarı arttıkça ((Ar+%2 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%3 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%4 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂)) genellikle çekme dayanımı düşüş göstermektedir. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığı için genellikle çekme dayanımı önce artmakta belli bir noktadan sonra sabit kalmaktadır.

Şekil 10.25-10.27'de farklı hızlarda, sabit CO₂'de artan O₂ miktarlarının kaynak üzerindeki etkisini gösteren çekme değerleri dağılımı grafikleri gösterilmektedir. Şekil 10.25-10.27'ye bakıldığında farklı hızlarda, CO₂ sabitken O₂ miktarı arttıkça ((Ar+%5 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%10 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%15 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂)) genellikle çekme dayanımı düşüş göstermektedir. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle çekme dayanımı önce artmakta belli bir noktadan sonra sabit kalmaktadır.



Şekil 10.28 Gaz karışımlarının kaynak hızı-çekme dayanımı dağılımı grafiği.

Şekil 10.28’de bütün gaz karışımlarının kaynak hızı-çekme dayanımı dağılımı grafiği verilmiştir. Şekil 10.28’deki grafikte en yüksek çekme dayanımı 699,927 MPa ile %87 Ar+ %10 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı ise 444,099 MPa ile %92 Ar+ %5 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 15 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir.

Ar+CO₂+O₂’nin üçlü karışım gazı ile kaynak edilen numunelerde Argona ilave edilen O₂+CO₂ gazları belirli bir orandan sonra artması ile akma ve çekme mukavemetlerinde düşme, % süneklilik miktarlarında artma görülür [115]. Argona CO₂ eklenmesi ark sıcaklığını artırıcı etki yapmakta, O₂ kaynak banyosu yüzey gerilimine etki ederek daha üniform olmasını sağlamakta ve kaynak dikişi mukavemetini artırıcı etkiler ortaya koymaktadır. Tam aksi olarak, karışımındaki CO₂ oranının azalması ile iyi bir nüfuziyet elde edilemez. Düşük CO₂ içeren gaz karışımları yeterli ısıyı sağlayamaması nedeni ile banyoda argon hapsi ve azot çözülmesi meydana getirir. Bu da kaynak dikişinin mekanik özelliklerini kötü yönde etkilemektedir [118].

Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O₂ ve CO₂ miktarları) fazla olduğunda kaynak metali içerisindeki O₂ oranı artmakta, ark sırasında oksidasyondan dolayı alaşım elementi kaybı o denli yüksek olmakta ve en fazla etkilenen metaller de en aktif metaller olan Ti ve Zr gibi metaller olmaktadır. Bunun yanı sıra dikişin mukavemetinde önemli rol oynayan Si, Mn, Ni ve Al gibi elementlerinde kaybı söz konusudur [117]. CO₂ gazının kaynak metalinde meydana getirdiği oksitlenme ve gözeneklilik büyük problem olmuştur. Bu yapıyı ortadan kaldırmak için kaynak teline mangan ve silisyum katılarak iyi sonuçlar alınmış, kaynağın mekanik özellikleri iyileştirilmiştir. CO₂ korumalı kaynakta gözenek oluşumu ve sıçramaların azaltılması için kısa ark boyu ile kaynak tercih edilmiştir [119,120].

Çekme deney verileri incelendiğinde, çekme numuneleri genellikle kaynaklı bölge ve ITAB’dan kopmayarak (bazı numunelerde kaynaklı bölge ve ITAB’a yakın yerlerden kopma olduğu görülmüştür) ana malzemeden kopmuşlardır. Bu sonuç; uygulanan kaynak işleminin mekanik yüklemelerdeki dayanımının kaynak metalinde, ana malzemeye göre daha iyi tavırlar sergilediğini göstermektedir. Buna sebep olarak kaynaklı bölgede yüksek ısı girdisi ve hızlı soğumadan kaynaklanan ince taneli ve iğnemsî yapıların oluşması gösterilebilir. Oluşan ince taneli yapıların mekanik

özellikleri olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [110]. Genel olarak bir metal mikro yapısında tanenin küçülmesiyle akma mukavemetinin arttığı gözlenir. İnce taneli yapıların deformasyona karşı gösterdiği direnç yüksek olduğu için kopma kaynak metalinde gerçekleşmeyip, daha iri tane yapısına sahip olan ana metalde meydana gelmiştir. Kaynaklı bölgenin çekme testi esnasında deformasyona karşı gösterdiği direnç, çekme numunelerinin % uzama değerlerinin ana malzemeye oranla daha düşük çıkmasına neden olmakta ve bu nedenle kopma ana malzemede oluşmaktadır. Buna paralel olarak çekme mukavemetinin artması yine kaynaklı bölgenin deformasyona karşı gösterdiği direnç nedeniyledir [110,116]. Sonuç olarak, kaynaklı numuneler, ana metalin standartlarda belirtilen minimum akma ve kopma mukavemetlerini aştığı için başarılı bir kaynak elde edildiği kanısına varılmıştır.

10.3.2 Eğme testi

Kaynaklı malzemelerde makro olarak bir hatanın oluşup oluşmadığını görmek için, hazırlanan 4 adet üç nokta eğme numunesinin 2 tanesi kapaktan 2 tanesi kökten olmak üzere Çizelge 10.3'te verilen eğme testi parametreleri ile eğme testi yapılmıştır. Şekil 10.29'da eğme testi sonrası numuneler gösterilmiştir.

Çizelge 10.3 Eğme testi parametreleri

Numune	Test Tipi	Boyut (mm)	Mandrel Çapı (mm)	Mandreller Arası Mesafe (mm)	Eğme Açısı
Eğme Numuneleri	Üç nokta eğme	7,5x38x250	40	80	180 ⁰

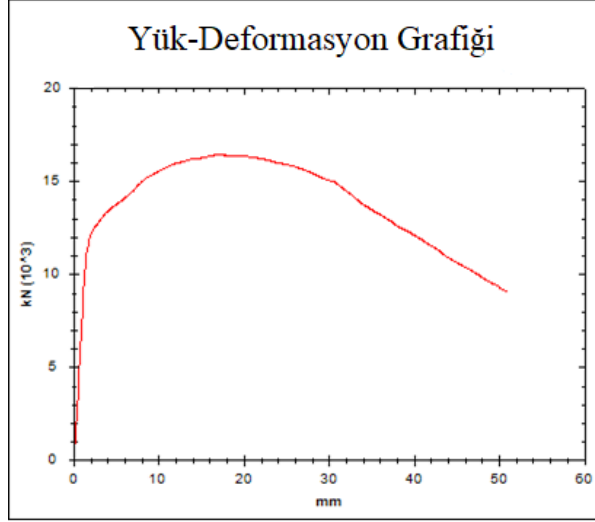


Şekil 10.29 Eğme testi sonrası numunelerin görünümü.

Test edilen malzeme homojen ve elastik bir kirişe ve üç noktadan eğilme testi yapılıyorsa maksimum gerilme kirişin dış yüzeyinde orta noktada meydana gelir. Dış yüzeydeki bu gerilme yük sehim eğrisinin maksimum noktası için aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sigma = (3PL) / (2bd^2)$$

Burada; σ = Orta noktada kiriş yüzeyindeki gerilme (N/mm^2), P = Yük sehim eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet (N), L = İki destek arası mesafe (mm), b = Kiriş genişliği (mm), d = Kirişin yüksekliği (mm)'dir [124]. Şekil 10.30'da eğme testi gerçekleştirilmiş numunenin yük-deformasyon grafiği verilmiştir. Çizelge 10.4'te eğme testi sonuçları verilmiştir.

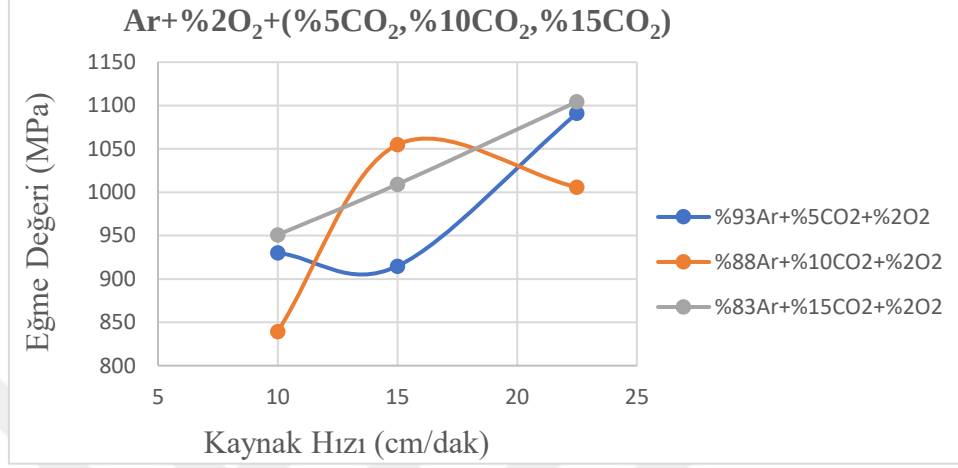


Şekil 10.30 Eğme testi gerçekleştirilmiş numunenin yük-deformasyon grafiği.

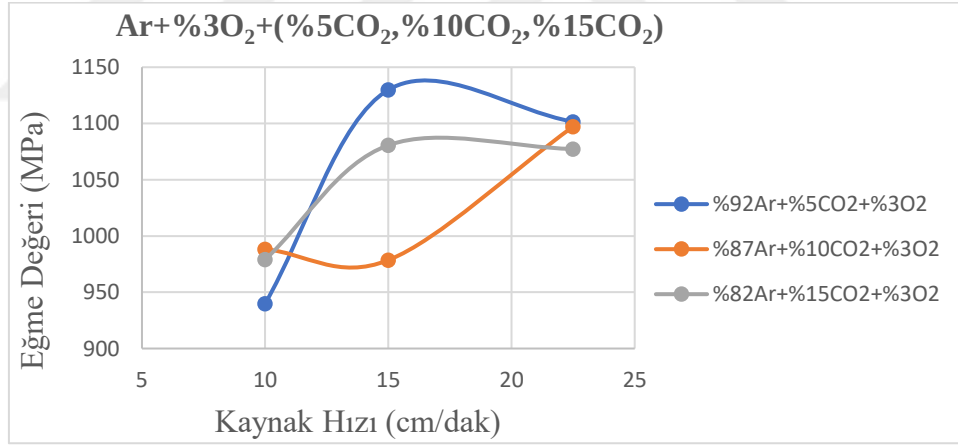
Çizelge 10.4 Eğme testi sonuçları

Numune Kodu	Eğme Değeri (N/mm ²)
G1H1	930,0053
G1H2	914,765
G1H3	1091,041
G2H1	839,3175
G2H2	1054,755
G2H3	1005,663
G3H1	950,9033
G3H2	1009,165
G3H3	1104,366
G4H1	939,978
G4H2	1129,888
G4H3	1101,569
G5H1	988,2393
G5H2	978,5745
G5H3	1097,257
G6H1	979,0475
G6H2	1080,658
G6H3	1077,357
G7H1	988,141
G7H2	1054,277
G7H3	1038,105
G8H1	963,5768

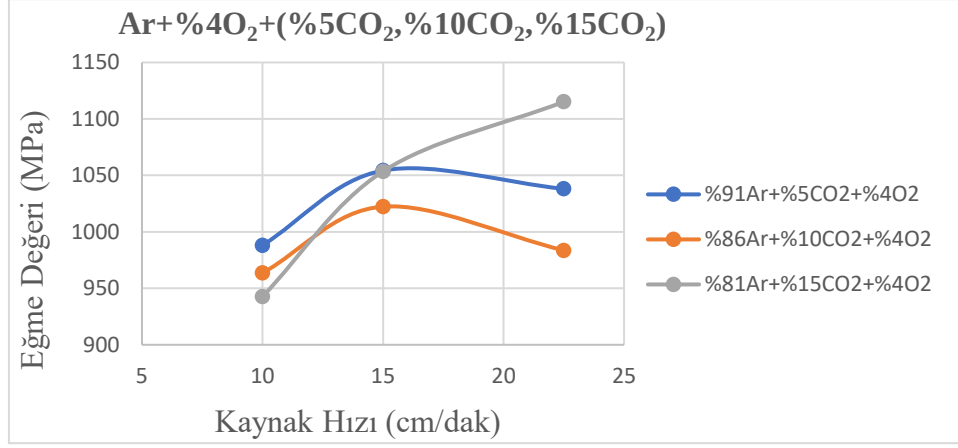
G8H2	1022,35
G8H3	983,6345
G9H1	942,71
G9H2	1053,541
G9H3	1115,203



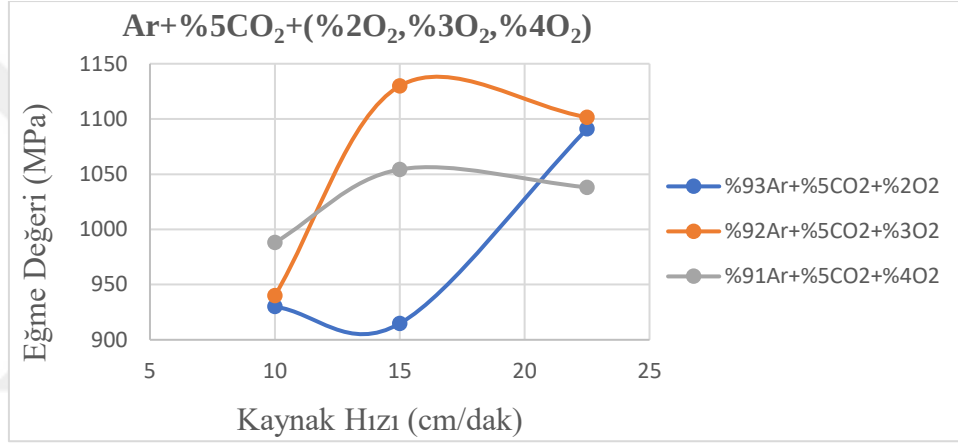
Şekil 10.31 Ar+%2O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı eğme grafiği.



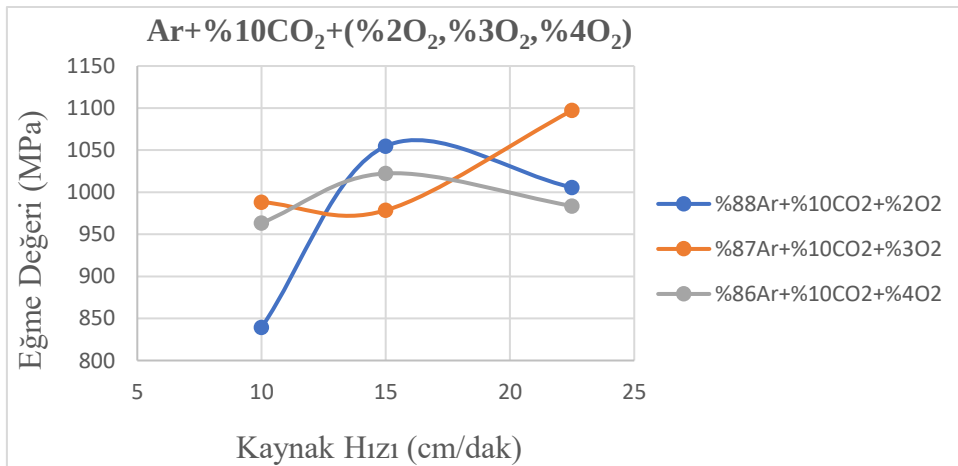
Şekil 10.32 Ar+%3O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı eğme grafiği.



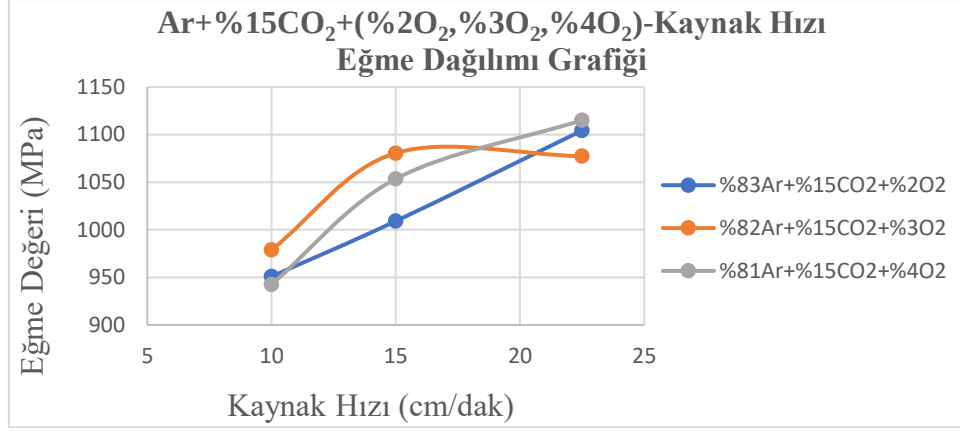
Şekil 10.33 Ar+%4O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı eğme grafiği.



Şekil 10.34 Ar+%5CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı eğme dağılımı grafiği.



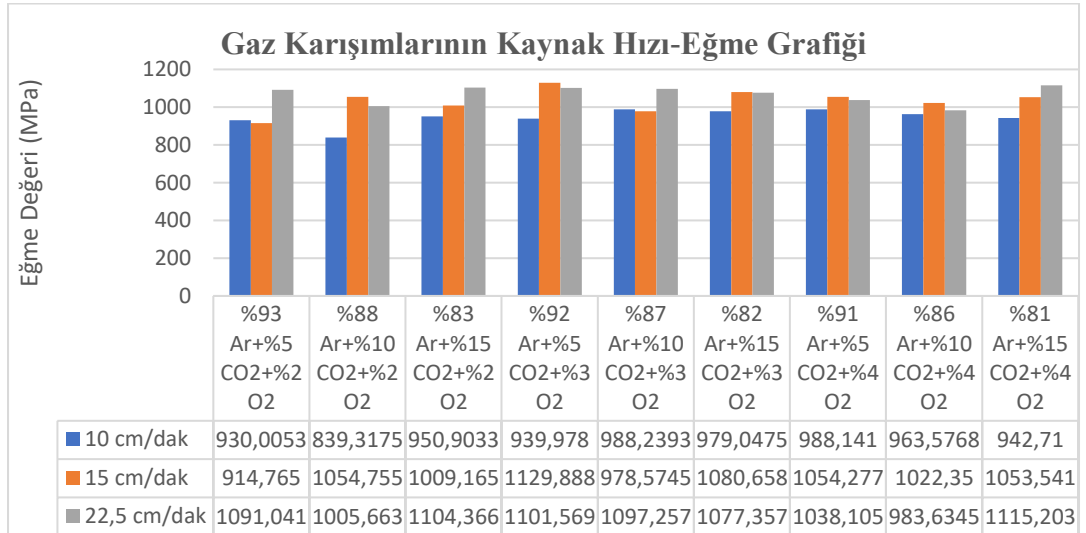
Şekil 10.35 Ar+%10CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı eğme dağılımı grafiği.



Şekil 10.36 Ar+%15CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı eğme dağılımı grafiği.

Şekil 10.31-10.33'de farklı hızlarda, sabit O₂'de artan CO₂ miktarlarının ((Ar+%2 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%3 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%4 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂)) kaynak üzerindeki etkisini gösteren eğme değerleri dağılımı grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 10.34-10.36'da farklı hızlarda, sabit CO₂'de artan O₂ miktarlarının ((Ar+%5 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%10 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%15 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂)) kaynak üzerindeki etkisini gösteren eğme değerleri dağılımı grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 10.37 Gaz karışımlarının kaynak hızı-eğme dağılımı grafiği.

Şekil 10.37’de bütün gaz karışımlarının kaynak hızı-eğme dağılımı grafiği verilmiştir. Şekil 10.37’deki grafikte en yüksek eğme değeri 1129,888 MPa ile %92 Ar+ %5 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 15 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir. En düşük eğme değeri ise 839,3175 MPa ile %88 Ar+ %10 CO₂+ %2 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir.

Test sonucunda (bazı numuneler haricinde) genellikle herhangi bir yırtılma ve çatlama tespit edilmemiş, soğuk yapışma gibi kaynak hatalarına da rastlanmamış olup testi başarı ile geçmiştir.

10.3.3 Çentik Darbe Testi Sonuçları

Standartlarca hazırlanmış olan numunelerin darbe dayanım değerlerinin ölçümü için Charpy-V çentik darbe testi gerçekleştirilmiştir. Testler oda sıcaklığında (20 °C) gerçekleştirilmiştir. Kaynak metalinden gerçekleştirilmiş olan testlerin sonuçları Çizelge 10.5’de verilmiş olup; sonuçlar incelendiğinde (düşük darbe dayanımı elde edilerek gevrek kırılan birkaç numune hariç) yüksek darbe dayanımında ve sünek olarak kırıldıklarından dolayı test başarılı olmuştur. Test sonrası bazı test numuneleri Şekil 10.38’de verilmiştir.

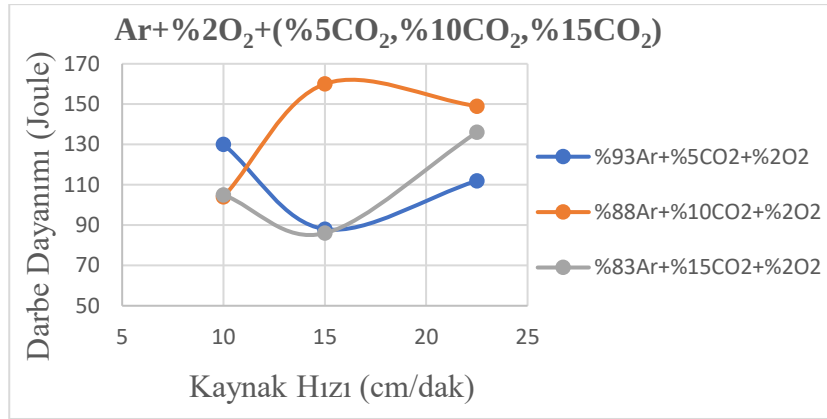
Çizelge 10.5 Çentik darbe testi sonuçları

Test Parçası Adı	Test Sonucu Tokluk Değerleri (Joule)
G1H1	130
G1H2	88
G1H3	112
G2H1	104
G2H2	160
G2H3	149
G3H1	105
G3H2	86
G3H3	136
G4H1	94
G4H2	152
G4H3	176
G5H1	114

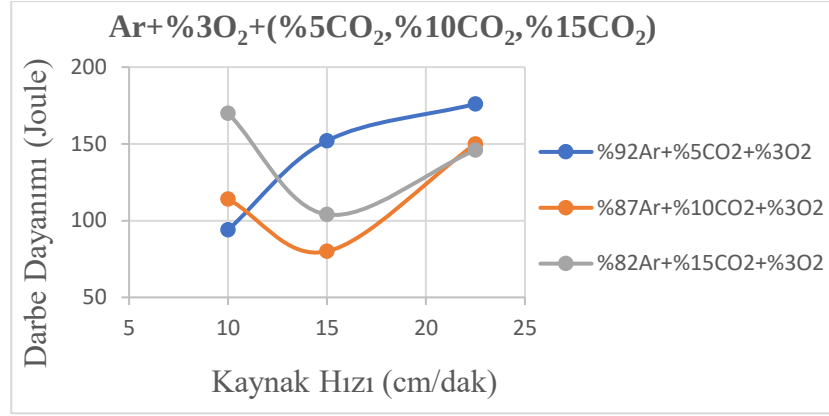
G5H2	80
G5H3	150
G6H1	170
G6H2	104
G6H3	146
G7H1	126
G7H2	138
G7H3	130
G8H1	82
G8H2	104
G8H3	128
G9H1	116
G9H2	166
G9H3	138



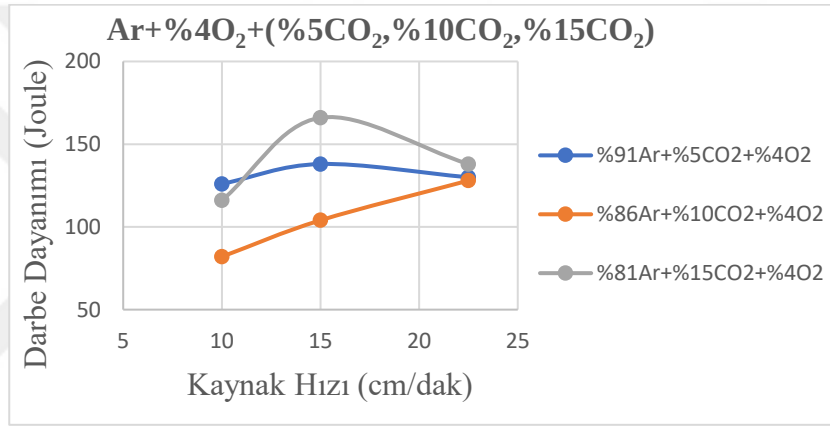
Şekil 10.38 Charpy-V çentik darbe testi sonrası numuneler.



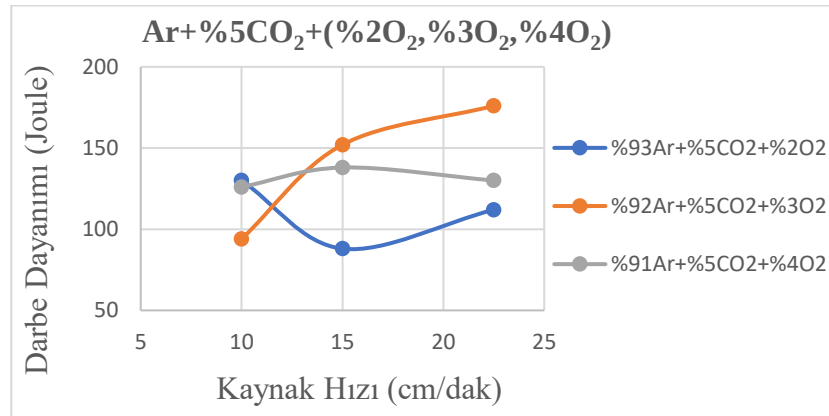
Şekil 10.39 Ar+%2O₂+(%5CO₂,%10CO₂,%15CO₂)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.



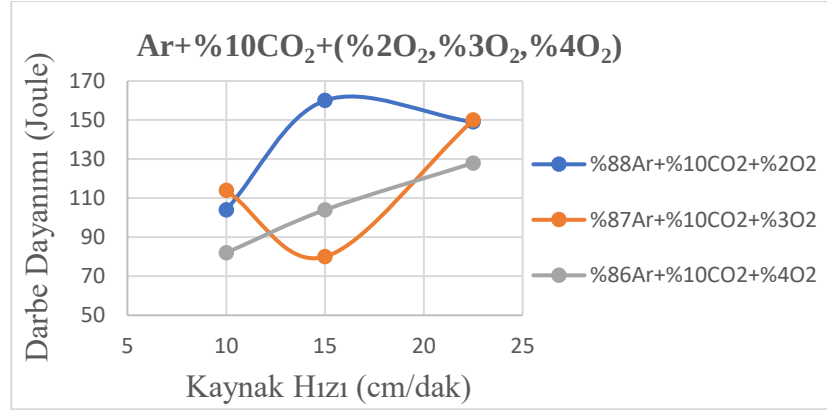
Şekil 10.40 Ar+%3O₂+(%5CO₂, %10CO₂, %15CO₂)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.



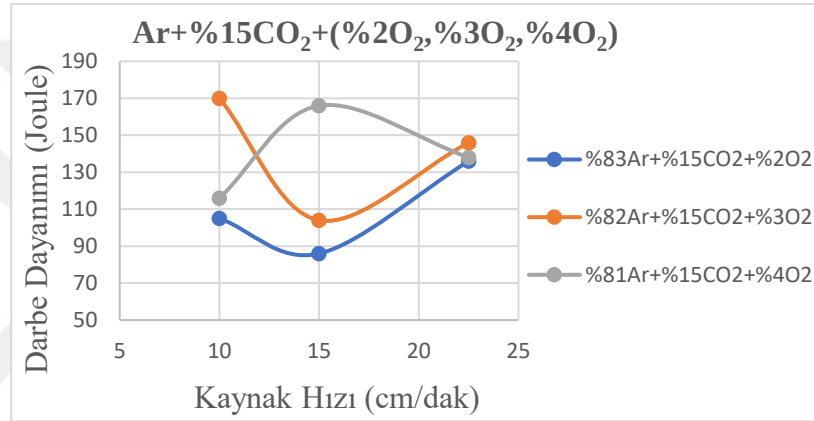
Şekil 10.41 Ar+%4O₂+(%5CO₂, %10CO₂, %15CO₂)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.



Şekil 10.42 Ar+%5CO₂+(%2O₂, %3O₂, %4O₂)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.



Şekil 10.43 Ar+%10CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.

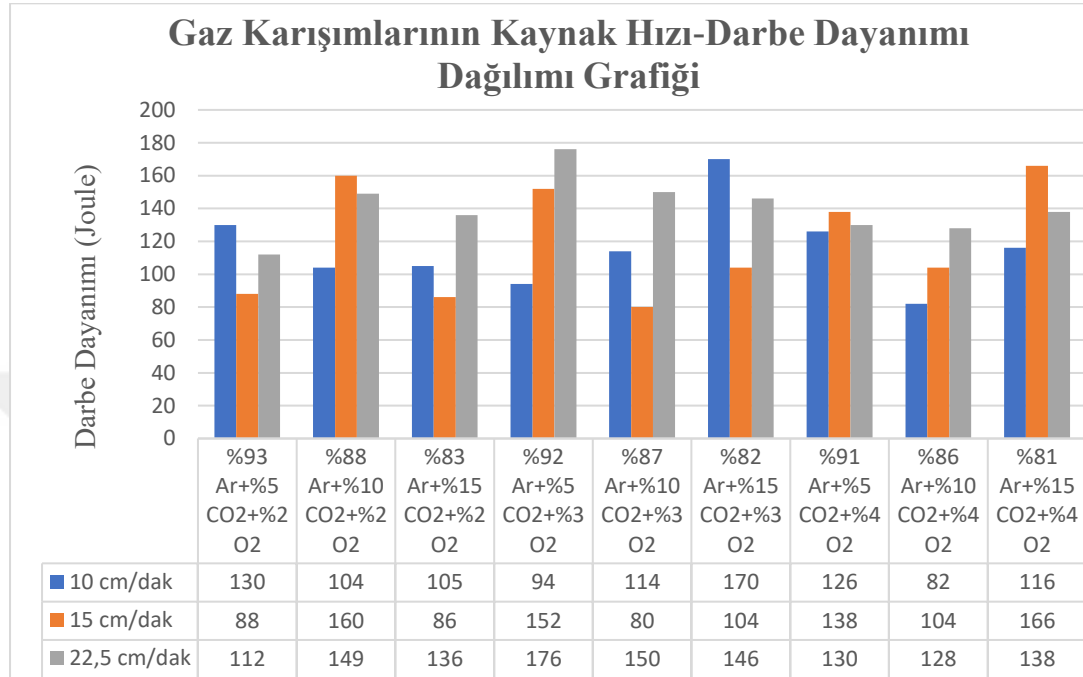


Şekil 10.44 Ar+%15CO₂+(%2O₂,%3O₂,%4O₂)-kaynak hızı darbe dayanımı dağılımı grafiği.

Şekil 10.39-10.41’de farklı hızlarda, sabit O₂’de artan CO₂ miktarlarının kaynak üzerindeki etkisini gösteren darbe dayanımı değerleri dağılımı grafiği gösterilmektedir. Şekil 10.39-10.41’e bakıldığında farklı hızlarda, O₂ sabitken CO₂ miktarı arttıkça ((Ar+%2 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%3 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%4 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂)) numune tarafından emilen darbe enerjisi değeri önce artış göstermekte sonra sabit kalmakta ya da düşmektedir. Kaynak hızı arttıkça, ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle tokluk değeri azalmaktadır.

Şekil 10.42-10.44’te farklı hızlarda, sabit CO₂’de artan O₂ miktarlarının kaynak üzerindeki etkisini gösteren darbe dayanımı değerleri dağılımı grafiği gösterilmektedir. Şekil 10.42-10.44’e bakıldığında farklı hızlarda, CO₂ sabitken O₂ miktarı arttıkça ((Ar+%5 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%10 CO₂+(%2 O₂, %3

O₂, %4 O₂), Ar+%15 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂)) numune tarafından emilen darbe enerjisi değeri önce artış göstermekte sonra sabit kalmakta ya da düşmektedir. Kaynak hızı arttıkça, ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle tokluk değeri azalmaktadır.



Şekil 10.45 Gaz karışımlarının kaynak hızı-darbe dayanımı dağılımı grafiği.

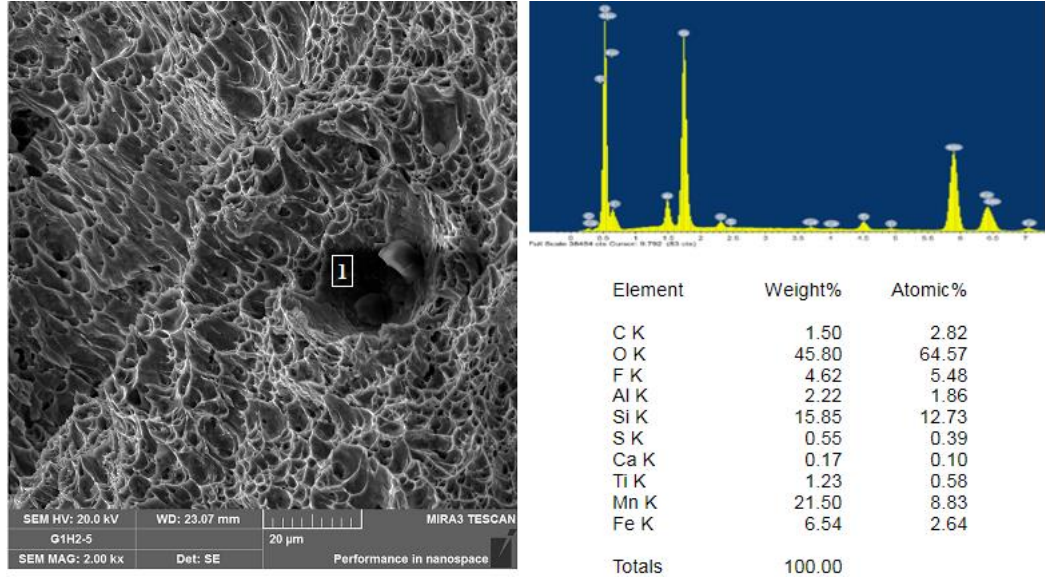
Şekil 10.45’de bütün gaz karışımlarının kaynak hızı-darbe dayanımı dağılımı grafiği verilmiştir. Şekil 10.45’deki grafikte en yüksek darbe dayanımı 176 J ile %92 Ar+ %5 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 22,5 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir. En düşük darbe dayanımı ise 80 J ile %87 Ar+ %10 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 15 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir.

MIG/MAG kaynağında koruyucu gazın oksitleme potansiyeli arttırıldığında tokluk değerlerinde iyileşme sağlanabilmektedir [117]. Argona katılan az miktardaki O₂ kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Fakat O₂ çentik darbe dayanımını azda olsa olumsuz yönde etkilemektedir [114]. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarı arttıkça ark sıcaklığı arttığından dolayı ısı girdisi artmakta, bu durum da tokluk değerini artırmaktadır.

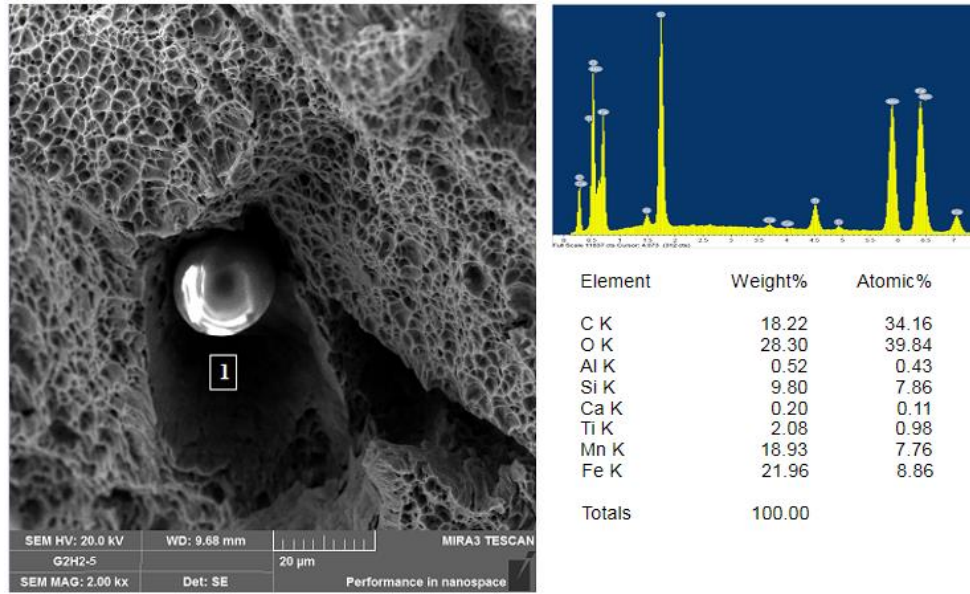
Numuneler tarafından emilen Charpy enerjisindeki değişim; mikroyapıya, inklüzyona ve gözenekliliğe karşılık gelir. Charpy testinde, kırık sırasında test numunesi tarafından emilen enerji (darbe dayanımı) ölçölür. Çelik kaynaklardaki oksit inklüzyonları, asiküler ferrit oluşumunu etkileyebilir ve daha sonra kaynak metali tokluğunu iyileştirebilir [121]. Charpy testinde emilen enerji, kaynak metalindeki asiküler ferritin hacim fraksiyonunun artmasıyla artar. AF (asiküler ferrit), WF (windmanstatten ferrit) ve PF (poligonal ferrit) faz yapıları arasında AF daha yüksek tokluk değerine sahiptir. Asiküler ferritin birbirine kenetlenen doğası, ince tane büyüklüğü ile birlikte, yarıma yoluyla çatlak yayılmasına karşı maksimum direnç sağlar. Tane sınırı ferrit, ferrit yan plakalar veya üst beynit oluşumu, metal tokluğuna kaynak yapmak için zararlıdır, çünkü bu mikro yapılar kolay çatlak yayılma yolları sağlar [121]. Widmanstatten ferrit ayrıca çatlağı tanelerin içine yönlendirir ve çatlağın ilerlemesine yardımcı olur. Daha sonra, CO₂'nin arttırılması nedeniyle kaynaktaki inklüzyon miktarındaki azalma, asiküler ferritin azaltılmasının etkisini telafi eder ve böylece tokluk sabit kalır. Kaynaktaki inklüzyonlar çatlağı başlatır ve yönlendirir ve gevrek kırılmayı teşvik eder [122,123].

10.3.4 SEM görüntüleri ve EDS sonuçları

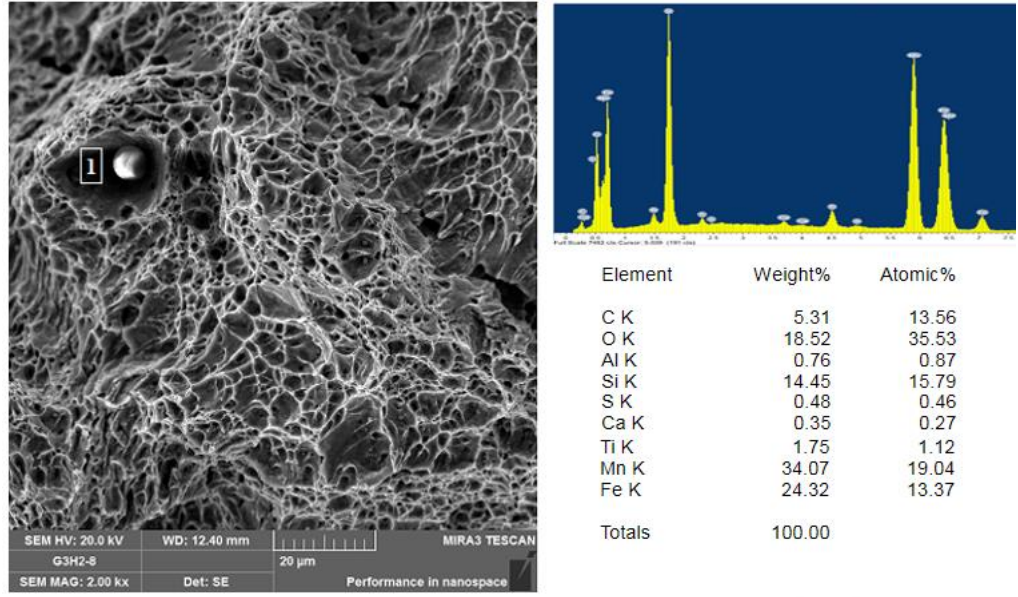
Şekil 10.46-10.56 arasında bütün gaz karışımlarının 15 cm/dak hızda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilen kaynak çentik darbe numunelerinin kaynak metali bölgelerinin kırılma yüzeylerinin yanısıra, bütün gaz karışımları içerisinde en iyi mekanik özellikleri sergilediği düşünölen %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak ve 22,5 cm/dak hızlarda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilen çentik darbe numunelerinin kaynak metali bölgelerinin kırılma yüzeylerinin 2000X büyütmede SEM görüntüleri ve elde edilen EDS analiz değerleri verilmiştir. EDS analiz değerleri, SEM görüntüleri üzerinde 1 numarası ile işaretlemiş bölgelere göre elde edilip verilmiştir.



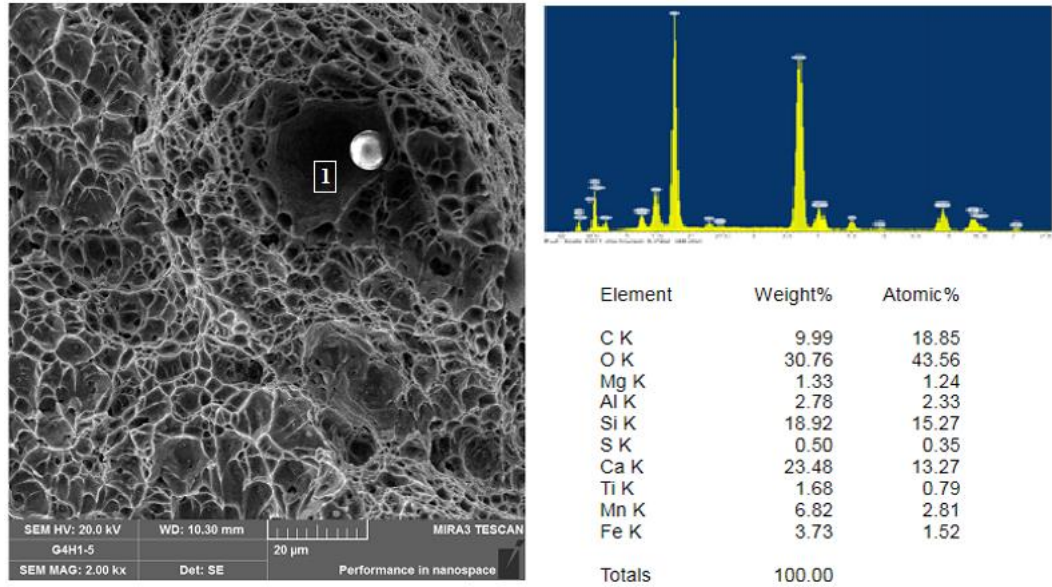
Şekil 10.46 %93 Ar+%5 CO₂+%2 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



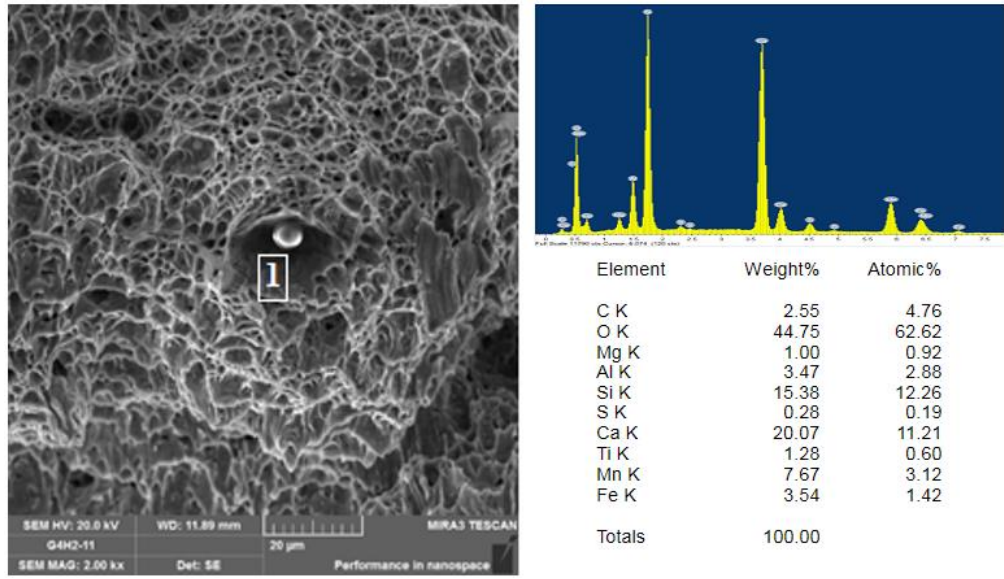
Şekil 10.47 %88 Ar+%10 CO₂+%2 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



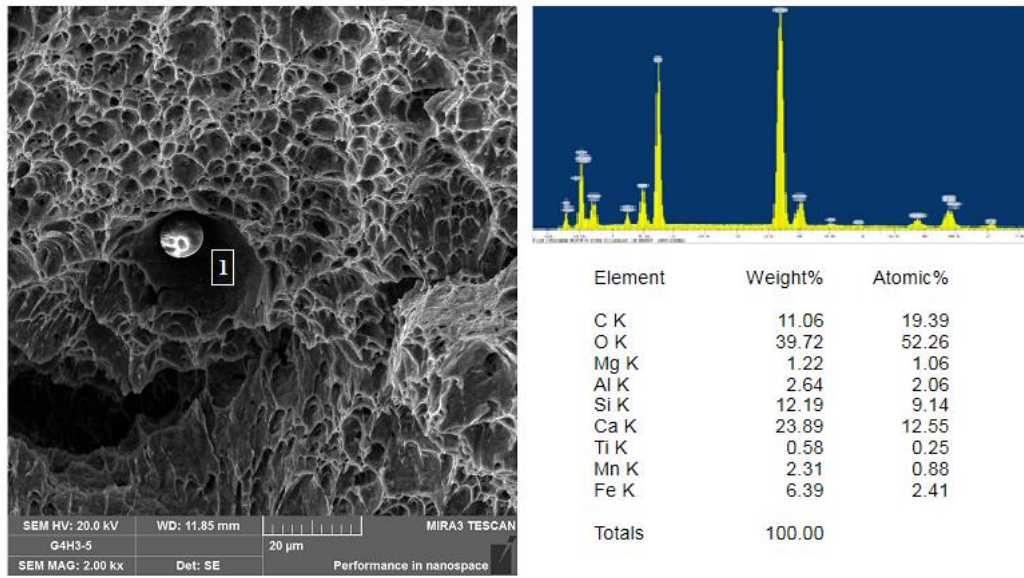
Şekil 10.48 %83 Ar+%15 CO₂+%2 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



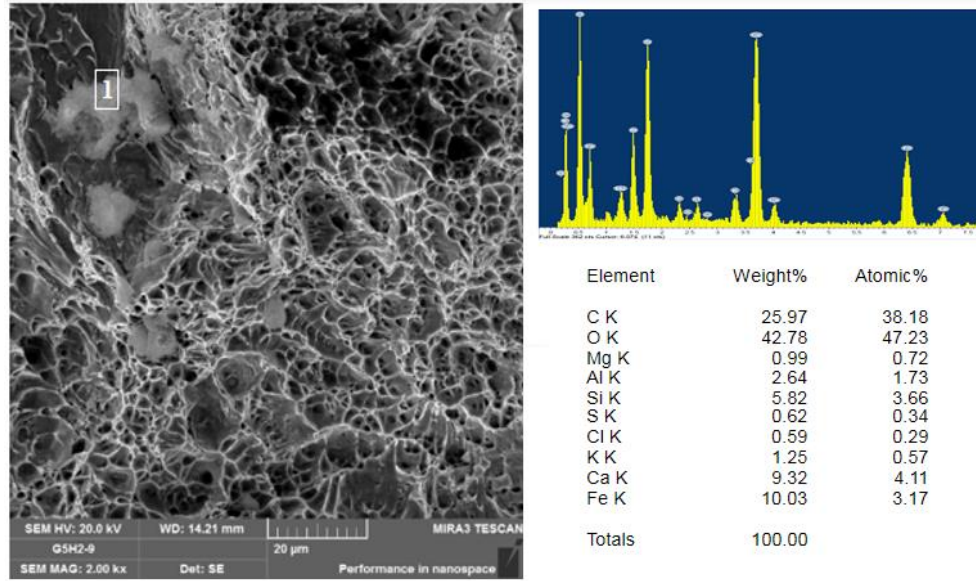
Şekil 10.49 %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ karışım 10 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



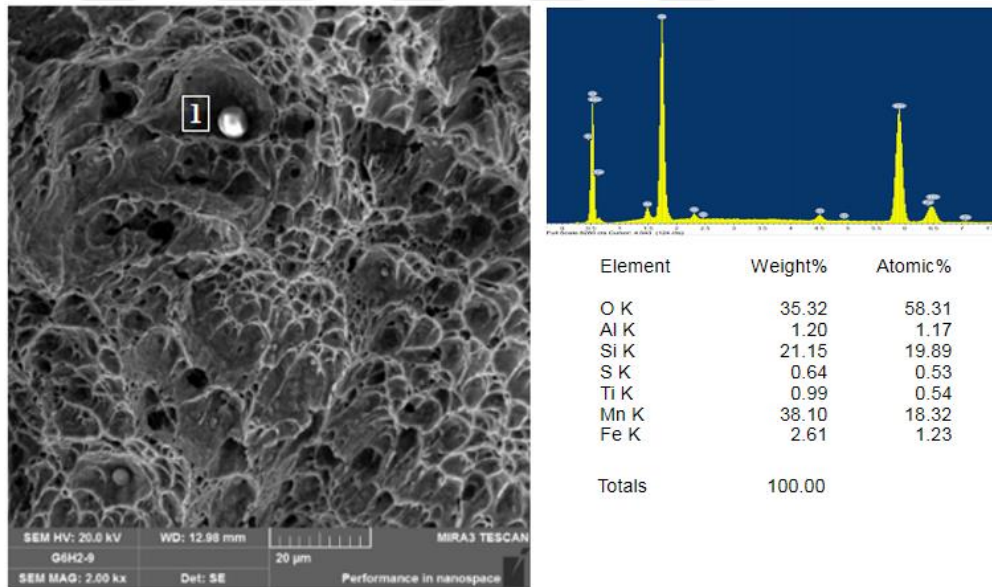
Şekil 10.50 %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



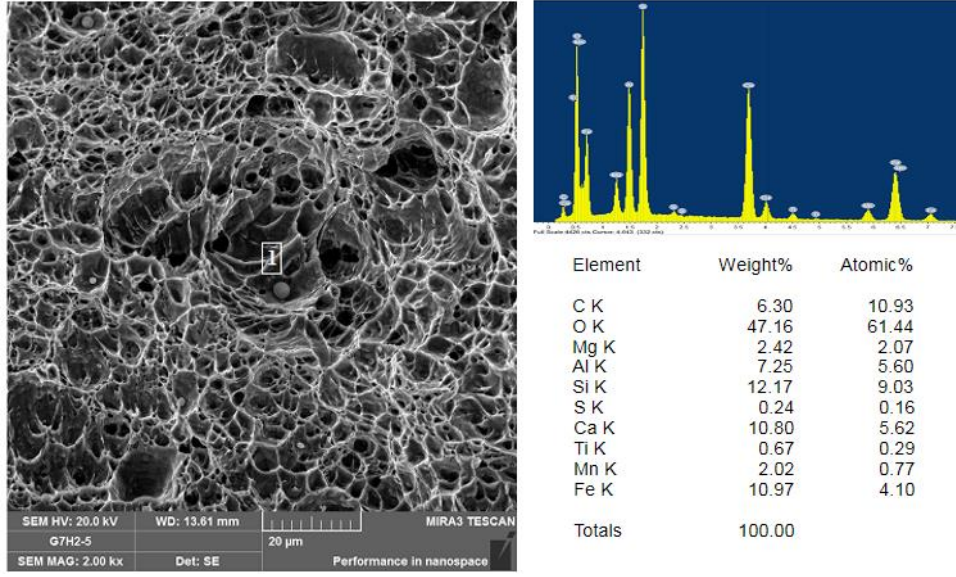
Şekil 10.51 %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ karışım 22,5 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



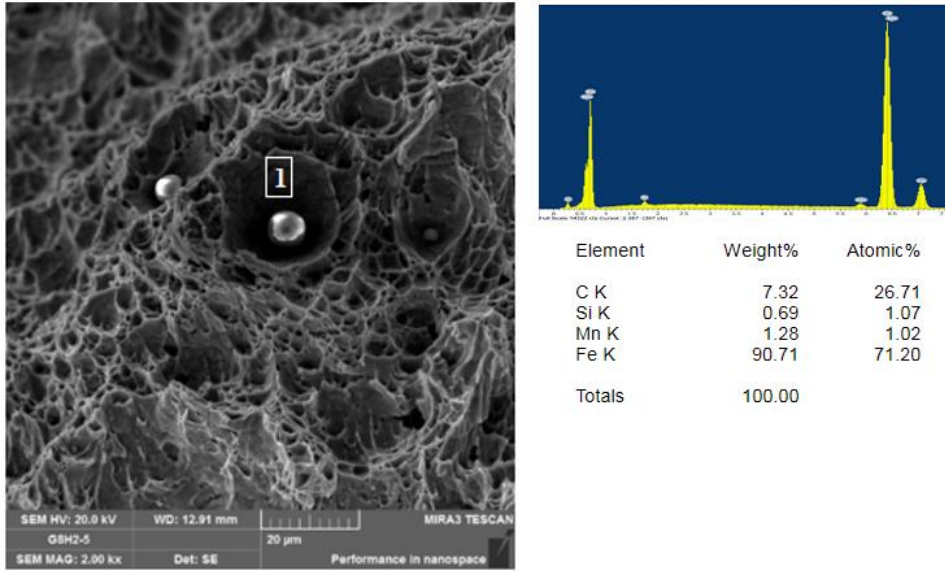
Şekil 10.52 %87 Ar+%10 CO₂+%3 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



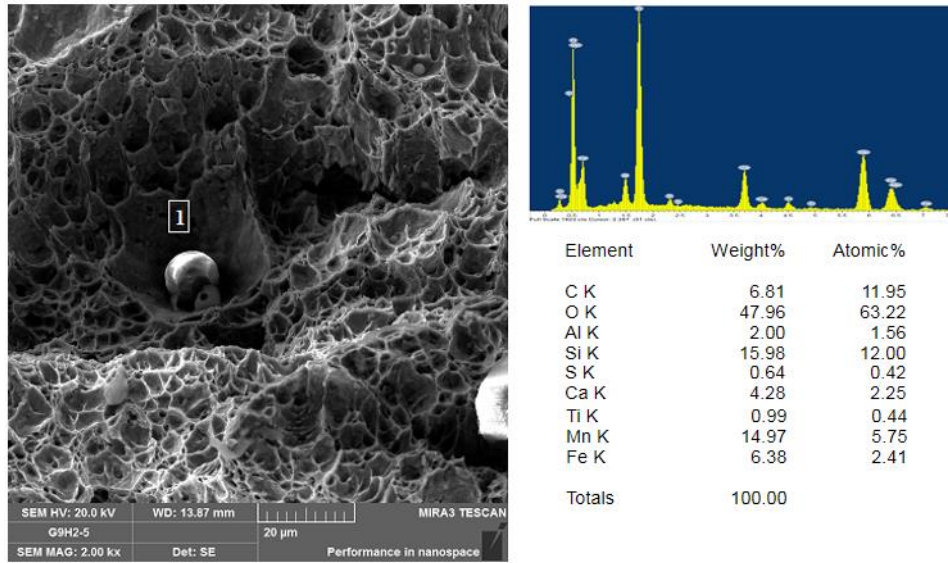
Şekil 10.53 %82 Ar+%15 CO₂+%3 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



Şekil 10.54 %91 Ar+%5 CO₂+%4 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



Şekil 10.55 %86 Ar+%10 CO₂+%4 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



Şekil 10.56 %81 Ar+%15 CO₂+%4 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.

Koruyucu gazdaki CO₂ miktarının artışı, kaynak metalindeki Si, Mn elementlerinin azalışına neden olmasına karşın MnO ve SiO₂ gibi oksit miktarında artışlara neden olmuştur. Bu oksitlerin büyük bir kısmı hareketli olduğundan dolayı cüruf olarak kaynak metalinden uzaklaştırılır fakat belirli bir miktarı kaynak metalinde inklüzyon olarak kalmaktadır [67,84,127].

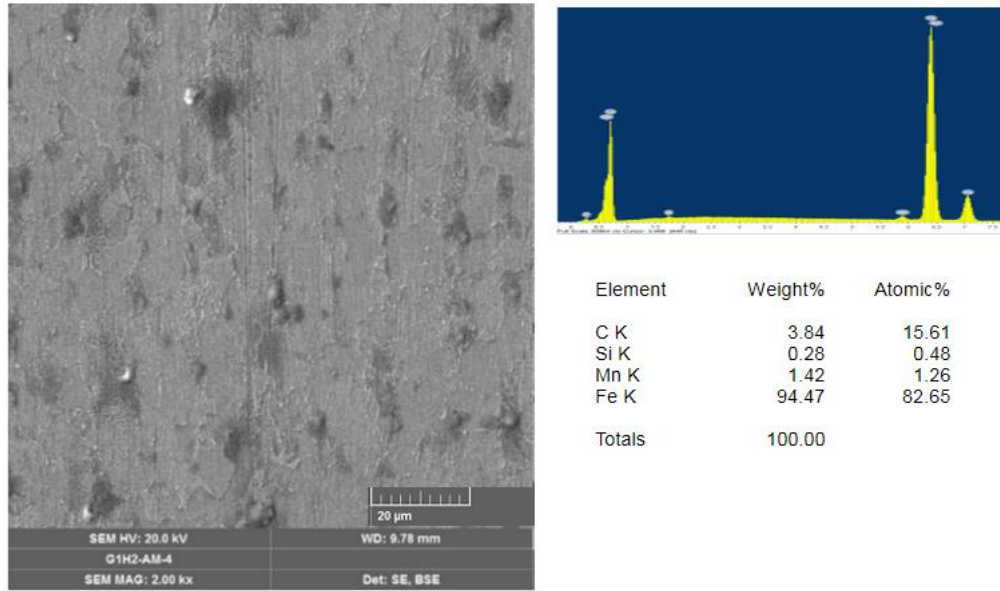
İnklüzyonlar, çukurlarda oluşturulur ve küresel formlara sahiptirler. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarı arttıkça inklüzyonların boyutu ve oluşturulan çukurların boyutu artar. Kaynak işlemi sırasında koruyucu gazdaki CO₂ miktarının artması çeşitli reaksiyonların oluşmasına sebebiyet verir. CO₂, oksijen ve karbon monoksit salmak için arkta ayrışabilir. Bundan dolayı da kaynak metali içeriğindeki silisyum, mangan ve titanyum gibi elementlerin azalmasına neden olabilir. Bu durum kaynak metalindeki inklüzyonların sayısında ve boyutunda artışa neden olur [20,84].

Daha yüksek miktarda Argon içeren koruyucu gaz ile elde edilen kaynak metalinde, inklüzyonların boyut ve dağılımında azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca inklüzyonlar bulundukları çukurların boyutlarını genişletmektedir. Genişleyen çukurlar, Charpy darbe sonuçlarını etkilemekte ve koruyucu gazdaki CO₂ gazının artışına paralel olarak tokluk değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Darbe testi sırasında mikro yapıda bulunan inklüzyonların, dinamik test sırasında kırıkların oluşumunu ve yayılmasını hızlandırdığına inanılmaktadır. Böylece Charpy darbe testi sırasında kırığın oluşması

ve yayılması için kullanılan enerji miktarının azalmasına neden olur [63,67,84,99,125-127]. İnküzyonların bulunduğu çukurlar daha derindir ve inküzyonların hemen yanında boşluklar vardır. İnküzyonun kırılma yüzeyinin morfolojisinde düz görümlü yarılmı kırık bölgeleri vardır. İnküzyon formunda yer alan yapılar dikkat çekmektedir [84].

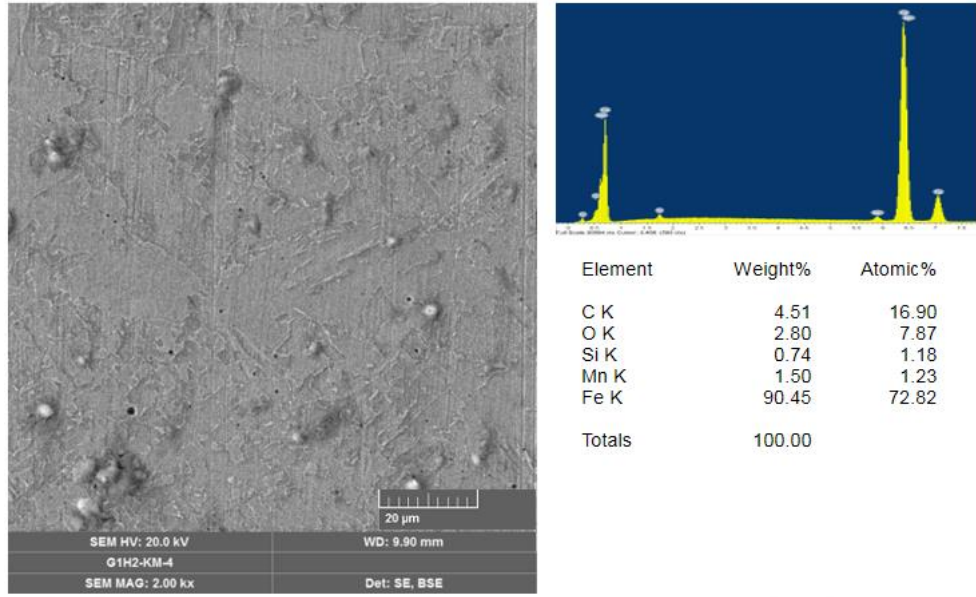
EDS analizi, inküzyonların farklı oksitlerden yani çoklu oksitlerden oluştuğunu göstermektedir. Kaynak metalindeki Si ve Mn 1800 °C'nin üzerinde deoksidan gibi davranmadığından mikropartiküller olarak çökelirler [63]. CO₂ koruyucu gaz kullanımı nedeniyle artan ısı girdisi, kaynak havuzundaki oksijen difüzyonunu artırır [55]. Si, Mn, Ti, Al gibi oksijene ilgisi yüksek elementlerle birleşerek çoklu oksit formları oluşturdıkları anlaşılmaktadır.

EDS analizinden anlaşıldığı kadarıyla oksijen, kaynak havuzunda artan ısı nedeniyle kaynak metalinde inküzyon oluşumuna neden olmakta, kaynak havuzu yüzeyinde oluşanlar ise oluşan cürufa eklenmektedir. İnküzyonlar muhtemelen FeO, CrO, Si₂O, TiO₂, MnO ve Al₂O₃'ten oluşur ve boyutları 1 ila 8 µm arasında değişir [84].

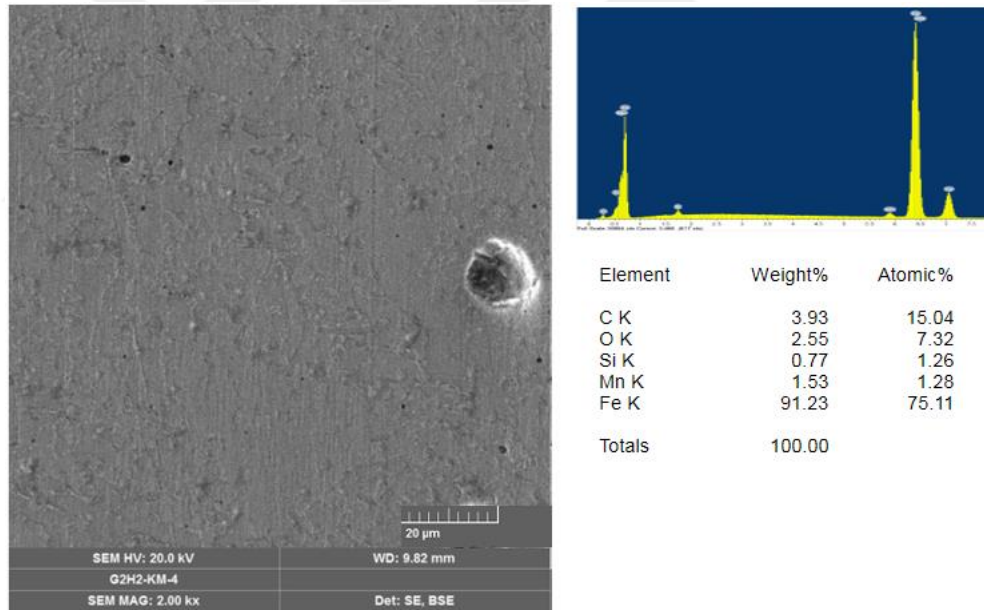


Şekil 10.57 Ana metal SEM görüntüsü ve EDS analizi.

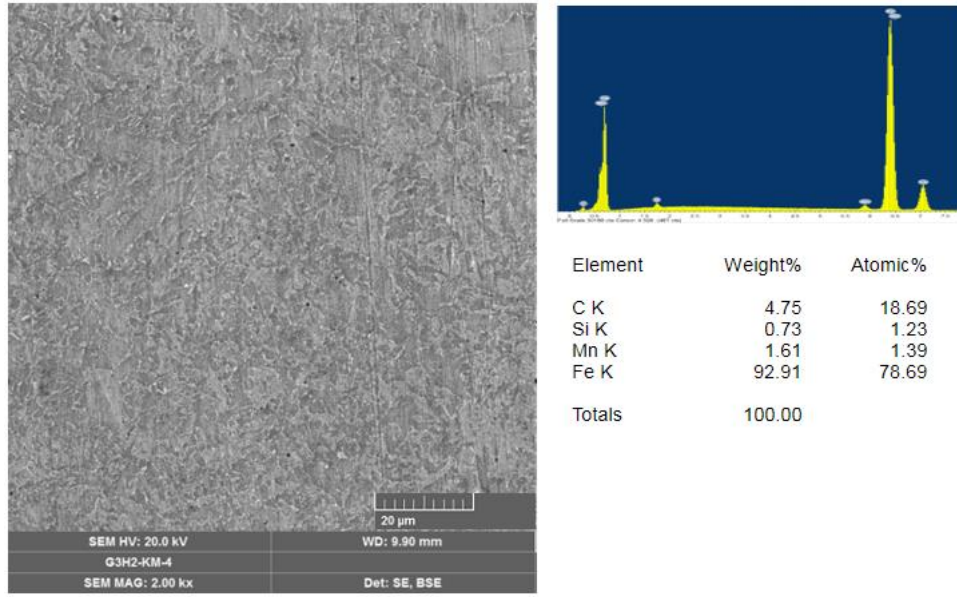
Şekil 10.57'de ana metalin, optik mikroskobu için hazırlanmış olan parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numunesinin 2000X büyütmede SEM görüntüsü ve elde edilen EDS analiz değerleri verilmiştir.



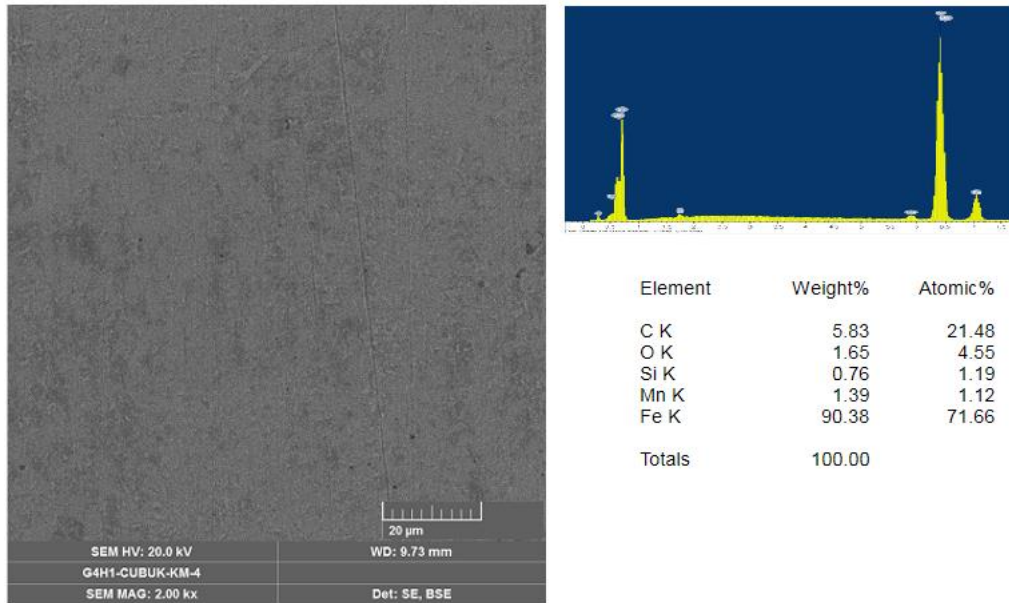
Şekil 10.58 %93 Ar+%5 CO₂+%2 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



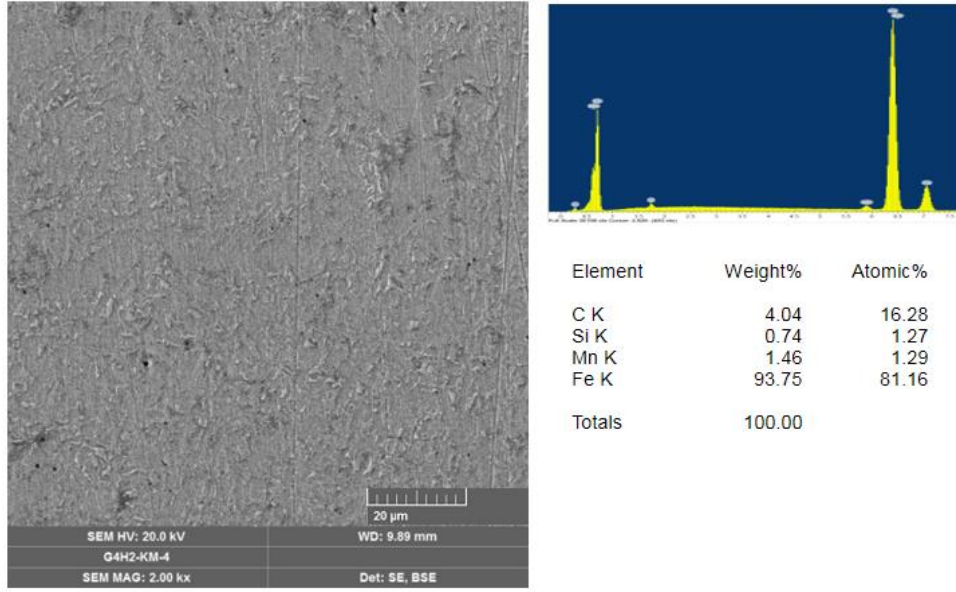
Şekil 10.59 %88 Ar+%10 CO₂+%2 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



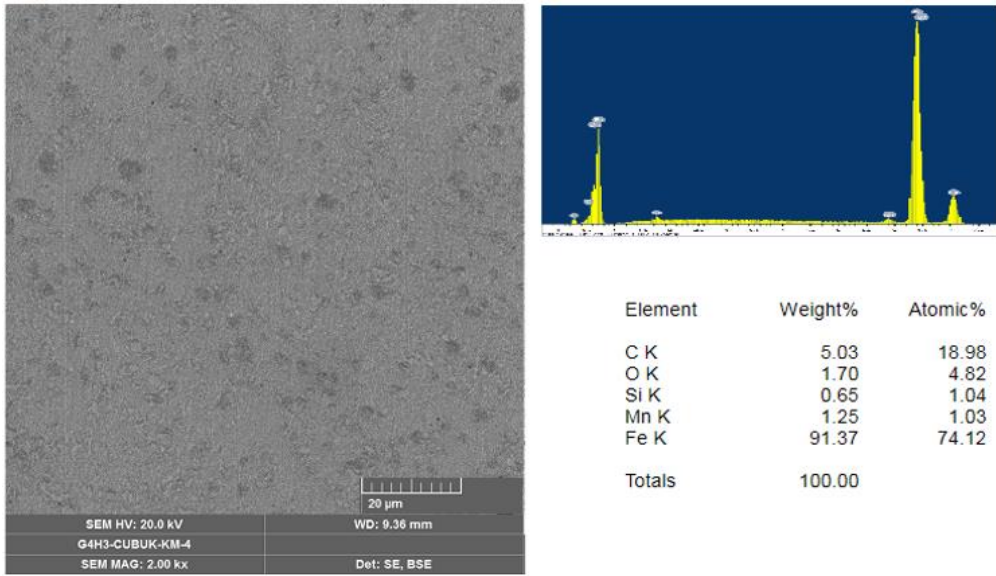
Şekil 10.60 %83 Ar+%15 CO₂+%2 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



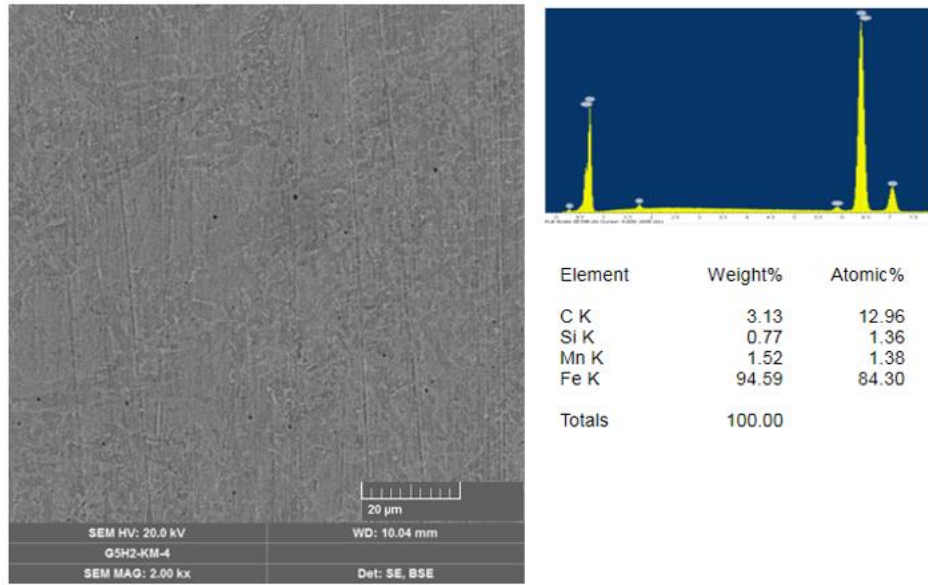
Şekil 10.61 %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ karışım 10 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



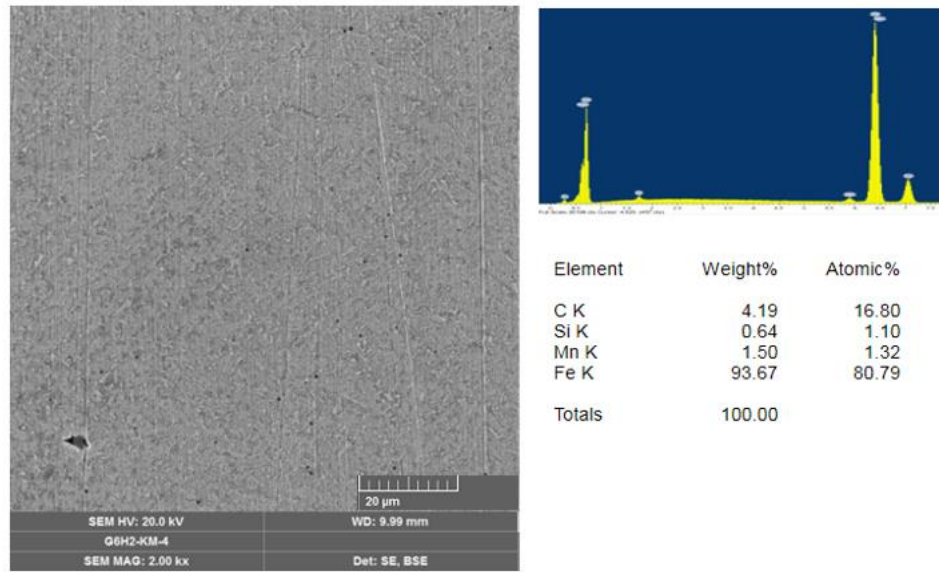
Şekil 10.62 %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



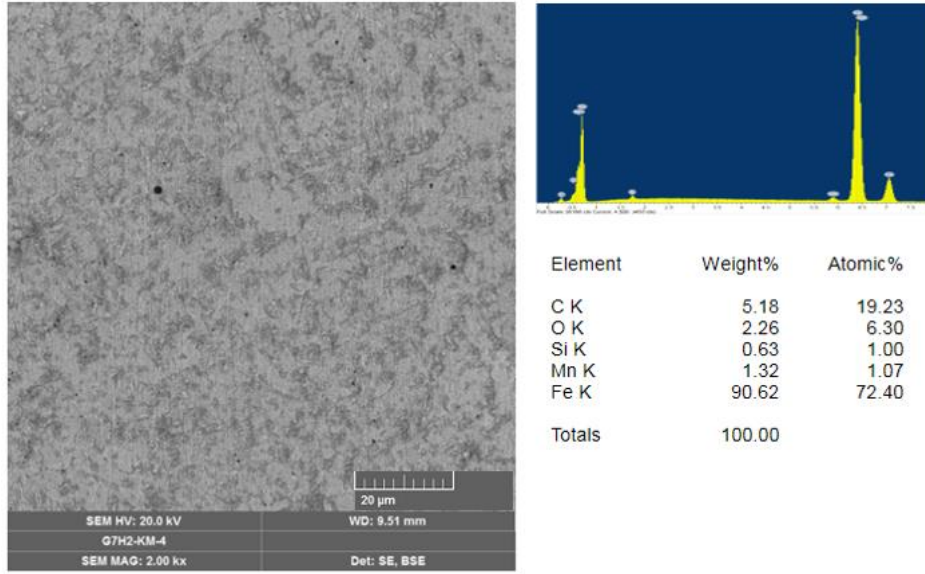
Şekil 10.63 %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ karışım 22,5 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



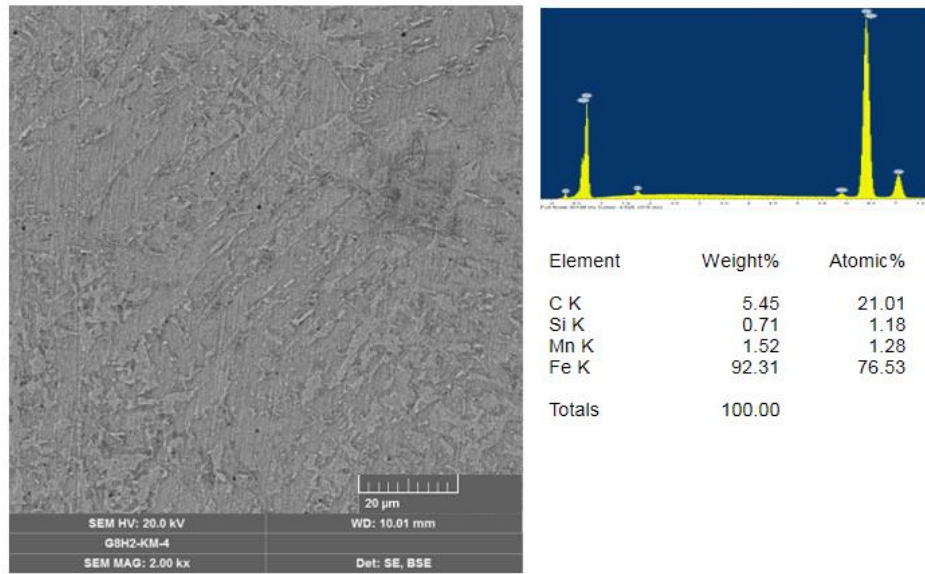
Şekil 10.64 %87 Ar+%10 CO₂+%3 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



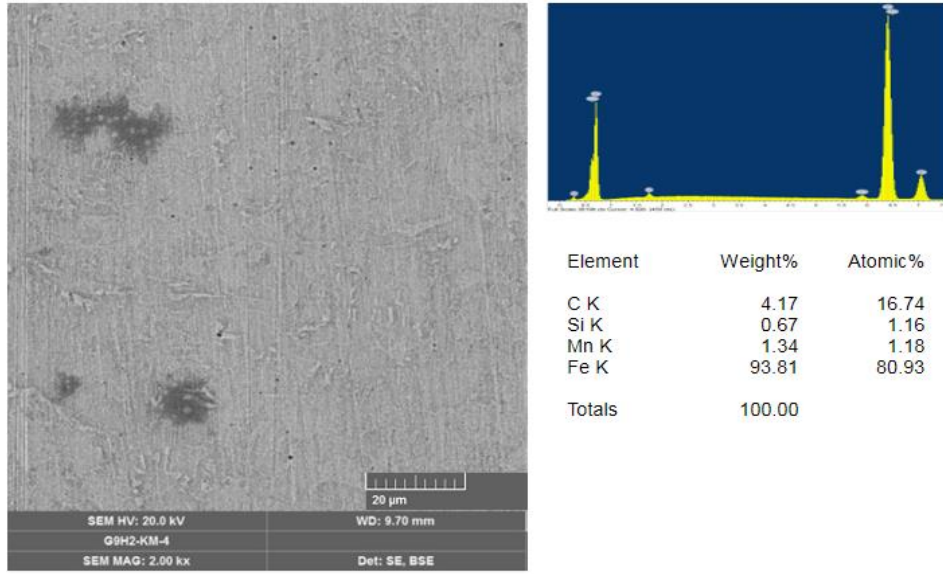
Şekil 10.65 %82 Ar+%15 CO₂+%3 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



Şekil 10.66 %91 Ar+%5 CO₂+%4 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



Şekil 10.67 %86 Ar+%10 CO₂+%4 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.



Şekil 10.68 %81 Ar+%15 CO₂+%4 O₂ karışım 15 cm/dak hızda SEM görüntüsü ve EDS analizi.

Şekil 10.58-10.68 arasında bütün gaz karışımlarının 15 cm/dak hızda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilen optik mikroskobu için hazırlanmış olan parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numunelerinin kaynak metal bölgelerinin yanısıra, bütün gaz karışımları içerisinde en iyi mekanik özellikleri sergilediği düşünülen %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak ve 22,5 cm/dak hızlarda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilen optik mikroskobu için hazırlanmış olan parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numunelerinin kaynak metal bölgelerinin 2000X büyütmede SEM görüntüleri ve elde edilen EDS analiz değerleri verilmiştir. EDS analiz değerleri, SEM görüntülerindeki görünen tam yüzeyden elde edilip verilmiştir.

EDS analiz sonuçlarına göre, Şekil 10.57’de verilmiş olan ana metaldeki genel Si, Mn elementlerinin oranları ile Şekil 10.58-10.68 arasında verilmiş olan farklı gaz karışımları ile yapılmış kaynak metalindeki genel Si, Mn elementlerinin oranları karşılaştırıldığında; Si, Mn oranlarında oksitlenmeden dolayı her ne kadar düşüş gerçekleşmiş olsa da kaynak telinden ilave Si, Mn elementi takviyesi gerçekleştiği için ana metaldeki oranlardan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde çatlama ilerlemesinin intragranüller arasında ilerlediği ayrıca mikro boşluklar (dimples) küçük ve derin olması sonucunda yapının sünek kırıldığı gözlemlenmiştir.

11. TARTIŞMA VE SONUÇ

Farklı koruyucu gaz bileşimlerinin ve farklı kaynak hızlarının S355J2+N yapı çeliğinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kaynak özellikleri üzerindeki etkisi optik mikrobi, sertlik testi, çekme testi, eğme testi, Charpy-V çentik darbe testi, SEM görüntüleri ve EDS analizleri kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Mikro yapı görüntülerinden kaynak metali, ergime çizgisi ve ITAB bölgeleri görülmektedir. Kaynak metali ve ITAB'larında oluşan ısı girdisiyle alakalı olarak tane büyümesi görülmektedir. Tane kabalaşması, yalnızca kaynak metaline birleşik bölgede meydana geldiği gözlemlenmektedir. ITAB'ın ana malzeme tarafında kaba taneli iç yapıdan dolayı sertlik düşmeleri görülmektedir.

ITAB'daki soğuma hızı esas olarak ısı girdisi ve bağlantıdaki metal kalınlığı tarafından belirlenmektedir. Yüksek ısı girdileri ITAB'da düşük soğuma hızlarına neden olmaktadır. Kalın kesitlerdeki soğuma hızları da ince kesitlerden daha yüksektir. Soğuma hızları esas metalin kaynaktan önce ve kaynak sırasındaki sıcaklığından da etkilenmektedir.

Kaynak işleminde aşırı ısınma ve hızlı soğuma etkilerine bağlı olarak oluşan asiküler ferrit tanelerinin yoğunluğu nedeniyle, kaynak metali içerisinde daha ince taneli yapının oluştuğu görülebilmektedir. Bu durumu Shanmugam ve arkadaşları [107], Hashemi ve arkadaşları [108] da gözlemlemişlerdir. Oluşan ince taneli yapıların mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediği bilinmektedir. Bu durum Lehto ve arkadaşları [110] tarafından da desteklenmektedir.

ITAB'da ısının etkisi ile tanelerin, ana metal yönünden kaynak metali yönüne doğru dendritik olarak uzadığı görülmektedir. Kolonsal yapının hakim olduğu ITAB tane yapısı içerisinde yer yer iğnemi widmanstatten ferrit yapının oluştuğu da tespit edilmiştir. Kaynak bölgesindeki sertlik değeri, numunelerdeki asiküler ferrit içeriğinin azalmasıyla azalmaktadır. Koruyucu gazdaki karbondioksitin artmasıyla asiküler ferrit miktarının azaldığı ve widmanstatten ferrit miktarının arttığı sonucuna varılabilmektedir. Bu sonucu Ebrahimnia ve arkadaşları [72] da yapmış oldukları

çalışmada desteklemektedirler. Bu durum, farklı koruyucu gaz bileşimleri altında soğutma hızının değişimi dikkate alınarak açıklanabilmektedir. Koruyucu gazda karbondioksit miktarı arttığında, ısı girdisi ve dolayısıyla soğutma süresi arttığından dolayı bu da mikro yapının daha az denge dışı faza sahip olmasını sağlamaktadır.

Sertlik değerlerine bakıldığında en düşük sertlik değerlerinin ana metalde, en yüksek sertlik değerlerinin ITAB bölgesinde olduğu görülmektedir. ITAB bölgeleri arasındaki sertlik değerlerine göre en düşük sertlik değerleri en düşük kaynak hızı olan 10 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülmektedir. ITAB bölgeleri arasındaki sertlik değerlerine göre en yüksek sertlik değerleri ise en yüksek kaynak hızı olan 22,5 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülmektedir. Bu durum, CO₂ ve O₂ oranları düşük olan sertlik değerlerinde yaklaşık olarak görülmektedir.

Kaynaklı bağlantılarda sertlik, soğuma hızına ve ana malzemenin kimyasal yapısına bağlıdır. Kaynak hızı, ark akımı ve ark gerilimi ısı girdisini etkileyen temel faktörlerdir. Yaptığımız deneylerde ark gerilimi ve ark akımı sabit kabul edilirse kaynak hızı arttıkça malzeme ısı girdisi azalmakta ve dolayısıyla ITAB'ın soğuma hızı artmaktadır. Bu durum martenzitik yapı oluşumuna neden olduğu için numunelerde kaynak hızı arttıkça sertlik artmaktadır.

Koruyucu gazda karbondioksit miktarı arttığında, arktaki plazmanın sıcaklığı daha yüksek olacaktır, bu nedenle kaynak havuzundaki ısı girdisi artmaktadır. Artan ısı girdisi ise toplam soğutma süresini arttırdığından dolayı, koruyucu gazdaki karbondioksit miktarının artması ile kaynak numunelerinde kaynak metali sertliğinin azaldığı görülmektedir.

CO₂ ve O₂ oranları yüksek olan sertlik değerlerine bakıldığında ITAB bölgeleri arasındaki sertlik değerlerine göre en düşük sertlik değerleri bazı yerlerde 22,5 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülürken, en yüksek sertlik değerleri ise bazı yerlerde 10 cm/dak hızla yapılan kaynaklarda görülmektedir. Bu duruma CO₂ ve O₂ oranlarındaki artışın sonucu oluşan oksitlerin neden olduğu düşünülebilir.

Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O₂ ve CO₂ miktarları) fazla olduğunda kaynak metali içerisindeki O₂ oranı artmakta, yüksek oranda O₂ elektrottaki Mn ve Si oranını azaltmaktadır. Balraj ve arkadaşları [112] da çalışmasında bu sonuca ulaşmışlardır. Mn ve Si mekanik özelliklerin artmasına neden olmaktadır. Kurşun'un da [114]

çalışmasında bulunduğu üzere; oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırmaktadır ve bundan dolayı oksijenin oksitleyici etkisi, kaynak telindeki mangan, silisyum, alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi alaşım elementlerinin arttırılması ile dengelenir.

En yüksek sertlik ortalamasının 218 HV ile %83 Ar+ %15 CO₂+ %2 O₂ gaz karışımının 22,5 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden, en düşük sertlik ortalamasının ise 192 HV ile %91 Ar+ %5 CO₂+ %4 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden ve yine 192 HV ile %86 Ar+ %10 CO₂+ %4 O₂ gaz karışımının 22,5 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edildiği görülmektedir.

Farklı hızlarda, koruyucu gaz içindeki O₂ sabitken CO₂ miktarı arttıkça ((Ar+%2 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%3 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%4 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂)) genellikle çekme dayanımı düşüş göstermektedir. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle çekme dayanımı önce artmakta belli bi noktadan sonra sabit kalmaktadır.

Farklı hızlarda, koruyucu gaz içindeki CO₂ sabitken O₂ miktarı arttıkça ((Ar+%5 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%10 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%15 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂)) genellikle çekme dayanımı düşüş göstermektedir. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle çekme dayanımı önce artmakta belli bi noktadan sonra sabit kalmaktadır.

En yüksek çekme dayanımı 699,927 MPa ile %87 Ar+ %10 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı ise 444,099 MPa ile %92 Ar+ %5 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 15 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir.

Ar+CO₂+O₂'nin üçlü karışım gazı ile kaynak edilen numunelerde Argona ilave edilen O₂+CO₂ gazları belirli bir orandan sonra artması ile akma ve çekme mukavemetlerinde düşme % süneklilik miktarlarında artma görülür. Bu sonuç, Ateş'in [115] de çalışmasını destekler niteliktedir. Argona CO₂ eklenmesi ark sıcaklığını artırıcı etki yapmakta, O₂ kaynak banyosu yüzey gerilimine etki ederek daha üniform olmasını sağlamakta ve kaynak dikişi mukavemetini artırıcı etkiler ortaya koymaktadır. Tam

aksi olarak, karışımdaki CO₂ oranının azalması ile iyi bir nüfuziyet elde edilemez. Düşük CO₂ içeren gaz karışımları yeterli ısıyı sağlayamaması nedeni ile banyoda argon hapsi ve azot çözülmesi meydana getirir. Bu da kaynak dikişinin mekanik özelliklerini kötü yönde etkilemektedir.

Koruyucu gaz içindeki aktif bileşenler (O₂ ve CO₂ miktarları) fazla olduğunda kaynak metali içerisindeki O₂ oranı artmakta, ark sırasında oksidasyondan dolayı alaşım elementi kaybı o denli yüksek olmakta ve en fazla etkilenen metaller de en aktif metaller olan Ti ve Zr gibi metaller olmaktadır. Bunun yanı sıra dikişin mukavemetinde önemli rol oynayan Si, Mn, Ni ve Al gibi elementlerinde kaybı söz konusudur. CO₂ gazının kaynak metalinde meydana getirdiği oksitlenme ve gözeneklilik büyük problem olmuştur. Bu yapıyı ortadan kaldırmak için kaynak teline mangan ve silisyum katılarak iyi sonuçlar alınmış, kaynağın mekanik özellikleri iyileştirilmiştir. CO₂ korumalı kaynakta gözenek oluşumu ve sıçramaların azaltılması için kısa ark boyu ile kaynak tercih edilmiştir.

Çekme deney verileri incelendiğinde, çekme numuneleri genellikle kaynaklı bölge ve ITAB'den kopmayarak (bazı numunelerde kaynaklı bölge ve ITAB'a yakın yerlerden kopma olduğu görülmüştür) ana malzemeden kopmuşlardır. Bu sonuç; uygulanan kaynak işleminin mekanik yüklemelerdeki dayanımının kaynak metalinde, ana malzemeye göre daha iyi tavırlar sergilediğini göstermektedir. Buna sebep olarak kaynaklı bölgede yüksek ısı girdisi ve hızlı soğumadan kaynaklanan ince taneli ve iğnemsî yapıların oluşması gösterilebilir. Oluşan ince taneli yapılar mekanik özellikleri olumlu etkilemektedir.

Genel olarak bir metal mikro yapısında tanenin küçülmesiyle akma mukavemetinin arttığı gözlenir. İnce taneli yapıların deformasyona karşı gösterdiği direnç yüksek olduğu için kopma kaynak metalinde gerçekleşmeyip, daha iri tane yapısına sahip olan ana metalde meydana gelmiştir. Kaynaklı bölgenin çekme testi esnasında deformasyona karşı gösterdiği direnç, çekme numunelerinin % uzama değerlerinin ana malzemeye oranla daha düşük çıkmasına neden olmakta ve bu nedenle kopma ana malzemede oluşmaktadır. Buna paralel olarak çekme mukavemetinin artması yine kaynaklı bölgenin deformasyona karşı gösterdiği direnç nedeniyledir. Sonuç olarak, standartlarda belirtilen minimum akma ve kopma mukavemetlerini aşarak kullanım konusunda herhangi bir sıkıntı ile karşı karşıya olmadığı kanısına varılmıştır.

En yüksek eğme değeri 1129,888 MPa ile %92 Ar+ %5 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 15 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir. En düşük eğme değeri ise 839,3175 MPa ile %88 Ar+ %10 CO₂+ %2 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir.

Eğme testi sonucunda (bazı numuneler haricinde) genellikle herhangi bir yırtılma ve çatlama tespit edilmemiş, soğuk yapışma gibi kaynak hatalarına da rastlanmamış olup testi başarı ile geçmiştir.

Farklı hızlarda, koruyucu gaz içerisindeki O₂ sabitken CO₂ miktarı arttıkça ((Ar+%2 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%3 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂), Ar+%4 O₂+(%5 CO₂, %10 CO₂, %15 CO₂)) numune tarafından emilen darbe enerjisi değeri önce artış göstermekte sonra sabit kalmakta ya da düşmektedir. Kaynak hızı arttıkça, ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle tokluk değeri azalmaktadır.

Farklı hızlarda, koruyucu gaz içerisindeki CO₂ sabitken O₂ miktarı arttıkça ((Ar+%5 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%10 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂), Ar+%15 CO₂+(%2 O₂, %3 O₂, %4 O₂)) numune tarafından emilen darbe enerjisi değeri önce artış göstermekte sonra sabit kalmakta ya da düşmektedir. Kaynak hızı arttıkça, ısı girdisi azaldığından dolayı genellikle tokluk değeri azalmaktadır.

En yüksek darbe dayanımı 176 J ile %92 Ar+ %5 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 22,5 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir. En düşük darbe dayanımı ise 80 J ile %87 Ar+ %10 CO₂+ %3 O₂ gaz karışımının 15 cm/dak kaynak hızında gerçekleştirilen kaynak numunesinden elde edilmiştir.

MIG/MAG kaynağında koruyucu gazın oksitleme potansiyeli artırıldığında tokluk değerlerinde iyileşme sağlanabilmektedir. Argona katılan az miktardaki O₂ kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Fakat O₂ çentik darbe dayanımını azda olsa olumsuz yönde etkilemektedir. Kurşun [114] yapmış olduğu çalışmada bu durumu desteklemektedir. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarı arttıkça ark sıcaklığı arttığından dolayı ısı girdisi artmakta, bu durum da tokluk değerini artırmaktadır.

Numuneler tarafından emilen Charpy enerjisindeki değişim; mikroyapıya, inklüzyona ve gözenekliliğe karşılık gelir. Charpy testinde, kırık sırasında test numunesi tarafından emilen enerji (darbe dayanımı) ölçülür. Çelik kaynaklardaki oksit

inklüzyonları, asiküler ferrit oluşumunu etkileyebilir ve daha sonra kaynak metali tokluğunu geliştirebilir.

Charpy testinde emilen enerji, kaynak metalindeki asiküler ferritin hacim fraksiyonunun artmasıyla artar. AF, WF ve PF faz yapıları arasında AF daha yüksek tokluk değerine sahiptir. Asiküler ferritin birbirine kenetlenen doğası, ince tane büyüklüğü ile birlikte, yarıma yoluyla çatlak yayılmasına karşı maksimum direnç sağlar. Tane sınırı ferrit, ferrit yan plakalar veya üst beynit oluşumu, metal tokluğuna kaynak yapmak için zararlıdır, çünkü bu mikro yapılar kolay çatlak yayılma yolları sağlar. Sindo [121] çalışmasında bu durumu desteklemiştir. Widmanstatten ferrit ayrıca çatlağı tanelerin içine yönlendirir ve çatlağın ilerlemesine yardımcı olur. Daha sonra, CO₂'nin arttırılması nedeniyle kaynaktaki inklüzyon miktarındaki azalma, asiküler ferritin azaltılmasının etkisini telafi eder ve böylece tokluk sabit kalır. Kaynaktaki inklüzyonlar çatlağı başlatır ve yönlendirir ve gevrek kırılmayı teşvik eder. Bhadeshia [122] çalışmasında bu durumu desteklemiştir.

Koruyucu gazdaki CO₂ miktarının artışı, kaynak metalindeki Si, Mn elementlerinin azalışına neden olmasına karşın MnO ve SiO₂ gibi oksit miktarında artışlara neden olmuştur. Bu oksitlerin büyük bir kısmı hareketli olduğundan dolayı cüruf olarak kaynak metalinden uzaklaştırılır fakat belirli bir miktarı kaynak metalinde inklüzyon olarak kalmaktadır.

İnklüzyonlar, çukurlarda oluşturulur ve küresel formlara sahiptirler. Koruyucu gazdaki CO₂ miktarı arttıkça inklüzyonların boyutu ve oluşturulan çukurların boyutu artar. Kaynak işlemi sırasında koruyucu gazdaki CO₂ miktarının artması çeşitli reaksiyonların oluşmasına sebebiyet verir. CO₂, oksijen ve karbon monoksit salmak için arkta ayrışabilir. Bundan dolayı da kaynak metali içeriğindeki silisyum, mangan ve titanyum gibi elementlerin azalmasına neden olabilir. Bu durum kaynak metalindeki inklüzyonların sayısında ve boyutunda artışa neden olur.

Daha yüksek miktarda Argon içeren koruyucu gaz ile elde edilen kaynak metalinde, inklüzyonların boyut ve dağılımında azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca inklüzyonlar bulundukları çukurların boyutlarını genişletmektedir. Genişleyen çukurlar, Charpy darbe sonuçlarını etkilemekte ve koruyucu gazdaki CO₂ gazının artışına paralel olarak tokluk değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Darbe testi sırasında mikro yapıda

bulunan inklüzyonların, dinamik test sırasında kırıkların oluşumunu ve yayılmasını hızlandırdığına inanılmaktadır. Böylece Charpy darbe testi sırasında kırığın oluşması ve yayılması için kullanılan enerji miktarının azalmasına neden olur. Inklüzyonların bulunduğu çukurlar daha derindir ve kapanımların hemen yanında boşluklar vardır. Inklüzyonun kırılma yüzeyinin morfolojisinde düz görünümlü yarılma kırık bölgeleri vardır.

EDS analizi, inklüzyonların farklı oksitlerden yani çoklu oksitlerden oluştuğunu göstermektedir. Kaynak metalindeki Si ve Mn 1800 °C'nin üzerinde deoksidan gibi davranmadığından mikropartiküller olarak çökelirler. CO₂ koruyucu gaz kullanımı nedeniyle artan ısı girdisi, kaynak havuzundaki oksijen difüzyonunu artırır. Si, Mn, Ti, Al gibi oksijene ilgisi yüksek elementlerle birleşerek çoklu oksit formları oluşturdıkları anlaşılmaktadır.

EDS analizinden anlaşıldığı kadarıyla oksijen, kaynak havuzunda artan ısı nedeniyle kaynak metalinde inklüzyon oluşumuna neden olmakta, kaynak havuzu yüzeyinde oluşanlar ise oluşan cürufa eklenmektedir. Inklüzyonlar muhtemelen FeO, CrO, Si₂O, TiO₂, MnO ve Al₂O₃'ten oluşur. Bu durumu Yılmaz ve arkadaşları [84] da çalışmasında desteklemektedir.

Bütün gaz karışımlarının 15 cm/dak hızda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilen optik mikroskobu için hazırlanmış olan parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numunelerinin kaynak metali bölgelerinin yanısıra, bütün gaz karışımları içerisinde en iyi mekanik özellikleri sergilediği düşünülen %92 Ar+%5 CO₂+%3 O₂ gaz karışımının 10 cm/dak ve 22,5 cm/dak hızlarda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilen optik mikroskobu için hazırlanmış olan parlatılmış ve dağlanmış yüzeyli numunelerinin kaynak metali bölgelerinin 2000X büyütmede SEM görüntüleri ve tam yüzeyden EDS analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ana metaldeki genel Si, Mn elementlerinin oranları ile farklı gaz karışımları ile yapılmış kaynak metalindeki genel Si, Mn elementlerinin oranları karşılaştırıldığında; Si, Mn oranlarında oksitlenmeden dolayı her ne kadar düşüş gerçekleşmiş olsa da kaynak telinden ilave Si, Mn elementi takviyesi gerçekleştiği için ana metaldeki oranlardan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde çatlama ilerlemesinin intragranüller arasında ilerlediği ayrıca mikro boşluklar (dimples) küçük ve derin olması sonucunda yapının sünek kırıldığı gözlemlenmiştir.

Bu konuyla alakalı ileride yapılması düşünülen çalışmalara kaynak teşkil etmesi ve yol göstermesi açısından; kullanılan malzeme çeşidine ve boyutlarına deney öncesinde dikkat edilmesi gerektiği, kaynak esnasındaki yüksek ısı girdisinden dolayı sabitleme her ne kadar iyi yapılmış olsa dahi çarpılmalara sebebiyet vereceği bunun da bilhassa test numuneleri hazırlarken standartlara uygun numune ölçülerini sağlayacak toleranslarda seçilmesi önerilmektedir. İyi bir kaynak elde edilmesinde amper ve voltaj değerlerinin ve kaynak hızının en optimum parametrelerde seçilmesine dikkat edilmesi tavsiye edilmektedir. Koruyucu gaz karışımları bileşenleri ve oranları daha da çeşitlendirilebilir olabileceği önerilmektedir.

Genel olarak; test sonuçlarına göre deneyde kullanılan bütün gaz karışımları içerisinde en iyi mekanik ve mikro yapı özellikleri $92\% \text{Ar} + 5\% \text{CO}_2 + 3\% \text{O}_2$ gaz karışımının 10 cm/dak, 15 cm/dak ve 22,5 cm/dak hızlarda gerçekleştirilmiş olan kaynaklarından elde edilmiştir. $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ üçlü gaz karışımlarında CO_2 ve O_2 artışı ve kaynak hızı artışı sertliği, çekme dayanımını, darbe dayanımını, eğme dayanımını ve mikro yapıyı doğrudan etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **ASM Handbook.** (1983). Welding and Brazing and Soldering. 7.th edition, Materials Park, Vol 6, p. 427, Ohio.
- [2] **Güner, M.** (2007). Mag Kaynağında Elektrod Tipinin (çıplak tel – özlü tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.
- [3] **Eryürek, İ. B.** (2003). Gazaltı Kaynağı. *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, 1-46, İstanbul.
- [4] **Ören, E.** (2002). Mag Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İçköşe Dikiş Geometrisine Etkisi. *İtü / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.
- [5] **Türkkan, G.** (2008). Koruyucu Gaz Kaynağında (MIG/MAG) Gaz Debinin Kaynak Nüfuziyeti ve Kaynak Hızına Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). İzmir.
- [6] **Tülbentçi, K.** (1998). MIG/MAG Gaz Altı Kaynak Yöntemleri. *Arctech Yayınları*, İstanbul.
- [7] **Anık, S.** (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı. *Gedik Holding Yayını*, İstanbul.
- [8] **Kaluç, E.** (2004). Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1. *MMO Yayını*, Kocaeli.
- [9] **Anık, S., Tülbentçi, K. ve Özgöktug, T.** (1978). Soru ve Cevaplarla Kaynak Teknolojisi. *Eğitim Yayınları*, Ankara.
- [10] **Tülbentçi, K.** (1990). MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gaz Altı Kaynağı. *Gedik Holding Yayını*, İstanbul.
- [11] **Anık, S. ve Vural, M.** (1996). Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG). *Gedik Eğitim Vakfı Yayın*, 3, İstanbul.
- [12] **Anık, S., Anık, S. E. ve Vural, M.** (2000). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, *Birsan Yayınevi*, İstanbul.
- [13] **Gülenç, B. ve Tülbentçi, K.** (1997). Gaz Metal Ark Kaynağında Metal Transferi. *1.Ulusal Kaynak Teknolojisi Bildiriler Kitabı*, Ankara.
- [14] **Nippes, E. F.** (1989). Welding, Brazing and Soldering. *Metals Handbook Ninth Edition Volume 6*, ASM.
- [15] **Lyttle, K.A.** (1998). Shielding Gases. In: *Materials Handbook of ASM*, 6, 64.
- [16] **Karadeniz, S.** (1990). Plazma Tekniği. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara.
- [17] **Larson, N.E. ve Meredith, W.F.** (1990). Shielding Gas Selection Manual. *Union Carbide Industrial Gases Technology Corp*, 10p.
- [18] **Anık, S., Dikicioglu, A. ve Vural, M.** (1984). Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyumun MIG Kaynağı. *Kaynak Tekniği Derneği Yayını*.
- [19] **Aydoğdu, C. İ.** (2007). Servo Motor Kontrollü Mag Kaynak Makinası. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli.
- [20] **Norrish, J.** (2006). Advanced Welding Processes. *Woodhead Publishing Limited*, 82-25.
- [21] **Yalçın, A. E.** (2005). Koruyucu Gaz Kaynak Uygulamalarında Gaz Karışımları-Dikiş Formu İlişkisinin incelenmesi. *YTÜ / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.
- [22] **Anık, S.** (1986). Gaz altı Kaynak Teknikleri. *Segem Yayınları*.
- [23] **Metals Handbook.** (1983). Welding, Brazing and Soldering, Ninth Edition, Volume 6.

- [24] **Kahraman, F., Babayev, Y. ve Karadeniz, S.** (2008). Gazaltı Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar ve Özellikleri. *Journal of Qafqaz University*.
- [25] **Çakırsoy, E.** (2009). Boru Üretiminde Kullanılan Çeliklerinin Mag Kaynak Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Tesirleri. *Marmara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.
- [26] **Eager, T. W.** (1990). The physics of arc welding processes. *Massachusetts Institute of Technology*.
- [27] **Chiarelli, M., Lanciotti A. ve Sacchi, M.** (1999). Fatigue resistance of MAG Welded steel elements. *Dept of Aerospace Eng. University of Pisa, Italy*.
- [28] **Lucas, By.W.** (1992). Shielding Gases For Arc Welding. Part 1. *Welding&Metal Fabrication*.
- [29] **Hallum, D.** (1993). Which Wire Feeder Is Right For The Job. *Welding Design&Fabrication*.
- [30] **Althouse:Ad.** (1992). Modern Welding, AWS.
- [31] **G.t.a.w.3.** (1989). Shielding Gases. *Welding&Desing Fabrication*.
- [32] **Ruckdeschel, W.** (1970). Critical Consideration Of Gas Mixtures M.A.G.W. *South African Institute Of Welding*.
- [33] **Adsan, K.** (1976). Kaynak Tekniği. *Y.T.Ö.O.*, Ankara.
- [34] **Cary, H. B.** (1998). Modern Welding Technology. 4 th. Ed. *Prentice-Hall*.
- [35] **AWS Committee on Structural Welding.** (1996). Structural Welding Code-Steel. Florida.
- [36] **Gülsöz, A.** (2000). Özlü Tel Elektrodların Önemi ve Kaynak Özellikleri. *Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı, Eylül*, 35-40.
- [37] **Gürçan, M.** (1985). Gaz altı Kaynak Teknikleri Seminer Notları. *SEGEM*, Ankara.
- [38] **Engindeniz, E.** (1995). Gazaltı Özlü Telleri İle Mag-Orbital Kaynağı Seminer Notları.
- [39] **Kuna, J.** (1990). Effect of Shielding Gaz Mixture on The Impact Toughness Of Pulsed Arc Welding Joint. *Int.J.For.Joining Of Materials*, Vol.2, Poland.
- [40] **Ertürk, İ.** (1994). MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerini Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi. *G.Ü.*, Doktora Tezi.
- [41] **Gültekin, N.** (1985). Kaynak Tekniği. *Y.Ü.*, Sayı 184.
- [42] **Url-1** < <http://robotr.org/endustriyel-robot/> >, alındığı tarih: 09.01.2022.
- [43] **Gök, G. V. ve Afyon Ç.** (1999). Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi. *Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi*, Ankara.
- [44] **Bolmsjö, G.** (2001). Basic Framework in Robotics, *Lund University, Department of Mechanical Engineering / Division of Robotics*.
- [45] **Pires, N. J., Loureiro, A. ve Bölmsjö, G.** (2006). Welding Robots. *Springer-Verlag London Limited*, 170-190, Germany.
- [46] **Asfahl, C. R.** (2004). Robots and Manufacturing Automation, Second Edition, *University of Arkansas, Fayetteville*.
- [47] **Miller, K.** (1989). Industrial Robot Handbook. *Competitive Manufacturing Series VNR*.
- [48] **Akgün, F.** (2005). Saçların Kaynakla Birleştirilmesinde Robotik Sistemin Kaynak Kalitesine ve Hassasiyetine Etkisinin Araştırılması. *G.Y.T.E. / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli.
- [49] **Anık, S. ve Vural, M.** (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, *Birsen Yayınevi*, 45-48, İstanbul.

- [50] **Barcellona, A., Bruccoleri, M., D'Onofrio, C., Palmeri, D. ve Riccobono, R.** (2007). Improving of the productivity and the quality of a manufacturing robotized cell for MIG/MAG welding, *35th International Matador Conference*, 119-130, Taipei.
- [51] **Url-2** < <https://www.ekokaynak.com/Robotik-Kaynak-Otomasyonu-i26> >, alındığı tarih: 09.01.2022.
- [52] **Url-3** < <https://blog.universal-robots.com/tr/kaynak-uygulamasinda-robotteknolojisi> >, alındığı tarih: 09.01.2022.
- [53] **Kleemann U.** (1993). Trends in Robotics. *Engineering and Technical*.
- [54] **Kayakök, V.** (2009). Tozaltı ve MAG kaynak yöntemlerinde kaynak ağzı – nüfuziyet ilişkisinin incelenmesi ve ekonomik yönden kıyaslanması. *Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul.
- [55] **Shanping, L., Hidetoshi, F. ve Kiyoshi, N.** (2005). Effect of CO2 shielding gas additions and welding speed on GTA weld shape. *Journal of Materials Science*, 40, 2481-2485.
- [56] **Piroğlu, F., Uzgider, E., Vural, M. ve Çağlayan, Ö. B.** (2003). Geçmişten Bugüne Yapı Çeliği ve Önemli Yapısal Özellikleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*.
- [57] **Url-4** < <https://docplayer.biz.tr/4475105-Malzeme-bilgisi-prof-dr-akgun-alsaransiniiflandirma-ve-standart-gosterim-celikler-ve-demir-disi-metaller.html> .>, alındığı tarih: 09.01.2022.
- [58] **Aran, A.** (2008). Malzeme Bilgisi, İstanbul.
- [59] **Eker, A. A.** (2008). Demir-Karbon Denge Diyagramı, İstanbul.
- [60] **Oğuz, B.** (1989). Malzeme Bilgisine Giriş, *OERLIKON*.
- [61] **Keleş, Ö.** (2008). Malzeme Bilimi I Ders Notları, İstanbul.
- [62] **Wang, X., Mao, S., Chen, P., Liu, Y., Ning, J., Li, H., Zang, K., Zhang, Z. ve Han, X.,** (2016). Evolution of microstructure and mechanical properties of a dissimilar aluminium alloy weldment. *Materials And Design*, (90)230–237.
- [63] **Mukhopadhyay, S. ve Pal, T.K.** (2006). Effect of shielding gas mixture on gas metal arc welding of HSLA steel using solid and flux-cored wires. *Int J Adv Manuf Technol*, 29, 262–268.
- [64] **Şık, A.** (2004). Mig/Mag metodu ile kaynak yapılan yapı çeliği (St37-2) levhaların eğme yorulması gerilmesine çeşitli aktif gazlarının etkisi, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 15, s.45-57.
- [65] **Şık, A.** (2007). Mig/Mag kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22(4), 769-777.
- [66] **Ada, H., Aksöz, S., Fındık, T., Çetinkaya, C., Bostan, B. ve Candan, İ.** (2016). API 5L X65 Çeliklerinin MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), s.1-9.
- [67] **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.
- [68] **Meriç, C. ve Tokdemir, M.** (1997). Mag kaynağı ile birleştirilmiş SAE 1020'nin kaynak bölgesinin incelenmesi ve uyumsuzluk (mismatch) faktörünün belirlenmesi. *Pamukkale üniversitesi mühendislik fakültesi mühendislik bilimleri dergisi*, 3(3), 435-440.

- [69] **Şık, A.** (2004). Otomobil saclarının Mig/Mag kaynağında gaz karışımlarının eğme dayanımı özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 12 s. 26-35.
- [70] **Onar, V.** (2020). Robotik MAG Kaynak Metodunda XAR 500 Serisi Çeliklerin Mikrosertliğine Farklı Kaynak Akımlarının ve Hızlarının Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 1193-1203.
- [71] **Mert, T., Gültekin, N. ve Yumurtacı, S.** (2013). Effects of double channel shielding gas supply in MIG/MAG welding on process parameters and spatter formation. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 31, 363-375.
- [72] **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.
- [73] **Pires, I., Quintino, L. ve Miranda, R.M.** (2007). Analysis of the influence of shielding gas mixtures on the gas metal arc welding metal transfer modes and fume formation rate. *Materials and Design*, 28, 1623–1631.
- [74] **Tušek, 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.
- [75] **Cai, X., Fan, C., Lin, S., Ji, X., Yang, C. ve Guo, W.** (2017). Effects of shielding gas composition on arc properties and wiremelting characteristics in narrow gap MAG welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 244, 225–230.
- [76] **Zhao, Y., Shi, X., Yan, K., Wang, G., Jia, Z. ve He, Y.** (2018). Effect of shielding gas on the metal transfer and weld morphology in pulsed current MAG welding of carbon steel. *Journal of Materials Processing Tech.*, 262, 382–391.
- [77] **Schafrański, L.L., Cunha, T.V. ve Bohórquez, C.E.N.** (2017). Benefits from H₂ and CO₂ additions in argon gas mixtures in GMAW. *Journal of Materials Processing Tech.*, 249, 158–166.
- [78] **Lenin Singaravelu, D., Rajamurugan, G. ve Devakumaran, K.** (2018). Modified Short Arc Gas Metal Arc Welding Process for Root Pass Welding Applications. *Materials Today: Proceedings*, 5, 7828–7835.
- [79] **Costanza, G., Sili, A. ve Tata, M.E.** (2016). Weldability of austenitic stainless steel by metal arc welding with different shielding gas. *Procedia Structural Integrity*, 2, 3508-3514.
- [80] **Sathiya, P., Mishra, M.K. ve Shanmugarajan, B.** (2012). Effect of shielding gases on microstructure and mechanical properties of super austenitic stainless steel by hybrid welding. *Materials and Design*, 33, 203–212.
- [81] **Pan, Q., Mizutani, M., Kawahito, Y. ve Katayama, S.** (2016). Effect of shielding gas on laser–MAG arc hybrid welding results of thick high-tensile-strength steel plates. *Weld World*, 60, 653–664.
- [82] **Rogalski, G., Łabanowski, J., Fydrych, D. ve Tomków, J.** (2014). Bead-on-plate welding on S235JR steel by underwater local dry chamber process. *Polish Maritime Research*, 2,(82), Vol 21; pp. 58-64.
- [83] **Palani, P.K. ve Murugan, N.** (2006). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 1–10.
- [84] **Yılmaz, R. ve Tümer, M.** (2013). Microstructural studies and impact toughness of dissimilar weldments between AISI 316 L and AH36 steels by FCAW. *Int J Adv Manuf Technol*, 67,1433–1447.

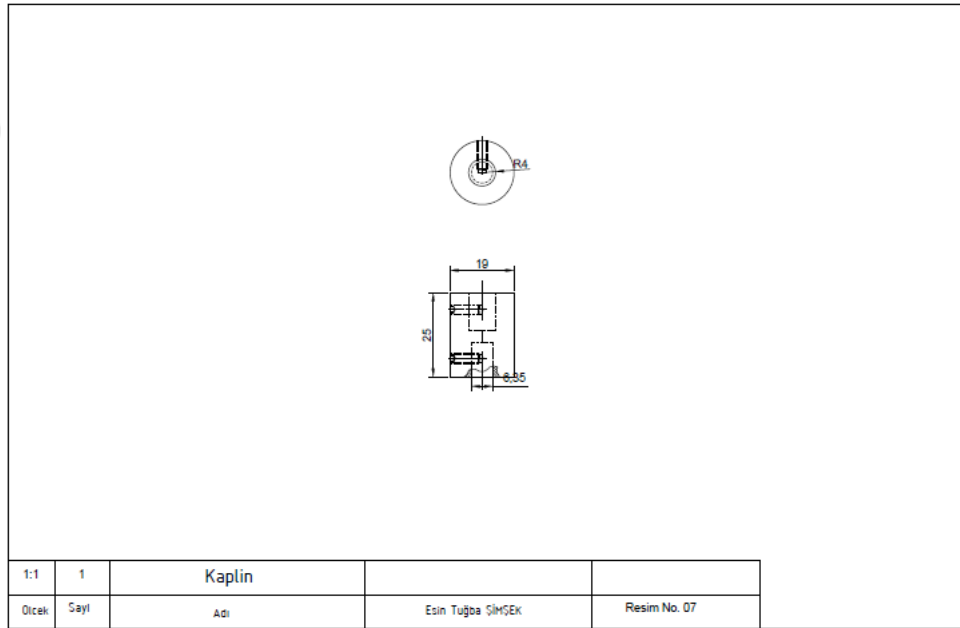
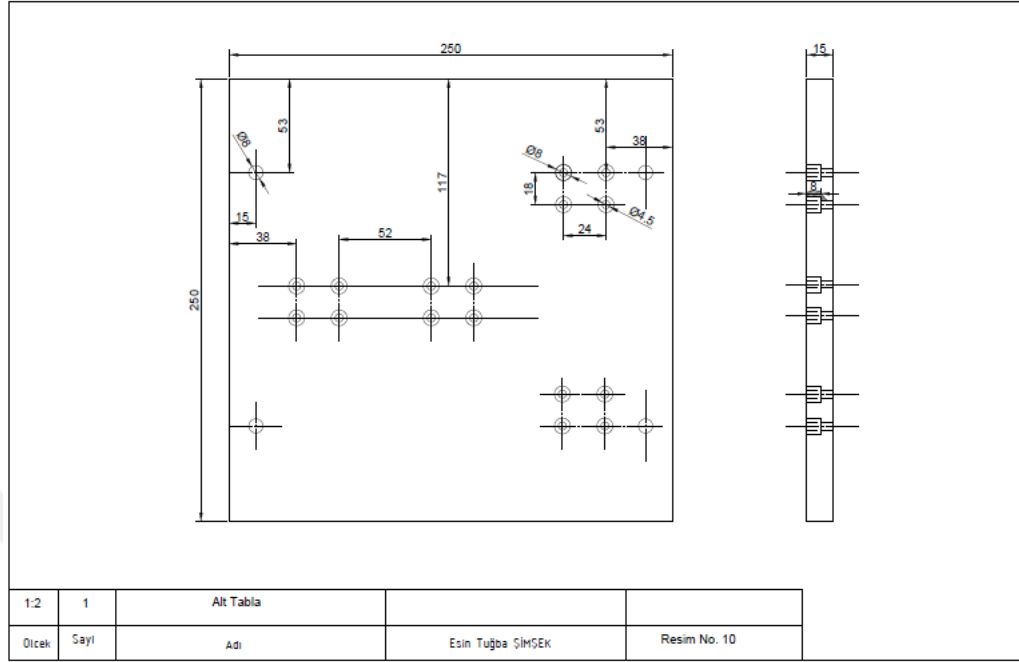
- [85] **Zhang, S., Sun, J., Zhu, M., Zhang, L., Nie, P. ve Li, Z.** (2019). Effects of shielding gases on process stability of 10CrNi3MoV steel in hybrid laser-arc welding. *Journal of Materials Processing Tech.*, 270, 37–46.
- [86] **Karlsson, L.** (2012). Welding duplex stainless steels—a review of current recommendations. *Welding in the World*, 05-06, Vol 56.
- [87] **Amman, T.** (2010). Gas-shielded arc welding of ferrite–austenitic steels. *Welding International*, 24(11), 861-866.
- [88] **Suga, T., Murai, Y., Kobashi, T., Ueyama, T., Era, T., Ueda, Y., Sato, M. ve Hara, N.** (2012). Research on laser-arc hybrid welding of HT780 steel. *Welding in the World*, 11-12, Vol 56.
- [89] **Nakamura, T., Hiraoka, K. ve Zenitani, S.** (2008). Improvement of MIG welding stability in pure Ar shielding gas using small amount of oxygen and coaxial hybrid solid wire. *Science and Technology of Welding and Joining*, 13(1), 25-32.
- [90] **Mvola, B. ve Kah, P.** (2017). Effects of shielding gas control: welded joint properties in GMAW process optimization. *Int J Adv Manuf Technol*, 88, 2369–2387.
- [91] **Mirza, R.M. ve Gee, R.** (1999). Effects of shielding gases on weld diffusible hydrogen contents using cored wires. *Science and Technology of Welding and Joining*, 4(2), 104-111.
- [92] **Souza, D., Resende, A.A. ve Scotti, A.** (2010). A qualitative model to explain the polarity influence on the fusion rate in the MIG/MAG process. *Welding International*, 24(12), 934-941.
- [93] **Ates, H.** (2007). Prediction of gas metal arc welding parameters based on artificial neural networks. *Materials and Design*, 28, 2015–2023.
- [94] **Elagin, V.P.** (2014). Selection of shielding gas for mechanized arc welding of dissimilar steels. *The Platon Welding Journal*, 6-7.
- [95] **Shigeta, M., Nakanishi, S., Tanaka, M. ve Murphy, A.B.** (2017). Analysis of dynamic plasma behaviours in gas metal arc welding by imaging spectroscopy. *Welding International*, 31(9), 669-680.
- [96] **Sato, T.** (2001). Influence of shielding gases on quality and efficiency in gas shielded arc welding. *Welding International*, 15(8), 616-619.
- [97] **Rykalá, J. ve Pfeifer, T.** (2014). Influence of the technological conditions of welding using the MIG/MAG method on metal transfer in the welding arc. *Welding International*, 28(12), 931-940.
- [98] **Kah, P., Suoranta, R. ve Martikainen, J.** (2013). Advanced gas metal arc welding processes. *Int J Adv Manuf Technol*, 67, 655–674.
- [99] **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. *Int J Adv Manuf Technol*, 15, 49–53.
- [100] **Dutra, J.C.** (2009). MIG/MAG – short circuit metal transfer –welding power sources versus arc gases. *Welding International*, 23(4), 231-236.
- [101] **Min, D., Xin-hua, T., Feng-gui, L. ve Shun, Y.** (2011). Welding of quenched and tempered steels with high-spin arc narrow gap MAG system. *Int J Adv Manuf Technol*, 55, 527–533.
- [102] **Silva, R.H.G., Dutra, J.C. ve Gohr, Jr.R.** (2009). Scientific and technological fundamentals for the development of the controlled short-circuiting MIG/MAG welding process: a review of the literature. Part 2 of 3. Metal droplet formation,

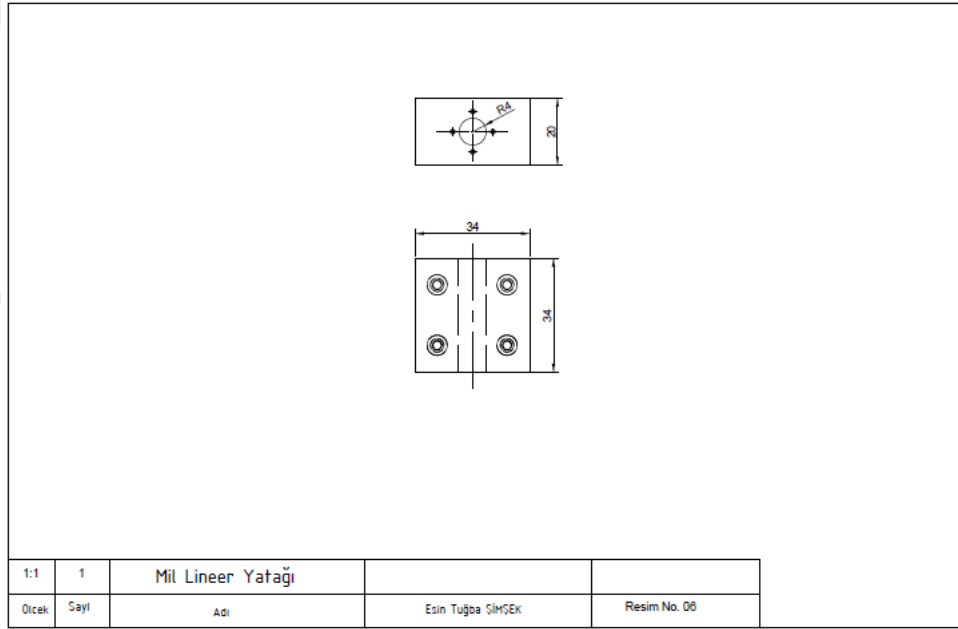
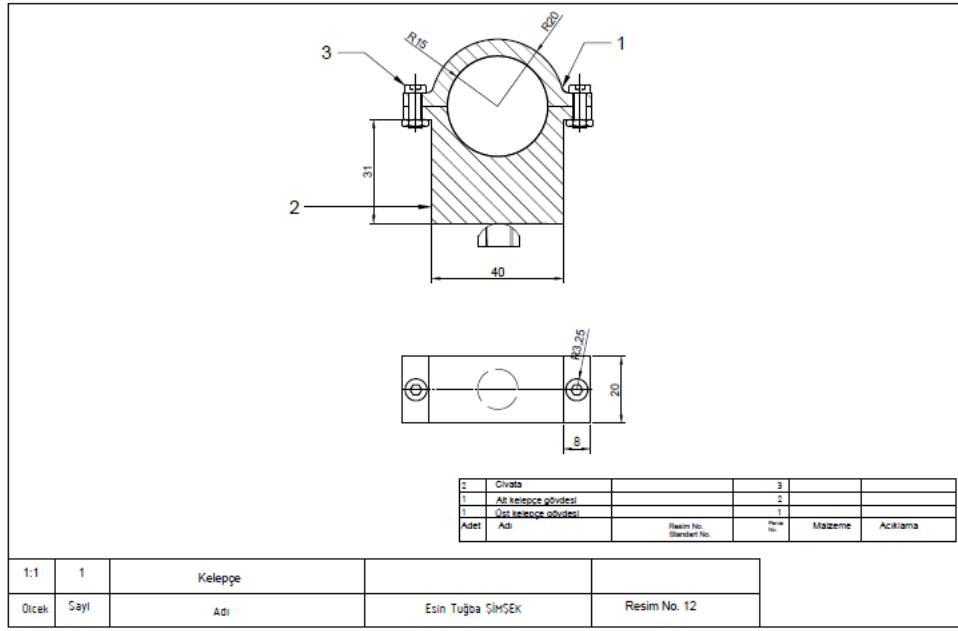
- shield gases, penetration mechanisms, heat input and economical aspects. *Welding International*, 23(2), 141-149.
- [103] **Filho, D.F. ve Ferraresi, V.A.** (2010). The influence of gas shielding composition and contact tip to work distance in short circuit metal transfer of ferritic stainless steel. *Welding International*, 24(3), 206-213.
- [104] **Soonrach, R. ve Poopat, B.** (2016). Effect of oxygen addition in argon/carbon dioxide gas mixture on metal transfer behavior in gas metal arc welding. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, ISSN: 2320-2092, Volume-4, Issue-9.
- [105] **Lu, S., Fujii, H. ve Nogi, K.** (2004). Marangoni convection and weld shape variations in Ar-O₂ and Ar-CO₂ shielded GTA welding. *Materials Science and Engineering A*, 380, 290-297.
- [106] **Gourd, L.M.** (1995). Kaynak teknolojisinin esasları. *Birsen Yayın Evi*.
- [107] **Shanmugam, S., Misra, R.D.K., Hartmann, J. ve Jansto, S.G.** (2006). Microstructure of high strength niobium containing pipeline steel. *Materials Science and Engineering (A)*, 441, pp. 215-229.
- [108] **Hashemi, S.H. ve Mohammadyani, D.** (2012). Characterisation of weldment hardness, impactenergy and microstructure in API X65 steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 98, pp. 8-15.
- [109] **Easterling, K.** (1992). Introduction to the physical metallurgy of welding. *Butterworth-Heinemann*, England.
- [110] **Lehto, P., Remes, H., Saukkonen, T., Hänninen, H. ve Romanoff, J.** (2014). Influence of grain size distribution on the Hall-Petch relationship of welded structural steel. *Materials Science and Engineering (A)*, 592, pp. 28-39.
- [111] **Lancaster, J.F.** (1976). Metallurgy of welding. *London: Chapman & Hall Co.*, [p.122-35].
- [112] **Balraj, V., Rohira, K.L. ve Srinivasamurty, A.** (1992). Evaluation of Shielding Gas and Flux Composition Effects on Weld Bead Properties. *Int. J. For The Joining of Materials*, Vol. 4 : (2).
- [113] **DIN 50 142.** (1982). Flat Bending Fatigue Test Deutsche Normen.
- [114] **Kurşun, T.** (1998). Gazaltı kaynak tekniğinde kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımlarının 19Mn6 kalite çeliğinin kaynatılmasında mekanik özelliklere etkisi ve tozaltı kaynağı ile karşılaştırması. *Erciyes Ünv. / Fen Bil. Ens.*, (Yüksek Lisans Tezi). Kayseri.
- [115] **Ateş, H.** (1996). MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Argon Gazına O₂ Ve CO₂ İlavesinin Kaynak Metali Tokluğu Ve Mikroyapısına Etkisi. *Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi). Ankara.
- [116] **Kahraman, N., Gülenç, B. ve Durgutlu, A.** (2005). Tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 473-480.
- [117] **Okan, A.N.** (1989). Gazaltı Kaynak Yönteminde Koruyucu Gazlar. *Birleşik Oksijen Sanayi A.Ş.*, İstanbul.
- [118] **Gülenç, B.** (1995). MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Doktora Tezi). Ankara.
- [119] **AWS.** (1990). Sheet metal welding code. *American Welding Society, American National Standart, ANSI/AWS*, Miami.

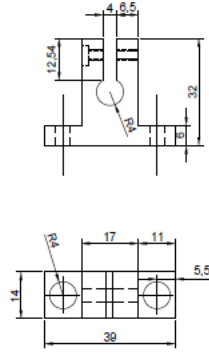
- [120] **Bozacı, M.** (1990). Gazaltı Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar Ve Uygulamadaki Yeri. *İstanbul Teknik Üniversitesi*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul.
- [121] **Sindo, K.** (2003). Welding metallurgy. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Inc., p. 19–22, 68–82, 103–14, 232–9.
- [122] **Bhadeshia, H.** (2001). Bainite in steels. 2nd ed. IOM Communication Ltd, p. 237–48.
- [123] **AWS handbooks.** (1976). Metals and their weldability. 7th ed. AWS publication, p. 2–77.
- [124] **Url-5** < http://www.makina.selcuk.edu.tr/img/cekme_egilme.pdf >, alındığı tarih: 09.01.2022.
- [125] **Katherasan D., Sathiya P. ve Raja A.** (2013). Shielding gas effects on flux cored arc welding of AISI 316L (N) austenitic stainless steel joints. *Materials and Design*, 45, 43–51.
- [126] **Yılmaz R, Tümer, M.** (2010). The Effect of Shielding Gases on the Microstructure and Toughness of Stainless Steels Weldments by FCAW. 63. *Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding*, s. 847-852, İstanbul.
- [127] **Liao, M.T. ve Chen, P.Y.** (1998). The Effect of Shielding Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments. *Materials Chemistry and Physics*, 55, 145-151.

EK-1

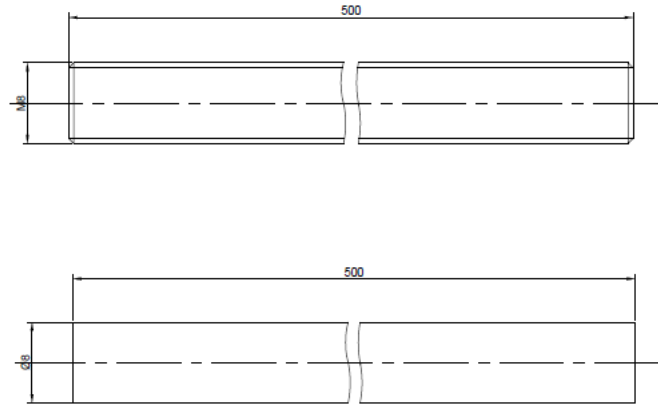
TEKNİK RESİMLER



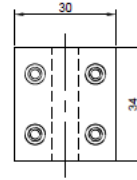
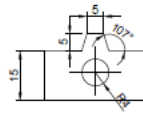




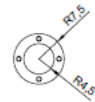
1:1	1	Mil Tutucu		
Ölçek	Sayı	Adı	Esin Tuğba ŞİMŞEK	Resim No. 04



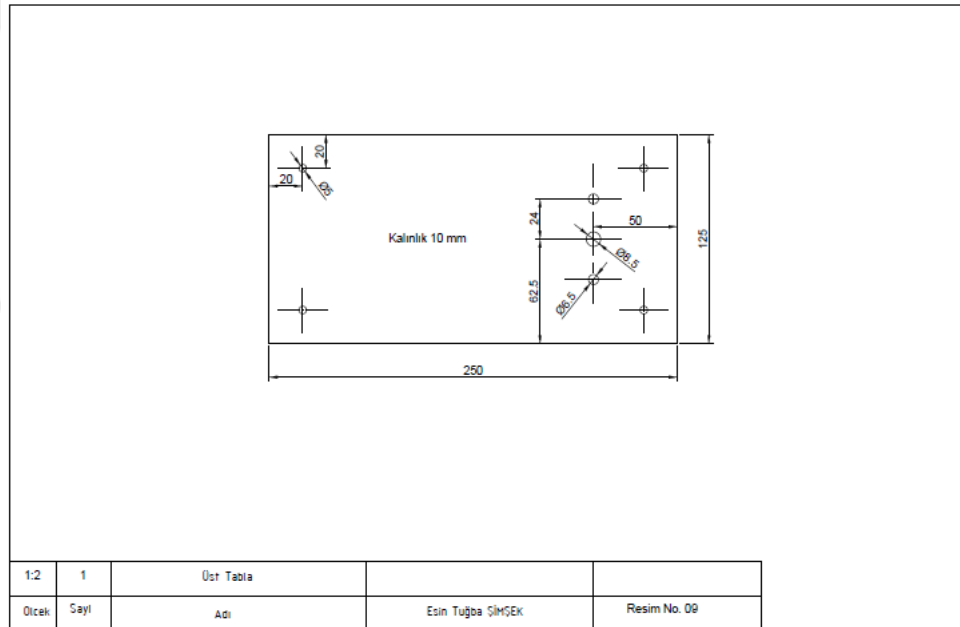
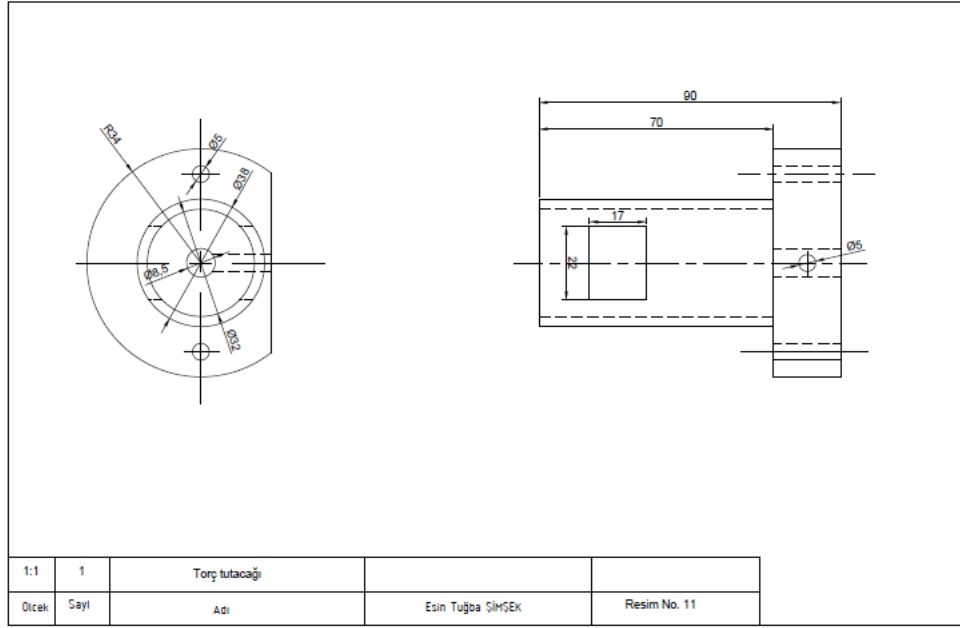
3:1	1	Sonsuz vidalı mil Destek mili		
Ölçek	Sayı	Adı	Esin Tuğba ŞİMŞEK	Resim No. 05

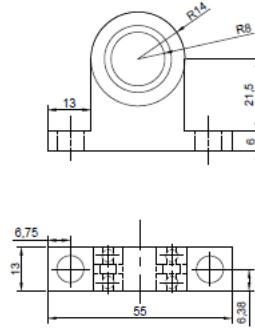


1:1	1	Sonsuz Vidali Mil. Lineer Yataak		
Dicek	Sayı	Adı	Esin Tuğba ŞİMŞEK	Resim No. 03

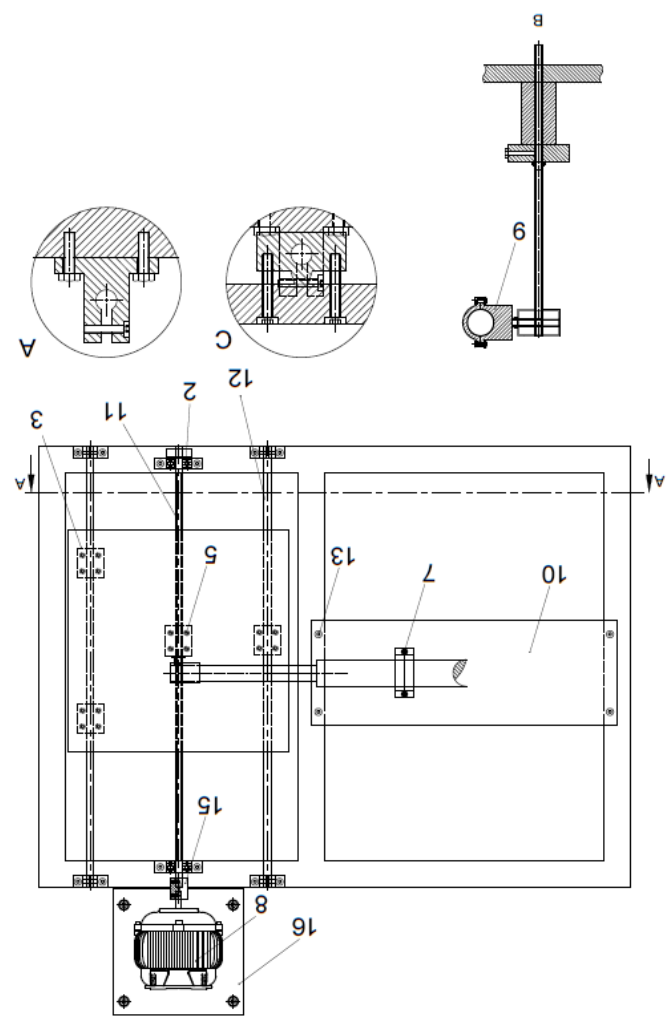


1:1	1	Sonsuz Vidalı Mil Somunu		
Ölçek	Sayı	Adı	Esin Tuğba ŞİMŞEK	Resim No. 08





1:1	1	Vidalı M14 Rulmanlı Yatak		
Ölçek	Sayı	Adı	Esin Tuğba ŞİMŞEK	Resim No. 02



1	Ust Tabla			10	5061 - T6	
1	Kelleçe			9		
1	Step Motor			0		Mem 23
2	M6 Gijon			7		
1	Torg tutacağı			6		
2,0	Silindir başlı çavata			5	CELIK B.Ü	M4x25
1	Alt tabla			4	5061 - T6	
4	Araba			3		
2	Rulman			2		
1	Gövde			1	5063 - T6	50x90 x 1,5 mm
Adet	Adi		Resim No. Standart No.	Yeni Pis	Malzeme	Açıklama
Cizen1	Adi	numara	Sayı	Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi		
Cizen2	Esin Tuğba ŞİMŞEK		1	Makine Mühendisliği Bölümü Sivas		
Kontrol						
Olecek	Parcanın Adi	Kaynak MAKİNESİ				
1		Resim Numarası				01

1	Motor tutuu	16	
1	Kapin	15	
4	Sigma profil	14	663 T6
4	Silinder besi cvata	13	30x30
		13	15x1x10
		12	CEILING B
2	Dogrusal yatak	12	09x500
2	Sonsuz vidali mil	11	T8x500