

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**S355J0 ÇELİĞİNİN MAG YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE
KORUYUCU GAZ VE KAYNAK TELİNİN MUKAVEMETE, DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ETKİSİ VE MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mücahit TÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet DEMİRER

Haziran 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**S355J0 ÇELİĞİNİN MAG YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE
KORUYUCU GAZ VE KAYNAK TELİNİN MUKAVEMETE, DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ETKİSİ VE MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mücahit TÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 03/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Hüseyin UZUN	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Ahmet DEMİRER	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Mücahit Türk

10/05/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmaların planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet DEMİRER'e Hayatım boyunca her anlamda desteğini esirgemeyen kıymetli aileme.

Laboratuvar olanakları konusunda, anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi AŞ. Sakarya Bölge Müdürlüğü laboratuvar sorumlusu Yusuf KÜPRAY ve Kadir KORKMAZ'a, deneysel çalışmalarda, atölye, ekipman ve teknik desteğini esirgemeyen iş yerim Yavuzlar Vagon San. ve Tic. Ltd. Şti. ve tüm çalışanlarına.

Teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	ii
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	2
BÖLÜM 2. MIG/MAG GAZALTI KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....	4
2.1. MIG/MAG Kaynak Yöntemi.....	4
2.1.1. Çalışma prensibi.....	5
2.1.2. MIG/MAG kaynağı donanımları.....	5
2.2. Gazaltı Kaynak Teknolojisinde Koruyucu Gazlar ve Önemi	7
2.2.1. Karışım gazlar	8
2.2.2. Karbondioksit (CO ₂).....	9
2.2.3. Saf argon (Ar).....	10
2.2.4. Saf helyum (He)	10
2.3. Gazaltı Kaynak Telleri.....	11
2.3.1. Masif kaynak telleri.....	11
2.3.2. Özlü kaynak telleri	12
2.4. Gazaltı Kaynak Teknolojisinin Avantajları	13
2.5. Gazaltı Kaynak Teknolojisinin Dezavantajları.....	14
BÖLÜM 3. S355J0 ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK KABİLİYETİ	15
3.1. Giriş	15

3.2. Genel Yapı Çelikleri.....	15
3.3. Genel Yapı Çeliklerinin Kaynak Kabiliyeti.....	16
3.3.1. Karbon eşdeğeri.....	17
3.3.2. Kaynak bölgesinin yapısı	18
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	20
4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	20
4.1.1. Birleştirilen malzemeler	20
4.1.2. Kullanılan gazaltı kaynak telleri.....	22
4.1.3. Kullanılan koruyucu gazlar	23
4.2. Deneysel İşlem Basamakları	23
4.2.1. Kaynak işleminde kullanılan torç yürütme robotu ve özellikleri	24
4.2.2. Kaynak işleminde kullanılan gazaltı kaynak makinası ve özellikleri.....	25
4.2.3. Kaynak parametreleri	26
4.2.4. Kaynak işleminin yapılması ve ön ısıtmanın kontrolü	27
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	29
4.3.1. Çekme-makaslama deney numunelerinin hazırlanması	30
4.3.2. Mikroyapı ve makroyapı deney numunelerinin hazırlanması	32
4.3.3. Mikrosertlik deney numunelerinin hazırlanması.....	33
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	35
5.1. Makroyapı İncelemeleri.....	35
5.2. Çekme-Makaslama Testi Sonuçları.....	39
5.3. Mikroyapı İncelemeleri	45
5.4. Mikrosertlik Testi Sonuçları	53
5.5. Koruyucu Gazın Etkisi	57
5.6. Kaynak Telinin Etkisi	58
BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
6.1. Genel Sonuçlar	60
6.2. Öneriler.....	61
KAYNAKLAR	62

KISALTMALAR

Ar	: Argon
ArCO10	: %88Ar+%10CO ₂ +%2O ₂ Gazı
ArCO20	: %78Ar+%20CO ₂ +%2O ₂ Gazı
BSD	: Brinell Sertlik Değeri
C	: Karbon
Ceş	: Karbon Eşdeğeri
CO100	: %100 CO ₂ Gazı
CO ₂	: Karbondioksit gazı
Cu	: Bakır
EN	: Avrupa Standadı
gr	: Gram
He	: Helyum
HV	: Vickers Sertlik Yöntemi
IIW	: Uluslararası Kaynak Enstitüsü
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
KSD	: Knoop Sertlik Değeri
MAG	: Metal Aktif Gaz
MIG	: Metal Inert Gaz
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Newton
O ₂	: Oksijen
TS	: Türk Standartları
VSD	: Vickers Sertlik Değeri

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1: Karbon eşdeğeri formülüne göre tavsiye edilen ön ısıtma sıcaklıkları.	17
Tablo 4.1: 12 mm ve 10 mm S355J0 malzemelerine ait kimyasal değerler.	22
Tablo 4.2: 12 mm ve 10 mm S355J0 malzemelerine ait mekanik değerler.	22
Tablo 4.3: SG3 ve özlü tele ait kimyasal değerler.	23
Tablo 4.4: SG3 ve özlü tele ait mekanik değerler.	23
Tablo 4.5: Deneylerde kullanılan gaz karışım değerleri.	23
Tablo 4.6: Torç yürütme robotuna ait teknik özellikler.	25
Tablo 4.7: Kaynak makinası teknik özellikleri.	26
Tablo 4.8: Deneylerde kullanılan gazaltı kaynak parametreleri.	27
Tablo 4.9: Deney tasarımında kullanılan farklı gaz ve tel değişkenleri.	27
Tablo 4.10: Çekme testi cihazı teknik özellikleri.	31
Tablo 5.1: 1.6 mm SG3 masif kaynak telinin farklı koruyucu gaz ortamında makro görünümü.	36
Tablo 5.2: 1.2 mm SG3 masif kaynak telinin farklı koruyucu gaz ortamında makro görünümü.	37
Tablo 5.3: 1.6 mm özlü kaynak telinin farklı koruyucu gaz ortamında makro görünümü.	38
Tablo 5.4: Çekme-makaslama testinde kayma gerilmesi ile nüfuziyet derinliği değerleri arasındaki ilişki.	40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Gazaltı kaynağının prensibi.	5
Şekil 2.2: MIG/MAG kaynağı donanım şeması.	6
Şekil 2.3: MIG/MAG gazaltı kaynak torcu.	6
Şekil 2.4: Koruyucu gazların kaynak dikişi ve nüfuziyetine etkisi.	8
Şekil 2.5: Karbondioksit gazının nüfuziyete etkisi.	9
Şekil 3.1: Kaynak bölgesinin metalurjik yapısı.	18
Şekil 4.1: Kaynak ağzı ölçüleri ve konumu.	21
Şekil 4.2: Yüzeyi sertleştirilmiş S355J0 malzemesine ait görünüm.	21
Şekil 4.3: Yüzeyi her iki taraftan sertleştirilmiş 12 mm S355J0 deney malzemesi.	22
Şekil 4.4: Kaynak işlemi için hazırlanmış deney numunesi ve üç boyutlu görünümü.	24
Şekil 4.5: Kaynak işleminde kullanılan torç yürütme robotu.	25
Şekil 4.6: Deneylerde kullanılan kaynak makinası.	26
Şekil 4.7: Kaynak işlemi öncesi iş parçası ve torcun konumu.	28
Şekil 4.8: Kaynak işlemi öncesi deney parçası görünümü.	29
Şekil 4.9: Kaynak işlemi sonrası deney parçası görünümü.	29
Şekil 4.10: Birleştirilen levhalar üzerinden alınan deney numuneleri.	30
Şekil 4.11: Çekme-makaslama testi için hazırlanmış deney numunesi.	30
Şekil 4.12: Çekme-makaslama testi için hazırlanmış deney numunesi.	31
Şekil 4.13: Çekme testi cihazı.	32
Şekil 4.14: Metalografik incelemeler için bakalite alınmış numuneler.	33
Şekil 4.15: Mikrosertlik testi cihazı.	33
Şekil 4.16: Mikrosertlik ölçümü yapılan doğrultular.	34
Şekil 5.1: 1.6 Masif tel ile farklı koruyucu gazların kullanıldığı numuneye ait çekme-makaslama testi grafiği (Deney 1, Deney 2, Deney 3).	41
Şekil 5.2: 1.2 Masif tel ile farklı koruyucu gazların kullanıldığı numuneye ait çekme-makaslama testi grafiği (Deney 4, Deney 5, Deney 6).	41
Şekil 5.3: 1.6 özlü tel ile farklı koruyucu gazların kullanıldığı numuneye ait çekme-makaslama testi grafiği (Deney 7, Deney 8, Deney 9).	42
Şekil 5.4: Çekme-makaslama testi sonrası deney 1'e ait kopan numune görünümü.	42
Şekil 5.5: Çekme-makaslama testi sonrası deney 2'ye ait kopan numune görünümü.	43
Şekil 5.6: 1.6 masif kaynak teli ve farklı gaz türleri ile kayma gerilmesi – nüfuziyet ilişkisi.	43

Şekil 5.7: 1.2 masif kaynak teli ve farklı gaz türleri ile kayma gerilmesi – nüfuziyet ilişkisi.	44
Şekil 5.8: 1.6 özlü kaynak teli ve farklı gaz türleri ile kayma gerilmesi – nüfuziyet ilişkisi.	44
Şekil 5.9: Tüm deneyler için çekme-makaslama gerilmesi ve nüfuziyet arasındaki ilişki.....	45
Şekil 5.10: Yüzeyi sertleştirilmiş malzemeye ait mikroyapı görüntüleri.....	46
Şekil 5.11: Mikroyapı bölgeleri (a,b,c,d,e,f) için şematik gösterim.	47
Şekil 5.12: Ana malzemeler mikroyapıları.	47
Şekil 5.13: 1.6mm masif tel ve %88Ar+%10CO ₂ +%2O ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	48
Şekil 5.14: 1.6mm masif tel ve %78Ar+%20CO ₂ +%2O ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	48
Şekil 5.15: 1.6mm masif tel ve %100CO ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.....	49
Şekil 5.16: 1.2mm masif tel ve %88Ar+%10CO ₂ +%2O ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	49
Şekil 5.17: 1.2mm masif tel ve %78Ar+%20CO ₂ +%2O ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	50
Şekil 5.18: 1.2mm masif tel ve %100CO ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.....	50
Şekil 5.19: 1.6mm özlü tel ve %88Ar+%10CO ₂ +%2O ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	51
Şekil 5.20: 1.6mm özlü tel ve %78Ar+%20CO ₂ +%2O ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	51
Şekil 5.21: 1.6mm özlü tel ve %100CO ₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.....	52
Şekil 5.22: Tüm deneyler için Tarama 1 doğrultusundaki sertlik sonuçları.	54
Şekil 5.23: Tüm deneyler için Tarama 2 doğrultusundaki sertlik sonuçları.	55
Şekil 5.24: Tüm deneyler için Tarama 3 doğrultusundaki sertlik sonuçları.	56

S355J0 ÇELİĞİNİN MAG YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KORUYUCU GAZ VE KAYNAK TELİNİN MUKAVEMETE, DİKİŞ GEOMETRİSİNE ETKİSİ VE MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Endüstride bir çok malzemeye çok sayıda birleştirme tekniği uygulanmaktadır ve günümüzdeki esas sorun birleştirmenin nasıl yapılacağı değil, en iyi birleştirme yönteminin nasıl seçileceğidir. Kaynak yöntemi, günümüzde en önemli bağlantı yöntemlerinden biri olarak endüstrinin birçok alanında sıkça karşımıza çıkmaktadır. Kaynak tekniği raylı araç sektörünün de en önemli birleştirme türlerinden birisidir.

Bu çalışma, yolcu vagonlarına ait Schileren tipi bojilerde kullanılan bir yüzeyi sertleştirilmiş S355J0 çeliklerde bindirme tipi kaynak işlemi sonrasında ortaya çıkan çatlama ve kırılma problemlerinin çözümüne yönelik deneysel bir çalışmadır. Çalışmada MAG gazaltı kaynak yöntemiyle üç farklı gaz karışımı (%88Ar + %10CO₂ + %2O₂, %78Ar + %20CO₂ + %2O₂, %100CO₂) ve üç farklı tel (1.6 mm masif SG3, 1.6 mm özlü, 1.2 mm masif SG3) kullanılmıştır.

Kaynak işlemi, torç yürütme robotu ile gerçekleştirilmiştir. İki plakanın üsteki malzemesi 12 mm kalınlığında S355J0 her iki yüzeyi sementasyon ısıtma işlemi ile sertleştirilmiş ve kaynak ağzı açılmıştır. Altındaki çelik plaka sertleştirilmemiş aynı malzemedendir.

Çalışmada farklı koruyucu gazların ve farklı kaynak tellerinin kaynak nüfuziyetine ve kaynak mukavemetine olan etkisi incelenmiştir. Deneyler sonrasında kaynak numunelerine tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanmıştır. Çekme testi bindirme tipi numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sertlik testi, mikro ve makroyapılar incelenmiştir.

Yapılan testler sonucunda, makroyapı incelemelerine göre karışımdaki CO₂ miktarının artması ile kaynak nüfuziyetinde artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca karışımdaki CO₂ miktarının artması ile kaynak yapışma bölgesinde daha derin ve sivri bir geometrik yapı gözlenmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre, en yüksek çekme-makaslama gerilmesi değerleri %100 CO₂ gazının bulunduğu, sırası ile 1.6 masif tel, 1.6 özlü tel ve 1.2 masif tel ile yapılan deneylerde görülmüştür. Makroyapı incelemelerinde tespit edilen nüfuziyet artışı ile çekme-makaslama dayanımı değerleri paralel şekilde seyretmiştir. %100 CO₂ koruyucu gazında en yüksek çekme-makaslama gerilmesi sırasıyla 1.6mm masif, 1.6mm özlü ve 1.2mm masif kaynak telinde görülmüştür. 1.6mm masif kaynak teli, %100CO₂ koruyucu gazı ortamında, 1.2 masif kaynak telinden %59.4, 1.6 özlü kaynak telinden ise %8.3 daha yüksek çekme-makaslama gerilmesi değerine ulaşmıştır.

Yapılan sertlik testi sonuçlarına göre tüm deney numunelerinde en yüksek sertlik değeri yüzeyi sertleştirilmiş malzemenin sertleştirilmiş bölgesinde ölçülürken bunu sırası ile ITAB, kaynak metal ve 10 mm S355J0 malzemesi takip etmiştir. Mikroyapı incelemelerine göre, farklı gaz türlerinin mikroyapılarda çok fazla bir fark oluşturmadığı gözlenmiştir. Kaynaklı bağlantıların, kaynak metalinde oluşan mikroyapıların ağırlıklı olarak widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit olduğu tespit edilmiştir. Tüm bağlantılarda ITAB bölgesinde tane irileşmesine rastlanmış ayrıca ısıtma işlemi tabi tutulan yapı çeliğinde, hadde düzlemindeki ferrit tanelerinin dağıldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MAG, Gazaltı Ark Kaynağı, S355J0, Sementasyon, Nüfuziyet

EFFECT OF SHIELDING GAS AND WELDING WIRE ON WELD BEAM GEOMETRY AND STRENGTH OF S355J0 STEEL WELDED BY GMAW AND MICROSTRUCTURE CHARACTERIZATION

SUMMARY

There are many joining techniques available today and the problem today is not how to do it, but how to choose the best joining method. Welding is frequently encountered in many areas of the industry as one of the most important connection methods today, as it has become one of the most important joining types of the rail vehicle industry.

This study is an experimental study aimed at solving the cracking and fracture problems that occur after lap-type welding on surface hardened S355J0 steels used in Schilieren type bogies belonging to passenger wagons. In the study, three different gas mixtures (88%Ar+10% CO₂+2%O₂, 78%Ar+20%CO₂+2% O₂, 100%CO₂) and three different electrodes (1.6 mm massive SG3, 1.6 mm rutile cored, 1.2 mm massive SG3) were used with MAG welding method.

Welding process was carried out with a torch propulsion robot. The top material of the two plates is 12 mm thick S355J0, both surfaces are hardened by cementation heat treatment and the welding groove is opened. Welding process of two different plates on each other was carried out. The lower steel plate is of the same material that is not hardened.

Thus, the effect of different shielding gases and electrodes on weld penetration and strength was investigated. After the tests, destructive and non-destructive tests were applied to the weld samples. The tensile test was carried out on the lap type sample. In addition, hardness test, micro and macro structures were examined.

As a result of the tests, it was observed that the amount of CO₂ in the mixture increased and the source penetration increased according to the macrostructure studies. In addition, with the increase in the amount of CO₂ in the mixture, a deeper and sharper geometric structure was observed in the weld adhesion zone.

According to the tensile test results, the highest shear stress values were seen in the experiments with 1.6 massive electrode, 1.6 rutile electrode and 1.2 massive electrodes, respectively, with 100% CO₂ gas. The penetration increase detected in the macrostructure studies and the tensile strength values were in parallel. In 100% CO₂ shielding gas, the highest shear stress was observed in 1.6mm massive, 1.6mm cored and 1.2mm massive welding wire, respectively. 1.6mm massive welding wire reached 59.4% higher shear stress value than 1.2 solid welding wire and 8.3% higher than 1.6 cored wire in 100% CO₂ shielding gas environment.

According to the results of the hardness test, the highest hardness value was measured in the hardened area of the surface hardened material in all test samples, followed by HAZ, weld metal and 10 mm S355J0 material respectively.

According to microstructure studies, it has been observed that different gas types do not make much difference in microstructures. It has been determined that the

welded joints, microstructures formed in the weld metal are predominantly widmanstat ferrite and acicular ferrite. Grain coarsening in the HAZ region was observed in all connections, and it was observed that ferrite grains in the rolling plane were dispersed in the structural steel that was subjected to heat treatment.

Keywords: MAG, Gas Metal Arc Welding, S355J0, Carburisation, Penetration



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi kaynak yöntemi giderek artan ve sürekli geliştirilen günümüz sanayisinin en vazgeçilmez birleştirme yöntemidir. Kaynak, iki malzemeyi birleştirmenin ötesinde, fizik, kimya, metalürji ve mekanik gibi birçok disiplini ve birçok bilimsel yöntemi kendi içinde bütünleştiren bir kavramdır [1].

Kaynak teknolojisi son 30 yıldır denizcilik, madencilik, demiryolu, petrol ve gaz platformu gibi farklı alanlardaki metalik yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2]. Kaynak işlemi uygulanılacak malzemenin cinsine göre, metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olmak üzere iki farklı başlıkta ele alınır [3].

Metal kaynağı: Metalik malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme ilave ederek veya etmeden yapılan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir. [3]

Plastik malzeme kaynağı: Aynı veya farklı cinsten termoplastik malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cinsten bir plastik ilave malzeme kullanarak veya kullanmadan birleştirmeye ise "plastik malzeme kaynağı" denir [3].

Günümüzde çok sayıda birleştirme tekniği vardır ve günümüzdeki esas sorun birleştirme işleminin nasıl yapılacağı değil, en iyi birleştirme yönteminin nasıl seçileceğidir. Bronz çağı insanı birleştirme yöntemi olarak sadece, kama kullanma veya deri şerit ile bağlama arasında bir seçim yapmak zorundayken, günümüzde bir tasarım mühendisi, aynı derecede uygun dört veya beş farklı birleştirme tekniğinin olduğu alternatif yöntemler kullanılabilmektedir. Her yöntemin kendine özgü özellikleri vardır ve en uygun seçim için bir çok hususun değerlendirilmesi gerekir. Mukavemet, üretim kolaylığı, maliyet, korozyon dayanımı, ömür ve görünüş gibi faktörlerin önemi büyük ölçüde göz önüne alınan uygulamaya bağlıdır [1].

Gelişen endüstride kullanılan malzemelerin çeşitliliğinin fazla olması ve farklı bağlantıların kullanılması ile birlikte kaynak işlemine bağlılık her geçen gün artmıştır. Özellikle büyük parçaların birleştirilmesinde, tercih edilen en yaygın kullanım, kaynak yöntemidir. Bundan dolayı kaynak işleminin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi, bütün yapının güvenilirliği açısından büyük önem taşır [4].

Kaynak, dış görünüş itibarıyla perçin, cıvata bağlantılarının aksine, şekil sürekliliği gösteren bir birleştirme yöntemidir. Kaynakta bir ergime süreci vardır. Bu sebepten dolayı gözle göremediğimiz bir takım metalürjik olaylar görülmektedir. Her kaynak yöntemi her metale, birleşme şekli ve uygulamaya aynı şekilde uygun olmaz. Kaynak uzmanının becerisi, bir kaynağın yerine getirebileceği başlıca gereksinimlerin doğru saptanması ve uygun kaynak yönteminin seçilmesi kaynak işleminin başarısını etkilemektedir [5].

Kaynak banyosunun zararlı etkilerinden korunmak için farklı kaynak yöntemlerinde farklı gazlar kullanılır. Kullanılan bu gazları soy (asal) gazlar, aktif gazlar ve karışım gazlar olarak sınıflandırılır. Koruyucu gazın türü dolgu metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktördür. Genel olarak asal gazlar reaksiyona girmediklerinden metal olmayan malzemelerin birleştirilmesinde, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da farklı tür çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır [6].

Metalik malzemelerin kaynak işleminde oldukça yaygın olarak kullanılan MIG/MAG yönteminin kullanımının artması ile bu yöntemde kullanılan koruyucu gazların geliştirilmesi, çeşitli gaz karışımları ile yapılan kaynaklı bağlantılarda dikiş özelliklerinin incelenmesi amacıyla araştırmalar sürmektedir. Özellikle, gaz karışımlarının kaynak dikişi özelliklerini iyileştirilmesi ve daha hızlı, ekonomik birleştirmeler oluşturulması açısından büyük önem arz etmektedir [7].

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı, ilk olarak demiryolu sektöründe yaygın olarak kullanılan Schlieren tipi bojilerin kayma plakalarının uygun ve gerekli mekanik değerleri sağlayacak şekilde kaynak işlemi ile birleştirilmesini kapsamaktadır. Bu kayma plakaları kullanım yerlerinde sürekli olarak bir yüzey zorlamaya maruz kaldığından tasarım aşamasında yüzeyinde sertleştirme işlemi yapılmıştır. Yüzeyi

sertleştirilmiş çeliklerin kaynatılması uygulamasında kimi zaman ciddi problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemlerin çözümüne ışık tutması maksadı ile bu tez çalışması yapılmıştır.

Tez çalışmasının 2. bölümünde, deneylerde kullanılacak kaynak metodu olan gazaltı kaynak teknolojisinden kapsamlı olarak bahsedilmiştir. Literatür araştırmaları sonucunda ulaşılan bilgilere yer verilmiştir.

Tez çalışmasının 3. bölümünde kaynaklı birleştirmelerin muayene yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu muayene yöntemleri tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki bölümde ele alınmış ve detaylı literatür bilgilerine değinilmiştir.

Tez çalışmasının 4. bölümünde deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Deneyler yapılırken kullanılacak kaynak yöntemi, kaynatılacak malzemeler, kullanılacak kaynak teli, koruyucu gaz türleri ve kaynak parametrelerinden bahsedilmiştir. Ayrıca deneyleri gerçekleştirmek ve muayene işlemine tabi tutmak için gerekli olan kaynak öncesi hazırlık ve muayene öncesi hazırlıklardan detaylıca bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının 5. bölümünde muayene yöntemleri sonucunda ulaşılan sonuçlar incelenmiş olup, bu sonuçlar belirli kategorilere ayrılarak grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Farklı ve benzer çalışmalar ile mukayese edilerek elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Tez çalışmasının 6. bölümü sonuç ve öneriler kısmından oluşmaktadır. Bu kısımda tüm sonuçlar değerlendirilerek başka çalışmalara ışık tutacak öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. MIG/MAG GAZALTI KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Kaynak banyosunu, havanın olumsuz etkilerinden farklı bir koruyucu gaz kullanarak yapılan kaynak işlemine "gazaltı ark kaynağı" denir. Koruyucu gaz ile kaynak olarak da bilinen bu kaynak türü ilk olarak 1926 yılında "Alexander" usulü olarak ortaya çıkmıştır. Bu usulde kaynak yapılan bölge, metanol gazı ile korunmaktaydı. Bunun haricinde 1926 yılında kaynak yapılacak bölgenin hidrojen gazıyla korunduğu, "ark atom" ve 1928'de oksit-asetilen aleviyle korunan "Arcogen" yöntemleri geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, koruyucu gaz olarak helyum ve argon gibi soy gazlar, karbondioksit gibi aktif gazların kullanımı yaygınlaşmıştır [3].

2.1. MIG/MAG Kaynak Yöntemi

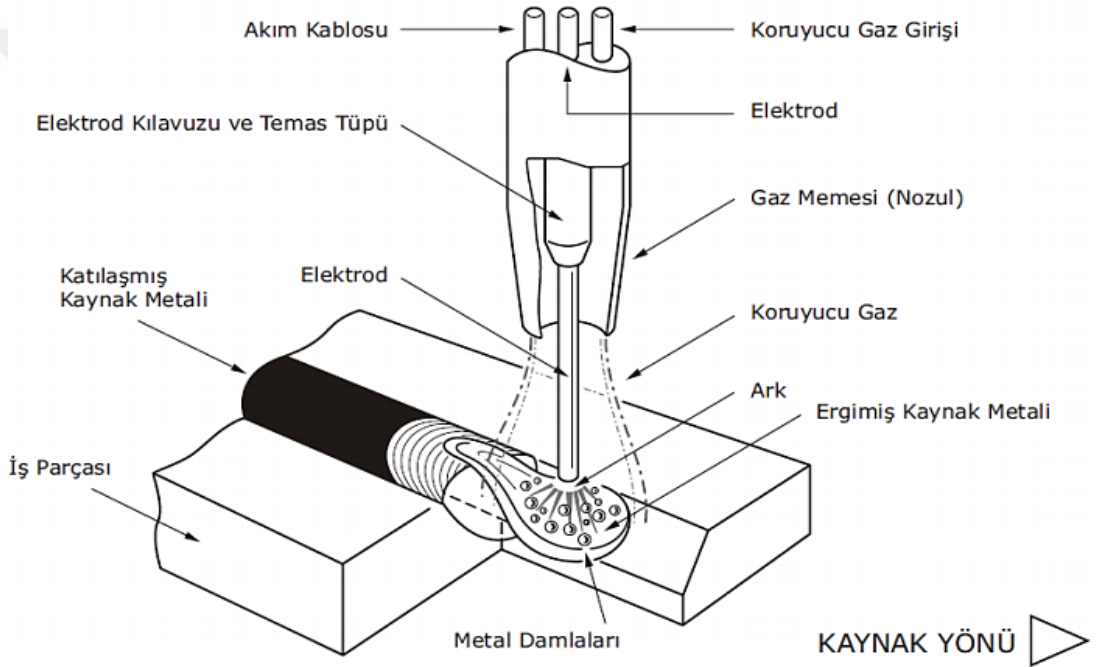
MIG-MAG kaynak yönteminde, (Gas Metal Arc Welding-GMAW) kaynak için gerekli ısı ile eriyen ve sürekli beslenen bir tel, iş parçaları arasında oluşturulan ark yoluyla ve telden geçen kaynak akımının oluşturduğu direnç ile ısınması sonucunda kaynak dikişi elde edilir.

Kaynak bölgesinin, havanın olumsuz etkilerinden korunması bir gaz ortamı ile gerçekleştiğinden bu yönteme “Gazaltı Ark Kaynak” yöntemi denir [1].

Bu kaynak yöntemi, koruyucu gazın türüne bağlı olarak iki şekilde adlandırılır. Kaynak işleminde koruyucu gaz olarak asal gazlar kullanılıyor ise MIG (Metal Inert Gas), koruyucu gaz olarak aktif gazlar kullanılıyor ise MAG (Metal Active Gas) olarak adlandırılır. Sonuç itibarı ile iki ayrı isimle sınıflandırılan kaynak çeşitlerinde ekipmanlar aynıdır. Sadece CO₂ koruyucu gazının kullanıldığı kaynak işleminde farklı olarak tüp çıkışına ısıtıcı bağlanır. [1]

2.1.1. Çalışma prensibi

Tüm kaynak yöntemlerinde esas amaç, teli el veya mekanik bir düzenek ile sürekli tahrik edip, akımı ark bölgesine yakın bir yerden vermek ve telin yüklenebileceği akım şiddetini artırarak, ergime gücünü arttırmaktır. Fakat buradaki en önemli husus kaynak teli örtüsünün görevini yerine getirecek bir etkenin devreye sokulmasıdır. Bu görevi gazaltı ark kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak kullanılan soy gazlar, aktif gazlar veya bunların karışımından meydana gelen gazlar yapmaktadır. Bu yöntemde ergiyen tel dışarıdan sağlanan koruyucu gaz ile korunarak otomatik olarak sürekli beslenir (Şekil 2.1) [8].



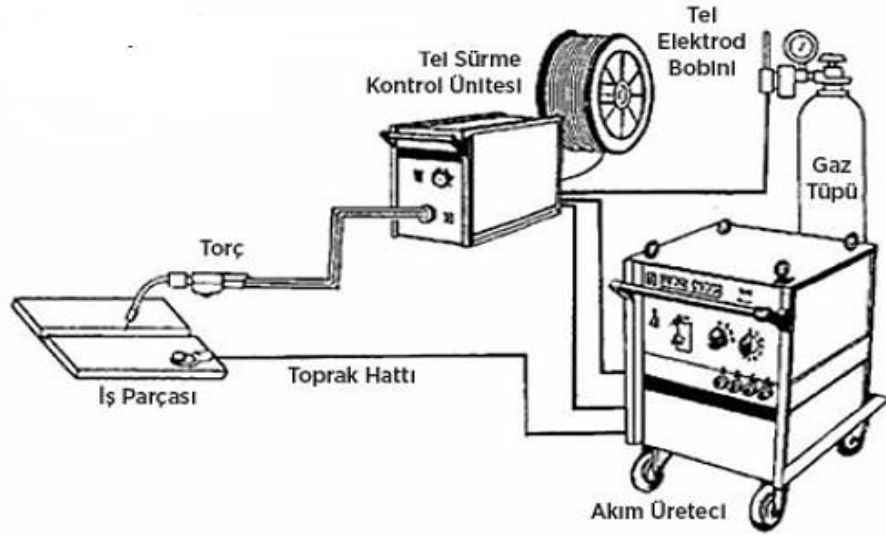
Şekil 2.1: Gazaltı kaynağının prensibi.

2.1.2. MIG/MAG kaynağı donanımları

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşur [1].

- Kaynak torcu ve kablo grubu
- Güç ünitesi (Kaynak akım üretici)
- Tel besleme ünitesi (Tel sürme tertibatı)
- Koruyucu gaz ünitesi

MIG/MAG kaynağı donanım şemasına ait görünüm Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: MIG/MAG kaynağı donanım şeması.

2.1.2.1. Kaynak torcu ve kablo gurubu

Torç, kaynak makinasına, içinde akım kablosunu, tel klavuzunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral ile takviyelendirilmiş ve kalın hortum ile irtibatlandırılmıştır, bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı da verilir. Torç ve kablo gurubu genel olarak üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine ulaştırır, teli ark bölgesine taşır ve güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletir [1].

Şekil 2.3'te MIG/MAG gazaltı kaynak torcu gösterilmiştir.



Şekil 2.3: MIG/MAG gazaltı kaynak torcu.

2.1.2.2. MIG/MAG kaynağı akım üreteçleri

Kaynak güç üniteleri, arkı oluşturmak için gerekli olan elektrik gücünü tele ve iş parçasına iletir. MIG/MAG kaynağının büyük bir kısmında doğru akım kullanılır ve tel daima pozitif kutuptadır. Bu nedenle güç ünitelerinin negatif ucu iş parçasına, pozitif ucu ise torca bağlanır. Metalik malzemelerin kaynağında her iki kutuplama da kullanılabilir de, daha derin nüfuziyet meydana getirdiğinden uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir. Doğru kutuplama nadiren, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu durumlarda tercih edilir. Doğru akım güç ünitelerinin başlıca tipleri motor tahrikli jeneratörler (dönen ve hareketli tip) ve redresörlerdir (statik veya hareketsizdir) [1].

2.1.2.3. Tel besleme ünitesi

Tel sürme tertibatı, teli makaradan alıp, ergiyen tel miktarını karşılayacak kadar bir hızla ark bölgesine ileten bir sistemdir. Tel besleme ünitesi, bir elektrik motoru tel makaraları ve kaynak teli doğrultusunu ve basıncını ayarlayan aksesuarlardan meydana gelir. Tel besleme motoru genellikle doğru akımla çalışır. Kaynak telini torç yoluyla iş parçasına doğru iletir. Motor hızını geniş bir aralıkta ayarlayabilen bir kontrol devresinin de olması gerekir. Sabit hızlı tel besleyicileri, normal olarak sabit gerilimli güç üniteleri ile birlikte kullanılırlar. Bunlar, gerekli devreler eklendiği takdirde sabit akımlı güç ünitelerinde de kullanılabilir [1].

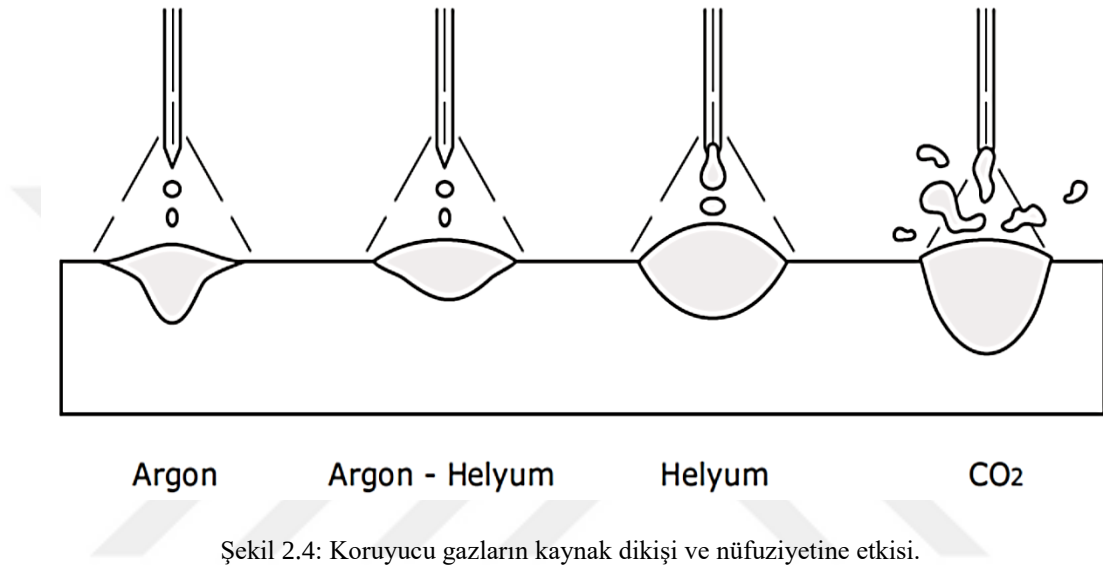
2.2. Gazaltı Kaynak Teknolojisinde Koruyucu Gazlar ve Önemi

Tüm gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG/MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve kaynak metalini hava şartlarından koruması gerekmektedir. MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, kaynak bölgesine uygun bir basınç düşürücü yardımıyla istenen miktarlarda gönderilirler. MIG ve MAG kaynağında kullanılan tüpler farklı oldukları için, bu tüpler için kullanılan manometreler de birbirlerinden farklıdır [1].

MIG/MAG kaynak işlemlerinin endüstriyel uygulamalarında, tek bileşenli ve dört bileşenli gaz karışımları dahil olmak üzere çeşitli tiplerde koruyucu gazlar kullanılır. Belirli bir uygulama için gaz karışımının seçilmesindeki ana kriter, gerekli kaynaklı bağlantının kalitesidir [9].

MIG/MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların belirli oranlarda karışımı ile elde edilen karışım gazlar kullanılır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden metalik olmayan malzemelerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımı gazlar da çeşitli tür metalik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır [10,11].

Şekil 2.4’de koruyucu gazların kaynak dikişi ve nüfuziyetine etkileri gösterilmiştir.



2.2.1. Karışım gazlar

Karışım gazlar, saf gazlardan daha iyi verim elde etmek için belirli oranlarda karıştırılarak kaynak işleminde kullanılır. Genel olarak argon gazına az miktarda oksijen ve çeşitli oranlarda karbondioksit ilave ederek karışım gazlar elde edilir [10].

Argon'a karbondioksit veya oksijen gazlarının ilave edilmesi ile kaynak bölgesinin sıcaklığı artar ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak bölgesinin akıcılığı da artmış olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin oluşmasına yardımcı olur. Metalik malzemelerin kaynak işleminde argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılmaktadır. Böylece oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen kaynak telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır.

2.2.2. Karbondioksit (CO₂)

Gazaltı kaynağında kullanılan karbondioksit gazı renksiz, kokusuz bir gazdır. Karbondioksit gazının özgül ağırlığı 1.997 kg/cm³, tür ve her CO₂ molekülü bir karbon (C) atomu ile iki oksijen (O₂) atomunun bir araya gelmesi ile oluşur ve havadan yaklaşık olarak 1.5 kat daha ağır bir gazdır. [1].

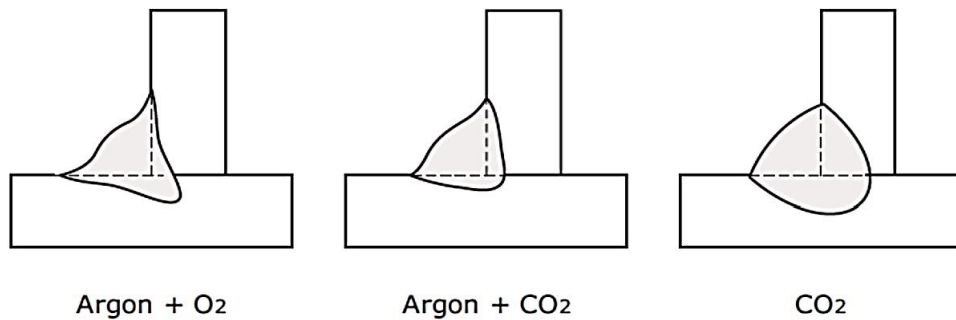
Karbondioksit çoğunlukla alaşımsız karbon çeliklerin kaynak işleminde kullanılır. Bu gazla spreysel metal iletimi mümkün değildir, yani kısa-devre ve küresel modda metal iletilir. Kolay bulunabilirliği, düşük maliyeti ve kaynak performansının yüksek olması nedeniyle popülaritesi yüksektir. En büyük dezavantajı ise sert, sesli ark ve yüksek sıçrandır [12].

Karbondioksit kaynak banyosunun yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır, ark içerisinde iyonize olan gazlar kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline dönüşür ve dolayısıyla ayrışma esnasında aldığı ısıyı tekrar verir, bu durum kaynak dikişinde nüfuziyetin artmasına sebep olur.

Karbondioksit gazı kaynak işlemlerinde tüp içerisinde bulunur, tüp içerisinde karbondioksitin büyük bir kısmı sıvı halde bulunur ve bu sıvının bir kısmı tüpün üst kısımlarında gaz halinde bulunur. Bu gazın, uygulamada tüp çıkışında bir ısıtıcı armatür takılarak kullanılması şiddetle tavsiye edilir.”

Koruyucu gaz olarak karbondioksit gazının kullanıldığı kaynak yöntemine “Metal Activ Gas” kelimelerinin baş harflerinden faydalanılarak MAG adı verilmiştir.

Şekil 2.5’te karışım gazlarda karbondioksit gazının nüfuziyete etkileri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Karbondioksit gazının nüfuziyete etkisi.

2.2.3. Saf argon (Ar)

Atmosferde %0,934 oranında bulunmasından dolayı argon gazı havadan damıtılarak üretilir. Argon sıvı metaller içinde çözülmez ve yoğunluğunun havadan 1,38 kat daha fazladır. Düşük iyonizasyon enerjisi sebebi ile bilhassa yatay kaynak pozisyonlarında, kaynak esnasında etkin bir örtü oluşturarak kaynak bölgesini koruyan bir soygazdır [1].

Argon gazı, havadan damıtma yöntemi ile elde edildiğinden oksijen, azot ve su buharı gibi istenmeyen içerikleri barındırır, piyasada kullanılan argon gazlarının büyük bir kısmı ticari saflık olarak adlandırılırlar çünkü damıtma işleminde saf argon gazı elde etmek oldukça zordur. Buna rağmen kaynak uygulamaları bakımından da en uygun koruyucu gazdır. Argon gazı kullanılan MAG uygulamalarında ark kararlılığı yüksektir. Bir soygaz olan argon gazının düşük iletkenliğinden dolayı arkın merkezinde sıcaklık yüksek kalır, bu nedenle arkın merkezinde ısı kaybı çok az olduğundan metal damlacıklarının ark boyunca geçişi çok daha akışkan olur. Bu da kaynak dikiş profilini ve kaynak nüfuziyeti önemli ölçüde etkiler [8].

2.2.4. Saf helyum (He)

Helyum asal ve zehirsiz en hafif monoatomik bir gazdır. Hidrojenden sonra en küçük moleküler boyuta sahiptir. Yoğunluğu 0.1785 g/l' dir. Havadan daha hafif bir gaz olduğundan gaz sarfıyatı oldukça fazladır. Yatay pozisyonda aynı şartlar altında argon gazının yaptığı korumayı sağlamak için üç katı helyuma ihtiyaç vardır. Helyum gazı, havanın içinde çok küçük konsantrasyonda bulunur (yaklaşık olarak %0.0004). Bu nedenle havadan üretim ekonomik değildir. Helyum doğal gaz sahalarında üretilir [6].

Helyum, neon gazı hariç diğer bütün gazlardan daha iyi elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu nedenle yüksek akımların kullanıldığı kaynak uygulamaları için uygun bir gazdır. Helyum yüksek ısı iletkenliği ile argondan daha yüksek ark gerilimi ve ısı girdisi elde edilir. Buda yüksek ısı iletkenliğe veya yüksek ergime sıcaklığına sahip kalın malzemelerin kaynağında avantaj sağlar ve daha geniş kaynak metalleri elde edilir.

2.3. Gazaltı Kaynak Telleri

Gazaltı kaynağında gerekli olan sıcaklık, sürekli tahrik edilen ve ergiyen bir tel ile kaynak banyosu arasında oluşturulan ark ile ve kaynak telinden geçen kaynak akımının kaynak telinde meydana getirdiği direnç ısınmasıyla oluşur. MIG/MAG kaynağında kullanılan bütün teller makara şeklinde paketlenmiş ve makinenin tel sürme tertibatına göre ayarlanmıştır.

Kaynak telleri, kaynak işlemi sırasında üzerinden akım geçerek ergiyen, otomatik olarak beslenen ark kaynağı yöntemlerinde ilave dolgu metali olarak kullanılan ve bir kangala sarılı halde bulunan tellerdir. Gazaltı kaynağında kullanılan dolu kaynak telleri, temas memesinden geçerken temas kolaylığı ve de korozyondan koruması amacı ile ince bir bakır tabakası ile kaplanırlar. Bu tellerin çapları 0.6, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0, 2.4 ve 3.2 mm arasında değişmektedir [1].

Son zamanlarda, dolgu metalinin özelliklerini geliştirmek amacı metalik malzemelerin kaynağında kullanılmak üzere özlü veya kenetli tel diye adlandırılan bir tür geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeridin, ferroaliyaj ve dekapanlar ile beraber kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilirler. Bu şekilde tel halinde üretilmesi güç veya imkânsız bileşimdeki alaşımlar dahi kolaylıkla tel haline getirilebilmekte ve daha geniş bir spektrumda tel üretimi mümkün olabilmektedir [10].

2.3.1. Masif kaynak telleri

Masif teller alaşımlı ve alaşımsız çıplak tel olarak ikiye ayrılır. Alaşımsız çıplak teller yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılırlar, bu tellerin bileşimlerini alaşımsız çeliklerden ayıran sadece mangan ve silisyum miktarlarının bir miktar daha fazla olmasıdır. Alaşımlı teller ise özel bileşimde olup, alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır [3,1].

CO₂ ve oksijen içeren gazların korumaları altında yapılan kaynak işlemlerinde meydana gelen demiroksit, silisyum ve mangan tarafından redüklenir. Böylece kaynak bölgesinde mangan ve silisyum azalması olur. Bu azalma seçilecek kaynak metalinin silisyum ve mangan içeriği ile giderilir. MAG kaynak yönteminde kullanılan teller silisyum ve mangan açısından zengindirler bu sebepten MIG kaynağı için üretilen teller MAG kaynağında kullanılmamalıdır. MAG kaynak

yönteminde sıklıkla kullanılan teller SG1, SG2, SG3 şeklinde adlandırılırlar ve bu tellerin en büyük farkları mangan ve silisyum oranı ile mekanik özelliklerindeki farklılıklardır.

Gazaltı kaynağında kullanılan teller, soğuk çekme işlemiyle üretilirler. Soğuk çekme işleminde başlangıçta ürün çapı 5.5 ila 6.0 mm arasında sıcak haddelenmiş tellerdir. Son haddeleme işleminden önce tellerin bakır kaplanması gerekir. Bu işlem, galvanik bakır kaplama yöntemiyle veya elektrolitik yöntemle gerçekleştirilir. Her iki yöntemde de tel, bakır içeren bir banyoya daldırılır. Bu banyo içerisinde asit, yüzeyden demir atomlarını çözer, yerine çözültiden bakır iyonları geçer.

Bu teller piyasada 0.8 mm, 1 mm, 1.2 mm, 1.6 mm çaplarında bulunurlar. Genellikle içerdikleri kimyasal kompozisyon ve mekanik özelliklere göre farklı isimlendirmeler ile gösterilirler. Bu isimlendirme işlemi TS EN ISO 14341 [13] standardına göre yapılır. Örneğin SG3 masif gazaltı kaynak teli için, SG3 olarak kullanılan isimlendirme model numarasını ifade eder. Bu model numarasının standarttaki karşılığı G42 3CM G4Si1 şeklindedir. G harfi, koruyucu gaz kaynağına uygun olduğunu, 42, min. 420 MPa akma dayanımına sahip olduğunu, 3, -30 °C sıcaklıkta 47 joule çentik darbe tokluğunu, CM, koruyucu gaz sembolünü, G3Si1, telin kimyasal bileşim sembolünü ifade etmektedir.

Masif kaynak tellerinin başlıca kullanım alanları şunlardır;

- Alaşımsız çeliklerin kaynağında.
- Çelik konstrüksiyon ve makina yapımında.
- Gemi,kazan,tank,boru ince taneli çelikler, ince sac, çelik mobilya, kaporta, egzost ve karoseri kaynaklarında.

2.3.2. Özlü kaynak telleri

MIG/MAG kaynağında masif (dolu) tellerden başka özlü teller de kullanılır. Bu tellerin ortasında bazik veya rutil özler bulunur. Bu tür teller, alaşımsız ince bir sac şeridin boru haline getirilmesi veya bir lüleden geçirilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilirler. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekapan ve ferroalaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin deoksidasyonu

ve alaşımlanması bu öz tarafından yapılır. Kendinden gaz korumalı ve ilave gaz korumalı olmak üzere iki biçimde kullanılabilirler. Kendinden korumalı özlü tellerde öz, koruyucu gaz içeren bileşenleri barındırır ve bu bileşenler kaynak bölgesinin dış ortamdan korunmasının sağlamaktadır. Kaynak tellerinin kendinden korumalı olması, saha çalışmalarındaki konstrüksiyon ve imalat uygulamalarında güvenle kullanımını sağlamaktadır. Gaz korumalı özlü tellerde ise öz, koruyucu gaz içeren bileşikler barındırmadığından dışarıdan bir koruyucu gaz uygulanır. Bu kaynak telleri, karbondioksit veya argon ihtiva eden karışım gazlarla kullanılmaktadırlar [1].

Özlü tel ile yapılan kaynak işlemi esas olarak gazaltı ark kaynağında olduğu gibi çıplak tel yerine içi öz diye adlandırılan ve örtülü teldeki örtü görevini üstlenen bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde tel kullanılan bir kaynak yöntemidir.

Bu tellerin sağladığı üstünlükler şunlardır:

- Yüksek ergime hızına sahip olduklarından daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler.
- İnce çaplı teller kullanarak her pozisyonda kaynak yapılabilir.
- Bazı tür özlü tellerin kullanıldığı kaynak işleminde koruyucu gaz gerekmez, bu durum sistemin basitleşmesine imkan tanır.
- Çelik konstrüksiyon ve makine imalatında, ince taneli çeliklerin kaynağında, ince sac ve yapı çeliklerinin kaynağında aktif gaz, soygaz veya karışım gazlar ile birlikte oldukça geniş bir kullanım alanları vardır.
- Örtülü tellerin bütün avantajlarına sahiptirler. Koçan kaybı ve tel değiştirmedeki zaman kaybı gibi dezavantajları yoktur.

2.4. Gazaltı Kaynak Teknolojisinin Avantajları

- Gazaltı kaynak yönteminde, kaynak bölgesi, havanın olumsuz etkilerinden bir koruyucu gaz ile korunmaktadır ve dikiş üzerinde temizliği zor bir cüruf oluşmaz [13].
- Yöntemin uygulanmasında yetişmiş personel ihtiyacı fazladır, buna bağlı olarak bütün parametreler doğru olsa dahi personel en etkili parametredir.
- Sürekli bir tel sürme tertibatı bulunduğundan daha kararlı bir kaynak banyosu ve kaynak dikiş geometrisi elde edilir.

- Otomasyona elverişli olduklarından dolayı bu yöntem tamamen otomatik halde kullanılabilir.
- MAG kaynağı her pozisyonda kaynak yapabilme imkanı olanağı sağlar [13].
- Yöntemde özlü teller kullanılarak, kaynak metali özellikleri iyileştirilebilir [1].
- Metal yığma hızı elektrik ark kaynağına göre daha yüksektir [1].
- Kaynak makinası teknolojisindeki gibi gelişmeler ile (sinerjik gibi) kaynak işlemleri kolaylıkla programlanabilir [1].

2.5. Gazaltı Kaynak Teknolojisinin Dezavantajları

- Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına göre, daha karmaşık, ilk yatırım maliyeti daha yüksek ve başka bir yere taşınması zordur [1].
- Yöntemden çıkan ışınlar çok güçlü olduklarından, daha çok koruma gereklidir [1].
- Yüksek şiddette ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle gerekli önlemler alınarak çalışılmalıdır [1].
- Kaynak bölgesi, koruyucu gazın işlevini yerine getirmesini engelleyen hava sirkülasyonlarından korunmalıdır. Bundan dolayı kaynak bölgesinin etrafı hava akımlarından korunmalıdır, yöntemin açık havada kullanılması mümkün değildir [1].
- Kaynak torcunun, elektrik ark kaynağı pensesinden daha büyük olmasından dolayı ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla, torcun birleşim bölgesine 10 ila 19 mm arasında değişken yakın bir mesafeden tutulması gerektiği için, bu yöntem ulaşılması zor olan yerlerde kullanılması mümkün değildir [1]

BÖLÜM 3. S355J0 ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK KABİLİYETİ

3.1. Giriş

Bu bölümde genel yapı çelikleri, özellikleri ve kullanım alanlarından bahsedilecektir. Ayrıca bu tür çeliklerin kaynak kabiliyeti hakkında bilgiler verilecektir.

3.2. Genel Yapı Çelikleri

Yapı çelikleri, düşük karbon miktarına sahip alaşımsız çeliklerdir. İçeriğindeki azot (N), kükürt (S) ve fosfor (P) elementleri ergitme aşamasından yapısına girmektedir. Mangan (Mn), silisyum(Si) ve bakır (Cu) gibi alaşım elementleri ilave edilerek levha, boru ve yapısal ürünler halinde TS EN 10025 standardına göre imal edilirler. Genel olarak çelik kontrüksiyon yapılar, raylı araçlarda, basınçlı kap ve donanımlarında ve makine imalat sektöründe kullanılırlar.

Yapı çelikleri eski gösterim olarak adlandırılan St33, St34, St37, St42, St46, St50, St52, St60, St70 şeklinde gösterilirler. Bu adlandırma işlemi çeliklerin çekme dayanımı özelliklerine göre yapılır. Fakat; yapı çeliği malzemelerinin yeni simgeleri yapı çeliklerinin kimyasal ve mekanik özellikleri, teslim şartları gibi tüm özellikleri TS EN 10025-2 standardı ile düzenlenmiştir.

Buna göre bu malzemler akma dayanımına göre adlandırılırlar, örneğin St52 çeliğinin yeni gösterimi S355'tir. S355 gösteriminin arkasına J0, JR, J2 ve K2 gibi eklentiler gelmektedir.

Bu eklentilerin anlamı;

- J0 : 0 C° sıcaklıkta darbe enerjisi, minimum 27 J olduğunu ifade eder.
- JR : 20 C° (Oda sıcaklığı) sıcaklıkta darbe enerjisi minimum 27 J olduğunu ifade eder.

- J2 : -20 C° sıcaklıkta darbe enerjisi (KV) minimum 27 J olduğunu ifade eder.
- K2 : -20 C° sıcaklıkta kalınlık ≤ 150 mm için darbe enerjisi minimum 40J olduğunu ifade eder.

3.3. Genel Yapı Çeliklerinin Kaynak Kabiliyeti

Yapı çeliklerinde karbon haricinde Cr, Si, Mn, Ni, Al, Mo gibi farklı elementlerle alaşımlandırma işlemi yapılır. Çeliklerin mekanik dayanımları, sertlik, süneklik, çentik darbe direnci, tokluk, şekillenebilirlik, talaşlı imalata elverişlilik, kaynaklanabilirlik gibi bir çok özelliği bu alaşımlandırma işlemi ile yapılır. Bu işlemlerden en önemlisi kaynaklanabilirliktir. Yapı çelikleri günümüzde bir çok alanda kaynaklı bağlantı yapılarak kullanılmaktadır.

Kaynak işleminde maruz kalınan ısıнын etkisi ile kaynak yapılan malzemelerde çoğu zaman değişimler meydana gelir. Çelik bir malzeme, geniş önlemler almayı gerektirmeden ve bu değişimler kaynaklı konstrüksiyonda sorunlar yaratmadan kaynak edilebiliyor ise eğer bu çelik iyi kaynak kabiliyetli olarak tanımlanır. Buna karşılık normal bir kaynak işlemi malzemede, konstrüksiyondan beklenenleri ciddi tehlikeye sokacak şekilde değişimlere yol açar veya kaynak işlemi esnasında veya kaynak işleminden sonra, çatlaklar gibi malzeme kusurlarını meydana getirirse özel önlemlerin alınması veya bazı kaynak öncesi veya kaynak sonrası işlemleri gerektirir. Böyle çeliklere de sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler denir [15].

Malzemelerin kaynak kabiliyetinin belirlenmesinde en önemli faktör birleştirilecek malzemelerin ve kullanılacak ilave dolgu metalinin kimyasal yapısı, mekanik ve fiziksel özelliklerinin bilinmesidir. Yüksek mekanik özelliklere sahip bir malzeme düşük mekanik özelliklerdeki ilave dolgu metali ile birleştirilmesi mümkün olsa da uygulamada kullanılmaz. Öte yandan farklı kimyasal özelliklere sahip malzemelerin kaynak işlemi ile birleştirilmesi sorunlu bir birleştirme olacaktır.

Malzemelerin kaynak kabiliyetinin belirlenmesinde başka önemli bir faktör de, kaynak işleminin uygulanması ve kaynak yönteminin seçilmesidir. Malzeme özelliklerine ve konstrüksiyon şartlarına bağlı olarak kaynak yönteminin belirlenmesi, kaynak öncesi, kaynak sonrası ve kaynak işlemi esnasında dikkate alınması gereken işlemlerin detaylı olarak değerlendirilmesi gerekir. Ayrıca ilave dolgu metalinin seçimi, paso sayısının belirlenmesi, kaynak ağzı formunun tayini, ön tavlama işlemlerinin belirlenmesi, kaynak parametrelerinin seçimi, kaynak dikiş

sırasının belirlenmesi, kaynak dikiş kalınlıklarının tayini ve kaynak öncesi ve sonrası temizlik işlemlerinin yapılması, kaynaklı birleştirmenin mekanik ve metalurjik özelliklerini etkileyen faktörlerdir. Kaynak yöntemi seçilirken malzeme özelliklerinin dikkate alınması gerekir. Çünkü bir malzemenin kaynak kabiliyeti, bir kaynak yöntemi için iyi olabilirken, başka bir kaynak yöntemi için zayıf veya kötü olabilir.

3.3.1. Karbon eşdeğeri

Her kaynak işleminde olduğu gibi, MIG/MAG kaynağında da kaynak işlemi yapılacak malzemelerinin kimyasal bileşimlerinin etkisi oldukça önemlidir. Kaynak işlemi yapılacak malzemelerin kimyasal içeriklerinin etkisi karbon eşdeğeri denilen bir eşitlikle anlaşılabilir. Karbon eşdeğeri ile ilgili birçok formül geliştirilse de en çok kabul gören, denklem 3.1’de verilen Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW)-IX no’lu komisyonuna göre kabul edilen formüldür [16]. Denklem 3.1’den faydalanarak elde edilen sonuç, Tablo 3.1 dikkate alınarak bir yapı çeliği için gerekli olan ön ısıtma sıcaklığı belirlenir. Ön ısıtma sayesinde kaynak işlemi esnasında ve sonrasında malzemenin soğuma hızı yavaşlatılarak özellikle ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde çatlama gibi olumsuz durumların önüne geçilebilir.

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (3.1)$$

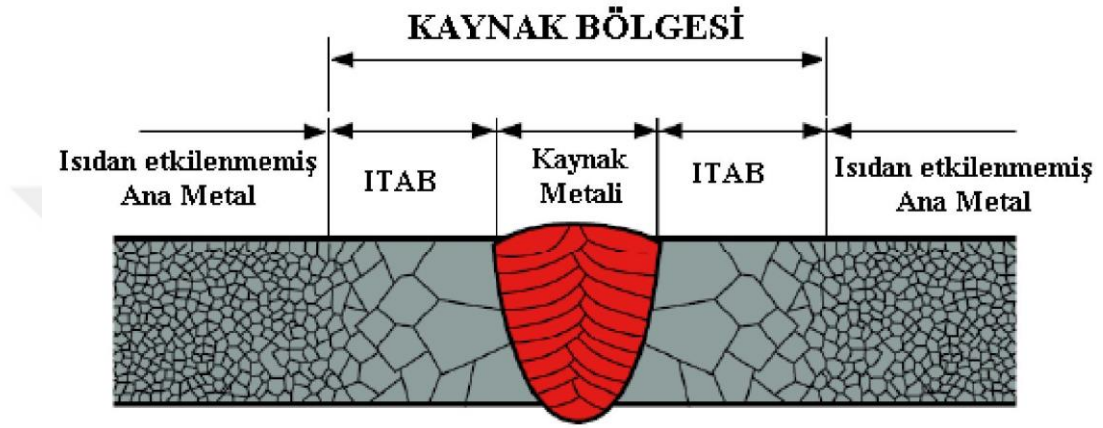
Tablo 3.1: Karbon eşdeğeri formülüne göre tavsiye edilen ön ısıtma sıcaklıkları.

% Karbon Eşdeğeri (C_{es})	Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)
0.45’e kadar	Gerek yok
0.45-0.60 arası	100-200
0.60’tan yukarı	200-300

Denklem 3.1’den de anlaşılacağı üzere kaynak yapılacak malzemenin içeriğindeki alaşım elementlerinin miktarı karbon eşdeğerini etkilemektedir. Bir malzemenin karbon eşdeğeri ne kadar yüksek olursa metalurjik olarak kaynak kabiliyeti de o derece düşüktür ve ekstra önlemler alınarak kaynak işlemi gerçekleştirilmelidir.

3.3.2. Kaynak bölgesinin yapısı

Ergitme kaynak yöntemi ile kaynak işlemi yapılan birleştirmelerde kaynak bölgesini ergime bölgesi, ısıнын tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ısıdan etkilenmemiş olmak üzere üç bölümde incelenebilir. Bu bölge aynı zamanda IEB (Isıdan Etkilenen Bölge) olarak da adlandırılır. Şekil 3.1’de kaynak bölgesinin metalurjik yapısı verilmiştir.



Şekil 3.1: Kaynak bölgesinin metalurjik yapısı [17].

3.3.2.1. Ergime bölgesi

Ergime bölgesi, kaynak esnasında meydana gelen ısıнын etkisi ile ilave dolgu metali ve ana metal kısmi olarak karışırlar bu karışımın soğuması sonrası meydana gelen bölgeye kaynak metali veya ergime bölgesi denir. Isıнын tesiri altında kalan bölgeden, ergime hattı sınırı adı verilen ergimiş ve ergimemiş kısımlar arasındaki bir sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynaklı bağlantıdan çıkartılarak parlatılan ve dağlanan enine kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca izlenebilir. Bu bölgenin metalurjik yapısı ana metalinkinden farklılık gösterir.

3.3.2.2. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB)

Ergime hattı çizgisinin ana metal tarafında, kaynak sırasındaki ısıнын oluşturduğu çeşitli ısı etkileşimlerinden dolayı iç yapı değişimine uğrayan bir bölge vardır. Bu bölgeye, ısıнын tesiri altında kalan bölge (ITAB) denir. Bu bölgedeki sıcaklıklar katı halde mikroyapısal değişimlere neden olabilecek kadar yüksek, fakat ergimeye neden olamayacak kadar düşüktür. Kaynak işleminde bu bölge metalurjik olarak değişime uğrar ve genellikle esas metalden daha yüksek sertlik değeri elde edilir.

Genellikle eriyen ve ısının tesiri altındaki bölgede, mümkün olduğu kadar ince taneli bir içyapı elde edilmeye çalışılır; bu sayede dayanım ve şekil değiştirme kabiliyeti aynı anda iyileştirilmiş olur. Bu duruma, herşeyden önce kısa süreli kaynak ısı çevrimiyle, çok pasolu kaynakla ulaşılabilir. Bu durumda alttaki pasolar ince taneli, yeniden kristalleşmiş yapı oluşturabilir veya daha sonradan uygulanacak bir ısıl işlemle, örneğin normalizasyon veya yeniden kristalleştirme tavlamaıyla ince taneli yapı elde edilebilir. Ancak ikinci seçenek, maliyetlerin düşürülmesi amacına uygun olmaz ve bundan dolayı nadiren uygulanır [18].



BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan malzemeler, özellikleri ve kaynak parametreleri hakkında bilgiler bu bölümde verilmiştir. Yüzeyi karbürizasyon işlemi ile sertleştirilmiş S355J0 çeliği kalın plaka halinde bindirme formunda MAG gazaltı kaynak yöntemiyle, diğer aynı tür sertleştirilmemiş çelik plaka ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemi yapılan numunelere uygulanan mikroyapı, makroyapı, mikrosertlik ve çekme-makaslama testi çalışmalarının nasıl yapıldığı ve numunelerin nasıl hazırlandığı ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

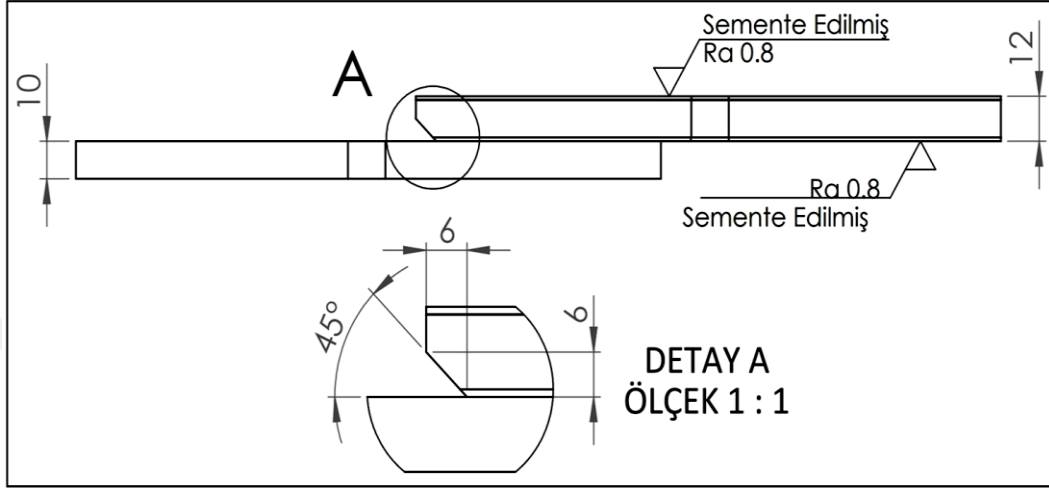
4.1.1. Birleştirilen malzemeler

Bu çalışmada, 12 mm kalınlığında yüzeyi sertleştirilmiş S355J0 yapı çeliği malzemesine, aynı malzeme türünden 10 mm kalınlığında herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamış malzeme, bindirme kaynağı pozisyonunda kaynak işlemi yapılmıştır. Her iki malzemeye kaynak işlemi öncesi spektral analiz ve çekme testleri yapılmıştır. Tüm kaynak işlemlerinde torç ilerlemesinin sabit bir hızda gerçekleşmesi için torç yürütme robotu kullanılmıştır.

Kaynak işlemi için kullanılacak malzemelerden birisi olan yüzeyi sertleştirilmiş malzeme, lazer kesim tezgahında istenilen ölçülerde kesilip her iki yüzeyi sementasyon ısıtma işlemi ile sertleştirilmiştir. Ardından parçanın yüzeyleri sementasyon kalıntılarını temizlemek ve daha düzgün formda yüzey elde edebilmek için talaşlı imalat işlemine tabi tutulmuştur. Bu malzemeden beklenen mekanik davranış, kullanılmakta olduğu yolcu vagonlarının boji ile etkileşiminde yüksek yüzey aşınma direnci sergilemesidir. Bu sebepten yüzey sertleştirme işlemi yapılmıştır. Bu malzeme, sertleştirme işleminden sonra kaynak yapılacak 95

mm'lik ölçü boyunca 6x6x45° ölçülerinde kaynak ağzı açılmıştır, bu işlemin amacı sertleştirilmiş bölgeden kaynak banyosunu uzaklaştırmaktır. Sementasyon derinliği yaklaşık olarak 1.2 mm' dir.

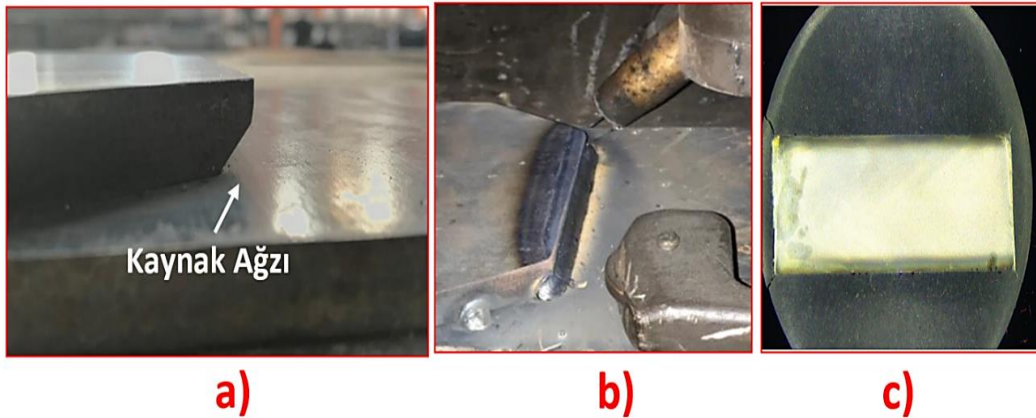
Birleşim bölgesinde oluşan kaynak ağzı görünümü Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Kaynak ağzı ölçüleri ve konumu.

Kaynak işlemi yapılacak diğer malzeme (10 mm S355J0) lazer kesim tezgahında kesilerek herhangi bir özel işlem uygulanmadan deney için hazırlanmıştır.

Yüzeyi sertleştirilmiş malzemeye ait kaynak ağzı görünümü, sementasyon derinliği ve kaynak işleminden sonraki görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Yüzeyi sertleştirilmiş S355J0 malzemesine ait görüntüler a) Kaynak ağzı b) Kaynak sonrası görünüm c) Sementasyon derinliği makro görünümü.

Kaynak işleminde kullanılan malzemelere ait kimyasal değerler Tablo 4.1'de, mekanik değerler ise Tablo 4.2'de verilmektedir.

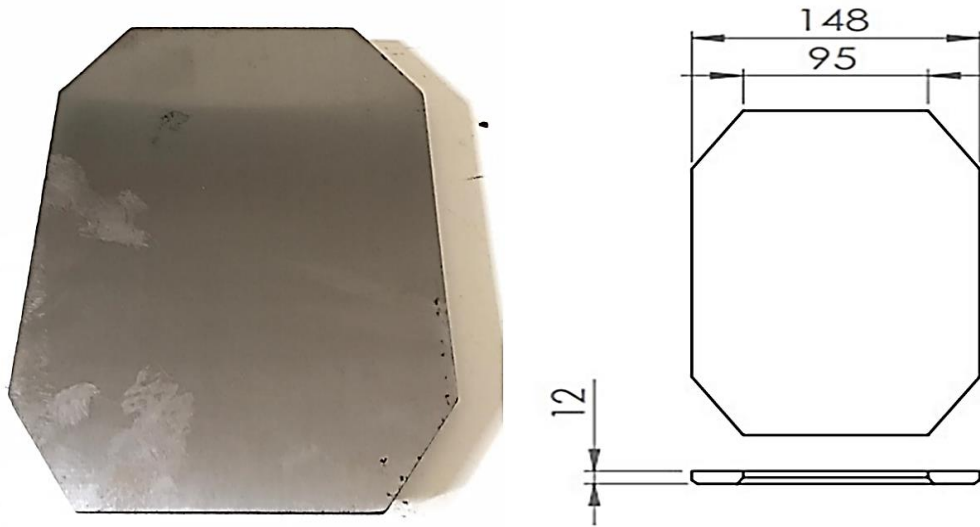
Tablo 4.1: 12 mm ve 10 mm S355J0 malzemelerine ait kimyasal değerler.

Malzeme	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo	% Cu	% V
12 mm	0.157	0.350	1.44	0.0233	0.0067	0.0834	0.0398	0.0221	0.0834	0.0177
10 mm	0.140	0.277	1.50	0.072	0.020	0.0157	0.0197	0.0117	0.0349	0.0012

Tablo 4.2: 12 mm ve 10 mm S355J0 malzemelerine ait mekanik değerler.

Malzeme	Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Çekme Gerilmesi (N/mm ²)	Max. Yük (N)	Kopma Yüğü (N)	Uzama (%)
12 mm	713.9	928.6	191192	190357	2.24
10 mm	359.5	605	72638	48058	28

Yüzeyi sertleştirilmiş malzeme için görsel Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Yüzeyi her iki taraftan sertleştirilmiş 12 mm S355J0 deney malzemesi.

4.1.2. Kullanılan gazaltı kaynak telleri

Bu çalışmada; 3 adet farklı gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Bunlar; 1.2 mm SG3 masif gazaltı kaynak teli, 1.6 mm SG3 masif gazaltı kaynak teli ve 1.6 mm rutil özlü (E71 T-1M) kaynak telidir. Kullanılan tüm kaynak telleri Gedik kaynak firmasından temin edilmiştir.

Deneylerde kullanılan kaynak tellerine ait kimyasal değerler Tablo 4.3'te; mekanik değerler Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.3: SG3 ve özlü tele ait kimyasal değerler.

Kaynak Teli	C	Si	Mn	P	S
(Ø 1.6 mm) Özlü tel	0.06	0.5	1.3	< 0.015	< 0.015
(Ø 1.2-1.6 mm) SG3	0.10	1.0	1.7	-	-

Tablo 4.4: SG3 ve özlü tele ait mekanik değerler.

Kaynak Teli	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çentik Darbe Dayanımı (Joule)	Uzama (L0 = 5d0) (%)
(Ø 1.6 mm) Özlü tel	Min. 460	630 - 670	ISO-V/-20° C 50j	Min. 22
(Ø 1.2-1.6 mm) SG3	Min. 460	540 - 680	(ISO-V/-40° C) Min. 47 J	Min. 22

4.1.3. Kullanılan koruyucu gazlar

Bu çalışmada, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağına uygun olabileceği düşünülen, daha önce yapılan araştırmaların sonuçları ve literatür araştırmalarına göre Ar, CO₂ ve O₂ karışımı koruyucu gazlar kullanılmıştır [19,1,3]. Gazlar Gulf Cryo firmasından temin edilmiştir.

Tablo 4.5'te deneylerde kullanılan gaz karışımı değerleri verilmiştir.

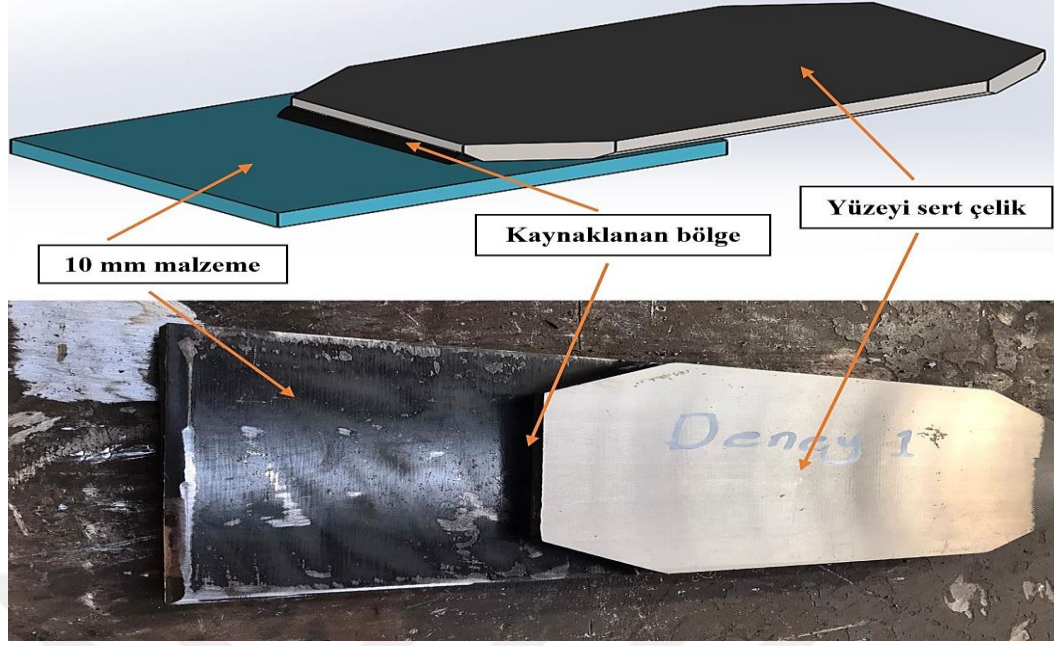
Tablo 4.5: Deneylerde kullanılan gaz karışım değerleri.

Gaz 1 (ArCO10)	Gaz 2 (ArCO20)	Gaz 3 (CO100)
%88 Ar + %10 CO ₂ + %2O ₂	%78 Ar + %20 CO ₂ + %2O ₂	%100 CO ₂

Bu çalışmanın sonraki bölümlerinde Gaz 1 için ArCO10, Gaz 2 için ArCO20 ve Gaz 3 için de CO100 kısaltmaları kullanılacaktır.

4.2. Deneysel İşlem Basamakları

Deneylerde kaynak işlemi uygulanacak parçalar Şekil 4.4'de gösterildiği gibi deney standına puntalanarak sabitlenmiştir. Otomatik MAG yöntemi ile belirlenen üç farklı gaz karışımı ve iki masif (1.2mm ve 1.6mm) ve bir özlü (1.6mm) kaynak teli ile kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak dikişleri tüm birleştirmelerde bindirme pozisyonundadır. Tüm kaynakların aynı koşulları sağlaması için kaynak torcunu monte edebileceğimiz ve ileri geri doğrusal hareket yapabilen torç yürütme robotu kullanılmıştır.



Şekil 4.4: Kaynak işlemi için hazırlanmış deney numunesi ve üç boyutlu görünümü.

4.2.1. Kaynak işleminde kullanılan torç yürütme robotu ve özellikleri

Gazaltı kaynak yönteminin uygulamada en büyük dezavantajı ; sistemin çoğu zaman bir operatör tarafından manuel olarak uygulanmasıdır. Torcun ilerleme hızı, ark boyutu, kaynak kep yüksekliği ve bacak boyunun miktarı, kaynak dikiş geometrisi gibi kaynak kalitesine etki eden tüm bu değişkenler genellikle operatör tarafından kontrol edilmekte ve uygulanmaktadır. Bu durum bir takım hataların oluşmasına neden olmaktadır.

Gazaltı kaynak yönteminin en önemli üstünlüklerinden birisi de sistemin tamamen otomatik veya yarı otomatik hale dönüştürülebilmesidir. Bu çalışmada tüm deneyler Magmaweld marka HK-6A-W model torç yürütme robotu ile gerçekleştirilerek gazaltı kaynak yöntemi yarı otomatik halde kullanılmıştır. Bu yarı otomatik sistemde, seçilen gaz ve tel makinaya bağlandıktan sonra gerekli parametrelerin ayarları yapılır ve torç ileri geri hareketini yapması için bir yürütme robotuna bağlanır. Kaynak yapılacak malzemeler tezgaha punta ile sabitlendikten sonra torç yürütme robotunun kaynak yapılacak bölgeye paralel ilerlemesi sağlanır. Bütün bu hazırlıklar tamamlandıktan sonra torç ve yürütme robotu aynı anda harekete geçirilir. Kaynak sonuna gelindiğinde operatör, torcu ve yürütme robotunu durdurur. Böylelikle sabit ileri-geri hareketle kaynak işlemi tamamlanmış olur.

Şekil 4.5'te deneylerde kullanılan torç yürütme robotu gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Kaynak işleminde kullanılan torç yürütme robotu.

Tablo 4.6’da torç yürütme robotuna ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 4.6: Torç yürütme robotuna ait teknik özellikler.

Teknik Özellikler	Değerler
Torç Açısı	40-45° standart
Aşağı-Yukarı mesafe ayarı	40 mm
Hız	50-1900 mm/dk
İzleme Sistemi	Magnet / klavuz tekerler
İzleme Yüksekliği	45 mm
Boyutlar	(430x280x290) mm
Net Ağırlık	12 kg

4.2.2. Kaynak işleminde kullanılan gazaltı kaynak makinası ve özellikleri

Bu çalışmada, sinerjik kontrollü gazaltı MIG/MAG kaynak yöntemine elverişli, kalibrasyonlu, 10-450A kaynak akım ayarı değerine sahip KEMPPI marka kaynak makinası kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan gazaltı kaynak makinası Şekil 4.6’da, teknik özellikleri ise Tablo 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6: Deneylerde kullanılan kaynak makinası.

Tablo 4.7: Kaynak makinası teknik özellikleri.

FastMIG Pulse	Pulse 450
Şebeke Gerilimi	400V -%15+%20
Şebeke Bağlantı Kablosu	4G6 (5m)
Açık Devre Gücü	100 W
Maksimum Akımda Verimlilik	%88
Boşta Çalışma Gerilimi	80 V
Kaynak Akım Ayar Sahası	10A-450A
Kaynak Voltajı Ayar Sahası	8-50 V
Boyutları (cm)	59x23x43

4.2.3. Kaynak parametreleri

MAG yöntemi ile kaynak işlemi yapılan, yüzeyine karbürizasyon işlemi uygulanıp sertleştirilen ve herhangi bir özel işlem uygulanmadan kullanılan S355J0 malzeme türündeki iki plaka, bindirme formunda, 1.6 mm SG3 masif , 1.2 mm SG3 masif ve 1.6 mm E71 T-1M özlü kaynak telleri, üç farklı koruyucu gaz karışımı ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 4.8’de verilmiştir. Hem masif kaynak telleri hem özlü kaynak teli ile yapılan deneylerde karşılaştırma işleminin yapılmasında faydalı olacağı düşünülerek benzer kaynak parametreleri

tüm deneylerde aynı şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmada aynı parametreler kullanılarak 9 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel tasarıma ait farklı koruyucu gaz ve kaynak telleri değişkenleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.8: Deneylerde kullanılan gazaltı kaynak parametreleri.

Deney Parametreleri	Değerler
Kaynak akımı (Amper)	230 A
Kaynak Gerilimi (Volt)	29.4 V
Kaynak Teli Çapı Ø	1.6 mm SG3 masif
Kaynak Teli Çapı Ø	1.2 mm SG3 masif
Kaynak Teli Çapı Ø	E71 T-1M 1.6 mm özlü
Tel sürme hızı	8.4 m/dk
Torç ilerleme hızı	250 mm/dk

Tablo 4.9: Deney tasarımında kullanılan farklı gaz ve tel değişkenleri.

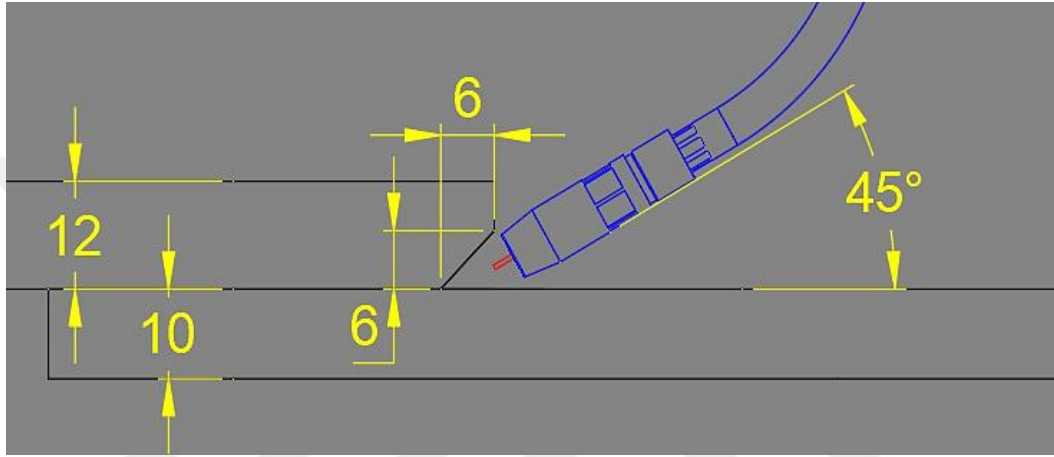
Deneyler	Masif tel Ø 1.6 mm	Masif tel Ø 1.2 mm	Özlü tel Ø 1.6 mm	%88Ar+ %10CO ₂ + %2O ₂	%78Ar+ %20CO ₂ + %2O ₂	%100CO ₂
Deney 1	✓	-	-	✓	-	-
Deney 2	✓	-	-	-	✓	-
Deney 3	✓	-	-	-	-	✓
Deney 4	-	✓	-	✓	-	-
Deney 5	-	✓	-	-	✓	-
Deney 6	-	✓	-	-	-	✓
Deney 7	-	-	✓	✓	-	-
Deney 8	-	-	✓	-	✓	-
Deney 9	-	-	✓	-	-	✓

4.2.4. Kaynak işleminin yapılması ve ön ısıtmanın kontrolü

Bölüm 4.1’de verilen kimyasal analiz sonuçları ve denklem 3.1 dikkate alınarak yapılan karbon eşdeğeri hesaplamasında; 12 mm malzeme için % 0.425 ; 10 mm

malzeme için % 0.382 değerlerindedir. Tablo 3.1’den anlaşılacağı üzere ön ısıtma işlemi gerekli görülmemiştir. Fakat deneyin yapıldığı iklim, atölye şartları, malzemelerden birinin yüzeyinin sertleştirilmiş olması ve karbon eşdeğerinin sınıra çok yakın olması göz önünde bulundurularak, kaynak işlemi öncesi 100°C ön ısıtma yapılarak hemen ardından kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

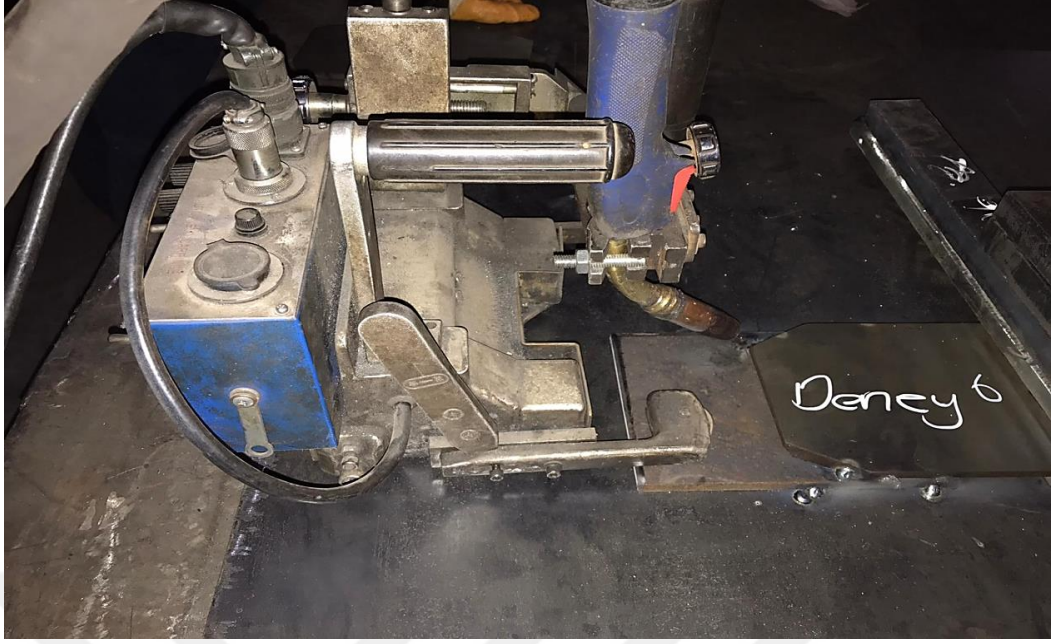
Kaynak işlemi gerçekleştirilirken Şekil 4.7’ de verilen şematik gösterimdeki gibi torç, deney parçasına konumlandırılmıştır.



Şekil 4.7: Kaynak işlemi öncesi iş parçası ve torcun konumu.

Deney öncesi hazırlıklar tamamlandıktan sonra, kaynak işlemi için son kontroller yapıp torç yürütme robotu ve torç aynı anda harekete geçirilmiştir. Kaynak işlemi; krater çatlakların önlenmesi ve daha etkili sonuçlar elde etmek için; kaynağın başlangıç noktasından yaklaşık olarak 10 mm öncesinden başlatılmıştır. Daha sonra bu bölge talaşlı imalat yöntemi ile temizlenmiştir.

Kaynak işlemi öncesi deney parçası görünümü Şekil 4.8’de kaynak işlemi sonrası deney parçası görünümü Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8: Kaynak işlemi öncesi deney parçası görünümü.

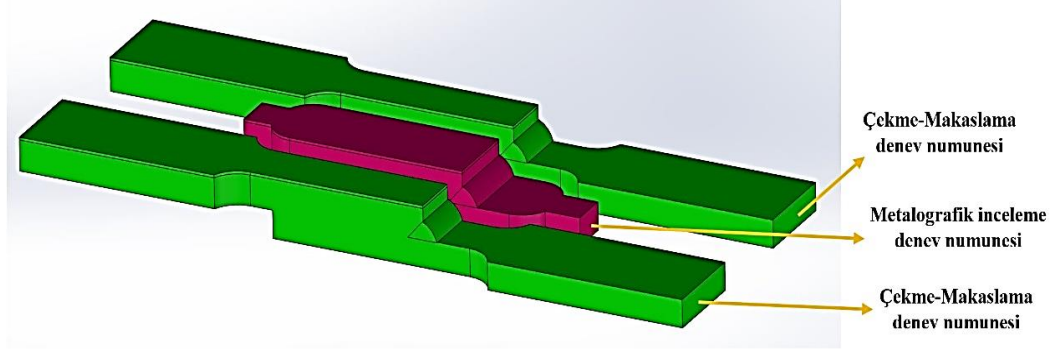


Şekil 4.9: Kaynak işlemi sonrası deney parçası görünümü.

4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numunelerine yapılacak olan mikroyapı, mikrosertlik ve çekme-makaslama deney işlemleri için kaynatılan malzemelerden gerekli numuneler hazırlanmıştır. Kaynatılan levhaların Şekil 4.10`da belirtilen bölgelerinden, her mekanik test deney numunesi için üçer adet deney numunesi elde edilmiştir. Levhaların orta kısmından çıkarılan kısım metalografik muayeneler ve mikrosertlik testi için kullanılmıştır. Birleştirilen tüm deneyler dikkate alındığında her bir kaynak teli ve koruyucu gaz ile birleştirilen levhalardan en az üç deney numunesi alınmıştır. Sonuçların

değerlendirilmesinde numunelerin ortalama değerleri alınmıştır. Metalografik incelemeler için hazırlanan numuneler daha sonra mikrosertlik testi numunesi olarak incelenmiştir.

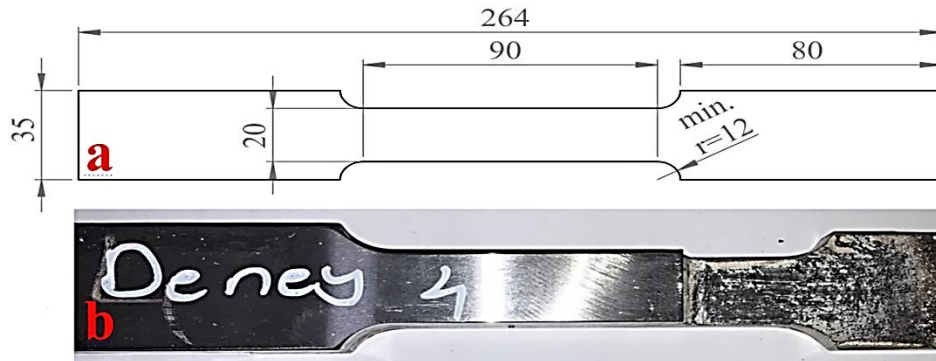


Şekil 4.10: Birleştirilen levhalar üzerinden alınan deney numuneleri.

4.3.1. Çekme-makaslama deney numunelerinin hazırlanması

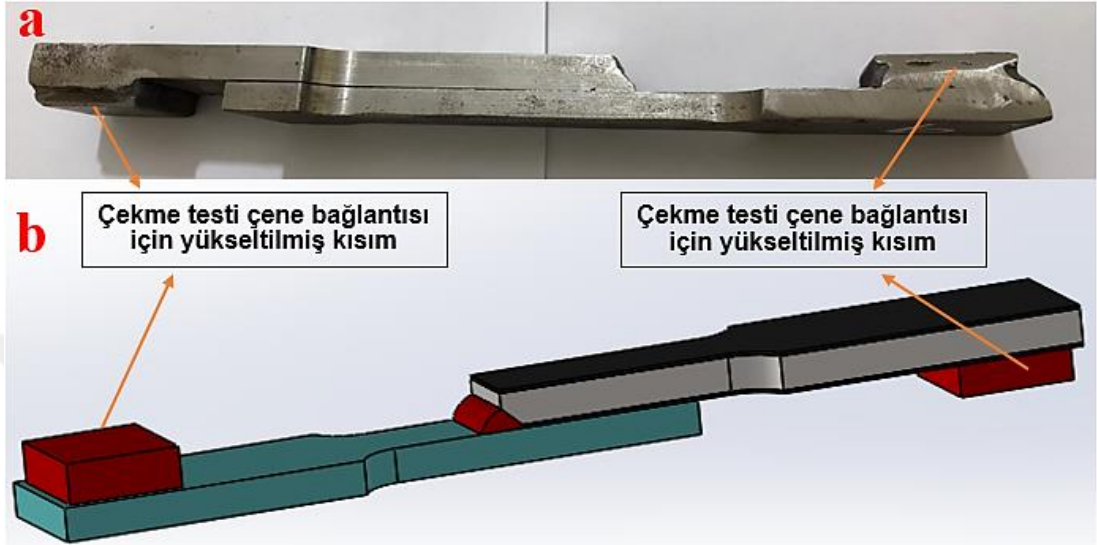
Çekme-Makaslama testi için kaynak işlemi yapılan malzemelere bir dizi ön hazırlık yapılmıştır. Üç farklı gaz karışımı ve üç farklı kaynak teli ile yapılan kaynak işlemi sonrasında numunelerin oda koşullarında soğumaları beklenmiştir. Soğuma işleminin ardından numuneler, tezgahtan sökülüş ve disk zımpara ile kaba temizliği yapılmıştır.

Numunelerin çekme-makaslama test numunesi TS EN ISO 377 standardına uygun olarak Şekil 4.11’de belirtilen ölçülerde hazırlanmıştır [20]. Test numunelerinin hazırlanması için, deney numuneleri CNC dik işlem tezgahına bağlanmış ve burada standartta belirtilen ölçülerde çekme numunesi çıkartılmıştır.



Şekil 4.11: Çekme-makaslama testi için hazırlanmış deney numunesi: a) Teknik resim b) Deney numunesi.

Ayrıca çekme cihazında numunenin eksenel kaçıklığını önlemek amacı ile deney numunelerine Şekil 4.12’de belirtildiği gibi numunelerin bir tarafına 10mm diğer tarafına 12 mm ilave parçalar kaynak işlemi ile eklenmiştir. Bu parçalar çekme testi cihazının çenelerine göre belirlenmiştir.



Şekil 4.12: Çekme-makaslama testi için hazırlanmış deney numunesi: a) Uçların yükseltildiği kaynaklı görünüm b) 3D görünüm

Bu çalışmada çekme-makaslama testleri 300 kN kapasiteli INSTRON marka 300DX-B1-C4A-G7E model çekme testi cihazında, TS EN ISO 4136 standardı dikkate alınarak yapılmıştır [21].

Çekme-makaslama testi işlemlerinde kullanılan çekme testi cihazı Şekil 4.13’te, teknik özellikleri ise Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10: Çekme testi cihazı teknik özellikleri.

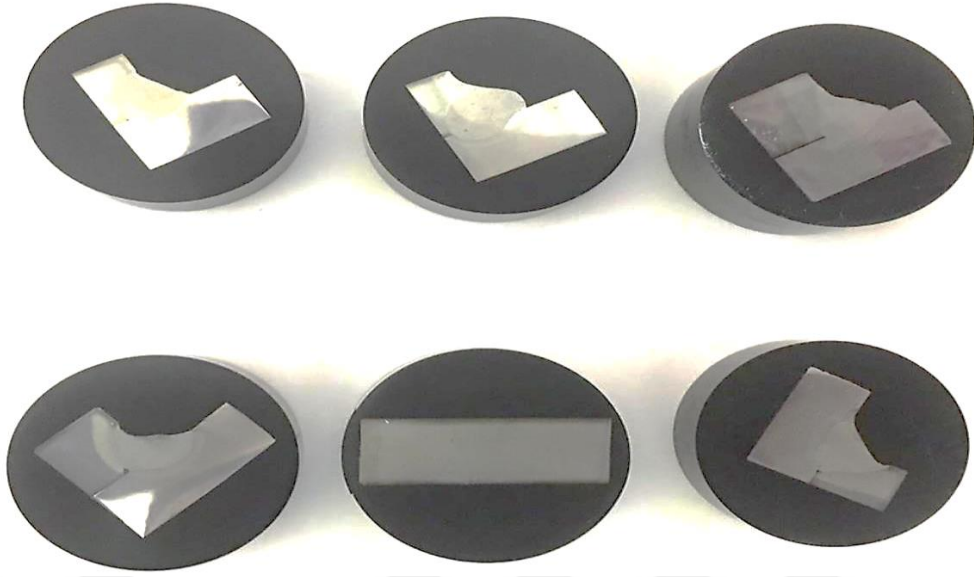
Marka ve modeli	Kapasite (kN)	Numune Genişliği (mm)	Numune Kalınlığı (mm)	Hareket mesafesi (mm)
INSTRON 300DX-B1-C4A- G7E	300	70	0-16	76.2



Şekil 4.13: Çekme testi cihazı.

4.3.2. Mikroyapı ve makroyapı deney numunelerinin hazırlanması

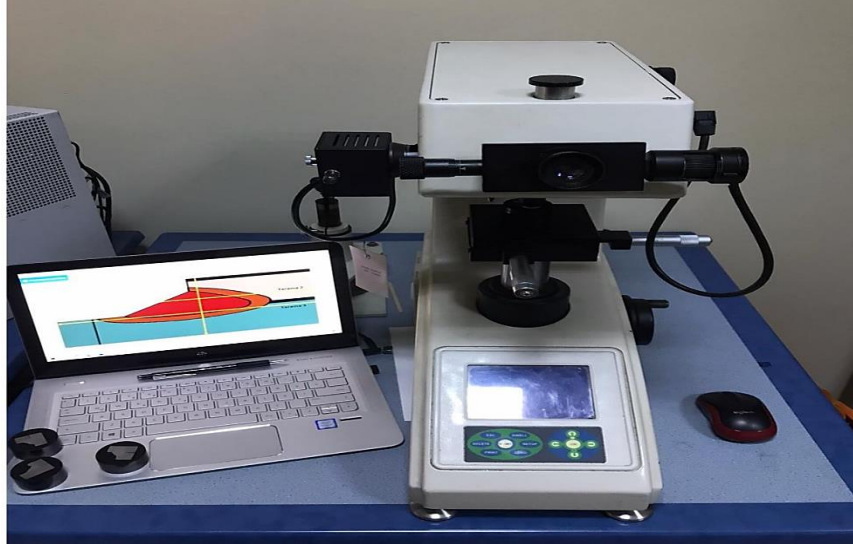
Talaşlı imalat yöntemi ile hazırlanan numuneler metalografik incelemeler için standart metalografik usullere göre (zımparalama, parlatma, dağlama) hazırlanmıştır. Metalografik incelemeler için kaynak bölgesine dik olarak kesilen numuneler sıcak bakalit kaplama işlemi ile kaplanmıştır. Bakalite alınan numuneler sırasıyla 120-180-400-600-800-1200-2000 numaralı zımparalarla zımparalama işlemi yapılmış ve 6 μ , 3 μ , 1 μ luk keçelerle çizik kalmayacak şekilde parlatılmıştır. Parlatma işlemi tamamlanan numuneler, birleşim bölgesinin incelenebilmesi amacıyla %4 nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra deney parçaları mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Numunelerin makroyapı incelemeleri Struers marka makroskobik görüntüleme cihazında yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için bakalite alınmış numunelere ait görünüm Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14: Metalografik incelemeler için bakalite alınmış numuneler.

4.3.3. Mikrosertlik deney numunelerinin hazırlanması

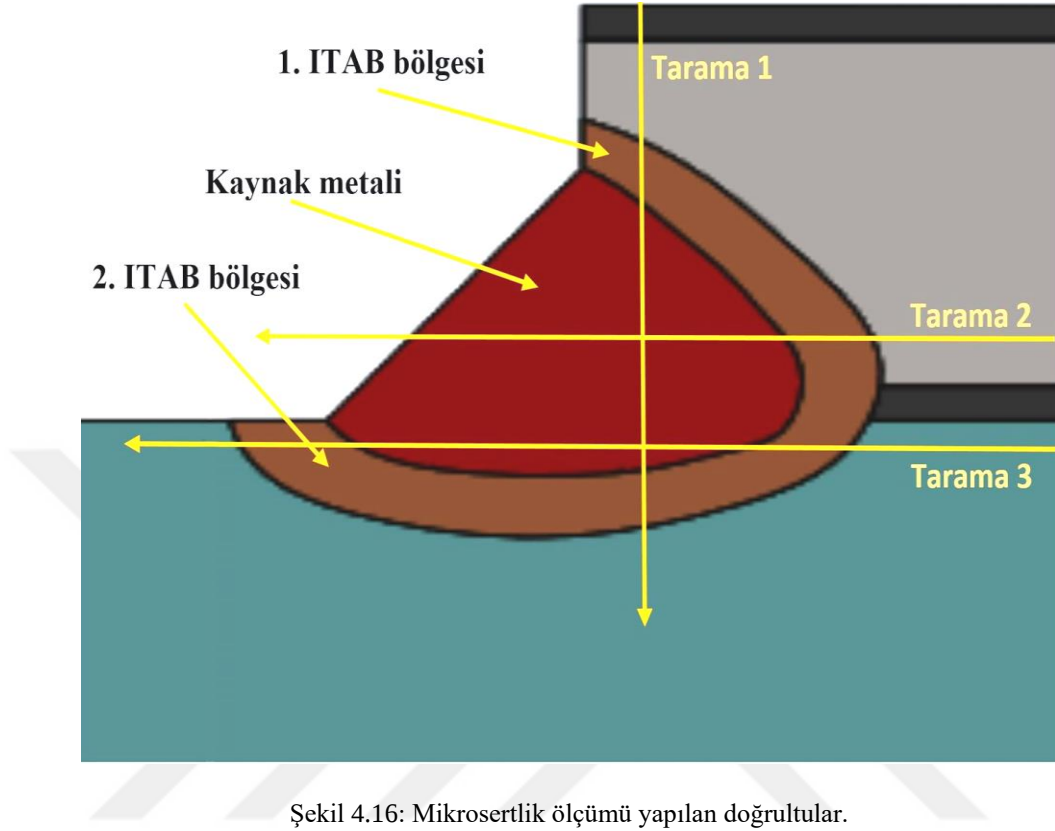
Bu çalışmada, bakalite alınan numunelerden mikroyapı ve makroyapı incelemeleri yapıldıktan sonra aynı numunelere mikrosertlik testi uygulanmıştır. Bu test işlemi mikrovickers metodu 0.5 kg uygulanarak 15 saniye bekleme süresi ile microhardness tester “401 mvd” marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Mikrosertlik testi cihazı.

Bu çalışmada kaynak metaline dik pozisyonda kesilerek hazırlanan numunelere üç farklı doğrultuda sertlik taraması yapılmıştır. Şekil 4.16’da şematik olarak

gösterilen her doğrultuda 1 mm ara ile belirlenen yön boyunca sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Mikrosertlik ölçümü yapılan doğrultular.

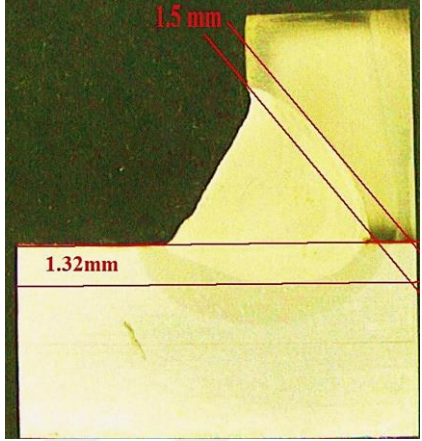
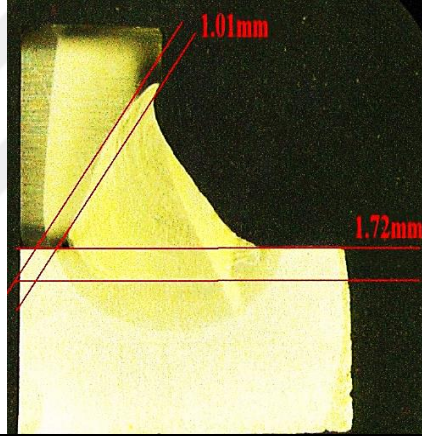
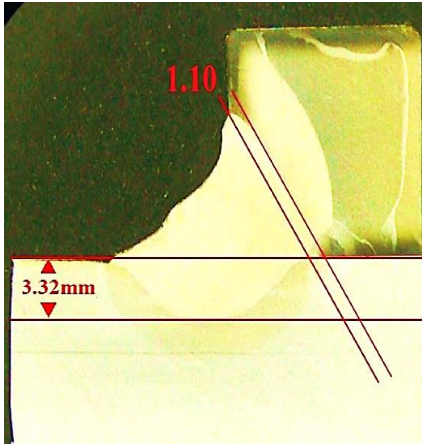
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Makroyapı İncelemeleri

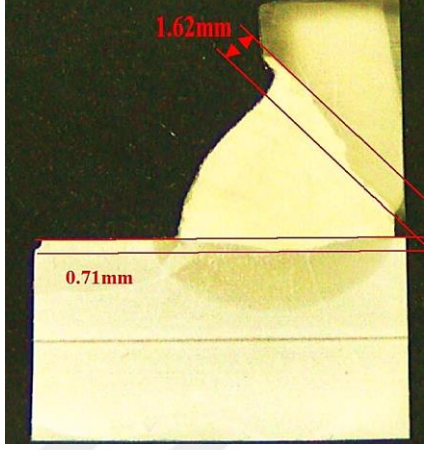
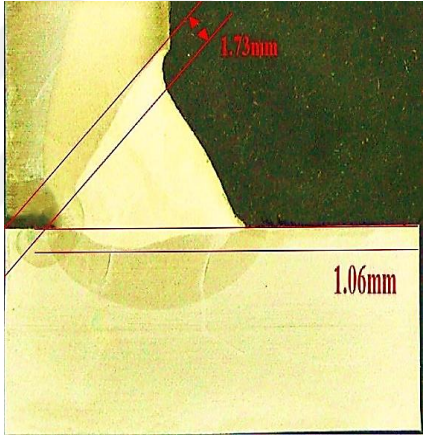
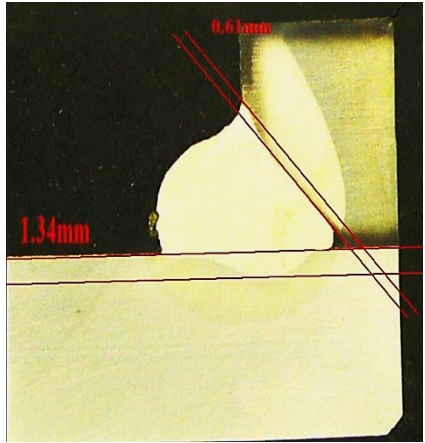
Kaynak işlemi sonrası, deney parçaları makroyapı görüntülemeleri için hazırlanmış ve makroyapı incelemeleri STRUERS marka makroskobik görüntüleme cihazında yapılmıştır. Makroyapı incelemelerinde kaynaklı bağlantıların nüfuziyet derinlikleri, ITAB bölgeleri ve kaynak dikiş formları incelenmiştir. Bu incelemelere ait görseller tablolar halinde Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te verilmiştir. Tablolama işlemi aynı tel türünün, farklı koruyucu gaz ortamında yapılan deneyleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Bu çalışmada tüm deneyler bindirme pozisyonunda olduğundan kaynak bölgesinin maruz kalacağı gerilme şekli çekme-makaslama yani kayma gerilmesidir. Bu sebepten kaynak bölgesinde oluşacak gerilmelerin özellikle kök kısmında ve 10 mm malzemenin yapışma bölgesinde oluşacağı öngörülmektedir. Bu bölgeler makro görüntüleme cihazları ile ölçülmüş ve sonuçlar yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Bu bölgelerde oluşacak derin nüfuziyet aynı zamanda birleşimin mukavemetinin de bir ölçüsüdür.

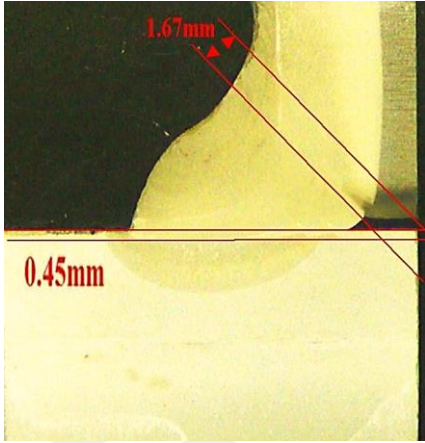
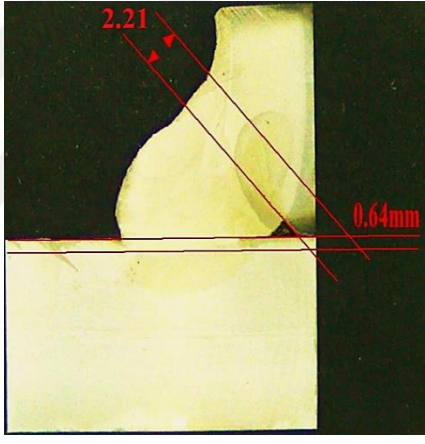
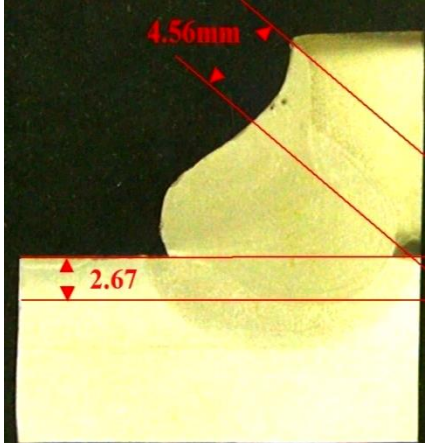
Tablo 5.1: 1.6 mm SG3 masif kaynak telinin farklı koruyucu gaz ortamında makro görünümü.

Gazaltı Kaynak Teli	Koruyucu Gazlar	Kayma Gerilmesi (τ) (N/mm ²)	Makro Görünümü
Ø 1.6 mm Masif SG3	%88Ar + %10CO ₂ + %2O ₂	631	
	%78Ar + %20CO ₂ + %2O ₂	653	
	%100CO ₂	848	

Tablo 5.2: 1.2 mm SG3 masif kaynak telinin farklı koruyucu gaz ortamında makro görünümü.

Gazaltı Kaynak Teli	Koruyucu Gazlar	Kayma Gerilmesi (τ) (N/mm ²)	Makro Görünümü
Ø 1.2 mm Masif SG3	%88Ar + %10CO ₂ + %2O ₂	408	
	%78Ar + %20CO ₂ + %2O ₂	422	
	%100CO ₂	532	

Tablo 5.3: 1.6 mm özlü kaynak telinin farklı koruyucu gaz ortamında makro görünümü.

Gazaltı Kaynak Teli	Koruyucu Gazlar	Kayma Gerilmesi (τ) (N/mm ²)	Makro Görünümü
Ø 1.6 mm Özlü Tel	%88Ar + %10CO ₂ + %2O ₂	405	
	%78Ar + %20CO ₂ + %2O ₂	455	
	%100CO ₂	783	

Sonuçlar incelendiğinde %10CO₂ ihtiva eden gaz ile yapılan deneylerde nüfuziyet derinliği düşük ölçülürken bu değer %20CO₂ ihtiva eden karışımda daha yüksek, %100 CO₂ gazı ile yapılan deneylerde bu derinlik en yüksek oranda ölçülmüştür.

Sonuç olarak gaz karışımlarındaki CO₂ miktarının artması ile tüm kombinasyonlarda daha derin bir nüfuziyet elde edildiği görülmektedir.

Suban ve Tušek, 2001 yılında dört farklı koruyucu gaz karışımı ile yaptıkları çalışmada erime hızının karbondioksit oranı ile beraber arttığını tespit etmişlerdir [9].

Zhao ve diğerleri [24], 2018 yılında yaptıkları çalışmada S355J0 yapı çeliğini MAG kaynağı yöntemi ile farklı oranlarda karışımlara sahip gazlar ile birleştirmiş ve CO₂ miktarının artması ile daha derin bir nüfuziyetin elde edildiğini bildirmişlerdir.

Bir diğer çalışmada Ebrahimnia ve arkadaşları [25], 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada, S235JR (St37-2) yapı çeliğini MAG yöntemi ile farklı gaz türleri kullanarak birleştirmiş ve oluşan yapının mikroyapıları ve nüfuziyetlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak CO₂ miktarının artışı ile kaynak nüfuziyetinde derinliğin arttığını gözlemlemişlerdir.

5.2. Çekme-Makaslama Testi Sonuçları

Çekme testi, kaynaklı birleştirmenin mukavemetinin kullanılan ana malzemenin mukavemeti ile arasındaki ilişkiyi belirlemek için uygulanmaktadır. Çekme testi sonucunda numuneye ait kopmadan dayanabildiği maksimum yük, akma dayanımı, kayma gerilmesi ve yüzde uzama özellikleri ve diğer mekanik özellikler belirlenebilir [26].

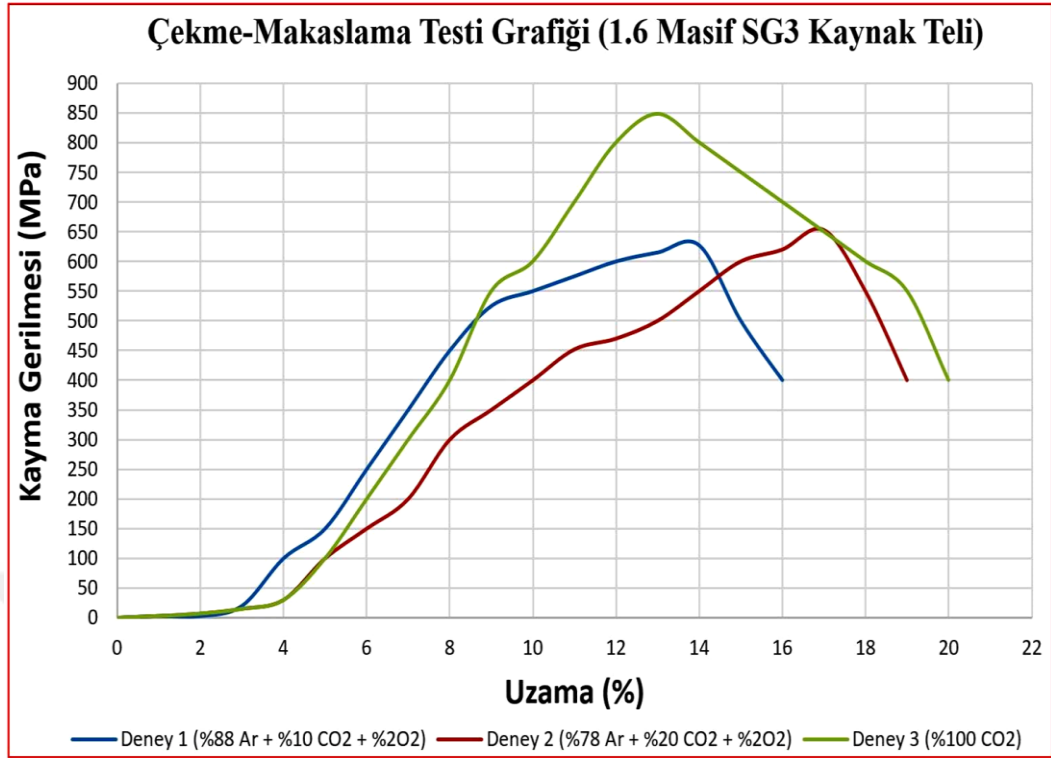
Bu çalışmada çekme-makaslama testleri INSTRON marka 300DX-B1-C4A-G7E model çekme testi cihazında, TS EN ISO 4136 standardı dikkate alınarak yapılmıştır [21]. Her deney için en az üç defa çekme testi yapılmış, yapılan ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak deney sonuçları ve nüfuziyet derinliklerine ait değerler Tablo 5.4’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.1-5.3’te grafikler halinde verilmiştir. Yapılan kaynaklı birleştirmeler bindirme formunda olduğundan çekme-makaslama testi deney numunesinin kayma (kesme) gerilmesini vermektedir.

Tablo 5.4: Çekme-makaslama testinde kayma gerilmesi ile nüfuziyet derinliği değerleri arasındaki ilişki.

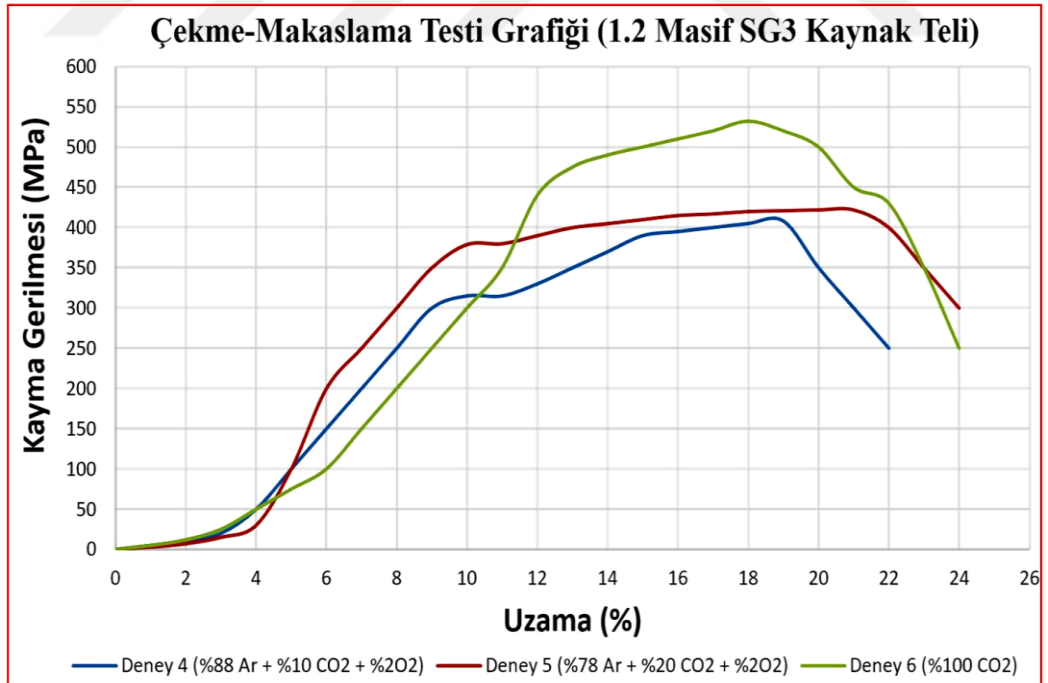
Gazaltı Kaynak Teli	Koruyucu Gazlar	Kayma Gerilmesi (τ) (N/mm ²)	Nüfuziyet Derinliği (mm)
Ø 1.6 mm Masif SG3	ArCO10	631	1.32
	ArCO20	653	1.72
	CO100	848	3.32
Ø 1.2 mm Masif SG3	ArCO10	408	0.71
	ArCO20	422	1.06
	CO100	532	1.34
Ø 1.6 mm Özlü tel	ArCO10	405	0.45
	ArCO20	455	0.64
	CO100	783	2.67

Çekme-makaslama testi dikkate alındığında en yüksek kayma mukavemet değeri 1.6mm SG3 masif kaynak telinde ve %100 CO₂ koruyucu gaz ortamında gözlenmiştir. %100 CO₂ koruyucu gazı tüm kaynak tellerinde en yüksek mukavemet değeri verirken, en düşük CO₂ oranına sahip ArCO10 (%88Ar+%10CO₂+%2O₂) koruyucu gazı ile en düşük mukavemet değerleri tespit edilmiştir.

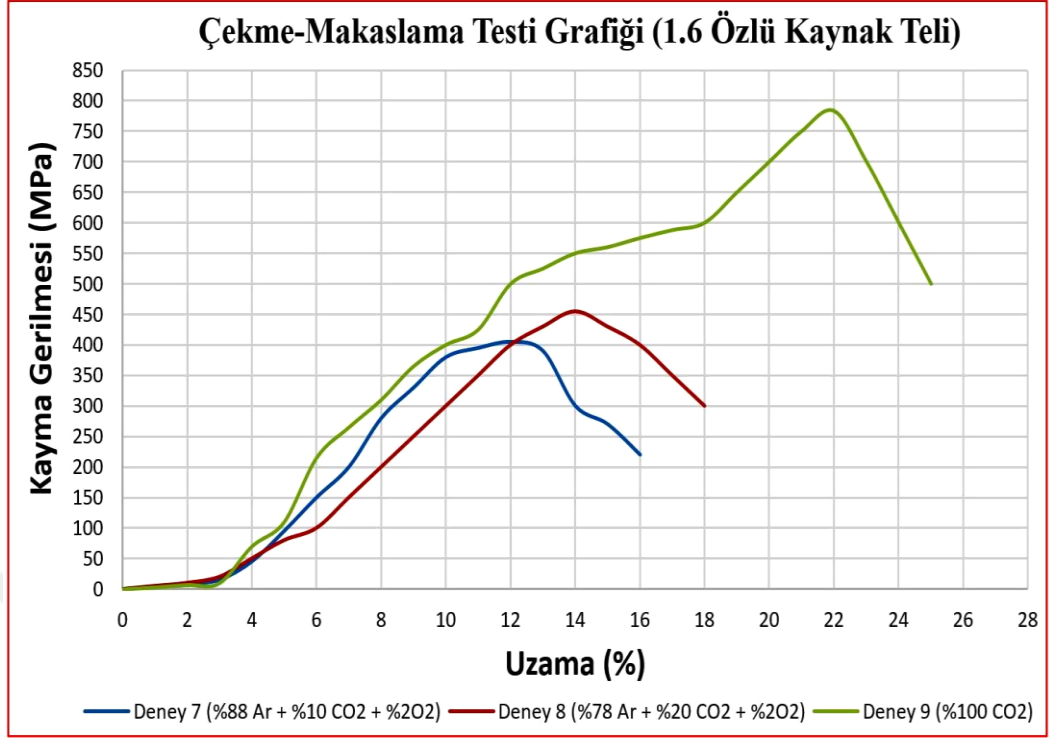
%100 CO₂ koruyucu gazında en yüksek kayma gerilmesi sırasıyla 1.6mm masif, 1.6mm özlü ve 1.2mm masif kaynak telinde görülmüştür. 1.6mm masif kaynak teli, %100CO₂ koruyucu gazı ortamında, 1.2 masif kaynak telinden %59.4, 1.6 özlü kaynak telinden ise %8.3 daha yüksek kayma gerilmesi değerine ulaşmıştır.



Şekil 5.1: 1.6 Masif tel ile farklı koruyucu gazların kullanıldığı numuneye ait çekme-makaslama testi grafiği (Deney 1, Deney 2, Deney 3).



Şekil 5.2: 1.2 Masif tel ile farklı koruyucu gazların kullanıldığı numuneye ait çekme-makaslama testi grafiği (Deney 4, Deney 5, Deney 6).



Şekil 5.3: 1.6 özlü tel ile farklı koruyucu gazların kullanıldığı numuneye ait çekme-makaslama testi grafiği (Deney 7, Deney 8, Deney 9).

Deney numuneleri çekme-makaslama testi işleminden sonra incelendiğinde numunelerin tümü kaynak metalinden kopmuştur. Bu durum birleşimin kayma (kesme) gerilmesine maruz kalması ile açıklanabilir. Aslında çekme testi ile bu birleşimin kayma gerilmesine maruz kaldığında, değişken kaynak parametreleri altında nasıl bir mekanik tepki vereceği ölçülmüştür.

Çekme-makaslama testi sonrası kopan deneylere ait görünüm Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.

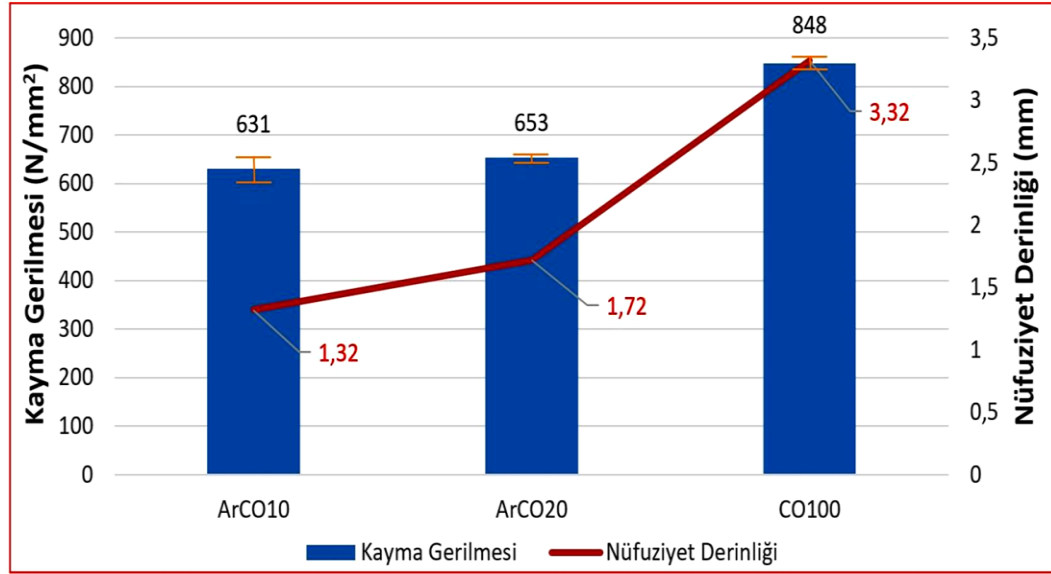


Şekil 5.4: Çekme-makaslama testi sonrası deney 1'e ait kopan numune görünümü.

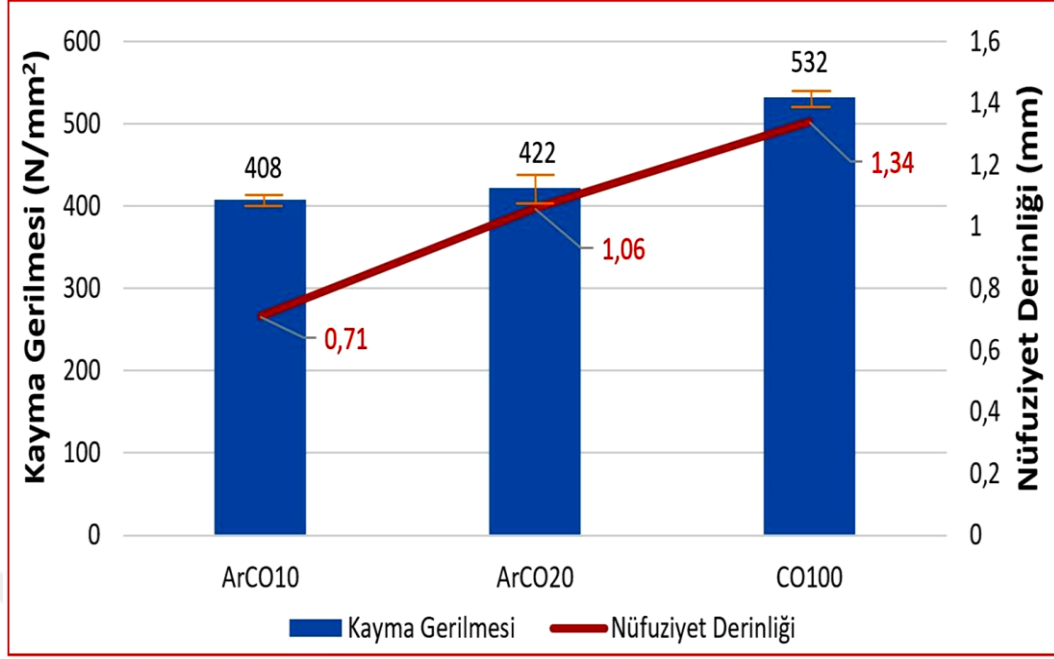


Şekil 5.5: Çekme-makaslama testi sonrası deney 2'ye ait kopan numune görünümü.

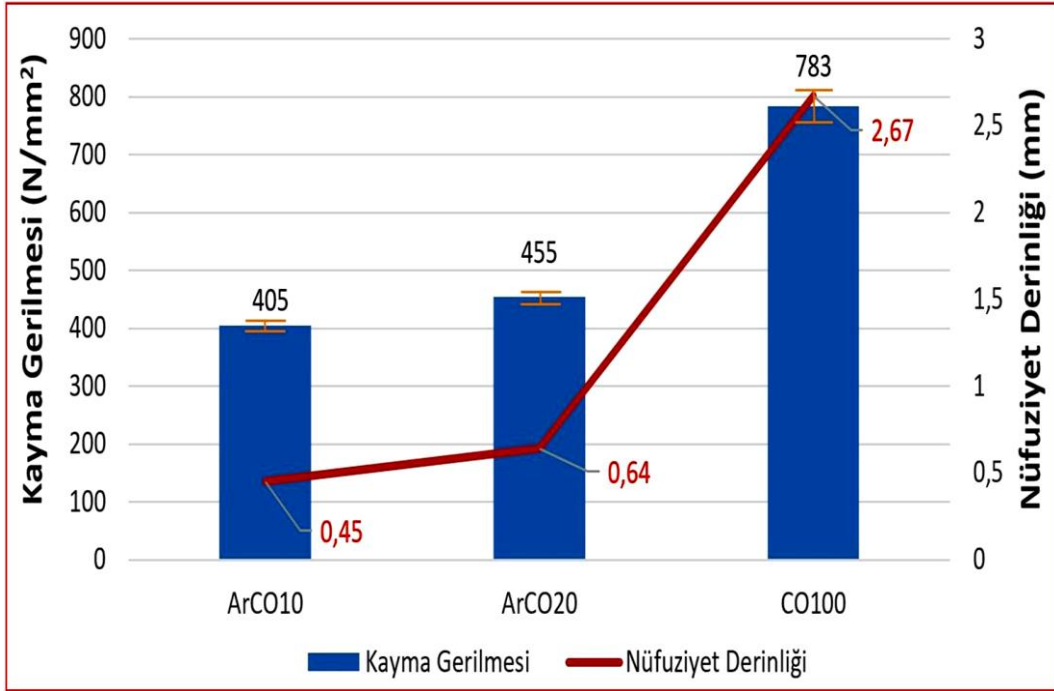
Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de sırası ile 1.6 masif, 1.2 masif ve 1.6 özlü teller ile farklı gaz değerlerinin, nüfuziyet ve mekanik değerler arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler verilmiştir.



Şekil 5.6: 1.6 masif kaynak teli ve farklı gaz türleri ile kayma gerilmesi – nüfuziyet ilişkisi.

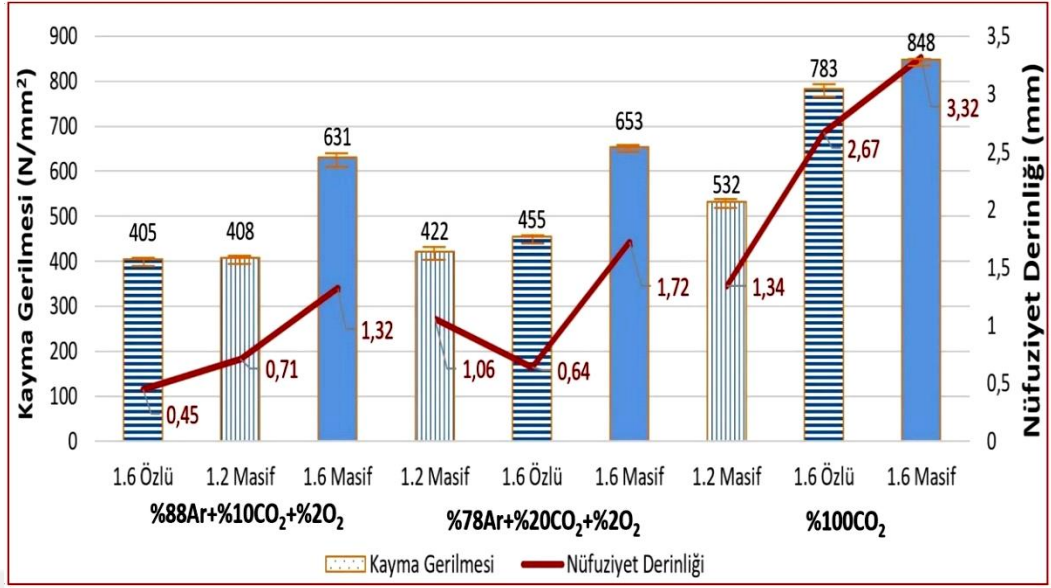


Şekil 5.7: 1.2 masif kaynak teli ve farklı gaz türleri ile kayma gerilmesi – nüfuziyet ilişkisi.



Şekil 5.8: 1.6 özlü kaynak teli ve farklı gaz türleri ile kayma gerilmesi – nüfuziyet ilişkisi.

Şekil 5.9’da Tüm deneyler için farklı kaynak telleri ve farklı koruyucu gaz ortamında, nüfuziyet ve mekanik değerler arasında ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 5.9: Tüm deneyler için çekme-makaslama gerilmesi ve nüfuziyet arasındaki ilişki.

DeneySEL sonuçlara göre en yüksek kayma gerilmesi değeri 1.6 masif tel %100 CO₂ (deney 3)’ten elde edilmiştir. Bunu sırası ile 1.6 özlü tel ile %100 CO₂ (deney 9) ve 1.2 masif tel ile %100 CO₂ (deney 6) takip etmiştir. Gaz karışımlarının etkisi ile meydana gelen kaynak nüfuziyeti ile mekanik dayanımı değerleri doğru orantılı şekilde bir eğilim sergilemiştir.

Çekme-makaslama testi sonuçları incelendiğinde koruyucu gaz karışımındaki CO₂ oranının artması ile mekanik özelliklerde de artış gözlenmiştir. Bu durum kayma bölgesindeki nüfuziyet derinliği ile açıklanabilir. DeneySEL sonuçlara göre en yüksek kayma gerilmesi değeri 1.6 masif telin %100 CO₂ (deney 3) ile gerçekleştirildiği birleştirmede elde edilmiştir. Aynı kaynak telinin farklı gaz karışımlarının kullanılması sonucu meydana gelen kaynak nüfuziyeti ile mekanik değerler doğru orantılı şekilde bir eğilim sergilemiştir (Şekil 5.6-8).

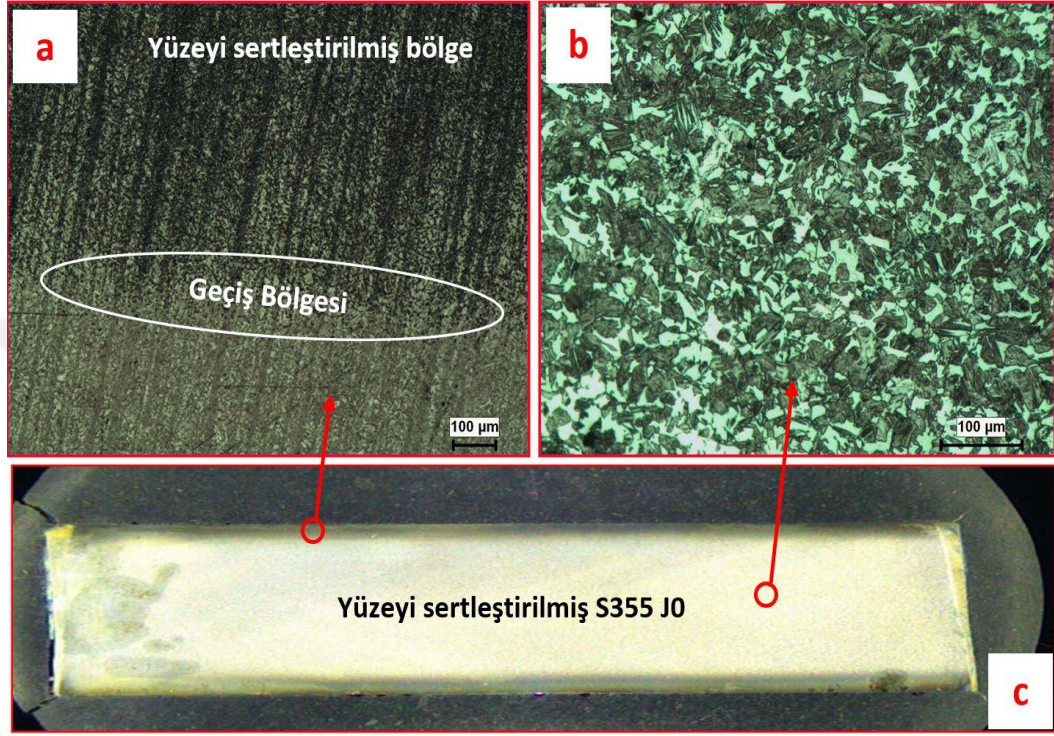
5.3. Mikroyapı İncelemeleri

Bu bölümde SG3 masif kaynak teli ve E71 T-1M özlü kaynak teli ve 3 farklı gaz türü ile birleştirilen, yüzeyine karbürizasyon işlemi uygulanıp sertleştirilen ve herhangi bir özel işlem uygulanmadan kullanılan S355J0 plakaların kaynak bölgesine ait mikroyapıları incelenmiştir.

Ayrıca yüzeyi her iki taraftan sertleştirilmiş malzemeye ait mikroyapı görüntüleri ve makro görünümü Şekil 5.10’da verilmiştir. Mikroyapı incelemeleri yapılırken

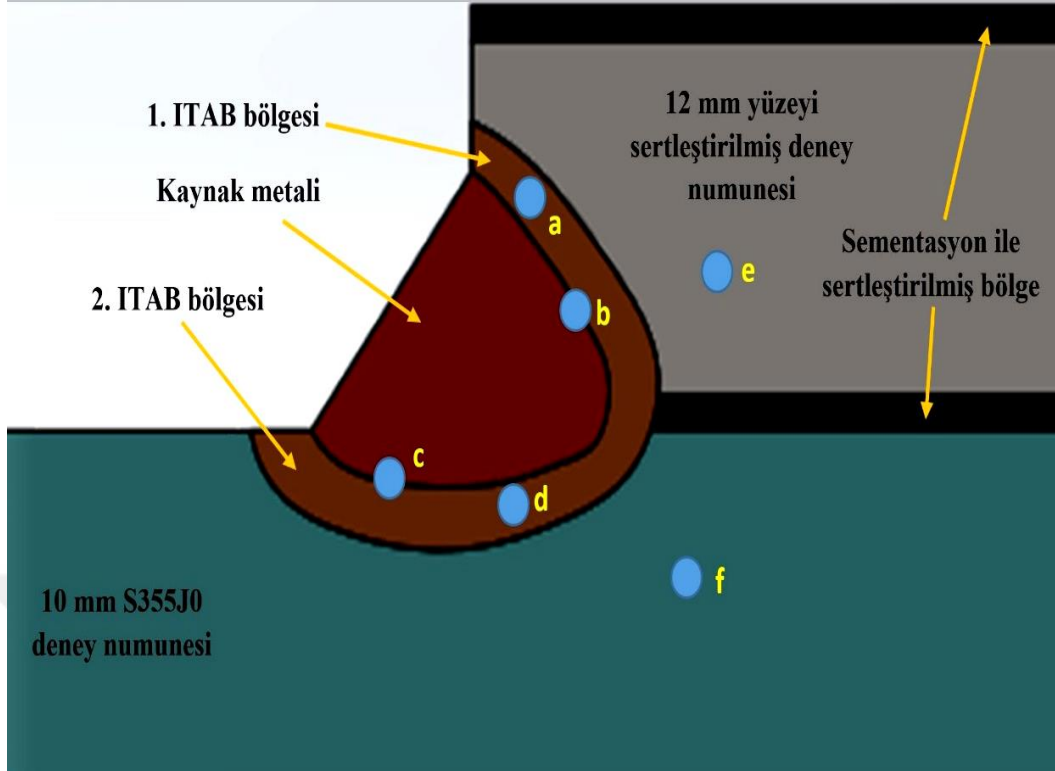
deney parçası üzerinde 6 bölgeden (a,b,c,d,e,f) görüntü alınmıştır. Bu bölgelerin şematik gösterimi Şekil 5.11’de verilmiştir.

Şematik gösterim dikkate alınarak incelenen mikroyapı görüntüleri Şekil 5.12-21’de verilmiştir.

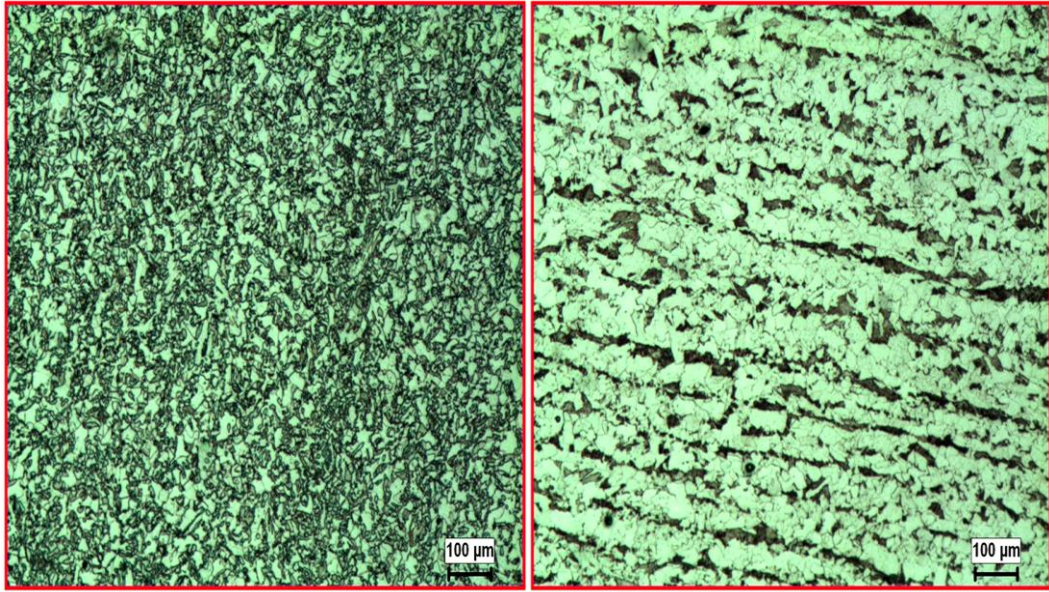


Şekil 5.10: Yüzeyi sertleştirilmiş malzemeye ait mikroyapı görüntüleri a) Yüzeyi sertleştirilmiş bölge b) Kesit merkezi c) Makro yapı görünümü.

Yüzeyi sertleştirilmiş malzemeden alınan mikroyapı sonuçlarına göre yapıda sert bölge mikroyapı geçişleri rahatlıkla görülmektedir. Kesitin çekirdek bölgesine doğru gidildikçe ferrit (beyaz) ve perlit (koyu) taneleri daha belirgin ve iri bir hal aldığı gözlenmiştir. Literatür araştırmalarında birçok çalışmada bu duruma rastlanmıştır [25,29]. Ayrıca ısıtıl işlem öncesi hadde düzleminde bulunan ferrit tanelerinin dağıldığı gözlenmiştir.



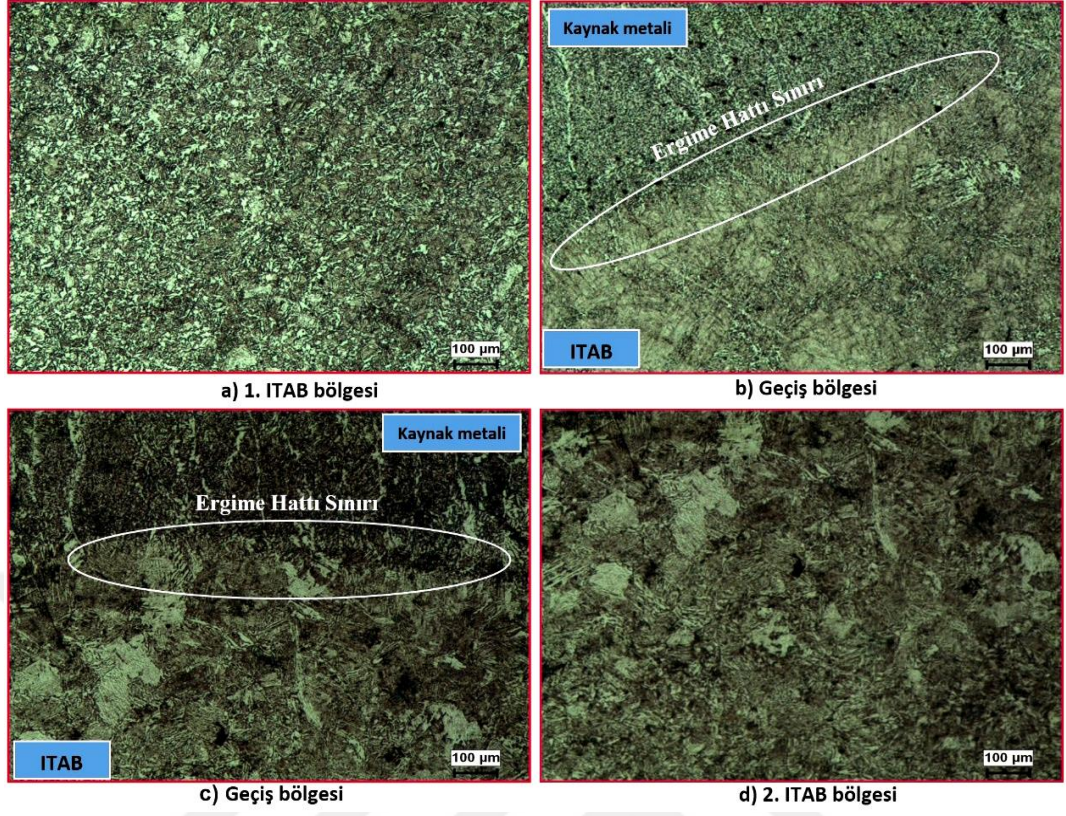
Şekil 5.11: Mikroyapı bölgeleri (a,b,c,d,e,f) için şematik gösterim.



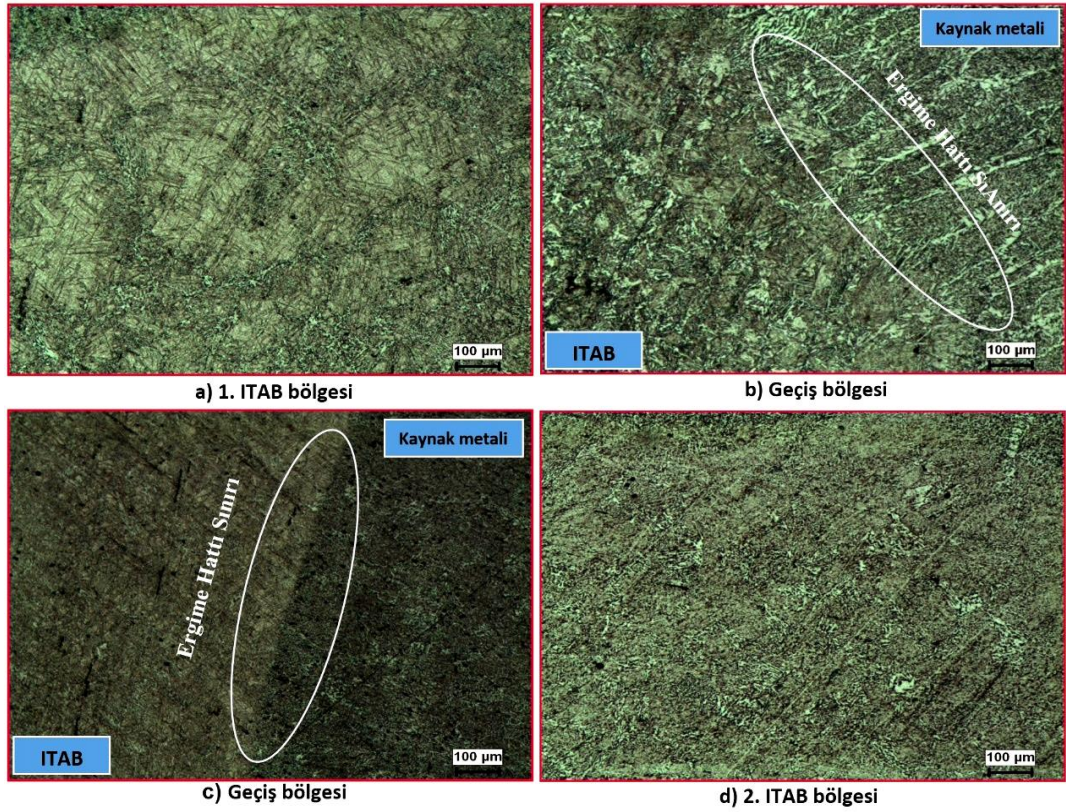
e) 12 mm ana malzeme

f) 10 mm ana malzeme

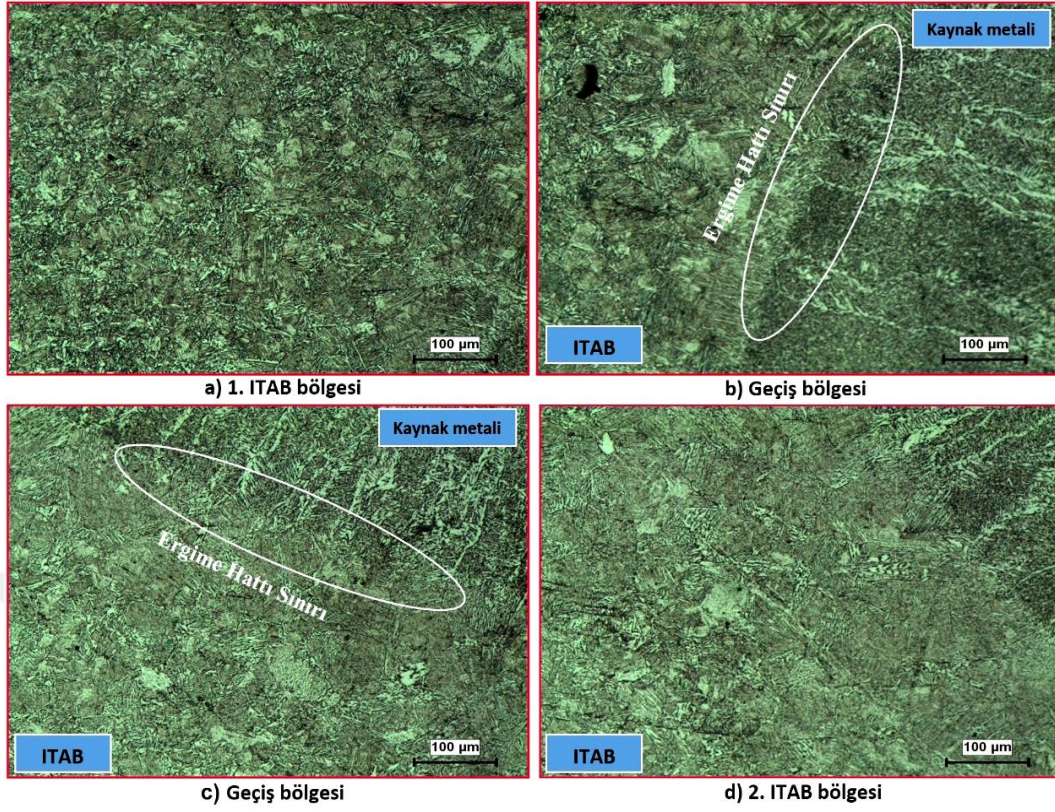
Şekil 5.12: Ana malzemeler mikroyapıları. e)12 mm ana malzeme f)10 mm ana malzeme.



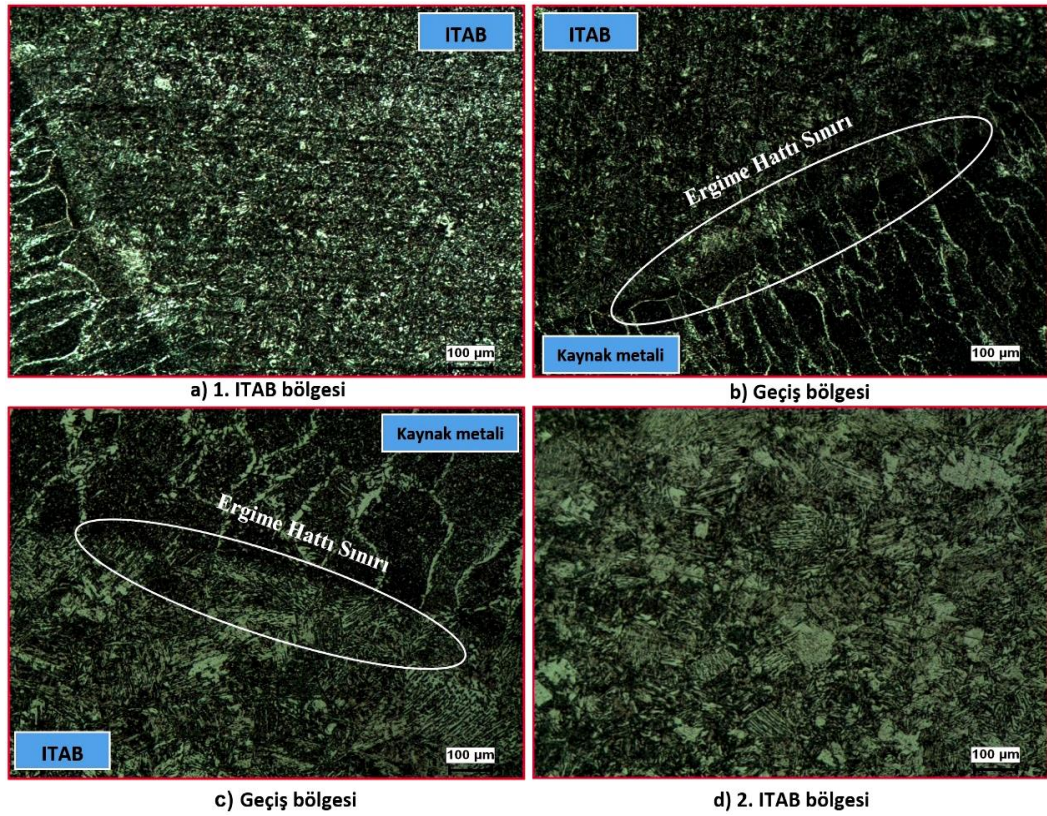
Şekil 5.13: 1.6mm masif tel ve %88Ar+%10CO₂+%2O₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



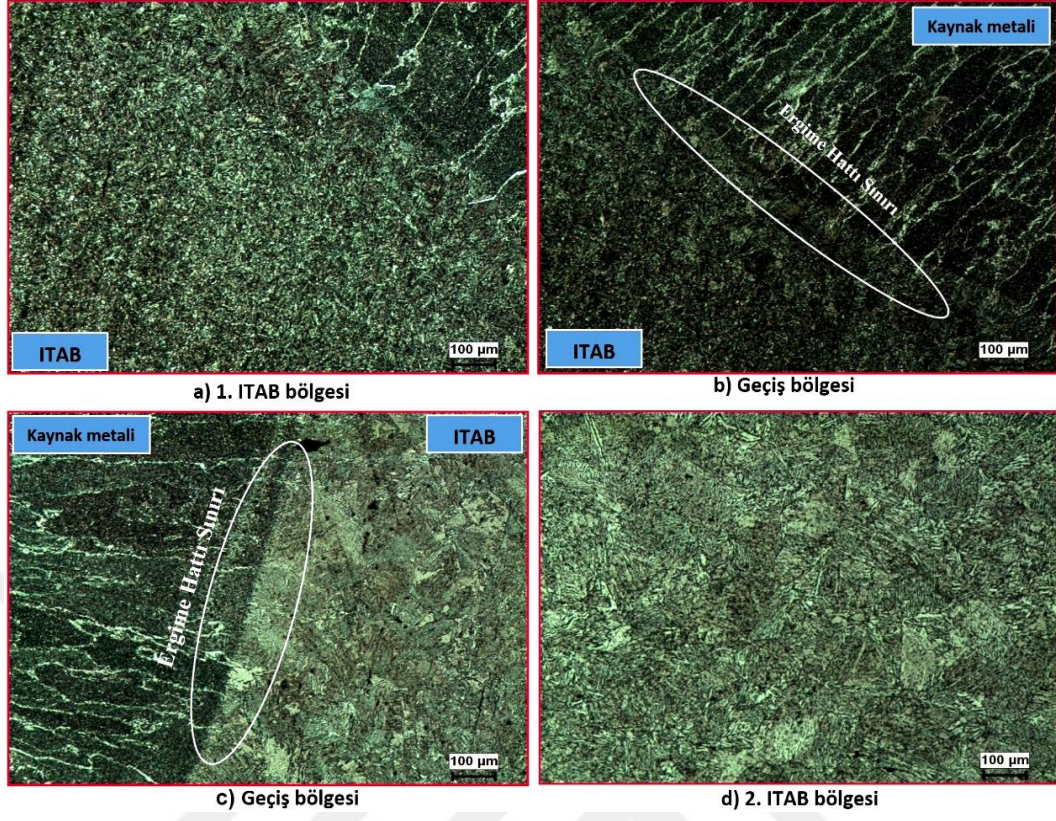
Şekil 5.14: 1.6mm masif tel ve %78Ar+%20CO₂+%2O₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.15: 1.6mm masif tel ve %100CO₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



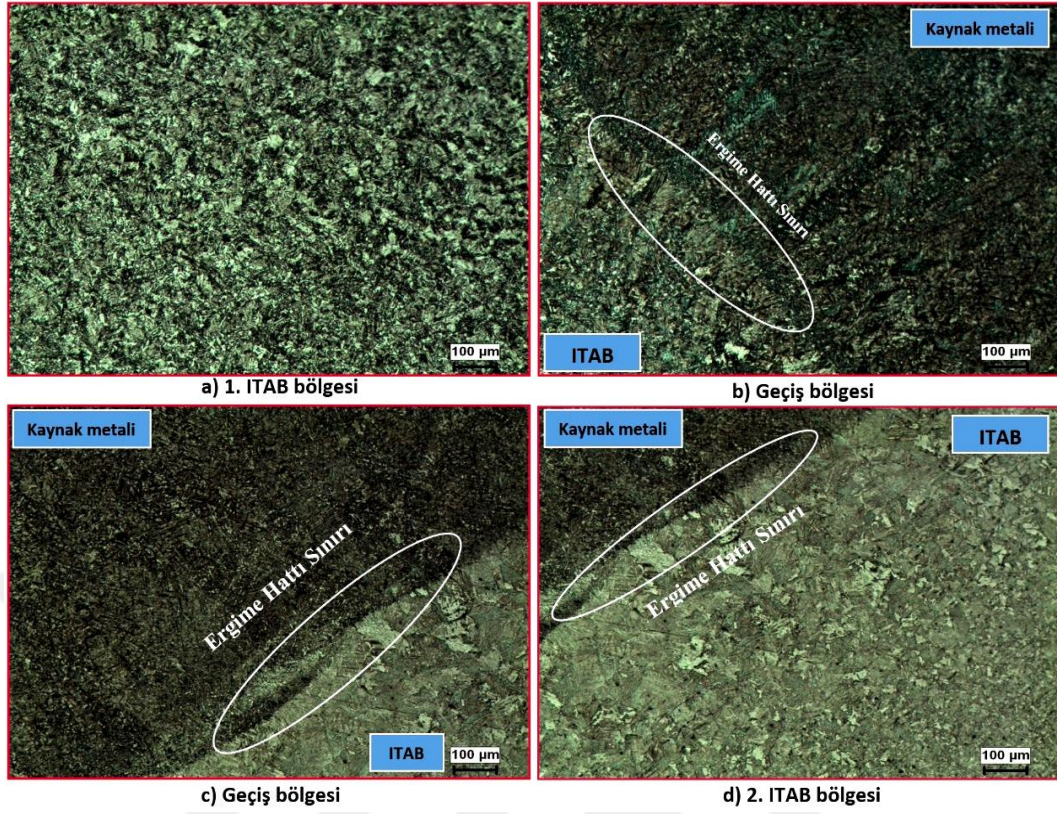
Şekil 5.16: 1.2mm masif tel ve %88Ar+%10CO₂+%2O₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



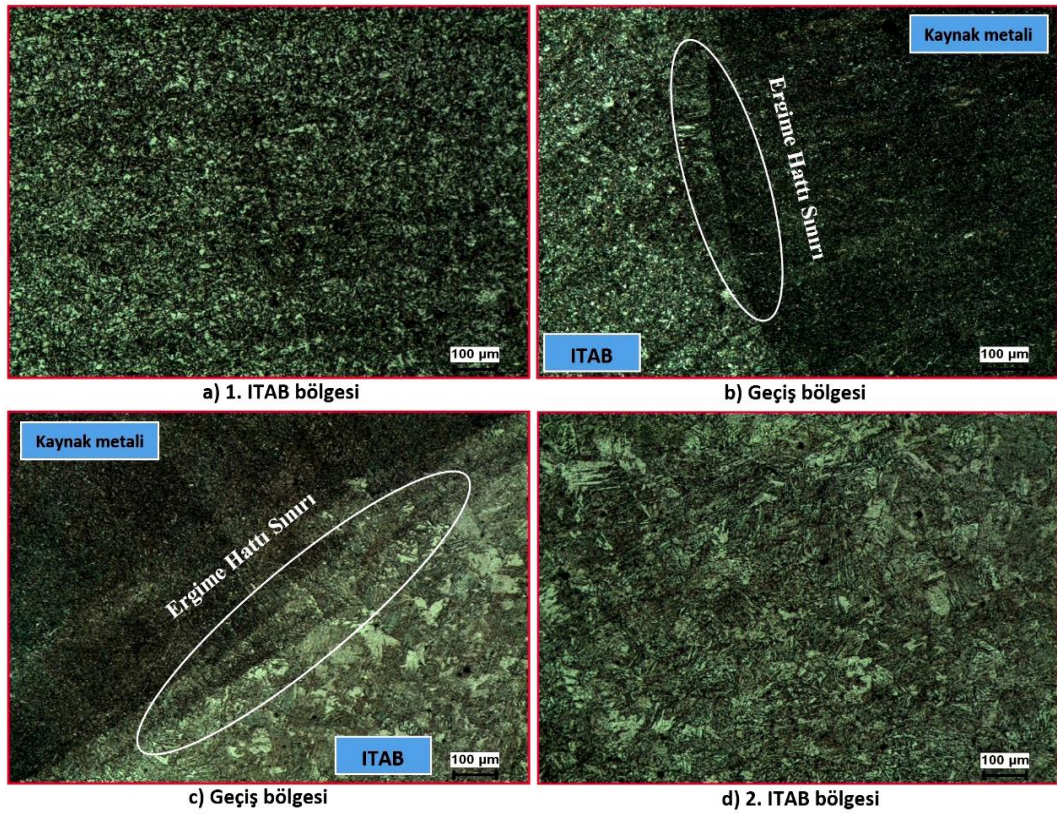
Şekil 5.17: 1.2mm masif tel ve %78Ar+%20CO₂+%20O₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



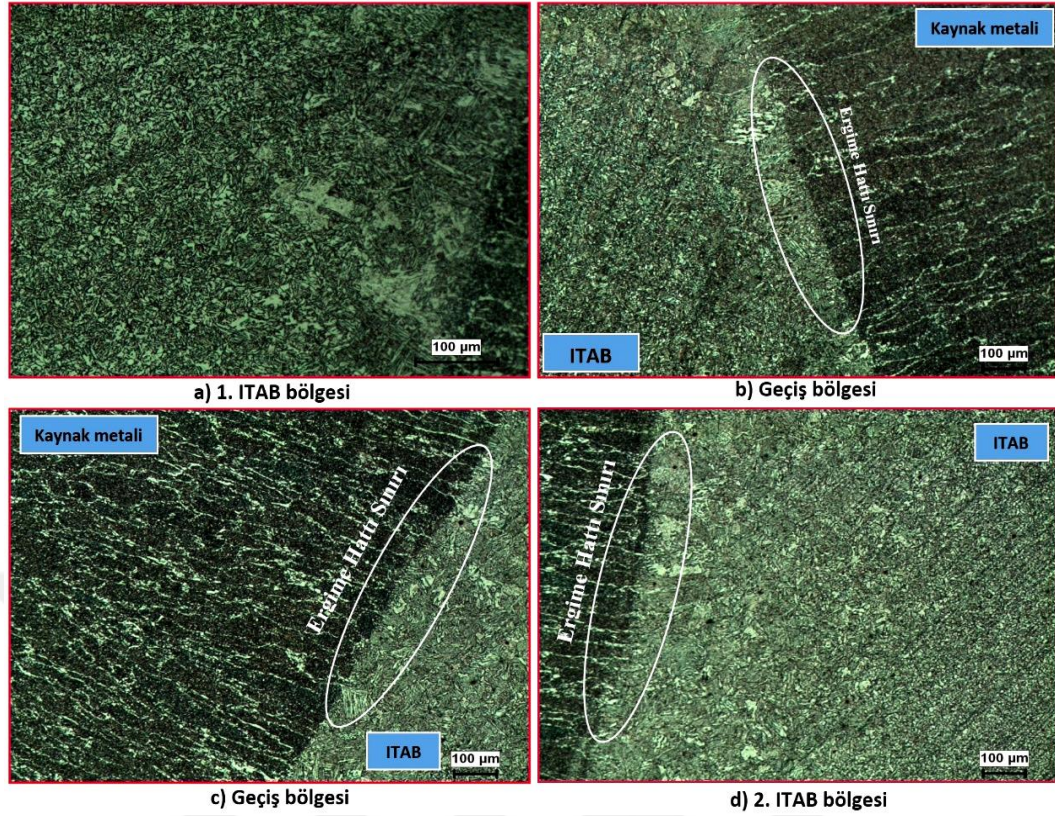
Şekil 5.18: 1.2mm masif tel ve %100CO₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.19: 1.6mm özlü tel ve %88Ar+%10CO₂+%2O₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.20: 1.6mm özlü tel ve %78Ar+%20CO₂+%2O₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.21: 1.6mm özlü tel ve %100CO₂ koruyucu gaz ortamında birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri.

Kaynak işlemi yapılmış numunelerinin mikroyapı incelemelerinde aşağıdaki sonuçlar gözlenmiştir.

Ana malzemelerden alınan mikroyapılar incelendiğinde (Şekil 5.12 e ve f) ferrit (açık renk) ve perlit (koyu renk) fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca bu bölgelerden anlaşılacağı üzere hadde düzleminde bulunan ferrit taneleri sementasyon ısıl işleminin etkisi ile dağıldıkları gözlenmiştir. Tüm birleştirmelerde kaynak metalinde widmansten ferrit ve kaba taneli ferritlerin oluştuğu gözlenmiştir. Ergime hattı sınırı olarak adlandırılan bölgelerde ITAB ile ana metal arasındaki sınır çizgisi rahatlıkla gözlenirken, tüm birleştirmelerde kaynak metaline yaklaştıkça tanelerin irileştiği gözlenmiştir. ITAB bölgesinde incelenen mikroyapılarda tane irileşmesinin olduğu ve asiküler ferritlerin de oluştuğu gözlenmiştir.

Yapılan literatür incelemelerine göre, yapı çeliklerinin kaynak metalllerinde oluşan mikroyapıların, soğuma hızına bağlı olarak değişiklik gösterdiği ve primer ferrit, Widmansten ferrit, perlit, asiküler ferrit, beynit ve martensit fazları olmak üzere değişik fazların beraber bulunabileceği çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir [30,31].

Asiküler ferrit az (düşük) alaşımlı çeliklerin kaynak metalinde östenitten dönüşüm ile elde edilen bir fazdır. Asiküler ferritin hacim oranının artması kaynak metalinin mukavemetini ve özellikle tokluğunu arttırdığından önemli bir fazdır. Asiküler kelimesi, iğne gibi şekillenmiş ve sivrilmiş anlamına gelir. Asiküler ferritin metal mikroskobunda görülen iki boyutlu görüntüsü iğneye benzer bu yüzden bu faza asiküler denir [32].

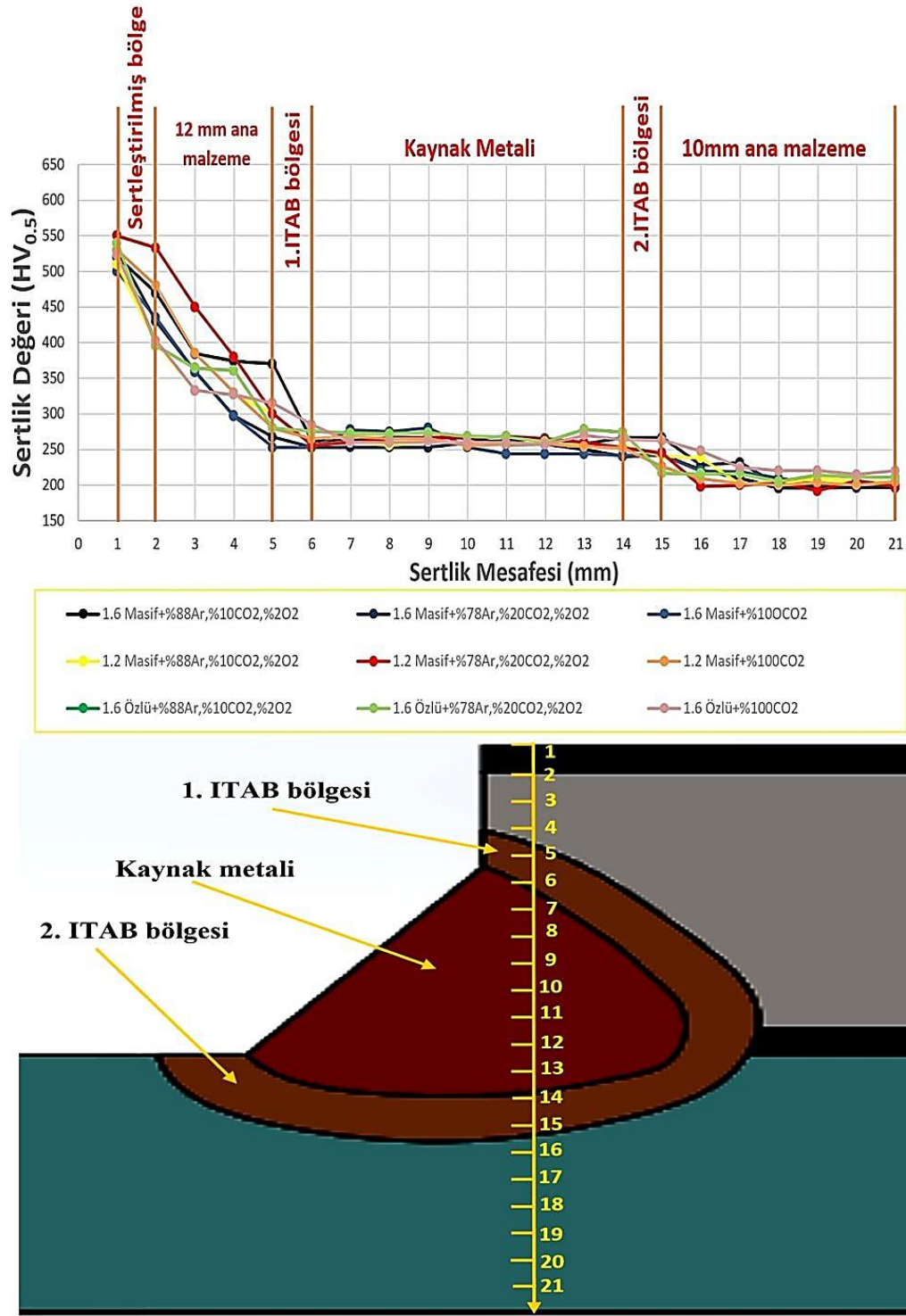
Özlü tel ile yapılan deneylerin kaynak metali mikro yapısında perlit ve ferrit fazlarının bulunduğu bölgeler ayırt edilebilmekte olup perlit fazının (koyu renkli) daha yoğun bulunduğu görülmektedir. Perlit bölgesinde bulunan taneler genellikle sütunsal ve daha ince yapılıdır. Kaynak metali ve ana malzemeler arasındaki geçiş ergime hattı sınırı ile ayırt edilmiştir. Kaynak metali bölgesinde perlit fazının (koyu renkli) daha yoğun olduğu görülmektedir.

Çeliklerin kaynak işleminde ITAB, içyapı özellikleri bakımından sırası ile; iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen değişmeye uğramış bölge ve iç yapı değişikliğine uğramamış esas metal bölgesi olarak dört kısımda incelenebilir. İçyapı değişikliğine uğramamış veya temperlenmiş bölge kaynak sırasında Fe-C denge diyagramında A1 (723°C) noktasının altında bulunur ve genel olarak içyapı değişikliğine uğramaz [33].

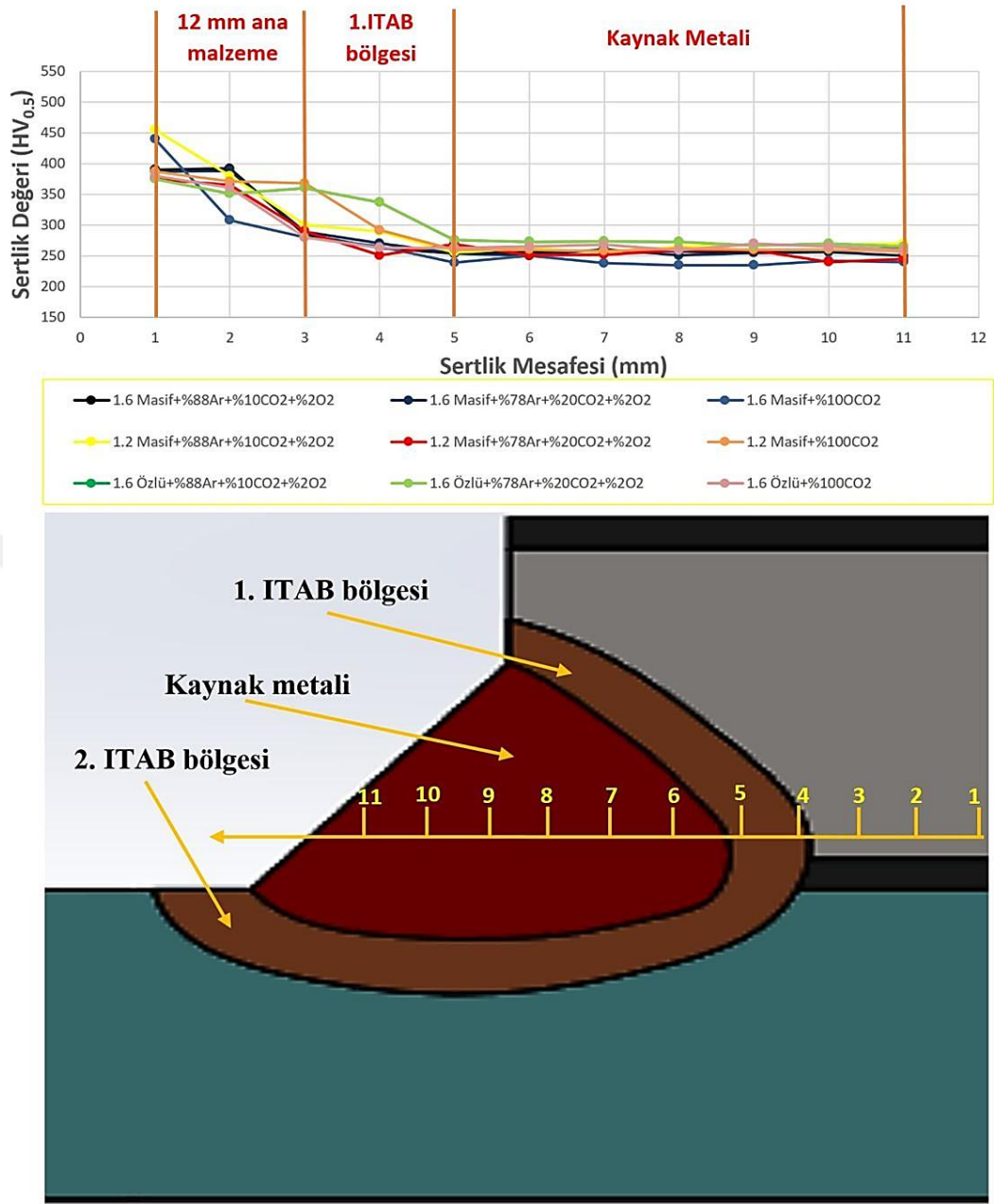
5.4. Mikrosertlik Testi Sonuçları

Bu çalışmada, deney numunelerinden mikroyapı incelemeleri yapıldıktan sonra aynı numunelere mikrosertlik testi uygulanmıştır. Bu test işlemi mikrovickers metodu uygulanarak 0.5 kg yük uygulanıp 15 saniye bekletilerek microhardness tester “401 mvd” marka cihaz ile yapılmıştır.

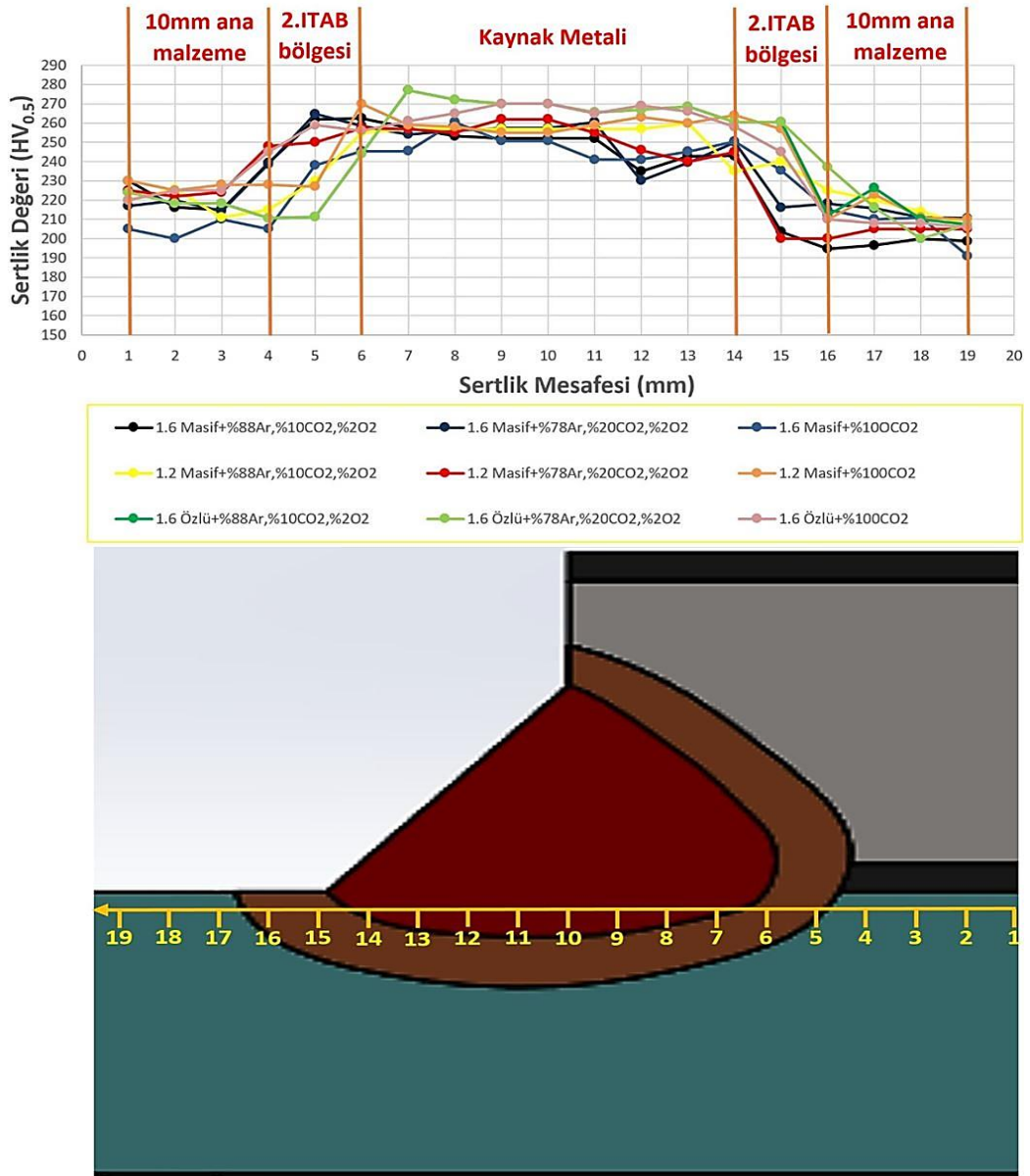
Sertlik testi uygulanan bölgelere ait üç tarama doğrultusunun şematik görünümü Şekil 4.16’da verilmişti. Şematik olarak gösterilen her doğrultuda 1 mm ara ile belirlenen yön boyunca sertlik taraması yapılmış ve sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Tarama 1 doğrultusundaki sonuçlar Şekil 5.22’de, tarama 2 doğrultusundaki sonuçlar Şekil 5.23’de, tarama 3 doğrultusundaki sonuçlar Şekil 5.24’de verilmiştir.



Şekil 5.22: Tüm deneyler için Tarama 1 doğrultusundaki sertlik sonuçları.



Şekil 5.23: Tüm deneyler için Tarama 2 doğrultusundaki sertlik sonuçları.



Şekil 5.24: Tüm deneyler için Tarama 3 doğrultusundaki sertlik sonuçları.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde kaynaklı numunelerden, en yüksek sertlik değeri yüzeyi sertleştirilmiş bölgeden elde edilmiştir. Bu bölge kaynak işleminden önce yüzeyi her iki taraftan sementasyon ısıtıl işlemi ile sertleştirilmiştir buna bağlı olarak bu bölgeden sert değerler alınması beklenen bir durumdur. Yüzeyi sertleştirilmiş bölgeden alınan sertlik değerleri yaklaşık olarak 460-520 HV_(0.5) civarında ölçülmüştür. Şekil 5.22-24 grafikleri incelendiğinde sertlik değerleri, sertleştirilmiş sementasyon bölgesinden başlayıp 10 mm S355J0 ana malzemesinin sonuna doğru azalarak düşmüştür. 10mm S355J0 malzemesine ait sertlik sonuçları tüm deney taramalarında yaklaşık olarak 200 HV_(0.5) olarak ölçülmüştür. Sertleştirilmiş bölgeden çekirdeğe doğru ilerledikçe sertlik değerlerinde azalma

gözlenmiştir. Fakat bu bölge sementasyon işleminden etkilendiğinden ITAB bölgesinin sertlik değeri, kaynak metaline yakın değerler sergilemiştir. Kaynak metalinin sertlik değerleri incelendiğinde tüm birleşimlerde kaynak metalin sertliği yaklaşık 250HV_(0.5) olarak ölçülmüştür. Ayrıca tüm deneylerde kaynak metalinin farklı bölgelerinden alınan sertlik değerlerinin dengeli seyrettiği gözlenmiştir.

Mikrosertlik incelemelerine göre; bu çalışmada kullanılan farklı özelliklerde aynı tür malzemelere kaynak işlemi yapılmıştır, dolayısıyla bölgesel olarak farklı sertlik değerleri elde edilmiştir. Literatür incelemeleri ile kıyaslandığında deneylerden alınan sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir. Demiral [4], 2017 yılında farklı çelikleri ark kaynak yöntemleri ile birleştirmiş, mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında ana metalden (St52) 200 HV_(0.5) sertlik değerini ölçmüştür. Yurdakul [34], 2016 yılında sementasyon işlemine tabi tutulmuş farklı derinlikteki 16MnCr5 çeliğinin mekanik özelliklerini incelerken malzeme yüzeyindeki sertlik değerinin çekirdeğe doğru gidildikçe azaldığını belirtmiştir.

5.5. Koruyucu Gazın Etkisi

Koruyucu gazlar genel olarak, kaynak metalin ve çevresi arasındaki etkileşimi keserek istenmeyen reaksiyonların oluşumunu engellerler. MIG/MAG kaynak yönteminde kaynak işlemini etkileyen ana faktörler kaynak telinin türü, ana malzeme, kaynak pozisyonu ve kaynağın türü gibi faktörlerdir. Bunların yanında koruyucu gazın kaynak mukavemetine doğrudan etkisi olmamasına karşın koruyucu gazlar kaynak dikişinin dayanımını; gözenek oluşumu, nüfuziyet, zararlı gazların uzaklaştırılması, mikroyapı oluşumları, ark kararlılığı ve metal damla geçiş biçimi gibi etkileri kontrol ederek olumlu sonuçlarda bulunduğu literatürde ifade edilmektedir [27,7,28].

Makroyapı sonuçları incelendiğinde gaz karışımlarında CO₂ miktarının artması ile daha derin bir nüfuziyet oluştuğu görülmüştür, bu durum CO₂ gazının aktif bir gaz olması ile açıklanabilir, nitekim karbondioksit gazı argon gibi bir soygaz olmadığından kaynak banyosunun yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır, ark içerisinde iyonize olan gazlar kaynak bölgesine doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline dönüşür ve dolayısıyla ayrışma esnasında aldığı ısıyı tekrar verir, buda kaynak dikişinde nüfuziyetin artmasına sebep olur.

Literatürde karbondioksit gazının kaynak bölgesinde oluşturacağı etkilere sıkça yer verilmiştir [1,22,23].

5.6. Kaynak Telinin Etkisi

Ergitme kaynak yöntemlerinde oluşturulan ark, ısının etkisiyle ana metal ile ilave dolgu metali ergiyerek, birbirine kısmi olarak karışırlar. Ergiyip katılaştan kaynak metalinin metalurjik yapısı ana metalinkinden farklılık gösterir. Bir kaynak dikişinin kesiti incelendiğinde, ergimiş olan bölgeyi sınırlayan ergime çizgisi belirgin bir şekilde görülür. Ergime bölgesi kimyasal bileşim olarak esas metal ve kaynak metali karışımından oluşur karışım oranı her pasoda farklı olacağından, her pasonun kimyasal bileşimi de farklıdır. Bir kaynaklı bağlantının kaynak mukavemetini arttırıcı en önemli faktörlerden biri de kaynak metali olduğu önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Özellikle mekanik açıdan bir kaynak telinin değerleri en az ana metal kadar olmalıdır. Dolayısı ile tüm bağlantılarda kaynak yapılacak ana malzemeden daha fazla mekanik değerlere sahip kaynak teli kullanılmalıdır.

Bu çalışmada üç farklı kaynak teli kullanılmıştır. Farklı koruyucu gaz ortamında yapılan deneylerde en iyi sonuç %100 CO₂ koruyucu gazının bulunduğu 1.6 masif kaynak telinde gerçekleşmiştir. Bu çalışmada yapılan deneyler kaynak işleminde yaşanan bir soruna yönelik olduğundan, kaynak işleminde kullanılan malzemeler proje uygulamasındaki gibi seçilmiş ve pozisyonlanmıştır. Tüm deneyler incelendiğinde kaynak telinin etkisinden ziyade, koruyucu gazın bu birleştirmede daha aktif bir rol oynadığı görülmüştür.

Yapılan kaynak işleminde kullanılan makine sinerjik kontrollü olduğundan deney geçişlerinde, tel değiştirme işleminden sonra makinadan, kullanılan tel kalınlığı modu da değiştirilmiştir. Örneğin 1.2 SG3 tel sökölüp yerine 1.6 SG3 tel takıldıktan sonra makina da 1.6 moduna alınmıştır. Bu mod değişikliği makine üreticisi ve kullanım kılavuzu dikkate alınarak yapılmıştır. Bu mod değişikliği ile makinanın dinamik değerlerinde de değişiklik olacağı ve bu değişiklik miktarının yaklaşık olarak %5-7 olduğu bilinmektedir. Bu değişiklik ile 1.6 mm tel ile aynı parametrelerde bir miktar daha fazla nüfuziyet elde edilebildiği düşünülmektedir. Ayrıca 1.6 mm tel kullanılması ile kaynak telinin kaynak banyosunda daha geniş bir bölgeye etki edeceğinden yanma alttaki (10 mm) malzemede daha yoğun olup bu bölgede daha derin bir nüfuziyet elde edilmiştir. Buradaki nüfuziyet artışı,

bindirme formundaki kombinasyonun yapışma bölgesi olarak adlandırdığımız asal ekseninin derinliklerine doğru olduğu görülmüştür.



BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada MAG kaynak yönteminde kaynak teli tiplerinin ve farklı tür gazların kaynak dikişi morfolojisine ve mekanik değerlerine etkisi incelenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Makroyapı incelemelerine göre, gaz karışımlarında artan karbondioksit oranı yapışma yüzeyinde daha derin bir nüfuziyet oluşmasına sebep olmuştur. Karışımdaki CO₂ miktarının artması ile kaynak yapışma bölgesinde daha derin ve sivri bir geometrik yapı gözlenmiştir bu durum %100 CO₂ gazında daha belirgin olarak görülmüştür.
- Çekme-makaslama testi sonuçlarına göre, en yüksek kayma (kesme) gerilmesi değerleri %100 CO₂ gazının bulunduğu ve sırası ile 1.6 masif tel, 1.6 özlü tel ve 1.2 masif tel ile yapılan kaynaklarda görülmüştür. En yüksek kayma gerilmesi, aynı CO₂ gazı ortamında 1.2 masif kaynak telinde %59.4; 1.6 özlü kaynak telinde ise %8.3 daha yüksek değer aldığı tespit edilmiştir. Makro görüntülemelerde belirtilen nüfuziyet artışı ile kayma gerilmesi değerleri paralel şekilde ilerlemiştir.
- Mikroyapı incelemelerine göre, farklı gaz türlerinin mikroyapılarda çok fazla bir fark oluşturmadığı gözlenmiştir. Kaynaklı bağlantıların, kaynak metalinde oluşan mikroyapıların ağırlıklı olarak widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit olduğu gözlenmiştir. Tüm bağlantılarda ITAB bölgesinde tane irileşmesine rastlanmıştır. Ayrıca ısıtılma tabi tutulan yapı çeliğinde, hadde düzlemindeki ferrit tanelerinin dağıldığı gözlenmiştir.
- Mikrosertlik testi sonuçlarına göre, sertleştirilmiş malzemeden kaynak bölgesine doğru ilerledikçe sertlik değerlerinde azalma gözlenirken, kaynak metalinde ve 2. ITAB bölgesinde yaklaşık aynı değerlerde kalmıştır. En yüksek

sertlik değeri yüzeyi sertleştirilmiş bölgeden elde edilmiş olup yaklaşık 460-520 HV_(0.5) civarındadır bunu sırası ile yaklaşık 290-310HV_(0.5) değerindeki ITAB; kaynak metali (250HV_(0.5)) ve sertleştirilmemiş ana malzeme (200HV_(0.5)) takip etmiştir.

- Sonuçlar ekonomik açıdan incelendiğinde, bu çalışma ile yüzeyi sertleştirilmiş yapı çeliğinin bindirme formunda farklı tür gaz ve farklı tür kaynak telleri ile kaynak işlemi yapılması hakkında bilgiler ve sonuçlar paylaşılmıştır. Çalışma sonucuna göre bu tür birleştirmelerde %100 CO₂ gazı ve 1.6 masif tel kullanılması mukavemet açısından daha uygun değerler sağlarken diğer parametrelere göre ayrıca daha ekonomiktir. Endüstride %100 CO₂ gazı, deneylerde kullanılan diğer karışım gazları ile kıyandığında %28.3 daha ekonomiktir. Aynı şekilde 1.6 masif tel deneylerde kullanılan özlü tele kıyasla % 44.4 oranında daha ekonomik olarak tedarik edilebilir.

6.2. Öneriler

- Bu çalışmada tüm birleştirmeler bindirme kaynağı formunda olup kaynak ağzı açılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak ağzı açılmaması durumunda morfolojik yapıya ve mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Yüzeyi sertleştirilmiş malzemeler alın kaynağı pozisyonunda birleştirilerek, bu tür birleştirmelerdeki etkileri incelenebilir.
- Aynı gazaltı kaynak parametreleri ile birleştirilen deney numunelerine yorulma deneyi yapılarak, kaynaklı parçanın ve yüzey direncinin dayanımları araştırılabilir.
- Bu çalışmada kayma plakalarının yüzeyi sertleştirilmiş formda kullanılmasının etkileri ve kaynak işlemi ile ilgili detaylı açıklamalar yapılmıştır, başka bir çalışmada kayma plakalarını aşınmaya dayanıklı Hardox çelikleri veya paslanmaz çelik türleri ile yorulma deneyleri ve kaynak işlemleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] N. Kahraman ve B. Gülenç, Modern Kaynak Teknolojisi, Genişletilmiş 3. Baskı dü., EPAMAT Basım Yayın Promosyon San. Ltd. Şti., p. 331. 2016.
- [2] L. Dieng, D. Amine, Y. Falaise ve S. Chataigner, «Parametric study of the finite element modeling of shot peening on welded joints,» *Journal of Constructional Steel Research*, no. 130, pp. 234-247, 2016.
- [3] S. Anık, Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları, p. 250.1991.
- [4] O. Demiral, *Farklı çeliklerin ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2017.
- [5] S. Aslanlar , *Kaynak teknolojisi ve uygulamaları - elektrik ark kaynak ve gaz eritme kaynak teknolojisi, ders notu*, Sakarya Üniversitesi, 2009.
- [6] A. E. Yalçın, *Koruyucu gaz kaynak uygulamalarında gaz karışımları-dikiş formu ilişkisinin incelenmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- [7] A. Şık, «Yapı çeliğinin (St52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi,» *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, p. 7 (1), 2005.
- [8] A. Akın, *Gazaltı kaynak parametrelerinin kaynak mukavemetine etkilerinin araştırılması*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2015.
- [9] M. Suban ve J. Tušek, «Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 119, pp. 185-192, 2001.
- [10] K. Tülbentçi, MIG-MAG eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, 1990.
- [11] E. Komaç, TEKNİK EĞİTİM EL KİTABI, Askaynak Yayınları, 2014.
- [12] *TS EN ISO 14341- Kaynak sarf malzemeleri- Alaşımsız ve ince taneli çeliklerin koruyucu gaz metal ark kaynağı için tel elektrodlar ve yığılmış kaynaklar-Sınıflandırma*, 2011.
- [13] İ. Ertürk, *Eriyen Elektrod İle (MIG-MAG) Kaynağı*, Ders Notu, 2016.
- [14] B. Oğuz, *Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı*, OERLIKON, 1985.
- [15] İ. Ertürk, T. Durukan ve B. Şentürk, «Çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenen bölgenin mikroyapı ve özelliklerinin tahmini,» %1 içinde X. *Kynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 2017.

- [16] H. Uzun, *Kaynak bölgesinin metalurjik yapısı*, Sakarya: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Ders Notu.
- [17] M. Vural, F. Piroğlu, Ö. B. Çağlayan ve E. Uzgider, «Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği,» *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, cilt 4, no. 426, pp. 47-51, 2003.
- [18] TS EN ISO 377 -Çelik ve çelik mamulleri- Mekanik deneyler için numunelerin ve deney parçalarının alınması ve hazırlanması, 2013.
- [19] TS EN ISO 4136 - Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Enine çekme deneyi, 2013.
- [20] Y. Zhao, X. Shi, G. Wang, K. Yan, Z. Jia ve Y. He, «Effect of shielding gas on the metal transfer and weld morphology in pulsed current MAG welding of carbon steel,» *Journal of Materials Processing Tech.*, cilt 262, pp. 382-391, 2018.
- [21] M. Ebrahimnia, M. Goodrazi, M. Nouri ve M. Sheikh, «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*, cilt 30, pp. 3891-3895, 2009.
- [22] İ. Binier, «Numunelerin tahribatlı testlerinin güvenilirliği ve cihaz kalibrasyonu,» *Kaynak Kongresi IX. Uluslararası kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 2015.
- [23] E. Tuncer, *Aşınmaya dayanıklı çelikler ile genel yapı çeliğinin kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2006.
- [24] T. Yılmaz, *Masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen hardox 400 çeliklerinin mekanik ve mikroyapı özellikleri*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2010.
- [25] H. Yurdakul, *Sementasyon ısıtma işlemine tabi tutulmuş farklı derinliklerdeki 16MnCr5(1,7131 DIN) çeliğinin mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2016.
- [26] TS EN ISO 5817 - Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri, 2007.
- [27] TS EN ISO 23278 - Kaynakların tahribatsız muayenesi-Kaynakların manyetik parçacıkla muayenesi-Kabul seviyeleri, 2010.
- [28] N. Pellerin, S. Zielińska, S. Pellerin, F. Valensi, K. Musioł, C. de Izarra, F. Briand ve F. Richard, «Experimental investigations of the arc MIG-MAG welding,» %1 içinde *AIP Conference Proceedings*, Online, 2006.
- [29] Y. Kaya, «S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması,» *Politeknik Dergisi*, cilt 21, no. 3, pp. 597-602, 2018.
- [30] J. Pilarczyk ve E. Szczok, «Properties of gas mixtures used in MAG welding,» *Welding International*, pp. 845-850, 1994.
- [31] D. Katherasan, P. Sathya ve A. Raja, «Shielding gas effects on flux cored arc welding of AISI 316L (N) austenitic,» *Materials and Design*, cilt 45, pp. 43-51, 2013.

- [32] A. Yürük, B. Bozkurt ve N. Kahraman, «S235JR karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mig kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi,» *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 2, no. 21, pp. 90-97, 2017.
- [33] B. Aydemir, B. S. Elmas ve E. Ayan, «Çekme Deneyinde Elastisite Modülü Hesap Yöntemleri ve Hata Kaynakları,» %1 içinde *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress*, Antalya, 2019.
- [34] <http://www.universalcert.com/hizmetler/tahribatsiz-muayene>. [Çevrimiçi]. [Erişildi: 17.01.2021].
- [35] E. Özkan, *Kaynak sonrası S355J2N yapı çeliğinde oluşan gerilmeleri gidermek için uygulanan ısıtma işleminin etkilerinin tahribatlı-tahribatsız muayene yöntemleriyle belirlenmesi*, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 2019.
- [36] H. İ. Taşkesen, *Bal peteği sandviç kompozitlerde darbe testi sonrası basma davranışlarının incelenmesi*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Batman, 2020.
- [37] G. Türkkkan, *Koruyucu gaz kaynağında (MIG/MAG) gaz debisinin kaynak nüfuziyeti hızına etkisi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2008.
- [38] Y. Uzun, *Konvansiyonel ve sinerjik kaynak makineleri ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş ST37 çeliğin kaynak dikişlerinin incelenmesi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 2014.
- [39] B. Gülenç, *MIG/MAG kaynağında koruyucu gaz karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1995.
- [40] O. Tetik, «Basınçlı Kapların Kontrol Metotları,» T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İzmir, 2011.
- [41] L. E. Samuel, *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, USA: ASM International, 2003.
- [42] A. Mahmat, N. Tosun ve S. Açar, «Metalografik mikroyapı incelemelerinde kullanılmak üzere çok istasyonlu numune zımparalama ve parlatma makinesinin tasarımı ve imalatı,» *International Journal of Pure and Applied Sciences*, cilt 6, no. 2, pp. 248-256, 2020.
- [43] *TS EN ISO 148-1 -Metalik malzemeler-Charpy vurma deneyi- Bölüm 1: Deney metodu*, 2017.
- [44] A. Çanakçı, *Çentik darbe deneyi föyü*, Trabzon: KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- [45] X. Cai, C. Fan, S. Lin, X. Ji, C. Yang ve W. Guo, «Effects of shielding gas composition on arc properties and wire melting characteristics in narrow gap MAG welding,» *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 1-26, 2017.
- [46] T. Savaşkan, *Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi*, 9. Basım dü., İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, p. 427.2018.