

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNERJİK KONTROLLÜ DARBELİ MIG/MAG T-BAĞLANTI
KAYNAĞINDA TEL BESLEME HIZININ DİKİŞ GEOMETRİSİ VE
KAYNAK PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekrem ARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM ve İMALAT
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNERJİK KONTROLLÜ DARBELİ MIG/MAG T-BAĞLANTI
KAYNAĞINDA TEL BESLEME HIZININ DİKİŞ GEOMETRİSİ VE
KAYNAK PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekrem ARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM ve İMALAT

Bu tez 18.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi
Erdal KARADENİZ
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
Sunat Ahmet PARASIZ
Üye



Prof. Dr.
Uğur ÖZSARAÇ
Üye



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.



Ekrem ARSLAN

18.06.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda, tez altyapısı oluşturmam, planlama ve hazırlama aşamalarında bilgi ve tecrübeleri sayesinde çalışmalarımın akademik olarak etkin ilerlemesi ayrıca tez çalışmasının sonuca ulaşmasında katkı ve desteklerinden dolayı değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde ve özellikle deneysel uygulamalarının yapılmasında maddi ve manevi katkılarından dolayı Om Mühendislik Makine Sanayi Tic. Ltd.Şt.'nin tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte her zaman yanımda olan aileme saygı ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Literatür Özeti.....	3
BÖLÜM 2.	
SİNERJİK KONTROLLÜ P-GMAW YÖNTEMİ.....	5
2.1. Sinerjik Kontrollü P-GMAW Yönteminde Metal İletimi.....	9
2.1.1. Kısa devre metal iletimi.....	9
2.1.2. Globular metal iletimi.....	10
2.1.3. Sprey ark metal iletimi.....	11
2.1.4. Darbeli ark metal iletimi.....	12
2.2. Sinerjik Kontrollü P-GMAW Donanımı ve Çalışma Sistemi.....	15
2.2.1. Kaynak torç sistemi.....	17
2.2.2. Kaynak teli besleme sistemi.....	18
2.2.3. Kaynak kontrol sistemi.....	19
2.2.4. Güç ünitesi grubu.....	19

2.2.5. Koruyucu gaz ayar ekipmanları	20
2.2.6. Sinerjik kontrollü P-GMAW kaynak makinaları.....	20
2.2.6.1. Alternatif akım kullanan kaynak makinaları.....	21
2.2.6.2. Doğru akım kullanan kaynak makinaları.....	21
2.2.6.3. Sabit akım esaslı kaynak makinaları.....	22
2.2.6.4. Sabit gerilim esaslı kaynak makinaları.....	22
2.3. Sinerjik Kontrollü P-GMAW Değişkenleri.....	22
2.3.1. Kaynak akımı.....	23
2.3.2. Kutuplama.....	24
2.3.3. Ark gerilimi.....	24
2.3.4. Kaynak hızı.....	25
2.3.5. Serbest kaynak teli uzunluğu.....	26
2.3.6. Kaynak teli açıları.....	26
2.3.7. Kaynak pozisyonları.....	27
2.3.8. Koruyucu gazlar.....	28
2.3.9. Kaynak teli seçimi.....	31
2.3.10. Darbe değişkenleri.....	31

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
3.1. Malzeme ve Yöntem.....	35
3.2. Kaynak Techizatı.....	36
3.3. Deneysel Çalışma Planı.....	42

BÖLÜM 4.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	45
4.1. İncelenen Parametrelerin Kaynak Akımı ve Gerilimine Etkisi.....	45
4.2. İncelenen Parametrelerin Kaynak Dikiş Geometrisine Etkisi.....	51
4.2.1. Tel besleme hızının nüfuziyete etkisi.....	55
4.2.1.1. Tel besleme hızının XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi.....	55

4.2.1.2. Tel besleme hızının S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi.....	56
4.2.1.3. Tel besleme hızının dikey kol genişliğine etkisi.....	56
4.2.1.4. Tel besleme hızının yatay kol genişliğine etkisi.....	57
4.2.1.5. Tel besleme hızının dikiş kalınlığına etkisi.....	57
4.2.1.6. Tel besleme hızının kök nüfuziyetine etkisi.....	57
4.2.1.7. Tel besleme hızının dış bükeyliğe etkisi.....	58
4.2.5. Ark boyunun nüfuziyete etkisi.....	58
4.2.1.1. Ark boyunun XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi...	59
4.2.1.2. Ark boyunun S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi....	59
4.2.1.3. Ark boyunun dikey kol genişliğine etkisi.....	60
4.2.1.4. Ark boyunun yatay kol genişliğine etkisi.....	60
4.2.1.5. Ark boyunun dikiş kalınlığına etkisi.....	61
4.2.1.6. Ark boyunun kök nüfuziyetine etkisi.....	61
4.2.1.7. Ark boyunun dış bükeyliğe etkisi.....	62
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
DP-GMAW	: Double pulsed gas metal arc welding
f	: Frekans
GMAW	: Gas metal arc welding
HSLA	: High strength low alloy
Hz	: Hertz (devir/sn)
I _b	: Temel akım
I _p	: Pik akım
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
MAG	: Metal active gas
MIG	: Metal inert gas
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
ODPP	: One droplet per pulse
P-GMAW	: Pulsed gas metal arc welding
P-GTAW	: Pulsed gas tungsten arc welding
T _b	: Temel akım süresi
T _p	: Pik akım süresi
TIG	: Tungsten inert gas
V	: Voltaj
Zn	: Çinko
φ	: Özetlenmiş darbe faktörü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kısa devre metal iletim yöntemi gösterimi	10
Şekil 2.2. Globular metal iletim yöntemi gösterimi.....	11
Şekil 2.3. Sprey ark metal iletim yöntemi gösterimi.....	11
Şekil 2.4. Darbeli sprey ark metal iletiminde akımın özelliği.....	13
Şekil 2.5. Darbeli ark metal iletim yöntemi gösterimi.....	14
Şekil 2.6. Darbeli ark metal iletim yönteminde ergiyik damlanın ayrılışı.....	15
Şekil 2.7. Gazaltı MIG/MAG kaynak yönteminin çalışma prensibi.....	16
Şekil 2.8. Gazaltı MIG/MAG kaynak donanımı.....	16
Şekil 2.9. Gazaltı MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan bazı terimler.....	17
Şekil 2.10. Gazaltı MIG/MAG kaynak torcunun temel elemanları.....	18
Şekil 2.11. Gazaltı MIG/MAG tel besleme mekanizması ve makaraları.....	19
Şekil 2.12. Koruyucu gaz ayar ekipmanları ve gaz debi ölçeri.....	20
Şekil 2.13. Alternatif akım kaynak makinası çalışma prensibi.....	21
Şekil 2.14. Kaynak hızına bağlı olarak kaynak dikişinin şekli.....	25
Şekil 2.15. Hareket ve çalışma düzlemleri ile kaynak teli açıları.....	26
Şekil 2.16. Kaynak teli açıları ve kaynak dikişine etkisi.....	27
Şekil 2.17. Yatay iç köşe kaynağında torç açısı.....	27
Şekil 2.18. Çeşitli gazların kaynak dikiş şekline ve nüfuziyete etkisi.....	30
Şekil 2.19. O ₂ yoğunluğunun dikiş profiline etkisi.....	30
Şekil 2.20. Darbe değişkenlerinin kaynak dikiş kalitesine etkisi.....	33
Şekil 3.1. Numune boyutları ve bağlantı türü.....	36
Şekil 3.2. Closs Qineo Pulse 600A kaynak robot donanımı.....	37
Şekil 3.3. Closs Qineo Pulse 600A kaynak makinası.....	38
Şekil 3.4. Closs Qineo Pulse 600A Master çalışma modülü üst grup.....	39
Şekil 3.5. Closs Qineo Pulse 600A Master çalışma modülü alt grup.....	40
Şekil 3.6. Master çalışma modülünde akım ve voltaj gösterimi.....	41

Şekil 4.1. Tel besleme hızının kaynak akımına etkisi.....	46
Şekil 4.2. Tel besleme hızının kaynak gerilimine etkisi.....	47
Şekil 4.3. Ark boyu ile dikiş profili arasındaki ilişki.....	48
Şekil 4.4. Ark boyunun kaynak akımına etkisi.....	48
Şekil 4.5. Ark boyunun kaynak gerilimine etkisi	49
Şekil 4.6. Ark dinamiği ayarı şematik gösterimi.....	49
Şekil 4.7. Ark dinamiğinin kaynak akımına etkisi.....	50
Şekil 4.8. Ark dinamiğinin kaynak gerilimine etkisi.....	50
Şekil 4.9. Kaynak dikiş geometrisi incelenen değerlerin gösterimi.....	51
Şekil 4.10. Numune No. 1.....	52
Şekil 4.11. Numune No. 2.....	52
Şekil 4.12. Numune No. 3.....	53
Şekil 4.13. Numune No. 4.....	53
Şekil 4.14. Numune No. 5.....	53
Şekil 4.15. Numune No. 6.....	54
Şekil 4.16. Numune No. 7.....	54
Şekil 4.17. Numune No. 8.....	54
Şekil 4.18. Numune No. 9.....	55
Şekil 4.19. Tel besleme hızının XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi.....	55
Şekil 4.20. Tel besleme hızının S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi.....	56
Şekil 4.21. Tel besleme hızının dikey kol genişliğine etkisi.....	56
Şekil 4.22. Tel besleme hızının yatay kol genişliğine etkisi.....	57
Şekil 4.23. Tel besleme hızının dikiş kalınlığına etkisi.....	57
Şekil 4.24. Tel besleme hızının kök nüfuziyetine etkisi.....	58
Şekil 4.25. Tel besleme hızının dış bükeyliğe etkisi.....	58
Şekil 4.26. Ark boyunun XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi.....	59
Şekil 4.27. Ark boyunun S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi.....	59
Şekil 4.28. Ark boyunun dikey kol genişliğine etkisi.....	60
Şekil 4.29. Ark boyunun yatay kol genişliğine etkisi.....	60
Şekil 4.30. Ark boyunun dikiş kalınlığına etkisi.....	61
Şekil 4.31. Ark boyunun kök nüfuziyetine etkisi.....	61
Şekil 4.32. Ark boyunun dış bükeyliğe etkisi.....	62

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Esas malzemelerin kimyasal bileşenleri.....	35
Tablo 3.2. Kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	35
Tablo 3.3. Master çalışma modülünde akım ve voltaj gösterimi.....	42
Tablo 3.4. Deneysel çalışmalarda sabit tutulan kaynak parametreleri.....	42
Tablo 3.5. İncelenen kaynak değişkenlerinin kaynak akım ve kaynak gerilimine etkisi için deneysel çalışma planı.....	43
Tablo 3.6. Dikiş geometrisini incelemek için deneysel çalışma planı.....	44
Tablo 4.1. Besleme hızı, ark boyu ve ark dinamiğinin kaynak akım ve kaynak gerilimine etkisi.....	45
Tablo 4.2. Tel besleme hızı ve ark boyunun kaynak dikiş geometrisine etkisi..	52

ÖZET

Anahtar kelimeler: T-Bağlantı, Sinerjik Kontrollü Darbeli MIG/MAG Kaynağı, XAR400, S690QL, kaynak dikiş geometrisi

Günümüzde imalat yöntemleri arasında endüstride vazgeçilmez yöntemler arasında yer alan kaynak, ilk çağlardan itibaren günümüze kadar sürekli kendini yenileyen gelişmiş teknolojilerin entegrasyonu ile kalitesini sürekli geliştirmektedir. Kaynak, günümüzde demir esaslı veya demir dışı malzemelerin kullanıldığı tüm imalatlarda uygulama alanına sahiptir.

Bu çalışmada, ergitme esaslı kaynak teknolojileri grubundan gazaltı MIG/MAG kaynak yöntemine ait sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi son yıllarda tekrar edilebilir kaynak kalitesi, verimlilik ve kolay kullanımı ve operatör hatasını en aza indirgeyen sprey ark metal iletiminin üstün yönlerini ve globular metal iletimin olumsuzluklarını bertaraf eden bu yöntem detaylı olarak ele alınmıştır. Literatürde P-GMAW olarak da ifade edilen darbeli MIG/MAG kaynağı, kaynak değişkenlerinin seçimi konusunda özelleştirilmiş sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak robotu kullanılarak, kaynak nüfuziyetine doğrudan etkileyen değişkenlerin etkisini tespit etmek amacıyla özellikle iş makineleri sektöründe yoğun olarak kullanılmakta olan yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik olan S690QL ve aşınmaya karşı direnci ile bilinen XAR400, 6mm sac kalınlıklarında T bağlantı şekli ile sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak tekniğine göre çalışan Closs Qineo Pulse 600A kaynak robotu kullanılarak kaynağı gerçekleştirilmiştir. Tel besleme hızı, ark boyu ve ark dinamiği kaynak değişkeni olarak seçilmiş olup diğer kaynak değişkenleri tüm kaynak işlemlerinde sabit tutulmuştur.

Deneysel sonuçlarda seçilen kaynak değişkenlerinin nüfuziyete etkisini incelemek amacıyla ile dikiş geometrisinin makro fotoğrafları alınarak nüfuziyet ve bu değişkenlerin kaynak akımı ve kaynak gerilimine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde; tel besleme hızının artması ile nüfuziyetin arttığı, ark boyunun azalması ile nüfuziyette bir miktar azalma tespit edilmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WIRE FEED SPEED ON THE WELDING PARAMETERS AND WELD BEAD GEOMETRY AT THE POSITION OF T-JOINT WITH SYNERGIC CONTROLLED PULSED MIG/MAG WELDING

SUMMARY

Keywords: T-Joint, Synergic Controlled Pulsed GMAW, XAR400, S690QL, weld bead geometry

At the present time, welding is essential technic among the manufacturing methods in the industry. The welding has application area in all areas where iron-based or non-ferrous materials are used nowadays. It is used very different area so by thinking both working conditions and features of material and we achieve this aim with very different techniques.

In this study, pulsed MIG / MAG method (P-GMAW) of MIG / MAG welding method from the group of welding-based welding technologies. The P-GMAW, has achieved repeatable welding quality, efficiency and ease of use in the last few years and reduced method the operator error to the minimum. With this method, superior aspects of spray arc metal conduction, which is eliminating the disadvantages of globular metal conduction is examined in detail. In the literature, the method, also referred to as P-GMAW, is presented integrated with experimental and theoretical research. The effect of variables which are directly affecting welding penetration in a synergic P-GMAW, S690QL, high-strength low-alloy steel which is used extensively in the construction machinery industry and XAR400, known for its resistance to abrasion are used for welding. The welding was made T-joint with 6 mm sheet plate. Wire feed speed, arc length and arc dynamics were chosen as welding variables and other variables were kept constant in all welding processes.

At the experimental results, penetration values were determined by the influence of weld parameters by taking macro photograph of weld bead. Generally; increased penetration with increasing wire feed speed, increased penetration with arc length reduction, decreased arc length and a slight decrease in penetration were observed. Experimental and theoretical studies have been presented, and this study gives a new light on the progress of the developing P-GMAW.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Demir ve demir dışı metallerin kaynaklı birleştirme işlemi; ısı veya basınç kullanılarak ya da ikisinin birlikte hem ısı hem de basınç birlikte kullanılarak birleştirilecek metallerin ergitilmesiyle, genelde birleştirilecek malzemeler ile ergime derecesi aynı veya yakın sıcaklığa sahip kaynak metali ilave edilerek veya ilave edilmeden uygulanan birleştirme işlemi ya da dolgu işlemi olarak ifade edilir. Kaynak işlemi, lehimleme ve demirci kaynağı gibi ilkel yöntemlerle günümüzden yaklaşık 5000 yıl öncesinde ilk olarak uygulama örnekleri elde edilmiş olup, özellikle son 100 yıldır çok büyük ilerlemeler kaydetmiştir [1 - 2].

Metallerin kaynağı ergitme esası ve basınç esasına göre ikiye ayrılır. Ergitme şeklinde yapılan kaynak işlemleri; oksiasetlen, ark, direnç ve bazı özel kaynak uygulamaları şeklinde de sınıflandırılmaktadır. Elektrik ark kaynağı sınıfındaki kaynak yöntemleri de kaynaklı imalat sektöründe en yaygın uygulanan yöntemlerdir. Elektrik ark kaynak yöntemlerinde örtülü elektrod, gazaltı, tozaltı ve özlü elektrod ark kaynak yöntemleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Ark kaynak yöntemleri arasında, gazaltı kaynak yöntemleri de endüstride oldukça önemli bir uygulama alanına sahiptir. Gazaltı ark kaynak yöntemleri de ergiyen ve ergimeyen elektrod kullanıma bakımından başlıca 2 gruba ayrılmaktadır. Bu yöntemler genel olarak, MIG, MAG ve MIG/MAG karışımı ergiyen elektrod, TIG ergimeyen elektrod gazaltı ark kaynakları şeklinde sınıflandırılır [2, 3].

MIG/MAG karışım gazaltı kaynak yöntemi ise demir ve demir dışı tüm metallerin kaynağının yapılabilmesi ile yüksek kaynak akımları kullanabilmek mümkün olmuş, bu sayede ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) daha dar ve daha iyi kaynak nüfuziyeti elde edilebilmesi gibi sebeplerden dolayı sektörde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MIG/MAG kaynağı uygulamalarında kaynak metalinin iletiminde esas metale yüksek ısı girdisi nedeniyle kaynak dikişinde oluşan problemlerin üstesinden gelebilmek için

darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi düşük ortalama akımda sprey metal iletimi üreterek çalışması sebebiyle bazı avantajlar sunmaktadır. Bu yöntem, sprey metal iletimin avantajlarından yararlanırken globular metal iletim yönteminin kusurlarını ortadan kaldırarak metal iletimini gerçekleştirir. Darbeli iletimde, ortalama kaynak akımı her zaman sprey metal iletiminin eşik değerinin altındadır. Globular metal iletiminden sprey metal iletime geçiş akımı bilgisi bu tekniğin uygulanabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Darbeli iletimde bu aralık çok dar ve birbirinden bağımsız birçok kaynak değişkenine bağlıdır. Dolayısıyla, kaynak kalitesi ve kaynak kararlılığı ancak metal iletiminin kontrolünün sağlanabilmesi ile mümkündür. Elektronik teknolojisindeki gelişimin de etkisiyle yüksek performanslı ark kaynak ekipmanları geliştirilmiştir. Bu gelişmeler sonucunda, sinerjik kontrollü ark kaynak makinaları, darbeli MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılarak sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi endüstride giderek artan bir yer bulmaktadır [1, 2, 3 - 4].

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, gazaltı MIG/MAG yönteminin teorik olarak incelemesi, kaynak donanımı ve kullanımı hakkında bilgiler verilerek deneysel çalışmasını gerçekleştirdiğimiz sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak yönteminin sağlanmış olduğu üstün özellikler ve yöntemin detaylı olarak donanım, kaynak işlemi ve değişkenlerin seçimine yönelik literatür çalışmaları göz önüne alınarak oluşturulmuş deneysel çalışmalar, sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak yöntemine göre çalışan kaynak robotunda kaynak işlemleri gerçekleştirilmiş ve değişkenlerin kaynak dikiş geometrisine etkisi değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmalar neticesinde, seçilen kaynak değişkenlerinin etkisi sayısal veriler sayesinde nesnel bir biçimde karşılaştırılarak literatür de bulunan benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Çalışma sonucunda, kullanılan yöntem konusunda temel teorik bilgi birikimi sıralı ve anlaşılır bir biçimde sunularak bu yöntem hakkında yetersiz akademik bilgi boşluğunu

doldurmaya temel olacak bir çalışma olmuştur. Ayrıca, elde edilen veriler sayesinde bu yöntemi kullanan kaynak makinaları için gerek akademik gerekse endüstriyel düzeyde çalışma yapan kişilere referans kaynak sağlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Gazaltı kaynak yöntemleri (MIG/MAG ve TIG kaynakları) kullanılarak ülkemizde ve dünyada bir çok teorik ve deneysel çalışmalar ile endüstride karşılaşılan karşılaşılabilecek durumlar göz önüne alınarak malzeme türüne, çalışma şartlarına bağlı olarak özellikle esas metal, ısıdan etkilenen bölge ve kullanılan ilave kaynak metali üzerine kaynak değişkenlerinin etkilerini incelemek amacı ile yoğun çalışmalar yapılmış ve hala daha iyi özellikler sağlayabilecek yeni yöntemler ve kaynak değişkenlerini en uygun seviyeye getirme konusunda çalışmalar devam etmektedir.

Özellikle yüksek ısı girdisi nedeniyle kaynak dikişinde meydana gelen hasarlar sebebiyle ısı girişini daha düşük seviyede tutup, kaynak kalitesini arttıran metal iletim türü olan darbeli iletim türü üzerine yoğun çalışmalar yapılmıştır. Ancak, kaynak değişkenlerinin seçiminin karmaşıklığı üzerine ilave olarak darbeli iletim kaynak değişkenlerinin eklenmesi bu seçim işlemi daha karmaşık hale gelmesine sebep olmuştur. Bu nedenle, seçimi kolaylaştırmak amacı ile değişkenleri birbirine göre en uygun değerlere ayarlayan ve eş zamanlı olarak çalışan sinerjik kontrollü kaynak makinaları darbeli iletim türü ile entegre biçimde uyarlanmıştır. Bu çalışmada da özellikle darbeli iletim gazaltı MIG/MAG kaynağı ve sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynağı konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Mvola B. ve ark., darbeli ark kaynağının teorik ve deneysel çalışma ile ele alındığı çalışmalarında, 5 mm S355MC çelik T dikiş kaynağında malzemeler arasında 0 ile 2,5 mm boşluk bırakılarak kaynatılmasında sinerjik P-GMAW, sinerjik GMAW ve metal iletimini kontrol eden WiseFusion fonksiyonu esaslı çalışma gösteren 3 farklı yöntemde ısı girişinin kaynağın mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi araştırmışlardır [2].

Mirzaei M. ve ark., gazaltı MIG/MAG kaynağı ile darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi kullanılarak yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik grubundan HSLA-100 çeliğinin kaynağında mikro yapı ve mekanik özellikleri incelemiş, frekans değerinin etkisini deneysel çalışma ile tespit etmişlerdir. Tüm deney şartları ve kaynak değişkenleri aynı kalmak şartı ile elde edilen sonuçlara göre, kaynak metalindeki sertlik değeri darbeli MIG/MAG kaynağı uygulanan numunede daha yüksek değerde olup frekans değeri 50 Hz'den 100Hz'e çıktığında da artış olmuştur. Ayrıca her iki kaynak yönteminde de kaynak hızı ile sertlik değeri artmıştır. Çekme mukavemet değerlerinde frekans değeri 50 Hz için her iki kaynak yöntemi ve kaynak hızlarında daha yüksek değerdedir. Mikro yapı incelemesinde tane boyutları, her iki yöntem de kaynak hızı ile ters orantılı olarak azalmış olup frekans 50 Hz iken en küçük tane boyutu tespit etmişlerdir [5].

Pal K., Pal Surjya K., kaynak kalitesinin işaretlerinden kaynak nüfuziyeti ve mikroyapı olması ve gazaltı MIG/MAG kaynağında kaba taneli mikroyapı, ısıdan etkilenen daha büyük bölge ve daha düşük nüfuziyetin olduğu buna karşın darbeli gazaltı MIG/MAG kaynağında, yöntemin kendine ait özellikleri sebebiyle daha derin nüfuziyet, daha az ısıdan etkilenen bölge ve ince taneli mikro yapı elde edilmesi için uygun darbe değişkenlerinin seçimi konusunda yapılan çalışmaların sonuçları üzerine bir çalışma yapmıştır [6].

Palani P. K., Murugan N., darbeli MIG/MAG yönteminde kaynak değişkenlerinin seçimi üzerine yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş, uygun değişkenlerin seçimi konusunda deneysel ve teorik bilgiler ile daha iyi kaynak kalitesi elde edebilmek için yöntemler sunmuştur [7].

Praveen P. ve ark., gazaltı kaynak yöntemlerinin avantajlarının yanı sıra metal iletiminde yaşanan problemleri ortadan kaldırmaya yönelik iletim tekniklerinin geliştirilmesini sağlayan kontrol teknolojilerinin gelişimine yönelik temel bilgilerin sunulduğu çalışma yapmıştır [4].

BÖLÜM 2. SİNERJİK KONTROLLÜ P-GMAW YÖNTEMİ

Endüstride çok çeşitli metal malzemelerin kaynak işleminde kullanılabilmesi, ince ve kalın metallerin kaynatılabilmesi için geniş kaynak akım değerlerine uygun olması, tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilmesi, ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve kaynak operatörünün kolay yetiştirilmesi gibi nedenlerle gazaltı MIG/MAG kaynak yöntemi yaygın şekilde kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiler sonucu metal iletim türlerinde yüksek ısı girişini azaltmak amacıyla yeni yöntem geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Globular metal iletim ile spreyletimin faydalı özelliklerinin bir araya getirilmesiyle darbeli iletim türü gazaltı MIG/MAG kaynağında kullanılmaya başlanmıştır. Darbeli metal iletimi kaynak makinasında geliştirilen bir teknolojidir, dolayısıyla kaynak donanımı kaynak makinasına eklenen özellik dışında tamamen aynıdır. Darbeli gazaltı MIG/MAG kaynağı, kalite ve verimlilik gibi belirgin avantajlar sunmaktadır. Özellikle operatör becerilerine bağlı etkilere karşı kaynak kalitesinin geliştirilmesine yardımcı olur. Darbeli gazaltı ark kaynağı, güç kaynağının saniyede 30 ile 400 kez pik akım veya voltajı ile temel akım veya voltajı arasında geçiş yaptığı spreyletim yönteminin değiştirilmiş bir halidir. Bu değişim boyunca, pik akım telin ucundan bir damla teli kaynak bölgesine gönderir. Aynı zamanda, temel akım arkı sürdürür ancak metal iletimi olmayan düşük ısı girişi ile kaynak havuzunun yavaşça soğumasına ve yanmayı önlemesini sağlar. Darbeli gazaltı ark kaynağının 2 farklı çalışma yöntemi vardır: Sinerjik ve Sinerjik olmayan. Sinerjik GMAW'da, güç seviyesi, tel hızı değiştikçe otomatik olarak ayarlanır. Günümüzde, uygun kaynak değişkenlerini seçebilmek ve ayarlamının kaynak operatörü için daha kolay olması sebebiyle en yaygın yöntem olarak kaynak makinalarında sinerjik kontrol tercih edilmektedir. Diğer yandan, sinerjik olmayan darbeli gaz altı ark kaynağında, operatör kaynak parametrelerini kendi bilgi ve tecrübesine göre kontrol altında tutarak kaynak işlemini gerçekleştirir. P-GMAW, kaynak havuzu ile kaynak teli arasında temas olmayan iletim yöntemidir. Bu ise, kaynak telinin hiçbir zaman kaynak havuzuna temas etmediği anlamına gelir. Spreyletim ve globular iletim yönteminden daha az ısı

girişiyile sıçrama yapmadan çalışan bir yöntemdir. P-GMAW yöntemi her bir darbeye ergiyik kaynak metalin ucunda bir damla oluşturarak çalışır. Bunun için kaynak havuzuna bir damlanın ayrılmasını sağlayacak kadar olan uygun akımı verir. Bu yöntemi daha detaylı anlamak için dalga formuna bakabiliriz, akımın düz bir çizgi ile temsil edildiği sabit voltaj aksine, P-GMAW fazladan güç gerekmediğinde akımı düşürür ve soğumaya imkân verir. Bu şekilde, P-GMAW ısı girişinin kontrolü ve daha düşük tel besleme hızlarında çalışabilmesi ile ince malzemelerde daha iyi kaynak kalitesi sağlar. Kaynak işleminde, akım damla oluştuğunda pik seviyesine yükselir sonar temel akım seviyesinde akım, aşırı ısı girişini azaltmak için daha düşük olur. Pik fazında genişlik ve yükseklik değerleri uygun iletim için önemlidir [8 - 9].

Sinerjik kontrollü P-GMAW yöntemi için metal iletiminin daha kontrollü ve ısı girişini azaltmaya yönelik farkı bu yöntemi gazaltı MIG/MAG kaynak yönteminden ayıran temel özelliğdir [4].

Sinerjik kontrollü darbeli GMAW yöntemi; verimlilik, kalite ve kullanım kolaylığı gibi etkileri ile aşağıdaki gibi faydalar sunmaktadır [6, 7, 8 - 9] :

- Kaynak havuzunda mükemmel yön kontrolü, iyi kaynak dikiş görünümünü sağlar ve yeni kaynak operatörlerinin P-GMAW öğrenmesi daha kolaydır. Ek olarak, çoğu darbe dalga formu, daha kararlı kaynak kalitesi elde etmek için deneyimsiz kaynak operatörleri bile daha az sabit elle kaynak yapabilmesine sağlayan uyarlanabilir fonksiyonlu kaynak teknolojisine sahiptir.
- Dikiş görünümünü geliştirme ve kaynak hatalarını azaltmaya yardım eden ark başlama ve bitiş hatalarına karşı gelişmiş kontrol sistemine sahiptir. Kaynak operatörü kaynağa başladığında, birleşmeyi sağlamak için daha yüksek ısı gönderilir. Daha sonra, yanmayı önlemek ve iyi kaynak dikiş görünümü üzerine daha iyi kontrol sağlamak amacı ile ısı girişini azaltır. Ark bitirildiğinde, operatörün daha kolay kaynak değişkenlerini ayarlayarak krateri doldurmasına imkân vermesi sebebiyle ideal bir yöntemdir. Bu yöntem, Alüminyum gibi kaynak malzemeleri olduğunda kolayca oluşabilecek bitirme hatalarını ortadan kaldırmaya yardımcı olur.

- Bu yöntem sayesinde daha hızlı kaynak ve tel besleme hızı ile çalışılabilir. Bu verimliliği artırırken aynı zamanda ısı girişini, kalıntı gerilmeleri, çarpılma ya da yanma olasılıklarını azaltır. Paslanmaz çelikleri düşündüğümüzde, bu malzemeler çok fazla ısıyı tutamazlar ya da kaynak operatörü esas malzemenin krom ve nikel elementlerini yakabilir. Sonuç olarak, kaynak metali ve birleşim bölgesi korozyon direnci ve tokluğu zayıf olan yumuşak çeliğe dönüşür.
- Bazı sinerjik kontrollü P-GMAW güç kaynakları, kaynak operatörlerinin ark konisini ayarlamasına izin vererek uygulamaya göre kaynak dikişini ayarlamasına izin verir. Geniş kaynak dikişleri, birleşimin her iki yanına bağlantısını geliştirirken, daha dar kaynak dikişleri birleşme yerinde iyi kök kaynaşmasına yardım eder.
- Sinerjik kontrollü P-GMAW yöntemi ile azalan sıçramalar, kaynak sonrası temizleme işlemlerini azaltması ile maliyet ve zaman bakımından fayda sağlar.
- Yöntemin kolay kullanımı, kaynak operatörünün tel besleme hızını tek bir düğme ile ayarlamasıdır. Ark boyu ya da ark voltajı sinerjik kontrollü P-GMAW'da otomatik olarak ayarlandığından, daha uygun kullanım ve verimlilik için ark daha uzun ya da daha kısadır.
- Kaynak uygulamaları; birleşme yetersizliği, porozite gibi hatalara, yanma, sıçrama, distorsiyon gibi problemlere eğilimlidir. Sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynağı bu tür şartlarda iyi bir yöntemdir. Çalışma tekniği sebebiyle üretilen düşük ısı, gaz altı tungsten ark kaynağı(GTAW) gibi bir yönteminin sunduğu iyi nüfuziyet, yığılma miktarı gibi olumlu özellikler sağlamaktadır.
- Sinerjik kontrollü P-GMAW, kalın ve ince malzemelerin kaynağında kullanılabilir. Daha kalın kesitlerde; parçaların yeniden konumlandırılması için geçen zamanı azaltır, çünkü normal spreyci iletim yöntemine göre daha serin kaynak havuzu oluşturur ve bu durum tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilir olmasını sağlar. İnce kesitlerde, yanma olasılığını en aza indirir ve ısı girişini kontrol ederek çarpılma riskini azaltır. Bu ısı girişi kontrolü, kaynak operatörüne daha büyük çaplarda kaynak teli kullanımına izin verir, böylece kaynak yığılma miktarı ve verimlilik artar. Bu ısı girişi kontrolü ayrıca

kaynak operatörüne, daha kısa sürede daha fazla kaynak metalini herhangi bir yüksek ısı girişi riski olmaksızın birleşme yerine iletmesine olanak sağlar.

- Normal MIG/MAG kaynağı ile karşılaştırıldığında sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynağında daha az sıçrama ve duman oluşur. Sıçramanın az olması ile kaynak metali, birleşme bölgesinde kullanılacaktır bu durum önemli derecede maliyeti düşürecektir.
- Sinerjik kontrollü P-GMAW, kontrollü ısı girişi özelliği ile daha az çarpılma, daha kaliteli kaynak ve iyi görünüm özellikleri sunar. Kontrollü ısı girişi özelliklerle, ısı girişine karşı hassas olan paslanmaz, nikel ve diğer alaşım malzemeler için önemlidir.
- Maliyet tasarrufu, daha iyi kalite, gelişmiş verimlilik ve kolay çalışma gibi özellikler sinerjik kontrollü P-GMAW kullanılmasının faydalarını gösterir. İlk yatırım maliyeti korkutsa da, uzun dönemde faydalı olacaktır.
- Sinerjik kontrollü darbeli GMAW'ın temel özelliği, kararlı akım şartları altında globular metal iletimi sağlayan düşük ortalama akımda sprey tip metal iletimidir.
- Sinerjik kontrollü darbeli GMAW, hem sprey iletim hem de kısa devre iletimin en iyi özelliklerini sağlayan sprey iletim sürecinin değiştirilmiş halidir.
- Kaynak kalitesi, kaynağın mekanik özelliklerini etkileyen dikiş geometrisi ve onun mikro yapısından oluşur. Sinerjik kontrollü GMAW'da kaba taneli mikro yapı, ısıdan daha fazla etkilenen bölge ve daha düşük nüfuziyetin olduğu bölge kaynak ömrünü azaltır. Sinerjik kontrollü P-GMAW, daha yüksek pik akımını her darbeye ergiyiğe bir damla geçmesini ve ark kararlılığını sağlamak için daha düşük temel akım da çalışır. Ark salınımı (titreşimi) nedeniyle, darbeli ark nüfuziyet derinliğinin artmasını ve kaynak bölgesinde tanelerin küçülmesini sağlar. En uygun kaynak bağlantısı, darbe parametrelerinin kontrol edilmesiyle elde edilir.
- Darbe, toplam ısı girdisini azaltır ayrıca sprey iletimle ilişkili olarak kaynak birleşmesini sağlar.
- Sinerjik kontrollü darbeli GMAW'da, küçük damlacıklar sıçramaya neden olmadığı için güzel dikiş görünümü sağlar.

- Kaynak operatörleri, darbeler ve soğumalar arasında kaynak ergiyiğinin daha hızlı soğuması nedeniyle daha iyi yönelim kontrolünü kaynak dikişi üzerinde uygularlar. Bu durum, kaynağın yerinden ayrılarak aşırı konveks dikiş ya da ergiyik çökmesini minimize eder.
- Darbeli akım, kaynak bağlantısında mekanik özellikleri iyileştiren tane küçültmeyi elde etmek için kullanılır.
- Sinerjik kontrollü P-GMAW, demir ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında hatta sac metal birleştirilmesinde; diğer kaynak yöntemlerinde birçok sorunla karşılaşılan pozisyonel kaynakta da kullanılabilir. Darbeli akım nedeniyle; distorsiyon, sıçrama, korozyona eğilim ve sıcak çatlama azaltılabilir. Bu süreç, ark karakteristikleri ve kaynak termal çevrimi üzerine darbe parametrelerinin etkisi nedeniyle kaynağın porozite içeriği ve kaynak mikro yapısını etkileyen darbe parametrelerinin doğru seçimine bağlıdır

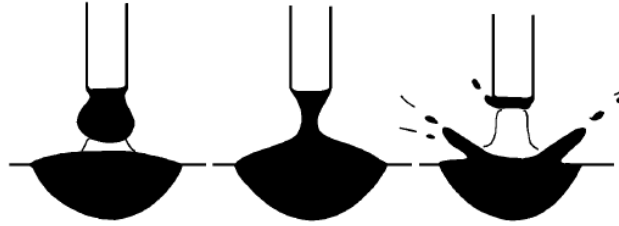
2.1. Sinerjik Kontrollü P-GMAW Kaynak Yönteminde Metal İletimi

Darbeli MIG/MAG yöntemi, kısa devre metal iletimi ile globular metal iletim yöntemlerinin sağladığı daha düşük ısı girdisiyle spreyci tip metal iletimin sağladığı üstün özellikleri biraya getiren MIG/MAG kaynak tekniğidir. Aşağıda yaygın olarak kullanılan metal iletim yöntemlerine ait özellikler verilerek, darbeli MIG/MAG yönteminin daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

2.1.1. Kısa devre metal iletimi

Gazaltı kaynak yönteminde, hem en düşük kaynak akım ve gerilimi kullanılması hem de en küçük çapta kaynak teli kullanılması ile oluşan metal iletim türüdür. Bu metal iletim yöntemi, ince malzemelerin kaynağında ve parçalar arasında geniş kök açıklığı olduğunda iletilen metalin daha az olması sebebiyle hızlı bir şekilde katılan kaynak metali sağlandığından tercih edilir. Şekil 2.1.'de görüleceği üzere kısa devre iletimde, kaynak teli iş parçasına dokunur ve kısa devre yapar. Bu yöntem, hala iyi birleşmeyi sağlayan kaynağın en soğuk biçimidir. Kısa devre yöntemi, kaynak operatörüne tüm pozisyonlarda hem kalın hem de ince malzemelerin kaynağına imkân sağlar. Aynı

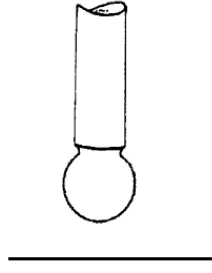
zamanda daha küçük, hızla katılaşılan kaynak havuzu avantajı sağlar. Bu yöntemin olumsuz yönlerine gelince, tel besleme hızının ve kaynak yığıma miktarının kısıtlı olmasıdır. Ayrıca, diğer metal iletim yöntemlerine göre daha fazla sıçrama meydana getirir [9, 10, 11 - 12].



Şekil 2.1. Kısa devre metal iletim yöntemi gösterimi [11]

2.1.2. Globular metal iletimi

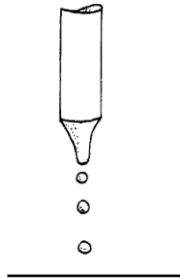
Globular metal iletimi esasen kısa devre iletiminin kontrolsüz yöntemidir. Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi, kaynak telinden ayrılan büyük miktarda kaynak metali ile karakterize edilir. Bu büyük damlacıklar arkta sıkıştırılır ve kaynak havuzuna düşer. Bu iletim tekniği, yüksek ısı girişi ile birlikte çok miktarda sıçrama meydana getirir. Ayrıca, globular metal iletim yöntemi düz ve köşe kaynağı ile sınırlıdır. Sıçramalar kaynak havuzunu bozduğu için yetersiz kaynaşmaya çok sık rastlanır. Globular metal iletim yönteminde daha fazla kaynak teli kullanıldığı için, genellikle daha verimsiz olarak düşünülür. Globular metal iletiminin olumlu yönü ise, kalın malzemelerde iyi nüfuziyet için yüksek tel besleme hızlarında ve akım değerlerinde çalışır. Ayrıca, ucuz olan CO₂ koruyucu gazı ile kullanılabilir. Globular metal iletim türünün en belirgin özelliği, iletilen metal çapının kullanılan kaynak tel çapına göre daha büyük olmasıdır. Globular metal iletiminde ark boyu, iletilen metalin kaynak bölgesine ulaşmadan önce kaynak telinden ayrılabilmesi için mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Böyle bir durumda yani normal değerden daha yüksek kaynak gerilimi nedeniyle yeterli olmayan ergime, kötü nüfuziyet ve gereğinden fazla kaynak dikişinin oluşması kaynak kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir [4, 9, 10 - 12].



Şekil 2.2. Globular metal iletim yöntemi gösterimi [4]

2.1.3. Sprey ark metal iletimi

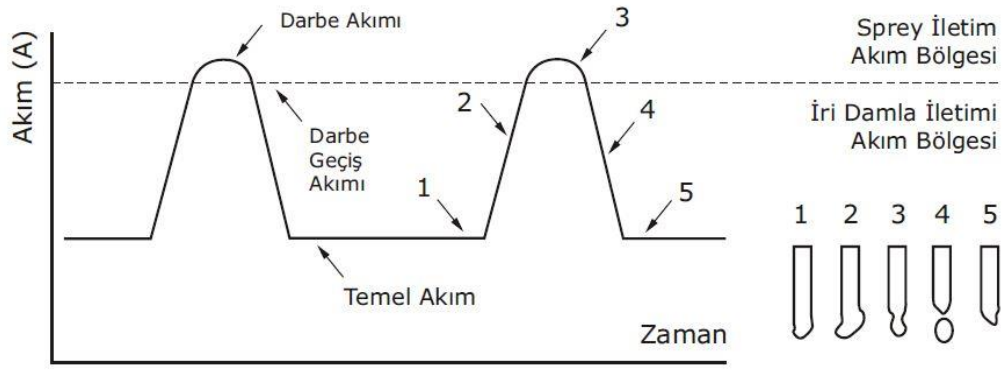
Sprey ark, kaynak tel çapından küçük ergiyik damlacığı iş parçasına iter. Bu yöntem, kaynak telinden iş parçasına sabit bir akışla kaynak metali göndermek için yeterli miktarda akım üretimini sağlayan sabit voltaj sürecidir. Yüksek kaynak metali yığılma oranı, iyi nüfuziyet, güçlü kaynaşma ve az sıçrama ile iyi kaynak dikiş görünümü, yüksek ısı girişi sebebiyle kalın malzemelerin yatay pozisyonda kaynak işleminde iyi nüfuziyet sağlamakla birlikte, sınırlı kaynak pozisyonlarında kullanılması ve ince malzemelerin kaynağında yanma eğilimine sahip olma gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bu teknik ile metal iletimi Şekil 2.3.'de temsili olarak gösterilmiştir. Sprey metal iletimi yüksek kaynak metali yığılma özelliğine sahip olsa da, sprey metal iletimi için gerekli olan minimum akım değeri bazı malzemeler için çok yüksek olup esas malzemeye daha fazla ısı girişine neden olmaktadır. Bu nedenle, geniş kaynak dikişi ve yalnızca yatay pozisyonda kaynak yapabilme gibi olumsuz özellikleri vardır [4, 9, 10, 11 - 12].



Şekil 2.3. Sprey ark metal iletim yöntemi gösterimi [4]

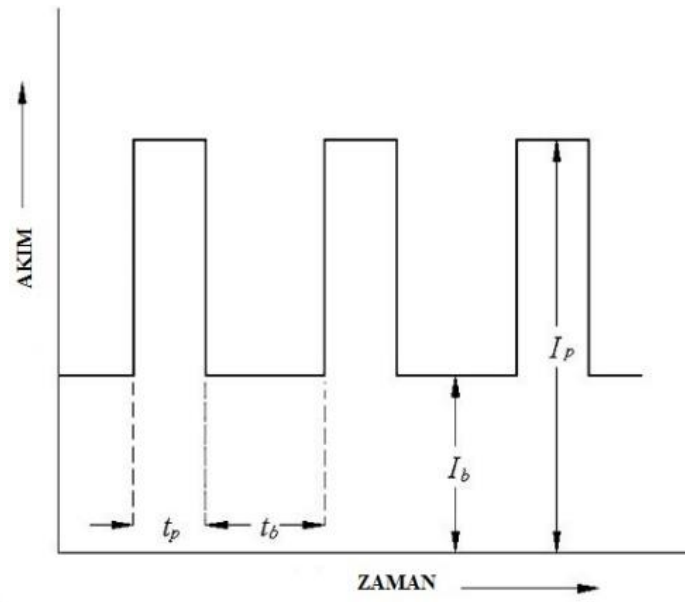
2.1.4. Darbeli ark metal iletimi

Sprey ark iletim yönteminde, iletilen metal damlanın çapı ark boyundan küçük olması sebebiyle kısa devre metal iletimi oluşmaz ve bu sayede, sıçrama önemli derecede azalır. Argonun özelliği gereği koruyucu gaz olarak kullanılmasında sprej ark iletimini, metal alaşımlarının çoğunda kullanmak mümkün olur. Ancak, sprej ark metal iletim türü, globular ve kısa devre metal iletim türlerine göre daha yüksek kaynak akım değerlerinde oluştuğundan sprej ark metal iletiminin kullanılması durumunda ince kesitli malzemelerde malzemenin kesilmesi gibi problemler ortaya çıkabilmektedir. Sprej ark metal iletim türünde, yüksek metal yığılma özelliği nedeniyle tavan pozisyonunda ve düşey pozisyonda kaynak metalini taşınmaz duruma getirir. Sprej ark metal iletim türünün sahip olduğu bu iki olumsuz yönü geliştirilen kaynak güç üniteleri ile daha uygun özellikler sağlanmıştır. Kaynak makinası geliştirilmiş, güç üniteleri sayesinde daha hassas biçimde kontrollü dalga şekilleri ve frekans değerleri ile darbeli (pals) akım oluşturulmaktadır. Şekil 2.4.'de görüldüğü üzere darbeli akım oluşturan kaynak makinaları birbirinden farklı 2 akım değeri oluşturmaktadır. Birinci oluşan akım değeri, kaynak telinden metal iletimini oluşturacak kadar yüksek değerde olmayıp sadece arkın sönmeden kalmasını sağlar. İkinci oluşan akım değeri, birinci akım değeri üzerine ek olarak darbe akımıdır ki, bu akım değeri sprej ark metal iletimi oluşturmak için gereken geçiş akım değerinden de fazladır. İkinci akımın oluştuğu sırada bir ya da birkaç metal damlası kaynak bölgesine geçer. Darbeli akım türü ile sprej metal iletimi, ortalama olarak ark enerjisinin düşük olması ve bu sayede ergime hızının da düşük olması ile ince kesitli malzemelerin kaynağı ve tavan ve düşey kaynak pozisyonlarında kaynak yapabilme imkânı sağlamıştır [4, 9, 10, 11 - 12].



Şekil 2.4. Darbeli spreyl ark metal iletiminde akımın özelliği [10]

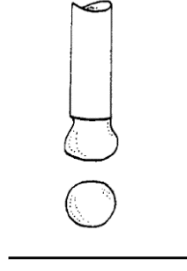
Bu iletim türünde, akım darbe etkisi ile düşük ve yüksek akım seviyeleri arasında çalışır ve ortalama akım her zaman spreyl iletme geçiş için gereken kaynak akım değerinin altındadır. Düşük akımın amacı, arkı sönmeyen tutmak olup, yüksek akım (pik akım) ise metal damlanın ayrılmasını yeterince uzun tutma özelliğine göre çalışır. Kısa devre metal iletimin aksine, P-GMAW sıçrama oluşturmaz ya da soğuk bindirme riski olmaz. Kaynak pozisyonları, globular ya da spreyl iletimde olduğu gibi sınırlı değildir ve kaynak teli kullanımı kesinlikle daha verimlidir. Daha düşük ısı girişi ile ince malzemelerde yanma olayı meydana gelmez. Bu teknikte, kaynak operatörü tel besleme hızını ayarladığında, sinerjik kontrollü çalışma ile otomatik olarak dalga formunu ve frekansını ayarlar. Kaynak makinasının sinerjik çalışması, tüm kaynak işlemlerini kontrol eden tek bir işlem ile kaynağın uygulanabilmesini mümkün kılmaktadır. Akım darbelerinin parametreleri, örneğin; I_p , I_b , T_p ve T_b kaynak özelliklerinde, ark kararlılığında, kaynak kalitesinde, dikiş görünümü ve dikiş geometrisi üzerine önemli etkiler oluşturmaktadır. Bu ifadelerin akım-zaman grafiğinde temsili olarak gösterimi Şekil 2. 5’de verilmiştir [4, 9 - 10].



Şekil 2.5. Darbeli ark metal iletim yöntemi gösterimi [7]

Endüstride, Darbeli Gazaltı Kaynağı (GMAW-P)'nin kullanımının azlığı, kaynak parametrelerinin doğru bir şekilde ayarlanamamasının zorluğu, en önemli neden olarak karşımıza çıkmaktadır. P-GMAW, ince sac metal endüstrisinde birleştirme kalitesi ile birlikte verimliliği arttırmak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem, düşük ortalama akım ile ileri spreylenim sürecinden oluşmaktadır. Kaynak işlemlerinde; kararlı çalışma işlemi, metal iletim davranışına ve ark şeklinin değişimine bağlıdır. Kararlı kaynak süreci, sıçrama olmaksızın homojen metal iletimiyle sağlanır. Telin sonundaki damla, darbe büyüklüğü yeterli değilse darbelere uyumlu olarak ayrılmaz, metal iletimi kararsız olur [6 – 7].

P-GMAW'da ark kararlılığı, tel çapına yakın çapta damlanın her bir darbe de bir damla (ODPP) şartlarıyla en iyi durumda olmaktadır. Dikdörtgen akım darbelerinin temel değişkenleri; pik akımı (I_p), temel akım (I_b), pik akım süresi (t_p), temel akım süresi (t_b) ve darbe frekansı (f)'dır. Darbeli akım, belirlenen frekansta kaynak akımını yüksekten düşük seviye çevrimini içeren sabit kaynak akımının çeşitliliğidir. Bu süreç, her bir darbeye telin sonunda ergiyik metalin bir damla oluşturmasıyla çalışmaktadır. Akımın doğru miktarı, damlanın ergiyik tarafa iletilmesini sağlayacak kadar eklenir. Damlanın telden ayrılma zamanı, pik akım büyüklüğüyle ters orantılıdır. Şekil 2.6'da darbeli ark metal iletiminin tel ucundan ayrılışı şematik olarak verilmiştir [4].

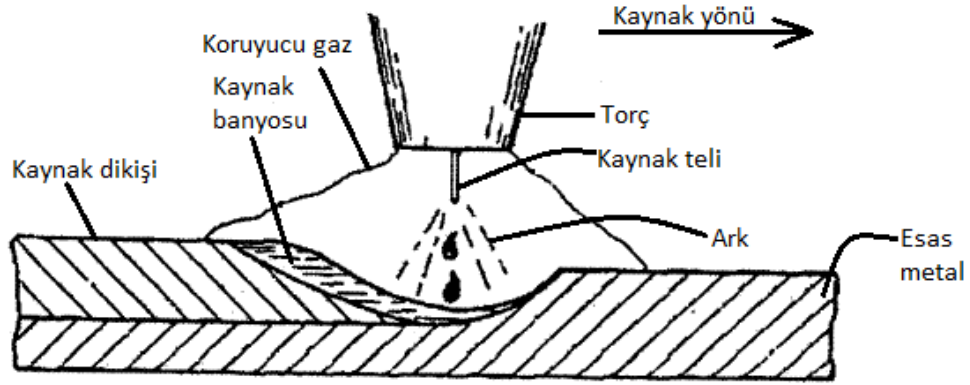


Şekil 2.6. Darbeli ark metal iletim yönteminde ergiyik damlanın ayrılışı [4]

Temel akım değeri, ark kararlılığını sürdürecektir yeterli seviyeye ayarlanıyorken, pik akımın yüksek seviyesi genellikle yeterli nüfuziyeti ve dikiş dış hatlarını sağlamak için seçilir. Esas metalin ergimesini sağlayacak ısı enerjisi yalnızca pik akım darbeleriyle sağlanır. Darbeler arası zaman kısa olduğu için, ısı esas metal içine yayılarak daha dar ITAB oluşuma sebep olur. Bu nedenle, plakanın şekil değişimini azaltan, darbeler arasında soğuma sağlanır [6 - 7].

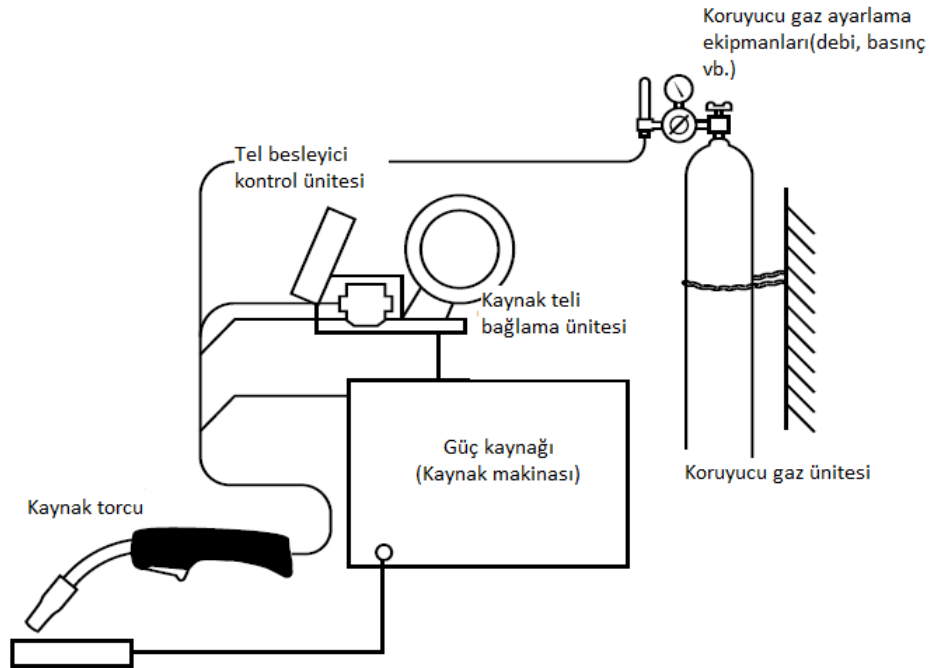
2.2. Sinerjik Kontrollü P-GMAW Kaynak Donanımı ve Çalışma Sistemi

Sinerjik kontrollü darbeli gazaltı MIG/MAG kaynak yöntemi, normal olarak kullanılan gazaltı MIG/MAG kaynak donanımı ile aynı ekipmanları kullanmaktadır. Ancak, sinerjik kontrollü darbeli ark kaynağı, metal iletimi sebebiyle kaynak makinasında ek sistemler mevcuttur. Gazaltı kaynak yönteminde kaynak işlemini sağlayan ısı enerjisi, kaynak bölgesine sürekli iletilen kaynak teli ile kaynak havuzu arasında oluşan ark vasıtasıyla ve kaynak akımının kaynak telinden geçerken etrafında oluşturduğu direnç ısıtması ile üretilir. Atmosferin zararlı etkilerinden kaynak bölgesini korumak amacı ile torç ucundan bu bölgeye seçilen uygun bir gaz veya gaz karışımı gönderilir. Bu teknikte geniş akım aralığında çalışıldığından 300 A yeterli ise 400 A'lık kaynak makinası tercih edilir. Sinerjik kontrollü darbeli gazaltı kaynağının çalışma prensibi Şekil 2.7'de verilmiştir [8, 10 - 13].



Şekil 2.7. Sinerjik Kontrollü Darbeli Gazaltı MIG/MAG kaynağı çalışma prensibi [14]

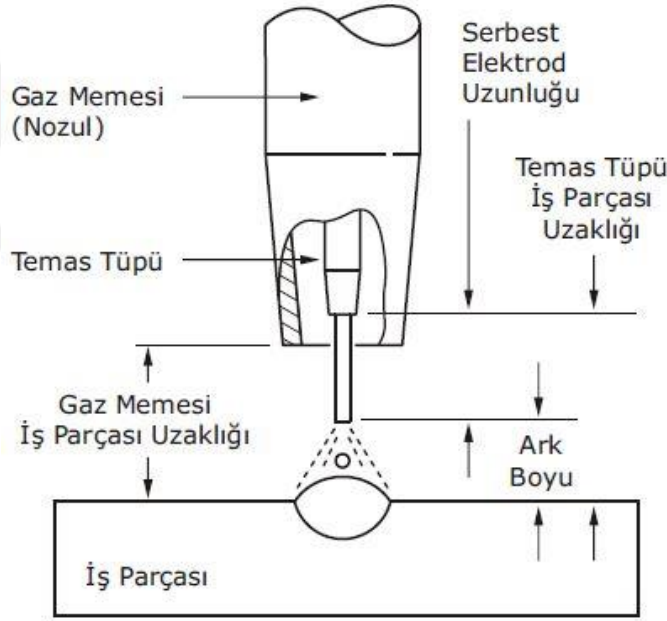
Kaynak operatörü tarafından kaynak işlemi için önceden ayarlanması gereken ayarlamalar yapıldıktan sonra, kaynak makinası tarafından arkın elektriksel özelliği otomatik olarak ayarlanır. Yönteme ait kaynak donanımı Şekil 2.8’de gösterilmiştir [15].



Şekil 2.8. Gazaltı MIG/MAG kaynak donanımı [15]

Yarı mekanize kaynak tekniğinde kaynak operatörünün manuel olarak yaptığı işlemler; kaynak torcunun pozisyonu, kaynağın ilerleme hızı, kaynak doğrultusunun

ayarlanmasıdır. Kaynak işlemine uygun kaynak donanımı seçtikten sonra, ilk ayarlamalar yapılır ve ark boyu ile kaynak akımı kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit tutulur. Sinerjik transistör kontrollü güç kaynakları ile tel besleme hızına bağlı olarak akım ve voltaj değerleri otomatik ayarlanması P-GMAW yönteminin kullanımını kolaylaştırmıştır. Kaynak işlemi için gerekli kaynak donanımı; kaynak torcu ve kablo grubu, kaynak tel besleme mekanizması, kaynak güç ünitesi ve koruyucu gaz grubu olmak üzere 4 gruba ayırmak mümkündür. Torç ve kablo grubu, koruyucu gazın kaynak bölgesine iletilmesi, kaynak telinin ve güç ünitesinden gelen akımın kaynak teline iletilmesini sağlar. Torç tetiğine basılarak, kaynak bölgesine aynı anda koruyucu gaz, kaynak teli iletilir ve ark meydana gelir. Bu yöntemde, sıkça kullanılan bazı teknik terimler Şekil 2.9.'da şematik olarak gösterilmiştir [10].

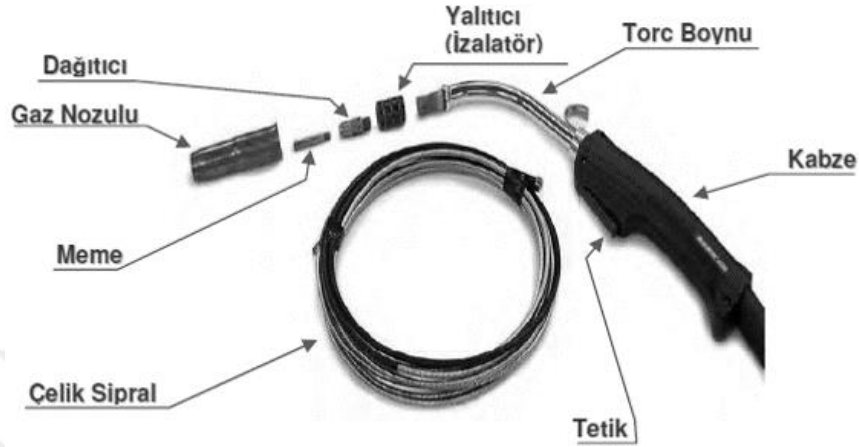


Şekil 2.9. Gazaltı MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan bazı terimler [10]

2.2.1. Kaynak torç sistemi

Kaynak telinin ve koruyucu gazın kaynak bölgesine gönderilmesi ve elektrik gücünü kaynak teline iletmeye yardımcı bir sistemdir. Ark sıcaklığı nedeniyle ısınan torç sistemi sürekli olarak soğutma ihtiyacı duyar. Düşük kaynak akım değerlerinde, koruyucu gaz sayesinde soğutma ihtiyacı karşılanır, ancak 250A'den daha yüksek

kaynak akım değerlerinde kesinlikle su soğutmalı sisteme ihtiyaç duyulur ve mutlaka kullanılması gerekir. Kaynak torç sistemini oluşturan temel elemanlar Şekil 2.10.'da gösterilmiştir [10].

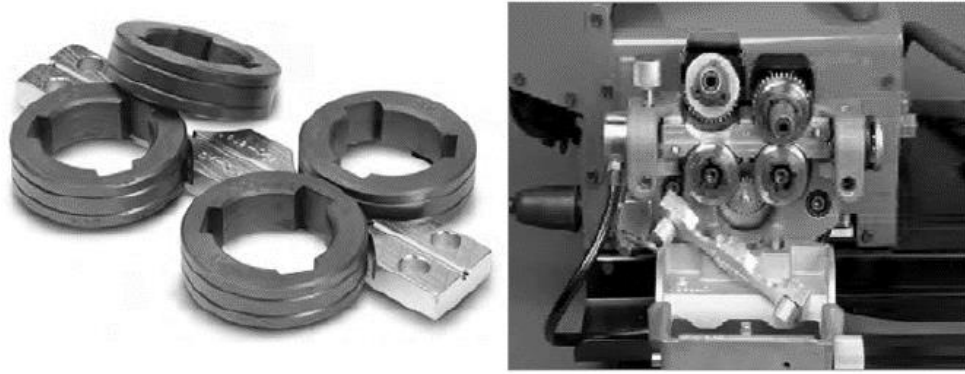


Şekil 2.10. Gazaltı MIG/MAG kaynak torcunun temel elemanları [3]

Kaynak telinin kaynak bölgesine sevk edilmesi ve elektrik akımının kaynak teline iletilmesi bakır ya da bakır alaşımından üretilen temas tüpü (meme) parçasının görevidir. Temas tüpü, metal iletim türüne göre nozul içerisinde veya bir miktar dışarı çıkacak şekilde konumlandırılır [10 - 12].

2.2.2. Kaynak tel besleme sistemi

Tel besleme sistemi; elektrik motoru, kaynak teli makara düzenekleri ve kaynak teli doğrultusunu ve basıncını ayarlayan elemanlardan meydana gelir. Gazaltı kaynak yönteminde sürekli bir şekilde beslenen kaynak teli kullanılmakta olup ağırlıkları 0,45kg'dan 450kg'a kadar değişen aralıklarda silindirler halinde tel bağlama üniteleri vardır. Tel besleme hızına etkiyen güç ünitesi, sabit gerilimli ve sabit akımlı olarak 2 şekildedir, sabit akım sağlayan güç ünitesiyle beraber, otomatik gerilim tespiti gereklidir. Bu tespit sayesinde ark gerilimindeki her bir değişme algılanır ve ark boyunun sabit kalması için kaynak tel besleme hızı değiştirilir. Şekil 2.11.'de kaynak teli besleme mekanizması ve çeşitli türlerde besleme makaraları verilmiştir [10 - 12].



Şekil 2.11. Gazaltı MIG/MAG tel besleme mekanizması ve makaralar [3]

2.2.3. Kaynak kontrol sistemi

Yarı mekanize sistemlerde, kaynağın kontrol edilmesi ve kaynak teli iletme motoru birlikte çalışmaktadır. Kaynak kontrol sisteminin temel görevi, elektronik bir sistem aracılığıyla, kaynak tel besleme motorunun hız ayarını uygun şekilde düzenlemektir. Kaynak operatörü, tel besleme hızını arttırması ile aslında kaynak akımını da arttırmış olur, tel besleme hızını azaltması ile de kaynak akımının azaltılması sağlanır. Normal şartlarda, gaz ve su akışı kaynağın başlatılması ve bitirilmesi ile aynı zamana denk gelecek şekildedir. Fakat, kaynak kontrol sistemi sayesinde gaz akışı kaynak başlamadan önce ve kaynak bitirildikten sonra da devam ettirilerek ergimiş kaynak banyosunun korunmasına devam ettirmek mümkün olmaktadır [10 - 12].

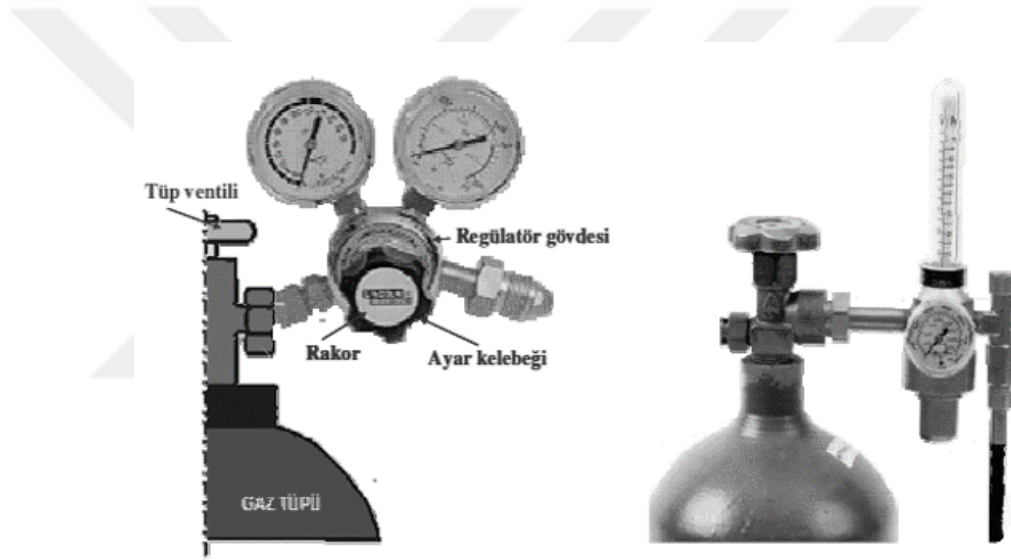
2.2.4. Güç ünitesi grubu

Kaynak gücünü sağlayan bu ünite, ark oluşturmak amacı ile elektrik gücünün kaynak teline ve iş parçasına iletilmesini sağlamaktadır. Gazaltı kaynak yönteminde yaygın olarak kaynak telinin pozitif kutupta olduğu doğru akım kullanılır. Diğer bir ifade ile, güç ünitesinin pozitif ucu torç grubuna, negatif ucu ise iş parçasına bağlanmaktadır. Gazaltı kaynak makinalarında, sabit akımlı ve sabit gerilimli olmak üzere iki farklı güç sistemi vardır. Sabit akımlı güç sistemine sahip kaynak makinalarında, kaynak esnasındaki akım şiddeti ark boyundaki değişmelere bağlı olmaksızın sabit kalmaktadır. Sabit gerilim karakteristikli kaynak makinaları özelliği gereğince, temas tüpü ile iş parçası arasındaki mesafe değişiklikleri akımın arttırılıp azaltılması ile temin

edilmektedir. Ancak, sabit gerilim özelliğine sahip güç sistemlerinin gazaltı kaynak işlemlerinde daha iyi çalışma sağladığı tespit edilmiştir [10 - 12].

2.2.5. Koruyucu gaz ayar ekipmanları

Kaynak sırasında sabit debide gaz akışı sağlayan bir sistem gereklidir. Gazın temin edildiği kaynaktaki basınç değişimleri ne olursa olsun regülatörler sayesinde gaz basıncı sabit bir çalışma basıncına dönüştürülür. Şekil 2.12.'de koruyucu gaz ekipmanları gösterilmiştir. Basınç ayar ventilleri yalnızca belirli tür gaz için üretilmiş olup, farklı gazlar için aynı ventiller kullanılamaz [3, 10, 12 - 16].



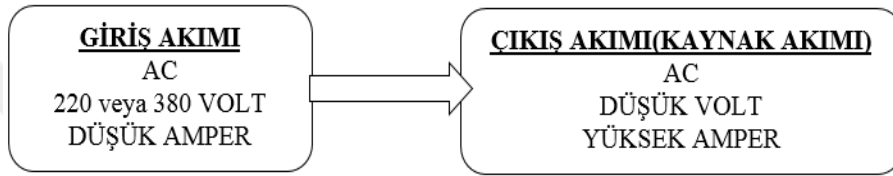
Şekil 2.12. Koruyucu gaz ayar ekipmanları ve gaz debi ölçeri [3]

2.2.6. Sinerjik kontrollü P-GMAW kaynak makinaları

Kaynak makinalarını ürettikleri akım türüne ve elektriksel özelliklerine göre 2 gruba ayırmak mümkündür. Ürettikleri akım türüne göre, alternatif akım kullanan ve doğru akım kullanan kaynak makinaları olmak üzere birbirinden ayrılmaktadır. Elektriksel özelliklerine göre, sabit akım esasına göre çalışan kaynak makinaları ve sabit gerilim esasına göre çalışan kaynak makinaları olarak birbirinden ayırabilmemiz mümkündür [3].

2.2.6.1. Alternatif akım kullanan kaynak makinaları

Alternatif akım kullanan bu makinalar için kaynak trafoları da denilmektedir. Bu makinaların kullanımı ile yalnızca alternatif akımda ergitilebilen rutil örtülü kaynak elektrotları gibi kaynak metali kullanılabilir. AC kaynak makinalarında, topraklama bağlantısı ve kaynak pense grubu sabitlenmiş olduğundan kutuplama değişimi yapmak mümkün değildir. AC kaynak makinaları, güç kaynağından gelen yüksek gerilim ve düşük akımı diğer tarafta düşük gerilim yüksek akım olarak üretirler. Şekil 2.13.'de Alternatif akım kaynak makinası çalışma prensibi verilmiştir [3].



Şekil 2.13. Alternatif akım kaynak makinası çalışma prensibi [3]

2.2.6.2. Doğru akım kullanan kaynak makinaları

Çıkış akımı olan kaynak akımını DC olarak veren bu makinalar çıkışlarında “+” ve “-” kutup seçeneklerine sahiptir. Bu sebeple, tüm elektrot çeşitleri kaynak makinasının gücüne bağlı olarak kullanılabilir. Bu makinalar, redresör ve invertör kaynak makinaları olarak isimlendirilmektedir. Eski tip elektrik arkı ile çalışan kaynak jeneratörleri de doğru akım kaynak akımı üretmektedir [3].

2.2.6.3. Sabit akım esaslı kaynak makinaları

Düşey karakteristikli ark kaynak makinaları da denilmektedir. Bu tip makinalarda, gerilim değişimine rağmen akım sabit kalmaktadır [3].

2.2.6.4. Sabit gerilim esaslı kaynak makinaları

Yatay karakteristikli ark kaynak makinaları şeklinde de bilinir. Sabit gerilim esasına göre çalışan bu makinalar MIG/MAG ve tozaltı kaynak makinaları için tercih edilmektedir. Bu makinalarda, doğrudan çalışma gerilimi ayarı, tel besleme hızı, gazaltı kaynağında koruyucu gaz ayarı, tozaltı kaynağında toz akış ayarları da yapılabilmektedir. Tel besleme hızı, dolayısı ile kaynak akımının ayarlanması demektir. Son zamanlarda geliştirilen sinerjik makinalarda, tel besleme hızının ayarlanmasına gerek olmadan seçilen malzeme, voltaj ve kaynak tel çapına göre kaynak makinası tel besleme hızını otomatik olarak belirlemektedir. Sinerjik kontrollü kaynak makinaları basit kullanım kolaylığına sahiptir [3, 8 - 9].

2.3. Sinerjik Kontrollü P-GMAW Kaynak Değişkenleri

Sinerjik kontrollü darbeli gazaltı MIG/MG (GMAW) kaynak değişkenleri için gazaltı MIG/MAG kaynağındaki değişkenlere ek ayrıca darbe değişkenleri de dahil edilmektedir. Bu yöntemde kaynak değişkenlerinin bazıları bağlı olduğu diğer değişkene göre değer aldığından ayrı başlıklar altında açıklanan kaynak değişkenlerinin tek başına olan etkisi açıklanmıştır.

Kaynak nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve genel kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri aşağıda verilmiştir. Bu değişkenler birbirinden bağımsız olmadığı gibi birinin değiştirilmesi ile istenen sonucu elde edebilmek için diğerlerinin veya bir kaçının da değiştirilmesini gerektirmektedir [10 - 12].

Sinerjik kontrollü gazaltı darbeli MIG/MAG kaynağında genel olarak kaynak kalitesine etki eden değişkenler aşağıdaki gibidir. Pik akım, pik akım bekleme süresi, temel akım ve temel akım bekleme süresi seçilen diğer kaynak değişkenlerine göre sinerjik kontrollü kaynak makinasında tanımlanan algoritmalara göre makine tarafından ayarlanır [10 - 12] :

- Kaynak akımı(kaynak teli besleme hızı)
- Kutuplama
- Ark gerilimi(ark boyu)
- Kaynak hızı
- Serbest kaynak teli uzunluğu
- Kaynak teli açıları
- Kaynak pozisyonları
- Koruyucu gazlar
- Kaynak tel çapı
- Pik akım
- Pik akım bekleme süresi
- Temel akım
- Temel akım bekleme süresi

Kaynak değişkenlerinin en uygun durumu aşağıdaki faktörler dikkate alınarak seçilir [4 - 10] :

- Esas metalin tipi
- Kaynak teli bileşimi
- Kaynak pozisyonu
- Kaynak bağlantısının kalitesi ile ilgili istekler.

2.3.1. Kaynak akımı

GMAW'da kaynak akımı, tel besleme hızına bağlıdır. Kararlı bir kaynak işlemi için erime hızı ile tel besleme hızı eşleşmelidir. İyi bir ark kararlılığı, iyi metal iletim şartları altında başarılır, özellikle tel besleme hızı tel erime hızı tarafından tam olarak eşlendiğinde mümkün olur. Düşük tel besleme hızı, ergiyiğin geri püskürmesine ve yüksek tel besleme hızı ise kısa devre aracılığıyla arkı söndürmeye neden olur. Tel besleme hızı, iletilen damlacığın boyutu, iletimi ya da tekrar frekansı tarafından belirlenir. Örneğin; düşük besleme hızlarında, frekans düşük olmalıdır. Sabit tel besleme oranlarında, pratik uygulamalar için frekans için geniş bir aralık tercih

edilebilir. Tüm diğer değişkenler sabitlendiğinde, tel besleme hızı akımın bir fonksiyonu olacak ve tel besleme hızı GMAW’da olduğu gibi aynı ilişkiler takip edilerek tespit edilebilecektir. Kaynak akımı, diğer tüm değişkenlere göre ergimeye, nüfuziyete ve dikiş şekline en fazla etkiyen değişkendir. Sabit gerilimli kaynak makinalarında, tel ilerleme hızı ile kaynak akımı doğru orantılı olarak değişir. Diğer tüm değişkenler sabit tutulup kaynak akımı arttırıldığında, kaynak nüfuziyeti ve genişliği artar, yığma hızı ve kaynak dikiş boyutlarında da artma meydana gelir [6, 7, 10, 11, 12, 13, 20, 21 - 22].

2.3.2. Kutuplama

Kutuplama ifadesi kaynak torcunun bir doğru akım ünitesinin kutuplarına elektriksel olarak bağlanmasını tanımlamak için kullanılır. Torcun güç kablosu, kaynak ünitesinin pozitif kutbuna bağlanırsa bu kutuplamaya “doğru akım kaynak teli pozitif kutuplama” veya “ters kutuplama” adı verilir. Ters kutuplama ile daha yüksek nüfuziyet sağlanmaktadır. Torç negatif kutba bağlanırsa bu kutuplamaya “doğru akım kaynak teli negatif kutuplama” veya “düz kutuplama” adı verilir. Ergiyen kaynak teli gazaltı kaynağı uygulamalarının büyük çoğunluğunda ters kutuplama kullanılır. Bunun nedeni ise bu kutuplamanın geniş bir kaynak akım aralığında kararlı bir ark, yumuşak metal iletimi, göreceli olarak daha az sıçrama, iyi bir kaynak dikiş özelliği ve daha fazla nüfuziyet oluşturmasıdır [10, 12 - 22].

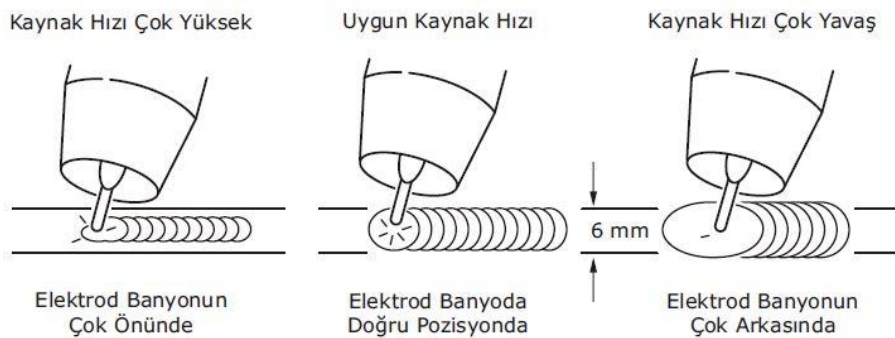
2.3.3. Ark gerilimi

Ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbirinin yerine kullanılan terimlerdir. Ark boyunun çok kısa ve uzun olması farklı problemlere yol açar. Ark boyu bağımsız bir değişkendir. Ancak, ark gerilimi hem diğer birçok değişkene hem de ark boyuna bağlı olarak değişir. Ark geriliminin, ark boyu dışında etkilendiği diğer değişkenler şunlardır, kaynak telinin kimyasal bileşimi ve çapı, koruyucu gazın cinsi, kaynak yöntemi ve kaynak kablosunun uzunluğundan da etkilenir. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda, ark gerilimi doğrudan ark boyuna bağlıdır, ark uzunluğunun ayarı ark geriliminin ayarıyla yapılabilir ve ark geriliminin ayarı, malzemeye, koruyucu gaza ve

damla iletim tipine bağı olarak değişir. Aşırı derecede büyük ark boyu, gözenekliliğe, sıçramaya ve yanma oluşuna neden olur. Ark boyu ile nüfuziyet doğru orantılıdır ancak nüfuziyeti çok az etkilemektedir Ark boyunun azalması ile, daha dar ve daha yüksek kaynak dikiş, daha derin nüfuziyet ve daha az sıçrama elde edilir. Aşırı derecede küçük ark boyu ise, kaynak telinin iş parçasına yapışmasına neden olur [7, 10, 12, 13, 20, 22 - 23].

2.3.4. Kaynak hızı

Kaynak hızı, arkın kaynak birleşmesi boyunca ilerleme hızıdır. Diğer tüm şartlar sabit tutulduğunda orta değerdeki kaynak hızlarında kaynak nüfuziyeti en fazladır. Kaynak hızı azaldığında, birim kaynak uzunluğunda yığılan kaynak metali miktarı artar. Çok düşük kaynak hızlarında, kaynak arkı esas metal yerine ergimiş kaynak banyosu üzerinde yanar ve nüfuziyet azalır, geniş kaynak dikiş oluşur. Çok yüksek kaynak hızlarında, ark tarafından eritilen yolu doldurmaya yetecek kadar dolgu metali yığılamayacağından kaynak dikişinin kenarlarında yanma olukları meydana gelir. Kaynak hızı ile nüfuziyet arasında ters orantı vardır. Şekil 2.14.'de kaynak hızına bağı olarak kaynak dikişinin gösterimi verilmiştir [7, 10, 12, 20, 22, 24 - 25].



Şekil 2.14. Kaynak hızına bağı olarak kaynak dikişinin şekli [10]

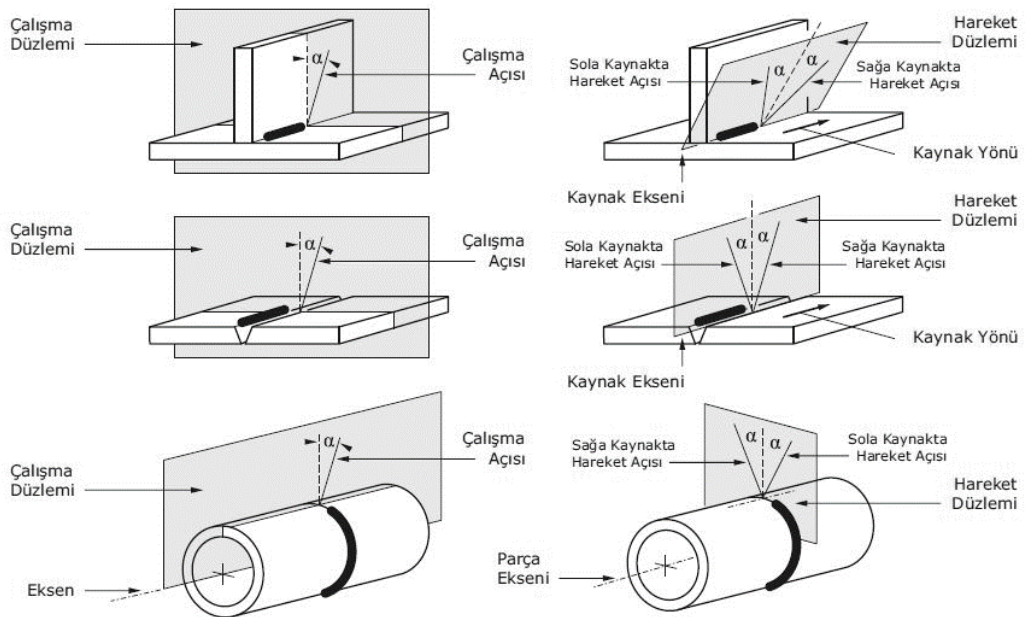
2.3.5. Serbest kaynak teli uzunluğu

Serbest kaynak teli uzunluğunun artması kaynak teli direncinde artmaya neden olur. Direncin artması, direnç ısıtmasının artmasına bu da kaynak teli sıcaklığının

yükselmeye neden olarak ark boyunu bozar. İstenen serbest kaynak teli uzunluğu genellikle kısa devre metal iletimi için 6-13 mm, diğer tip metal iletimleri için 13 - 25 mm arasında değişmektedir [10 - 12].

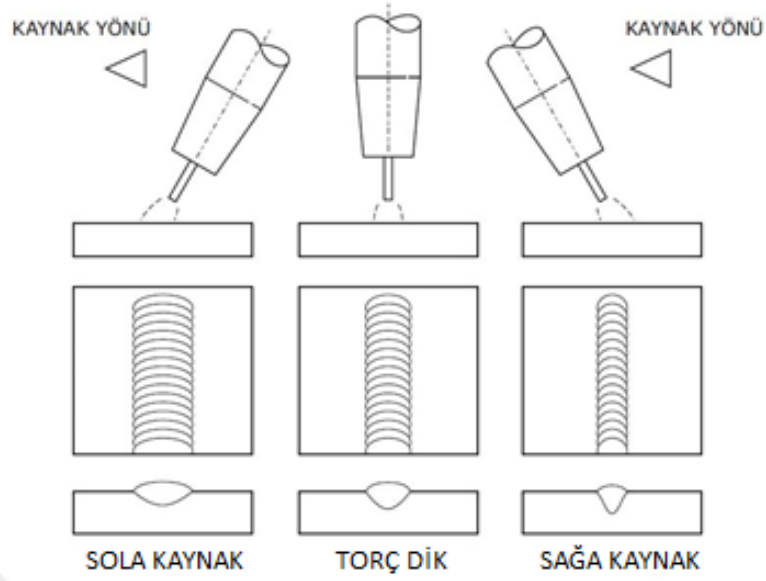
2.3.6. Kaynak teli açıları

Diğer tüm ark kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi, kaynak telinin kaynak bağlantısına göre açıları, kaynak dikiş şeklini ve nüfuziyetini etkiler. Kaynak teli açılarının, dikiş şekli ve nüfuziyetine olan etkisi, ark gerilimi ve kaynak hızından daha büyüktür. Kaynak teli açılarını tanımlayabilmek için, çalışma düzlemi ve hareket düzlemi tanımını bilmemiz gerekir. Kaynak (hareket) doğrultusuna dik olan düzleme “çalışma düzlemi”, kaynak doğrultusu ile kaynak telinden geçen düzleme de “hareket düzlemi” adı verilir. Şekil 2.15.’de bu düzlemlere göre kaynak açıları gösterilmiştir [10, 12 - 24].



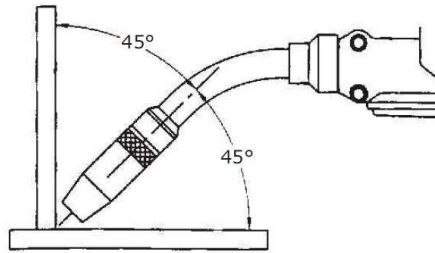
Şekil 2.15. Hareket ve çalışma düzlemleri ile kaynak teli açıları [10]

Kaynak telinin ucu kaynak yönünün aksi yönüne doğru yönelmişse, bu tekniğe “sağa kaynak”, kaynak doğrultusuna doğru yönelmişse “sola kaynak” olarak adlandırılır. Bu tekniklerin gösterimi ve kaynak dikişine etkisi Şekil 2.16.’da verilmiştir [10 - 12].



Şekil 2.16. Kaynak teli açıları ve kaynak dikişine etkisi [10]

Tüm kaynak pozisyonlarında, ergimiş kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için normal olarak kullanılan kaynak teli açısı 5 ile 15 derece arasında değişen hareket açılarıdır. Sola kaynak tekniği, ergimiş kaynak metalinde temizlik etkisi oluşturup ıslatmayı iyileştirmesi ve esas metalin oksidasyonunu azaltması sebebiyle alüminyum kaynağında tercih edilir. Yatay pozisyonda kaynak yapılırken kaynak teli Şekil 2.17.'de gösterildiği üzere 45 derece açı ile tutulur [10].



Şekil 2.17. Yatay iç köşe kaynağında torç açısı [10]

2.3.7. Kaynak pozisyonları

Ark kaynağında en uygun kaynak pozisyonu oluk pozisyonudur, bu pozisyonda ergimiş kaynak metalini yer çekimi kuvveti etkisiyle kaynak banyosundan akamaz ve kaynakçının kaynak banyosunu çok iyi kontrol edebilmesi mümkün olur. Ayrıca, oluk

pozisyonunda yüksek kaynak akım değerleri kullanılabilir bu sayede kaynak işlemi daha hızlı gerçekleşir. Oluk pozisyonu dışındaki tüm kaynak pozisyonlarında ergimiş kaynak metali kaynak bağlantısının dışına akma eğilimindedir, bu nedenle kaynak operatörü akım değerini düşürerek, daha küçük çaplı tel kullanarak ergimiş kaynak metalini bağlantı dışına akmadan katılaşmasını sağlayarak bu durumu önler. Oluk pozisyonunda 350 A değerine ıkılabilirken bu değer tavan pozisyonunda 160 A değerinde dahi zorluk çıkarır. Diğer kaynak pozisyonlarında, oluk pozisyonunda tek pasoda yığılan kaynak metalini sağlayabilmek için 4 pasoya kadar kaynak işlemi gerekebilir [10 - 24].

Sprey metal iletimli kaynakların çoğu oluk ve yatay pozisyonlarda gerçekleştirilir. Buna karşılık, düşük enerji seviyelerindeki darbeli ve kısa devre iletimli kaynaklar tüm pozisyonlarda kullanılabilir. Düşey ve tavan pozisyonlarında, yerçekiminin kaynak metali üzerindeki çekme etkisini yenebilmek için küçük çaplı kaynak telleri ($\text{Ø}1,1$ çaplı ve daha küçük çaplı kaynak telleri genelde tercih edilir) ya da kısa devre metal iletimli veya darbeli iletimli kaynak yapmak gerekir. Düşük ısı girdisinin kullanılması, zor pozisyonların kaynağı için çok uygundur. Bu sayede ergimiş kaynak banyosunun hızla katılaşması sağlanır. Düşey pozisyonundaki ince sacların kaynağında genellikle yukarıdan-aşağıya kaynak tercih edilmektedir [10 - 26].

2.3.8. Koruyucu gazlar

Koruyucu gazlar, kaynak kalitesine birbirinden farklı Őekillerde etki ederler. Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturmak üzere de azotla birleşmeye daha düşük lde bir eğilim gösterirler [10 - 12]. Koruyucu gazlar Şu özelliklere sahip olmalıdır [6]:

- Ark plazması ve kararlı kök mekanizması oluşturmak,
- Telin ucundan ergiyik metalin düzgün ayrılmasını sağlamak,
- Oksidasyondan arkın yakın çevresinde kaynak kafasını, ergiyik havuzunu ve tel ucunu korumak.

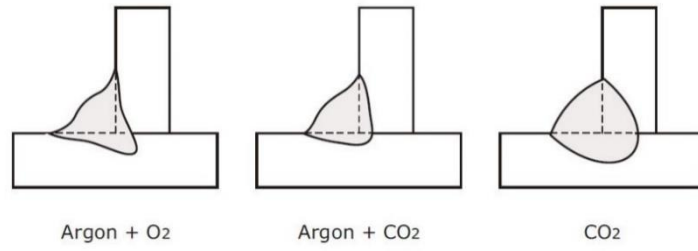
Bu reaksiyonların ürünleri aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur [10 - 12]:

- Oksitler nedeniyle ergime hataları
- Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle oluşan mukavemet kayıpları
- Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi

Koruyucu gazın esas görevi, kaynak banyosunun atmosferle temasını engellemektir. Yani, koruyucu gaz burada örtülü kaynak tellerinde ki örtünün görevini yerine getirir. Bu esas görevi dışında koruyucu gaz, kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen durumlarda da önemli etkileri vardır [10 - 12]:

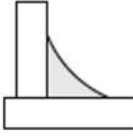
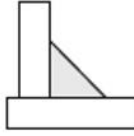
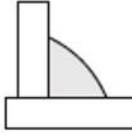
- Ark karakteristiği
- Metal iletim şekli
- Nüfuziyet ve kaynak dikiş profili
- Kaynak hızı
- Yanma oluşu oluşma eğilimi
- Temizleme etkisi
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Koruyucu gaz olarak; soy gazlar, argon-helyum karışımları, argon-helyum karışımına oksijen ve CO₂ ilavesi, CO₂ gibi gazlar kullanılmaktadır. Saf olarak argon ve helyum gazının üstünlükleri ve sınırlamaları olması nedeniyle bu ikisinin karışımı gazlar da kullanılmaktadır. Ayrıca, argon ve helyum karışımına gerek olumlu özellikler katmak gerekse de olumsuz özelliklerinin etkisini azaltmak amacıyla O₂ ve CO₂ ilavesi yapılarak oluşturulan karışım gazlar da koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Saf olarak CO₂ koruyucu gazı, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında yaygın olarak kullanılan aktif bir gazdır. Yaygın olarak kullanılma nedenleri; daha yüksek kaynak hızı, daha fazla bağlantı nüfuziyeti, daha düşük maliyet sağlamasıdır. Fakat, CO₂ gazının karışım gazdaki oranının artması ark kararlılığını azaltır ve sıçramaların artmasına neden olur. Şekil 2.19.'da çeşitli gazların kaynak dikiş şekline ve nüfuziyete olan etkisi gösterilmiştir [6, 10, 12 - 23].



Şekil 2.18. Çeşitli gazların kaynak dikiş şekline nüfuziyete etkisi [10]

Koruyucu gaz içeriğindeki O₂ yoğunluğuna göre dikiş profilindeki değişimler Şekil 2.20.'de oksijen içeriği ve yüzey gerilimine bağlı olarak gösterilmiştir. Kaynak nüfuziyeti, koruyucu gaz debisinden etkilenmemektedir [7 - 10].

Oksijen İçeriği	Yüksek	Orta	Düşük
Yüzey Gerilimi	Düşük	Orta	Yüksek
Dikiş Profili			
	İçbükey	Düz	Dışbükey

Şekil 2.19. O₂ yoğunluğunun dikiş profiline etkisi [10]

Sinerjik kontrollü darbeli GMAW, esas olarak sprej tip süreci olduğu için, saf CO₂ aşırı sıçrama ve kararsız ark meydana getirmesi nedeniyle sinerjik kontrollü GMAW-P'de kullanılmaz. Bu nedenle, koruyucu gaz kullanımını bakımından sınırlandırılır. Argon, sprej iletim verecek gazdır bu sebeple, darbeli ark için kullanılan gaz karışımlarının temelini oluşturur. Ticari olarak %99.95 saf argon Al kaynağında kullanılır, fakat zayıf ark kararlılığı olması nedeniyle çelik gibi malzemeler için tavsiye edilmez. Kararlı sprej ya da darbeli metal iletimi için ideal ark yapıcı Ar + O₂ gaz karışımıyla sağlanır [6].

2.3.9. Kaynak teli seçimi

Kaynak teli seçimi, kaynak bağlantısının tasarımı sürecinde yapılır ve her iş için iyi özellik gösteren kaynak teli bulmak mümkün olmamaktadır. Belirli bir iş için seçilecek kaynak teli için ise, kaynak edilecek esas malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri gibi etkenlere göre tercih yapılır. Düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağında kaynak metalinin mekanik özelliklerinin eşit olması ve kaynak metalinin karbon oranı esas metalden daha düşük tutulması gerekir. Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında, kaynak teli esas metalin mukavemetine eşit mukavemet sağlayacak şekilde seçilir. Kaynak metalinin karbon içeriği esas metalin karbon içeriğinin yarısı kadar olduğunda mukavemet bakımından benzerlik sağlanır. Çeliklerin ark kaynağı için 3 farklı kaynak teli kullanılır [10 - 12] :

- Düşük karbonlu çelik, genellikle bağlantı mukavemeti ile ilgili sınırlayıcı bir durum yoksa, alaşımlı çelik ile düşük karbonlu çeliğin kaynağında tercih edilir.
- Alaşımlı çelik, kaynak bağlantısının mukavemeti, esas metalin mukavemetine eşit veya yakın olması gereken durumlarda kullanılır.
- Yüksek alaşımlı çelik (paslanmaz çelik veya nikel esaslı), farklı çeliklerin kaynağı gibi özel uygulamalarda kullanılır [10].

Kaynak tel çapı, kaynak dikişinin şekil ve boyutlarını etkiler. Büyük çaplı kaynak telleri, aynı metal iletim tipi için küçük çaplı kaynak tellerine nazaran daha yüksek değerlerde akım gerektirir. Daha büyük akımlar ise, ilave kaynak teli ergimesi ve daha büyük akışkan kaynak banyoları oluşturur. Yüksek akımlar, daha yüksek yığılma hızına ve daha fazla nüfuziyete neden olur [10, 22 - 26].

2.3.10. Darbe değişkenleri

Darbeli MIG/MAG kaynağında önceki başlıklar altındaki, kaynak akımı, gerilimi vb. kaynak değişkeni olarak kabul edilmekle birlikte ayrıca darbeli olması sebebiyle temel akım (I_b : Background current), temel akım bekleme süresi (t_b), pik akım (I_p) ve pik akım bekleme süresi (t_p) gibi dört farklı daha değişken bulunmaktadır.

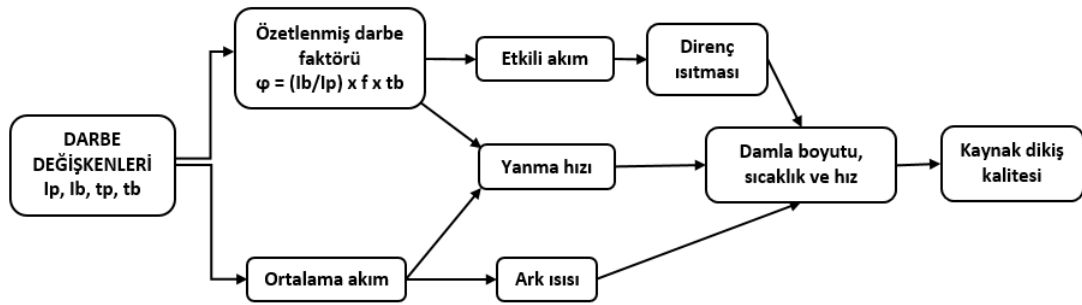
Darbeli MIG/MAG kaynağında kaynak kalitesini doğrudan etkileyen değişkenler şu formül ile ifade edilmiştir; “ $\phi = (I_b/I_p) \cdot t_{fb}$ “ faktörüyle özetlenebilir. Formülde; ϕ , özetlenmiş darbe faktörü, I_b : Temel akım, I_p : Pik akım, t_{fb} : Temel akım bekleme süresi olarak ifade edilir.

İstenilen kaynak dikişinin elde edilebilmesi için darbe parametrelerinin uygun seçimiyle, kaynak havuzunun akıcılığına ve yerçekimine karşı damlayı itecek hıza uygun, gereken boyutta damla sağlanmış olur. Araştırmacılar, en uygun iletimin gerçekleştiği ODPP (One Droplet Per Pulse - her bir darbeye bir damla)'yi sağlamak için birçok teorik hesaplamalı ve deneysel çalışma yapmışlardır. Özetlenmiş darbe faktörü ϕ ; kaynak mekanik özellikleriyle güçlü bir şekilde ilişkili olan tane küçültme, kaynak porozite içeriği, ITAB genişliği, kaynak birleşim alanı gibi çeşitli kaynak kalite özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [6 - 7].

Kaynak kalitesi üzerine darbe parametrelerinin etkisi ve bu parametrelerin seçimi için araştırmacılar tarafından kullanılan çeşitli yaklaşımlar detaylı bir biçimde incelenmesi sonucunda, ODPP'yi sağlayacak parametrelerin belirlenmesi deneme-yanılma yoluyla yapılan çok karmaşık bir süreçtir. ODPP'yi sağlayacak damlacık çapının yaklaşık olarak tel çapına eşit olduğu tespit edilmiştir. Kaynak dikiş özelliklerini belirleme de, darbe parametrelerinden pik akımı ve pik bekleme süresi baskın olarak rol oynadığı görülmüştür [6].

Darbe değişkenleri, dikiş geometrisine ve iç kalıntı gerilmelere etki eder. Darbe değişkenlerinin kaynak dikiş kalitesine etkisi Şekil 2.21.'de gösterilmiştir. Darbe frekansının artmasıyla derinliğin genişliğe oranı artar. ITAB genişliği, darbe frekansının artması ve darbe süresinin artmasıyla artar. Belirli bir ortalama akımda metal damlanın sıcaklığının azalması nedeniyle ITAB genişliği ϕ 'nin artmasıyla lineer olarak azalır. Dikiş genişliği, özellikle yüksek ϕ değerlerinde ortalama akımla artar. Fakat, kaynak nüfuziyeti ϕ değerini sabit tutarak ortalama akımın artmasıyla çok az bir şekilde değişir. Sabit ortalama akımda ϕ değerinin artması damla sıcaklığını azaltır. P-GMAW yönteminde kabul edilebilir nüfuziyet, düşük ısı girdisinde veya düşük ortalama akımda, daha yüksek pik akımında damla yığılma hızının artmasıyla başarılır.

P-GMAW'da ϕ 'nin artmasıyla kaynak metalini yığma sıcaklığında azalma olur bu nedenle kaynak birleşimin kök takviyesini önemli derecede azaltır. P-GMAW'da ϕ 'nin 0,41'e kadar artması birleşim alanı kadar kaynak metal alanını da azaltır fakat nüfuziyette önemli bir artış meydana getirir [7].



Şekil 2.20. Darbe değişkenlerinin kaynak dikiş kalitesine etkisi [7]

ϕ 'nin artmasıyla ısı girişinin artması ve kaynak dikiş özelliklerinde artma meydana gelmiştir. ϕ 'nin artmasıyla kaynak metalinde boylamasına ve enine kalıntı gerilmeleri azalır. Kaynak dikiş şekli, demir ve demir dışı metallerin kaynağında ϕ darbe faktörü tarafından önemli derecede etkilenir. Kaynak geometri özellikleri, ϕ 'nin artmasıyla artar. Damlada gaz çözülebilirliği ve damla sıcaklığındaki azalma sebebiyle verilen ortalama akım için ϕ 'nin artmasıyla ve verilen ϕ 'de ortalama akımın artmasıyla kaynakta porozite içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir [7].

Çoğu demir esaslı kaynaklı birleştirmelerde en zayıf bölge, kaynak bölgesi ve ITAB bölgesi olarak tespit edilmiştir. Çeşitli mikro yapı hataları örneğin; tane büyümesi, karbür çökmesi ve martenzit oluşumu düşük alaşımlı çelik kaynağının ITAB bölgesinde sıklıkla meydana gelir ve kırılmaya olan eğilimi artırır, tokluğu azaltır. Kaynak metalinin sertliği, kaynağın akma mukavemeti, darbe tokluğu ve yorulma ömrü temel olarak kaynağın mekanik özelliklerini ifade eder. Kaynaklı bağlantının çekme mukavemeti özelliği, kaynak dikiş şekline ve kaynak mikro yapısına bağlıdır. Yorulma dayanımı, kaynak porozite içeriğine ve kaynak dikiş şekliyle ilgili kalıntı gerilmelerin oluşumuna bağlıdır. Kaynak nüfuziyeti, kaynaklı bağlantının mukavemetini ve çalışma şartlarındaki ömrünü etkileyen ana etkidir. ITAB bölgesi

C'lu çeliklerde kaynak kalitesini arttırmak için azaltılmak zorundadır. ITAB ve kaynak metali arasındaki sertlik değişimi birleşimin mukavemeti ile yakından ilişkilidir. Darbe değişkenleri sertliği etkileyen mikro yapıyı değiştirir. Sabit ortalama akımda, darbe süresinin ya da darbe frekansının artması, karbon çeliklerinin ITAB ve kaynak metalinde sertliği düşürür. P-GMAW'da ark voltajı ya da kaynak hızının artması kaynağın sertliğini önemli miktarda artırır. Kaynak dikiş sertliği, ortalama akımın artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir, özellikle daha yüksek darbe frekansında ya da darbe süresinde ve daha düşük ark voltajında bu değişim olmuştur. Bunun nedeni, kaynak havuzunun kızgın olması nedeniyle tane büyümesinin etkisiyledir. ϕ 'nin artmasıyla ITAB bölgesinin sertliği lineer olarak artmaktadır. Sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynağında darbe değişkenleri kaynak makinası tarafından seçilen başlangıç değişkenlerine bağlı olarak en uygun kaynak değerlerine ayarlanmaktadır [7].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzeme ve Yöntem

Ekskavatör kovalarının kaynaklı uygulamalarında S690QL / XAR 400 çelikleri ile T-iç köşe bağlantı türü uygulanabilmektedir. S690QL yüksek mukavemetli yapı çeliğidir. XAR 400 ise aşınma dayanımı ve mukavemeti yüksek olduğu için tercih edilmektedir. S690QL ve XAR 400 çeliklerinin kaynağında önerilen kaynak teli ER110SG kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan S690QL / XAR 400 çelik malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 3.1.'de ve kaynak teli malzemesinin kimyasal bileşimleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Esas malzemelerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr
S690QL	0,137	1,243	0,303	0,013	0,001	0,478
XAR 400	0,15	1,04	0,35	0,014	0,001	0,29

Tablo 3.2. Kaynak telinin kimyasal bileşimi

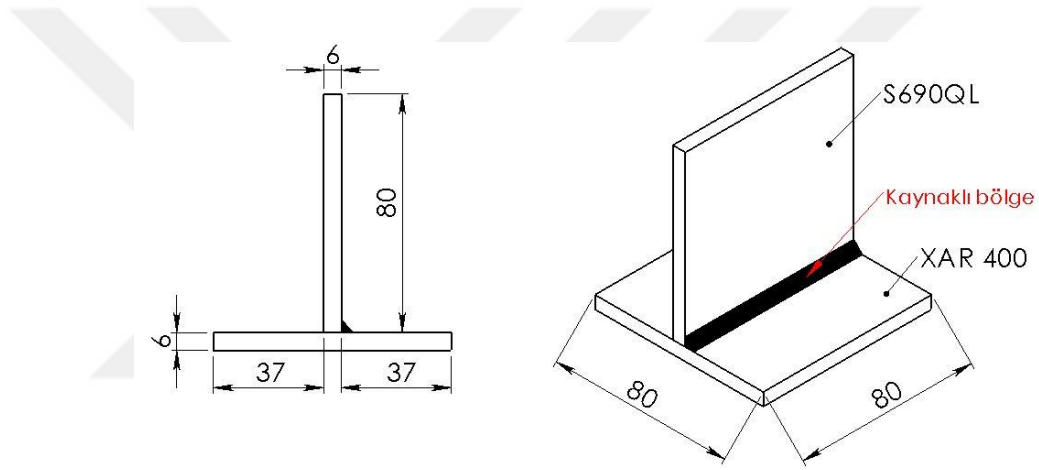
Malzeme	% C	% Mn	% Si	% Mo	% Ni	% Cr	% Cu
ER110SG	0,09	1,7	0,75	0,5	2	0,3	0,2

Benzer ürünlerin kaynaklı imalatında MIG/MAG kaynak yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. MIG/MAG kaynak yönteminde ısı girdisi fazlalığı nedeniyle oluşan problemler sonucu darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Darbe değişkenlerinin seçiminin karmaşıklığı nedeniyle, kolaylık sağlaması için sinerjik kontrollü kaynak makinaları ortaya çıkmıştır. MIG/MAG kaynak yönteminin uygulamada sağladığı avantajlar üzerine ısı girdisi problemlerini minimize eden ve

kaynak değişkenleri seçimini optimize eden sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG kaynak yöntemi son zamanlarda yaygınlaşmaktadır.

Bu nedenle, sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG yöntemi ile 80 x 80 x 6mm boyutlarında S690QL / XAR 400 çelik malzemelerinin T-iç köşe bağlantılarında tel besleme hızı, ark boyu ve ark dinamiği işlem değişkenlerinin kaynak akımı, kaynak gerilimi ve nüfuziyet değerlerine etkileri deneysel çalışmalarda incelenmiştir.

Deneysel çalışma numunelerinin boyutları ve T-iç köşe bağlantısı üç boyutlu çizimi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Numune boyutları ve bağlantı türü

3.2. Kaynak Techizatı

Kaynak işlemi öncesinde ve sonrasında ısıtma yapılmamıştır, tüm numuneler aynı ortam sıcaklığında ($\approx 25^{\circ}\text{C}$) kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılacak saclar plazma kesim işleminden sonra çapak, kir, pas ve yağ gibi yabancı maddelerden temizlemek için kumlama işlemi uygulanmıştır. Kaynak işlemlerinde robot kullanımı, özellikle gazaltı MIG/MAG kaynağının otomasyona uygunluğu sebebiyle son yıllarda kullanımının sağladığı düşük üretim maliyeti buna karşın daha yüksek kalite ve verimlilik ile beraber insan sağlığını etkileyen kimyasal gaz, gürültü gibi etkenlerden uzaklaşma gibi nedenlerden dolayı kaynak robotları

kullanılmaktadır. Ark kaynağı robot sistemleri 4 ana kısımdan oluşmaktadır: Manipülatör, Kontrol ünitesi, kaynak ekipmanları, pozisyoner ve slider elemanlarıdır. Ayrıca, tekrarlanabilir kaynak kalitesi elde etmek amacı ile dokunma sensörü(touch sensor), dikiş izleme(seam tracker) ve ark sensör sistemleri de kaynak robot sistemlerinde kullanılmaktadır [28].

Kaynaklı imalat çalışmaları Şekil 3.2.'de fotoğrafı görülen Om Mühendislik firması bünyesindeki Cloos Qineo Pulse 600 A kaynak makinasına sahip Qirox Cloos Master gazaltı kaynak robotunda gerçekleştirilmiştir. Kaynak makinası; inverter tip, yatay karakteristikli, su soğutmalı, 40 – 600A aralığında çalışan, 3 fazlı 400V çalışma gerilimi çalışma özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.2. Cloos Qineo Pulse 600 kaynak robot donanımı, Om Mühendislik

Bu başlıkta, deneysel çalışmada kullanılan kaynak makinası ve seçilen kaynak değişkenlerinin ayarlanması konusunda üretici firmadan temin edilen dökümanlar sonucunda çalışma özellikleri verilmiştir. Bu makinalarda, üretici firmalara göre ayarlama özellikleri değişmektedir. Bu nedenle, aşağıdaki kaynak makinasına ait ayarlamalar deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak makinasına aittir.



Şekil 3.3. Cloos Qineo Pulse 600A kaynak makinası (Master) [17]

1. Soğutma sıvısı ve geri dönüş bağlantısı
2. Merkez bağlantı(Euro-central connection)
3. Şebeke bağlantısı
4. Çalışma modülü 3
5. Negatif priz bağlantısı

Qineo PULSE serisindeki makinalar sonsuza kadar ayarlanabilir MIG/MAG darbeli ark kaynak makinası grubundadır. Deneysel çalışmada kullanılan Şekil 3.3.'de gösterilen kaynak makinası da bu grup içerisinde. Bu makinalar, temelde önceden programlanmış sinerjik özellikli eğrilere göre çalışır. Ayrıca, sinerjik özellikli eğriler olmaksızın da çalıştırmak mümkündür. Sinerjik kontrollü makinalar, endüstride karmaşık kaynak değişkenlerini basitleştirmek için geliştirilmiştir [17].

Gerekli kaynak ayarlamaları için farklı çalışma modülleri kullanılır. Deneysel çalışmada kullanılan kaynak makinasına ait Şekil 3.4.'de Master çalışma modülü verilmiştir. Güç kaynağı, kısa ve sprey ark aralığında kaynak işlemini

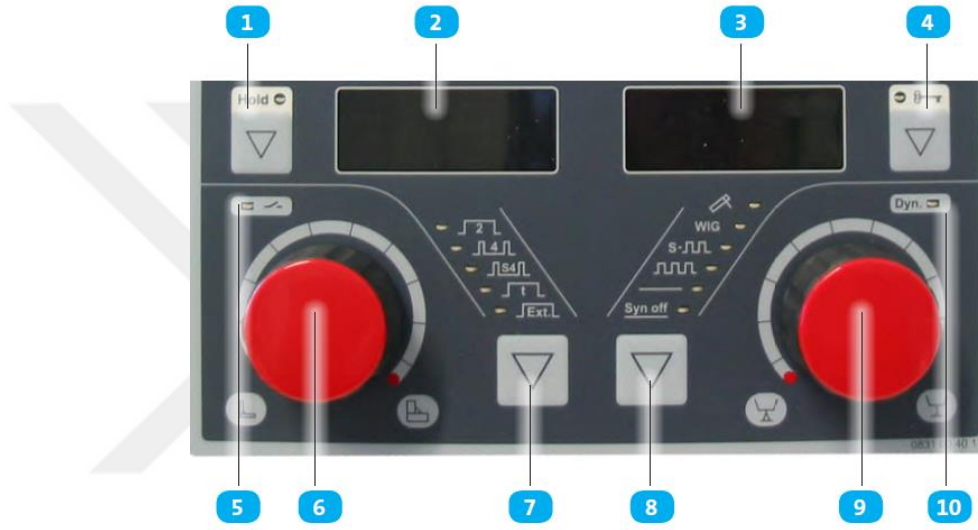
gerçekleştirebilir. Ancak, bu makinalar MIG/MAG darbeli ark için özellikle uygundur ve ince, orta ve kalın sac plakalar (3-12mm) için uygulanırlar. Kaynak malzemeleri; kaliteli çelikler, CrNi çelikleri, Alüminyum (AlMg, AlSi, AlMn) ve bakır esaslı malzemeler (CuSi, AlBz) [17].



Şekil 3.4. Cloos Qineo Pulse 600A Master çalışma modülü üst grup [17]

1. Grafikselleştirilmiş programlama yardımı
2. LED tel çapı
3. LED malzeme-gaz kombinasyonu
4. Önceki program adımı

5. Sonraki program adımı
6. Program düğmesi
7. DuePulse düğmesi
8. Tel çapı seçim düğmesi
9. Malzeme-gaz kombinasyonu seçimi
10. İş seçme düğmesi
11. Kaydetme düğmesi



Şekil 3.5. Cloos Qineo Pulse 600A Master çalışma modülü alt grup [17]

Şekil 3.5.'de Master modülüne ait ayar elemanları [17] :

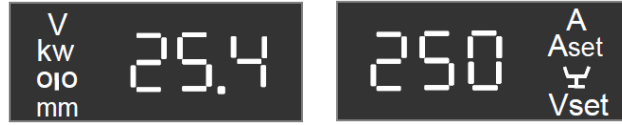
1. Çok fonksiyonlu düğme 1 (Tutun, boyutların seçimi)
2. Ekran 1 (Volt, KW, Tel besleme hızı mm)
3. Ekran 2 (Akım, güç ve voltaj ön izleme, ince ayar)
4. Çok fonksiyonlu düğme 2 (Kilitleme ve boyutların seçimi)
5. LED (ark başlatma)
6. El çarkı 1 (güç, tel besleme hızı)
7. Çalışma modları seçim düğmesi (2 devir, 4 devir, süper 4 devir, punta kaynağı, harici)

8. Prosesin seçim düğmesi (Elektrot, TIG, SpeedWeld, Pulse, MIG/MAG normal (darbe olmadan, sinerjik kapalı)
9. El çarkı 2 (İnce ayar 1 ark boyu, ince ayar 2 ark dinamiği)
10. LED (Ark dinamiği)

QINEO, ön tarafta bulunan ana güç düğmesi ile açılır. Sonra kontrol sistemi kendi kendini test eder. Çalışma panelinde makinenin güç sınıfı yaklaşık 5sn gösterilir (350, 450, 600). Ekranlar sıfırlanır ve son seçilen ayarlar gösterilir. Kaynak makinası, çalışma için hazırdır [17].

Çok fonksiyonlu düğme 1'i yavaşça hareket ettirerek soldaki ekranda farklı ekran versiyonları seçilebilir [17] :


“oIo” göstergesi, önceden ayarlanmış tel besleme hızını m/dk cinsinden gösterir. Maksimum tel besleme hızı uygulama durumuna bağlıdır: Manuel kaynakta maksimum 24 m/dk, otomatik kaynakta 30 m/dk'dır. Gösterge “mm”, kaynaklanabilecek sac kalınlığını gösterir.



Şekil 3.6. Master çalışma modülünde akım ve voltaj gösterimi [17]

Çok fonksiyonlu düğme 2'yi yavaşça hareket ettirerek sağdaki ekranda farklı ekran versiyonları seçilebilir [17] :

A göstergesi, gerçek akım gösterir. Aset göstergesi, hesaplanmış değer olduğu için beklenen kaynak akımını gösterir.

 göstergesi, ince ayar 1'i gösterir (-50 ile +50). Tablo 3.4.'de kaynak akım ve kaynak voltajının değerlendirme yöntemi ark boyuna göre ifade edilmiştir.

Tablo 3.3. Master çalışma modülünde akım ve voltaj gösterimi [17]

0	Kaynak akımı, tam olarak karakteristik eğri üzerindedir
-	Tel besleme azaltılır ve ark daha uzun olur
+	Tel besleme artırılır ve ark daha kısa olur

El çarkı 2'ye basılarak dinamik ayar aralığı etkinleşir, dinamik ayar aralığı -50 ile +50 arasındadır. LED Dyn. yanar ve ekran 2'de değerler görünümü gizlenir.

- Dinamik ayar aralığında, çeşitli kaynak kontrolörleri kaynak işlemini en uygun duruma getirir.

El çarkı 2'nin çevrilmesi ile ark şekli üzerine etki edilebilir:

- Pozitif ayar aralığında ark, yoğunlaşır ve daha küçük bir şekil alır. Daha dar ve daha derin nüfuziyet elde edilir.
- Negatif ayar aralığında ark, daha yumuşak ve daha geniş bir şekil alır. Daha geniş kaynak dikişi ve daha yüzeysel nüfuziyet sağlanır [17, 18 - 19].

Sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG yöntemi sabit çalışma parametrelerimiz aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 3.4. Deneysel çalışmalarda sabit tutulan kaynak parametreleri

Kaynak hızı	Koruyucu gaz	Koruyucu gaz debisi	Kaynak teli	Kaynak tel çapı	Torç açısı
30 cm/dk	M20(%18 CO ₂ - %1-2 O ₂ - %80-81 Ar)	14 lt/dk	ER110 SG	Ø1,2mm	45°

3.3. Deneysel çalışma planı

Sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG yöntemi ile kaynaklı birleştirme uygulamalarında tel besleme hızı en önemli değişkendir. Bununla beraber, ark boyu ve ark dinamiği ayarları tel besleme ünitesini etkileyen değişkenlerdir. Yapılan deneysel kaynak işlemlerinde Tablo 3.3.'de verilen değerler tüm numunelerin

kaynağında sabit kalmıştır. Kaynak akımı ve kaynak gerilimi değerleri MIG/MAG kaynağı kalitesini etkileyen başlıca değişkenler olduğu için tel besleme hızı, ark boyu ve ark dinamiği değişkenlerinin kaynak akımı ile kaynak gerilimi değerlerine etkileri Tablo 3.5.'de verilen planda incelenmiştir.

Tablo 3.5. İncelenen kaynak değişkenlerinin kaynak akım ile gerilimine etkisi için deneysel çalışma planı

Numune No	Tel sürme hızı (m/dk)	Ark boyu %	Ark dinamiği %
1			-10
2		-15	0
3			+10
4			-10
5	6	0	0
6			+10
7			-10
8		+15	0
9			+10
10			-10
11		-15	0
12			+10
13			-10
14	7,5	0	0
15			+10
16			-10
17		+15	0
18			+10
19			-10
20		-15	0
21			+10
22			-10
23	9	0	0
24			+10
25			-10
26		+15	0
27			+10

Sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG yöntemi ile T-iç köşe kaynaklı birleştirme uygulamalarında kaynak dikiş geometrilerine tel besleme hızı ve ark boyu

değişkenlerinin etkileri deneysel çalışma planı (ark dinamiği %0 sabit) Tablo 3.5.'de sunulduğu gibidir.

Tablo 3.6. Dikiş geometrisi incelemek için deneysel çalışma planı

Numune No	Tel besleme hızı (m/dk)	Ark boyu %
2		-15
5	6	0
8		+15
11		-15
14	7,5	0
17		+15
20		-15
23	9	0
26		+15

Tablo 3.5. ve Tablo 3.6. deneysel çalışma planlarında gerçekleştirilen deney sonuçları, deneysel sonuçlar bölümünde tablo ve grafik verileri olarak değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

Sinerjik kontrollü darbeli MIG/MAG yöntemi ile S690QL / XAR 400 çeliklerinin T - iç köşe kaynaklı birleştirme deneysel çalışma sonuçları 3 ana başlıkta incelenmiştir.

4.1. İncelenen Parametrelerin Kaynak Akımı ile Kaynak Gerilimine Etkisi

Deneysel çalışmalarda kaynak akımı ve kaynak gerilimi değerlerine tel besleme hızı, ark dinamiği ve ark boyu değişkenleri incelenen parametreler olarak seçilmiş olup, seçilen parametrelerin etkilerini araştırmak için başlangıçta sabit tutulan kaynak parametreleri ile birlikte tüm diğer şartlar aynı olacak şekilde 27 adet numune ile yapılan deney sonuçları Tablo 4.1.'de sunulmuştur. Kaynak akım ve voltaj değeri her bir numune için kaynak makinasına ait panelden numuneye ait kaynak işleminden hemen sonra kaynak operatör panelinden okunmuştur.

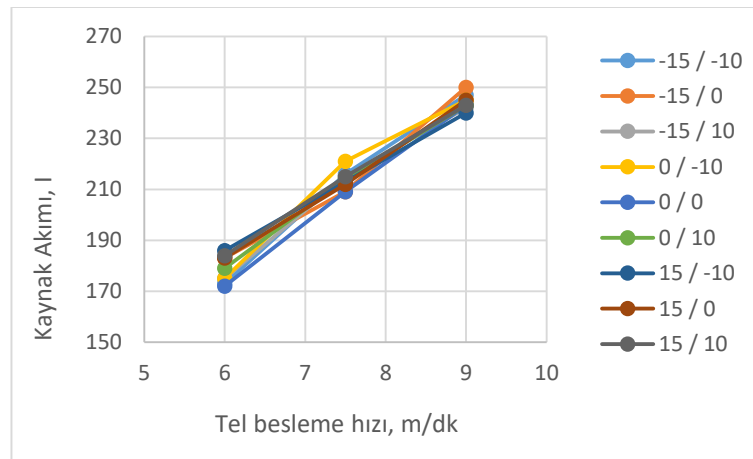
Tablo 4.1. Tel besleme hızı, ark boyu ve ark dinamiğinin kaynak akımı ile kaynak gerilimine etkisi

Numune No	Tel besleme hızı (m/dk)	Ark boyu (%)	Ark dinamiği (%)	Kaynak akımı (Amper)	Kaynak gerilimi (Volt)
1	6	-15	-10	173	25
2			0	183	24,3
3			+10	175	25,4
4			-10	175	23,3
5			0	0	172
6		+10	179	23,9	
7		+15	-10	186	21,8
8			0	183	22,6
9			+10	184	22,8
10			-10	216	26,3
11	0		209	26,2	
12	7,5	-15	+10	215	25,5
13			0	-10	221

Tablo 4.1. (Devamı)

Numune No	Tel besleme hızı (m/dk)	Ark boyu (%)	Ark dinamiği (%)	Kaynak akımı (Amper)	Kaynak gerilimi (Volt)
14	7,5	0	0	209	25,1
15			+10	214	24,8
16			-10	213	23,9
17		+15	0	212	23,5
18			+10	215	23,2
19			-10	247	28,8
20	9	-15	0	250	28,3
21			+10	242	28,3
22			-10	245	27,5
23		0	0	243	27,1
24			+10	243	26,9
25			-10	240	26,4
26	+15	0	245	26	
27		+10	243	25,9	

Deneysel çalışmalarda, Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi 6 – 7,5 – 9 cm/dk tel besleme hızları değişken değerler olarak seçilmiştir. Tel besleme hızının kaynak akımına etkisi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

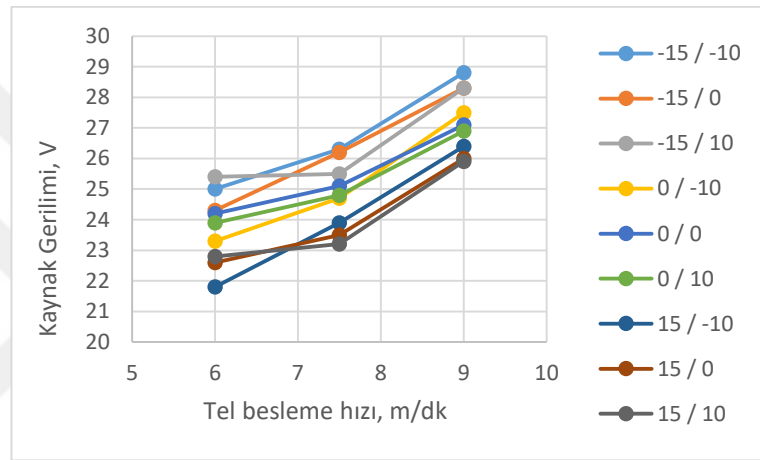


Şekil 4.1. Tel besleme hızının kaynak akımına etkisi

Şekil 4.1. incelendiğinde, tel besleme hızının artmasıyla kaynak akımı değerleri de artmıştır. Bu durum, tüm deney koşullarında aynı şekilde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür araştırması ile uyumludur [6, 7, 10, 11, 13, 20, 21 - 22].

Ark kaynak yöntemleri ile birleştirme işlemlerinde, tel besleme hızı artışı ile birim zamanda ergitilecek metal hacmi artışı oluşmaktadır. Daha büyük hacimlerin ergitilmesi için ise daha yüksek ısı girdisine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, kaynak akım değerlerinin sinerjik kontrollü kaynak makinasında artmış olması doğal bir sonuçtur.

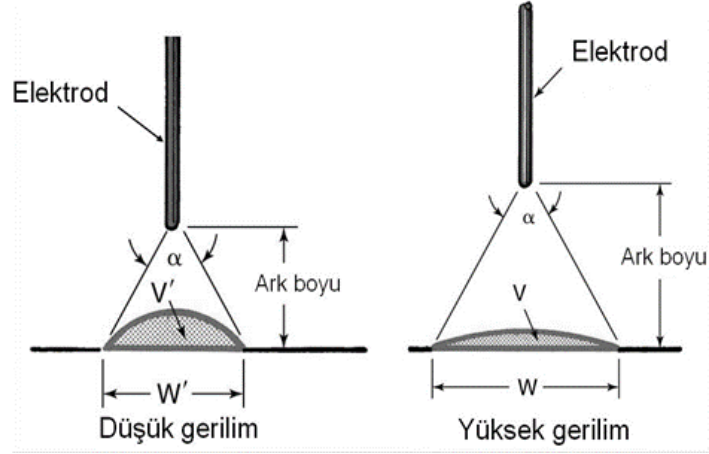
Deneysel çalışmalarda, Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi 6 – 7,5 – 9 cm/dk tel besleme hızları değişken değerler olarak seçilmiştir. Tel besleme hızının kaynak gerilimine etkisi Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Tel besleme hızının kaynak gerilimine etkisi

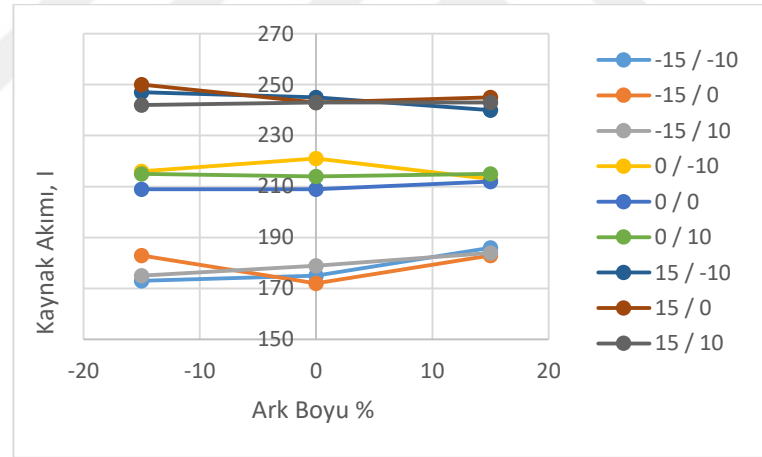
Şekil 4.2. incelendiğinde, tel besleme hızının artmasıyla kaynak gerilimi değerleri de artma eğilimi göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, tüm deney koşullarında aynı şekilde olduğu görülmüştür. Sonuçlar literatür araştırması ile uyumludur [6, 11, 12, 13 - 20].

Kaynak makinası ayarlarına göre % ark boyu negatif değerlerde ark boyu uzun, “0” değerinde orta ve pozitif değerde ise kısadır. Ark boyu, kaynak teli ile iş parçası arasındaki mesafe olarak ifade edilmektedir. Şekil 4.3.'de ark boyu değerinin dikiş profili üzerindeki etkisi şematik olarak ifade edilmiştir [28].



Şekil 4.3. Ark boyu ile dikiş profili arasındaki ilişki [28]

% Ark boyu kaynak teçhizatı makine ayarlarında -50% ile +50% arası değişen bir kavramdır. Bu makine ayar parametresinin kaynak akımı ve kaynak gerilimi değerlerine etkisini incelemek için -15%, 0% ve +15% değerleri çalışılmıştır.

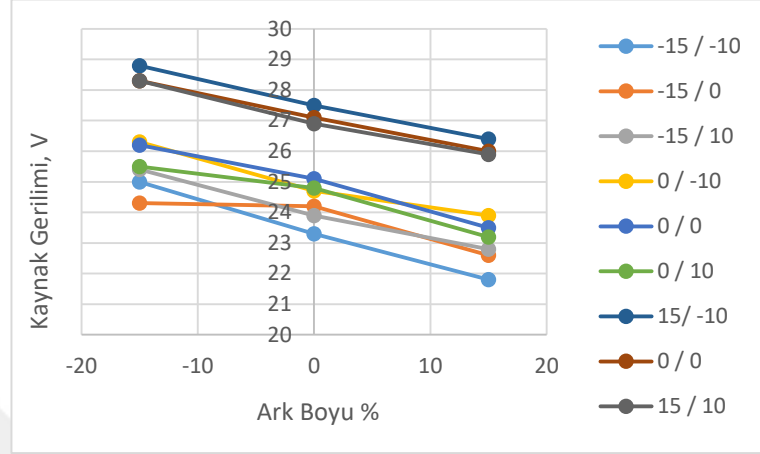


Şekil 4.4. Ark boyunun kaynak akımına etkisi

Şekil 4.4.'de ark boyunun kaynak akımına etkisi gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ark boyu değerinin artışı ile kaynak akımı değerlerinde önemli bir değişiklik oluşmamıştır.

% Ark boyu kaynak teçhizatı makine ayarlarında -50% ile +50% arası değişen bir kavramdır. Bu makine ayar parametresinin kaynak akımı ve kaynak gerilimi

değerlerine etkisini incelemek için -15%, 0% ve +15% değerleri çalışılmıştır. Şekil 4.5.'de ark boyunun kaynak gerilimine etkisi grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.5. Ark boyunun kaynak gerilimine etkisi

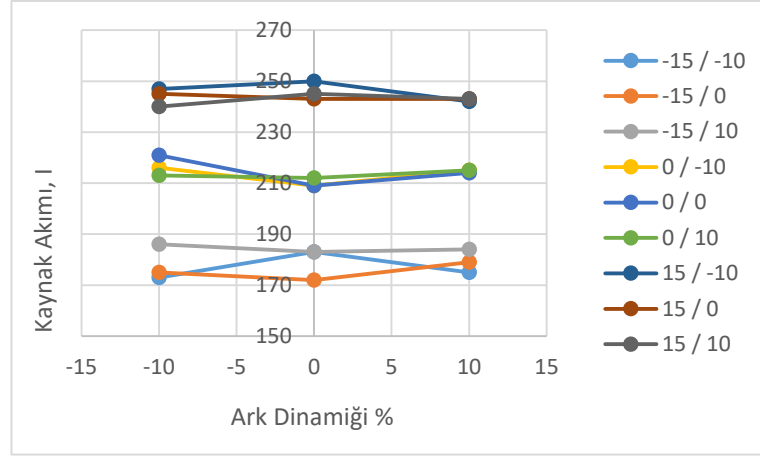
Şekil 4.5. incelendiğinde, ark boyunun + % değerlere çıkması ile yani ark boyu daha kısa dolayısıyla kaynak gerilim değeri de daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç, literatür araştırmasıyla uyumluluk göstermiştir [6, 7, 10 – 12]

Şekil 4.6.'da temsil edildiği üzere ark dinamiği ayarı “+” değerlerde ark daha sert ve daha dar oluşmaktadır ayrıca daha derin kaynak nüfuziyeti elde edilir. Ark dinamiği ayarının “-” değerlerinde ise ark daha yumuşak ve daha geniş oluştuğu görülür.



Şekil 4.6. Ark dinamiği ayarı şematik gösterimi [18]

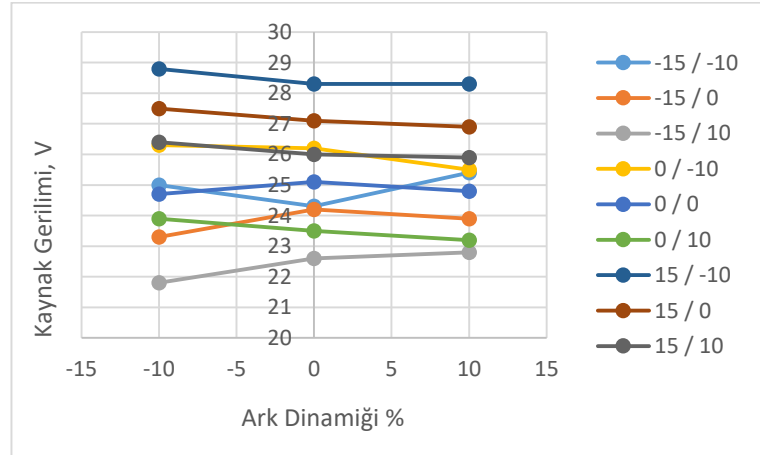
% Ark dinamiği kaynak teçhizatı makine ayarlarında -50% ile +50% arası değişen bir kavramdır. Bu makine ayar parametresinin kaynak akımı değerlerine etkisini incelemek için -10%, 0% ve +10% değerleri çalışılmıştır.



Şekil 4.7. Ark dinamiğinin kaynak akımına etkisi

Şekil 4.7.'de ark dinamiği değerlerine bağlı olarak kaynak akımında meydana gelen değişim grafik olarak gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ark dinamiği değerinin artışı kaynak akımı değerlerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı belirlenmiştir.

% Ark dinamiği kaynak teçizatı makine ayarlarında -50% ile +50% arası değişen bir kavramdır. Bu makine ayar parametresinin kaynak gerilimi değerlerine etkisini incelemek için -10%, 0% ve +10% değerleri çalışılmıştır.



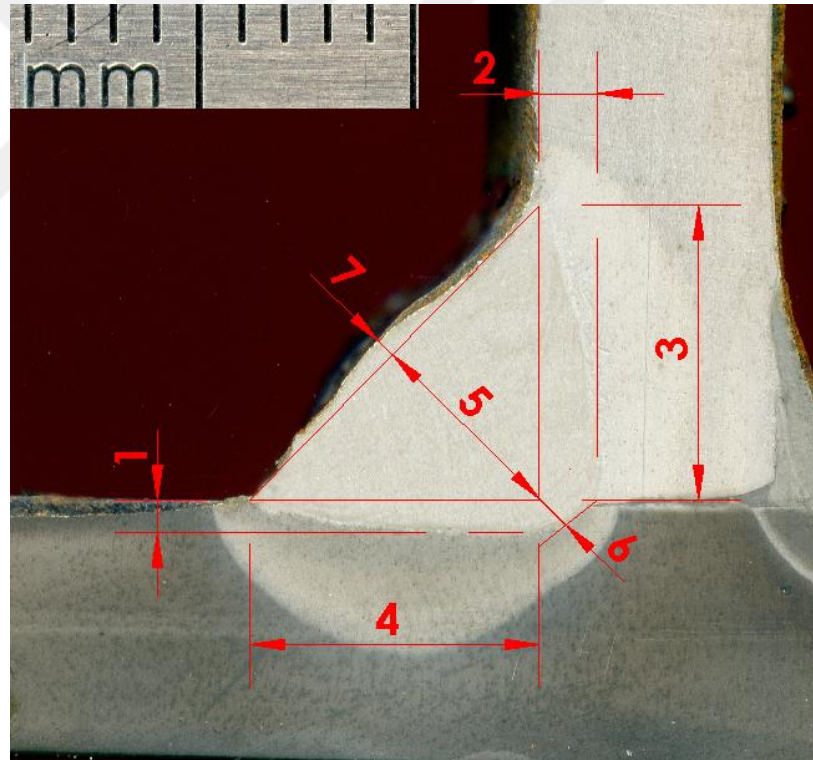
Şekil 4.8. Ark dinamiğinin kaynak gerilimine etkisi

Ark dinamiği değerlerine bağlı olarak kaynak geriliminde meydana gelen değişim Şekil 4.8.'de grafik olarak gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ark dinamiği değerinin artışı kaynak gerilimi değerlerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı

belirlenmiştir. Ark boyunun +15 % olduğu ve ark dinamiğinin +10 % olduğu durumda kaynak geriliminde bir miktar artış olduğu görülmektedir.

4.2. İncelenen Parametrelerin Kaynak Dikiş Geometrisine Etkisi

Deneysel çalışmalarda, kaynak dikiş geometrisini etkileyen parametreler olarak tel besleme hızı ve ark boyu değişkenleri incelenen parametrelerdir. Kaynak dikiş geometrisi, kök nüfuziyeti, dikiş kalınlığı ve dış bükeylik değerleri değerlendirilerek incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.2.'de, kaynak dikişi makro yapı fotoğrafları ise Şekil 4.10.'da sunulmuştur. Makro yapı fotoğrafları tel besleme hızının 6 – 7,5 – 9 cm/dk olduğu, ark boyunun -15 % - 0 % - +15 % ve ark dinamiğinin 0 % olduğu 9 adet numune için elde edilmiştir.



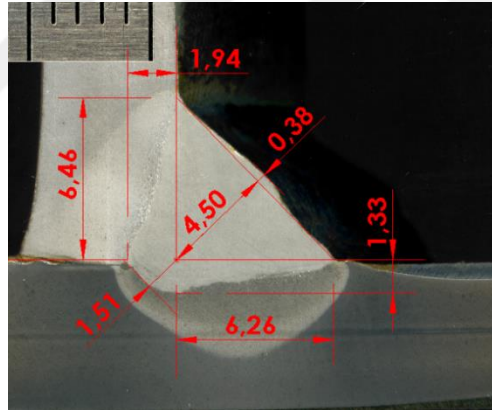
Şekil 4.9. Kaynak dikiş geometrisi incelenen değerlerin gösterimi

Şekil 4.9.'da kaynak dikiş geomterisinde incelenen değerler ifade edilmiş olup, 9 farklı kaynak parametrelerine göre kaynak işlemi yapılan numunelerden elde edilen değerler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

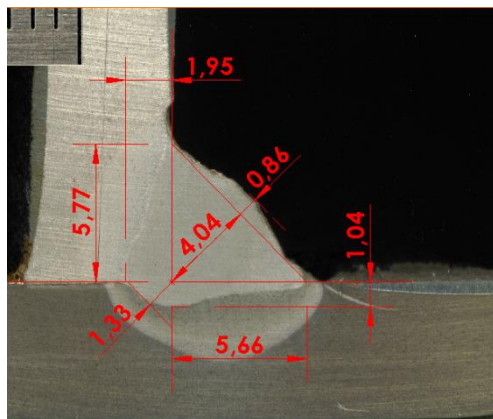
Tablo 4.2. Tel besleme hızı ve ark boyunun kaynak dikiş geometrisine etkisi

Numune No.	Tel besleme hızı(m/dk.)	Ark boyu %	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)	6 (mm)	7 (mm)
1	6	-15	1,33	1,94	6,46	6,26	4,50	1,51	0,38
2		0	1,04	1,95	5,77	5,66	4,04	1,33	0,86
3		+15	1,53	1,60	5,56	5,51	3,91	1,34	0,74
4	7,5	-15	1,23	2,07	6,93	6,66	4,80	1,43	0,51
5		0	1,17	2,58	6,86	5,62	4,35	1,61	0,85
6		+15	0,91	1,07	6,78	7,20	4,94	0,45	1,10
7	9	-15	1,82	2,03	7,46	8,31	5,55	2,12	0,40
8		0	1,46	1,81	7,85	7,92	5,58	1,54	0,76
9		+15	0,83	1,83	8,33	6,98	5,35	0,97	0,87

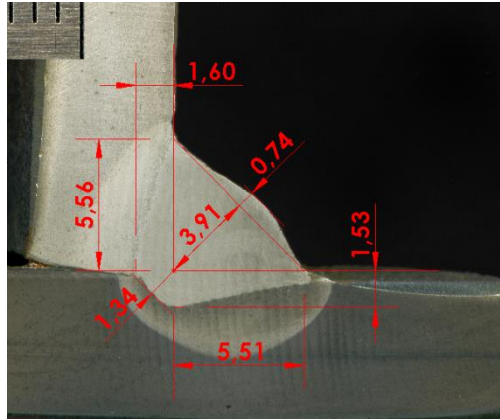
Ölçülen değerler tel besleme hızı ve ark boyu değerlerine göre Tablo 4.2.'de verilmiştir. Tablo 4.2.'de verilen değerlerin kaynak dikişi makro görüntüleri ölçülü olarak Şekil 4.10.'dan Şekil 4.18.'e kadar gösterilmiştir.



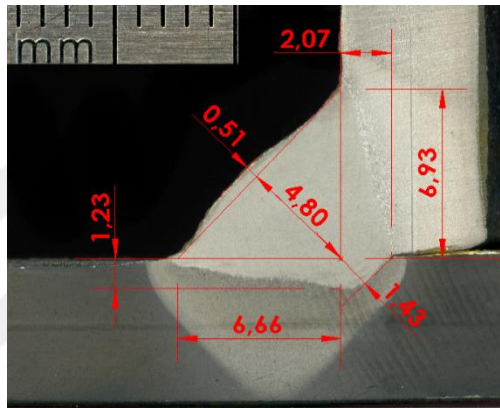
Şekil 4.10. Numune No. 1



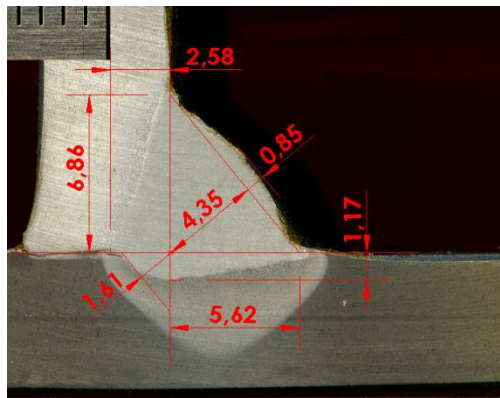
Şekil 4.11. Numune No. 2



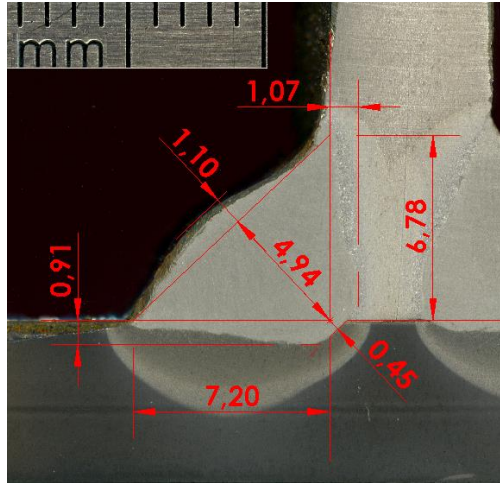
Şekil 4.12. Numune No. 3



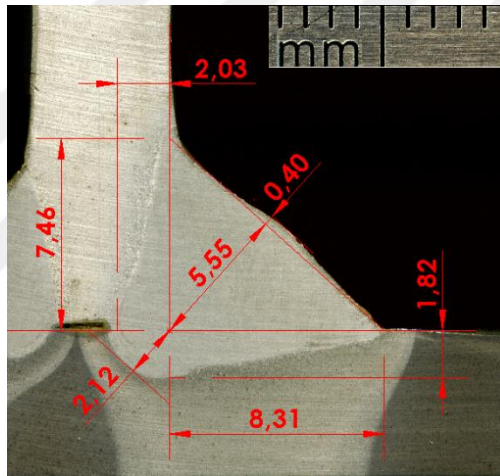
Şekil 4.13. Numune No. 4



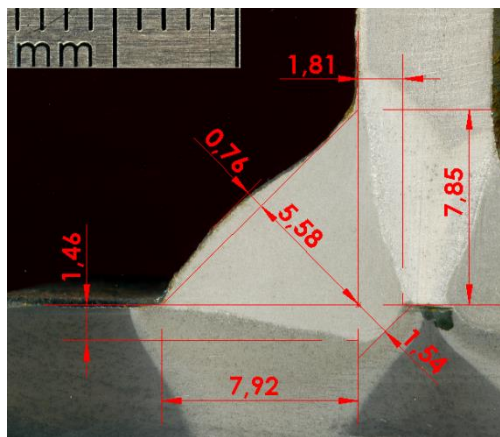
Şekil 4.14. Numune No. 5



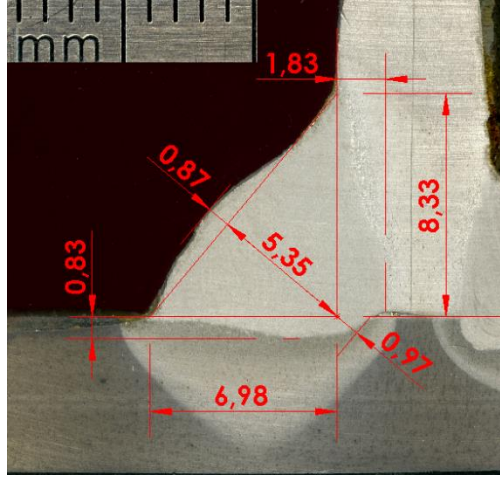
Şekil 4.15. Numune No. 6



Şekil 4.16. Numune No. 7



Şekil 4.17. Numune No. 8



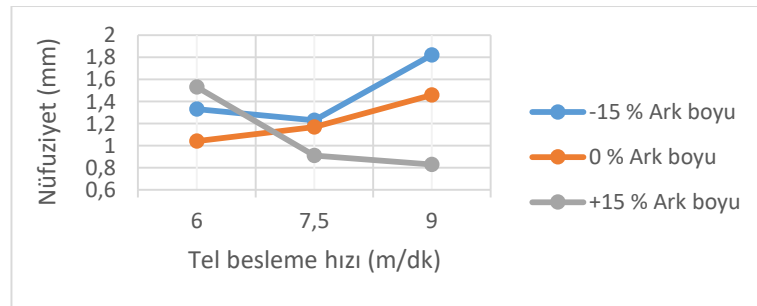
Şekil 4.18. Numune No. 9

4.2.1. Tel besleme hızının nüfuziyete etkisi

Tel besleme hızının kaynak akımı ve kaynak gerilimi değerlerine etkisini incelemek için 3 farklı tel besleme hızı (6 - 7,5 - 9 m/dk) uygulanmıştır. Tel besleme hızı artışı ile ısı girdisi değerlerinde artış olmuştur ve literatürle uyumludur [6, 7, 10, 11, 12, 13, 20, 21 - 22]. Bu durum sinerjik kontrollü kaynak ekipmanında tel besleme hızı artışı ile kaynak akımı ve kaynak gerilimi artışının normal çalışma karakteristiği olduğunu, % ark boyu ile ısı girdisinin ayarlanabileceği şeklinde açıklanabilir.

4.2.1.1. Tel besleme hızının XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi

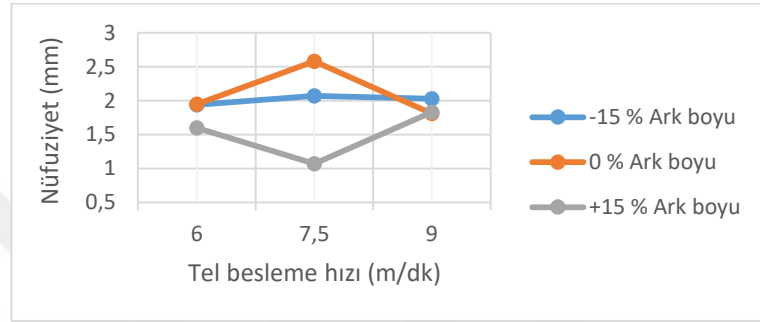
XAR400 çeliğinde tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen nüfuziyet değeri Şekil 4.19.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, tel besleme hızının artmasıyla ark boyunun +15 % hariç nüfuziyette artış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Tel besleme hızının XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi

4.2.1.2. Tel besleme hızının S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi

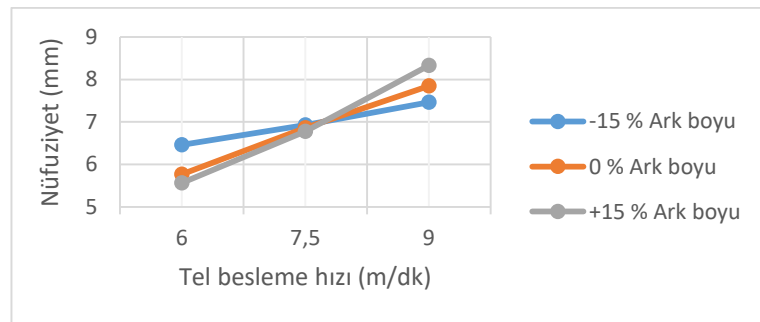
S690QL çeliğinde tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen nüfuziyet değeri Şekil 4.20.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, tel besleme hızının artmasıyla S690QL çeliğine olan nüfuziyet değerlerinde genel olarak artış olduğu, ancak tel besleme hızının 9m/dk. olduğunda 0 % ark boyu değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Tel besleme hızının S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi

4.2.1.3. Tel besleme hızının dikey kol genişliğine etkisi

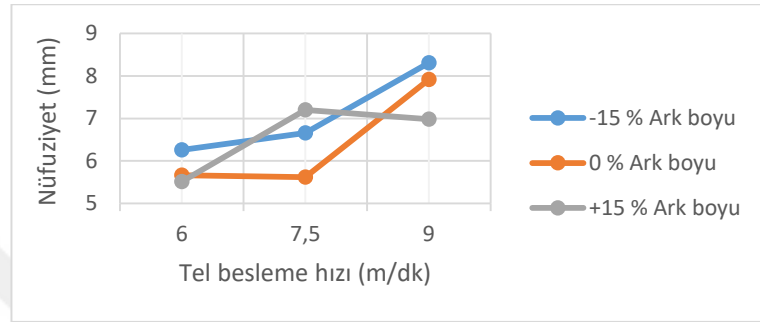
Tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen dikey kol genişliği Şekil 4.21.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, tel besleme hızının artmasıyla dikey kol genişliği değerlerinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Tel besleme hızının dikey kol genişliğine etkisi

4.2.1.4. Tel besleme hızının yatay kol genişliğine etkisi

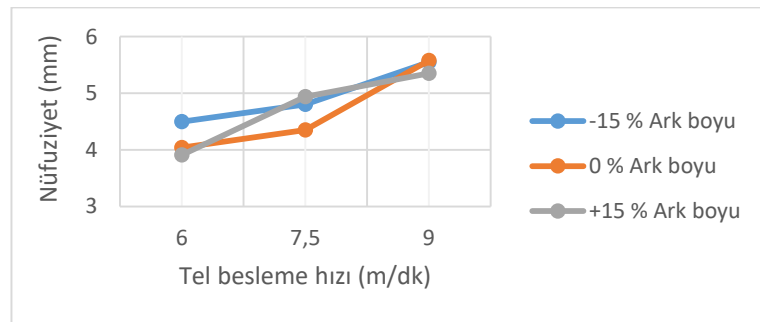
Tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen yatay kol genişliği Şekil 4.22.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, genel olarak yatay kol genişliği tel besleme hızının artmasıyla artmıştır.



Şekil 4.22. Tel besleme hızının yatay kol genişliğine etkisi

4.2.1.5. Tel besleme hızının kaynak dikiş kalınlığına etkisi

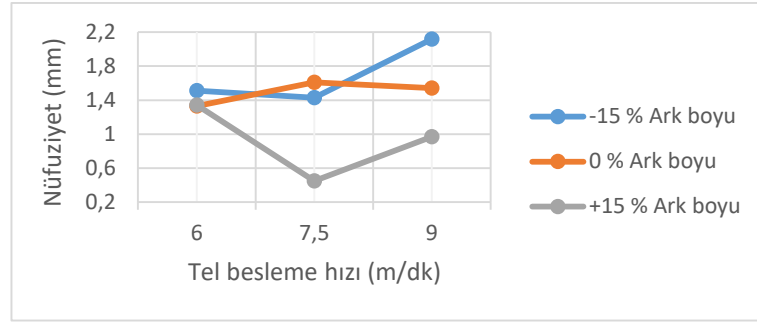
Tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen kaynak dikiş kalınlığı Şekil 4.23.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, kaynak dikiş kalınlığı tel besleme hızının artmasıyla artmıştır.



Şekil 4.23. Tel besleme hızının kaynak dikiş kalınlığına etkisi

4.2.1.6. Tel besleme hızının kök nüfuziyetine etkisi

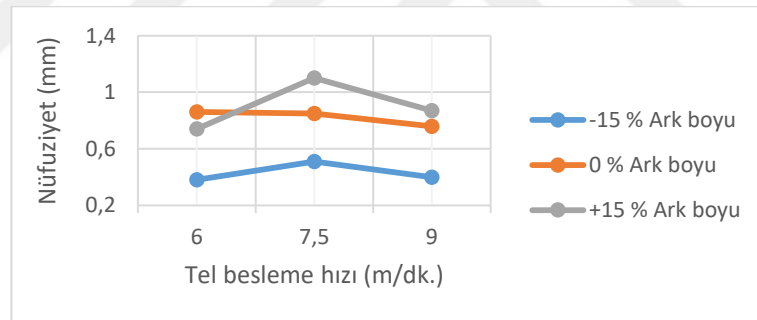
Tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen kök nüfuziyeti Şekil 4.24.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, genel olarak kök nüfuziyeti tel besleme hızının artmasıyla artmıştır.



Şekil 4.24. Tel besleme hızının kök nüfuziyetine etkisi

4.2.1.7. Tel besleme hızının dış bükeyliğe etkisi

Tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen dış bükeylik Şekil 4.25.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, tel besleme hızının 6 m/dk'dan 7,5m/dk'ya geçmesiyle dış bükeylik artmış, fakat tel besleme hızının 7,5m/dk'dan 9m/dk'ya yükseldiğinde dış bükeylik azalmıştır.



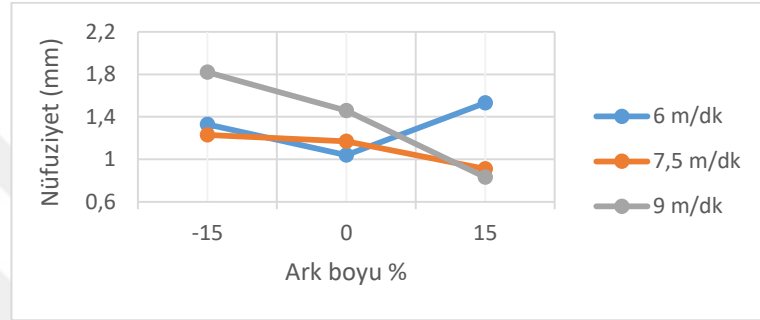
Şekil 4.25. Tel besleme hızının dış bükeyliğe etkisi

4.2.2. Ark boyunun nüfuziyete etkisi

Deneysel sonuçlarda % ark boyunun negatif değerden pozitif değere geçişi; başka bir ifadeyle, ark boyunun kısalışı ile kök nüfuziyeti değerlerinin genel olarak azaldığını göstermektedir. Bu durum, kaynak gerilimi ve ısı girdisi azalışının kök nüfuziyetini azaltıcı etki yaptığı sonucunu vermektedir. Elde edilen veriler literatür çalışmalarıyla da uyumluluk göstermektedir [7, 10, 12, 13, 20, 22 - 23].

4.2.2.1. Ark boyunun XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi

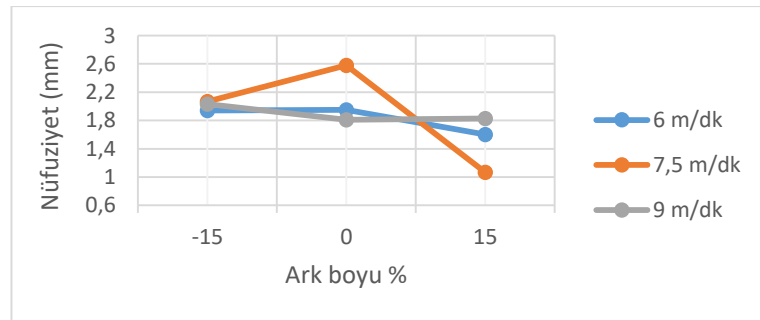
XAR400 çeliğinde ark boyuna bağlı olarak elde edilen nüfuziyet değeri Şekil 4.26.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ark boyunun artmasıyla tel besleme hızının 6 – 7,5 – 9m/dk olduğu durumlarda XAR400 çeliğine olan nüfuziyet değerlerinde 6m/dk'da +15 % ark boyu hariç azalma olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, ark boyunun artmasıyla XAR400 çeliği nüfuziyetinde azalma olduğu söylenebilir.



Şekil 4.26. Ark boyunun XAR400 çeliği nüfuziyetine etkisi

4.2.2.2. Ark boyunun S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi

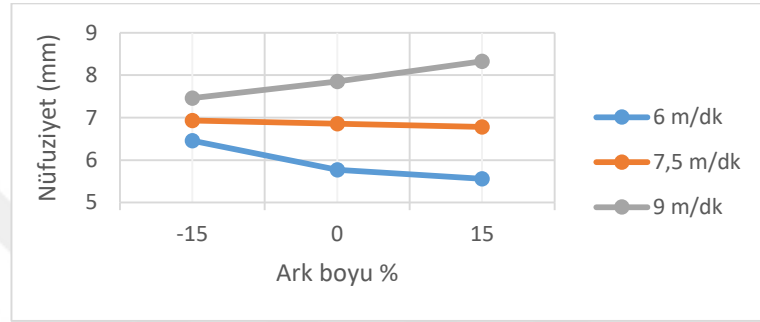
S690QL çeliğinde ark boyuna bağlı olarak elde edilen nüfuziyet değeri Şekil 4.26.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ark boyunun artmasıyla tel besleme hızının 6 – 7,5 – 9m/dk olduğu durumlarda S690QL çeliğine olan nüfuziyet değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Bu nedenle, ark boyunun artmasıyla S690QL çeliği nüfuziyetinde azalma olduğu söylenebilir.



Şekil 4.27. Ark boyunun S690QL çeliği nüfuziyetine etkisi

4.2.2.3. Ark boyunun dikey kol genişliğine etkisi

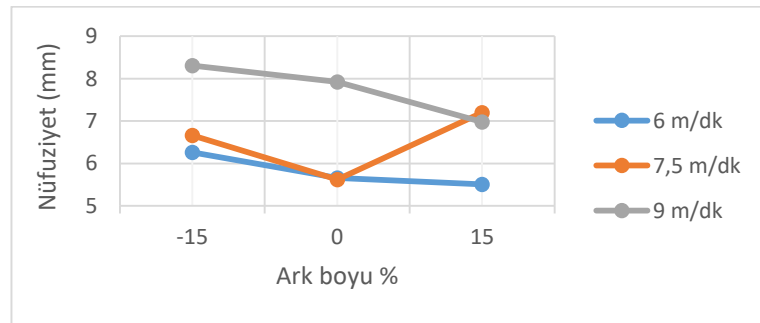
Ark boyuna bağlı olarak elde edilen dikey kol genişliği Şekil 4.28.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ark boyunun artmasıyla dikey kol genişliği değerlerinde tel besleme hızının 9m/dk olduğu durumda artış olduğu ancak 6 ve 7,5m/dk'da azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28. Ark boyunun dikey kol genişliğine etkisi

4.2.2.4. Ark boyunun yatay kol genişliğine etkisi

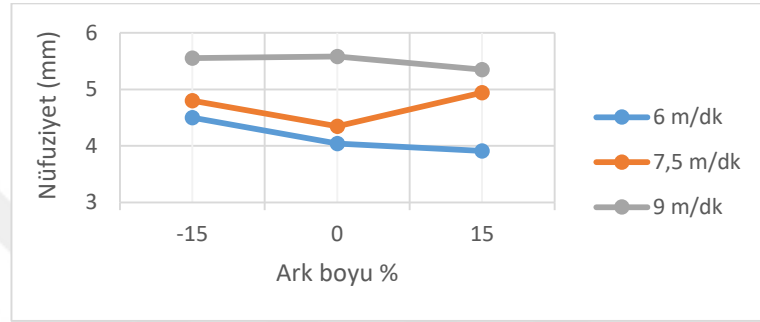
Ark boyuna bağlı olarak elde edilen yatay kol genişliği Şekil 4.29.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ark boyunun artmasıyla yatay kol genişliği değerlerinde, tel besleme hızının 7,5m/dk olduğu durumda kararsız bir sonuç elde edilse de; 6 ve 9m/dk'da azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.29. Ark boyunun yatay kol genişliğine etkisi

4.2.2.5. Ark boyunun kaynak dikiş kalınlığına etkisi

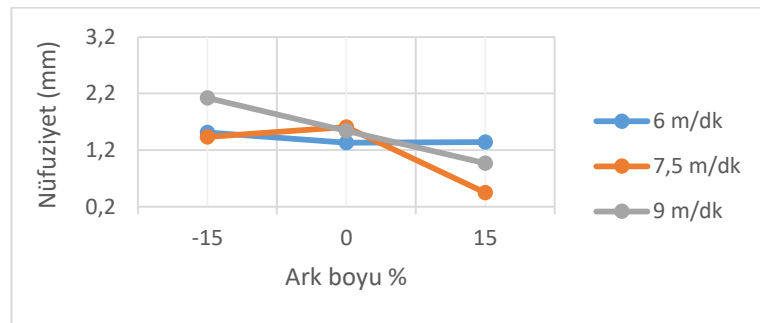
Ark boyuna bağlı olarak elde edilen kaynak dikiş kalınlığı Şekil 4.30.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ark boyunun artmasıyla kaynak dikiş kalınlığı değerlerinde, tel besleme hızının 7,5m/dk olduğu durumda kararsız bir sonuç elde edilse de; 6 ve 9m/dk'da azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.30. Ark boyunun kaynak dikiş kalınlığına etkisi

4.2.2.6. Ark boyunun kök nüfuziyetine etkisi

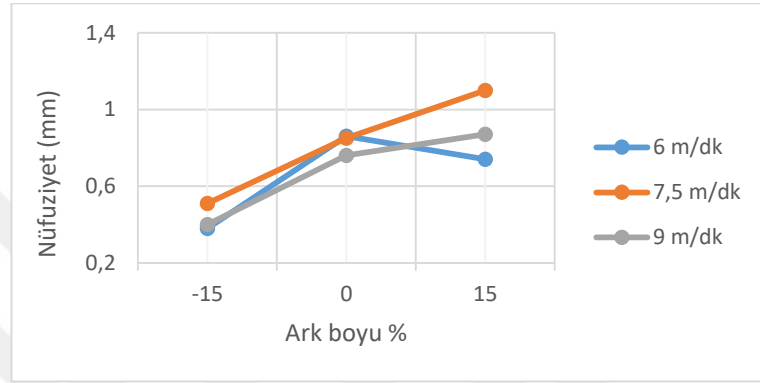
Ark boyuna bağlı olarak elde edilen kök nüfuziyeti Şekil 4.31.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ark boyunun artmasıyla kök nüfuziyeti değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.31. Ark boyunun kök nüfuziyetine etkisi

4.2.2.7. Ark boyunun dış bükeyliğe etkisi

Tel besleme hızına bağlı olarak elde edilen dış bükeylik Şekil 4.32.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, tel besleme hızının 6 m/dk'dan 7,5m/dk'ya geçmesiyle dış bükeylik artmış, fakat tel besleme hızının 7,5m/dk'dan 9m/dk'ya yükseldiğinde dış bükeylik azalmıştır.



Şekil 4.32. Ark boyunun dış bükeyliğe etkisi

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Deneysel çalışmalar kaynak makinasında damla iletimi puls ayarında iken uygulanmıştır. Puls, yani darbeli kaynak özellikle çelik ince saclarda ve alüminyum gibi malzemelerin yüksek ısı girdisini azaltarak çarpılma ve çekme olmadan kaynak işlemi yapılmasına imkân vermektedir. Ancak kaynak değişkenlerinin seçimi konusunda uygun olup olmadığı uygulamaya bağlı olarak değişmektedir. En uygun değişkenlerinin ayarı bu değişkenlerin farklı değerlerini uygulanması ile karar vermekle beraber ilgili değerlerin belirlenmesi sinerjik kontrollü kaynak makinalarında önceden ayarlı değişkenlerin farklı kombinasyonlarını değerlendirerek uygun kaynak parametrelerinin seçimi ile kolaylaştırılmıştır.

Kaynak işleminde kullanılan Hardox400 muadili XAR400 malzemesi aşınma plakası olarak endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir. 400 Brinell sertliğe sahip bu malzeme özel üretim teknikleri ile düşük tutulan alaşım elementleri ile kaynaklanabilirliği artırılmış aşınmaya karşı dayanımı yüksek çelik malzemedir. Bu malzemenin kaynağında kaynak teli olarak 500MPa akma mukavemetinden daha düşük mukavemetli dolgu malzemeleri seçilmesi önerilmektedir. Ayrıca üretici firmaların bu çelikler için kalınlık ve kalitelere göre önerdiği ön ısıtma değerine uyulmalıdır fakat ön ısıtma mümkün değilse AWS 307 kalitesinde örtülü elektrod veya tel kullanılabilir, ikinci tercih ise AWS 309 kalitesidir. Koruyucu gaz olarak da düşük mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılan gazlar tercih edilmelidir. Bu durumda kararlı ark ve gerekli nüfuziyeti sağlamak amacı ile endüstride yaygın olarak kullanılan %18-20 arasında CO₂ içeren Argon gazı önerilmektedir [18]. Kaynak ilerleme hızının; ısı girişini azalttığı ve bu nedenle nüfuziyetin yetersiz olacağı akademik çalışmalarda ortaya çıkarıldığı üzere farklı bir yaklaşım olması bakımından sabit bir değer olarak kabul edilmiştir.

Ark boyu; -50 ile +50 arasında değişen % değerleri ile ayarlama yapılır. Kaynak uygulamasında görölen durum + % değerlere doğru tel besleme hızının artmasıyla ark boyunun daha kısa olduğu belirlenmiştir.

Deneysel çalışma verilere bakıldığında -15 %'den +15 %'e doğru voltaj değeri düşmüştür. Dolayısı ile voltaj değerinin düşmesi demek ark boyunun azalması demektir. Deneysel verilerde, ark boyunun % artışı ile akım ve gerilimde bir miktar düşme meydana gelmiştir.

Tel besleme hızı ile akım ve voltaj arasında doğru orantı vardır. Kaynak robotu operatör panelinde ayarlanan tel besleme hızına göre akım ve voltaj değeri otomatik olarak değişmektedir. Bu sonuç, literatür araştırmaları ile uyumludur.

Tel besleme hızı ile malzemelere olan nüfuziyette, kol genişliklerinde, kaynak dikiş kalınlığında, kök nüfuziyeti ve dış bükeylik değerlerinde genel olarak doğru orantı olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bazı değerlerde ark boyunun değişimine bağlı olarak özellikle +15 % ark boyu değerinde kararsız sonuçlar elde edilmiştir [6, 7, 10, 11, 12 - 13].

Ark boyu ile malzemelere olan nüfuziyette, kol genişliklerinde, kaynak dikiş kalınlığında ve kök nüfuziyeti değerlerinde genel olarak ters orantı olduğu tespit edilmiştir. Ancak, dış bükeylik değerleri ile ark boyu arasında doğru orantı olduğu deneysel verilerden elde edilmiştir [7, 10, 20, 22 - 23].

% ark boyunun negatif değerden pozitif değere geçişi, başka bir ifadeyle ark boyunun kısalışı kök nüfuziyetini ve dikiş kalınlığını azaltmakta, dışbükeyliği ise artırmaktadır.

Kök nüfuziyeti ve dikiş kalınlığının büyük, dış bükeyliğin ise küçük değerlerde olması istenilen bir durum olduğu koşullar için ark boyunun uzun (-15%) olduğu çalışma parametreleri önerilmektedir.

Maksimum dikiş kalınlığı $0,7 \times t = 4,2$ mm dikkate alındığında 2, 3 ve 5 nolu numune koşulları uygun sonuçlar vermiştir. Bunlar arasından 3 nolu 6 cm/dk, % +15 parametre tavsiye edilmektedir.

Kaynak hızı 30 cm/dk elde edilen kaynak dikiş geometrileri dikkate alındığında maksimum dikiş kalınlığı dikkate alınarak yapılacak çalışmalar için düşük bir hızdır.

Deneysel sonuçlar dikkate alındığında, seçilen kaynak değişkenlerine bağlı olarak elde edilen sonuçlarda kaynak kalitesine olumlu ve olumsuz özellikler sunacak en uygun çözüm farklı değişkenlerin istenilen kaynak kalitesine göre seçimidir. Tel besleme hızının, ark dinamiği ve ark boyunun her zaman artışı veya azalışı sonuçta doğru orantılı olarak kaynak kalitesi sağlamamıştır. Sonuçta, istenen kaynak kalitesine göre deneysel veriler dikkate alınarak değişkenlerin ayarı yapılmalıdır. Ayrıca, kaynak değişkenlerinin birbiriyle bağlantılı olması sebebiyle doğru seçim ancak, kaynak parametrelerinin uygulanması sonucunda ortaya çıkan kaynak özelliklerine göre belirlemektir.

Bu çalışma daha ileri seviye olarak kaynak robotlarında entegre edilen ark sensörü, dokunma sensörü (touch sensor) ve dikiş izleme sensörü (seam tracker) kullanılması ile daha kapsamlı olarak kaynak işlemleri değerlendirilebilir. Ayrıca, sensör olarak lazer sensörler de bu alanda yeni gelişen teknolojiler arasında olup kaynak hatalarını en az seviyeye düşürmek için çalışmalar yapılmaktadır. Yakın gelecekte ise; gazaltı kaynak robotlarının, geliştirilen kaynak makinaları ile birlikte daha kaliteli, daha verimli, tekrarlanabilir kalite sağlama gibi üstün özellikleri ve insan sağlığını olumsuz etkileyen koruyucu gaz, ışık ve ısı gibi etkiler nedeniyle endüstride yoğun olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kaluç, E., “Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri”, TMOB Makine Mühendisleri Odası, 2004.
- [2] B. Mvola, P. Kah, J. Martikainen, E. Hiltunen, “Applications and benefits of adaptive pulsed GMAW”, ISSN 1392 – 1207, MECHANIKA, Volume 19(6) : 694-701, 2013.
- [3] Komaç, E., “Teknik Eğitim El Kitabı”, Askaynak Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş., 2014.
- [4] Praveen, P., Yarlagadda, P.K.D.V., Kang, M.J., “Advancements in pulse gas metal arc welding”, Journal of Materials Processing Technology 164-165 (2005) 1113-1119, 2005.
- [5] Mirzaei, E., Jeshvaghani, R. A., Yazdipour, A., Zanganeh-madar, K., “Study of welding velocity and pulse frequency on microstructure and mechanical properties of pulsed gas metal arc welded high strength low alloy steel”, Materials and Design 51 (2013) 709-713, 2013.
- [6] Pal, K., Pal Surjya, K., “Effects of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding : A Review”, Journal of Materials Engineering and Performance, 918-Volume 20(6), 2011.
- [7] Palani, P.K., Murugan, N., “Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding”, Journal of Materials Processing Technology 172 (2006) 1-10, 2006.
- [8] <http://www.millerwelds.com>, Erişim Tarihi : 05.08.2017
- [9] <http://www.lincolnelectric.com>, Erişim Tarihi: 05.08.2017
- [10] Eryürek, I.B., “Gazaltı Ark Kaynağı”, Askaynak Kaynak Tekniği San. Tic. A.Ş., 2007.

- [11] Uzun, H., “MIG/MAG Gazaltı Kaynağında Akım Türleri”, Ders Notu, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 2017.
- [12] Tülbentçi, K., “MIG/MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı”, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, 1990.
- [13] <http://www.onderalioglu.com/mesleki-egitim/robot-kaynak-teknolojisi.pdf>, Alioğlu, O., 2017, Erişim Tarihi : 16.07.2017
- [14] Durmuşoğlu, Ş., “Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, 2006.
- [15] Lincoln Electric, “Gmaw Welding Guide”, 2017.
- [16] Uzun, H., “MIG/MAG Gazaltı Kaynak Tekniğinde Kullanılan Koruyucu Gazlar”, Ders Notu, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 2017.
- [17] “Cloos Qineo Pulse Operating Instructions”, Carl Cloos Schweisstechnik GmbH, 2016.
- [18] <https://www.ewm-group.com>, Ewm Group, “Tel besleme ünitesi kullanım kılavuzu”, 2016.
- [19] TeamWelder Germany GmbH Sälzerstraße, “MIG 300 D3 Synergic, MIG 300 D3 Synergic Puls kaynak makinaları kullanım kılavuzu”, 2016.
- [20] İbrahim, I.A., Mohamat, S.A., Amir, A., Ghalib, A., “The effect of gas metal arc welding(GMAW) processes on different welding parameters”, Procedia Engineering 41, 1502-1506, 2012.
- [21] Ünlü, S.B., Yılmaz, S.S., Uzkut, M., “MIG/MAG Kaynağı ile farklı şiddetlerde birleştirilmiş Fe37 çeliğinin kaynak bölgesinin mekanik özellikleri”, International Advanced Technologies Symposium(IATS'11), Elazığ-Turkey, 16-18 May 2011.
- [22] <https://www.askaynak.com.tr>, Erişim Tarihi : 13.08.2017
- [23] Şık, A., “MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 4, 769-777, 2007.

- [24] Gülenç, B., Candan, İ., Kahraman, N., “MIG/MAG kaynağı ile birleştirilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 4, 631-637, 2006.
- [25] Durgutlu, A., Gülenç, B., Tülbentçi, K., “Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikro yapıya etkisi”, Journal of Engineering and Environmental Science – 23, 251-259, 1999.
- [26] Eryürek, İ.B., Sevük, A., Odabaş, C., “Kaynak Teknolojisi”, Askaynak Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş., 2007.
- [27] Joseph, A.P., “Assessing the effects of gmaw-pulse parameters on arc power and weld heat input”, Master’s thesis of The Ohio State University, 2001.
- [28] <https://slideplayer.biz.tr/slide/9199960>, Gülpınar, M., MIG/MAG Kaynağı, Erişim tarihi : 13.04.2019

ÖZGEÇMİŞ

Ekrem ARSLAN, 1991 yılında Çorum/Alaca'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini 2005 yılında Sultanbeyli Hasan Ali Yücel İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini 2009 yılında Sultanbeyli Gediktaş Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Mekanik tasarım ve imalat alanında çalışmalarına özel sektörde devam etmektedir. Aynı zamanda, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisidir.