

**DARBELİ AKIMLA MIG/MAG KAYNAĞINDA
DARBE PARAMETRELERİNİN DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Hizber Ferit MUZAFFEROĞLU
503051308**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Murat VURAL
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. C.Erdem İMRAK (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Sanayinin birçok alanında kullanılmakta olan MIG/MAG kaynağının ileri bir yöntemi olan darbeli akımla MIG/MAG kaynağı, sinerjik kontrol metodunun yönetime uygulanmasıyla özellikle atölye tipi kaynak işlerinde çok yaygın hale gelmiştir. Ancak sinerjik makinelerin kullanıcıya sunduğu avantajlar, önceden programlanmış olarak kullanıcıya sunulan otomatik ayarlar, darbeli akım parametrelerinin etkilerinin kullanıcı tarafından net bir şekilde algılanması gerekliliğini ikinci planda bırakmıştır.

Yapılan bu çalışmada darbeli akımla MIG/MAG kaynağındaki darbe parametrelerinin dikiş geometrisi üstündeki etkileri açıklanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bilgi birikimi ve deneyimini benimle paylaşan danışmanım Doç. Dr. Murat VURAL'a, eğitimim sırasında edindiğim teorik bilgiyi pratikte uygulama imkanı tanıyan Gedik Kaynak Sanayi ve Ticaret A.Ş. 'ye ve değerli çalışanlarına, İstanbul Teknik Üniversitesi akademik ve idari personeline ve öğrenim hayatım boyunca bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin aynı konu üzerinde çalışmalar yapan araştırmacılara faydalı olmasını ümit ederim.

Haziran 2008

Hizber Ferit MUZAFFEROĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Amaç	1
1.2. Literatür	3
2. GAZALTI ARK KAYNAĞI	5
2.1. Tanımı, Tarihçesi ve Sınıflandırması	5
2.2. Erimeyen Elektrotla Gazaltı Kaynağı	8
2.2.1. Ark atom gazaltı kaynağı	8
2.2.2. TIG kaynağı	9
2.3. MIG/MAG Kaynağı	9
2.3.1. MIG/MAG kaynağının çalışma prensibi	11
2.3.2. Yöntemin avantajları ve dezavantajları	13
3. MIG/MAG KAYNAĞINDA METAL TRANSFER MODLARI	14
3.1. Kısa Devre Metal Transferi	14
3.2. Küresel Metal Transferi	16
3.3. Eksenel Sprey Transfer	18
3.4. Darbeli Sprey Transfer	20
4. DARBELİ AKIMLA MIG/MAG KAYNAĞINDA DARBE PARAMETLERİ VE DİKİŞ GEOMETRİSİNE ETKİLERİ	24
4.1. Pik Akım	24
4.2. Pik Akım Süresi	27
4.3. Temel Akım	30
4.4. Ortalama Akım	32
4.5. Darbe Frekansı	34

5. DARBELİ AKIMLA MIG/MAG KAYNAĞINDA DİĞER PARAMETRELER VE DİKİŞ GEOMETRİSİNE ETKİLERİ	38
5.1. Tel Besleme Hızı	38
5.2. Koruyucu Gaz	42
5.2.1. Soy koruyucu gazlar	44
5.2.2. Reaktif koruyucu gazlar	44
5.2.2.1. Disosiasyon ve rekombinasyon	45
5.2.3. İkili koruyucu gaz karışımları	46
5.2.3.1. Argon/helyum	46
5.2.3.2. Argon/karbondioksit	47
5.2.3.3. Argon/oksijen	48
5.2.4. Üçlü koruyucu gaz karışımları	49
5.3. Güç Membaı ve Ark Boyu	50
6. MIG/MAG KAYNAĞINDA DAMLANIN ELEKTROTTAN KOPMASI	53
6.1. MIG/MAG Kaynağında Damlanın Ayrılmasında Etkili Olan Kuvvetler	53
6.1.1. Elektromanyetik kuvvet	54
6.1.2. Yüzey gerilimi kuvveti	54
6.1.3. Tepki kuvvetleri	55
6.2. Damla Kopma Mekanizmaları ve Parametrelerin Etkileri	55
7. DENEYLER	60
7.1 Donanım ve Deneyin Yapılışı	60
7.2 Dikiş geometrilerinin belirlenmesi	63
8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	65
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR

MIG/MAG	: Eriyen Elektrotla Gaz Altı Kaynağı
TIG	: Tungsten Inert Gas
TWI	: The Welding Institute
MIG	: Metal Inert Gas
MAG	: Metal Active Gas

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Alüminyum ve Çelik İçin Geçiş Akımı Değerleri	25
Tablo 4.2 Her Darbede Bir Damla Rejimi İçin Darbe Parametreleri.....	29
Tablo 6.1 Farklı Darbe Parametrelerinde Görülen Damla Kopma Mekanizmaları.....	56
Tablo 6.2 Darbeli Küresel Transfer Gözlenen Darbe Parametreleri.....	57
Tablo 7.1 Kemppi Pro Evolution 5200 Kaynak Makinesinin Özellikleri.....	61
Tablo 8.1 Farklı Pik Akım Genliklerinde Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri	67
Tablo 8.2 Farklı Pik Akım Genliklerinde Dikiş Boyutları.....	68
Tablo 8.3 Farklı Damla Boyutlarında Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri...	72
Tablo 8.4 Farklı Damla Boyutlarında Dikiş Boyutları.....	72
Tablo 8.5 Farklı Tel Besleme Hızlarında Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri.....	75
Tablo 8.6 Farklı Tel Besleme Hızlarında Dikiş Boyutları.....	75
Tablo 8.7 Farklı Ark Boylarında Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Ark Atom Kaynağında Kullanılan Üfleç.....	8
Şekil 2.2	: TIG Kaynak Donanımı Blok Şeması.....	9
Şekil 2.3	: MIG/MAG Kaynak Donanımı.....	12
Şekil 3.1	: Kısa Devre Transfer Modunda Damla Geçiş.....	14
Şekil 3.2	: Kısa Devre Transfer Modu Gerilim ve Akım Değerleri.....	15
Şekil 3.3	: Küresel Transfer Modunda Damla Geçiş.....	16
Şekil 3.4	: Eksenel Olmayan Küresel Transfer Modunda Damla Geçiş.....	18
Şekil 3.5	: Eksenel Sprey Transfer Modunda Damla Geçiş.....	19
Şekil 3.6	: Darbeli Sprey Transfer Modunda Damla Geçiş.....	21
Şekil 4.1	: Darbe Dalga Şekli.....	24
Şekil 4.2	: Çelik Elektrot İçin Optimum Darbe Frekansı Bölgeleri.....	27
Şekil 4.3	: Tablo 4.2 Gösterilen Her Darbede Bir Damla Sağlayan Değerler	29
Şekil 4.4	: Darbe ve damla frekanslarının ilişkisi.....	36
Şekil 4.5	: Farklı Pik Akımlarda Darbe ve damla frekanslarının ilişkisi.....	37
Şekil 5.1	: Sabit ve Darbeli Akım Karşılaştırması.....	41
Şekil 5.2	: Kaynak Dikişi Geometrisi.....	41
Şekil 5.3	: Çeşitli Koruyucu Gazların Dikiş Geometrisine etkisi.....	46
Şekil 5.4	: Argon Korumasına Oksijen ve Karbondioksitin İlavesinin Etkisi	46
Şekil 5.5	: Sabit Akım Güç Kaynağı Çalışma Davranışı.....	50
Şekil 5.6	: Sabit Voltaj Güç Kaynağı Çalışma Davranışı.....	51
Şekil 5.7	: Sabit Voltaj Güç Kaynağı ile Ark Boyunun Korunması.....	52
Şekil 6.1	: Darbeli Küresel Transfer Modunda Damla Geçiş.....	57
Şekil 6.2	: Her Darbede Bir Damla Rejimi.....	58
Şekil 7.1	: Kontrol Paneli.....	60
Şekil 7.2	: Torcun İlerleme Tertibatına Bağlanması.....	61
Şekil 7.3	: Zımparalama ve Parlatma Tezgahı.....	63
Şekil 7.4	: Zımparalanan Numune Örneği	64
Şekil 7.5	: Stereo Mikroskop	64
Şekil 8.1	: Pik Akım Değişiminin Dikiş Geometrisine Etkisi	66
Şekil 8.2	: A2 Numunesinin Dikiş Geometrisi	69
Şekil 8.3	: A6 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	69
Şekil 8.4	: A8 Numunesinin Dikiş Geometrisi	70
Şekil 8.5	: A15 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	70
Şekil 8.6	: A23 Numunesinin Dikiş Geometrisi	71
Şekil 8.7	: A26 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	71
Şekil 8.8	: Damla Boyutu Değişiminin Dikiş Geometrisine Etkisi.....	72
Şekil 8.9	: B1 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	73
Şekil 8.10	: B2 Numunesinin Dikiş Geometrisi	74
Şekil 8.11	: B3 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	74
Şekil 8.12	: Tel Besleme Hızı Değişiminin Dikiş Geometrisine Etkisi	76
Şekil 8.13	: C1 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	76

Şekil 8.14 : C2 Numunesinin Dikiş Geometrisi	77
Şekil 8.15 : C3 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	77
Şekil 8.16 : D1 Numunesinin Üstten Görünüşü	78
Şekil 8.17 : D2 Numunesinin Dikiş Geometrisi.....	78
Şekil 8.18 : D3 Numunesinin Üstten Görünüşü	79

SEMBOL LİSTESİ

I_p	: Pik Akım
T_p	: Pik Akım Süresi
K_v	: Kopma Parametresi
t_d	: Damlanın Elektrottan Ayrılma Zamanı
t_1	: Boyun Verme İşlemine Hazırlık İçin Isıtma Zamanı
t_2	: Boyun verme ve damla büyüme zamanı
t_3	: Kopma Zamanı
I_b	: Temel Akım
T_b	: Temel Akım Süresi
D	: Pik Akım Oranı
F	: Darbe Frekansı
I_{av}	: Ortalama Akım
W	: Tel Besleme Hızı
T	: Darbe Periyodu
V_{drop}	: Damla Hacmi
d_e	: Elektrot Çapı
r	: Elektrot Yarıçapı
ϕ	: Bir Darbede Kopan Metalin Hacmi
$\langle I \rangle$	: Bir Darbe Çevrimindeki Ortalama Akım
I_e	: Pik Akım İle Temel Akım Arasındaki Fark
K, k	: Sabit
$I_p(t), I_b(t)$	: Akımın Anlık Değerleri
S_{av}	: Eğim
m_{pulse}	: Akım Darbesi İle Elektrot Erime Miktarı
$V_{drop}(I_p)$	: Pik Akımda Öngörülen Damla Hacmi
ρ_d	: Damlanın Yoğunluğu
$m(I_p)$	: Pik Akımdaki Erime Miktarı
$m(I_b)$	: Temel Akımdaki Erime Miktarı
f	: Teorik Damla Kopma Frekansı
M_m	: Kütle Cinsinden Erime Hızı
m_d	: Damla Kütlesi
L	: Serbest Elektrot Boyu
α	: Tel Ucundaki Yerel Ark Isısı Çarpanı
β	: Tel Uzunluğu Boyunca Oluşan Direnç Isısı Çarpanını
W_p	: Pik Akımdaki Tel Erime Hızı
W_b	: Temel Akımdaki Tel Erime Hızı
$W(t)$	: Anlık Erime Hızı
H	: Dikiş Yüksekliği
P	: Nüfuziyet
G	: Dikiş Genişliği
L_P	: Nüfuziyet Sınır Uzunluğu
L_R	: Dikiş Yüksekliği Sınır Uzunluğu

A_p	: Nüfuziyet Kesit Alanı
A_R	: Dikiş Yüksekliği Kesit Alanı
A_T	: Kaynağın Toplam Kesit Alanı (A_p+A_R)
θ_w	: Kaynak Dikişi – Esas Metal Açısı
θ_F	: Erime Açısı

DARBELİ AKIMLA MIG/MAG KAYNAĞINDA DARBE PARAMETRELERİNİN DİKİŞ GEOMETRİSİNE ETKİSİ

ÖZET

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında darbe parametrelerinin dikış geometrisine etkisi konusundaki bu çalışmada ilk olarak MIG/MAG kaynak yönteminin hangi ihtiyaçlardan ortaya çıktığına ilişkin bilgi verilmiştir. Geleneksel MIG/MAG yönteminde görülen kısa devre metal transferi, küresel formda metal transferi ve eksenel spreyl metal transferi modlarının özellikleri, avantajları ve yetersiz kaldıkları noktalar belirtilmiştir. Darbeli akım kullanılmasıyla geleneksel yöntemde görülen farklı transfer modlarının avantajlarını nasıl bir araya getirdiği vurgulanmıştır. Darbe parametrelerinin dikış geometrisi üstündeki etkilerine ayrı ayrı değinilmiştir. Bunun dışında geleneksel MIG/MAG kaynağında dikış geometrisine etki eden faktörlerin darbe parametreleri ile ilişkisi, buna bağlı olarak bu faktörlerin darbeli akımla MIG/MAG kaynağında seçiminin ve ayarının nasıl yapılması gerektiği konusunda bilgi verilmiştir. Son olarak bahsi geçen parametrelerin etkilerinin incelenmesi için dört farklı grupta deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar ile önceden ayrı ayrı dikış geometrisi üstündeki etkileri vurgulanmış olan darbe parametrelerinden pik akım genliğinin değişimi ve buna bağlı olarak pik akım süresinin değişiminin dikış geometrisi üzerindeki sinerjik etkisi araştırılmıştır. Bunun dışında ikinci deney grubunda, pik akım genliği ve pik akım süresi tarafından kontrol edilen damla boyutunun değişiminin, dikış geometrisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üçüncü ve dördüncü grup deneylerde ise sırasıyla tel besleme hızı ve ark boyu gibi geleneksel MIG/MAG kaynağında büyük önemi bulunan kaynak parametrelerinin darbeli akımdaki davranışları ve etkileri incelenmiştir.

EFFECTS OF PULSE PARAMETERS ON WELD BEAD GEOMETRY IN PULSED GAS METAL ARC WELDING

SUMMARY

In this study on the subject of the effects of pulse parameters on weld bead geometry in pulsed gas metal arc welding, firstly necessities which caused development of gas metal arc welding are reported. Characteristics, advantages and limits of short circuit metal transfer mode, globular metal transfer mode and axial spray metal transfer mode which are obtained in conventional gas metal arc welding, are expressed. How pulsed current combined the advantages of different transfer modes of conventional method is highlighted. Effects of pulse parameters on weld bead geometry are mentioned one by one. In addition, relations between pulse parameters and factors that affect weld bead geometry in conventional gas metal arc welding are enlightened; according to this, information is given on selection and setup of these factors, in pulsed gas metal arc welding. Finally, experiments are conducted in four different categories to determine the effects of these parameters on weld bead geometry by experimental study. In the first group of experiments, the synergic effect of peak current and peak current duration, on weld bead geometry, is investigated. In the other groups of experiments, the effect of droplet size which is also affected by peak current and peak current duration, the effect of wire feeding rate and arc length, on weld bead geometry, is investigated respectively.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Amaç

Endüstride kurumların verimli olma çabası, kaliteyi geliştirme ve kullanılan yöntemlerin kısıtlayıcı yanlarının ortadan kaldırılmasında her zaman faydalı olmaktadır. Darbeli akımla MIG/MAG kaynağı da endüstrinin ihtiyacına istinaden böyle bir çabanın sonucu olarak geliştirilmiştir.

Çok çeşitli demir esaslı ve demir esaslı olmayan malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılan MIG/MAG kaynağı akım taşıyan sürekli beslenen telin erimesi ile metallerin birleşimini sağlar. Elektrottan kaynak banyosuna metal iletimi farklı şekillerde gerçekleşir. Nispeten düşük akımlarda iri damlalar halinde olan iletim şekli akım yükseldikçe spreylere halini alır. Küresel (iri damla) iletim periyodik olarak elektrot ucunda büyük damlacıkların oluşması olarak tanımlanır. Bu damlacıklar yer çekimi etkisi ile koparak kaynak banyosuna dahil olurlar. Küresel iletim şekli erimiş damlacıklar üzerindeki kontrol eksikliği ve büyük damlacıkların oluşumuna bağlı ark kararsızlığı nedeniyle sorunludur. Sprey iletim şekline ise ancak yüksek kaynak akımlarında ulaşılabilir, bazı malzemeler için minimum spreylere iletim gerçekleşebilecek akımın yüksek oluşu, yani eşik değerin yüksek oluşu, o malzeme tipi için belirli kalınlıkların altında bu yöntemin kullanımını kısıtlar. Yüksek yağma hızı sağlamasına karşın parçaya aşırı ısı girdisine neden olması sebebi ile de spreylere iletim her uygulamada kullanılamaz. Bu durumun üstesinden gelebilmek için 1960'lı yılların ortalarında küresel iletim ile spreylere iletimin olumlu özelliklerini bir araya getiren darbeli akımla MIG/MAG kaynağı geliştirilmiştir [1].

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağı, akımın düşük temel akım ile yüksek pik akım arasında, ortalama akımı her zaman doğru akım ile spreylere iletimin eşik değerinin altında tutacak şekilde, yükselip alçalması şeklinde çalışır. Yüksek akıma ani çıkışlar nedeniyle yöntemle darbeli akımla MIG/MAG kaynağı adı verilmiştir. Eriyen elektrotla darbeli MIG/MAG kaynağında her darbeye elektrotun ucunda bir erimiş metal damlası yaratılır. Pik akım süresi erimiş damlacıkların kopmasına yetecek

kadar uzundur, temel akım ise pik akımlar arasında arkın sürdürülmesini sağlar. Akımın düz bir çizgi ile temsil edilebildiği konvansiyonel MIG/MAG kaynağındakinin aksine, darbeli akımla MIG/MAG kaynağı fazla güç gerekli olmayan zamanlarda akımı azaltır, böylece uygulamada soğuma sağlar. Bu soğuma periyodu darbeli akımla MIG/MAG kaynağının ince malzemelerde daha iyi kaynak yapmasına, distorsiyonu kontrol etmesine ve daha düşük tel besleme hızlarında çalışabilmesine imkan sağlar [1,2].

Bunların yanı sıra yüksek ısı iletkenliğe sahip malzemelerin kaynağında da darbeli akım önemli avantajlar sağlamıştır. Örneğin, alüminyum alaşımlarının kaynak davranışı çelik gibi konvansiyonel malzemelerden belirgin biçimde farklıdır. Yüksek ısı iletkenliğin yanı sıra katılaşma sırasında oluşan yüksek kendini çekme oranı, yüzeydeki oksit oluşumu, yüksek ısı genleşme katsayısı, erimiş durumda hidrojen çözünabilirliğinin yüksek oluşu, nispeten geniş katılaşma sıcaklığı aralığı gibi fiziksel özellikler alüminyumun kaynağını olumsuz etkiler [3]. Isı girdisinin bu tip malzemelerde yüksek olması gereklidir ancak ısı girdisinin yüksek oluşu bazı sakıncalar doğurur. Alüminyum ve alaşımları sanayinin birçok dalında, ağırlığın azaltılması amacıyla, korozyon dayanımının iyi olması sebebiyle ve yüksek yorulma dayanımına sahip olması nedeniyle ilgi görmektedir. Kaynaklı konstrüksiyon ise hafif olması nedeniyle birçok tasarımda tercih edilmektedir. Bunlara bağlı olarak alüminyum kaynağının kullanımı giderek artmaktadır. Doğru alaşımın seçimi temel olarak dayanım, işlenebilirlik, kaynak kabiliyeti ve korozyon dayanımına bağlıdır. Buradan da anlaşılabileceği gibi kaynaklı tasarım ve imalatın önemi daha alaşım seçimi aşamasında ortaya çıkmaktadır [4]. Darbeli akımla MIG/MAG kaynağı yöntemi alüminyum ve benzer ısı özellikler gösteren malzemelerin kaynağında karşılaşılan bu zorlukların üstesinden gelmeye yardımcı olmuştur.

Gerek hemen hemen her tip metalde kullanılabilir oluşu, gerekse kolay otomatikleştirilebilir olması sebebiyle robotlu imalata yatkınlığı darbeli akımla MIG/MAG kaynağını popüler kılmaktadır. Ancak işlem parametrelerinin seçiminde yaşanan sıkıntılar ilk başlarda sanayide yöntemin yaygınlaşmasını yavaşlatmıştır. Doğru akımla MIG/MAG kaynağında etkin rol oynayan tel besleme hızı, koruyucu gaz tipi, kaynak gerilimi gibi parametrelere ilave olarak yeni yöntemde darbe parametreleri olarak adlandırabileceğimiz pik akım, temel akım, pik akım süresi ve temel akım süresi de kaynakçı tarafından ayarlanmak zorundadır. Ancak elektronik

alanındaki yeniliklerle yüksek performanslı ark kaynağı donanımı geliştirmede önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Özellikle sinerjik makinelerin ortaya çıkması ile kaynakçı için bu ayarlama zorluğu da ortadan kaldırılmıştır [4].

Birden fazla metal transfer şekli olması, işlemdeki darbe parametrelerinin karmaşıklığı ve birbirine bağımlılığı nedeniyle rasyonel bir temele oturmayan şekilde uygun parametre kombinasyonuna ulaşmak çok düşük ihtimalli olmakla beraber tamamen şanstır [2]. Yukarıda bahsi geçen darbe parametreleri kaynak dikişi özelliklerini ve geometrisini yakından etkiler.

Kaynak kalitesi ve güvenilirliği sağlamak, ayrıca hatalardan kaynaklanan düzeltmeleri asgariye indirip verimliliği arttırmak için uygun kaynak prosedürü seçimi çok önemlidir. Bu seçim genellikle birçok ampirik veriye ulaşıldıktan sonra yapılır. Bunun yanında analitik yöntemlerde geliştirilmiştir ancak bu yöntemlerin geliştirilmesinde yapılan basitleştirici kabuller nedeniyle analitik çözümler ampirik veriler kadar gerçeğe yaklaşmayabilir. Esas amaç kaynak değişkenlerini kontrol edip tasarıma uygun şekilde istenilen dikiş geometrisine, istenilen mekanik özelliklere üretken bir şekilde ulaşmak olmalıdır.

Bu tezin amacı istenilen kaynak dikişi boyutlarında kaliteli kaynak elde edebilmek için darbeli akımla MIG/MAG kaynağında uygun darbe parametrelerinin nasıl belirleneceğini, pik akımdaki değişimin dikiş geometrisi üzerindeki etkisini deneysel çalışma ile ortaya koymaktır.

1.2 Literatür

Subramaniam ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda [5,6], damla kopma teorileri, damla kopma türleri hakkında bilgi vermiş bunların hangi parametrelerle gerçekleşebileceğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalarda kopmanın sadece pik akım koşullarına bağlı olmadığını, çoğu zaman temel akım koşullarından da önemli derecede etkileneceğini göstermişlerdir. Pik ve temel akım koşullarına bağlı her darbeye bir damla kopmasını sağlayacak bir bağıntı geliştirmişlerdir.

Rajasekaran ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda [4,7], farklı darbe parametreleri ile değişen ısı girdisine bağlı erime hızının kopma üzerindeki etkisini ortaya koymuşlardır.

Ueguri ve arkadaşları darbeli akımla MIG/MAG kaynağında metal transferi üzerine yaptıkları çalışmalarında [8], elektrot ucunda oluşan damlaya etkiyen kuvvetler ve damlanın aldığı şekil ve boyutu ile ilgilenmişlerdir, sıçrama yaratmayacak uygun darbe akımı ve süresi üzerinde durmuşlardır.

Kim ve Eagar [9], her darbeye bir damla rejimi üzerinde çalışmış, pik akım oranı ve temel akımın düşük değerlerinde bu rejimin elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

French ve Bosworth [10], darbeli akımla MIG/MAG kaynağı ile geleneksel MIG/MAG kayna arasında bir kıyaslama yapmışlardır.

Palani ve Murugan [2], birçok araştırmacı tarafından daha önce yapılmış çalışmalarda kullanılan yöntem ve ulaşılan sonuçları geniş bir şekilde derlemişlerdir.

Praveen ve arkadaşları [1], güç membaları, darbe dalga geometrileri, kontrol üniteleri ve bunların gelişimi hakkında bilgi vermiştir.

Praveen ve Yarlagadda [3], alüminyumun kaynağında yaşanan zorluklar ve darbeli akımla MIG/MAG kaynağının bunların giderilmesine katkısı hakkında bilgi vermiştir.

2. GAZALTI ARK KAYNAĞI

2.1 Tanımı, Tarihçesi ve Sınıflandırması

Kaynak yapılacak bölgenin bir gaz ortamı ile korunduğu, ark kaynağı türü “gaz altı ark kaynağı” olarak adlandırılır [11]. Kaynakta koruyucu bir gazın kullanılması fikri oldukça eskidir. İlk olarak 1926 yılında “Alexander” yöntemi olarak ortaya çıkmıştır ve koruyucu gazla kaynak olarak da bilinir. Bu yöntemde kaynak bölgesi, metanol gazı ile korunmaktaydı. Alexander yöntemi dışında yine 1926 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde Weinmann ve Langmuir tarafından hidrojenin koruyucu bir gaz olarak kullanılmasıyla “ark atom” kaynak yöntemi uygulama alanına girmiştir. 1928’de oksitasetilen aleviyle korunan “Arcogen” usulü geliştirilmiştir. Alexander ve Arcogen kaynak yöntemleri günümüzde kullanılmamaktadır [11,12].

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda koruyucu gaz olarak helyum ve argon gibi soy gazların, karbondioksit gibi aktif gazların kullanılması uygulama alanına girmiştir [11].

Koruyucu gaz olarak soy bir gazın kullanılması, ancak 1930 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde Hobart ve Devers tarafından patent olarak alınmış ve 1940 yılında da “Norttop Aircraft Company Inc.” firması, uçak inşaatında magnezyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. Burada, önce helyum gazı kullanılmış ve daha sonra da 1942 yılında “Linde Air Products Company Union Carbide and Carbon Corporation” firması tarafından hem helyum hem de argon gazları kullanılarak hafif metal ve alaşımlarının kaynağı yapılmıştır [12]. Hobart ve Devers’in araştırmaları sayesinde %100 argon gazı koruması ile sürekli beslenen alüminyum tel elektrot ilk kez kullanılmıştır [13].

MIG/MAG kaynağı, erimeyen elektrotla yapılan gaz altı kaynağı türlerinden olan TIG kaynağı ile yapılan kaynakların hızını arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. TIG kaynağı da bir ark kaynağı prosesidir, bir koruyucu gazla korunur fakat TIG kaynağı erimeyen tungsten elektrot kullanır. TIG kaynağında dolgu metali MIG/MAG kaynağına göre çok daha düşük hızlarda manuel olarak beslenmektedir. TIG kaynağı

ince ölçekteki malzeme kalınlıklarında çok iyi sonuçlar vermektedir. MIG/MAG kaynağı, TIG kaynağının kalın alüminyum kesitlerini kaynatmakta çok yavaş kaldığı ortaya çıkınca geliştirilmiştir. MIG/MAG kaynağı, kalın malzemeleri kaynatmak için TIG kaynağına göre çok daha verimli ve karlıdır. Yani MIG/MAG kaynağı daha hızlı ve daha kar edilebilir bir proses elde etmek için geliştirildi [14].

İlk dönemlerinde MIG/MAG kaynağı genellikle düşük çaplı alüminyum tel elektrot, yüksek amperaj ve soy gazların koruması altında uygulanmıştır. Soy koruyucu gaz kullanılması nedeniyle İngilizcede “Metal Inert Gas” ifadesinin baş harflerinden oluşan MIG kelimesi bu kaynak yönteminin adı olarak kullanılmıştır. Bu terim günümüzde halen sık kullanılmasına rağmen aslında teknik olarak doğru bir tanımlama değildir [14]. Alüminyumda kullanılan ilk metal transfer şekli eksenel sprej transferdir. Bu ilerleyen dönemlerde küçük miktarlarda oksijen ilave edilmiş argon kullanımı sonucunu doğurmuştur. Oksijen ark kararlılığını arttırmış ve sonuç olarak eksenel sprej transferin demir esaslı malzemelerde kullanımına olanak sağlamıştır [13]. Tüm bu gelişmeler ve reaktif koruyucu gazların karbon çeliklerinde kullanılması, gaz metal ark kaynağı ya da eriyen elektrotla gaz altı kaynağı teriminin doğmasına neden olmuştur [14].

Ortaya çıktığından beri MIG/MAG kaynağı yönteminde birçok ilerleme olmuştur. Bunlar arasında güç kaynaklarındaki gelişmeler ile tel elektrot ve koruyucu gazlardaki gelişmelere paralel olarak tel besleme teknolojisindeki ilerlemeler vardır [14].

Soy gazlardan başka kaynak yerinde aktif bir gazın kullanılması konusundaki ilk çalışmalara 1952 yılında başlanmıştır. Örneğin karbondioksit gazının kullanılması gibi [12]. 1950lerin başında Lyubavshkii ve Novoshilov'un çalışması MIG/MAG kaynağının reaktif bir gaz olan karbondioksit koruması ile geniş çaplı çelik elektrotların kullanımını kapsayacak şekilde gelişmesini sağlamıştır. İşlemin gelişiminin bu aşamasında yüksek oranda sıçrama görülmekteydi ve ark tarafından yaratılan ısı seviyesi prosesi kaynakçılar için itici kılmaktaydı [13].

1950lerin sonlarına doğru güç kaynağı teknolojisindeki yenilikler ve 0,9 mm ile 1,6 mm aralığındaki küçük çaplı elektrotların ortaya çıkışı kısa devre transfer olarak tanınan yeni bir modun kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu ilerleme ince kesitli

esas metallerde düşük ısı girdisi kullanımına ve her pozisyonda kaynağa olanak sağlamıştır [13].

1960ların başlarında güç kaynağı araştırma ve geliştirmeleri MIG/MAG kaynağında darbeli sprej moda girişı sağlamıştır. Darbeli sprej transfer için fikir 1950lerde ortaya atılmıştır ve kavram olarak yüksek enerjideki pik akımından düşük enerjideki temel akımına yüksek hızda geçişı gerektiriyordu. Bu fikrin arkasındaki sebep sıçramayı azaltma ihtiyacı ve yetersiz ergime kusurlarını bertaraf etmektir. Darbeli ark işlemleri, aksenel sprej transferin temiz, sıçramasız, mükemmel ergimeye sahip kaynakları ile düşük ısı girdisini birleştirmiştir. Darbeli akımla MIG/MAG kaynağı ile sağlanan daha düşük ortalama akım ile pozisyona bağılı olmaksızın kısa devre transfere göre daha ileri seviyede kaynak kalitesi elde edilebilir duruma gelinmiştir [13].

1970ler güç kaynağı teknolojisini başlatarak MIG/MAG kaynağı prosesinin özellikle de darbeli akımla MIG/MAG kaynağının gelişiminin daha da ileri gitmesini sağlamıştır. Bu zaman dilimi ilk tristör güç kaynaklarının darbeli akımla MIG/MAG kaynağı ile birleşmesine tanıklık etmiştir. TWI, Birleşik Krallık Kaynak Enstitüsü, darbe frekansı ve tel besleme hızı arasında doğrusal ilişkinin ortaya konmasında pay sahibidir. Bu matematiksel ilişki için ortaya konan algoritma, sonraki sinerjik transistör kontrollü güç kaynakları için önemli bir temel oluşturmuştur. Yeni yüksek hızlı elektronik kontrolleri kaynak felsefesi ile uygulama alanındaki fiili kaynak işleminin yakınlığını arttırmıştır. Bu gelişmeyi ifade eden yeni tanım “Sinerjik” kelimesidir. Adından da anlaşılacağı gibi sinerjik, tek tuşla kontrol anlamına gelir, yani kaynakçı tel besleme hızını artırır veya azaltırsa önceden belirlenmiş darbeli enerji otomatik olarak arka uygulanır. Sinerjik güç kaynakları darbeli akımla MIG/MAG kaynağını kullanmayı daha kolay hale getirmiştir [13].

1990larda kaynak güç kaynağı teknolojisindeki araştırma ve geliştirmeler ilerlemeye devam etmiştir [13].

Bugün, çeşitli soy gaz karışımları ile aktif gazların kullanıldığı donanımları aynı, fakat gaz karışımları farklı olan çeşitli koruyucu gaz kaynak usulleri mevcuttur [12].

Gaz altı kaynağında arkın teşekkülü için kullanılan elektrot malzemesi ve koruyucu gazın cinsine göre, aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılabilir [11]:

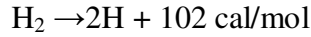
- Erimeyen elektrotla gaz altı kaynağı

- Ark atom kaynağı
- TIG kaynağı
- Erimeyen elektrotla gaz altı kaynağı
 - MIG kaynağı
 - MAG kaynağı

2.2 Erimeyen Elektrotla Gaz Altı Kaynağı

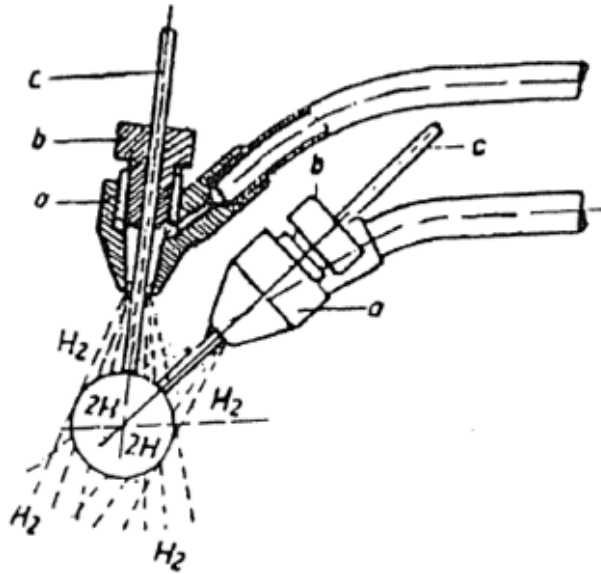
2.2.1 Ark atom gazaltı kaynağı

“Atomik Hidrojen Kaynağı” olarak da bilinen bu gaz altı kaynağı türü, en eski gaz altı kaynağı uygulamasıdır. Koruyucu gaz olarak kullanılan hidrojen gazı, ark sıcaklığında ısı alarak aşağıdaki denkleme göre atomsal hale geçer :



Atomsal hale geçen hidrojen, daha sonra birleşerek molekül halini alır ve aldığı ısıyı geri verir.

Elektrot olarak % 99,8 – 99,9 saflıkta tungsten elektrotlar kullanılır. Elektrotların çapları, 1,5 – 3 mm olup, boyları normal olarak 300mm'dir. Hidrojen gazı kaynak yerine 0,3 atmosfer basınçta sevk edilir. Bu kaynak yönteminde kullanılan üfleç Şekil 2.1 'de gösterilmiştir [11].

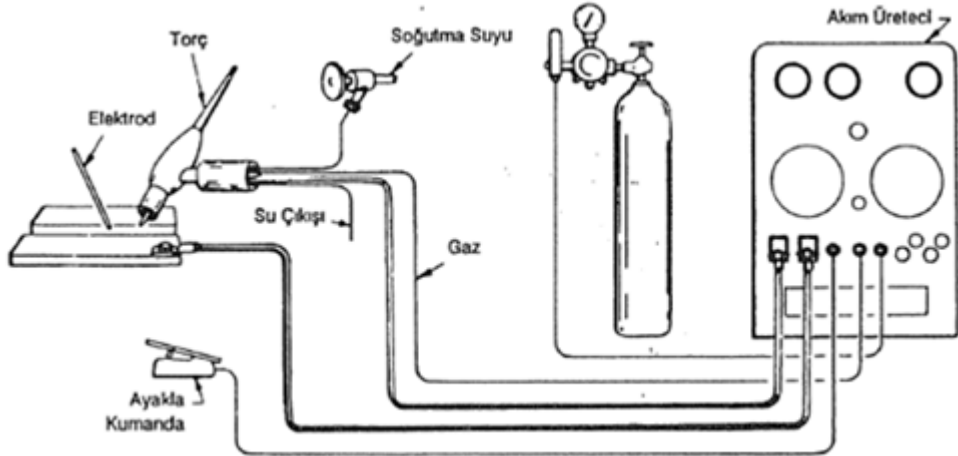


Şekil 2.1: Ark Atom Kaynağında Kullanılan Üfleç [11]
a) Üfleç Kafası b) Meme c) Tungsten Elektrot

2.2.2 TIG kaynağı

TIG sembolü, “Tungsten Inert Gas” kelimelerinin baş harflerinin alınmasıyla meydana getirilmiştir. TIG kaynağında tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturulur ve bu ark havanın tesirinden argon veya helyum gazı atmosferi ile korunur. Kaynak işlemi için ayrıca, kaynak ilave metaline (kaynak teli veya çubuğu) ihtiyaç vardır [11].

Amerika Birleşik Devletlerinde ilk geliştirildiği yıllarda magnezyum gibi hafif metal alaşımlarının kaynağında, helyum gazı koruyucu atmosferinde yapılmıştır (heliark kaynağı). Daha sonra argon gazı da kullanılmıştır. Her iki gaz da tek atomlu ve soydur. Bu sebepten diğer elementlerle birleşmezler, renksiz ve kokusuzdurlar, yanmazlar [11].



Şekil 2.2: TIG Kaynak Donanımı Blok Şeması [12]

Kaynak üfleci kaynak esnasında, su veya hava ile soğutulmaktadır. Ayrıca bir otomatik kumanda cihazı vardır. Bu tertibat soğutma devresi için bir güvenlik tertibatı, koruyucu gaz için ayar ventili, akım için otomatik şalter ve yüksek frekans jeneratörünü ihtiva eder. Böylece koruyucu gaz sarfiyatı ihtiyaca göre ayarlanır, soğutma tertibatı çalışmadan ark tutuşmaz ve üfleç korunmuş olur. Bu yöntem alüminyum ve paslanmaz çelik uygulamalarında sıkça kullanılır [11,15].

2.3 MIG/MAG Kaynağı

MIG/MAG kaynağı ya da diğer adı ile eriyen elektrotla gaz altı kaynağı tanım olarak, dolgu metali görevi gören ve sürekli beslenen elektrot ile iş parçası arasında

oluşan arkın ısıttığı metallerin birleşimini sağlayan bir ark kaynağı yöntemidir [13]. Elektrot çıplak bir tel olup, bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur [16].

Önceleri yöntem soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrotlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağında kullanılmıştır. Eriyen metal elektrot ve soy gaz kullanılması nedeniyle yönteme MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir [16]. Bu usule, ilk önce “Linde Air Products Company – New York” firması tarafından “Shielded Inert Gas Metal Arc” kelimelerinin baş harflerini birleştirmek suretiyle “SIGMA” adı verilmiştir. Daha sonra da “Metal Inert Gas” kelimelerinin ilk harflerini alarak teşkil edilen “MIG” ismi bütün dünyada kabul edilen beynelmilel bir isim olmuştur [12]. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayrımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır [16]. Örneğin, Amerika'da yönteme “Gaz Metal Ark Kaynağı” (GMAW), İngiltere'de ve Almanya'da “MIG/MAG Kaynağı” adı verilmektedir. Ülkemizde ise “Eriyen Elektrotla Gaz Altı Kaynağı” ve “MIG/MAG Kaynağı” adları kullanılmaktadır [16].

MAG kaynağı, eriyen elektrotla karbondioksit atmosferi altında yapılan, gaz altı kaynak usulüdür. MIG kaynağından tek farkı kullanılan koruyucu gazın karbondioksit olmasıdır. Bu sebepten MIG kaynak donanımı, MAG kaynağında da kullanılır [11].

Daha sonraki bölümlerde MIG/MAG kaynağı ifadesi kullanılarak hem MIG hem de MAG kaynaklarının özelliklerinden bahsedilecektir. Ancak karbondioksit gazı kullanımı dolayısı ile doğan farklardan bu bölümde kısaca bahsetmek faydalı olacaktır.

MAG kaynağı; alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Günümüzde büyük oranda, çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır [11].

MAG kaynağında kullanılan karbondioksit; renksiz kokusuz ve havadan ağır bir gazdır. Kullanılacak karbondioksit gazının saf ve kuru olması gerekir. Gaz içerisinde bulunabilecek rutubet, dikişi gevrekleştirir ve gözenek oluşumuna sebep olur. Kaynak sıcaklığında karbondioksit gazı, karbon monoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca karbondioksit, sıvı haldeki demir ile birleşerek demir oksit meydana getirir. Demir oksit ise mangan ve silisyum ile birleşerek, bu elementlerin kaybına sebep olur. Bu kaybın karşılanabilmesi için, kaynak telinin bu elementlerce zengin olması gerekir [11].

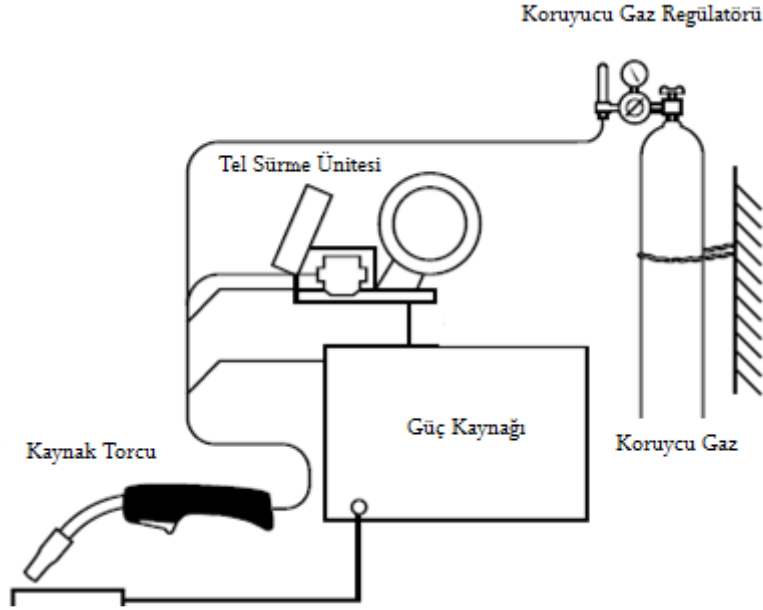
Kullanılan gazın farklılığının etkileri dolayısıyla MAG kaynağı MIG kaynağına göre bazı üstünlükler gösterir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [11]:

- Karbondioksit argon gazına göre daha ucuz olduğundan, gaz masrafı daha azdır.
- Karbondioksitin sıvı halde taşınması sebebiyle; aynı hacimli tüplerde, üç misli daha fazla gaz taşınabilir.
- MAG kaynağında nüfuziyet daha fazladır.
- Daha yüksek kaynak hızı ile çalışılır.
- Ortaya çıkan ultraviyole ışınlar daha azdır.

MIG/MAG kaynağı demir esaslı ve demir dışı alaşımlar için düşük maliyetle yüksek kalitede kaynaklar yapabilme özelliğine sahip olduğu için geniş bir kullanım alanına sahiptir [13].

2.3.1 MIG/MAG kaynağının çalışma prensibi

Kaynakçı tarafından ilk ayarlar yapıldıktan sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarını otomatik olarak kaynak makinası sağlar. Bu nedenle yarı otomatik kaynakta kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti (elektrot besleme hızı) kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerlerde tutulur [16]. MIG/MAG kaynağı için gerekli donanım Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: MIG/MAG Kaynak Donanımı [13]

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşmuştur [16]:

- Kaynak torcu ve kablo grubu
- Elektrot besleme ünitesi
- Güç ünitesi
- Koruyucu gaz ünitesi

Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine taşır, elektrotu temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akım kablolarını temas tüpüne iletir. Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrot iletilir ve ark oluşur. Ark boyunun kendi kendisini ayarlamasını sağlamak için tel besleme ünitesi ile güç ünitesi arasında ilişki sağlayan iki türlü çözüm mevcuttur. Bunlardan en fazla bilinenin de sabit gerilimli bir güç ünitesi (yatay gerilim akım karakteristiği sağlayan güç ünitesi) ile sabit hızlı elektrot besleme ünitesi kullanılmaktadır. İkinci çözüm ise azalan bir gerilim-akım karakteristiği sağlar ve elektrot besleme ünitesinin besleme hızı ark gerilimi yoluyla kontrol edilir. Sabit gerilim / sabit besleme hızı çözümünde torcun pozisyonundaki değişme kaynak akımında değişmeye neden olur. Kaynak akımındaki değişme ise derhal serbest elektrot uzunluğunu değiştirerek (elektrot erime hızı değiştiğinden) ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Torcu iş parçasından uzaklaştırma nedeniyle serbest elektrot uzunluğunda meydana gelen artma kaynak akımında azalmaya neden olarak elektrotta direnç ısıtmasının da aynı değerde kalmasını sağlar. Diğer çözümde ise,

ark geriliminde meydana gelen değişmeler elektrot besleme sisteminin kontrol devrelerini yeniden ayarlar ve bu sayede elektrot besleme hızı uygun bir şekilde değiştirilir [16].

2.3.2 Yöntemin avantajları ve dezavantajları

MIG/MAG kaynağı demir esaslı ve demir dışı alaşımlar için düşük maliyetle yüksek kalitede kaynaklar yapabilme özelliğine sahip olduğu için geniş bir kullanım alanına sahiptir. MIG/MAG kaynağının birçok avantajı vardır. Bu yöntem çok çeşitli malzemeleri birleştirebilme kabiliyetine sahiptir. Donanımına kolay ulaşılabilen bu yöntem her pozisyonda kaynak yapma kabiliyetine sahiptir. Elektrot maliyeti düşük olan yöntemin diğer kaynak işlemlerine kıyasla daha yüksek elektrot verimliliğine (genellikle %93 ile %98 arasında) sahip olması da düşünülürse benzer yöntemlerle kıyaslandığında genellikle yığılan kaynak metalinin birim uzunluğu daha ucuza mal olur. Kaynak dikişı görüntüsü mükemmeldir ve kaynak sonrası temizlik gerektirmemesi ise maliyeti azaltan diğer bir unsur olarak göze çarpmaktadır. Yine benzer kaynak işlemlerine kıyasla aynı işi yapabilmek için daha düşük ısı girdisi gereklidir, daha az kaynak dumanı oluşumu gözlenir ve yüksek kaynakçı verimliliğine sahiptir. MIG/MAG kaynağı yüksek hızlı robot, katı otomasyon ve yarı otomatik kaynak uygulamalarına kolaylıkla uyarlanabilir. Kaynak sonrası büyük problemlere neden olabilecek olan hidrojen miktarı ise 100g kaynak metali için genellikle 5 mL civarındadır ve diğer yöntemlere göre avantajlıdır [13].

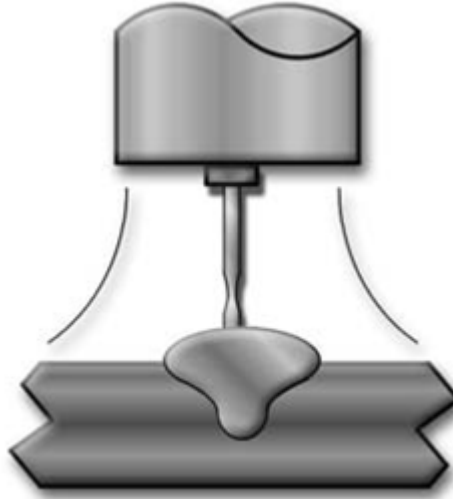
Her yöntemde olduğu gibi bu yöntemin de avantajlarının yanı sıra dezavantaj ve sınırlamaları da mevcuttur. MIG/MAG kaynağında kısa devre metal transfer modunun düşük ısı girdisi özelliği bu modun kullanımını ince malzemelerle sınırlar. Eksenel sprej transferdeki yüksek ısı girdisi bu modun kullanımını genellikle kalın malzemelerle ve yatay pozisyonla sınırlar. Eksenel sprej ve darbeli transfer modlarındaki argon esaslı koruyucu gazların kullanımı %100 karbondioksit gazı kullanımından daha maliyetlidir [13].

3. MIG/MAG KAYNAĞINDA METAL TRANSFER MODLARI

Bir ark kaynağı işleminde damla transfer modu kritik bir elemandır. Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında damla transfer modu sadece kaynak akımı ve kaynak voltajından etkilenmez aynı zamanda darbe parametrelerinden de etkilenir [5].

Eriyen elektrottan iş parçasına sıvı metal transferinin doğasının kaynakta önemli etkisi vardır çünkü kaynak yapılabilecek pozisyonları, nüfuziyet derecesini, kaynak banyosunun kararlılığını ve sıçramadan kaynaklanan kayıpların miktarını belirler [5].

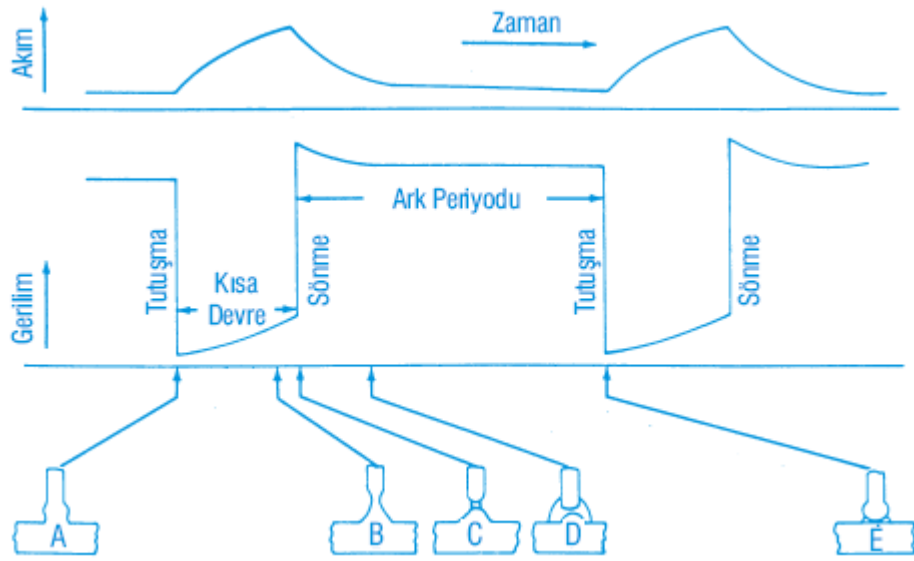
3.1 Kısa Devre Metal Transferi



Şekil 3.1: Kısa Devre Transfer Modunda Damla Geçişİ [14]

Kısa devre metal transferi, tekrar eden elektriksel kısa devreler boyunca sürekli beslenen tel elektrotun yığıldığı bir metal transfer modudur. Kısa devre metal transferi modu MIG/MAG kaynağının düşük ısı girdili metal transfer modudur. MIG/MAG kaynağının en düşük kaynak akımı aralığında ve en küçük elektrot çaplarında gerçekleştirilir. Küçük ve hızla katılan bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır. Tüm metal transferi elektrot elektriksel olarak kısa devre yaptığında

yani fiziksel olarak esas metalle ya da erimiş kaynak banyosu ile temas ettiğinde gerçekleşir. Elektrotun erimiş tek bir damlacığının transferi çevrimin kısa devre fazında gerçekleşir. Kısa devre anında güç membaından sağlanan akım artar, akımdaki artış elektrotun ucuna etkiyen elektro manyetik kuvvetlerin artışına neden olur. Elektrotu çevreleyen manyetik alan elektrotun ucundan erimiş damlacığı koparan kuvveti oluşturur. Ark aralığı boyunca herhangi bir metal iletimi olmaz. Elektrot iş parçasına saniyede 20 ila 200 kez temas eder [13,16]. Metal iletiminin düzeni ile bu sıradaki gerilim ve akım değerleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Kısa Devre Transfer Modu Gerilim ve Akım Değerleri [16]

A safhasında tel elektrot erimiş kaynak banyosu ile fiziksel temas sağlar. Ark gerilimi sıfıra yaklaşır ve akım değeri artar. Pik akıma çıkma hızı uygulanan endüktansın miktarına bağlıdır. B noktası elektrotun etrafına düzgün bir şekilde uygulanan elektromanyetik kuvvetlerin etkisini gösterir. Uygulanan bu kuvvet elektrotun boyun vermesini veya büzülmesini sağlar. Bu sırada voltaj çok yavaş bir şekilde artar ve akım da pik değerine doğru artmaya devam eder. C noktasında erimiş damla elektrotun ucundan kopmaya zorlanır. Bu noktada akım pik değerine ulaşır. Tel ucundaki erimiş damla daralarak telden iş parçasına geçer. Akımın temel akıma doğru indiği D noktasında damla tekrar oluşur. E noktasında ise elektrot erimiş kaynak banyosu ile bir kez daha temas kurar ve diğer bir damlanın transferi hazırlanır [13,16].

Akımın artma hızı elektrotu ısıtmaya ve metal iletimini sağlamaya yetecek kadar yüksek, ancak metal damlasının şiddetli ayrılmasının neden olacağı sıçramayı en az

düzeyde tutacak kadar düşük olmalıdır. Elektrot ucundaki erimiş metal damlasının esas metale temasını önlemek amacıyla güç ünitesinin açık devre gerilimi düşük tutulur. Arkı sürdürmek için gerekli enerjinin bir kısmı kısa devre sırasında endüktörde depo edilen enerjiden sağlanır. Metal iletiminin kısa devre sırasında oluşmasına rağmen koruyucu gazın cinsinin erimiş metalin yüzey gerilimi üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Koruyucu gaz bileşiminin değişmesi damla çapını ve kısa devre süresini ciddi biçimde etkiler. Örneğin argon miktarının artışı kısa devrelerin frekansını arttırırken erimiş damla boyutunu azaltır [13,16].

Düşük ısı girdisi niteliği kaynak distorsiyonunu azaltır aynı zamanda bu transfer modunu sac malzemeler için uygun kılar. Kısa devre transfer için kullanılabilir malzeme kalınlığı 0.6 mm ile 5.0 mm arasında düşünülebilir. Sac malzemeler dışında kaynak ağzı açılan kalın plakaların ve boruların kaynağında da kök pasoda sıklıkla kullanılır. Kaynaklanacak parçaların kötü yerleştirilmesi durumunda bile çok üstün performans gösterebilir. O nedenle boru uygulamalarında kök paso için kullanılır. Ancak kullanımı kalın kesitlerde kaynak ağzı açılmışsa kök pasoda ve ince sac malzemelerdeki kullanımla sınırlıdır. Kullanımı kolay, elektrot verimi yüksek (%93 ve fazlası) olan yöntem yatay, dikey-yukarı, dikey-aşağı ve tavan kaynağı dahil tüm pozisyonlarda kullanılır. Kaynak işleminin kontrolünün yetersizliği yetersiz erime, soğuk yapışma ve aşırı sıçramaya yol açar, aşırı sıçrama ise kaynak bölgesinin temizliğinin maliyetli olmasına sebeptir [13].

3.2 Küresel Metal Transferi

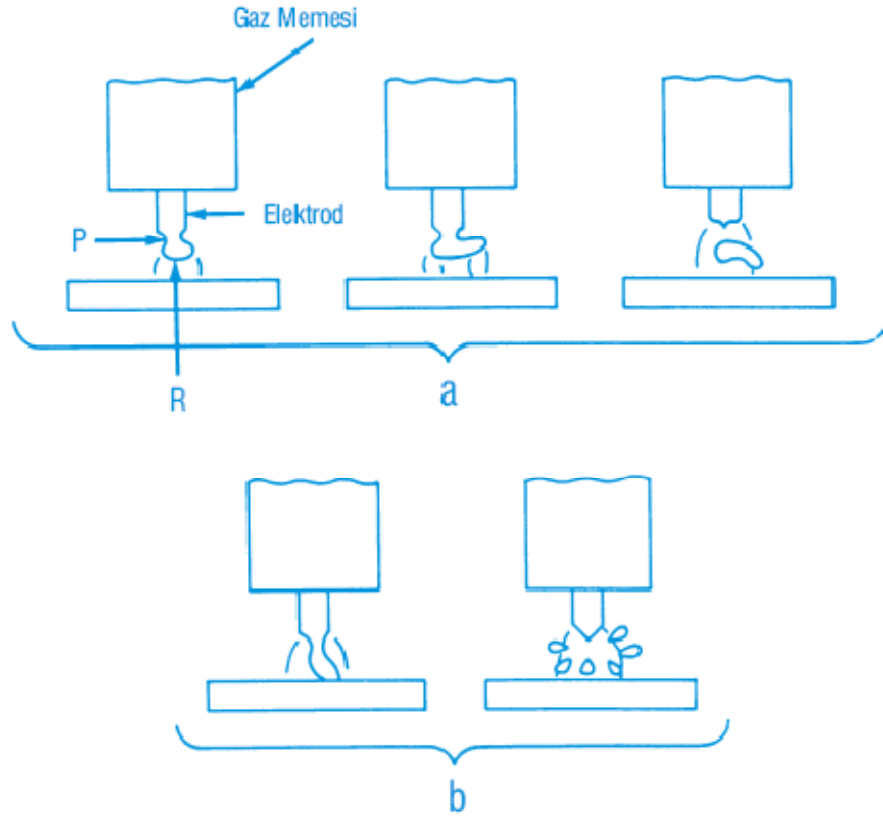


Şekil 3.3: Küresel Transfer Modunda Damla Geçişi [14]

Küresel metal transferi, kısa devreler ve yerçekiminin etkisi ile sürekli beslenen tel elektrotun büyük damlalar halinde yığıldığı bir metal transfer modudur. Büyük damlalar düzensiz şekillerdedir. MIG/MAG kaynağında tüm elektrotların kullanımında kısa devre transferin bittiği küresel transferin başladığı bir geçiş bölgesi vardır. Küresel transfer karakteristik olarak elektrot çapından daha büyük düzensiz şekillerde oluşan erimiş damlaların görüldüğü bir yöntemdir. Düzensiz şekilde erimiş damlalar elektrottan aksel bir ayrılma göstermezler, kaynak çizgisinin dışına çıkabilir ya da kontak memeye doğru hareket edebilir. İş parçasından yukarı doğru çıkan katottaki jet kuvvetler damlaların düzensiz biçiminin ve yukarı doğru savrulma hareketinin nedenidir. Bu kuvvetlerin en önemlileri elektromanyetik büzme kuvveti ile anot reaksiyon kuvvetidir. Büzme kuvvetinin şiddeti kaynak akımına ve elektrot çapına bağlı olup bu kuvvet elektrot ucundaki erimiş damlanın telden ayrılmasında sorumludur. Karbondioksit ile koruma yapıldığında kaynak akımı erimiş damla vasıtasıyla iletilir ve bu nedenle elektrotun ucu ark plazması tarafından sarılmaz. Yüksek hızlı fotoğraf tekniği ile alınan görüntüler arkın erimiş damla yüzeyinden iş parçasına doğru hareket ettiğini göstermektedir. Bunun nedeni anot reaksiyon kuvvetinin damlayı destekleme, yani damlanın elektrottan ayrılmasını önleme eğilimidir. Erimiş damlanın elektrottan ayrılması ya iş parçasına temas edip kısa devre yapmaya kadar büyümesi sonucu veya yerçekimi kuvvetlerinin etkisi nedeniyle ayrılacak kadar büyümesi sonucu oluşur. Bunun nedeni elektromanyetik büzme kuvvetinin hiçbir zaman yalnız başına anot reaksiyon kuvvetinden daha etkin hale gelememesidir. Damlanın parçalanma olmaksızın elektrottan ayrılıp kaynak banyosuna iletilmesi mümkündür. Ancak damlanın kısa devre yaparak parçalandığı iletim şeklinin oluşma olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle sıçrama çok şiddetlidir ve bu olay karbondioksit korumasının birçok ticari uygulamada kullanılmasını engeller [13,16].

1960larda ve 1970lerde küresel transfer çok popüler bir metal transfer modu idi ve yüksek hacimli sac malzeme imalatlarında kullanılırdı. Bu transfer modu çoğunlukla %100 karbondioksit ile kullanılır ancak argon/karbondioksit karışımları da yoğun olarak kullanılır. Genel olarak karbon çeliği ile yapılan imalatlarda aksel sprey transfere yakın geçiş bölgesi değerlerinde kullanılır ve yüksek kaynak hızı elde edilmiş olur. Küresel transferin yüksek hacimli imatlardaki kullanımı, yerini artık ileri MIG/MAG kaynağı yöntemlerine bırakmıştır. Değişim daha az gaz oluşturan,

sıçrama yaratmayan yetersiz erime kusurunun bertaraf edildiği darbeli sprej transfer yönünde olmuştur [13].



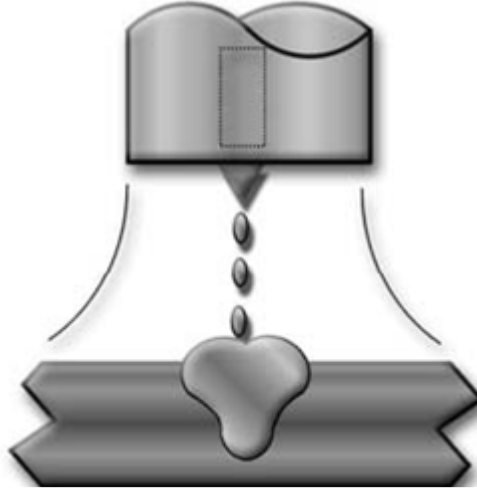
Şekil 3.4: Eksenel Olmayan Küresel Transfer Modunda Damla Geçişini [16]

Ucuz olan karbondioksit (karbondioksit/argon karışımı da sıklıkla kullanılır) ucuz elektrotların ve donanımın kullanımı ile çok yüksek kaynak hızlarında işlem yapılabilmesi yöntemin avantajlarından [13].

Yüksek sıçrama miktarının kaynak temizliği maliyetini arttırması, maliyeti yüksek tamirlere neden olan soğuk yapışma ve yetersiz erime kusurlarına eğilimli olması, kaynak dikişini bombeli ve uçlardaki ıslatma kabiliyetinin zayıf oluşu yöntemin sınırlayıcı özellikleridir. Ayrıca yüksek sıçrama miktarı elektrot verimliliğini %87 - %93 aralığına geriletir [13].

3.3 Eksenel Sprej Transfer

Argon esaslı bir koruyucu gaz ile MIG/MAG kaynağında elektrot ucunda oluşan damla ark tarafından sarılır ve bu damlanın boyutu kaynak akımı kritik değerin üstünde ise çok küçüktür. Bu transfer modu damlanın esas metale sıçramasız düştüğü ve ark davranışının kararlı olduğu sprej transfer olarak bilinir [8].



Şekil 3.5: Eksenel Sprey Transfer Modunda Damla Geçişi [14]

Eksenel sprey metal transferi modu MIG/MAG kaynağının yüksek ısı girdili metal transfer modudur. Sürekli beslenen tel yüksek enerji seviyesinde yığılır bu da erimiş küçük damlacıkların oluşturduğu bir akış sağlar. Damlacıklar eksenel olarak arkın içinden geçer. Bunlar ark aralığı boyunca eksenel olarak hızlanırlar. Eksenel sprey transferi elde etmek için koruyucu gaz olarak argon/oksijen ve argon/karbondiyoksit karışımları kullanılır. Bu karışımlarda karbondiyoksit oranı %18'i geçemez. Eksenel sprey transfer alüminyum, magnezyum, karbon çeliği, paslanmaz çelik, nikel alaşımları ve bakır alaşımları ile kullanılır. Yani argon korumasının asal karakteri nedeniyle sprey damla iletimi hemen hemen tüm alaşımlarda kullanılabilir. Ancak sprey ark oluşturmak için gerekli akım değerleri yüksek olduğundan bu yöntemin ince saclara uygulanması zor olabilir. Ortaya çıkan ark kuvvetleri ince sacları kaynak edecekleri yerde keserler. Eksenel sprey transfer için elektrot pozitif kutupta doğru akım kullanılması ve akım şiddetinin geçiş akımı adı verilen kritik bir değerin üzerinde olması gerekir. Bu akımın altında iletim daha önce açıklanan küresel transfer yoluyla olur ve damla iletiminin hızı saniyede birkaç damladır. Geçiş akımının üzerindeki değerlerde ise iletim, küçük çaplı (elektrot çapından daha küçük çapa sahip) damlaların oluşumu ve bunların saniyede yüzlerce damla iletim hızında ayrılmasıyla oluşur. Eksenel olarak elektrotun ucundan hareket eden küçük metal damlacıkları demeti metal transferinin eksenel sprey moduna has bir görüntü oluşturur. Yüksek kaynak banyosu akışkanlığı yöntemin kullanımını yatay ve düz pozisyonlarla sınırlar. Çünkü bu yöntemle özgü olan yüksek yağma hızları düşey ve tavan pozisyonlarında yüzey gerilimi ile taşınamayacak büyüklükte kaynak banyosu oluşturur. Karbon çeliklerinde eksenel sprey transfer kalın kesitli malzemelerde iç

köşe kaynağı ve kaynak ağzı açılmış uygulamalarda kullanılır. Sprey damla transferi kuvvetle yönlenmiş damlalar demetinden ibaret olup damlalar ark kuvvetleri tarafından ivmelendirilerek yer çekimi etkisini yenen hızlara ulaşırlar. Bu nedenle yöntem ancak belirli şartlar altında diğer pozisyonlarda kullanılabilir. %95 argon %5 oksijen içeren gaz karışımı kullanıldığında parmak şeklinde derin bir nüfuziyet profili oluşur. Gaz karışımı %10dan daha fazla karbondioksit içerdiğinde parmak şeklinde nüfuziyet profili görüntüsü azalır ve daha yuvarlak şekilde bir nüfuziyet profili elde edilir. Eksenel spre transferin seçimi malzeme kalınlığına ve kaynak pozisyonuna bağlıdır. Bitmiş kaynak görüntüsü mükemmeldir ve kullanıcılar tarafından sıklıkla tercih edilir. Kaynak bağlantısı yağ, kir, pas ve tufaldan arındırılmış ise en iyi sonucu verir [13,16].

Eksenel spre transferin üstün özellikleri şu şekilde özetlenebilir; yöntem yüksek yığma hızı, %98 veya daha fazla oranda elektrot verimliliği, çok çeşitli dolgu metali ve elektrot tipi ile çalışma imkanı, mükemmel erime sağlar. Kaynak dikişi görüntüsü mükemmeldir [13]. Kullanıcılar tarafından tercih edilen bir yöntemdir çünkü kullanımı kolaydır. Sıçrama yoktur, kaynak sonrası gerekli temizlik işlemi çok azdır . Yarı otomatik, robotik ve katı otomasyon uygulamalarına açıktır [13].

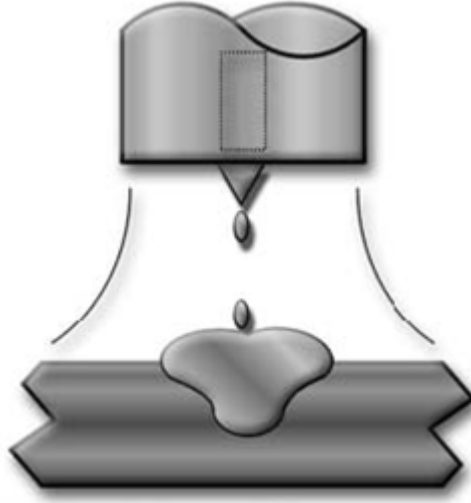
Kaynak sırasında gaz oluşumunun fazla oluşu, düz ve yatay pozisyonlarla ile sınırlandırılmış olması, çok yüksek ısı ve parlak ışık yayması nedeniyle kaynakçı ve çevresindekilerin özel korumaya ihtiyacı duyması, eksenel spre transferi sağlayan koruyucu gaz veya gaz karışımlarının %100 karbondioksitten daha pahalı olması yöntemin dezavantajlarıdır. Ayrıca açık havada kullanımı sırasında rüzgar perdesi kullanmak gereklidir [13].

Sprey ark iletiminin iş parçası kalınlığı ve kaynak pozisyonu ile ilgili bu sınırlamaları özel olarak tasarlanmış güç üniteleri sayesinde büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Bu makinalar hassas bir şekilde kontrol edilen dalga formları ve frekansları oluşturarak darbeli akım üretmektedirler [16].

3.4 Darbeli Sprey Transfer

Darbeli spre metal transferi, eksenel spre transferin kaynak akımının yüksek bir pik akım seviyesi ile düşük bir temel akım seviyesi arasında çevrim yaptığı, yüksek derecede kontrol edilen bir çeşididir [13]. Darbeli MIG/MAG kaynağının amacı

küresel transfer modundan sprej transfer moduna geçişin gözlemlendiği kritik akım değerinden daha düşük ortalama akımlarda sprej transfer modunu elde etmektir. Tel ucundan eşit boyutta düzenli bir şekilde her darbeye bir damla kopmasını sağlayacak optimum dalga şekli belirlenmelidir [8].



Şekil 3.6: Darbeli Sprej Transfer Modunda Damla Geçiş'i [14]

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağı iki ihtiyaçtan dolayı geliştirilmiştir, bunlar küresel ve kısa devre transfere özgü sıçrama kontrolü ve yetersiz erime kusurlarının ortadan kaldırılmasıdır. Nispeten düşük akımlarda MIG/MAG kaynağında metal transferi küresel formda gerçekleşir. Akım arttırıldığında sprej formunda geçiş gerçekleşir. Küresel transfer periyodik olarak elektrot ucunda büyük damlacıkların oluşması olarak tanımlanır. Bu damlacıklar yer çekimi etkisi ile koparak kaynak havuzuna dahil olurlar. Küresel transfer şekli erimiş damlacıklar üzerindeki kontrol eksikliği ve büyük damlacıkların oluşumuna bağlı ark kararsızlığı nedeniyle sorunludur. Sprej transfer şekli yüksek yığılma hızı sağlamasına rağmen bazı malzemeler için sprej transfer elde etmek için gerekli minimum akımın yüksek oluşu parçaya aşırı ısı girdisine neden olur. Buna bağlı olarak geniş kaynak dikişi ve pozisyon kısıtlaması gibi dezavantajlar da doğar. 1960'lı yılların ortalarında alternatif bir transfer tekniği olarak darbeli akımla MIG/MAG kaynağı ortaya çıkmıştır. Metal transferinin bu şekli küresel transferin dezavantajlarının üstesinden gelirken sprej transferin yararlı niteliklerini de kapsar. Akımın düşük temel akım ile yüksek seviye pik akımı arasında, ortalama akımı her zaman sprej transferin eşik değerinin altında tutacak şekilde, yükselip alçalması darbeli akımla MIG/MAG kaynağının tipik özelliğidir. Pik akımlar erimiş damlacıkların kopmasına yetecek kadar uzundur,

temel akımlar ise pik akımlar arasında arkın sürdürülmesini sağlar. Düşük akıma, temel akım olarak bilinir, inilmesi ark kararlılığını sağlar ve kaynağa verilen genel ısı girdisinden geniş ölçüde sorumludur. Yüksek akıma çıkıldığında akım değeri küresel-sprey geçiş akımının üstüne çıkar ve düşük akımda kısa devre transferdeki değerin altına iner. Pik akım ve temel akımı içeren zaman dilimi periyot olarak adlandırılır. İdeal durumda pik akımı sırasında, yani periyodun yüksek noktasında, tek bir erimiş metal damlası koparak arkın içinden transfer edilir. Frekans bir saniyede oluşan periyotların sayısıdır ya da bir saniyedeki çevrim adedidir. Frekans tel besleme hızı ile doğru orantılı olarak artar. Bunlar beraber ele alındığında çeşitli malzeme kalınlıklarında yöntemin kullanılmasına olanak sağlayan ortalama akımı meydana getirir. Birden fazla metal transfer şekli olması sebebiyle küresel ve spray transferin arasındaki geçiş akımı bölgesi hakkında bilgi sahibi olmak MIG/MAG kaynak işleminde çok önemlidir çünkü bu işlemin çalışma koşullarını belirler. Darbe için bu işlem bölgesi çok dardır ve kaynak işlemi sırasında kaynak koşullarının değişimine bağlıdır. Bu nedenle iyi işlem kararlılığı elde etmek ve kaynak dikişinin kalitesi ancak metal transfer şeklini kontrol etmekle sağlanır. Elektronik alanındaki yeniliklerle yüksek performanslı ark kaynağı donanımı geliştirmede önemli ilerlemeler sağlanmıştır [1,13].

Bu yöntemin ilk uygulamaları gemi gövdelerinin imalatında düşük alaşımlı yüksek dayanımlı çeliklerde görülmüştür. Bunun gemi inşa sanayine getirdiği avantajlar, düşük hidrojen içeren kaynaklar elde edebilme ve özlü telle yapılan kaynağa göre yüksek elektrot verimliliği olmuştur. Çok çeşitli malzemelerin kaynağında kullanılabilir. Argon esaslı %18'e kadar karbondioksit içeren gaz karışımları karbon çeliklerinde darbeli spray transfere imkan sağlar [13].

Sonuç olarak, darbeli akımla MIG/MAG kaynağında işlem damla kopmasını kontrol eden belirli bir periyotta alçak akım seviyesi ile yüksek akım seviyesi arasında değişen akım üretir. Bu durum geleneksel MIG/MAG kaynağındakine göre daha düşük akımlarda daha uniform boyutlarda ve daha uniform frekansta spray tipi damla kopmasını sağlar. Darbeli akımla işlem yapmak daha küçük ve kolay kontrol edilebilen, daha az distorsiyonla ince malzemelerde tüm pozisyonlarda kaynak yapılmasına olanak tanıyan bir kaynak banyosu elde edilmesini sağlar [4].

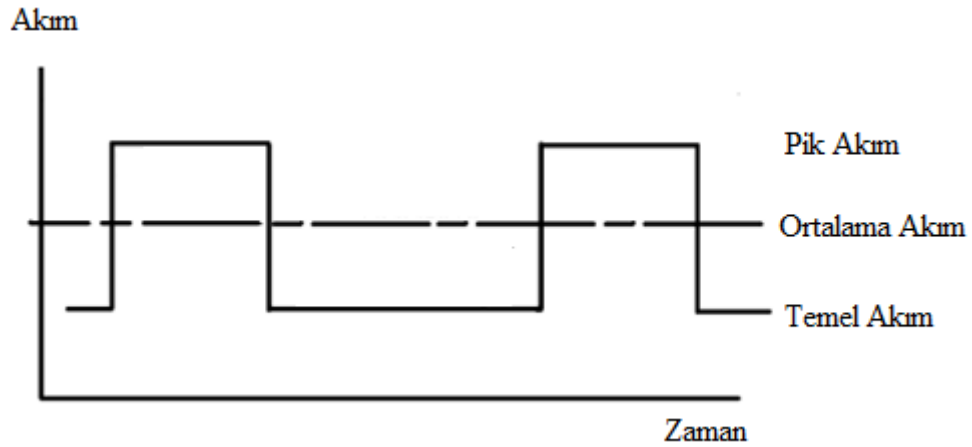
Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında genellikle amaç spray transferi sağlayabilecek parametreleri oluşturmaktır. Aynı zamanda her darbede bir damla

kopmasının gerekli olduğuna kanaat getirilmiştir. İdeal olarak damla çapı yaklaşık olarak tel çapına eşit olmalıdır, bu koşullarda kontrollü biçimde metal transferi gerçekleşir ve kararlı bir işlem sağlanır. Bu şekilde yapılan kaynak minimum seviyede kaynak hatası içerir ve sıramasızdır [5].

Bu transfer modunu elde etmek pik akım, temel akım, pik akım suresi ve temel akım suresi gibi parametrelerin doğru seçimi ile gerçekleştirilebilir. Pik ve temel akım sureleri aynı zamanda darbe frekansı ve pik akımda kalma oranını da belirler. İlave olarak, tel besleme hızı da darbe parametrelerine karşılık gelen yanma hızına uygun seçilmelidir [5].

4. DARBELİ AKIMLA MIG/MAG KAYNAĞINDA DARBE PARAMETLERİ VE DİKİŞ GEOMETRİSİNE ETKİLERİ

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında uygun darbe parametresi kombinasyonlarının belirlenmesi önemli derecede deneme yanılma içereceği için zaman alan bir işlem olabilir. Belirlenmesi gereken ilk parametreler tel besleme hızı, pik akım, temel akım, pik akım oranı ve darbe frekansıdır. Bu yöntemde geleneksel MIG/MAG kaynağına göre parametreler daha çeşitlidir ve işlem genellikle parametre değişimlerine daha duyarlıdır. Bunun için sinerjik darbeli MIG/MAG güç kaynakları sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde dijital olarak kontrol edilen bir tel besleme ünitesi ile darbe parametreleri arasındaki ilişki mikroişlemci tabanlı düzelticiler tarafından yönetilir. Kullanım açısından kolay olmasına rağmen bu sistemler kullanıcıya fazla esneklik tanımaz. Bu nedenle çok ince kesitler veya çok yüksek hızlar gibi özel uygulamalarda kullanımları kısıtlıdır [6].



Şekil 4.1: Darbe Dalga Şekli

4.1 Pik Akım

Darbe dalga formunun iki akım seviyesinden yüksek olanıdır. Pik akım yüksek enerji darbesi için nominal akımdır. Bu değer sürekli olarak küreselden sprej geçiş akımının üstünde olacak şekilde ayarlanır, dolayısıyla sprej transfere ulaşılabilen bir akım seviyesidir. Pik akım amper birimi ile ifade edilir. Pik akımın uygulandığı

zaman aralığında, erimiş damla elektrottan kopar ve kaynak banyosuna katılır. Pik akımdaki artış ortalama kaynak akımını ve kaynak nüfuziyetini artırır [2,13].

MIG/MAG kaynağında pik akım kritik akımın üstünde ayarlanmasının dışında, darbe süresi elektrotun ucunu uygun boyutta eritecek ve esas metale her darbeye bir damla transfer edilecek şekilde pik akım ayarına uygun olmalıdır. Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında tekrar edilebilirliği ve kontrol edilebilirliği sağlayabilmek için uygulanabilir metot, elektrot çapına yakın çapta damla oluşturmaktır. Bu pik akım için uygun genlik ve sürenin seçimi ile elde edilebilir ve kopmayı garantilemek için geçiş akımından daha yüksek olmalıdır. Darbeli akımın geçiş akımı değeri doğru akımın geçiş akımı değerinden daha yüksektir. Bu geçiş akımları dolgu malzemesi telin tipine ve çapına bağlıdır. Tablo 1’de örnek olarak alüminyum ve yumuşak çelik geçiş akımı değerleri verilmiştir [2,8].

Tablo 4.1: Alüminyum ve Çelik İçin Geçiş Akımı Değerleri

Tel Çapı	Geçiş Akımı (Alüminyum)	Geçiş Akımı (Çelik)
[mm]	[A]	[A]
1,0	110	120
1,2	140	200
1,6	190	260

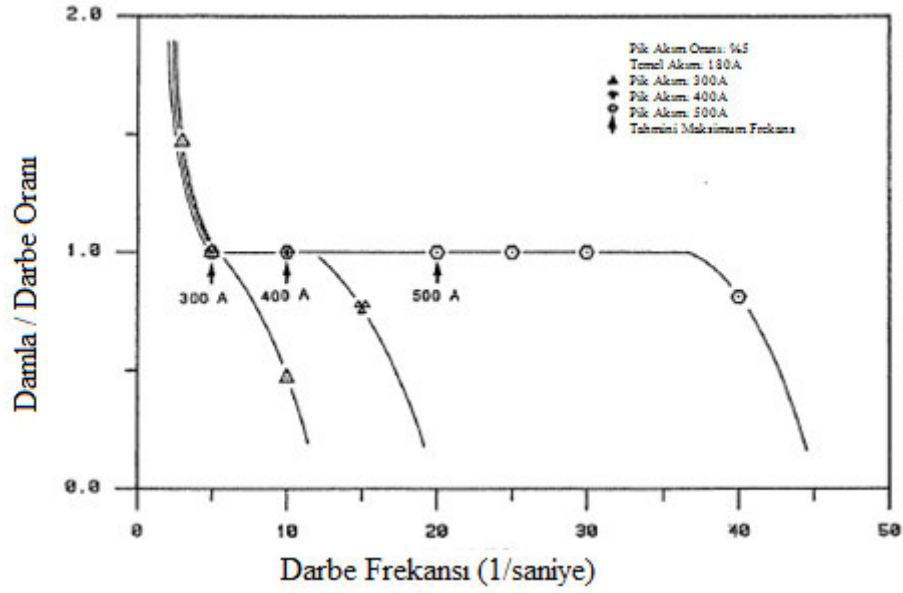
Birçok araştırmacı pik akım genliğini ve süreyi tespit etmek için kuvvet kanunu ilişkilerini kullanır ($I_p^n T_p = \text{sabit}$, $n = 2$). Diğer bütün parametrelerin sabit olduğu düşünülürse $I_p^2 T_p = \text{sabit}$ denklemi tek bir yoğun damla koparmak için darbe genliği aralıklarını ve süreleri belirlemede kullanılabilir. Tel ucundan bir damla koparmaya yetecek kadar akım ve süre üzerine, darbe genliği ve süre arasında genel bir ters orantılı ilişki geliştirilmiştir. Örneğin 1,2 mm çapında yumuşak çelik ve 1,6 mm alüminyum tellerden $1,5 \text{ mm}^3$ damla için hemen hemen doğrusal gözüken esasen -2.3 eğime sahip bir ilişki bulmuştur ($T_p \propto I_p^{-2.3}$). Bu nedenle I_p ve T_p arasındaki ilişki sabit damla hacmi için izoparametrik bir denklemdir: $I_p^{2.3} T_p = K_v$. Burada K_v kopma parametresidir ve malzeme türüne göre farklı değerleri vardır [2]. En yüksek I_p ve en düşük T_p kombinasyonunun, hem düzgün ark uzunluğu hem de düzgün damla kopmasının sağlanmasında temel akımda kopmanın gerçekleştiği, en düşük I_p ve en yüksek T_p kombinasyonuna göre daha başarılı olduğu görülmüştür [7]. $I_p^n T_p = \text{sabit}$ ampirik ilişkisi ancak çok düşük temel akımlarda yapılan çalışmalarda her darbeye bir damla rejimini tanımlayabilir [6].

Bazı araştırmalarda darbe genliği ve süresi elektrot çapına eşit boyutta bir damla ayrılacak şekilde ele alınmıştır ve sonra temel akım ve temel akım süresi gerekli ortalama akımı ve yanma hızını verecek şekilde ayarlanmıştır [2].

Belirli bir tel tipi için gerekli darbe akımının minimum pik değeri sabittir ve ortalama toplam kaynak akımından bağımsızdır. Aynı zamanda bu akımın minimum değeri önemli miktarda aşmaması gerekir aksi takdirde ark olağanüstü yüksek akım yoğunluğuna sahip olacağı için istenen özellikleri daha az gösterme eğiliminde olur, yanma oluğu görülebilir. Belirli tel çapı ve tipi için transferin kontrolünün sağlanabilmesi açısından pik darbe akımının gereken minimum değerin hemen üstünde sabit tutulması gerekir. Sabit bir pik darbe akımı değeri ile buna bağlı ortaya çıkacak olan ortalama akım değeri verilen sabit bir tekrarlanma frekansı ile sabitlenmiş olur bu yüzden ortalama toplam akımdaki değişiklikler sadece temel akımın değiştirilmesinden etkilenir [2].

Pik akım değeri malzeme tipinden de etkilenmektedir. Kaynak sırasında malzeme davranışları farklılık gösterdiği için malzeme tipine göre paslanmaz elik için darbeli akım parametrelerini yumuşak çeliğe kıyasla yüzey gerilimi davranışları nedeniyle biraz yüksek pikler ve daha alçak temel akımlar olarak seçmek gerekir. Alüminyumda ise ısı soğurma davranışı nedeniyle daha yüksek pik ve temel akımlara ihtiyaç duyulur [2]. Pik akım değeri artarsa damlalar boyutsal olarak küçülür, pik akım değeri azalırsa damla boyutu artar [9,13].

Pik akım her darbede bir damla kopması için en önemli etkidir. Genelde yüksek pik akım her darbede bir damla koşulu için daha geniş bir aralık sağlar. Bu durum 180 A temel akım, %5 pik akım oranı, argon-%2 oksijen koruyucu gaz altında elik elektrotlarla yapılan çalışmayı anlatan şekil 4.2 ‘den de görülebilir. Ancak pik akım çok fazla arttırıldığında elektrotun ucunda sivrilme görülebilir, bu da damlaların kontrol etmek için çok küçük boyuta indiği akıntı şeklinde bir transfere neden olur [9].



Şekil 4.2 : Çelik elektrot için optimum darbe frekansı bölgeleri

4.2 Pik Akım Süresi

Pik akım süresi akımın pik değerde kaldığı süreyi belirtir. Damla boyutu ile ilgilidir. Pik akım süresi milisaniye birimi ile ifade edilir. Geleneksel beklenti her bir darbe pikinde tek bir erimiş damlanın transfer edilmesi olduğu için verimli pik zamanı 1 milisaniyeden daha küçük bir değer ile 3 milisaniye veya fazlası arasında değişir. Pik süresindeki artış ortalama akımı artırır ve aynı zamanda kaynak nüfuziyetini de artırır [13].

Daha önce de bahsedildiği gibi pik akım süresi pik akım genliğine bağlıdır ve elektrot çapına yakın çapta damla ayrılacak şekilde seçilmelidir. Genliği yüksek ve kısa süre uygulanan bir darbe, alçak genlikli ve uzun süre uygulanan darbeye göre daha büzülmüş bir ark yaratma eğilimdedir ve dolayısıyla bazı farklı avantajlar sağlar. 1.2 mm çaplı çelik telden damlanın elektrottan ayrılma zamanını (t_d) belirleyebilmek için yapılan bir çalışmada aşağıdaki denklem kullanmıştır [2]:

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 \quad (4.1)$$

Burada t_1 boyun verme işlemine hazırlık için ısıtma zamanı, akıma bağlı olarak 1 ila 1,5 ms kadardır, t_2 boyun verme ve damla büyüme zamanı, t_3 boyun kısmının kaynama noktasına kadar ısıtılıp kopmayı sağladığı kopma zamanıdır. t_3 genellikle 0,2 ms den kısa sürer. t_d pik akım genliği ile ters orantılıdır fakat akım süresinden bağımsızdır. Boyun verme işleminin tek yönlü bir işlem olduğu kabul edilmiştir,

başlangıcından sonra akım düşük seviyeye indirilse bile kopma ile son bulur. İlk damlanın kopmasından sonra sıvı sicim oluşacaktır ve eğer akım seviyesi değiştirilmeden korunacak olursa akıntı şeklinde transfer önlenemez olacaktır. Damla kopmadan önce akım seviyesi düşürüldüğünde metal transferi yine de devam eder ve akıntı şeklindeki sprej transfer tamamıyla önlenmiş olur [2].

Bu nedenle, pik akım için doğru olan uygulama süresi, T_p , aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$t_1 < T_p < t_1 + t_2 \quad (4.2)$$

Eğer $T_p < t_1$ olursa boyun verme işlemi tetiklenemez bu nedenle damla oluşumu gözlenmez ve eğer $T_p > t_1 + t_2$ olursa sıvı sicim oluşur ve ilk damladan sonra akıntı sprej gözlenir [2].

Subramaniam ve arkadaşları alüminyumda (1,2 mm çapında 4047 alüminyum kaynak teli) istenilen metal transferine ulaşabilmek için gerekli pik akım ve süreyi tanımlayabilmek için deney metodunu kullanmışlardır. Üstel ve Lorentzian fonksiyonlarının kombinasyonu ile pik akım ve temel akım koşullarıyla ilişkili bir denklem ortaya koymuşlardır. Daha önceden bahsedilen ve birçok araştırmacı tarafından kullanılan ampirik $I_p^n T_p = \text{sabit}$ ilişkisi temel akım koşullarını dikkate almayan bir varsayımdır [5].

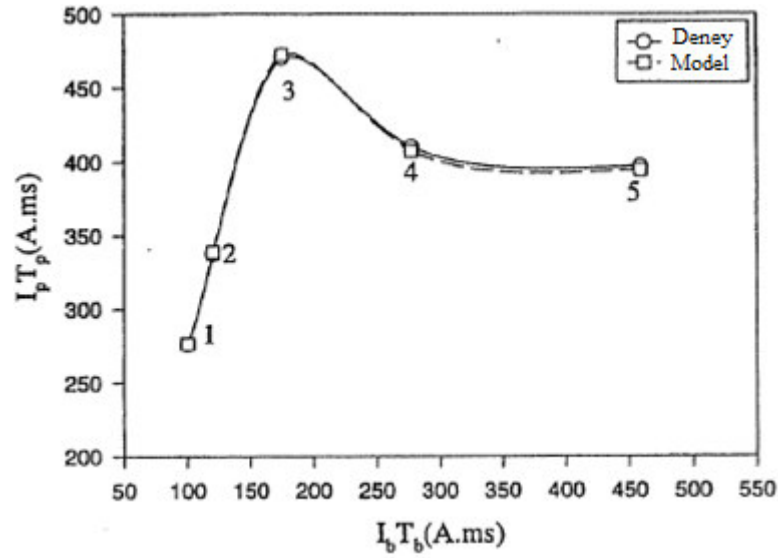
$$T_p = \left[(496.1X(1 - e^{-0.003XI_b T_b})) + \frac{270.1}{\frac{(I_b T_b - 188.2)^2}{8423.5}} \right] / I_p \quad (4.3)$$

Burada T_p ve T_b milisaniye cinsinden pik ve temel akım süreleridir.

Bu denklem belirli bir pik akım seviyesinde damlanın kopması için pik akımda kalınması gereken sürenin belirlenmesi için kullanılabilir [5,6]. Tablo 4.2 Subramaniam ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada her darbeye bir damla rejimine ulaştıkları değerleri göstermektedir [6].

Tablo 4.2: Her Darbede Bir Damla Rejimi İçin Darbe Parametreleri

No	I_p	I_b	D	F	T_p	T_b	$I_p T_p$	$I_b T_b$	$I_p T_p$	$I_b T_b$	I_{av}	W
	[A]	[A]	[%]	[Hz]	[ms]	[ms]	Prog.	Prog.	Gerçek	Gerçek	[A]	[in/dak]
1	400	70	25	400	0,6	1,9	240	133	276	100	152	265
2	300	100	40	400	1	1,5	300	150	337	120	180	295
3	400	150	40	400	1	1,5	400	225	470	175	250	416
4	320	55	20	150	1,3	5,3	416	291	410	277	108	190
5	300	150	25	225	1,1	3,3	330	495	397	459	187	304

**Şekil 4.3:** Tablo 4.2 gösterilen her darbede bir damla sağlayan değerler

Tabloda ortalama akımların ve bunlara karşılık gelen tel besleme hızlarının oldukça geniş bir aralıkta olduğu da görülür. Isı girdisine ve gerekli olan yağma hızına bağlı olarak belirli bir prosedür için veya belirli bir ortalama akımda her darbede bir damla rejimi için gerekli parametrelerin hesabına Denklem (4.3) ile başlanabilir [6].

Her darbede bir damla rejimi bir kere tanımlandıktan sonra, söz konusu uygulama için en önemli olan parametreleri belirlemek mümkün olur. Uygulamaya bağlı olarak ısı girdisini en aza indirmek, yağma hızını yükseltmek veya kaynak hızını arttırmak en önemli konu olabilir [6]. Şekil 4.3'te çok farklı pik akım ve temel akım koşullarında yani çok farklı ortalama akımlarda uygun ayarlama sayesinde her darbede bir damla rejimine ulaşılabildiği gösterilmektedir. Bu da darbeli kılma MIG/MAG kaynağının çok geniş bir parametre aralığında çok farklı imalat koşullarında kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Denklem (4.3) diğer darbe parametrelerinin belirlenmesine başlanmadan önce bir simülasyon aracı olarak kullanılabilir. Kaynak prosedürlerinin geliştirilmesi için gerekli deneysel deneme yanılma metodu zamanını azaltır ve uygun darbe parametrelerinin belirlenebilmesi için sistematik bir yöntem arayışı sağlar. Temel akım, temel akım süresi ve pik akım belirlenerek ihtiyaç duyulan pik süresinin geniş aralığı denklemden hesaplanabilir [6].

Diğer bazı araştırmacılar darbe periyodunu hesaplamak için tel çapına eşit çapta bir kürenin silindirden oluşabilmesi için gerekli Denklem (4.4)'ü kullanırlar [2].

$$T = \frac{240V_{drop}}{\pi d_e^2 W} \quad (4.4)$$

Burada V_{drop} damla hacmi, d_e elektrot çapı (mm) ve W tel besleme hızıdır (m/dak) dir.

İyi bir spreyl transfer sağlanması ve iyi bir kaynak kalitesi için erimiş damla çapının elektrot çapına eşit olması gerektiği varsayımına uygun olarak Denklem (4.5) ile damla hacmi V_{drop} bulunabilir [7].

$$V_{drop} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te r , mm cinsinden elektrotun yarıçapıdır.

Denklem (4.4)'ten T değeri hesaplanırsa, $T = T_p + T_b$ denkleminde, T_b sabit iken ya da önceden belirlenmiş bir değeri varsa T_p hesaplanabilir [2].

4.3 Temel Akım

Temel akım, akım eğrisinde düşük nominal akım seviyesine karşılık gelir. Temel akımın ölçü birimi amperdir. Temel akımdaki artış nüfuziyeti artırır [13]. Temel akım arkı söndürmeden her bir darbe arasında arkın sürdürülmesini sağlamak için önceden programlanmıştır ve en düşük öneme sahip darbe parametresidir [7].

Bu akım arkı sürdürmek için gereklidir fakat metal transferinin gerçekleşmesi için çok düşüktür. Temel akım da pik akımda olduğu gibi uygulanma süresinden bağımsız değildir. Bazı araştırmacılar tarafından temel akım koşulları “her 100A için 50Hz” kuralı esas alarak belirlenmiştir. Örneğin, 200 amper ortalama akımda, eğer

pik akımın 350 A olacağı ve 4 ms süreceği belirlenmiş ise temel akım 100 Hz frekansta 6 ms süre ile 100 A olmalıdır [2].

Pik parametreleri metal transferinde epey geniş bir sorumluluğa sahip gibi gözükse de transfer edilen damlanın boyutu konusunda temel akım koşulları da kuvvetle etkilidir [2]. Aşağıdaki denklemle her bir darbeye kopan metalin hacmi sayılara dökülebilir:

$$\emptyset = AW/F \quad (4.6)$$

Burada F frekans, A tel kesit alanı (mm²) ve W tel besleme hızıdır (mm/s) [2]. Eğer $I_p^2 T_p$ değerlerine karşılık gelen pik koşulları her darbeye bir damlaya uygun ise $\emptyset$ damla hacmine karşılık gelir [2]. İlk yaklaşıma ilave olarak:

$$W \sim K \langle I \rangle \quad (4.7)$$

Burada $\langle I \rangle$ bir darbe çevrimindeki ortalama akım ve $\langle I^2 \rangle = \langle I \rangle^2 + x(1-x)I_e^2$ ve K sabittir [8]. Bundan dolayı yukarıda verilen Denklem (4.7)

$$\emptyset \approx AK \langle I \rangle / F \quad (4.8)$$

halini alır [2]. $\langle I \rangle$ fonksiyonunun tanımından

$$\emptyset \approx AK(I_p T_p + I_b T_b) \quad (4.9)$$

olarak yazılabilir [2].

Bu ifade temel akım koşullarının genel olarak damla boyutunu etkilediğini ortaya koyar. Belki de daha da önemlisi Denklem (4.8), I_p ve T_p 'nin sabit olduğu koşullarda ortalama akım değişiyor ise $\emptyset$ 'nin sadece $I_b T_b = \text{sabit}$ iken aynı kalabileceğini göstermektedir. Dolayısı ile temel akım ve süre ters orantılı olarak değişmek zorundadır [2].

Bazı araştırmacılar genel ısı girdisini en aza indirmek için temel akımı uygun en küçük değere ayarlamayı önermektedir ancak bu durumda kaynak dikişinin bombesi büyük olmaktadır ve esas metal kenarlarındaki erime zayıf kalmaktadır. Temel akım seviyeleri oldukça değişkendir fakat yumuşak çelik için 30 A ila 50 A, ostenitik paslanmaz çelik için 50 A ve alüminyum alaşımları için 20 A dır. Temel akım süresi

ise ortalama akıma bağılıdır ve her darbeye bir damla rejiminin sağlanabilmesi için pik zamanından daha az olmalıdır [2].

Subramaniam ve arkadaşları çalışmalarında 4047 alüminyumda geniş bir parametre aralığında her darbeye bir damla rejimine erişilebilmesi için temel akım ve uygulanma süresinin yüksek erime hızları gerekli olduğunda önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Yani damla transferi ve erime hızı temel akımın genliği ve uygulanma süresinden önemli bir şekilde etkilenir [5].

Diğer taraftan başka araştırmacılar, temel parametrelerin darbe – ayrılma konusunda önemli bir etkisinin olmadığını çünkü her darbeye bir damla durumunu değiştirmedığını gözlemlemişlerdir [2].

4.4 Ortalama Akım

Ortalama akım (I_{av}) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$I_{av} = \frac{I_p T_p + I_b T_b}{T_p + T_b} \quad (4.10)$$

Anlık $I_p T_p$ ve $I_b T_b$ değerleri aşağıda verildiği gibi akım eğrisinin altında kalan alandan hesaplanabilir.

$$I_p T_p = \int I_p(t) dt \quad (4.11)$$

$$I_b T_b = \int I_b(t) dt \quad (4.12)$$

$I_p(t)$ ve $I_b(t)$ dt aralığında akımın anlık değerleridir [5].

Darbeleri akım dalga şekli pik akım, pik akım süresi, temel akım ve temel akım süresi gibi dört ana parametre içeriyor olsa da işlem özellikleri pik ve temel akım değerleri ve bunların ağırlıklı toplamı dikkate alındığında oldukça basite indirilebilir [2].

Ayarlar ve donanım bakımından daha basit bir durum olan sprey transferle konvansiyonel MIG/MAG kaynağından daha karlı olabilmesi için ortalama akım her zaman geçiş akımının altında olmalıdır. Fakat ortalama akım geçiş akımının üstünde olduğunda darbeleri işlemin yığma davranışı bakımından daha iyi olduğu belirtilmiştir [2].

Belirli herhangi bir ortalama akım için darbe parametreleri kombinasyonu gibi tüm olası darbe koşullarını gösteren pratik bir bağıntı vardır. Paslanmaz çelik ve yumuşak çelik için ortalama akım aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [2].

$$I_{av} = S_{av}W + k \quad (4.13)$$

Burada I_{av} ortalama akım (A), W tel besleme hızı (m/dak), S_{av} eğim (A/(m/dak)) ve k sabittir (A). Yukarıdaki ilişki birisi 2m/dak diğeri 8 m/dak olmak üzere iki farklı tel besleme hızı ile deney yapılarak bulunmuştur. Her deney için darbe parametreleri deneme yanılma yolu ile bulunmuştur ve böylece gerekli olan ark boyu sağlanmıştır. Ar + %2 O₂ koruma altında sırası ile 316 ve 308 paslanmaz çelikleri için eğim 34,9 (A/(m/dak)) ve 22,1 (A/(m/dak)) olarak bulunmuştur. Ar + %5 CO₂ koruma altında yumuşak çelik için eğim 26,5 (A/(m/dak)) dır. İnconel için ise argon koruması altında 31,7 (A/(m/dak)) dır [2].

Normal dc akımda olduğu gibi ortalama akım tel besleme hızı ile ilişkilidir. Bu nedenle verilen bir tel besleme hızı için darbeli akımla işlemin ortalama akımı normal sprey transfer uygulamasında kullanılan değerlerden tahmin edilebilir [2].

Diğer bütün parametreler sabit iken akımın tel besleme hızının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir ve bu ilişki darbeli akımla MIG/MAG kaynağında da değişmemektedir. Diğer bütün parametreler sabit iken ortalama akım tel besleme hızı ile değişecektir ve geleneksel MIG/MAG kaynağındaki gibi aynı ilişki ile değeri öngörülebilir. I_b , I_p ve T_p sabit iken ortalama akım doğrudan frekans ile değişir. Verilen uygulama için temel akımı, pik akımı ve darbe süresini uygun seviyelerde sabitleyerek, koruyucu atmosfer, serbest elektrot, voltaj, elektrot çapı ve tipinin aynı olduğu düşünüldüğünde tel besleme hızındaki değişiklikler frekans değişimi ile uygun hale getirilebilir [2].

Ortalama akım ve kaynak hızı değişiminin darbeli akımla MIG/MAG kaynağının erime davranışına etkisinin araştırıldığı çalışmada sulanmanın yüksek akım ve yüksek kaynak hızında %50'ye kadar arttığı, düşük hızlarda düşük akım kullanarak yüzey kaplama işlemlerinde gerek duyulan şekilde azaltılabildiği bulunmuştur [2].

Darbe genişliği (süresi) ayarı damla boyutu ve ark konisi genişliği üzerinde etkilidir ve ortalama akım üstünde önemli bir etkisi vardır. Darbe frekansı ortalama akımı,

genel ısı girdisini, tel yanma hızını, ark boyunu kontrol eder ve aynı zamanda kaynak hızını etkiler [2].

Düşük darbe süresi ile yüksek ortalama akım ve yüksek frekans gibi parametreler kullanıldığında içyapının nispeten ince taneli olduğu ve sulanmanın az olduğu bulunmuştur [2].

4.5 Darbe Frekansı

Darbe frekansı darbe çevriminin bir saniyede ne kadar sıklıkla uygulanacağından sorumludur. Bir darbe çevrimi darbe başlangıcından bir sonraki darbenin hemen öncesindeki temel akım sonuna kadar olan periyot olarak tanımlanır. Sabit ark boyunu elde edebilmek için akım darbelerinin tekrar etme frekansı doğru elektrot yakma hızını verebilmesi için tel besleme hızı ile ilişkili olarak ayarlanmak durumundadır. Frekans genel olarak tel besleme hızı ile doğru orantılıdır. Frekans ortalama akımın bir fonksiyonu olduğundan verilen koşullar için uygun frekans önceden belirlenebilir ve koşullar değiştiğinde kararlı arkı sağlamak için ortalama akımda değişiklik gerekli olabilir. Ortalama akımdaki bu değişiklikler frekans gibi sürekli değişebilen darbe parametreleri ile kolaylaştırılabilir. Frekans artarsa ark daralır, ortalama akım artar ve erimiş damlacık küçülür. Frekans azalırsa, kaynak dikişi ve ark genişler [2,13]. $(\text{pik akım süresi})/(\text{pik akım süresi} + \text{temel akım süresi}) \times 100 (\%)$

Darbe frekansı $1/(\text{pik akım süresi} + \text{temel akım süresi})$ ve pik akım oranı $(\text{pik akım süresi})/(\text{pik akım süresi} + \text{temel akım süresi}) \times 100 (\%)$ olarak tanımlanır. Darbe frekansının ve pik akım oranının işlemsel parametreler olarak kullanılması ayar işleminin bazı karmaşıklıklarını bertaraf eder. Örneğin, pik akım oranı sabit tutulursa darbe frekansı değiştirilerek ortalama akımı etkilemeden hemen hemen sabit elektrot erime hızı sağlanabilir. Bu şekilde sabit elektrot erime hızında en uygun darbe frekansı aralığını belirlemek mümkün olur [9].

Kim ve Eagar darbeli akımla MIG/MAG kaynağında teorik darbe frekansını elektrot erime hızını bir damlanın kütlesine bölerek Denklem (4.14)'teki gibi hesaplamışlardır [9].

$$\text{Teorik frekans} = \frac{m_{pulse}}{V_{drop}(I_p)\rho_d} \quad (4.14)$$

Burada m_{pulse} akım darbesi ile elektrot erime miktarı, $V_{drop}(I_p)$ pik akımda öngörülen damla hacmi ve ρ_d damlanın yoğunluğudur [9].

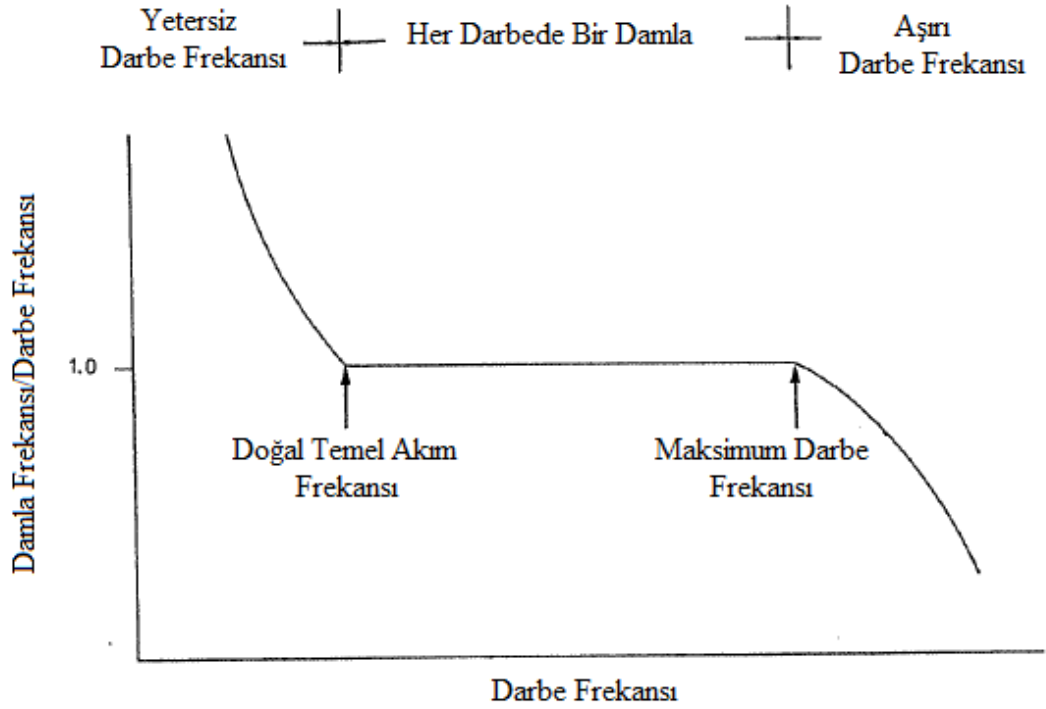
Kare dalga için ortalama erime hızı pik akımdaki erime miktarı ve temel akımdaki erime miktarının ağırlıklı toplamı ile bulunabilir [9].

$$m_{pulse} = Dm(I_p) + (1 - D)m(I_b) \quad (4.15)$$

Burada D pik akım oranı, $m(I_p)$ pik akımdaki erime miktarı, $m(I_b)$ temel akımdaki erime miktarıdır [9].

Diğer işlemsel parametreler sabit tutulmak koşuluyla darbe frekansı teorik frekansın üstüne çıkarıldı ise her damla da bir damla kopması gözlenmez. Diğer bir deyişle, damla boyutu ve erime hızı aynı kaldığında Denklem (4.14) ile verilen teorik frekansla öngörülenden daha fazla damla oluşturmak imkânsız olacaktır. Bu nedenle teorik darbe frekansı aynı zamanda sisteme uygulanabilir maksimum darbe frekansıdır. Diğer taraftan darbe frekansı maksimum darbe frekansının altına düşürülürse çok düşük frekanslara kadar epey geniş bir aralıkta her darbe bir damla üretmeye devam edecektir ama damla boyutları denge halindeki damla boyutlarından daha büyük olacaktır. Eğer darbe frekansı daha da düşürülürse DC temel akımdaki damla transfer frekansı sonunda uygulanan darbe frekansından daha büyük olacaktır. Bu yüzden DC temel akımdaki damla transfer frekansı her darbeye bir damla bölgesinin alt limitini belirler. Darbe frekansı limitten daha düşük olduğu zaman damla iki şekilde kopacaktır: birincisi temel akım tarafından kontrol edilerek diğeri pik akım tarafından kontrol edilerek. O nedenle, bir darbe çevriminde birkaç damla kopabilir ve bunların boyutları aynı olmayabilir [9].

Şekil 4.4'te anlatılan konuyu şematik olarak göstermektedir. Dikey ekseninde damla transfer frekansının darbe frekansına oranı gerçek damla transfer hızının uygulanan darbe frekansına bölünmesi olarak ifade edilmiştir. Damla/darbe frekans oranı eşit olduğu zaman her darbe bir damla üretir. Pratik kaynak için bu optimum darbe frekansıdır. Damla/darbe frekans oranı 1,0'dan büyük olduğu zaman darbe frekansı yetersiz kalıyor demektir. Son olarak damla/darbe frekansı 1,0'dan küçük ise darbeler çok hızlı gerçekleşiyor ve her darbe bir damla oluşturamıyor demektir, dolayısıyla darbe frekansı aşırıdır [9].



Şekil 4.4: Darbe ve damla frekanslarının ilişkisi

Denklem (4.14) dışında benzer bir yolla daha frekans belirlenebilir.

$$f = \frac{M_m}{m_d} \quad (4.16)$$

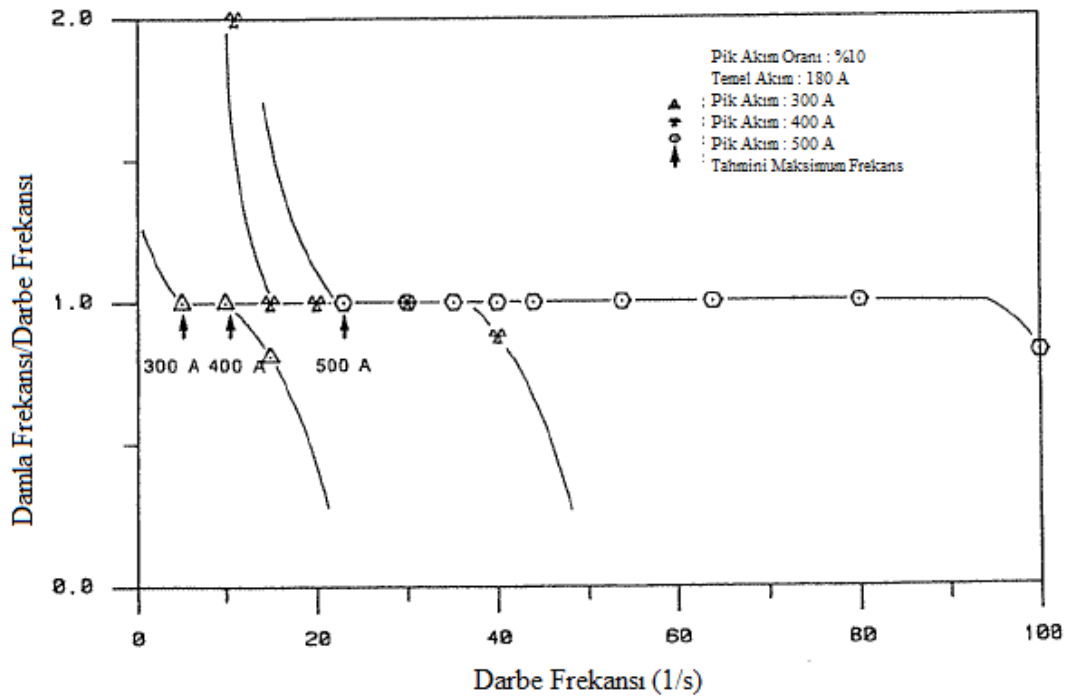
Burada F teorik damla kopma frekansı M_m kütle cinsinden erime hızı ve m_d damla kütlesidir.

Verilen bir frekans için T_p pik süresinin önceden bilindiği varsayımı ile T_b belirli olacağı söylenilebilir, bundan sonra tel besleme hızına karşılık gelen frekans aralığı deneylerle belirlenmiş ise temel akım ihtiyaç duyulan erime hızına göre belirlenir [2].

Bilhassa kaynak hızı 20 in./dak (51cm/dak) üzerine çıkarıldığında ıslatma kabiliyetinin iyi olması için frekansın 33 ila 100 arasında tercih edilmesinin uygun olacağını belirtilmiştir. Daha düşük frekanslarda yani darbeler arası daha uzun zaman ve daha büyük damla ile çalışırken yeterli ıslatmayı sağlayabilmek için kaynak hızını da düşürmek gerekir [2]. Fakat Rajasekaran ve arkadaşları [7] ile Subramaniam ve arkadaşları [6] çalışmalarında 400 Hz kadar yüksek frekanslarda, % 62.5 pik akım oranıyla bile her darbede bir damla transferine ulaşılabileceğini göstermişlerdir. Tablo 4.2 ve Şekil 4.3'ten de bu durum görülebilir.

Bazı yazarlar ise frekansa ilave olarak pik akımda kalma oranını da kullanmıştır [6,9].

Kim ve Eagar, tarafından pik akımda kalma oranı %10'a yükseltildiğinde düşük temel akımlarda bile elektrotta sivrilme olduğu, örneğin %10 oran ile 180 A temel akım ve 400 A pik akımda yumuşak çelik elektrotta sivrilme gözlemlendiği bildirilmiştir. Temel akım ve pik akımda kalma oranı artarsa sivrilme daha da ilerler ve denge damla boyutunu azaltır [9]. Böyle yüksek bir pikte kalma oranında pik akım periyodu sırasında elektrot ucu sivrilir ve akım temel akım seviyesine indirildikten sonra kısa zamanda tekrar silindirik şekle dönemez [9].



Şekil 4.5: Farklı Pik Akımlarda Darbe ve damla frekanslarının ilişkisi

Şekil 4.5'te %2 oksijen katkılı argon koruması altında çelik elektrotların üç farklı pik akım değerinde darbe frekans bölgeleri verilmiştir. Pik akım oranı %10'a çıktığında optimum darbe frekansı bölgesinin genişliğinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

5. DARBELİ AKIMLA MIG/MAG KAYNAĞINDA DİĞER PARAMETRELER VE DİKİŞ GEOMETRİSİNE ETKİLERİ

5.1 Tel Besleme Hızı

Tel besleme hızı, sürekli beslenen tel elektrotun kontak meme içinden geçerek kaynak banyosuna katılma hızıdır. Bu hız genellikle metre/dakika olarak ölçülür [14]. MIG/MAG kaynağında telin arkın içine beslendiği bu hız akıma bağlıdır [10]. İyi bir ark kararlılığına, iyi metal transferi koşullarında ulaşılabilir, özellikle tel besleme hızı erime hızı ile tam uyumlu olduğunda [4,7]. Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında akım zamanla değişirken yanma hızını belirleyen ortalama akımın tel besleme hızı ile uyumlu olması böylece sabit ark boyunu sağlaması zorunludur. Eğer tel besleme hızı ile yanma hızı arasında bir fark var ise ark kararsız hale gelir geri yanmaya neden olur, bu durum kusurlu kaynaklara sebep olur. Açıklanan bu uyum koşulu yanma kriteri olarak bilinir [7]. Düşük tel besleme hızları geri erimeye sebep olurken yüksek tel besleme hızları kısa devre sonucu arkın sönmesine neden olabilir [6]. Tel besleme hızı transfer edilecek damla boyutu ve transfer veya tekrar frekansı ile belirlenir, örneğin düşük tel besleme hızlarında frekans da düşük olmalıdır [2]. Belirli bir tel besleme hızı için pratikte yüksek frekans değerleri tercih edilebilir çünkü metal transferinin frekansı arttıkça ve kaynak dikişi uniform hale geldikçe metal transferinin neden olduğu ark boyu dalgalanması azalır ve ark boyu sıçrama olmaksızın kısa bir değere ayarlanabilir dolayısıyla kaynak hızı arttırılabilir [8].

Rajasekaran ve arkadaşlarının çalışmaları [7], kaynak dikişi yüzeyindeki dalgalanmalardaki değişkenliğin yüksek tel besleme hızlarında az olduğunu tespit etmişlerdir. Bu kaynak işlemini yüksek tel besleme hızlarıyla yapmanın faydalı olduğunu ortaya koyar çünkü yüksek tel besleme hızı düzgün bir kaynak dikişi yüzeyi sağlar. Yüzey görüntüsünün düzgün oluşunun sebebi yüksek tel besleme hızlarında damla boyutunun küçülmesi damla transfer frekansının artmasıdır. Bu durumda ark uzunluğunun uniformluğu da artar ve bu da kaynak dikişi yüzeyinin düzgün olmasına katkı sağlar. Aynı zamanda yüksek akım nedeniyle kaynak

banyosunun akışkanlığı da artar bu da kaynak yüzeyinin düzgünlüğünün artmasına nedendir [7].

Birçok tel besleme hızı modeli deneylere dayandırılır ya da kaynak sırasında ark veya direnç ısısının teli ısıtmasının hesaplanmasına dayandırılır [6]. Diğer bütün değişkenler sabit iken tel besleme hızı akımın bir fonksiyonu haline gelir ve tel besleme hızı geleneksel MIG/MAG kaynağındaki ilişki kullanılarak belirlenebilir [2].

Tel besleme hızını belirlemede en yaygın denklem aşağıda Denklem (5.1) ile verilmiştir [6].

$$W = \alpha I + \beta LI^2 \quad (5.1)$$

Burada W tel besleme hızı, L serbest elektrot boyu, α tel ucundaki yerel ark ısısı çarpanı ve β tel uzunluğu boyunca oluşan direnç ısısı çarpanını tanımlamaktadır. Gerekli sabitler deneylerle saptanabilir. Alüminyum için direnç ısısı ihmal edilebilir varsayılabilir [6].

α ve β 'nin deneysel değerleri 1,2 mm çapında karbon çeliği tel için sırasıyla 0.3 mm/(As) ve $5 \times 10^{-5} \text{ A}^{-2}/\text{s}$, alüminyum için α 0.75 mm/(As) ve β ihmal edilebilir, 1,0 mm çapında yumuşak çelik tel için α ve β sırasıyla yaklaşık 0.47 mm/(As) ve yaklaşık $10.2 \times 10^{-5} \text{ A}^{-2}/\text{s}$ dir.

Denklem (5.1), tek bir darbe çevrimi dikkate alınarak darbeli akımla MIG/MAG kaynağı için düzenlendiğinde, $W(t)$ anlık erime hızı olmak üzere;

$$W = \int W(t)dt \approx (W_p T_p + W_b T_b)F \quad (5.2)$$

şeklinde yazılabilir [6]. W_p pik akımdaki tel erime hızı, W_b temel akımdaki tel erime hızı, F darbe frekansı, T_p pik akım süresi, T_b temel akım süresidir. Aslında Denklem (5.2) alüminyumun darbeli akımla MIG/MAG kaynağında geniş bir aralıkta darbe parametrelerinin oluşturulması için yeterli doğrulukta sonuç vermez çünkü alüminyum için darbe frekansı ve elektrot uzunluğu dikkate alınmamıştır, ayrıca model güç kaynağı dinamiklerini de hesaba katmamıştır. Gerçek akım değerleri pik fazındaki nominal değerlerden farklı olabilir. Sonuç olarak, pik ve temel akımda tel erimesi kare darbe dalgası varsayımı ile basitleştirilmemelidir [6].

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında hem ark hem tel direnci ısı etkileriyle kontrol edilen tel erime hızı aşağıdaki denkleme uygun olarak tel besleme hızı ile eştir [2].

$$W = \alpha I_{av} + \beta LF(I_p^2 T_p + I_b^2 T_b) \quad (5.3)$$

Düşük ortalama akımlarda, temel akıma bağlı olarak oluşan direnç ısınması ihmal edilebilir. Örneğin, ortalama akım I_{av} 100A ise ihmal edilen kısım toplam direnç ısının %5'idir. Sonuç olarak denklem aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir [2].

$$W = \alpha I_{av} + \beta LF I_p^2 T_p \quad (5.4)$$

Burada W yanma hızı α ve β ark ve ohmik ilgili ısı etkileridir, I_{av} ortalama akım (A), F frekans (Hz) ve L serbest elektrot boyudur [2].

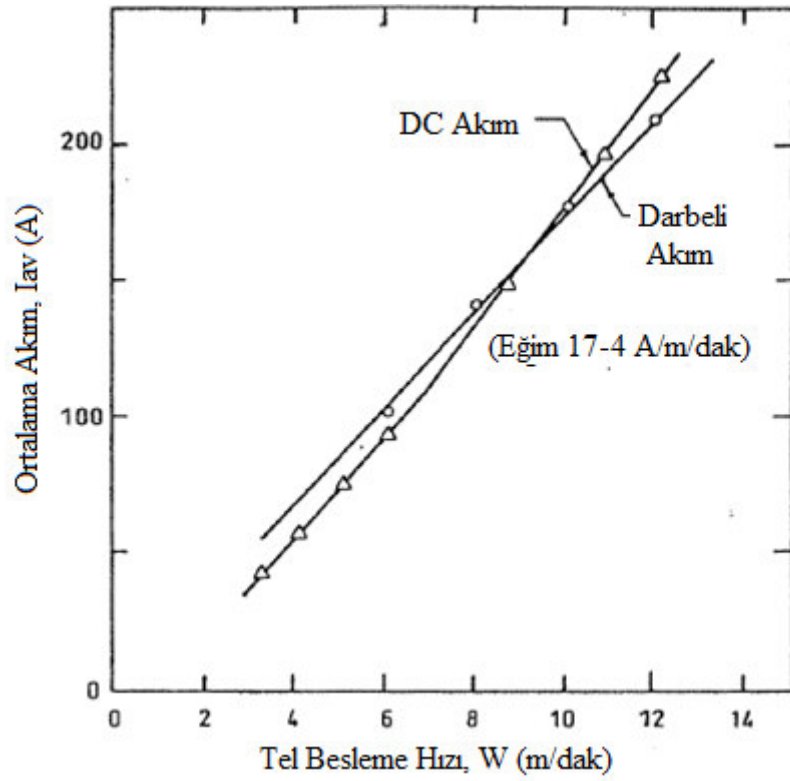
Diğer taraftan tel besleme hızını belirlemek için başka bir yaklaşım da benimsenmiştir [2].

$$W(pulse) = W(dc equiv) + \beta Lx(1-x)I_e^2 \quad (5.5)$$

$$W(dc equiv) = \alpha I_{av} + \beta L I_{av}^2 \quad (5.6)$$

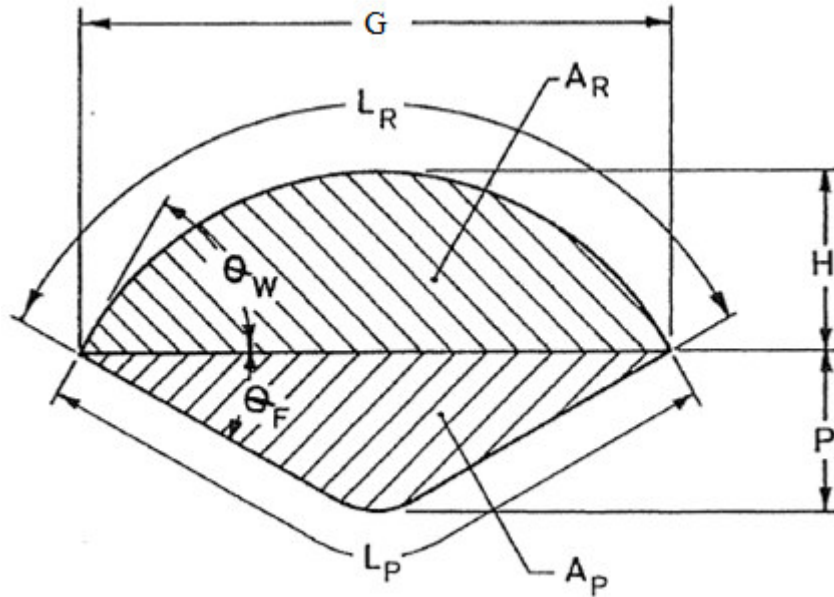
x fraksiyonel pik $(T_p F)$ süresidir ve I_e aşırı akımdır ($I_e = I_p - I_b$)

Denklem (5.5)'ten de açıkça görüldüğü gibi aynı eşdeğer akımda darbeli kaynakta yanma hızı dc sabit akım kaynağından daha yüksektir [2]. Diğer taraftan Rajasekaran ve arkadaşları, sabit akımla MIG/MAG kaynağı karakteristik doğrusunun darbeli akımla MIG/MAG kaynağı karakteristik doğrusu ile geçiş akımında kesiştiğini ve darbeli akımla MIG/MAG kaynağında amper başına yanma hızının, sprej akım seviyesinden yukarıdaki ortalama akımlarda, sabit akımla MIG/MAG kaynağındakinden daha yüksek olduğunu, sprej akım seviyesinden daha düşük ortalama akımlarda ise darbeli akımla MIG/MAG kaynağında amper başına yanma hızının sabit akımla MIG/MAG kaynağındakinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir [7].



Şekil 5.1: Sabit ve Darbeli Akım Karşılaştırması

Rajasekaran ve arkadaşları [7], yaptıkları çalışma sonunda kaynak işleminin yüksek tel besleme hızında yapılmasının faydalarını ortaya koymuşlardır. Yüksek tel besleme hızı ile yapılan kaynak işleminde nüfuziyet artar, dikiş genişler, akışkanlık artar, yüksek erime açısı oluşur, bombe yüksekliği azalır, dikiş- plaka ısılatma açısı azalır [7].



Şekil 5.2: Kaynak Dikişi Geometrisi

Yukarıda anlatılan teorik bilgilere ilave olarak pratikteki uygulamalar şu şekilde açıklanabilir. MIG/MAG kaynağında sabit gerilimli makinalarda akım, tel besleme hızı ile kontrol edilir. Eğer tel besleme hızı arttırılırsa akım da artar. Tel besleme hızı düşürüldüğünde ise akım da düşer. Tel besleme hızındaki bu ayarlamalar kaynak işleminde ya da işlem yapılmadığı anda yapılabilir. Bazı durumlarda kaynakçı özel bir kaynak prosedürüne göre kaynak yapabilir. Bu prosedür uyulması gereken bir tel besleme hızı beyan ediyor olabilir. Durum böyle olduğunda kaynakçının tel besleme hızını ölçmesi ya da dijital bir tel besleme hızı kontrolü kullanması gerekir. Bazı zamanlarda kaynakçının uyması gereken bir prosedür veya talimatname bulunmaz. Bu durumda iyi bir kaynak, kaynakçının parametre seçimine bağlıdır. Voltajı ayarlamak gibi tel besleme hızı da kaynak yapılırken ikinci bir kişi tarafından ayarlanabilir ya da kaynakçı hurda metal üstünde deneme kaynaklarıyla ayarı yapabilir. Dijital çıkışlı tel besleme hızı genellikle kaynakçı tarafından önceden ayarlanmış olur. Bir kaynak koşulu için ayar yapılırken genellikle aynı anda sadece bir değişkenin değiştirilmesi uygundur. Kaynak yapılacak esas metalin kalınlığı ilk akım seçiminde iyi bir belirleyici faktördür. Fakat akımın yani tel besleme hızının ince ayarı birleştirme pozisyonu, birleştirme tasarımı, koruyucu gaz, teçhizat, malzeme sıcaklığı, kaynak hızı ve kaynakçı kabiliyeti gibi birkaç etkene bağlıdır [14].

5.2 Koruyucu Gaz

Erimiş kaynak banyosunun kirlenmesini önlemek için kaynak bölgesindeki havanın yerini koruyucu bir gazın alması gerekir. Bu kirlenmeye esas olarak azot, oksijen ve atmosferde mevcut su buharı sebep olur. Bir koruyucu gazın şu özelliklere sahip olması gerekir [2]:

- Ark plazması ve kararlı ark kökü mekanizması yaratabilmesi gerekir
- Erimiş metalin elektrotun ucundan düzgün kopmasını sağlaması gerekir
- Tel ucunu, kaynak banyosunu ve arkın yakın çevresini koruması gerekir

Kaynak banyosunun kirlenmesi ile ilgili bu problemlerden kaçınmak için üç ana koruyucu gaz kullanılır. Bunlar argon, helyum ve karbondioksittir. Bazı uygulamalar için küçük miktarlarda oksijen, azot ve hidrojen katkısı da fayda sağlamaktadır. Bu gazlardan sadece argon ve helyum soy gazdır, diğer gazların oksitlenmeye neden olma eğiliminin üstesinden özel tel elektrot formülasyonları ile gelinir. Çok çeşitli

kaynak uygulamaları ve işlemleri olduğu için argon, helyum ve karbondioksit tek başlarına kullanılabilir kendi aralarında kombine edilebilir ya da bahsi geçen diğer gazlarla belirli oranlarda karıştırılabilir. Darbeli ark tekniği spre transferin doğal olarak olduğu akımlardan daha düşük akımlarda spre transfer oluşturmanın suni bir yoludur. Bu yüzden, bu transferi elde etmek için uygun elektrot/koruyucu gaz kombinasyonunun seçilmesi gereklidir. Örneğin, bir yumuşak çelik elektrot karbondioksit ile kullanılırsa doğal olarak spre transfer yaratılamazken argon kullanıldığında buna ulaşılabilecektir [2].

Bitmiş kaynağın kalitesinin yüksek olabilmesi için yapılacak uygulama için doğru koruyucu gaz seçimi çok önemlidir. Genel olarak gaz seçimi aşağıdaki kriterlere bağlıdır fakat bunlarla sınırlı değildir [13].

- Tel elektrotun alaşımı
- Kaynak metalinde ihtiyaç duyulan mekanik özellikler
- Malzeme kalınlığı ve bağlantı tasarımı
- Malzemenin durumu – korozyon, yağ, koruyucu kaplama gibi
- Metal transfer şekli
- Kaynak pozisyonu
- Donanım durumu
- İstenilen nüfuziyet profili
- Kaynak dikişinin hedeflenen son görüntüsü
- Maliyet

Arkın ısısı altında koruyucu gazlar değişik davranışlar sergiler. Akımın ark içersindeki akışı ve büyüklüğü erimiş damlacığın davranışında çok büyük öneme sahiptir. Bazı durumlarda bir koruyucu gaz türü bir metal transfer şekli için çok uygun olmasına rağmen diğerleri için ihtiyacı karşılayacak özellikte olmayabilir. Aşağıdaki üç temel ölçüt koruyucu gazın özelliğini anlamada faydalı olur [13].

- Gaz bileşenlerinin iyonlaşma potansiyeli
- Koruyucu gaz bileşenlerinin ısı iletkenliği
- Koruyucu gazın kaynak banyosu ile kimyasal reaktivitesi

Argon ve helyum kaynak banyosunu korumak için kullanılan iki soy gazdır. Soy gaz sınıflandırması ne argonun ne de helyumun kaynak banyosunu oluşturan erimiş metal ile kimyasal tepkimeye girmeyeceğini belirtir. Ancak gazın iletken hale

gelmesi için plazma haline geçmesi yani iyonize olması gerekmektedir. Değişik gazlar iyonize olmak için değişik miktarlarda enerjiye ihtiyaç duyarlar, bu enerji iyonlaşma enerjisi olarak tabir edilir. Argon için iyonlaşma enerjisi 15.7 eV helyum için 24.5 eV dir. Yani, argonu iyonize etmek helyumu iyonize etmekten daha kolaydır. Bu nedenle argon helyumdan daha iyi ark başlatma özeliğine sahiptir. Isıl iletkenlik ya da gazın ısı enerjisi transfer edebilme yeteneği koruyucu gaz seçiminde en önemli noktadır. Yüksek ısı iletkenlik seviyeleri, ısı enerjinin iş parçasına daha çok iletilmesi demektir. Isıl iletkenlik aynı zamanda arkın şeklini ve bölgedeki ısı dağılımı da etkiler. Argon, helyum ve hidrojen %10 daha az bir ısı iletkenliğe sahiptir. Helyumun yüksek ısı iletkenliği daha geniş bir nüfuziyet modeli ortaya koyarken nüfuziyet derinliğini de azaltır. Yüksek oranda argon içeren gaz karışımları esas metal içerisine parmak şeklinde uzanan bir nüfuziyet profiline yol açar, bu argonun düşük ısı iletkenliğinden dolayıdır [13].

5.2.1 Soy koruyucu gazlar

Argon en genel kullanılan soy gazdır. Helyuma kıyasla ısı iletkenliği düşüktür. Bir elektron verebilmesi için gerekli enerji, iyonlaşma enerjisi, düşüktür, bu parmak benzeri bir nüfuziyet profiline neden olur. Argon sprey transferi kolaylaştırır. Nikel, bakır, alüminyum, titanyum ve magnezyum alaşımlı esas metallerde %100 argon koruması kullanılır. Argon düşük iyonlaşma enerjisi nedeni ile ark başlangıcına yardımcı olur. Argon, MIG/MAG kaynağında ikili ve üçlü gaz karışımlarının ana bileşenidir. Argon aynı zamanda erimiş damlacık transfer hızını da artırır [13].

Helyum genellikle paslanmaz ve alüminyum uygulamalarında gaz karışımına ilave edilir. Isıl iletkenliği yüksektir o nedenle geniş ama derin olmayan bir nüfuziyet profili sağlar. Kullanımda ark kararlılığı ark voltajı katkısına ihtiyaç duyar. Korozyona karşı direnç göstermesi gereken uygulamalarda argona helyum ilave edilmesi esas metalin sulanmasını azaltmada faydalı olur. Helyum/argon karışımları genellikle 25mm den kalın alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır [13].

5.2.2 Reaktif koruyucu gazlar

Oksijen, hidrojen, azot ve karbondioksit reaktif gazlardır. Reaktif gazlar istenilen sonucu yaratabilmek için kaynak banyosu ile kimyasal olarak etkileşirler [13].

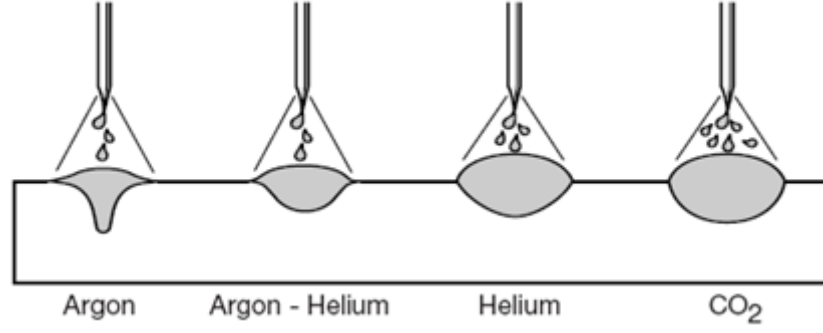
Karbondioksit oda sıcaklığında soy gaz gibi davranır. Ark plazması ve kaynak banyosu karşısında ise reaktiftir. Ark plazmasının yüksek enerjisinde çözülme ya da disosiasyon denilen bir işlemle karbondioksit molekülü bağları kırılır. Bu işlemde serbest karbon, karbon monoksit ve oksijen, karbondioksit molekülünden ayrılır. Bu durum arkın DC+ anot bölgesinde oluşur. DC- katot bölgesinde, MIG/MAG kaynağında iş parçasıdır, karbondioksit molekülünden serbest kalan elementler rekombinasyon işlemine uğrarlar. Rekombinasyon sırasında karbondioksit kullanımını tanımlayan geniş ve derin nüfuziyet profilinin sebebi olan yüksek enerji seviyeleri oluşur [13].

5.2.2.1 Disosiasyon ve rekombinasyon

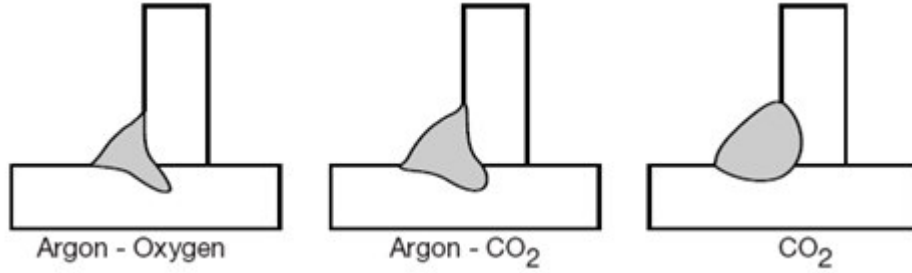
Disosiasyon işlemi sırasında karbondioksit molekülünün serbest elementleri (karbon, karbon monoksit ve oksijen) eriyik kaynak banyosu ile karışırlar ya da arkın daha soğuk olan katot bölgesinde tekrar karbondioksiti oluşturmak üzere rekombine olurlar. Serbest oksijen, silikon, mangan ve demir ile bunların oksitlerini oluşturmak üzere kimyasal olarak etkileşir. Oluşan oksitler genellikle adacıklar halinde yüzeyde toplanır ve orada katılaşır. Yüksek karbondioksit miktarı yüksek oksitlenme potansiyeli demektir, yüzeyde oluşan cüruf miktarını artırır. Daha düşük karbondioksit seviyesi kaynak metali içinde artık olarak kalan silikon ve mangan alaşımı miktarını artırır. Sonuç olarak, ikili veya üçlü gaz karışımlarında düşük karbondioksit seviyesi bitmiş kaynağın akma ve çekme dayanımlarını artırır [13].

Oksijen kaynak banyosundaki bileşenlerle reaksiyona girerek oksitleri oluşturan oksitleyici elementtir. Argon içine %1 ila %5 oksijen katkısı iyi bir ark kararlılığı sağlar ve mükemmel bir dikiş görüntüsü ortaya koyar. Dolgu alaşımının kimyasının deoksitleyiciler barındırması oksijenin oksitleyici etkisini dengeler. Silikon ve mangan oksitleri oluşturmak üzere oksijen ile birleşir. Oksitlerin kaynak dikişi yüzeyine çıkarak adacıklar oluşturması karbondioksit koruması altında argon oksijen karışımından oluşan korumaya göre daha çok görülür [13].

Hidrojen paslanmaz çelik ve nikel alaşımlarını korumada argona %1 ila %5 oranında ilave edilir. Yüksek ısı iletkenliği kaynak banyosunun akışkanlığını artırır, bu da ileri derecede bir ısılatma kabiliyeti sağlar ve yüksek kaynak hızları ile çalışma imkanı verir [13].



Şekil 5.3 : Çeşitli Koruyucu Gazların Dikiş Geometrisine etkisi [13]



Şekil 5.4 : Argon Korumasına Oksijen ve Karbondioksitin İlavesinin Etkisi [13]

5.2.3 İkili koruyucu gaz karışımları

İki parçalı koruyucu gaz karışımları en yaygın türdür. Argon/helyum, argon/karbondioksit ya da argon/oksijen şeklinde kullanılırlar [13].

5.2.3.1 Argon/helyum

Argon/helyum ikili karışımı nikel esaslı alaşımların ve alüminyumun kaynağında faydalıdır. Metal transfer şekli hem spre transfer hem de darbeli spre transfer olabilir. Helyum ilavesi daha akışkan bir kaynak banyosu ve daha düz bir kaynak dikişi sağlar. Helyum kaynak hızı daha yukarılara taşır. Alüminyum kaynağında saf argondan kaynaklanan parmak biçimindeki nüfuziyeti azaltır. Helyum aynı zamanda 5XXX serisi esas alaşım ile alüminyum magnezyum dolgu teli kullanımı ile oluşan hidrojen boşluğu görünümünü de azaltır. Argon mükemmel şekilde ark başlangıcını sağlamasının yanı sıra alüminyumda işlem temizliğini de ileri seviyelerde tutar [13].

%75 Argon + %25 Helyum – alüminyum, bakır ve nikel uygulamalarında nüfuziyet profilini geliştirmek için kullanılır. Kaynak banyosu saf argona göre daha akışkandır [13].

%75 Helyum + %25 Argon – daha fazla helyum içeriği ısı iletkenliği ve kaynak banyosu akışkanlığını arttırır. Nüfuziyet profili geniştir, kaynak ağızını oluşturan iş parçası kenarlarına doğru mükemmel nüfuziyet sağlar [13].

5.2.3.2 Argon/karbondioksit

Basit karbonlu çeliklerin MIG/MAG kaynağında en çok kullanılan ikili gaz karışımları bunlardır. Darbeli yöntem dahil MIG/MAG kaynağında metal transferinin dört şekli de argon+karbondioksit ikili karışımları ile kullanılır. Karbondioksitin %4'ü geçmediğı paslanmaz çeliğın darbeli akımla MIG/MAG kaynağında da başarılı sonuçlar alınır. Sprey transfer %18den daha az karbondioksit içeriğı gerektirir. Kaynakta cürufun kaçınılmaz olduğı durumlarda argon/karbondioksit karışımları tercih edilir. Karbondioksit yüzdesi arttıkça ısı girdisine olan eğilim artar. Argon/karbondioksit karışımları %18 karbondioksit değerine kadar darbeli spre transferini de destekler. Kısa devre transfer şekli düşük ısı girdisi olan argon/karbondioksit karışımını kullanabilen bir transfer şeklidir. Bu transfer şekli %20 veya daha yüksek karbondioksit içeren argon/karbondioksit karışımlarından yararlanır. Kısa devre metal transferinde yüksek seviyede argon kullanımından kaçınılır [13].

Yaygın kısa devre transfer argon/karbondioksit koruyucu gaz karışımları arasında aşağıdaki iki grup sayılabilir.

%75 Argon + % 25 Karbondioksit – basit karbonlu çelik uygulamalarında sıçramayı azaltır, kaynak dikişi görüntüsünü iyileştirir [13].

%80 Argon + % 20 Karbondioksit – basit karbonlu çelik uygulamalarında sıçramayı daha ileri düzeyde azaltır, güzel bir kaynak dikişi görüntüsü sağlar [13].

Yaygın spre transfer argon/karbondioksit koruyucu gaz karışımları arasında aşağıdaki gruplar sayılabilir.

%98 Argon+%2 Karbondioksit – paslanmaz çelik ya da basit karbonlu çelik elektrotlarla spre ya da darbeli transfer için kullanılır. Bu karışım yüksek hızdaki sac malzeme uygulamalarında defalarca denenmiş başarıya sahiptir. Mükemmel kaynak banyosu akışkanlığı sağlamaktadır o nedenle yüksek kaynak hızları ile çalışılabilir [13].

%95 Argon+%5 Karbondioksit - basit karbonlu çelik elektrotlarla spre transfer için kullanılır. %5lik karbondioksit ilavesi kaynak banyosu akışkanlığını artırır. %2 karbondioksit içeren karışımların kullanıldığı imalatlardan daha ağır imalatlarda kullanılır [13].

%92 Argon+%8 Karbondioksit - basit karbonlu çelikler uygulamalarında hem spre hem de darbeli spre transfer için kullanılır. Spre transferde daha yüksek enerji kaynak banyosu akışkanlığını artırır [13].

%90 Argon+%10 Karbondioksit - basit karbonlu çelikler uygulamalarında hem spre hem de darbeli transfer için kullanılır. Argon+Oksijen karışımlarının sergilediği parmak şeklindeki nüfuziyet profili derinliği azalır ve genişliği artar [13].

%85 Argon+%15 Karbondioksit - hem spre hem de darbeli transferde karbondioksit miktarı artışı sac veya levhanın kenarlarında daha fazla erimeye neden olur. Temiz yüzeye sahip karbon çeliklerinde yüksek ısılatma kabiliyeti sağlar. Kısa devre transfer modunda düşük karbondioksit seviyesi parçaya daha az ısı iletilmesine ve yanma riskinin azalmasına neden olur [13].

%82 Argon+%18 Karbondioksit – Karbondioksit ile spre transfer modunda kaynak için geçerli olan sınırdır. Çok çeşitli kalınlıklar için Avrupa’da yaygın olarak kullanılır. Geniş ark nüfuziyet profilini kaynak ara yüzü boyunca iletir. Kısa devre transfer modunda da kullanılır [13].

5.2.3.3 Argon/oksijen

Argon/oksijen karışımları, argon/karbondioksit karışımlarına göre daha düşük akımlarda spre transfere ulaşırlar. Damlacık boyutları daha küçüktür ve kaynak banyosu daha akışkandır. Argon/oksijen kullanımı ince malzemelerde yüksek kaynak hızları ile ilişkilidir. Paslanmaz çelik ve basit karbonlu çelikler de argon/oksijen karışımlarından faydalanır [13].

Yaygın argon/oksijen koruyucu gaz karışımları aşağıda verilmiştir.

%99 Argon+%1 Oksijen – paslanmaz çelik uygulamaları için kullanılır. Ark kararlılığını arttıran bir unsur olarak oksijen kullanımı bu karışım için küçük damlacık transferine katkıda bulunur ve kaynak banyosu akışkanlığını sağlar. Kaynak banyosu üstündeki oksitleyici etki nedeniyle paslanmaz çeliklerin kaynak dikişleri gri gözüktür [13].

%98Argon+%2Oksijen – karbon çelikleri ve paslanmaz çelikler için koruyucu gaz olarak kullanılır. Argon/oksijen karışımları içerisinde karbon çeliklerinde sprey transfer için ilk kullanılan karışım %2 oksijen içeriyordu. Sac malzemelerde yüksek kaynak hızı gerektiren uygulamalar tipik kullanım yeridir. Darbeli transfer modunda da kullanılabilir. Paslanmazlarda yığılan metal donuk gri renkte gözüktür. Bu karışım düşük alaşımlı karbon çeliği elektrotlardan üstün mekanik özellikler beklendiğinde kullanılır [13].

%95 Argon+%5 Oksijen – genel amacı kalın karbon çeliği kesitlerinde yapılan uygulamalarda sprey veya darbeli transfer modunu sağlamaktır. Genellikle esas metalin kirletici faktörler ve pastan arındırılmış olması gerekir [13].

5.2.4 Üçlü koruyucu gaz karışımları

Üç parçalı koruyucu gaz karışımları karbon çelikleri, paslanmaz çelikler ve sınırlı nikel alaşımı uygulamalarında popüler olmaya devam etmektedir. Karbon çeliklerinde kısa devre transfer için argon ve karbondioksit koruyucu gaz karışımının üçüncü bileşeni olarak %40 helyum ilavesi daha geniş bir nüfuziyet profili sağlar. Karbon çeliği ve paslanmaz çelik esas metallerle yapılan kısa devre transfer uygulamalarında daha yüksek ısı iletkenlik sağlar. Geniş nüfuziyet profili ve artan esas metal kenar ergimesi yetersiz ergime eğilimin azaltır [13].

Paslanmaz çelik uygulamalarında üçlü gaz karışımları epey yaygındır. Argon ve %2,5lik karbondioksit karışımlarına %55 ila %90 oranında helyum ilavesi kısa devre transfer modunda kullanılır. Bu gazlar, sıçramayı azaltmak, kaynak banyosunun akışkanlığını artırmak ve daha düz kaynak dikişi görüntüsü oluşturmak için tercih edilir [13].

Yaygın kullanılan üçlü gaz karışımları aşağıda verilmiştir.

% 90 Helyum + % 7,5 Argon + % 2,5 Karbondioksit – paslanmaz çelik uygulamaları için en popüler karışımdır. Helyumun yüksek ısı iletkenliği, düz dikiş şekli ve mükemmel ergime sağlar. Bu karışım, darbeli transfer modu uygulamaları için de uyarlanmıştır ancak paslanmaz ve nikel esaslı malzemelerin 1,6mm'den kalın uygulamaları ile sınırlıdır. Yüksek hız gerektiren paslanmaz çelik uygulamalarında kullanılır [13].

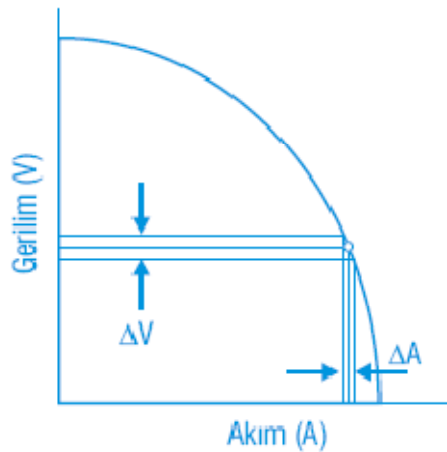
%55 Helyum + % 42,5 Argon + % 2,5 Karbondioksit – yukarıda değinilen %90 Helyum içeren karışımdan daha az popüler olmasına rağmen bu karışım darbeli transfer için sıcaklığı daha düşük bir ark sağlar. Paslanmaz ve nikel alaşımı uygulamalarında kısa devre transfer modu için de uygundur. Daha düşük helyum konsantrasyonu spray transferi ile de kullanılmasına olanak sağlar [13].

%38 Helyum + %65 Argon + %7 Karbondioksit – bu üçlü karışım kısa devre transfer ile yumuşak ve düşük alaşımlı çelik uygulamalarında kullanmak için uygundur. Aynı zamanda kök aralığı bulunan boru kaynaklarında da kullanılır. Yüksek ısıl iletkenlik nüfuziyet profilini genişletirken soğuk yapışma eğilimini de azaltır [13].

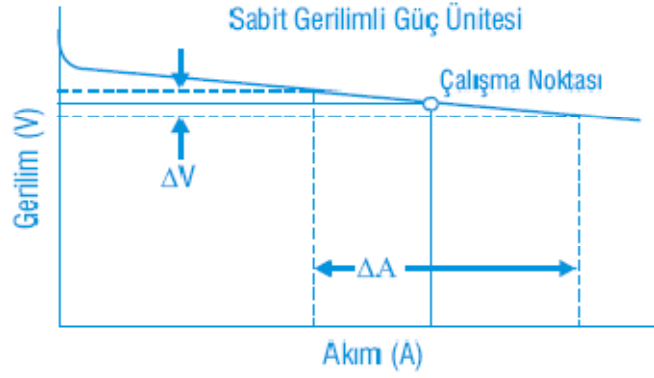
%90 Argon + %8 Karbondioksit + % 2 Oksijen – bu üçlü gaz karışımı karbon çeliği uygulamalarında kısa devre transfer, spray transfer ve darbeli transfer modları için kullanılır. Bileşiminde yüksek oranda soy gaz içermesi sıçramayı azaltır [13].

5.3 Güç Membai ve Ark Boyu

Güç kaynaklarının davranışı belirli bir kaynak işleminin ark performansını optimize etmek üzere tasarlanmıştır. MIG/MAG kaynağında bu davranış iki ana kategoriye ayrılır. Bunlardan birincisi sabit akım diğeri sabit voltajdır. Sabit akım tipi kaynak makineleri akımı ayarlar. Aynı zamanda değişken voltajlı kaynak makineleri olarak da anılırlar. Sabit voltaj tipi kaynak makineleri voltajı ayarlarlar. Sabit potansiyel kaynak makineleri olarak da anılırlar. Oldukça düz bir volt-amper çıkış karakteristiği sağlarlar. Her iki terim de güç kaynağının volt-amper davranışını belirler, her iki durumda da volt-amper ilişkisi çıktının eğimini belirler. Aşağıdaki şekillerde sabit akım ve sabit voltaj çıktı eğrileri verilmiştir [13,14].



Şekil 5.5: Sabit Akım Güç Kaynağı Çalışma Davranışı [16]

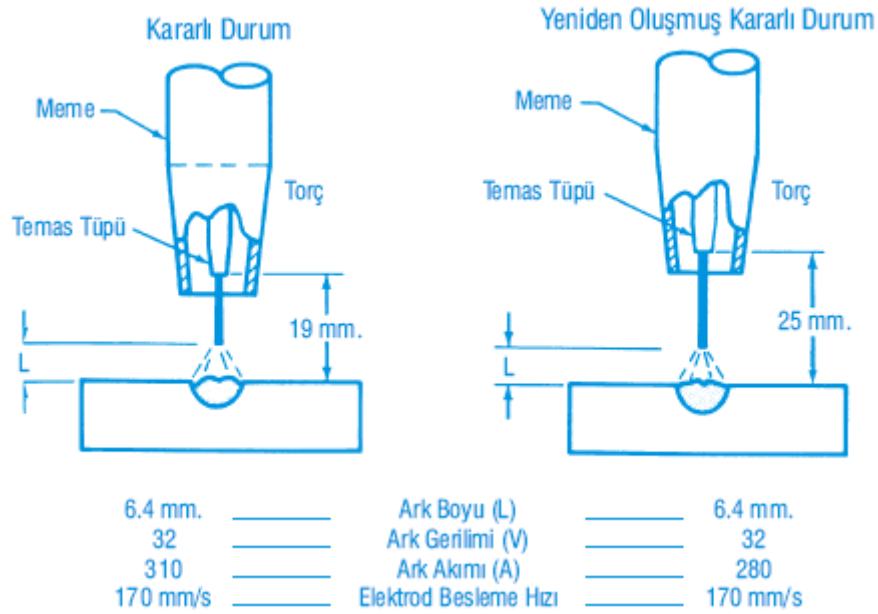


Şekil 5.6: Sabit Voltaj Güç Kaynağı Çalışma Davranışı [16]

Bahsi geçen sabit akım güç kaynakları MIG/MAG kaynağının ilk dönemlerinde bugüne göre daha çok kullanılmasına rağmen, alüminyumun kaynağında kullanımına halen rastlanmaktadır. Bu model sarkık bir eğriye sahiptir, Şekil 5.5. Sabit akımda kontak memenin iş parçasına olan mesafesi ark boyunu belirler. Kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe artarsa ark boyu artar. Kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe azalırsa ark boyu azalır. Bu durum yarı otomatik kaynak için problem teşkil eder çünkü kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafeyi sabit tutmak zordur. Bu problemin üstesinden gelebilmek için ark voltajı kontrollü ark uzunluğundaki değişiklikleri dengeleyen tel besleyici tasarlanmıştır. Bu senaryoda kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe azalırsa tel besleme hızı artar kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe azalırsa tel besleme hızı düşer [13].

Genellikle sabit akım uygulamaları geniş çaplı elektrotların kullanıldığı büyük kaynak banyolarının olduğu alüminyum ve karbon çeliği kaynakları ile sınırlanmıştır [13].

Sabit voltaj güç kaynağı tasarımları önceden seçilmiş bir tel besleme hızı için belirli ark voltajını sağlar. Volt- amper eğrisi ya da eğimi oldukça düzdür. Kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe artarsa bu tür güç kaynaklarında kaynak akımında bir düşüş olur. Kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe azalırsa kaynak akımında artış olur. Ark bu durumda seri devre haline gelir ve kontak meme ile iş parçası arasındaki mesafe arka direnç sağlar. Diğer senaryoda voltaj sabit kalır ve buna bağlı ark uzunluğu da sabit kalır. Aşağıda Şekil 5.7’de bu durum görülebilir [13].



Şekil 5.7: Sabit Voltaj Güç Kaynağı ile Ark Boyunun Korunması [16]

Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticinde ark boyu, elektrot ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir. Bu tür akım üreteçlerinde her ark gerilimi değeri için makine tarafından sabit olarak tutulan bir ark boyu var iken sabit akım karakteristikli makinelerde kaynakçı ark boyunu ayarlamak durumunda kalır. Bir uygulama için ark gerilimi, dolayısıyla ark boyu, koruyucu gaz, elektrot çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve esas metalin kalınlığı göz önüne alınarak belirlenir. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir [17,18].

Ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbirlerinin yerine kullanılan terimler olmasına rağmen farklı şeylerdir. Diğer bütün değişkenler sabit tutulduğunda, ark gerilimi doğrudan ark boyuna bağlıdır. Üzerinde durulan ve kontrol edilmesi gereken değişken ark boyu olmakla birlikte, ark geriliminin kontrol edilmesi çok daha kolaydır. Bu sebepten dolayı ve kaynak işlemlerinde ark geriliminin belirtilmesi doğal bir gereklilik olduğundan ark uzunluğunun ayarı, ark gerilimi kontrol edilerek yapılır. Uzun bir ark hem gözenekliliğe hem de aşırı sıçramaya neden olur, çok kısa ark ise elektrot ucunun kaynak banyosu ile kısa devre yapması sebebiyle kararsızlığa sebep olur [16].

6. MIG/MAG KAYNAĞINDA DAMLANIN ELEKTROTTAN KOPMASI

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında düşük ortalama akımda spre transfer ya da daha iyi kontrol edilen damla transferi elde edilir. Bu durum ince malzemelerde ve tüm pozisyonlarda küçük ve kontrolü kolay bir kaynak banyosu sağlar. Arkın içinden geçerek kaynak banyosuna katılan erimiş metal damlalarının dolgu metalinden kopması, metal transfer davranışı olarak adlandırılır. Damla kopma davranışı, erimiş damlanın boyutu ile kopmanın gerçekleştiği süre ile ve darbe başına damla kopma sayısı ile tanımlanır [7].

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında, darbe parametrelerine bağlı olarak tekli veya çoklu damla kopması olabilir. Eğer tek bir damla kopması oluşuyorsa bu pik akım sırasında ya da temel akım sırasında gerçekleşir, eğer çoklu damla kopması söz konusu ise bu pik akımda gerçekleşir. Damla kopmasında görülen bu zamanlama farkı ark uzunluğunun uniformluğunu, damla kopmasında uniformluğu ve kaynak dikişi yüzeyindeki dalgalanmanın uniformluğunu, kaynak kalitesini ve kaynak dikişi geometrisini etkiler [7].

İyi bir spre transfer ve iyi kaynak kalitesi sağlamak için erimiş damla çapının dolgu metali çapına eşit olması gerektiği varsayılır [7].

6.1 MIG/MAG Kaynağında Damlanın Ayrılmasında Etkili Olan Kuvvetler

Fiziksel kuvvetleri ve kimyasal reaksiyonları ihtiva eden ark bölgesi çok fazla karmaşıklık içerir. Ark bileşenlerinin etkileşimi metal transferini ve bitmiş kaynağın kalitesini etkiler. Dolgu metalinin çapı ve tipi, kaynak yapılacak malzemenin temizliği, koruyucu gaz, voltaj ve akım gibi kaynak parametreleri, yer çekimi kuvveti, yüzey gerilimi kuvveti, tepki kuvvetleri ve elektromanyetik kuvvet gibi fiziksel kuvvetlerin etkileşimi ark davranışında söz sahibidir. Metal transfer modunun karakteri, nüfuziyet profili ve kaynak dikişinin geometrisi elektrot ucundan iş parçasına doğru hareket eden metale uygulanan kuvvetler tarafından etkilenir [13].

Statik kuvvet denge teorisi ve büzme kararsızlık teorisi metal transferini modelleme ve analizini yapmada temeli oluşturmuştur. Statik kuvvet denge teorisi aşağı doğru olan net kuvvetin damlayı orada tutan kuvvetleri aştığında damlanın koptuğunu varsayar. Büzme kararsızlık teorisi ise silindirik sıvı bir kolonun düzensizliği üstüne kurulmuştur. Ancak daha sonra bu iki teori üzerine geliştirilen hiçbir yaklaşım deneysel gözlemleri tam olarak açıklayamamışlardır [5].

6.1.1 Elektromanyetik kuvvet

Bir iletkenin akım aktığı zaman bir manyetik alan oluşur ve iletkeni sarar. MIG/MAG kaynağında uygulanan akımın karesi ile doğru orantılı olan elektromanyetik kuvvetler metal transfer modunu etkiler. Elektromanyetik kuvvet ile ilgili en önemli terim büzme etkisidir. Erimiş damlanın oluştuktan sonra, anot durumundaki elektrotun ucunda, elektromanyetik kuvvet tarafından sıkıştırılır. Transfer edilen damlanın boyutu bu kuvvete, uygulanan kaynak akımına ve koruyucu gaza bağlıdır [13].

Asılı duran damla büzüldükten sonra ark tarafından çevrelenerek düşer. Büzülme anından sonra da akımın yarattığı elektromanyetik kuvvetin damla üstüne uygulanabilmesi için akım pik değerinde tutulmalıdır. Eğer akım büzülme anından hemen sonra düşürülürse elektromanyetik büzme kuvveti de düşer ve asılı duran damlanın transferi gerçekleşmez [8].

6.1.2 Yüzey gerilimi kuvveti

Yüzey gerilimi kuvvetleri erimiş damla yüzeyine dik olan kuvvetlerdir. Bu kuvvetler hem damlanın iç yüzeyinde hem de dış yüzeyinde etkindirler. Bunlar beraber bir şekilde erimiş damlanın şeklini korumasını destekleyecek yönde iş görürler. Bu kuvvetler sürekli olarak içe doğru çekecek şekilde yüzeye etki ederler [13].

Koruyucu gazın kaynak uygulamalarında yüzey gerilimi kuvvetleri üstünde etkisi vardır. Ark içindeki enerji seviyesi yüksek ise, işlem %100 argon koruması altında karbon çeliği elektrot ile yapılıyorsa, kaynak dikişi şekli aşırı konveks yani bombeli olur. Eğer karbondioksit veya oksijen katkısı nedeniyle yüzey gerilimi düşükse dikiş şeklinin konveksliği azalır ve daha kabul edilebilir bir görüntü oluşur. Dolayısıyla aktif gaz katılması dikiş geometrisi açısından ve genel ark performansı açısından karbon çeliği elektrotlarda faydalıdır [13].

6.1.3 Tepki kuvvetleri

Kısa devre transfer modu ile metal transferinde çevrimin kısa devre anında yükselen akım elektrotun erime noktasına kadar ısınmasına neden olur. Yüksek akım elektromanyetik kuvvette bir artışı beraberinde getirir, bu da erimiş metalin elektrodan kopmasına sebep olur. Damla kaynak banyosu ile buluştuğunda yüzey gerilimi kuvvetlerinin etkisi sona erer ve erimiş damla serbest kalır, kaynak banyosuna dahil olur [13].

Küresel transfer modunda büyük bir erimiş damla oluşur. Yüzey gerilimi kuvvetleri damlanın oluşumunu desteklerken tepki kuvvetleri de büyük damlayı karşı yönde iter. Tepki kuvvetleri büyük damlanın arkın içinde düzensiz şekilde desteklenmesi, savrulması ve itilmesinden sorumludur. Transfer büyük damlanın nadiren kısa devre yapması ile yer çekimi kuvveti etkisi altında gerçekleşir. Damla erimiş kaynak banyosu ya da iş parçası ile temas ettiğinde yüzey gerilimi kuvvetlerinin etkisi ortadan kalkar ve erimiş kaynak metalinin hacmi kaynak banyosuna katılır [13].

6.2 Damla Kopma Mekanizmaları ve Parametrelerin Etkileri

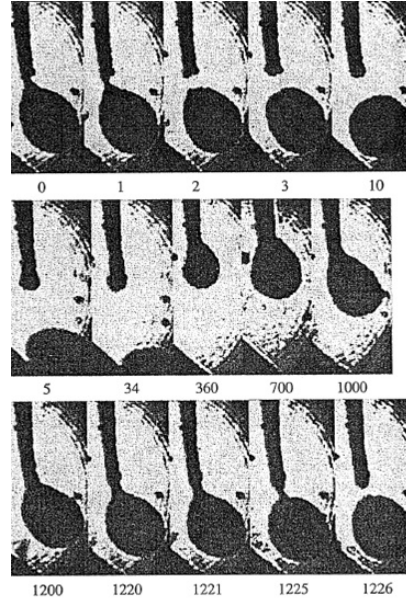
Damla kopma mekanizmalarını üç ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlardan birincisi her darbede birden fazla damlanın koptuğu durumdur. Tablo 6.1'den de anlaşılacağı gibi bu durum pik akım süresi çok uzun olduğunda, temel akım çok yüksek olduğunda ve temel akım süresi çok uzun olduğunda görülür [5].

Tablo 6.1: Farklı Darbe Parametrelerinde Görülen Damla Kopma Mekanizmaları

Deney No	I _p	I _b	D	F	W	Transfer
-	[A]	[A]	[%]	[Hz]	[in./mm]	-
1	400	150	10	50	262	Bir darbeye birden çok damla
2	400	150	40	400	416	Bir darbeye bir damla
3	325	50	10	225	130	Bir darbeye birden az damla
4	325	150	10	50	252	Bir darbeye birden çok damla
5	400	50	25	400	240	Bir darbeye birden az damla
6	250	100	10	50	198	Bir darbeye birden çok damla
7	400	50	10	50	155	Bir darbeye birden çok damla
8	400	50	40	400	315	Bir darbeye birden çok damla
9	325	50	25	50	205	Bir darbeye birden çok damla
10	400	100	10	400	198	Bir darbeye birden çok damla
11	400	100	40	50	345	Bir darbeye birden çok damla
12	250	150	10	400	255	Bir darbeye birden az damla
13	250	50	10	400	135	Bir darbeye birden az damla
14	250	150	40	50	328	Bir darbeye birden çok damla
15	250	100	40	400	295	Bir darbeye bir damla
16	250	150	25	225	304	Bir darbeye bir damla
17	250	50	40	50	220	Bir darbeye birden çok damla
18	320	55	40	150	190	Bir darbeye bir damla
19	400	70	25	400	165	Bir darbeye bir damla

Her darbeye birden fazla damlanın koptuğu durumda darbe başlangıcından ilk damla kopana kadar geçen süre damla kopma süresi olarak adlandırılır. Yapılan deneylerde osiloskop üzerinden voltaj değişiminin okunması ile belirlenir. Bunun belirlenmesinden sonra uniform damla kopması elde edebilmek için uygun dalga şekli seçilir ve kaliteli bir kaynak elde edebilmek için buna karşılık gelen darbe parametreleri belirlenir [7].

İkinci mekanizma kopma için birden çok darbenin gerektiği kopma türüdür. Bu transfer moduna darbeli küresel transfer adı da verilir. Bu transfer şekli darbe frekansı yüksek olduğu zaman ve temel akım düşük olduğu zaman görülür. Bu durumda, darbe süresi çok kısa olur ve her darbeye bir damla koparmaya yetecek enerji olmaz. Her darbe çevriminde damla büyümesini sürdürür ve yüzey gerilme kuvveti transferi engelleyen baskın kuvvet olur. Sonunda, statik kuvvet dengesi kontrolü ile metal transferi durumunu gösteren Şekil 6.1’de olduğu gibi büyük bir kürecik esas olarak kendi ağırlığından dolayı kopar. Bu örnek aynı zamanda her darbeye bir damla kopması için pik akım süresinin belli bir değerden aşağıda olmaması gerektiğini gösterir. Şekil 6.1’deki durum için minimum pik süresi 0,6 ms dir, Şekil 6.1 Tablo 6.2’deki 13 numaralı deneyin görüntüsüdür [5].



Şekil 6.1: Darbeli Küresel Transfer Modunda Damla Geçiş

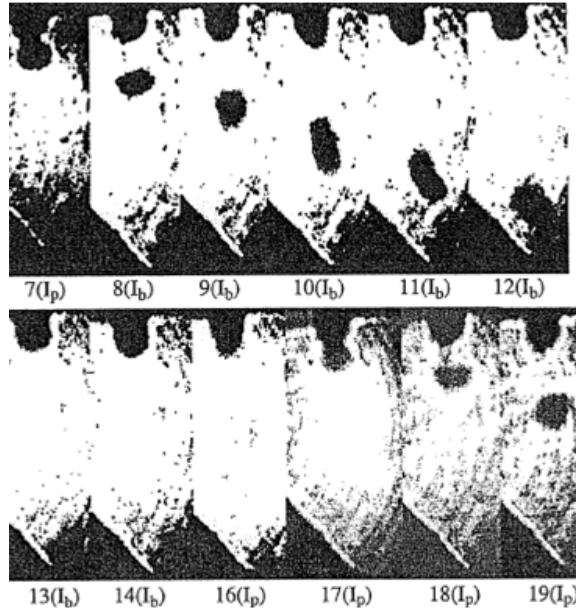
Tablo 6.2: Darbeli Küresel Transfer Gözlenen Darbe Parametreleri

Deney No	I_p	I_b	D	F	W	T_p	T_b
-	[A]	[A]	[%]	[Hz]	[in./mm]	[ms]	[ms]
3	325	50	10	225	130	0,4	4
13	250	50	10	400	135	0,25	2,25

Tüm tel besleme hızlarında spreyl tipi metal transferinin elde edilmesi istenen bir durumdur. Buna ilave olarak verilmiş bir tel besleme hızı için I_p ve T_p her darbeye en azından bir damla kopacak şekilde ayarlanmalıdır. Eğer I_p ve T_p kombinasyonu

yeterli enerjiyi sağlayamazsa her darbede bir damla kopamaz ve kaynak işlemi düzensiz hale gelir. Buna damla kopma kriteri adı verilir [7].

Üçüncü mekanizma her darbede bir damlanın koptuğu durumdur. Daha önceden de değinildiği gibi darbeli akımla MIG/MAG kaynağında istenilen her darbede bir damla transfer modunu sağlayan darbe parametrelerinin saptanmasıdır. $I_p^a T_p = \text{sabit}$ şeklindeki bazı deneye dayalı (ampirik) ilişkilerin sadece düşük temel akımlarda kullanılabileceği çünkü bu ilişkilerin tespit edildiği çalışmaların temel akım fazında erime olmadığını varsaydıkları belirtilmişti. Basit üstel modeller her darbede bir damla koşulunu tanımlamak için yetersizdir. Bu transfer modu aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Transfer modu darbeli spreysdir, damla çapı yaklaşık olarak tel çapına eşittir, elektrot ucunda çok az veya yok denecek mertebede sivrilme söz konusudur [5].



Şekil 6.2: Her Darbede Bir Damla Rejimi

Her darbede bir damla rejimi için kullanılabilecek genel formül Denklem (4.3)'te verilmiştir. Her darbede bir damla rejiminin genellikle darbeli akımla MIG/MAG kaynağı için ideal olduğu düşünülse de bazı çalışmalarda her darbede birden fazla damla transfer edildiğinde de iyi kalitede kaynaklar yapıldığı görülmüştür. Her darbede bir damla rejimi için gerekli olandan daha yüksek pik akım ve pik akım süresinin kullanıldığı çalışmalarda iyi kaynak kalitesine ulaşıldığı görülmüştür [6].

Tel besleme hızı arttığında damla üstüne etkiyen elektromanyetik kuvvet arttığı için damla kopma zamanı azalır, bunun da temel sebebi akımdaki artıştır. Sonuç olarak

damla kopma frekansı yüksektir. Yüksek tel besleme hızlarında yine elektromanyetik kuvvet dolayısı ile damla boyutları küçülmüş olur ve uniform bir damla kopması görülür. Ancak tel besleme hızı belli bir sınır değerin ötesine geçtiğinde damla kopmasındaki kontrol eksikliğinden dolayı kaynak kusurları görülebilir. Uniform ark boyu uniform damla kopması sağlar [4].

Darbe frekansı arttığında damla boyutu minimum bir değere ulaşana kadar azalır. Bu değer pik akımda kopma kuvvetlerinin yüzey gerilimi kuvvetleri değerlerine eşit olduğu denge damla boyutuna karşılık gelir. Elektrot ucu, temel akım ve/veya pik akım oranı arttığında sivrileşir, damla boyutu sivrileşme derecesine bağlı olarak azalır [9].

Çeşitli damla kopma koşulları için farklı pik enerjiler tanımlanabilir. Temel akım uygulandığı sırada damla kopmasının gerçekleşmesi için gerekli pik enerjisi diğer kopma tiplerine göre daha düşüktür. Bunun sebebi en yüksek I_p en düşük T_p kombinasyonunun temel akım kopmaları için kullanılmasıdır. Dolayısıyla pik enerjisi düşük olur. Düşük enerji ile çalışılmak istenilen durumlarda bu tip tercih edilebilir [7].

Her darbede bir damla rejimi sağlandığında kaynak dikişinin yüzeyi her darbede iki damla kopması, her darbede üç damla kopması ya da temel akımda elde edilen kopmaya göre daha düzgün olur [7].

Darbeli MIG kaynağında darbe parametrelerinin bağımsız olarak değiştirilmesi ile damla oluşumu ve kopma kontrol edilebilir. Farklı kaynak durumları için damla parametreleri damla transfer modunu, ısı girdisini, damla boyutu ya da damla hızını kontrol etme amaçlı ayarlanabilir [5].

7. DENEYLER

7.1 Donanım ve Deneyin Yapılışı

Darbe parametrelerinin damla kopmasında en etkili olan pik akım genliğinin dikiş geometrisi üzerindeki etkisinin tespiti için bir Kemppi Pro Evolution 5200 kaynak makinesi kullanılmıştır. Bu kaynak makinesi sinerjik bir kaynak makinesidir ve daha önceki bölümlerde sıkça bahsi geçen ideal damla kopma mekanizması olan her darbeye bir damla mekanizmasının sağlanması için kullanıcının değiştirdiği parametrelere göre, diğer parametreler için en uygun ayarı kendisi belirlemektedir.

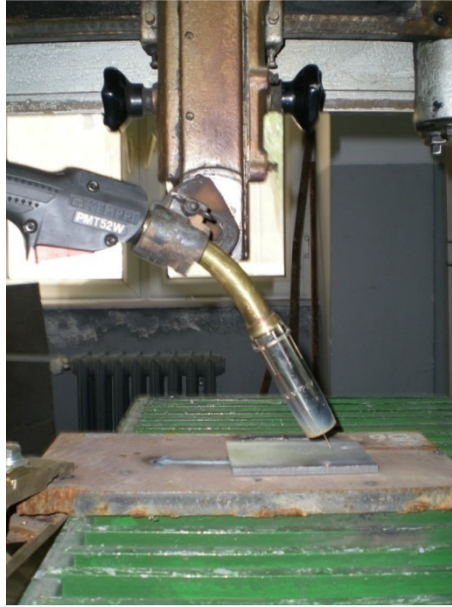
Makinenin kontrol paneline kaynaklanacak malzeme tipi, malzeme kalınlığı, elektrot çapı, seçilen koruyucu gaz, tel besleme hızı, serbest elektrot boyu, pik akım genliği gibi parametrelerin değerlerinin girilmesi ile makine önceden belirlenen en uygun program ile kaynak yapmaktadır. Kaynak sonrası, kaynak işlemi süresince oluşan ortalama akım ve gerilim değerleri panelden okunabilmektedir.



Şekil 7.1: Kontrol Paneli

Tablo 7.1: Kemppi Pro Evolution 5200 Kaynak Makinesinin Özellikleri

Bağlantı Voltajı	
3~50/60 Hz	400 V -%15... +%20
Yükleme Kapasitesi	
80%	520A / 26,6 kVA
100%	440A / 20,0 kVA
Kaynak Akımı Aralığı	
MMA	10A...520A
TIG	5A...520A
MIG	12V...42V
Maks. Kaynak Voltajı	50V / 500A
Nominal Değerlerde Verim	%85
Nominal Değerlerde Güç Faktörü	0,93
İşlem Sıcaklığı Aralığı	-20...+40 °C



Şekil 7.2: Torcun İlerleme Tertibatına Bağlanması

Kaynak makinesi fabrika ayar değerinin %10 eksiği ile %15 fazlası değerler arasında değişen pik akımlarında kaynak yapma imkânı tanımaktadır ve %1 oranında değişimlere izin vermektedir. Pik akımın değişiminin kaynak dikişi geometrisine etkisinin incelenmesi için 26 farklı pik akım değerinde kaynak yapılma imkanı vardır.

Bahsedilen etkinin incelenebilmesi için 1020 çeliğinden 5 mm kalınlığında, 100 mm boyunda ve 60 mm genişliğinde numuneler hazırlanmıştır. Elektrot ve dolgu metali olarak 1,0 mm çapında SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak %93 Argon + %5 Karbondioksit + % 2 Oksijen karışımı kullanılmıştır. Oluşan kaynak dikişi profilinin sorunsuz incelenebilmesi için parça kalınlığı, beklenen nüfuziyet değerine göre yüksek tutulmuştur. Bu sayede kaynak işlemi sırasında parçanın delinmesi ve kesilmesi ihtimalinin önüne geçilmiştir.

Torç, sabit hızla doğrusal olarak ilerleyebilen tertibata bağlanmış, deneyler bu şekilde yapılmıştır. Her bir parçaya aynı parametrelerle iki kaynak yapılmıştır. İkinci kaynak yapılmadan önce parçanın tamamen soğuması beklenmiştir. Böylece ilk yapılan kaynak işleminin parçayı ısıtmasının, ikinci kaynak işlemi için ön tavlama etkisi yaratmasının önüne geçilmiş ve dikiş geometrisinin bundan etkilenmesi engellenmiştir.

Pik akımın değişiminin, sinerjik kontrollü bir makinede kaynak dikişi geometrisine etkisinin incelenmesi için toplam yirmi altı adet kaynak yapılmıştır. Her numunede pik akımı %1 oranında değiştirilmiş, darbe parametreleri dışındaki diğer kaynak parametreleri sabit tutulmuştur. Pik akım değişimine bağlı olarak diğer darbe parametreleri sinerjik kaynak makinesi tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır. Tel besleme hızı 4 m/dak, ilerleme hızı 0,225 m/dak olarak belirlenmiştir. Serbest tel boyu da makinenin ikinci kademesinde sabit tutulmuştur. Bunun sonucunda elde edilen ortalama akım ve gerilim değerleri Tablo 8.1’de verilmektedir. Farklı pik akım değerlerinde yürütülen deneylerin bulunduğu bu grup A grubu deneyler olarak adlandırılmıştır.

B grubu deneylerde ise, farklı damla büyüklüklerinin dikiş geometrisine etkisi basitçe üç farklı değerde kaynak dikişi ile ortaya konmuştur. Bunların elde edilmesi için, sinerjik makinenin farklı büyüklüklerde damla oluşturulabilmesi için önceden belirlenmiş programları kullanılmıştır. Darbe parametrelerinin farklı kombinasyonlarında, farklı damla büyüklüklerinin elde edilebileceğinden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Burada kaynak makinesinin bu özelliğinden faydalanılmıştır.

C ve D grubu deneylerde ise sırasıyla tel besleme hızı değişimi ve serbest tel boyu değişiminin dikiş geometrisine etkisi incelenmiştir. Her grupta üçer adet farklı

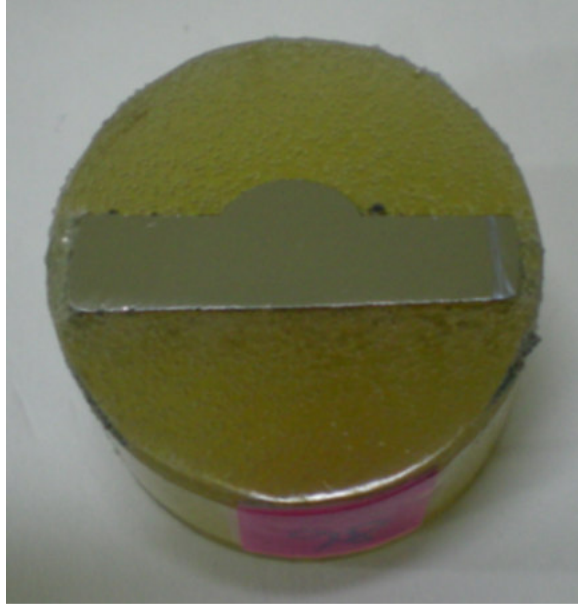
değerde deney yapılmıştır. Tel besleme hızı ile serbest tel boyundaki değişimlerin dikiş yüksekliğine, dikiş genişliğine ve nüfuziyete olan etkisi basitçe ortaya konmuştur.

7.2 Dikiş geometrilerinin belirlenmesi

Kaynaklı numunelerden metalografik inceleme için uygun kesitler alınmıştır. Metalografik inceleme öncesi tüm numuneler, Metkon Forcipol 2V metalografik taşlama ve parlatma cihazında, Forcimat otomatik kafa ile zımparalanmış ve parlatılmıştır.



Şekil 7.3: Zımparalama ve Parlatma Tezgahı



Şekil 7.4: Zımparalanan Numune Örneği

Daha sonra dağlanan numunelerin dikiş geometrileri Nikon SMZ800 stereo mikroskopta incelenmiş, dikiş yüksekliği, dikiş genişliği ve nüfuziyet değerleri ölçülmüştür. Bu değerler bir sonraki bölümde tablolar halinde verilmiştir.

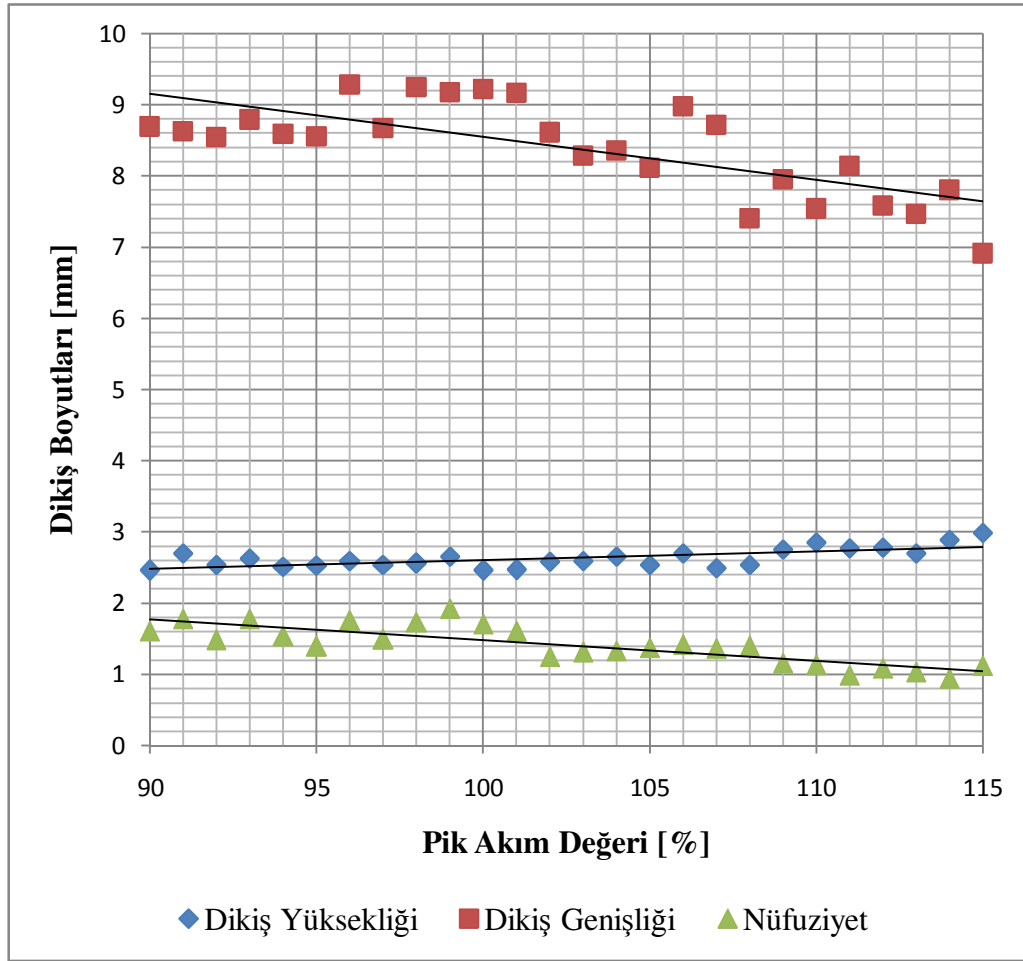


Şekil 7.5: Stereo Mikroskop

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Darbeli akımla MIG/MAG kaynağında, akımın pik değerde kaldığı süre içerisinde, erimiş damla koparak elektrottan kaynak banyosuna geçer. Dolayısı ile bu damla geçişini pik akım değeri ve pik akım süresi parametrelerinin etkileri beraber belirlerler. Bölüm 4'te de bahsedildiği gibi diğer parametrelerin sabit tutulması halinde pik akım değerinin artması ortalama akım ve nüfuziyeti artırır. Elektrotun ucundan bir damla koparmaya yetecek pik akım genliği ve pik akım süresi ikilisi arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Bu ilişki üzerine çalışma prensibi kurulmuş olan sinerjik kaynak makinelerinde pik akım genliği arttığında, her darbede bir damla rejimi elde edebilmek için pik akım süresinin azaltılması gerekir. Çünkü pik akım değeri arttıkça damla oluşumu hızlanır ve süre azaltılmaz ise bir darbede birden fazla damla kopması veya hem pik hem de temel akımda düzensiz şekilde damla kopması görülebilir.

Tek bir akım darbesi ve bunun damla kopmasındaki iki etkeni, pik akım genliği ve süresi dikkate alındığında, yüksek pik akım değerinde tek bir damla koparmak için sürenin akım artışına oranla çok daha fazla kısaldığı, buna karşın kopan damlanın boyutunun azaldığı bilinmektedir. Pik akımın artışına oranla sürenin çok daha fazla kısılması gerektiğinden pik akım arttırıldığında sinerjik etki dolayısıyla ortalama akım azalır. A grubu deneylerin sonuçlarını veren Tablo 8.1 ve Şekil 8.1'de bu durum açıkça görülmektedir. Bu durumda daha düşük akımla aynı miktarda elektrot yığılmış olur, parçaya geçen ısı azalır, dolayısı ile nüfuziyet değeri azalırken daha yüksek bir dikiş profili ortaya çıkar. Pik akım artışına bağlı olarak ortalama akım düştüğü için büzülmüş bir ark oluşması ve sulanmanın da azalması ile dikiş genişliğinde de azalma gözlenmiştir. Ortaya çıkan nüfuziyet, dikiş yüksekliği ve dikiş genişliği değerleri Tablo 8.2'de verilmiştir.



Şekil 8.1: Pik Akım Değişiminin Dikiş Geometrisine Etkisi

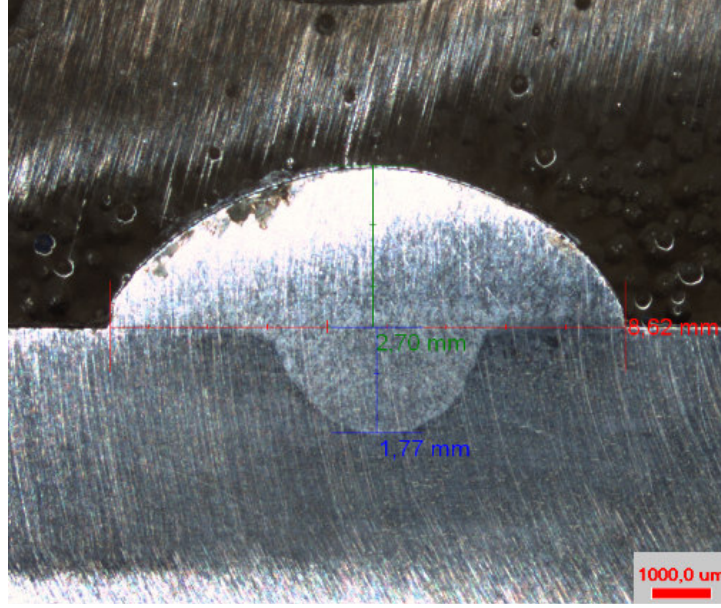
Tablo 4.1'e uygun olarak elde edilen tüm ortalama akım değerleri, darbeli akım geçiş akımı değeri doğru akımın geçiş akımı değerinden daha yüksek olmasına rağmen, çeliğin spray transfer geçiş akımı için gerekli olan akımdan daha düşüktür. Buradan darbeli akımla MIG/MAG kaynağında konvansiyonel metoda göre daha düşük akım değerinde (ortalama akım) istenilen kaynağın elde edilebildiği ortaya konmuştur. Böylece ayarlar bakımından kullanıcı için zorluk yaratan darbeli MIG/MAG kaynağının bu zorluğu sinerjik makinelerle geride bırakılmış, üstelik ortalama akımın geçiş akımından düşük olması ile de karlılık sağlamıştır. Ortalama akımın geçiş akımının üstünde olduğu durumlarda yığma davranışının daha iyi olduğu da göz önüne alınmalıdır.

Tablo 8.1: Farklı Pik Akım Genliklerinde Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri

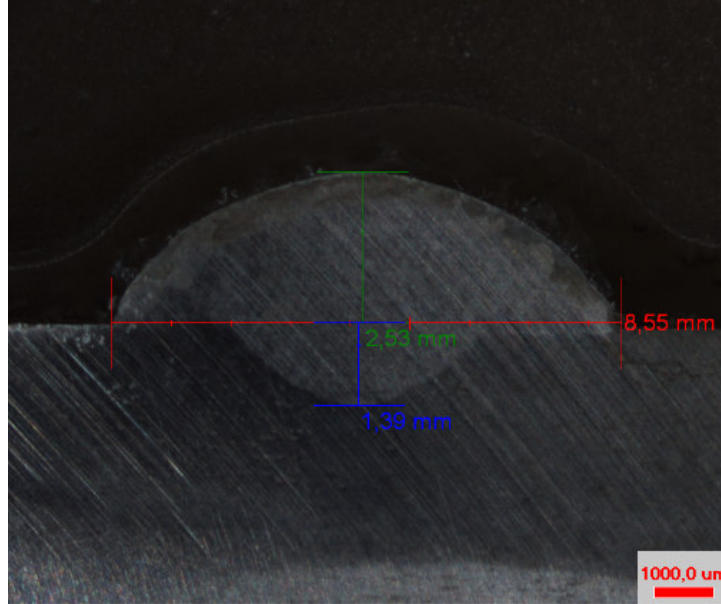
Numune No	Pik Akım	Ortalama Akım	Gerilim
-	[%]	[A]	[V]
A1	90	106	21,6
A2	91	108	21,5
A3	92	108	21,9
A4	93	109	21,6
A5	94	109	21,9
A6	95	106	23,0
A7	96	111	21,6
A8	97	109	22,6
A9	98	112	22,1
A10	99	112	21,8
A11	100	110	22,3
A12	101	111	22,2
A13	102	107	22,4
A14	103	105	22,9
A15	104	106	23,1
A16	105	108	22,5
A17	106	110	22,2
A18	107	106	23,0
A19	108	106	23,0
A20	109	106	23,4
A21	110	105	23,3
A22	111	105	23,3
A23	112	107	23,4
A24	113	106	23,6
A25	114	108	23,4
A26	115	100	23,8

Tablo 8.2: Farklı Pik Akım Genliklerinde Dikiş Boyutları

Numune No	Pik Akım	Dikiş Yüksekliği	Dikiş Genişliği	Nüfuziyet
-	[%]	[mm]	[mm]	[mm]
A1	90	2,46	8,69	1,60
A2	91	2,70	8,62	1,77
A3	92	2,54	8,54	1,48
A4	93	2,63	8,79	1,77
A5	94	2,51	8,59	1,53
A6	95	2,53	8,55	1,39
A7	96	2,59	9,28	1,75
A8	97	2,54	8,67	1,49
A9	98	2,56	9,24	1,73
A10	99	2,65	9,17	1,92
A11	100	2,46	9,22	1,70
A12	101	2,47	9,16	1,60
A13	102	2,58	8,61	1,24
A14	103	2,59	8,28	1,31
A15	104	2,65	8,35	1,32
A16	105	2,54	8,11	1,37
A17	106	2,70	8,97	1,41
A18	107	2,49	8,71	1,36
A19	108	2,54	7,40	1,39
A20	109	2,75	7,95	1,15
A21	110	2,85	7,54	1,13
A22	111	2,77	8,14	0,98
A23	112	2,78	7,58	1,08
A24	113	2,70	7,46	1,03
A25	114	2,89	7,80	0,94
A26	115	2,99	6,91	1,12



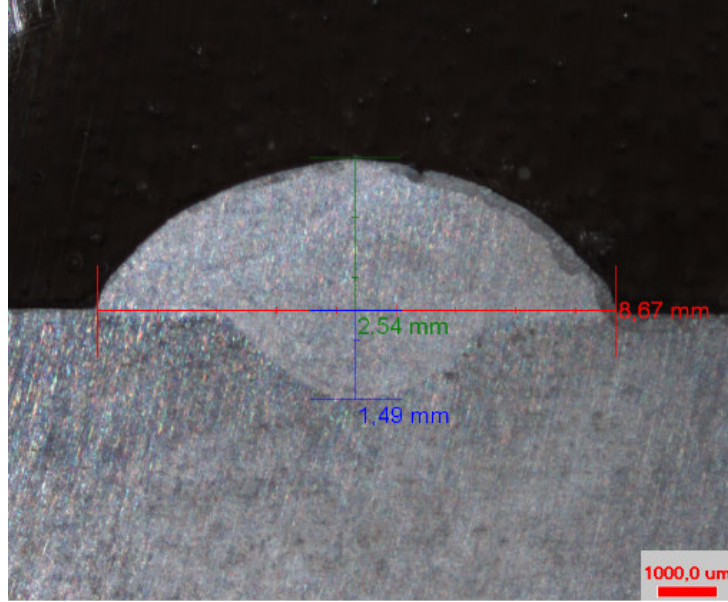
Şekil 8.2: A2 Numunesinin Dikiş Geometrisi



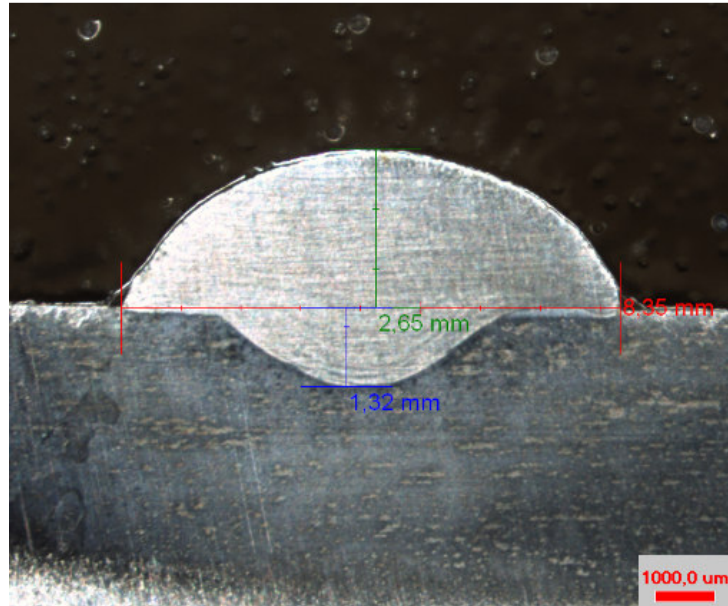
Şekil 8.3: A6 Numunesinin Dikiş Geometrisi

Düşük pik akım genliğindeki kaynak dikişlerinin örnekleri olan A2 ve A6 numunelerinin, kaynak makinesinin fabrika ayar değerine yakın pik akım değerinde kaynaklanmış numuneler olan A8 ve A15 numunelerinin dikiş geometrisine yakın olduğu, ancak yüksek genlikte pik akımla yapılan kaynak dikişlerinin örneği olan A23 v A26 numunelerinin geometrisinin bunlardan farklı olduğu Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4, Şekil 8.5, Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de açık bir şekilde ortaya konmuştur. Bu farklılık net bir biçimde Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de nüfuziyetin azalması, dikiş yüksekliğinin artması ve dikiş genişliğinin azalması olarak tanımlanabilir.

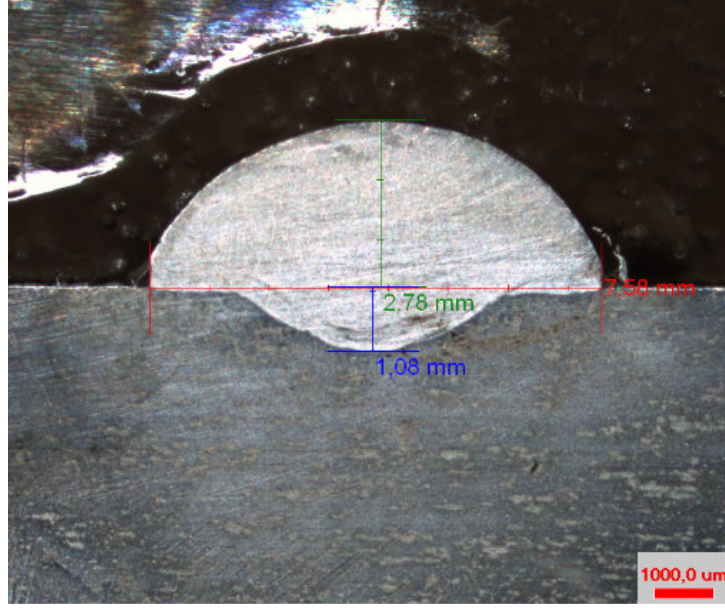
Amaç düşük akımla istenilen kaynak geometrisine ulaşmak olduğu için makinenin fabrika ayar değerinin, yüksek nüfuziyete ulaşılabilen en yüksek pik akım değeri olarak belirlendiği görülmektedir. Bu şekilde nüfuziyet değeri çok fazla azalmadan daha ekonomik bir çalışma sağlanmış olmaktadır. Bu durumu açıklayan pik akım ve pik akım süresi ilişkisi daha önce açıklanmıştır.



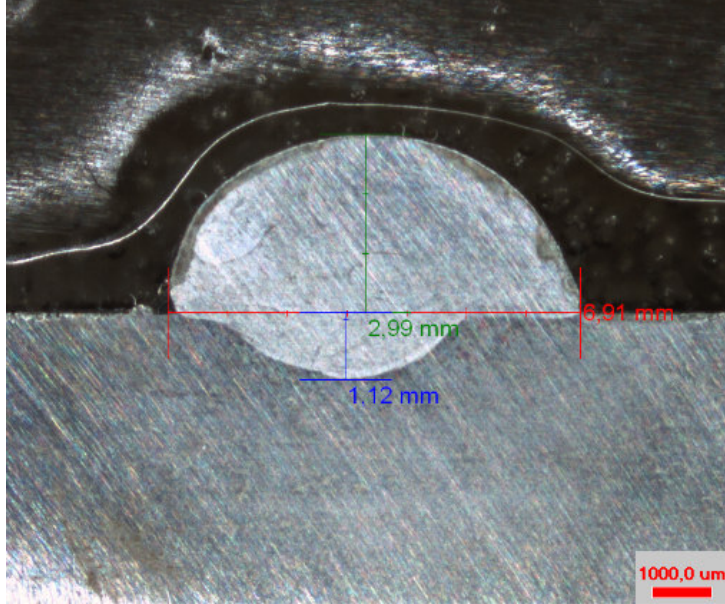
Şekil 8.4: A8 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.5: A15 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.6: A23 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.7: A26 Numunesinin Dikiş Geometrisi

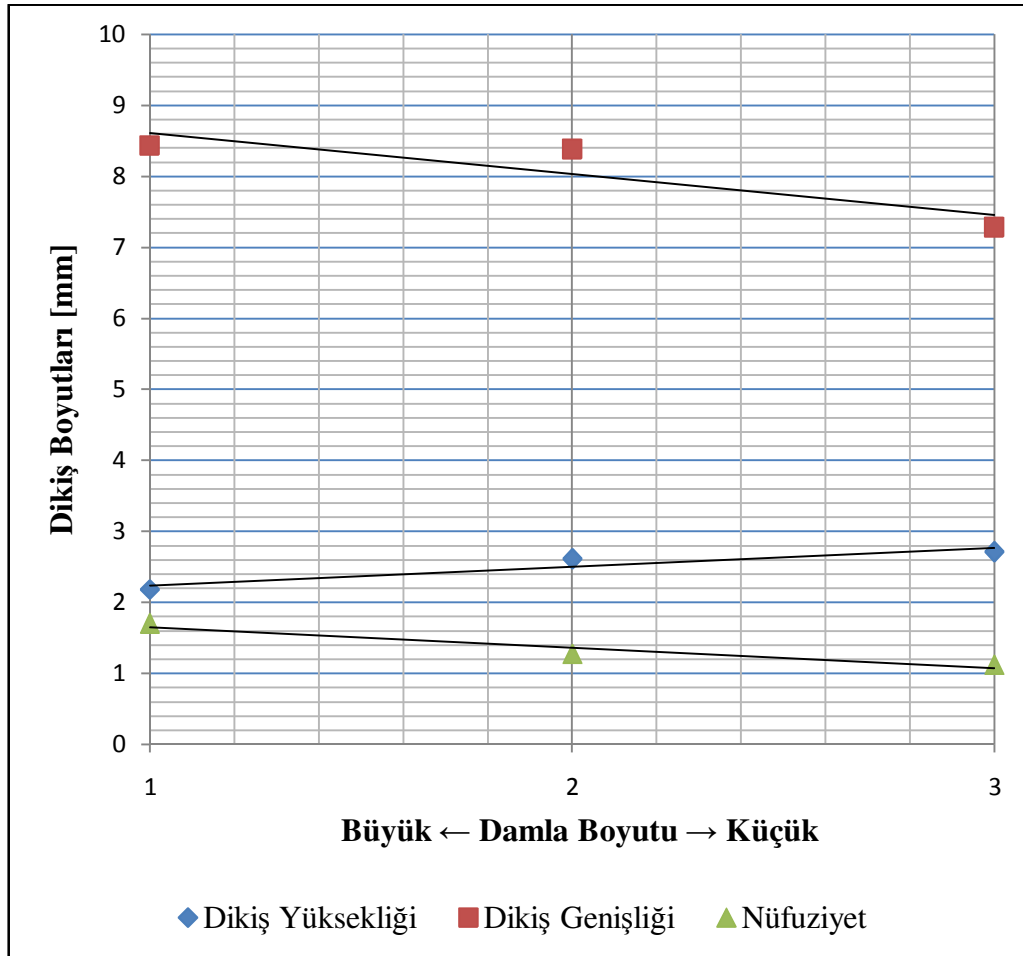
Düşük pik akımlarında dikiş yüksekliğinin nüfuziyete oranı 2'den küçük olmasına karşın yüksek pik akım değerlerinde bu oran 3'ün üstüne çıktığı görülmüştür. Yani esas metale iletilen enerji ve esas metalden kaynak banyosuna katılan erimiş metal miktarının azaldığı anlaşılmaktadır.

Tablo 8.3: Farklı Damla Boyutlarında Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri

Numune No	Ortalama Akım	Gerilim	Damla Boyutu
-	[A]	[V]	-
B1	103	23,4	Büyük
B2	107	22,7	Orta
B3	102	24,1	Küçük

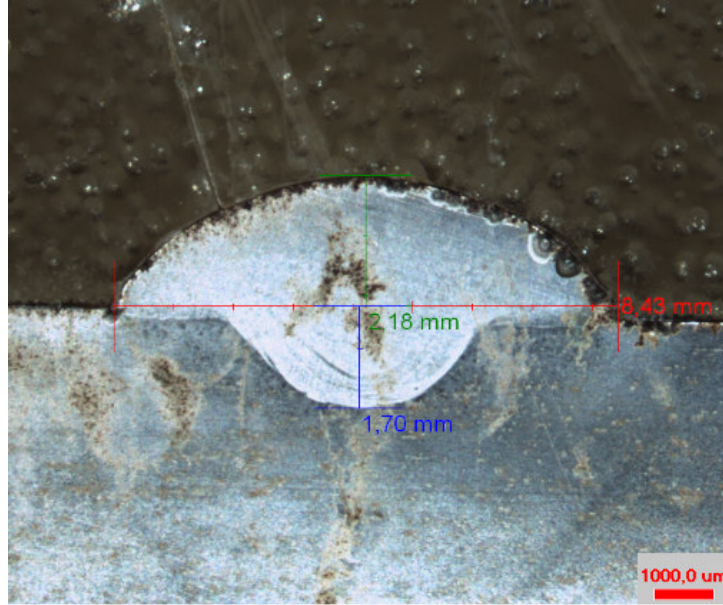
Tablo 8.4: Farklı Damla Boyutlarında Dikiş Boyutları

Numune No	Dikiş Yüksekliği	Dikiş Genişliği	Nüfuziyet
-	[mm]	[mm]	[mm]
B1	2,18	8,43	1,70
B2	2,61	8,38	1,27
B3	2,71	7,28	1,12

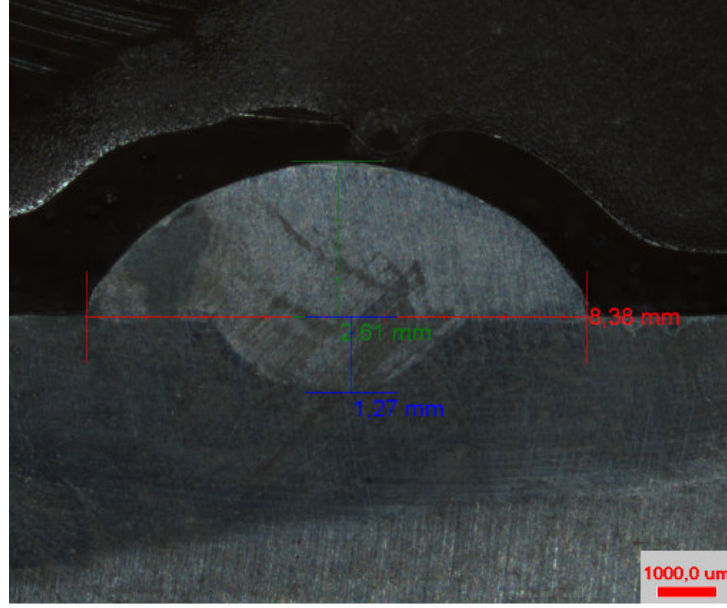
**Şekil 8.8:** Damla Boyutu Değişiminin Dikiş Geometrisine Etkisi

Tablo 8.3 ve Tablo 8.4'te sırası ile ortalama akım ve gerilim ile dikiş geometrisi üzerindeki etkileri verilmiştir. Şekil 8.8'de ise Tablo 8.4'ün grafik anlatımı verilmiştir.

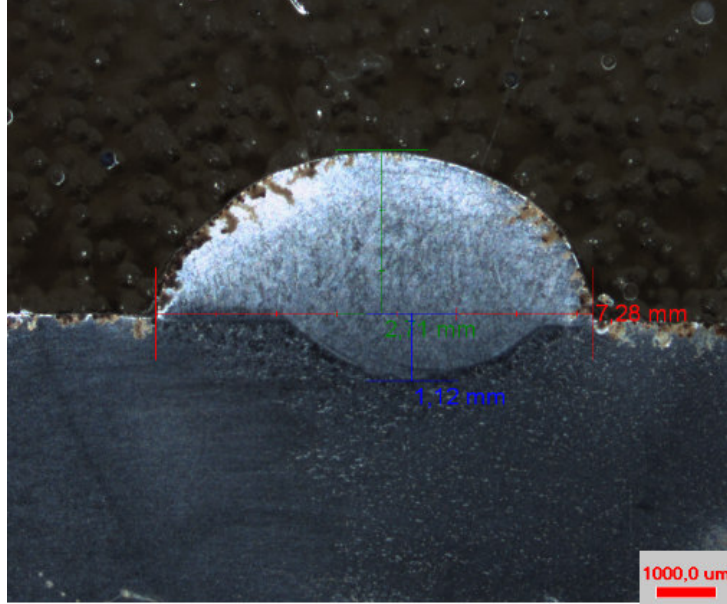
Damla boyutunu ayarlayan mekanizma yine pik akım ve pik akım süresi ikilisinin kombinasyonuna bağlı olduğu için B grubu deneylerde de A grubu deneylere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8.1 ve Şekil 8.8 benzer yönde değişimleri yansıtmaktadır. Bu durum iki deney grubunun birbirini doğrulaması şeklinde yorumlanabilir. Pik akım yükseldikçe damlanın hızlı oluşması, o nedenle her darbeye bir damla koşulunu sağlayabilmek için pik akım süresinin kısaltılması gerektiği ve oluşan damlanın boyutunun pik akım yükseldikçe küçüldüğü göz önüne alınırsa damla boyutunu belirleyen mekanizmanın dikiş geometrisi üzerindeki etkisi daha net açıklanmış olur.



Şekil 8.9: B1 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.10: B2 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.11: B3 Numunesinin Dikiş Geometrisi

C grubu deneylerde üç farklı tel besleme hızı değerinde kaynaklar yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar tel besleme hızı artıkça dikiş yüksekliği, dikiş genişliği ve nüfuziyetin arttığını ortaya koymuştur.

Tel besleme hızı dışındaki parametreler, konvansiyonel MIG/MAG kaynağında sabit tutulduğunda akımın tel besleme hızının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. C grubu deneyler ile bu ilişkinin darbeli akımla MIG/MAG kaynağında da değişmediği ortaya konmuştur. Diğer bütün parametreler sabit iken darbeli akımla MIG/MAG

kaynağında tel besleme hızı arttıkça ortalama akım artmaktadır. Ortalama akımın artması da birim zamanda daha fazla tel erimesi, iş parçasına daha fazla ısı iletilmesi dolayısı ile kaynak banyosuna hem esas metalden daha fazla katılım hem de dolgu metalinden daha fazla katılım sağlamakta ve dikişi tüm boyutlarda büyütmektedir.

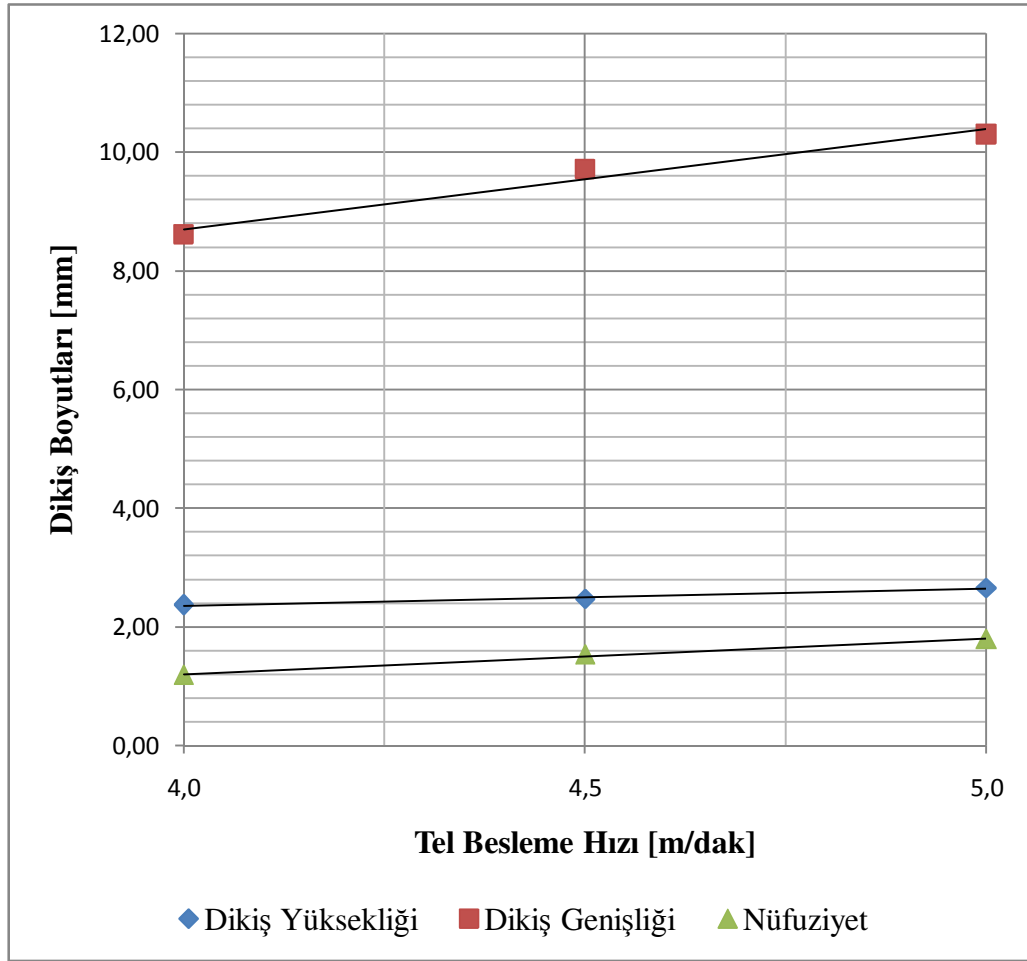
Tablo 8.5 ve Tablo 8.6, C grubu deneylerde ulaşılan sonuçları vermektedir. Şekil 8.12 ise Tablo 8.6'daki verileri grafiksel olarak yansıtmaktadır. Artan ortalama akımla birlikte sulanmanın da artması ile dikiş genişliğindeki artış, dikiş yüksekliğindeki artışa kıyasla daha fazla olmuştur. Nüfuziyetteki artış oranı ise hem dikiş genişliğinden hem de dikiş yüksekliğinden fazla olmuştur.

Tablo 8.5: Farklı Tel Besleme Hızlarında Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri

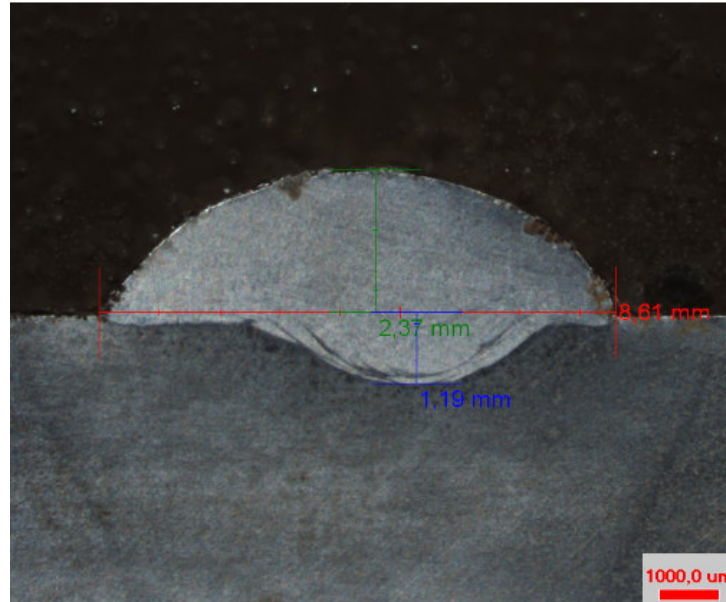
Numune No	Ortalama Akım	Gerilim	Tel Besleme Hızı
-	[A]	[V]	[m/dak]
C1	104	22,7	4,0
C2	118	23,3	4,5
C3	134	23,4	5,0

Tablo 8.6: Farklı Tel Besleme Hızlarında Dikiş Boyutları

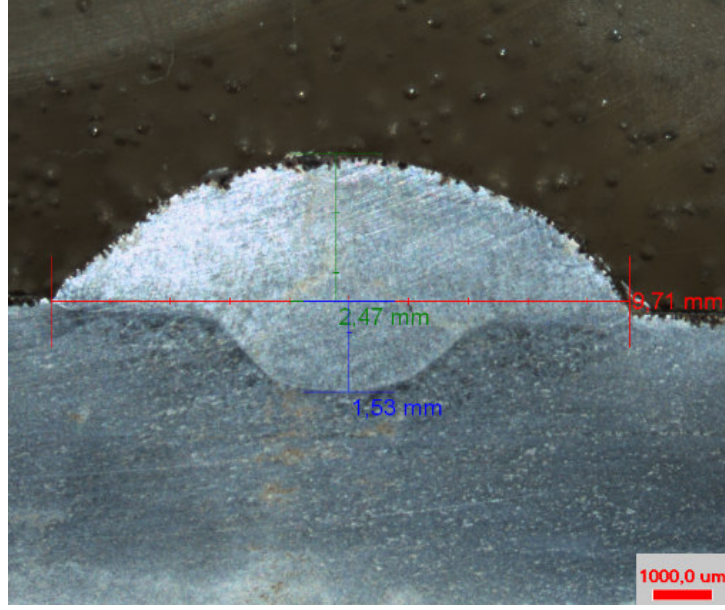
Numune No	Dikiş Yüksekliği	Dikiş Genişliği	Nüfuziyet
-	[mm]	[mm]	[mm]
C1	2,37	8,61	1,19
C2	2,47	9,71	1,53
C3	2,66	10,30	1,79



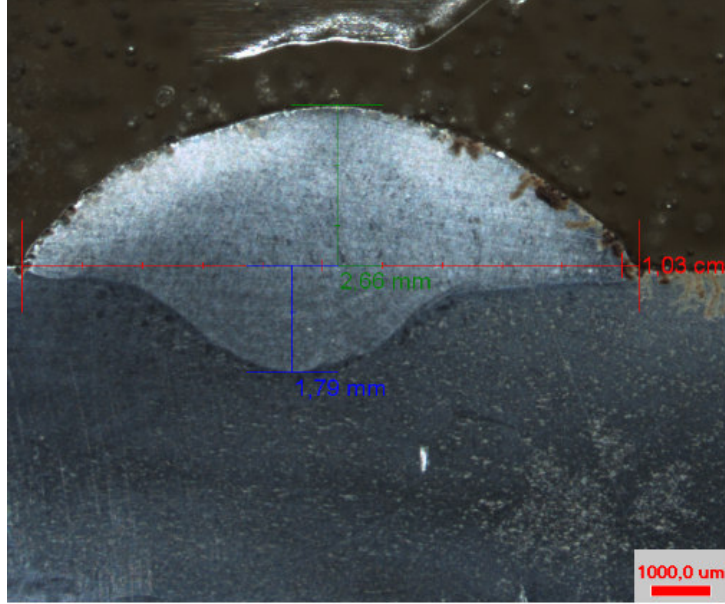
Şekil 8.12: Tel Besleme Hızı Değişiminin Dikiş Geometrisine Etkisi



Şekil 8.13: C1 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.14: C2 Numunesinin Dikiş Geometrisi



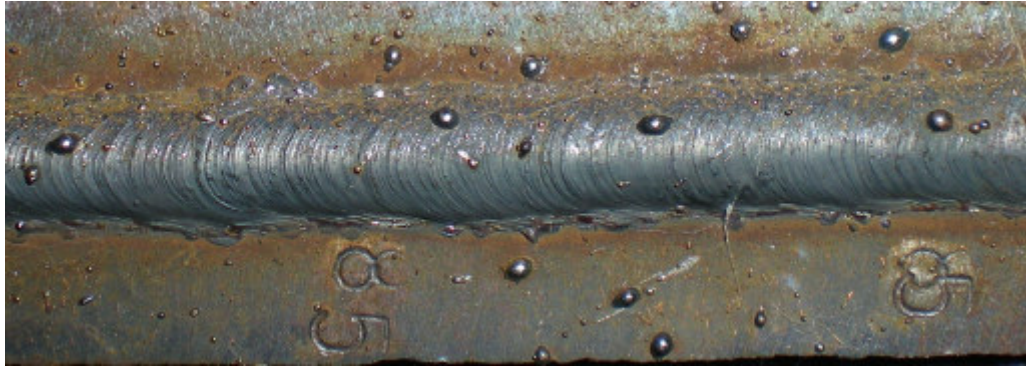
Şekil 8.15: C3 Numunesinin Dikiş Geometrisi

D grubu deneylerde kaynak gerilimi yani ark boyu değiştirilmiş ve bu parametrenin dikiş geometrisine etkisi incelenmiştir. Diğer tüm kaynak dikişleri kaynak parametrelerine uygun olan ve sıçrama, ark düzensizliği gibi her hangi bir kaynak hatasına yol açmayan, kaynak makinesinin 2 numaralı kademesinde yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı kaynak makinesi, -9 ile +9 değerleri arasında ark boyu kademelerinde çalışma yapmaya olanak sağlamaktadır. -9 ile temsil edilen kademedeki ark boyu azalırken, +9 ile temsil edilen kademedeki ark boyu artmaktadır. Elde edilen veriler Tablo 8.7’de aktarılmıştır.

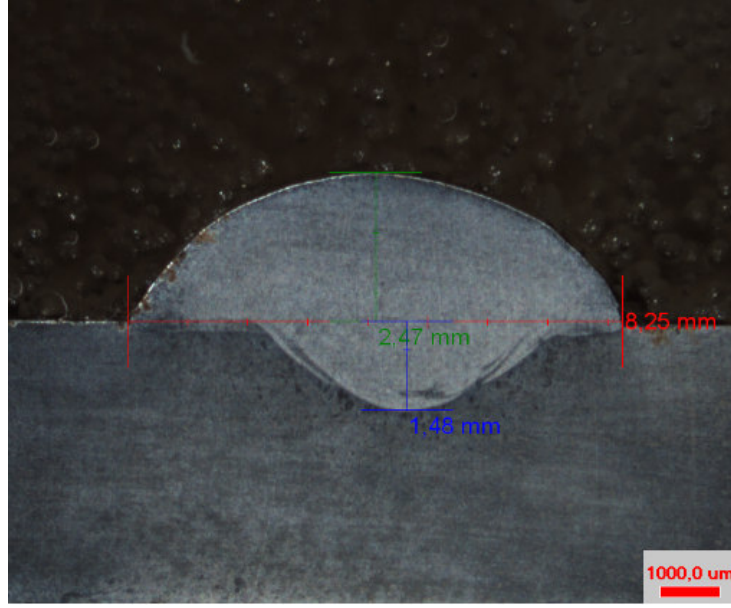
Ark boyunun azaldığı -9 kademesinde aşırı sıçrama gözlenmiş, yüzeyin durumu Şekil 8.16’da gösterilmiştir. Bu dikiş kabul edilebilir bir dikiş durumunda değildir. Benzer biçimde Şekil 8.18’de verilen, ark boyunun arttığı durumda, numunenin kaynağı sırasında ise arkın zaman zaman sönerek tekrar tutuştuğu gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak da uniform bir kaynak dikişi elde edilememiştir. Ark boyunun her işlem için ayrı bir optimum değeri olduğu bilinmektedir. İşlem öncesi bunun tespit edilip uygun dikiş formunun yakalanması sağlanmalıdır. Aksi takdirde gereğinden fazla veya az ark boyu, sıçrama ve arkın sönmesi gibi kaynak hatalarına yol açabilecek koşullarda kaynak yapılmasına neden olur.

Tablo 8.7: Farklı Ark Boylarında Ortalama Akım ve Gerilim Değerleri

Numune No	Ortalama Akım	Gerilim	Ark Boyu	Tel Besleme Hızı	Kaynak Hızı
-	[A]	[V]	Ayar Kademesi	[m/dak]	[m/dak]
D1	93	18,6	-9	4,0	0,225
D2	103	23	2	4,0	0,225
D3	50	32,7	9	4,0	0,225



Şekil 8.16: D1 Numunesinin Üstten Görünüşü



Şekil 8.17: D2 Numunesinin Dikiş Geometrisi



Şekil 8.18: D3 Numunesinin Üstten Görünüşü

KAYNAKLAR

- [1] **Praveen P., Yarlagadda P.K.D.V. and Kang M.J.**, 2005. Advancements in pulse gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, **164–165**, 1113–1119.
- [2] **Palani P.K. and Murugan N.**, 2006. Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, **172**, 1-10
- [3] **Praveen P. and Yarlagadda P.K.D.V.**, 2005. Meeting challenges in welding of aluminum alloys through pulse gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, **164–165**, 1106–1112.
- [4] **Rajasekaran S.**, 1999. Weld bead characteristics in pulsed GMA welding of Al – Mg alloys, *Weld J.*, **78 (12)**, 397-407.
- [5] **Subramaniam S., White D.R., Jones J.E. and Lyons W.**, 1998. Droplet transfer in pulsed gas metal arc welding of aluminum, *Weld J.*, **77 (11)**, 458 – 463.
- [6] **Subramaniam S., White D.R., Jones J.E. and Lyons W.**, 1999. Experimental approach to selection of pulsing parameters in pulsed GMAW, *Weld J.*, **78 (5)**, 166 – 172.
- [7] **Rajasekaran S., Kulkarni S.D., Mallya U.D. and Chaturvedi R.C.**, 1998. Droplet detachment plate fusion characteristic in pulsed current gas metal arc welding, *Weld J.*, **77 (6)**, 254-269.
- [8] **Ueguri S., Hara K.**, 1985, And Komura H., Study of metal transfer in pulsed GMA welding, *Weld J.* **64 (8)**, 242 -250.
- [9] **Kim Y.S. and Eagar T.W.**, 1993. Metal transfer in pulsed current gas metal arc welding, *Weld J.* **72 (7)**, 279 – 287.
- [10] **French I.E. and Bosworth M.R.**, 1995. A comparison of pulsed and conventional welding with basic flux cored and metal cored welding wires, *Weld J.*, **74 (6)**, 197 – 205.
- [11] **Anık, S.**, 1972. Kaynak Tekniği Cilt 2 Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak. Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul

- [12] **Anık, S.**, 1991. Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar. Gedik, İstanbul
- [13] <<http://content.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/c4200.pdf>> alındığı tarih 29.06.2007
- [14] <<http://www.millerwelds.com/interests/instructors/pdf/MIG.pdf>> alındığı tarih 20.08.2007
- [15] **Eryürek, İ.B., Bodur, H. O. ve Dikicioğlu, A.**, 1996, Kaynak Teknolojisinin Esasları. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [16] **Eryürek, İ. B.**, 1998. Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı. Diacan Grafik, İstanbul
- [17] **Tülbentçi, K.**, 1998. MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi. REM Matbaacılık, İstanbul
- [18] **Tülbentçi, K.**, 1990. MIG – MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı. Gedik, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Hizber Ferit MUZAFFEROĞLU, 1982 yılında Muğla'nın Bodrum ilçesinde doğdu. İlkokulu Bodrum Turgutreis ilkokulunda, ortaokulu Milas Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra öğretim hayatına İstanbul'da devam etti. 2000 yılında Üsküdar Fen Lisesi'nden mezun olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 2005 yılında bu bölümü başarı ile bitirerek İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme ve İmalat Programında yüksek lisans çalışmalarına başladı. Aynı yılın kasım ayı içerisinde Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojileri Ana Bilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı. Bir yıldan uzun bir süre bu görevini sürdürdü. İngilizce bilmektedir.