



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA 5083-H111 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİG
KAYNAĞINDA FARKLI AKIM TÜRLERİNİN MEKANİK VE
MİKROYAPIYA ETKİSİ**

BÜLENT DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERKAN APAY**

DÜZCE, 2019

**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA 5083-H111 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİG
KAYNAĞINDA FARKLI AKIM TÜRLERİNİN MEKANİK VE
MİKROYAPIYA ETKİSİ**

Bülent DEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Etem GÜREL

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR

Pamukkale Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 18/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

18 Temmuz 2019

Bülent DEMİR

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Gülden DEMİR ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2017.07.04.646 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

18 Temmuz 2019

Bülent DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI.....	4
2.1. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ	4
2.2. ALÜMİNYUMUN ÜRETİMİ.....	4
2.2.1. Boksit Cevherinden Alüminyumun Elde Edilmesi	5
2.2.2. Saf Alüminyumdan (Alümina) Metalsel Alüminyum Elde Edilmesi	6
2.3. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ	7
2.3.1. Saf Alüminyumun Safiyet Derecesi	7
2.3.2. Alüminyumun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri	8
2.3.2.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi	9
2.3.2.2. Yoğunluk	9
2.3.2.3. Isıl İletkenlik	9
2.3.2.4. Işık Yansıtma Özelliği	9
2.3.2.5. Yüzey Gerilimi ve Viskozitesi	10
2.3.2.6. Elektriksel İletkenlik	10
2.3.2.7. Mekanik Özellikler.....	10
2.3.2.8. Elastik Modül.....	11
2.3.2.9. Brinell Sertliği	11
2.3.2.10. Çekme Dayanımı.....	11
2.3.2.11. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri	11
2.3.3. Alüminyumun Kullanım Alanları	12
2.3.3.1. Alüminyum ve İnşaat Sektörü	13
2.3.3.2. Alüminyum ve Ambalaj Sanayi	13
2.3.3.3. Alüminyum ve Taşıt Sektörü	13
2.3.3.4. Alüminyum ve İletkenler	13
2.3.3.5. Alüminyumun Yeni Teknolojilerde Kullanımı	14
2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	14
2.4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	15
2.4.1.1. İşlem Alüminyum Alaşımları.....	15
2.4.1.2. Döküm Alüminyum Alaşımları.....	18
3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI.....	22
3.1. ALÜMİNYUMUN KAYNAK KABİLİYETİ.....	22
3.2. ALÜMİNYUMUN VE ALAŞIMLARINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	29
3.2.1. Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Katı Hal Kaynak Yöntemi.....	29
3.2.1.1. Soğuk Kaynak	29

3.2.1.2. Patlatma Kaynağı.....	29
3.2.1.3. Difüzyon Kaynağı.....	29
3.2.1.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	30
3.2.1.5. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı.....	31
3.2.2. Alüminyum ve Alaşımalarının Örtülü Çubuk Elektrotla Birleştirilmesi.	32
3.2.3. Alüminyum ve Alaşımalarının Oksi Asetilen Kaynağı ile Birleştirilmesi.	33
3.2.4. Alüminyum ve Alaşımalarının Ultrasonik Kaynak ile Birleştirilmesi.....	33
3.2.5. Alüminyum ve Alaşımalarının Elektron Hüzmesi ile Birleştirilmesi.....	33
3.2.6. Deltaspot Kaynak Yöntemi.....	34
3.2.7. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı.....	35
4. GAZALTI KAYNAĞI VE METAL TRANSFER MODLARI....	36
4.1. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ.....	36
4.1.1. Yöntemin Tanıtımı.....	36
4.1.2. Gazaltı Kaynak Yöntemi Donanımları.....	38
4.1.2.1. Kaynak Torçları.....	39
4.1.2.2. Tel Sürme Tertibatı.....	41
4.1.2.3. Kumanda Tertibatı.....	42
4.1.2.4. Kaynak Akım Üreteçleri.....	42
4.1.2.5. Koruyucu Gaz Tüpleri.....	45
4.1.2.6. Koruyucu Gazlar.....	46
4.1.2.7. Kullanılan Elektrotlar.....	50
4.1.2.8. Alüminyum ve Alaşımalarına MIG Kaynağı Uygulaması.....	51
4.1.3. Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Seçimi.....	52
4.1.3.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler.....	53
4.1.3.2. Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler.....	54
4.1.3.3. İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler.....	54
4.1.3.4. MIG (Metal Inert Gaz) Kaynağı Çalışma Prensipleri.....	56
4.2. METAL TRANSFER MODLARI.....	56
4.2.1. Kısa Devre Metal Transferi.....	57
4.2.2. İri Damla (Uzun Ark) Metal Transferi.....	59
4.2.3. Sprey Metal Transferi.....	61
4.2.4. Darbeli Sprey Metal Transferi.....	62
4.2.4.1. Darbeli Akım ile MIG/MAG Kaynağında Darbe Parametrelerinin Dış Geometrisine Etkisi.....	64
4.2.5. Değişen Darbe Parametreleriyle Geliştirilen MIG (Metal Inert Gaz) Kaynak Yöntemleri.....	66
4.2.5.1. Darbeli MIG Yöntemi.....	66
4.2.5.2. Çift Darbe Yöntemi ile MIG (Metal Inert Gaz) Kaynağı.....	66
4.2.5.3. Soğuk Metal Transfer Yöntemi ile MIG (Metal Inert Gaz) Kaynağı.....	67
4.2.5.4. Darbeli Soğuk Metal Transfer Yöntemi ile MIG Kaynağı.....	68
4.2.5.5. Darbeli Yüksek Kontrollü MIG Kaynağı.....	70
5. MATERYAL METHOD.....	72
5.1. DENEYDE KULLANILAN MATERYALLER.....	72
5.1.1. Deney Malzemesi.....	72
5.1.1.1. Deney Malzemesinin Kimyasal Özellikleri.....	72
5.1.1.2. Deney Malzemesinin Mekanik Özellikleri.....	72
5.1.2. Deneyde Kullanılan Kaynak Telinin Özellikleri.....	72
5.1.3. Deney Parçalarının Boyutları.....	73
5.1.4. Deney Numunelerinin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Parametreleri.....	74
5.1.5. Deney Numunesine Kaynak İşleminin Uygulanması.....	76
5.1.6. Kaynaklı Levhaların Görsel İncelenmesi.....	77

5.1.7. Deney Numunelerinin Kaynaklı Plakadan Çıkarılması.....	77
5.1.7.1. Kaynaklı Plakalar Üzerinde Numune Dağılımı	78
5.2. DENEYİN YAPILIŞI	79
5.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması	79
5.2.1.1. Çekme Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	79
5.2.1.2. Eğme Deney Numunelerinin Hazırlanması	80
5.2.1.3. Metalografik İnceleme Yapılacak Numunelerin Hazırlanması.....	80
5.2.2. Çekme Deneyi	81
5.2.3. Eğme Deneyi	82
5.2.4. Sertlik Ölçüm Deneyi.....	83
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	84
6.1. BULGULAR.....	84
6.1.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	84
6.1.1.1. Çekme Deneyi Sonrası Oluşan Kaynak Bölgesinden Kopan Numunelerin Yüzey Kırıklarının SEM Görüntüsü	87
6.1.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	88
6.1.3. Metalografik İnceleme Sonuçları.....	89
6.1.3.1. Makroyapı İnceleme Sonuçları.....	89
6.1.3.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	91
6.1.4. Sertlik Ölçüm Deneyi Sonuçları	97
6.2. DENEYSEL SONUÇLARIN TARTIŞILMASI.....	98
6.2.1. Çekme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması	98
6.2.1.1. Çekme Deneyi Sonrası Oluşan Kırık Yüzeylerin Tartışılması	99
6.2.2. Eğme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması.....	99
6.2.3. Metalografik İnceleme Sonuçlarının Tartışılması	100
6.2.3.1. Makroyapı İnceleme Sonuçları	100
6.2.3.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	100
6.2.4. Mikrosertlik Sonuçlarının Tartışılması	101
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
7.1. SONUÇLAR.....	103
7.2. ÖNERİLER.....	104
8. KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Boksitten saf alüminyum elde edilmesi.....	6
Şekil 2.2. Saf alüminyumdan metelsel alüminyum elde edilmesi.	7
Şekil 2.3. Elementlerin birim hacim başına düşen kütleleri.	9
Şekil 2.4. Elementlerin iletkenliklerinin kıyaslanması.	10
Şekil 3.1. Ergitme kaynağında ITAB bölgesinin tane yapısı.....	25
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin şematik gösterimi.	31
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin şematik gösterimi.	32
Şekil 3.4. Deltaspot kaynak tabancası.	34
Şekil 3.5. Elektrik nokta direnç kaynağı şematik görüntüsü a) Genel görünüm b)Elektrot ve iş parçasının görünümü.	35
Şekil 4.1. Gazaltı MIG kaynağı yönteminde ark bölgesi.....	36
Şekil 4.2. MIG Kaynağı donanım şeması.	38
Şekil 4.3. MIG Kaynak torcunun kesit alınmış görüntüsü.	40
Şekil 4.4. Hava soğutmalı torcun kısımlarının gösterimi.	40
Şekil 4.5. Tel Sürme tertibatının gösterimi.	41
Şekil 4.6. Planet sistemi çarpık rulo gösterimi.	41
Şekil 4.7. Tel ilerlemesinin durması ve ve akımın kesilmesi arasındaki sürede tel ucunun görüntüsü.	42
Şekil 4.8.Kaynak akım üreteçlerinde ark karakteristiği a) Düşey karakteristlikli b) Yatay karakteristlikli.	43
Şekil 4.9. Ark boyunun gerilim ve akım şiddetiyle kıyaslanması.	44
Şekil 4.10. Kutuplamanın kaynak dikiş formuna ve özelliklerine etkisi.	45
Şekil 4.11. Basınç düşürme ventilleri.	46
Şekil 4.12. CO ₂ korumasında oluşan kimyasal reaksiyonlar.	48
Şekil 4.13. Farklı koruyucu gazların farklı metallerde ark ve dikiş formları.	49
Şekil 4.14. MIG/MAG kaynağında sağa ve sola kaynakta dikiş formlarının değişimi ..	55
Şekil 4.15. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi.....	55
Şekil 4.16. Elektrot ucunda oluşan damlacığa etki eden kuvvetler.	57
Şekil 4.17. Kısa devre transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi.	58
Şekil 4.18. Kısa devre transfer modunda gerilim ve akım değerleri.	58
Şekil 4.19. Küresel transfer transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi. ...	59
Şekil 4.20. Eksenel olmayan küresel transfer modunda damla geçişi.	60
Şekil 4.21. Sprey metal transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi.	61
Şekil 4.22. Darbeli sprey metal transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi.....	62
Şekil 4.23. Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve kaynak banyosuna geçişi.....	63
Şekil 4.24. Darbe dalga şekilleri.	64
Şekil 4.25. Soğuk metal transfer yöntemi aşamaları.	68
Şekil 4.26. Normal CMT ve darbeli CMT kaynak yöntemlerinin karakteristik özellikleri, (KD: Kısa devre, GAE: Güç artış evresi, YE: Yanma evresi).	69
Şekil 4.27. Normal darbeli ve darbeli yüksek kontrollü ark parametrelerinin nüfuziyet	

görüntüsü.....	70
Şekil 4.28. Ark boyu stabilizörünün etkinleşmesi ile ark boyundaki değişim.	71
Şekil 5.1. Kaynaklı birleştirme yapılacak parçaların boyutları.	74
Şekil 5.2. Kaynaklı birleştirme yapılacak parçaların bakır altlık üzerine sabitlenmesi.	74
Şekil 5.3. Deney düzeneği.	75
Şekil 5.4. Kaynak Dikişi görüntüleri a) P b) DP c) CMT d) PCMT e) PMC görüntüleri.	76
Şekil 5.5. Kaynaklı plaka üzerinde numune dağılımı.	78
Şekil 5.6. Su jetiyle kesme düzeneği.	78
Şekil 5.7. Çekme test numunesinin ölçülendirilmesi.....	79
Şekil 5.8. Eğme test numunesinin ölçülendirilmesi.....	80
Şekil 5.9. Bakalite alınmış numune görüntüsü.	80
Şekil 5.10. a) Bakalite alma cihazı b) Zımparalama cihazı.	81
Şekil 5.11. Çekme testi cihaz görüntüsü.....	82
Şekil 5.12. Çekme testi cihaz görüntüsü.....	83
Şekil 6.1. Çekme testi uygulanarak kaynak dikişinden kopan numunelerin kopma biçimleri.	85
Şekil 6.2. Birleştirilen numunelerin kopma biçimi a) P b) PCMT c) DP d) PCMT.....	85
Şekil 6.3. Uygulanan kaynak yöntemlerine göre gerilme ve yüzde uzama grafiği.	86
Şekil 6.4. Dikişlerin kırılma yüzeyleri 1000 X büyütmede sem görüntüsü a) CMT Dikiş b) PCMT Dikiş c) DP d) P e) PMC.....	87
Şekil 6.5. AA 5083 H111 Alaşımının ana malzemeden kırılma görüntüsü.	88
Şekil 6.6. Eğme deneyi uygulanmış numuneler.	89
Şekil 6.7. P kaynak dikişinin makro görüntüsü.	89
Şekil 6.8. DP kaynak dikişinin makro görüntüsü.	90
Şekil 6.9. CMT kaynak dikişinin makro görüntüsü.....	90
Şekil 6.10. PCMT kaynak dikişinin makro görüntüsü.....	90
Şekil 6.11. PMC kaynak dikişinin makro görüntüsü.	91
Şekil 6.12. AA 5083 H111 Alüminyum alaşımının sem görüntüsü.	91
Şekil 6.13. P akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	92
Şekil 6.14. 5083 H111 Alüminyum alaşımının optik mikroskop görüntüsü.....	92
Şekil 6.15. P akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	92
Şekil 6.16. DP akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	93
Şekil 6.17. DP akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	93
Şekil 6.18. CMT akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	93
Şekil 6.19. CMT akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	94
Şekil 6.20. PCMT akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali	94
Şekil 6.21. PCMT akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	94
Şekil 6.22. PMC akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.	95
Şekil 6.23. PMC akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi	

b) Kaynak metali.	95
Şekil 6.24. Kaynak metali bölgesindeki dikişlerin optik görüntüsü a) P bölgesi b) DP c) CMT d) PCMT e) PMC	96
Şekil 6.25. Kaynaklı birleştirmenin bölgesel dağılımı.	97
Şekil 6.26. Kaynak bölgesine göre sertlik değerleri grafiği.	98



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.....	8
Çizelge 2.2. Değişen alüminyum yüzdesi ile sertlik arasındaki ilişki.....	11
Çizelge 2.3. İşlem alüminyum alaşımları.....	16
Çizelge 2.4. Döküm alüminyum alaşımları.....	19
Çizelge 2.5. Alüminyum ve alaşımları için temper seri numaraları.....	20
Çizelge 3.1. Farklı kaynak yöntemlerine göre alüminyumun kaynak kabiliyeti değerleri.....	22
Çizelge 3.2. Alüminyum kaynağında karşılaşılan sorunlar ve çözümü.....	28
Çizelge 4.1. Koruyucu gaz uygulama alanları.....	49
Çizelge 4.2. Alüminyum ve çelik için geçiş akım değerleri.....	65
Çizelge 5.1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi.....	72
Çizelge 5.2. Deney malzemesinin mekanik özellikleri.....	72
Çizelge 5.3. Kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	73
Çizelge 5.4. Kaynak telinin mekanik özellikleri.....	73
Çizelge 5.5. AA 5083 H111 alaşımının kaynağında kullanılan parametreler.....	76
Çizelge 6.1. Çekme testi sonuç değerleri.....	84
Çizelge 6.2. Eğme deneyi sonuç çizelgesi.....	88
Çizelge 6.3. Numunelerin vickers sertlik tarama sonuçları.....	97

KISALTMALAR

CMT	Soğuk metal transfer
DATK	Elektrot pozitif kutupta
DC	Doğru akım
DIN	Alman standardizasyon enstitüsü
DP	Çift darbeli
FSW	Sürtünme karıştırma kaynağı
MIG	Metal pasif gaz
MAG	Metal aktif gaz
P	Darbeli
PMC	Darbeli yüksek kontrollü
PCMT	Darbeli soğuk metal transfer
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SKNK	Sürtünme karıştırma nokta kaynağı
TIG	Tungusten pasif gaz
TPS	Yüksek performans güç kaynağı
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge

SİMGELER

A	Amper
Ar	Argon
GPa	Giga pascal
He	Helyum
I	Amper
km	Kilometre
MPa	Mega pascal
N/mm ²	Newton/milimetrekare
V	Voltaj

ÖZET

AA 5083-H111 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİG KAYNAĞINDA FARKLI AKIM TÜRLERİNİN MEKANİK VE MİKROYAPIYA ETKİSİ

Bülent DEMİR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Temmuz 2019, 108 sayfa

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımlarının sanayi uygulamalarında kullanım alanları giderek artmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarıyla, taşımacılık sektöründen uzay sanayisine kadar birçok alanda karşılaşılabilmektedir. Makine imalat sektörü gibi alanlarda talaşlı şekillendirilen alüminyum ürünleri sıklıkla kullanılırken gemi ve otomotiv imalatı sektörü gibi alanlarda ise alüminyum alaşımlarının kaynaklı birleştirilme uygulamaları görülmektedir. Alüminyum alaşımlarının çoğunlukla tercih sebebi olmasındaki etkenler, özgül ağırlığının düşük olması ve yüksek korozyon direncine sahip olmaları olarak söylenebilir. Bu çalışmada 150x250x3 mm ölçülerindeki AA 5083 H111 alüminyum ve alaşımlarının darbeli akım (pulse), çift darbeli (double pulse) akım, soğuk metal transfer (cold metal transfer), darbeli soğuk metal transfer (pulse cold metal transfer) ve darbeli yüksek kontrollü (pulse multi control) akım parametreleri ile kaynatılmış numunelere çekme testi, eğme testi, metalografik inceleme ve vickers sertlik ölçümleri yapılarak kaynak yöntemleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda kaynak dikişlerinin hepsinde nufuziyet azlığı problemi görülmemiştir. Isı tesirine göre kaynak dikişlerinde, değişen boyutlarda ince dentrit kollarının olduğu, dentrit tabakasının ince oluşu sebebiyle sertlik ve bir miktarda tokluk direnci kazandırdığı tespit edilmiştir. Kaynak dikişleri, mukavemet kazanımı açısından incelendiğinde, darbeli (pulse), çift darbeli (double pulse), darbeli soğuk metal transfer (pulse cold metal transfer) ve soğuk metal transfer (cold metal transfer) kaynak yöntemleri ile yapılacak kaynak işleminin darbeli yüksek kontrollü (pulse multi control) kaynak yöntemine göre daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: AA 5083-H111 alüminyum alaşımı, Çift darbeli akım, Darbeli akım, Mikroyapı.

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT CURRENT TYPES ON MECHANICAL AND MICROSTRUCTURE ON MIG WELDING OF AA 5083-H111 ALUMINUM ALLOY

Bülent DEMİR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material
Technology

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan APAY

July 2019, 108 pages

Today, aluminum and aluminum alloys are increasingly used in industrial applications. Aluminum and aluminum alloys can be encountered in many areas from the transportation sector to the space industry. While machined aluminum products are frequently used in areas such as machinery manufacturing, welded joining applications of aluminum alloys are seen in areas such as shipbuilding and automotive manufacturing. The reasons why aluminum alloys are often preferred are low specific gravity and high corrosion resistance. In this study, 150x250x3 mm size AA 5083 H111 aluminum and alloys, pulsed current (pulse), double pulse (double pulse) current, cold metal transfer (cold metal transfer), pulsed cold metal transfer (pulse cold metal transfer) and pulsed high controlled Tensile test, bending test, metallographic examination and vickers hardness measurements were applied to the welded samples with pulse multi control parameters. As a result of the investigations, there was no problem of low penetration in all weld seams. When the weld seams are examined in terms of strength gain, the pulsed (double pulse), double pulse, pulsed cold metal transfer (pulse cold metal transfer) and cold metal transfer (cold metal transfer) welding methods to be performed with pulsed high control (pulse multi control) welding method.

Keywords: AA 5083-H111 aluminum alloy, Double pulse current, Pulse current, Microstructure

1. GİRİŞ

Alüminyum, yeryüzünün %8'ini oluşturan bir element olarak oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. 1800 yıllarda keşfedilen Al elementi günümüzde hacimsel olarak diğer demir dışı metallerin toplamından daha fazla üretilmektedir (Akıncı, 2008).

Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir. Demir ve çelikten sonra en çok kullanılan metal durumundadır. Alüminyum ve alaşımlarının endüstride kullanım oranının artmasının sebepleri hafif olması, korozyon direnci ve üstün mekanik özellikleridir. Bu üstün özellikleri hafifliğine göre yüksek mukavemet oranı, kolay işlenebilme, çelik ve diğer metallere göre üstün korozyon direnci, döküm özelliklerinin iyi olması ve döküldüğü birçok alaşım elementine kolay bir şekilde adapte olabilmesi olarak sıralayabiliriz. Bu özellikleri sebebiyle otomotiv, uçak, uzay, gıda, gemi, endüstrisinde en çok kullanılan metal durumunda olmaları, insan ve çevre sağlığına herhangi bir zararının bulunmaması gibi birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının endüstriyel alandaki kullanım oranını arttıran sebeplerden biriside çeşitli kaynak yöntemleriyle birleştirilebilmeleridir. Uygulanan kaynak yöntemleri ergitme esaslı kaynak yöntemlerinin yanı sıra basınç esaslı kaynak yöntemleride (katı faz kaynak yöntemleri) alüminyum ve alaşımlarına uygulanabilmektedir. Bu gibi kaynak yöntemlerini geliştirmek, aynı ve farklı alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmış ve alüminyum ve alaşımlarına uygulanan en iyi sonuç veren ergitme kaynak yöntemlerinden koruyucu gaz altında yapılan kaynaklı birleştirme yöntemi olduğu saptanmıştır.

Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan kaynak yöntemleri hakkındaki yapılan çalışmalarda, Gazaltı kaynak yöntemi, diğer kaynak yöntemleri ve Gazaltı kaynak yöntemlerinin farklı uygulamaları ve Metal Inert Gaz (MIG) kaynak yönteminin farklı darbe akımlarında incelendiği çalışmalara ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

(Kaluç & Taban, 2004), yapmış oldukları çalışmalar sonucu oluşturulan kaynaklı

bağlantıların mekanik özelliklerinin ve kaynak bölgelerinin metalürjik dönüşümlerinin incelenmesi işlemini gerçekleştirmişler ve sonuç olarak sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) kaynaklı levhada çarpılma görülmezken kaynak ısı girdisi nedeniyle MIG ve Tungsten Inert Gaz (TIG) kaynağı uygulanmış levhalardaki çarpılmalarının oldukça fazla olduğu, sürtünen eleman ile kaynak edilmiş levhanın mekanik özelliklerinin MIG ve TIG kaynağı uygulanmış levhaların mekanik özelliklerine yakın ve bir kaynaklı bağlantıdan istenen düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir.

(Çetinkaya, Tekeli, & Kurtuluş, 2002) yaptıkları çalışmada ticari saflıkta E3 (1030 serisi), E5 (1050 Serisi) ve E30 (3003 serisi) dan oluşan üç farklı türdeki alüminyum alaşımları, TIG ve MIG gazaltı kaynak yöntemi ile Argon (Ar) ve Ar + %25 Helyum (He) karışımları altında Sg-ALMg5 ve Sg-ALSi5 ilave kaynak telleri ile birleştirmişler ve kaynak edilen malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelemişler ve aynı parametrelerde kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin çekme, akma ve % uzama değerlerinin TIG kaynak yönteminde MIG kaynak yöntemine göre daha yüksek mukavemet değerlerinde olduğunu gözlemişlerdir. Aynı numunelerin sertlik ölçümlerinde ise TIG kaynak yöntemiyle yapılan birleştirmelerin daha sert olduğunu gözlemlemişlerdir.

(Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018) yapmış oldukları çalışmada 5754 alüminyum alaşımını Soğuk Metal Transfer (CMT) ve Darbeli Soğuk Metal Transfer (PCMT) yöntemleriyle gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerde mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemişler ve normal CMT kaynağındaki birleştirmelerde oluşan gözeneklerin boyutunun ve dikiş içerisindeki gözenek miktarının PCMT kaynağı ile yapılan birleştirmelere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yani PCMT kaynağında nufuziyetin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

(Güngör, 2013), yapmış oldukları çalışmada 5083-H111 ve 6082 T651 alüminyum alaşımının robotik CMT kaynak yöntemiyle birleştirilerek mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelemişler ve 5083 Alüminyum alaşımının kaynak bağlantısının 6082 Alüminyum alaşımının kaynak bağlantısına göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağı konusunda yapılan literatür araştırmalarında CMTve PCMT kaynak akım türünde birleştirmelerin, Darbeli (P) ve Çift Darbeli (DP) kaynak akım türünde birleştirmelerin kıyaslanması bir çok araştırmada yapılmıştır fakat Darbeli Yüksek Kontrollü (PMC) ile yapılan çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada CMT, PCMT, P, DP ve PMC kaynaklı birleştirme yöntemleri ile oluşturulan kaynak dikişindeki mekanik, mikro yapı özellikleri ve kaynak bölgelerinin vickers sertlik ölçümleri yapılarak kaynak yöntemlerinin genel özelliklerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ

Alüminyumun birçok fiziksel özelliğini Alman bilim adamı Wöhler 1845 yılında keşfetmiştir (Akıncı, 2008). 1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul Heralt farklı kıtalarda olmalarına rağmen ticari üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. Üretim sürecinin zorluğu ve ekonomik olmayışı sebebiyle o zamanlarda alüminyum altından daha pahalı bir metal haline gelmiştir. 1900'lü yıllarda karbon çeliğine alternatif olabilmesi için birçok alaşımlandırma denemeleri yapılmış fakat iyi kalite karbon çeliğinden daha ağır olması sebebiyle tercih edilmemiştir. Alaşımlandırma işlemi alüminyumun bakır (Al-Cu) ile ilk alaşımlandırma işlemi yapıldığında, alüminyumun en önemli özelliği olan mukavemetten kaybetmeksizin hafifliğini koruduğu keşfedilmiştir.

Endüstride alüminyum kurşun ve çinkodan sonra işlenmeye başlanmış olsa da teknolojik alandaki gelişmeler ve özellikleri iyi olan yeni malzeme ihtiyacı alüminyum demirden sonra en çok kullanılan metal haline getirmiştir (Çetinkaya, Tekeli, & Kurtuluş, 2002).

Alüminyum ve alaşımlarının özelliklerinin en fazla geliştiği dönem birinci ve ikinci Dünya savaşı zamanlarında gerçekleşmiştir. Savunma sanayinde uçak gövdelerinin ve diğer savunma araç parçalarının alüminyumdan yapılması alüminyum ve alaşımlarının gelişiminin ivme kazanmasına sebep olmuştur. Alüminyumun birleştirmelerinde çeliğin kaynağına göre sıkıntılı olması sebebiyle perçin, cıvata ve yapıştırma gibi işlemlerle birleştirmeler yapılmıştır. 1930 yılında TIG, 1948 yılında MIG ve 1960 yılında plazma ark kaynaklarının keşfedilmesi ile alüminyumun kaynak ile birleştirilmesine başlanılarak alüminyumun endüstride kullanım alanı artmıştır (Güngör, 2013).

2.2. ALÜMİNYUMUN ÜRETİMİ

Dünya çapında alüminyumun 3 üretim yöntemi vardır, bunlar aşağıdaki gibi saralanabilir.

- Boksit cevherinden alüminyumun elde edilmesi
- Diğer saf alüminyumdan alüminyumun elde edilmesi

- Saf alüminyumdan metal sel alüminyumun elde edilmesi

Bu üretim süreçlerinin her biri ayrı bir endüstri grubudur. Bu üretim aşamalarının hepsinin bir arada olduğu üretim tesisler vardır bu tesislere entegre tesis adı verilmektedir. Türkiye'deki tek entegre tesis Seydişehir alüminyum entegre tesisidir.

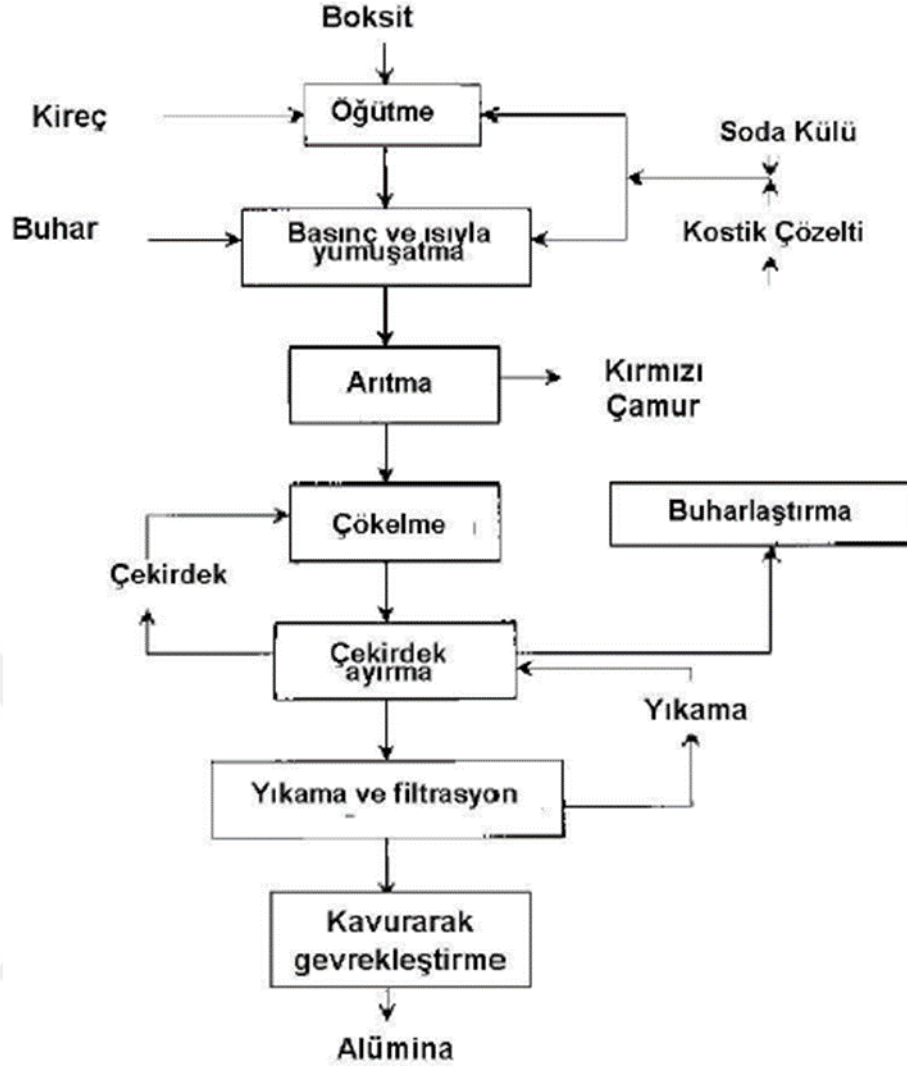
2.2.1. Boksit Cevherinden Alüminyumun Elde Edilmesi

Yerkürede en çok bulunan oksijen ve silisyum elementlerinden sonra gelen alüminyum elementi doğada bileşik halinde bulunur. Bu bileşik hal ise silikat, demir oksit ve alüminyum oksitten oluşan boksit cevherinden elde edilir (Günay, 2006).

Boksitten alüminyumun elde edilmesi 1888 yılında Karl Bayer tarafından geliştirilen bayer prosesidir. Bu proses iki aşamada gerçekleşir birincisi boksitten saf alüminyum eldesi, ikinci aşama ise saf alüminyumdan metelsel alüminyuma dönüşüm olarak gerçekleşmektedir. Özetlemek gerekirse Şekil 2.1'de boksitten saf alüminyum elde edilmesinin şematik olarak görüldüğü gibi boksitin içeriğindeki yabancı maddelerden (Fe_2O_3 ve SiO_2) ayrıştırılır. Bu sebeple boksit cevheri NaOH buharıyla reaksiyona sokulur ve Alüminyum oksit suda çözünebilen $NaAlO_2$ 'e dönüşür ve bu bileşik filtrasyon ve flotasyon işlemlerine tabi tutularak Fe ve Si elementleri boksit cevherinden temizlenir. Elde edilen çözelti içerisindeki alüminyum alüminyum hidroksit olarak kristalize edilir daha sonra çözelti içerisindeki su uçurularak saf alümina elde edilir.

Boksit üretimi genellikle açık ocak işletmeciliği ile yapılmaktadır. Alüminyum üretiminde kullanılan boksit cevherinin kimyasal bileşimine göre 4-5 ton boksitten 2 ton alümina, 2 ton alüminadan ise %50'si 1 ton alüminyum üretilmektedir. (Alüminyum, 2004).

Dünyada boksit kaynaklarından yıllık alüminyum üretimi 140-150 bin ton civarındadır. Bu üretimin %90'a yakını alümina ve alüminyum üretimine yönelik olarak yapılır. 2003 yılı verilerine göre dünya boksit üretiminde Avusturalya 55 milyon ton, Gine 16 milyon ton, Jamaika 13,4 milyon ton, Brezilya ise 13,5 milyon ton ile en çok üretim yapan ülkeler olmuştur. Ülkemiz dünyada boksit cevheri rezervinin %1'ine sahiptir (Günay, 2006).

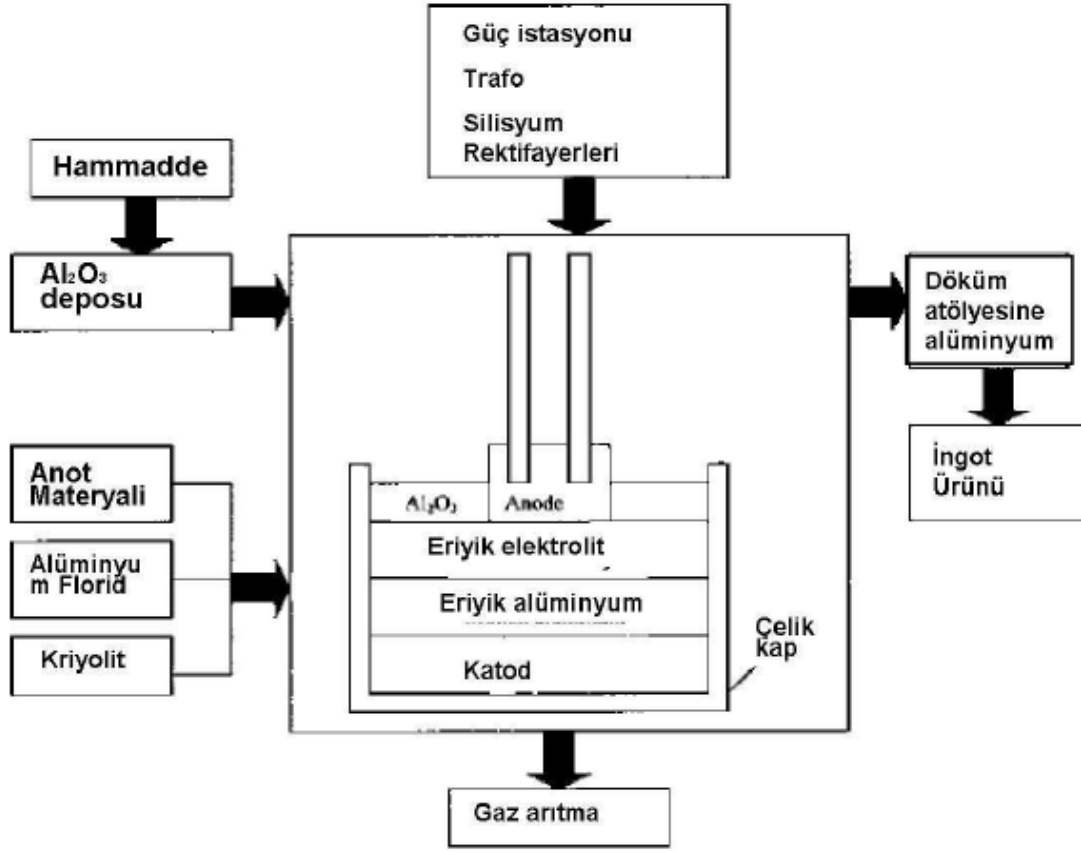


Şekil 2.1. Boksitten saf alüminyum elde edilmesi (Güngör, 2013).

2.2.2. Saf Alüminyumdan (Alümina) Metalsel Alüminyum Elde Edilmesi

Elektroliz yöntemi ile alüminyumun edesinde; ticari saflıkta alüminyum elde edilebilen bir yöntemdir. 1889 yılında Hall Herault tarafından uygulanmış ve günümüze kadarda devam etmektedir. Günümüzde değişiklik olarak elektroliz hücrelerinin biraz daha büyük olmasıdır. Elektroliz işlemi gerçekleştirmek için Şekil 2.2'de görüldüğü gibi oksidi eritmek veya çözelti haline getirmek gereklidir. Alümina 2050 °C ergir bu sebeple ergitme yöntemi kullanılmaz.

Alüminyum kriyolitte çözünmektedir. Kriyolit 950 °C civarında ergitilir ve alümina eklenerek çözelti oluşturulur karbon anotlar ile elektroliz işlemi gerçekleştirilir. 5 Volt (V) gerilim uygulanarak Al_2O_3 parçalanır kriyolit değişime uğramaz fakat alüminyum katot olarak kullanılan çözeltinin dibine çöker ve ayrışma gerçekleşir (Güngör, 2013).



Şekil 2.2. Saf alüminyumdan metelsel alüminyum elde edilmesi (Güngör, 2013).

2.3. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.3.1. Saf Alüminyumun Safiyet Derecesi

Alüminyumun endüstri kollarına göre saflık dereceleri farklılık gösterir. Gıda ve elektrik endüstrilerinde kullanılan alüminyumun saflık derecesi %90,99'dur. Alüminyum boru ve levhalarda üretiminde ise %99,5 ile %99,8 oranında saflık dereceleri görülmektedir. Günümüzde genel olarak alüminyum üretimindeki saflık derecesi %99,99 oranındadır. Bu tip alüminyuma yüksek nitelikli alüminyum denir. Safsızlık derecesi alüminyumun fiziksel özelliklerine etki eder. Yüksek safiyetteki alüminyum kolay şekillenebilir, ısı ve elektriği iyi iletir, ışığı yansıtır ve çok iyi korozyon direnci vardır (Karadağ, 2011).

Alüminyumun saflık derecesine bağlı olarak

- Düşük yoğunluk
- İklima dayanıklılık
- İyi ısı ve elektrik iletkenliği

- Soğuk şekil değiştirme kabiliyeti
- Yüksek parlaklıkta cilalanabilme

Gibi özelliklerin yanı sıra dezavantaj olan özellikleri de;

- Düşük mukavemet ve akma sınırı
- Bazik karakterli maddelere karşı dayanıksızlık
- Kaynak ve lehimleme kabiliyeti ancak dekapanlarla veya özel usullerle mümkündür (Darıdereli, 2010).

2.3.2. Alüminyumun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$, $660 \text{ }^\circ\text{C}$ ergiyen Alüminyum elementinin en belirgin özelliği hafifliği ve korozyona karşı dirençli olmasıdır. Hafifliği çeliğin yoğunluğunun üçte biri kadar olması ve korozyon direnci ise alüminyumun yüzeyinde oluşan refrakter oksit film tabakasından kaynaklanmaktadır. Ergime derecesinin $660 \text{ }^\circ\text{C}$ olması sebebiyle yüksek sıcaklıklarda kullanımı sınırlıdır. Bu özelliklerin yanısıra kolay üretilebilirlik, diğer elementlerle olan alaşımlarda yüksek mukavemetli alaşım elde edilebilmesidir. Alüminyum elementinin mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.1 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.

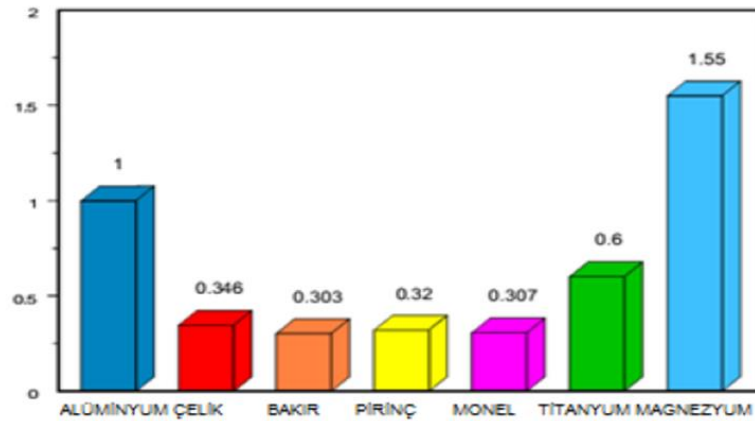
Atom Ağırlığı	26,97
Yoğunluğu ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de)	$2,70 \text{ g/cm}^3$
Metalin Sıvı Haldeki Yoğunluğu (700°C 'de)	$2,37 \text{ g/cm}^3$
Elastite Modülü	72200 N/mm^2
Poisson Oranı	0,34
Isıl Genleşme Katsayısı	$23,5 \times 106 (20-100 \text{ }^\circ\text{C})$
Özgül Isı	$0,214 \text{ cal/g }^\circ\text{C}(0-100 \text{ }^\circ\text{C})$
Ergime Sıcaklığı	$660 \text{ }^\circ\text{C}$
Kaynama Sıcaklığı	$1800 \text{ }^\circ\text{C}$
Isı İletkenliği	$0,55 \text{ cal/ }^\circ\text{C s.cm}$
Ergime Gizli Isısı	93 cal/g

2.3.2.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

Periyodik cetvelin 3 A grubunda bulunan alüminyum elementinin Atom numarası 13, atom ağırlığı 26,981538'dir. Alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısındadır. Saflık derecesi arttıkça kristal büyüklüğü de o derece büyüktür (Karadağ, 2011).

2.3.2.2. Yoğunluk

Endüstride kullanılan alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ dür. Eşit hacimlerdeki demir bakır ve çinko gibi elementlerin ağırlıklarıyla kıyaslanan alüminyum elementi diğer elementlerin yaklaşık olarak 3'te 1'i ağırlığındadır. Saflık derecesi arttıkça katı sıvı halde bulunan alüminyumun yoğunluğu doğru orantılı olarak artar (Karadağ, 2011). Alüminyum elementi birim hacim başına düşen ağırlıkları diğer elementlerle kıyaslandığında Şekil 2.3'deki gibi magnezyum elementinden sonra ikinci sırada yer almaktadır.



Şekil 2.3. Elementlerin birim hacim başına düşen kütleleri (Ünel, 2016).

2.3.2.3. Isıl İletkenlik

Alüminyumun ısı iletkenliği de bakırın % 61'i kadardır. Bu oran alaşımlandırma işlemiyle düşer. Alüminyumun bu yüksek iletkenliği sayesinde içten yanmalı motorların piston silindir kafalarının imalinde kullanıma sebep olmuştur.

2.3.2.4. Işık Yansıtma Özelliği

Alüminyumun diğer metallere göre daha fazla ışık yansıtma kabiliyeti vardır. Yüksek derecede saf olan alüminyum %80 'den daha fazla ışık yansıtılmaktadır. Alüminyumun ultraviyole ışınlarını fazla miktarda yansıtma özelliğinden faydalanılarak güneş ışığından

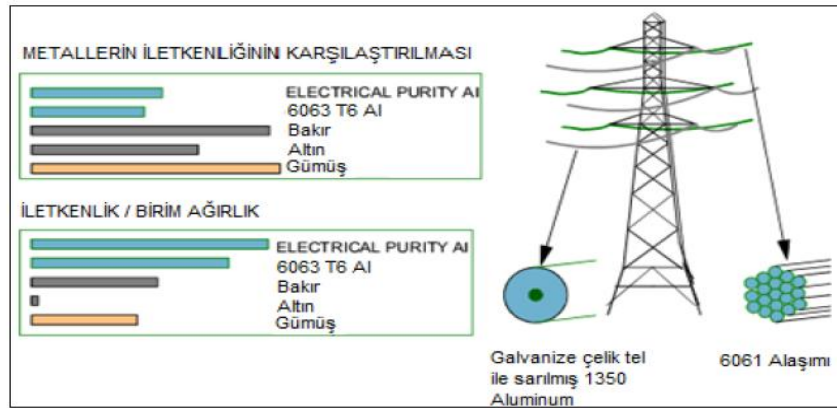
tahrip olunmasını istenmeyen bölgelere koruyucu olarak alüminyum boyalar kullanılır. Işınları yansıtılabildiği gibi radyant enerjiyi de yansıtabilme kabiliyeti sebebiyle radar ve radyo donanımında reflektör gibi kullanım alanına sahiptirler.

2.3.2.5. Yüzey Gerilimi ve Viskozitesi

Alüminyum ve alaşımları sıcaklığı arttıkça viskozitesinde azalma eğilimindedir. Bunun yanı sıra safsızlık oranı arttıkça viskozite de buna paralel olarak artmaktadır. Yüzey gerilimi ise artan sıcaklık ile azalış gösterir (Karadağ, 2011).

2.3.2.6. Elektriksel İletkenlik

Oda sıcaklığındaki alüminyumun elektrik iletkenliği aynı şartlardaki bakırın iletkenliğinin %64,64'üne eşittir. -223 °C altındaki sıcaklıklardaki alüminyumun elektriksel direnci aynı şartlardaki bakır ve gümüşe göre daha düşüktür. -270 °C ler civarında ise alüminyum süper iletken haline dönüşür (Karadağ, 2011). Alüminyum elementinin iletkenliğinin diğer elementlerle kıyaslanması Şekil 2.4 görüldüğü gibi sunulmuştur.



Şekil 2.4. Elementlerin iletkenliklerinin kıyaslanması (Ünel, 2016).

Alüminyumun iletkenliğinin bu derece iyi olması sebebiyle, taşıyıcı olarak kullanılan çelik kablo etrafına sarılmış örgülü alüminyum teller, enerji nakil hatlarında kullanılmaktadır (Oğuz, 1990).

2.3.2.7. Mekanik Özellikler

Mekanik özelliklerde fiziksel özellikler gibi safsızlık derecesi ile alakalıdır. Saf haldeki alüminyumun düşük dayanımına rağmen alaşımlanarak dayanımı 690 MPa'a kadar çıkarılabilmektedir.

Alüminyum ve alaşımları ısıtılma işlemleri sonucunda mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Diğer Mg, Si ve Cu gibi elementlerle alaşımlandırılarak ısıtılma işlemine tabi tutulan alüminyum alaşımlarında yüksek sertlik ve çekme mukavemetlerine ulaşılmıştır. Mekanik özelliklerdeki artış alüminyumun kullanım alanlarında artmasına sebep olmuştur.

2.3.2.8. Elastik Modül

Saf alüminyumun elastik modülü 6700 kg/mm^2 'dir. Çelik ile kıyaslayacak olursak alüminyumun elastik modülü çeliğin 1/3 kadardır.

2.3.2.9. Brinell Sertliği

Alüminyumun saflığı arttıkça sertliği düşer aşağıdaki Çizelge 2.2'de değişen alüminyum yüzdesi ile sertlik arasındaki ilişki değerleri verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere sertlik değerleri geniş aralıklarla değişim gösterebilir. Sebebi ise farklı ısıtılma işlemleri metalin sertlik derecesinin değiştirilebilmesidir.

Çizelge 2.2. Değişen alüminyum yüzdesi ile sertlik arasındaki ilişki.

Alüminyum %	99,20	99,50	99,80	99,99
Brinell Sertliği kg/mm^2	24-54	21-48	19-41	15-28

2.3.2.10. Çekme Dayanımı

Alüminyumun Saflık derecesinin artması ile süneklik artacak ve çekme dayanımı azalış gösterecektir.

2.3.2.11. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri

Yüksek kimyasal aktiviteye sahip olan alüminyum; oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin enerjisi yüksektir. Açık havada alüminyum üzerinde ince ve çok sık bir oksit tabakası mevcuttur. Bu oksit tabakası koruyucu bir film görevi görür ve asıl metalin korozyondan dolayı tükenmesini önler. Saf alüminyumun korozyon direnci ticari alüminyuma göre daha yüksektir. Alüminyum ergime sıcaklığında daha hızlı oksitlenir. Genellikle ince taneli metal ısıtılınca korozyon direnci azalma gösterir. Alüminyumda oluşan oksit tabakası korozyon direncini artırdığı gibi mekanik yüzeydeki aşınma mukavemetinde artırıcı yönde etki eder. Bu sebeple alüminyumun oksijene karşı eğilimi alüminyum kaynağında olumsuzluk oluştursada faydalı olduğu yönleride vardır.

Alüminyumun oksijene ilgisi sebebiyle çeliklerin termit kaynağında dezoksidan olarak kullanılmaktadır (Oğuz, 1990).

Safsızlık oranı yüksek olan alüminyum birçok asite karşı dayanıklıdır fakat sulu ortamlarda çözünürler, bu sebeple nitrik asit ve organik asitlerin depolama kapları alüminyumdan imal edilir. Katı ve ergimiş alüminyumlarda hidrojenin çözünürlüğü oldukça fazla göre daha fazladır. Karbondioksit ile çabuk reaksiyona girerler Hidrojenin sıvı alüminyumda çözünürlüğü katı alüminyuma göre daha fazladır. Gaz belli sıcaklıklarda kolayca metalden dışarıya yayılır. Alüminyum oda sıcaklığında şekil değişimine uğradığında çekme ve akma mukavemeti artar. Buna karşın uzama miktarı, şekil değiştirme kabiliyeti ve korozyon direnci azalır. Alüminyumun sıcak şekil değiştirmesinin soğuk şekil değiştirmeye göre farkı soğuk şekillendirmede taneler bozulur sıcak şekillendirmede ise taneler tekrar düzgün hale geçer fakat ısıya maruz kaldığı için mukavemet düşer (Karadağ, 2011).

Alüminyum ve alaşımlarının mekanik özelliklerini düşük ve yüksek sıcaklık değerlerinde incalayacak olursak alüminyum ve alaşımları 485 °C ve 650 °C sıcaklıklarda ergime özelliği göstermektedir. 93 °C sıcaklıklarda ise yumuşama özelliği gösterir. İçerisindeki alaşım elementlerine göre 200 °C sıcaklıklarda sertliklerini koruyabilen alüminyum alaşımlarında da vardır. Mukavemet, sertlik ve elastik modül artan sıcaklıklarda azalma gösterirken sıcaklık artışı devam ettikçe kopma uzaması artar. Yüksek sıcaklıklarda emniyetli bir şekilde çalışacak alüminyum alaşımlarında alaşım elementleri önem arz etmektedir. Örneğin %3,5'dan fazla magnezyum içeren alüminyum alaşımların da 65 °C ve üstündeki sıcaklıklarda kullanımı uygun değildir. Bu gibi çalışmalar için 5554 ilave metali ile alaşımlandırılmış alüminyum alaşımları tercih edilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise Alüminyum ve alaşımlarının mekanik özelliklerinde iyileşme gözlenir - 195 °C kadar yapılan araştırmalarda sertlik, elastik modül, yorulma mukavemetinin ve uzamanın sıcaklık düştükçe arttığını göstermektedir (Oğuz, 1990).

2.3.3. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum ve alaşımlarının en fazla korozyon direnci ve hafifliği özellikleri göz önünde bulundurularak ilk olarak iletken imalinde, otomotiv ve imalat sanayi başta olmak üzere inşaat, sanayi, enerji ulaşım sektörlerinde kullanımları giderek artış eğilimindedir. Kullanım alanlarına paralel olarak dünyadaki alüminyum üretimide yıllara göre artmaktadır.

2.3.3.1. *Alüminyum ve İnşaat Sektörü*

Alüminyumun inşaat sektöründeki kullanım alanları arasında binaların çatı ve cephe kaplamaları, çelik konstrüksiyon yapı ve sera yapımında, inşaat iskelelerinde kullanılmaktadır. Alüminyum mukavemetli olmasının yanısıra dekoratif görüntüsü ve korozyon dayanımı sebebiyle yapı sanayinde farklı seçenekler sunar (Darıdereli, 2010).

2.3.3.2. *Alüminyum ve Ambalaj Sanayi*

Alüminyum ambalaj sanayinin vazgeçilmez hammaddesi konumundadır. Alüminyum konteyner imalatından ilaç kutularına kadar çok çeşitli ambalaj uygulama alanları vardır. Diş macunu tüpü, alüminyum folyo ve meşrubat kutularına kadar birçok üründe kullanılmaktadır. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklini alması hava geçirmezliği sebebiyle ideal bir ambalaj malzemesi olur (Darıdereli, 2010).

2.3.3.3. *Alüminyum ve Taşıt Sektörü*

Alüminyumun en çok kullanıldığı sektörlerden birisi de taşıt sektörüdür. Alüminyum malzeme kullanımının %25'i taşıt sektöründe kullanılmaktadır. Taşıt sektöründe alüminyumun hafif olması sebebiyle taşıtın hareket etmesinin daha düşük enerjiyle sağlanabileceği için bu sektörde alüminyum hayati bir önem teşkil etmektedir. Bir otomobilde ortalama 125 kg alüminyum kullanılmaktadır, bu sebeple yaklaşık 100 kg demir-çelik bakır malzemelerden tasarruf sağlanmış olur. Bir aracın kullanım ömrü boyunca alüminyum kullanılmamış bir araca göre ortalama 1500 litre daha az yakıt tüketimi olmuştur. Yakıt tüketiminin yanısıra çevre sağlığı açısından da faydası bulunmaktadır. Karayollarında trafik işaret tabelaları ve otoyol parapetleri gibi birçok malzemenin alüminyumdan yapılmasının sebebi ise dış ortamda bulunan bu malzemelerin korozyondan korunmasıdır. Alüminyumun taşıt sektöründe kullanıldığı alanlardan birisi de uçak yapımıdır. Uçağın %70'i alüminyumdan imal edilmektedir (Darıdereli, 2010).

2.3.3.4. *Alüminyum ve İletkenler*

Alüminyum ve alaşımlarında kontrollü bileşimin etkileri titanyum, vanatyum ve zirkonyumu gidermek için bor ilavesiyle her birinin özgül direncinin artması gibi sebeplerle rekabetçi malzemeler yerine düşük maliyetli yüksek elektrik iletkenliği olan alüminyum iletken malzeme üretiminde ilk sıradadır. Bu sebeple alüminyum kullanımının Avrupa'da %10, ABD %9 ve Japonya'da %7 elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır. Bu sektörde alüminyumun en çok kullanıldığı alanların

başında elektrik nakil hatlarıdır. Elektronik alanında ise transistör soğutucuları, kayıt diskleri ve elektronik cihazların kasalarının yapımında kullanılmaktadır (Darıdereli, 2010). Alüminyum iletkenler çelik takviyeli tek bir tel veya örgü tel grubu olabilen yüksek mukavemetli, telin kesitiyle belirlenebilen elektriksel direnci olan iletken tiplerinin üretimi alüminyum ve alaşımlarından imal edilmektedir (Asm Handbook, 1992).

2.3.3.5. Alüminyumun Yeni Teknolojilerde Kullanımı

Alüminyum, farklı alaşım elementleri kullanmak yoluyla özellikleri geliştirilerek, alüminyum piller ve alüminyum köpükler gibi teknolojik malzemelerin üretiminde kullanılabilir. Günümüzde nikel-kadmiyum gibi akülerle çalışan araçların menzilin alüminyum pillerle 100- 300 km'ye çıkarılacağı hesaplanmıştır (Günay, 2006).

Alüminyumdan köpük üretimi hakkında da birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu ürünler taşımacılıkta, havacılık ve otomotiv sanayinde alüminyumun yüksek mukavemeti, korozyon direnci ve yanıcı olmaması gibi birçok üstün özelliği sebebiyle geniş uygulama alanı bulmaktadır.

Yeni teknoloji alüminyum malzeme üretimlerinin pahalı olması sebebiyle maliyeti azaltıcı yönde yeni üretim metotları geliştirilmektedir.

2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum ve alaşımlarının saf halde kullanım alanları sınırlıdır. Çünkü saf haldeki alüminyum alaşımının mekanik özellikleri düşüktür alaşımlandırma işlemi ile özellikleri geliştirilir. Alaşımlama sayesinde ısı işlemlere ve sertleşmeye elverişli hale gelir soğuk ve sıcak şekillendirme işlemi kolay makinada talaş kaldırma işlemi zordur. Makinede yapılan şekillendirme işlemleri yüksek hızda özel keskin takım malzemeleri kullanılarak gerçekleştirilir. Alaşımlandırma işlemiyle özellikleri geliştirilen alüminyum alaşımının kullanım alanları da genişlemektedir. Sertleştirme işlemi sayesinde 600 N/mm² dayanıma ulaşabilen ve bu özelliğinin yanında sertleşebilen alüminyum alaşımı deniz suyunun olumsuzluklarına karşı dayanıklıdır (Karagöz, 2008).

Alüminyum alaşımları alaşımın yapılış şekline göre döküm ve işlenebilen alaşım olmak üzere ikiye ayrılır. Alaşım elementlerinin oranı %15'i geçmemelidir. Bu oranı geçtiğinde yüksek alaşımlandırma yapılmış olur ki bu alaşım elementleri alüminyumda

çözünemezler ve çok sert ve gevrek bir yapı oluşurak mekanik mukavemet açısından olumsuz sonuçlar doğurur. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum işlenebilen ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısı işlem uygulanabilmektedir (Sevinç, 2002).

Alaşım elementleri alüminyum içerisinde 3 farklı biçimde bulunurlar (Güngör, 2013).

- 1) Alüminyum içinde katı durumda çözünebilirler
- 2) Katı durumda alüminyum içinde çözünmeyip veya sınırlı miktarda çözünüp, mekanik bir karışım oluşturabilirler.
- 3) Alüminyum ile kendi aralarında metaller arası bileşik veya kimyasal bileşik oluşturabilirler (Güngör, 2013).

Alüminyum alaşımında en çok kullanılan element magnezyum elementidir. Alaşımlama işlemi yapılırken Alüminyumun en belirgin özelliği olan hafiflik, korozyon direnci ve kolay işlenebilme özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmemesine dikkat edilmelidir.

2.4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyumdan istenilen özelliklere göre farklı alaşım elementleri kullanılmaktadır. Alüminyum diğer alaşım elementleriyle sıvı halde kolayca karışabilir. Alaşımlama işleminde elementler bileşik haline gelir ve özellikleri daha iyi hale gelir. Alüminyumun başta bakır olmak üzere magnezyum, mangan, silisyum ve çinko gibi birçok elementle alaşım oluşturma kabiliyeti vardır.

Anlaşımlandırılmadaki şekil verme yöntemine göre alüminyum alaşımları iki ana grupta incelenebilir. Bunlar,

- 1) İşlem alüminyum alaşımları
- 2) Döküm alüminyum alaşımlarıdır.

Bu alaşımların sınıflandırılmasında birçok standart kullanılmaktadır. Genel olarak Alüminyum Birliğinin (Aluminium Association) standardı kullanılır. Standartların ortak noktası ise alaşımları İşlem ve Döküm alüminyum alaşımları olarak sınıflandırmalarıdır. (Taban, 2004).

2.4.1.1. İşlem Alüminyum Alaşımları

Alüminyum işlem alaşımlarında Alüminyum Birliğinin (Aluminium Association) geliştirdiği Çizelge 2.3'de işlem alüminyum alaşımlarında görüldüğü gibi 4 rakamdan

oluşan simgeleme metodu kullanılmıştır.

Çizelge 2.3. İşlem alüminyum alaşımları (Mathers, 2002).

Simge	Temel alaşım elementi
1XXX	Saf Alüminyum (%99,00 Al)
2XXX	Al-Cu
3XXX	Al-Mn
4XXX	Al-Si
5XXX	Al-Mg
6XXX	Al-Mg-Si
7XXX	Al-Zn
8XXX	Diğer Elementler
9XXX	Kullanılmayan Dizi

Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. Son iki rakam ise %99 değerinin noktadan sonraki değerini belirtir.

Örneğin 1060 alaşımındaki son iki rakam alüminyumun %99,60 saflıkta olduğunu gösterir soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen empürite elementlerinin sayısını gösterir. 2XXX den 8XXX'e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam ise alaşım bileşimindeki değişimleri gösterir. Son iki rakam ise değişik alaşımları belirlemek amacıyla kullanılır (Darıdereli, 2010).

Dövme alüminyum alaşımlarını ısıtma işlemi uygulanabilme durumlarına göre sınıflandırdığımızda 1XXX, 3XXX, 5XXX serisi dövme alüminyum alaşımları ısıtma işlemi uygulanamayan ve sadece şekil değiştirme yolu ile setleştirilebilen alüminyum alaşımlarıdır. 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX alüminyum alaşımları ise ısıtma işlemi görerek sertleşmektedir. 4XXX serisi alüminyum alaşımlarının ise hem ısıtma işlemi uygulanabilen hemde ısıtma işlemi uygulanamayan bir alaşım türü olduğu ve bu özelliğin ark kaynak işlemi uygulamalarında göz önünde bulundurulması gereken bir etken olduğu belirtilmiştir (Taban, 2004).

1XXX Serisi: Saflık oranı %99 veya daha fazla olan alaşım tipidir. Bu tip alaşımlarda iyi termal ve elektriksel özellik, yüksek korozyon direnci, iyi işlenebilme kabiliyeti fakat düşük mekanik özelliği vardır. Deformasyon sertleşmesiyle bir miktar mekanik özellikler iyileştirilebilir. Düşük dayanımı sebebiyle ambalaj, folyo, çatı ekstürüzyon kaplama

korozyon dayanımının iyi olması sebebiyle gemi ve tankların yapımında kullanılmaktadır (Mathers, 2002).

2XXX Serisi: Alüminyumun alaşımlandırılmasında en çok kullanılan elementtir. Bakır alaşıma kopma mukavemeti, elastite sınırı ve en çok sertlik özelliğini arttırıcı yönde etki eder. Buna karşın alaşımdaki bakır oranının artması ile süneklik ve işlenebilme kabiliyeti azalır (Karadağ, 2011). Bu alaşımların özelliklerini arttırmak için ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir. Genellikle rulo, levha, ekstrüze edilmiş formlarda bulunurlar. Yüksek mukavemet istenilen havacılık sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. Yüksek Gerilmeye maruz kalan parçalar, havacılık ürünleri, silindir kafaları ve piston yapımında kullanılmaktadırlar (Mathers, 2002).

3XXX Serisi: Dövme alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementi mangandır. İyi kaynaklanabilme özelliği, yüksek mukavemet ve korozyon direnci sağlar. Mangan oranının fazla miktarda olması haddeleme sırasında çatlak oluşumuna sebep olur. Bu alaşımlara genellikle ısıtılma işlemi uygulanmaz. Boru ve sıvı tankları ve karmaşık şekilli yapılarda kullanılmaktadır. 3XXX alüminyum alaşımları kaynak işlemindeki davranışı saf alüminyum ve alaşımıninki gibidir arasındaki fark çökeltilerin bileşimidir. Alüminyum ve mangan alaşımında sıcak çatlama nadiren rastlanmaktadır fakat 3XXX serisi alaşımlarının bakır ve magnezyum içeren alaşımları sıcak çatlama dayanıklı değildir (Karadağ, 2011).

4XXX Serisi: Alüminyum alaşımlarında bakırdan sonra en çok kullanılan alaşım elementi silisyumdur. Alaşıma iyi kaynaklanabilme, mukavemet ve akışkanlık özelliği kazandırır. Magnezyum ile birlikte olan alaşımlarda magnezyumun akışkanlığı azaltıcı özelliğini giderir. Döküm özelliklerinin iyi olması sebebiyle karmaşık şekilli döküm işlemlerinde kolaylık sağlar (Karadağ, 2011). Silisyum alaşıma belli oranlarda (%10-12) ilave edilerek gevreklik olmadan ergime derecesini azaltır ve bu sebeple alüminyum silisyum alaşımını alüminyumun düşük ısıda sert lehimlemeyle birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu tip alaşımlar dövme motor pistonlarının imal edilmesinde kullanılmaktadır (Yalçın, 2010).

Termal genleşme katsayısı düşük aşınma direnci ve korozyon direnci yüksek olan ve genellikle tel ve döküm formlarında bulunan alaşım çeşididir. Bir miktar çökelme sertliği sağlamak için çoğunlukla bakır ve magnezyumla alaşımlanır ve yüksek sıcaklık özelliklerini iyileştirmek için nikel ile kaplanır. Yüksek akışkanlığı ve düşük sıcaklığa duyarlılığı nedeniyle, genellikle kaynak dolgu metali olarak kullanılır (Mathers, 2002).

5XXX Serisi: Magnezyum alaşımın korozyon direnci, süneklik ve iyi bir kaynak kabiliyeti iyidir. Fakat alaşımının döküm kabiliyeti iyi değildir ve bu sebeple karmaşık yapılı döküm işlemlerinde zorluklarla karşılaşılmaktadır. Alaşımlardaki oranlar dikkat edilmelidir mesela %10'a kadar magnezyum ihtiva eden alaşımlarda yüksek mukavemet ve korozyon direnci iyi derecededir. Fakat %2'den fazla magnezyum ihtiva eden alaşımlarda gevreklik sorunu ortaya çıkmaktadır. Magnezyum ana alaşım elementi veya manganla birlikte kullanıldığında oluşan alaşım orta ve yüksek alaşımlı ısı ışlem uygulanamayan bir alaşım türüdür. Kaynak kabiliyeti iyi olması sebebiyle Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde ve otomotiv sanayinde geniş kullanım alanı bulunmaktadır (Karadağ, 2011). 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynak yapılmasında benzer bileşimindeki kaynak metali kullanılır. Aksine farklı bir bileşimde kaynak metali kullanıldığında magnezyum iğeriği stres korozyon riskini arttırır. Kaynak dolgu metalindeki magnezyum alaşım oranı en az %3,5 oranında olmalıdır (Mathers, 2002).

6XXX Serisi: Alüminyum alaşımının içerisinde magnezyum silikat (Mg_2Si) ihtiva eden ısı ışlem uygulanabilen alaşım türüdür. 2XXX ve 7XXX alaşımları kadar dayanıklı olmasalar bile bu alaşım tipi şekillendirilebilme, işlenebilme ve korozyon direnci olan alaşımlardır. zeltiye alma işleminden sonra yapay yaşlandırma işlemi ile mekanik özelliklerinde iyileşme gözlenir. Yüksek mukavemetli yapı elemanlarında, taşıt, vagon, denizcilik ve mimari uygulamalarda yoğun olarak kullanılırlar (Mathers, 2002).

7XXX Serisi: Bu alaşım tipinde belirli oranlarda (%1,8) inko elementi bu alaşım türünün önemli bir bileşenidir. Magnezyum ile birlikte kullanılmaları ile alaşıma yüksek dayanım ve ısı ışlem uygulanabilme kabiliyeti kazandırır. Çoğunlukla Cu, Cr gibi elementler az miktarda katılır. Yüksek Mukavemetli yapı elemanları, askeri köprüler ve zırh plakası yapımında kullanılırlar (Mathers, 2002).

8XXX Serisi: Bu alaşım tipi genellikle alüminyum ve silisyum içeren alaşımdır.

2.4.1.2. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm alaşımlar genellikle pres döküm, kalıp döküm, kum döküm gibi döküm yöntemleriyle dökülürler. Proses varyosyanları düşük basınçlı santrifüj gibi kalıplama ile ilgili işlemleri içerir ve erimiş alüminyumu döküm kalıplara doldurularak döküm alüminyum elde edilir. Birinci sınıf mühendislik dökümleri bütünlük ve yakın boyutlu tleranslar ve seçilen alaşım için kontrol edilebilir mekanik özelliklerde yüksek mukavemetli olarak döküm işlemleri gerçekleşmelidir (Asm Handbook, 1992).

Alüminyum döküm alaşımlarında Alüminyum Birliğinin (Aluminium Association) geliştirdiği Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi 4 rakamdan oluşan simgeleme metodu kullanılmıştır. İşlem alaşımındaki standartlaştırmadan farklı olarak 3. rakamdan sonra bir nokta konulmasıdır. Burada 1xx.x serisi için, ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun noktadan sonraki saflık değerini belirtir. Noktadan sonraki rakam ise ürünün şeklini belirtir. Aşağıda ürün şekilleri ve rakamsal karşılıkları verilmiştir (Turhan, 2002).

Noktadan sonraki son rakamın dökümün şeklini karakterize ettiğinden bahsetmiştik. Döküm alüminyum alaşımlarında üç tür döküm şekli gösteren rakamlar vardır. Bunlar;

0: Döküm

1: İngot

2: Modifiye edilmiş İngottur.

Çizelge 2.4. Döküm alüminyum alaşımları (Güngör, 2013).

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XX.X	Minimum %99,00 Al
2XX.X	Al-Cu
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si
4XX.X	Al-Si
5XX.X	Al-Mg
6XX.X	Kullanılmayan Dizi
7XX.X	Al-Mg-Zn
8XX.X	Al-Sn
9XX.X	Diğer Elementler

Bu tür alaşımların büyük bir çoğunluğu silisyum içerir. Silisyum alaşımı %11,70 ötektik bileşimde olması sebebiyle üstün döküm özelliklerine sahiptir. Bu alaşımın korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliği çok iyidir. Döküm alüminyum alaşımlarına bir miktar bakır katılması talaş kaldırma özelliğini iyileştirir fakat korozyon direncini azaltır.

Döküm alüminyum alaşımlarına magnezyum ilavesiyle çökelme yoluyla sertleştirilerek deniz suyunun korozif etkisine karşı alaşım dirençli hale gelir (Taban, 2004).

1XX,X Saf Alüminyum

2XX,X Ana alaşım elementi bakırdır

3XX,X ana alaşım elementi silisyumdur. Endüstride kullanılan döküm alaşımlarının %90'ı bu alaşım serisindedir.

4XX,X Ana alaşım elementi silisyumdur.

5XX,X Ana alaşım elementi magnezyumdur.

6XX,X Bu döküm alaşım elementi kullanılmamaktadır.

7XX,X Ana alaşım elementi çinkodur.

8XX,X Ana alaşım elementi kalaydır (Mısırlı, 2011).

1XX,X, 5XX,X, 8XX,X döküm alaşımlarına ısıl işlem yapılmamaktadır. 2XX,X, 3XX,X, 4XX,X ve 7XX,X döküm alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilmektedir. Isıl İşlem uygulanamayan döküm alüminyum alaşımları çökelme sertleştirmesi işlemi ile sertlikleri arttırılmaktadır (Mısırlı, 2011).

Çizelge 2.5. Alüminyum ve alaşımları için temper seri numaraları (Başer, 2013).

Harf	Anlamı
F	İmal edildiği şekilde
O	Tavlanmış
H	Soğuk şekillendirilmiş
H1X	Sadece soğuk şekillendirilmiş (x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder)
H14	Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H16	Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar
H18	Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağla
H2X	Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar
H3X	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış
W	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş
T	Çözelti ısıl işlemi görmüş
T1	Yaşlandırılmış

Çizelge 2.5 (devam) Alüminyum ve alaşımları için temper seri numaraları.

	yaşlandırılmış
T3	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T4	Çözelti ısı işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısı işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısı işlemi görmüş ve kararlılaştırılmış
T8	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Alüminyum ve alaşımlarının dayanımını artırma derecesi, alaşımın ısı işlem görebilir veya pekiştirilebilir olmasına göre temper tanımlamaları geliştirilmiştir. Çizelge 2.5 alüminyum ve alaşımlarının temper seri numaraları belirtildiği gibi temper tanımlaması “T” ve “H” harfleriyle gösterilmektedir. Diğer tanımlamalar alaşımın tavlandığını (O), çözümlendirme uygulandığını (W) veya üretildiği şekilde kullanıldığını (F) gösterilmektedir. “T” ve “H” harflerini takip eden numaralar pekleşme miktarını, gerçek ısı işlem türünü veya alaşımın diğer özel işlem durumunu göstermektedir (Başer, 2013).

3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

3.1. ALÜMİNYUMUN KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynaklı birleştirme esnasında meydana gelen ısının etkisi sonucunda malzemenin özelliklerinde metalik ve metalürjik değişimler meydana gelir. Bu özelliklerde fazla bir değişim olmadan, malzemeye özel önlemler almadan kaynak işlemi gerçekleştirilebiliyorsa bu malzemeye iyi kaynak kabiliyetine sahip malzeme adı verilmektedir.

Kaynak kabiliyetini etkileyen 3 faktör vardır.

- 1) Malzeme özellikleri
- 2) Kaynak yöntemi
- 3) Kaynaklı konstrüksiyon özellikleri ve kullanım alanlarına göre değişir.

Alüminyumun alaşımlarının diğer kaynak yöntemlerine göre kaynak yapılabilme özelliği Çizelge 3.1 farklı kaynak yöntemlerine göre alüminyumun kaynak kabiliyeti değerleri gösterilmiştir (Uzun, 2015).

Çizelge 3.1. Farklı kaynak yöntemlerine göre alüminyumun kaynak kabiliyeti değerleri (Uzun, 2015).

Malzeme	Elektrik Ark K.	Oksi-Gaz K.	Lazer Kaynağı	Direnç Kaynağı	Sert Lehimleme	Yumuşak Lehimleme
Alüminyum	7	7	7	7	7	1

Alüminyumun diğer metallere göre farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyeti üzerinde önemli etkileri vardır. Bu etkiler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası
- Yüksek ısı iletkenliği
- Yüksek ısı genleşme katsayısı
- Ergime sıcaklığının düşük olması

- Ergime sıcaklığına ulaşıldığında renginde değişiklik meydana gelmemesi (Ayvaz & Çetinel, 2011).

Bu gibi özelliklere dikkat edilerek kaynaklı birleştirmedeki uygun bileşimi oluşturmak için kaynakta ısı verimliliği, ısıdan etkilenen bölgenin genişliği, sertlik ve mikroyapı değişimleri mekanik özellikleri doğrudan etkileyen etmenlerdir (Erdem & Türker, 2011).

Alüminyumun alaşım serilerinin kaynak kabiliyetine göre sınıflandıracak olursak işlem alaşımlarının koruyucu gaz kaynak yöntemleriyle kaynatılabilen alaşım çeşitleri ısı işlem kabul etmeyen 1XXX, 3XXX ve 5XXX alaşım serileridir. 6XXX serileri içerisinde ısı işlem kabul etmeyenlerinde kaynak kabiliyeti iyidir. 4XXX ve yüksek dayanımlı serilerinin ve ısı işlem uygulanabilen 2XXX serilerinde ark yöntemleriyle kaynak edilebilme özellikleri olsa da özel tekniklerin tatbik edilmesi gerekebilir ve düşük süneklik elde edilir. Dayanımı yüksek ısı işlem uygulanabilen 7XXX serilerinde kaynak yapılabilme özelliği mevcuttur fakat ITAB bölgeleri gevrek olur bu sebeple bu serilere kaynak uygulaması tavsiye edilmez (Oğuz, 1990).

Alüminyum ve alaşımları çok eski yıllarda kullanıma başlanıldığında sökülebilir birleştirme yöntemleri olan perçinli, cıvatalı, yapıştırımalı birleştirme yöntemleriyle kullanılmakta idi daha sonraları zorda olsa sökülemez birleştirme türü olan kaynaklı birleştirmeler alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılmaya başlanılmıştır. Kaynak teknolojisindeki gelişmelerle Alüminyum ve alaşımlarının kullanımı havacılık ve uzay endüstrisi, gemicilik endüstrisi, otomobil endüstrisinden zırh yapımına kadar birçok alanda artmıştır (Güngör, 2013).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağının diğer çelik malzemelerin kaynağına göre kıyaslandığında alüminyum ve alaşımlarının kaynağını zorlaştıran olumsuzluklar vardır. Ergitme ark kaynağı veya difüzyon kaynağı gibi yöntemlerle kaynaklanan parçalarda yüksek miktarda gözenek ve çatlak oluşmaktadır. Bunun sebebi alaşımların katılaşma sıcaklık aralıklarının geniş ve ısı genleşme katsayılarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarının daha önce bahsettiğimiz gibi yüzeyinde bir oksit tabakası bulunmaktadır. Bu oksit tabakası oksitin iç kısımlara ilerlemesini durdurur fakat kaynak kabiliyetini azaltıcı bir etki gösterir. Bu oksit tabakasının ergime sıcaklığı kaynak esnasında kaynak bölgesindeki sıcaklıktan çok daha yüksek (2050 °C) sıcaklıklardadır. Bu sebeple kaynak esnasında bu oksit tabakası elektrot ergirken kaynak dikişine geçer ve

kaynak esnasındaki damlacıkların arasında bağ oluşumunu engelleyerek kaynak dikişi içerisinde bölgesel olarak çökmüş şekilde bulunurlar bu durumda kaynak dikişinin mekanik özelliklerinin zayıf olmasına sebep olur. Bu oksit tabakasını ortadan kaldırmak için gaz ergitme kaynak yöntemlerinde kimyasal olarak dekapan aracılığıyla, basınçlı kaynak yöntemlerinde mekanik olarak yapılan uygulama, Koruyucu gaz kaynak yöntemlerinde ise kaynak esnasında oluşan ark tarafından oksitin olumsuz etkileri ortadan kaldırılır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında seri üretimde en çok TIG ve MIG kaynakları kullanılmaktadır (Oğuz, 1990). Oksit tabakasını daha önce bahsettiğimiz koruyucu gaz kaynak yöntemiyle etkisinin ortadan kaldırılması yönteminde arkın özelliğini alüminyum kaynağına uygun hale getirmek için, doğru akım ters kutuplama (Eloktrot Pozitif Kutupta) kullanımı ile argon gazı korumasıyla kaynak akımı kaynak banyosunun önündeki oksit tabakasını temizler kaynak işleminden önce kaynak ağızları tel fırça ile mekanik temizleme işlemine tabi tutulmalıdır (Tülbentçi, 1990).

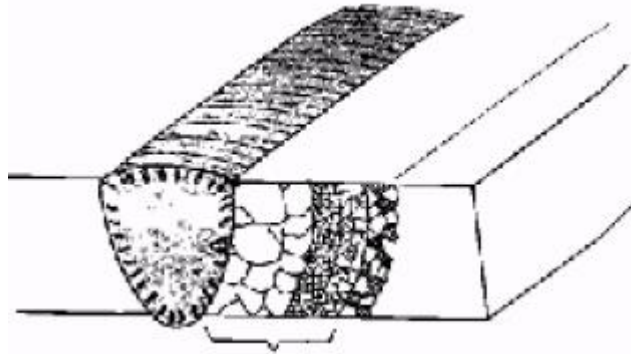
Kaynak bölgesindeki oksit tabakasının kırılmasında kullanılan ters kutuplama yöntemi MIG kaynağında daha iyi sonuç veren bir işlemdir. Elektrot ters kutuplama yapıldığında elektron akışı meydana gelir. İş parçası ve elektrot iyonları ters yönde hareket ederek iyonlar iş parçasını bombardıman eder bombardıman ile oksit tabakası parçalanır ve kaynak metali ile iş parçasının ergiyiği düzenli bir akış oluşturur. TIG Kaynağında oksit tabakasının ergimesi için doğru akım negatif kutuplama yöntemi kullanılır. Doğru akım pozitif kutupta kaynak işlemi elektrodun çok fazla ısınmasına sebep olduğu için bu kutuplama tarzı TIG kaynak yönteminde tercih edilmemektedir. Bu sebeple alternatif akım ile pozitif kutupta yarı çevrimle oksit filmini ortamdan uzaklaştığı için alüminyum ve alaşımlarının TIG kaynağında birleştirilmesinde alternatif akım kullanılır (Mathers, 2002).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağındaki bir diğer olumsuzluk ise kaynak sırasında meydana gelen ısı çevrimidir. Ana kaynak metalindeki alaşım elementinin kaynak esnasında ergimiş bölgede veya ana metalde çökelmiş hale gelmesidir bu durumda kaynak bölgesi ile ana metal arasında bileşim farkına sebep olur ve mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenir (Tülbentçi, 1990). Kaynak esnasında ısı çevrim sebebiyle kaynak bölgesi 3'e ayrılır. Bu bölgeler kaynak dikişi, ısıdan etkilenen bölge ve ana metaldir. Bu bölgelerin bileşimleri farklı olduğundan ısıdan etkilenen bölge metaller arasında en çok alüminyum ve alaşımlarında gerçekleşmektedir. Bunun sebebi, alüminyumun yüksek termal iletkenliği ve soğuk işleme sertleştirilmiş olmasıdır. Bu

sebeple alaşımın döküm ve tavlınmış durumda olmasına dikkat edilmelidir. (Mathers, 2002). Kaynaklı konstrüksiyonlarda ITAB bölgesi ve ana metal arasındaki bileşim farklılıklarının tamamen ortadan kaldırılması için yapılan ve en çok tercih edilen yöntem, tavlınmış halde kaynak edilip daha sonradan eriyik işlemi ve yaşlandırma işlemi uygulanmasıdır. Tavlınmış koşullarda ısıl işlem kabul eden veya etmeyen kaynaklı veya kaynaklı alaşımların mukavemet farklarının azdır.

Isıl çevrim sonucunda alüminyum ve alaşımının kaynağında ısıdan etkilenen bölge hakkında yapılan çalışmalar farklı alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynak yöntemiyle kaynatılması konulu çalışmada sertlik ölçümleri sonucunda birleştirmenin her iki taraftaki ITAP bölgesi ile kaynak metalinin sertliklerinin birleştirilen her iki ana metalin sertliklerinden fazla olduğunu göstermiştir. Mikroyapı çalışmaları sonucunda ise kaynak metalinin her iki ana malzeme ve ITAP bölgesine nazaran daha ince taneli olduğu tespit edilmiştir (Yürük & Kahraman, 2016).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağının, diğerk çelik malzemelerin kaynağı ile kıyaslandığında bazı zorluklar olduğu görülmüştür. Ergitme ark kaynağı veya difüzyon kaynağı gibi yöntemlerle kaynaklanan parçalarda yüksek miktarda gözenek ve çatlak oluşmaktadır. Bunun sebebi, alaşımların katılaşma sıcaklık aralıklarının geniş ve ısıl genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır.



Şekil 3.1. Ergitme kaynağında ITAB bölgesinin tane yapısı (Anık S. , 1991).

Kaynaklı birleştirmelerde ısı tesiri altında kalan bölgedeki malzeme yapısının deforme olmasını azaltacak yöntemlerden bir diğeri de kaynak esnasında ısı dağılımını dar bir bölgede toplayarak ısıdan etkilenen Şekil 3.1 görüldüğü gibi bölgenin minimum düzeyde tutulması gereklidir. Bu şekilde ısıdan etkilenen bölgeyi sınırlayarak malzemenin mukavemet artışının sağlanması için kaynak metalinde daha fazla dentiritik yapının artması, kaynak dikişinin soğuması esnasında kaynak dikişinin kimyasal

kompozisyonunun daha az etkilenmesi için kaynak hızının arttırılması, daha dengeli ısı kontrolü, DC Darbeli akım kullanarak daha az ısı girdisiyle kaynak işlemini gerçekleştirmek için tavsiye edilen öneriler içerisinde (Köse & Tatlı, 2014).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağındaki bir diğer olumsuzluk ise kaynak sırasında meydana gelen sıcak çatlama. Sıcak çatlama kusuru saf metallerde oluşmayan ve ancak bazı alaşım sistemlerinde bulunan kaynak sorunudur. Bu sorun alüminyumun ısıyı iyi iletmesi sebebiyle yüksek ısı yayılımından oluşan çatlama mekanizmasıdır. Alaşım elementlerinin saf bir metale eklenmesi saf metalin donma, ergime sıcaklıklarında değişikliğe sebep olacaktır. Bunun sebebi katı bir çözeltili saf metalin içerisinde ötektik ve intermetalik bileşik gibi farklı fazların oluşmasına sebep olur. Bu sebeple çatlama riskini önlemek için dolgu metali olan elektrot ile kaynak banyosunun bileşimi kontrol edilerek kaynatılacak malzemenin bileşimine yakın kaynak elektrodu seçimi yapılmalıdır (Mathers, 2002).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynatılmasındaki kaynak yöntemini belirlemek için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Karadağ, 2011).

- Ana metalin bileşimi
- Kaynatılacak ana metallerin kalınlık farkları
- Çalışma koşulları
- Kaynak donanımı
- Kaynak sonrası işlemler.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında malzeme kalınlığı gözetmeden daima sprej ark ile çalışmak tercih edilir. İnce parçaların kaynağında ise darbeli geçiş arkı kullanılmaktadır (Anık, 1991). Sprej ark kullanımında yüksek ısı girdisi olur ve yüksek ısı iletkenlik sebebiyle kaynak banyosu çabuk katılaşır bu sebeple her pozisyonda kaynak yapabilme kabiliyeti oluşur. Sprej ark ile kaynak esnasında alüminyumda oluşan oksit tabakasının temizlenmesi için daima sola kaynak yöntemi uygulanmalı dik kaynaklarda ise aşağıdan yukarıya kaynak yapılmalıdır. Kaynak dikişi düz veya dar zig zag hareketleriyle çekilmelidir. Geniş zig zaglar kaynak dikişinin oksitlenmesine sebep olmaktadır (Tülbentçi, 1990).

Alüminyumun oksijene karşı duyarlılığı sebebiyle koruyucu gaz olarak soy gazlar kullanılır. Saf argon gazı genellikle alüminyum kaynağında kullanılmaktadır. Ancak

koruyucu gaz olarak argon gazı kullanımı yeterli ölçüde yüksek plazma sıcaklığı elde edilemediğinden alüminyumun yüksek ısı iletkenliği ile birlikte istenmeyen olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Düşük dayanımlı dikiş, Düşük nufuziyet ve fazla gözeneklilik sık karşılaşılan sorunlardır. Bu gibi sorunlar Argon-Helyum gaz karışımlarının kullanımıyla giderilmiştir. Bu gaz karışımı ile yüksek plazma sıcaklığı elde edilerek daha derin ve geniş bir nufuziyet alanı elde edilmektedir. Daha kararlı ve yüksek sıcaklık elde edilen bu gaz karışımı argon gazına kıyasla %85 daha yüksek kaynak hızı elde edilmesini sağlamaktadır (Anık, 1991).

Alüminyum kaynağında oluşturulan kaynak dikişinin dayanımı ana malzemenin dayanımından azdır. Çeliklerin kaynağında kaynak dikiş dayanımı ana malzemeye yakındır. Alüminyumda bu kaynak mukavemetinin az olmasının sebebi ısıl işlem uygulanmış alüminyum alaşım çeşidinde kaynak dikişinin uygulandığı bölgeye yerel olarak yaşlandırma işlemi uygulanmış olur bunun sonucunda malzeme yaşlandırma seviyesine dönmüş olur ve malzemede yumuşama meydana gelir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında meydana gelen hataları sıralayacak olursak alüminyum kaynağınının diğer metallerin kaynağına göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesine rağmen kaynak esnasında malzemeye ısı girişininin sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerekir bu sebeple kaynak öncesi iş parçasının yüzeyindeki kararlı oksit tabakasının temizlenmesi gerekir, alüminyumun yüksek termal genleşme katsayısı sebebiyle kaynakta çatlama görülür, alüminyumun ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle daha fazla ısıya ihtiyaç vardır fakat yüksek ısı girişi bozulmalara ve çatlamalara sebep olur, katılma esnasında yüksek büzülme oranları çatlama riskini arttırmaktadır. Hidrojenin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü gözenek oluşumuna sebep olur (Olabode, 2015).

Bu gibi kaynak ısisından kaynaklanan kaynak hatalarından daha önce bahsetmiştik şimdi ise kaynak hatalarının çözümünü Çizelge 3.2’de detaylı olarak açıklanacaktır.

Çizelge 3.2. Alüminyum kaynağında karşılaşılan sorunlar ve çözümü (Odabaş, 2007).

SORUN	NEDENİ	ÇÖZÜMÜ
Gözenek	<ul style="list-style-type: none"> -Kaynak Banyosu Düzensizliği -Nemli Çalışma Ortamı -Yetersiz Gaz Akışı ve Kirli Gaz -Kaynak Banyosunun Hızlı Katılaşması 	<ul style="list-style-type: none"> -Kısa Kontakt Meme Kullanımı -Teli Rutubetsiz Ortamda Saklama, Kaynak Öncesi Metali Temizleme -Daha Yüksek Kaynak Akımı daha düşük kaynak hızıkullanılmalı kaynak metaline ön tav yapılmalı dikey kaynakta aşağıdan yukarı kaynak yapılmalı
Kaynak Dikişinde Çatlama	<ul style="list-style-type: none"> -Dolgu Metali Seçimi hatası Dolgu metaline ait kimyasal değerlerin kritik seviyede olması -Kaynak Ağzı hatası -Seçilen kaynak tekniği yanlış 	<ul style="list-style-type: none"> -Erime derecesinden daha düşük ergime noktasına sahip elektrot seçimi -Kaynak Ağız açısını ve parçalar arasındaki boşluğu arttırarak kaynak dikişindeki seyrelen metal seviyesini azaltmak -Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları için TIG Tel Kullanılmalı
Düzensiz Ark Tutuşması	<ul style="list-style-type: none"> -Topraklamada hata var. -Gaz koruması yok. -Kutuplama yanlış 	<ul style="list-style-type: none"> Topraklama kontrol edilmeli. -Arkı tutuşturmadan ön-gaz verin -Kutbu değiştirin
Kararsız Ark	<ul style="list-style-type: none"> -Elektrik Bağlantıları zayıf. -Birleştirilen yüzeylerde kir var. -Ark Üflemesi var. 	<ul style="list-style-type: none"> Elektrik bağlantıları kontrol edilmeli -Bağlantı bölgeleri temizlenmeli

3.2. ALÜMİNYUMUN VE ALAŞIMLARINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.2.1. Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Katı Hal Kaynak Yöntemi

Katı hal kaynağı adındanda anlaşılacağı üzere birleştirme işlemi gerçekleştirilecek olan alüminyum ve alaşımlarının ergime sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda basınç kullanılarak veya kullanılmayarak sıvı metal fazı olmadan gerçekleştirilmiş olan kaynak yöntemleridir. ITAB bölgesinde tamamen dar bir alanda gerçekleşir. Katı hal kaynakları uygulamada uygun basınç ve sıcaklık ortamında yüzeylerin karşı karşıya getirilerek kaynak işlemi esnasında plastik akış meydana gelerek metalürjik bağ oluşumu gerçekleşir. Katı hal kaynak yöntemlerini soğuk kaynak, sürtünme kaynağı, ultrasonik kaynak, difüzyon kaynağı ve patlatma kaynağı olarak sıralayabiliriz (Oğuz, 1990).

3.2.1.1. Soğuk Kaynak

Birleşme işleminin dışardan uygulanan mekanik kuvvet ile gerçekleştiği kaynak yöntemidir. Uygulanan mekanik kuvvetin oluşturduğu basınç ile şekil değişikliğine sebep olan bu kaynak yönteminde kaynak bölgesinin ana malzemeye göre daha sert olduğu fakat sünekliğinin ise daha az olduğu görülmektedir. Bu şekilde alüminyum, bakır ve çelik gibi malzemelerin korozyon dirençleride korunmuş olur. Alaşım türüne ve uygulanmış işlemlere göre kaynak esnasında uygulanan basınç değişiklik arz eder ve basınç. 105-350 kg/mm² arasında uygulanabilir. Düşük mukavemetli ısıl işlem uygulanamayan 1100 ve 3300 alaşım serilerine bindirme kaynak yöntemiyle yapılan birleştirmede iyi sonuçlar elde edilir. Sert alaşımlarda daha fazla şekil değişimine ihtiyaç vardır (Oğuz, 1990).

3.2.1.2. Patlatma Kaynağı

Birleştirme işleminin kontrollü şekilde gerçekleştirilen patlama sebebiyle gerçekleştiği katı hal birleştirme yöntemidir. Patlamanın etkisiyle oluşan mekanik kuvvet neticesinde birbirine sürtünen iş parçalarının yapılarında bozulma olmadan yüksek mukavemetli bir birleştirme elde edilmiş olur. Patlamanın etkisiyle oluşan dalga kuvveti metaller arasında kuvvetle kenetlenme oluşturarak birleştirmeye mukavemetin yanında uniformluk katar (Oğuz, 1990).

3.2.1.3. Difüzyon Kaynağı

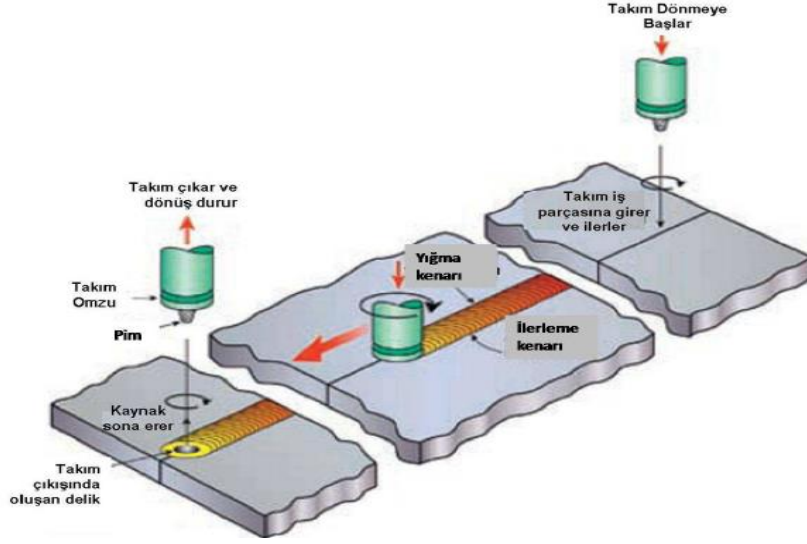
Birleştirme işleminin basınç ve yüksek sıcaklık uygulamasıyla gerçekleştiği katı hal

kaynak yöntemidir. Difüzyon kaynağı birçok alüminyum ve alaşımına uygulanmaktadır. En mukavemetli birleştirmelerini ve birleştirme kolaylığını Ag, Cu, Ag - Cu gibi aracı tabakalarının veya ilave telin difüzyona yardımcı elemanlar olarak kullanılması ile gerçekleştirilir. Difüzyon kaynağında yüzey hazırlık ve temizlik işlemleri süre, sıcaklık ve basınç gibi parametreler kadar önemlidir.

3.2.1.4. *Sürtünme Karıştırma Kaynağı*

Sürtünme Karıştırma Kaynak yöntemi sürtünme kaynak yönteminden geliştirilmiş bir katı hal birleştirme yöntemidir. FSW olarak bilinen kaynak yöntemi alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağındaki metalürjik olumsuzlukları önlemek ve birleştirme süresinin kısa olması yüzey hazırlama işlemlerinin az olması sebebiyle otomasyona kolay şekilde uyarlanabilme özelliği sayesinde geniş uygulama alanı bulmuş farklı geometrilerde kaynak yapabilme kabiliyeti sayesinde 1991 yılında İngiliz kaynak enstitüsünde W. Thomas tarafından geliştirilen kaynak yöntemidir. Yöntem uzay, uçak, otomotiv, yakıt deposu imalat sanayisi gibi alanlarda kullanılan 2000, 5000, 6000, 7000, 8000 gibi alüminyum ve alaşım serilerinin kullanım alanlarının yanısıra çelik, bakır ve titanyum alaşımlarının kaynağında geniş kullanım alanına sahiptir (Şık, Ertürk, & Önder, 2010).

Kaynak yöntemi uygulamada kolaydır. Dönen bir takım aparatına bağlanmış bir sürtünme aparatı ve karıştırıcı bir uçtan ibarettir. Karıştırıcı uç kaynak malzemesine batırılarak kaynak dikiş çizgisi boyunca birleşmenin sağlanacağı şekilde baskı kuvveti uygulanarak dönme hareketiyle ve ilerletilir. Bu kaynak yönteminin temelinde sürtünme ile oluşan ısı ile oluşan metal yumuşamasıyla uygulanan baskı kuvvetinin etkisiyle birleşme sağlanır. Sürtünme kaynağının şematik gösterimi Şekil 3.2’de görülmektedir (Güngör, 2013).

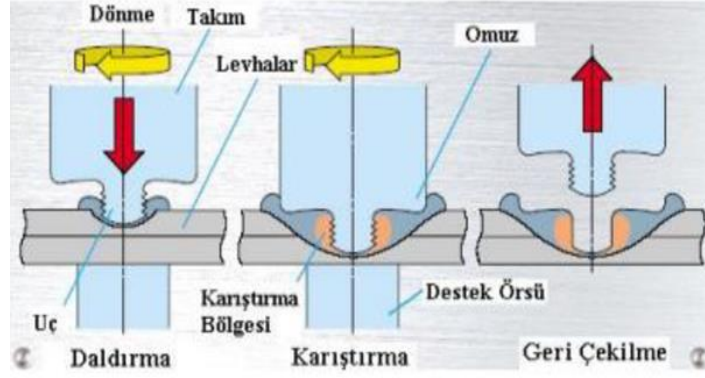


Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin şematik gösterimi (Güngör, 2013).

3.2.1.5. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı

FSW'den türetilen bu kaynak türü elektrik direnç kaynağından da esinlenerek keşfedilmiştir. İlk kullanımı otomotiv sektöründe olsa da günümüzde diğer endüstri kollarında da kullanılan bir kaynak türüdür. Yöntemin birleştirme mekanizması aynıdır. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin Şekil 3.3 şematik gösteriminde görüldüğü gibi uygulamalarında farklılık vardır. Sürtünme karıştırma kaynak aparatına benzer bir takımla dalma, karıştırma ve geri çekilme gibi uygulama aşamaları vardır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) Mazda otomobil üretim firması tarafından geliştirilmiş ve otomobillerin gövde kısmının birleştirilmesinde kullanılmıştır. Yöntem ayrıca koruyucu gaz, toz, tel ve elektroda gereksinim duyulmaması sebebiyle ek daha ekonomik ve çevre dostu bir kaynak yöntemidir (Mert & Mert, 2013).

Bu gibi avantajlarının yanı sıra kaynatılacak olan alüminyum ve alaşımının et kalınlığı ve kaynak işleminden sonra oluşan ucun deliği korozyon oluşumuna zemin hazırlaması gibi sebepler SKNK sınırlayan etmenlerdir.



Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin şematik gösterimi (Mert & Mert, 2013).

3.2.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Örtülü Çubuk Elektrotla Birleştirilmesi

Bu birleştirme yöntemiyle ısıl işlem uygulanarak sertleşmeyen alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Al-Si-Mg ve Al-Mg-Si serisi. Alüminyum ve alaşımları da bu kaynak yöntemiyle birleştirilme imkanı vardır. Fakat bu kaynak yönteminde kaynak dikişine yakın bölgelerde mekanik özellikler düşer. Çinko magnezyumlu alaşımlarda kaynak bölgesi herhangi bir işlem uygulanmadan mekanik özelliklerine tekrar sahip olurlar. Bu kaynak yönteminin uygulamasında elektrot pozitif kutupta (DATK) ve kaynatılacak parçanın rutubeti, kalın parçalarda uygun sıcaklıkta tavlama, elektrodun temizliği ve rutubetsiz olması ve kaynak esnasında elektrodu kaplayan dekapanın curuf kullanımı gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Örtülü elektrotla yapılan kaynak işlemi her ne kadar oksijenli kaynağı ile yapılan kaynak işlemi kadar mukavemetli olsada örtülü elektrotla yapılan kaynak işlemi 6mm'den daha az et kalınlığındaki malzemelere kaynak işleminde gerekli mukavemeti ve sızdırmazlığı sağlayamaz diğer bir olumsuzluk ise elektrodun ucunu kaplayan ergimiş dekapan tabakası arkın kesilmesine sebep olur ve daha sonra arkın yeniden tutuşması olmaz. Elektrik ark kaynağı ile alüminyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirme işlemi koruyucu gaz kullanılan TIG yöntemiyle karşılaştığımızda elektrik ark kaynağında ortaya çıkan ısının daha az olduğu ve bu sebeple kaynak dikiş bölgelerinde daha küçük tanelerin gözlemlendiği fakat ısıdan etkilenen bölgenin TIG kaynağına göre daha geniş olduğu ve TIG kaynağının ise daha dar Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ile daha nüfuziyetli kaynak dikişleri gerçekleştirilmiştir (Oğuz, 1990).

3.2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Oksi Asetilen Kaynağı ile Birleştirilmesi

Gaz ergitme kaynağı her türlü hafif metalin kaynağına uygulanabilen kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde en ideal alev tipi oksii asetilen alevidir. Kullanılan gazın değişimi ile oluşturulan hidrojen-oksijen alevi kaynak bölgesinde oluşturduğu ısı yoğunlaşmasının fazla olması sebebiyle oksii asetilen alevine göre daha fazla çarpımalara sebep olur ve bunun yanında Al-Mg gibi alüminyum ve alaşımlarının kaynağında gözeneğe yol açar bu özelliği sebebiyle alüminyum ve alaşımlarının kaynağında oksii asetilen alevi kullanılmaktadır. 6 mm'den daha kalın Alüminyum levhaların bu kaynak yöntemiyle kaynatılmasında tam nüfuziyet sağlamakla çatlamaya karşı ön ısıtma avantajıda sağlamaktadır. Kullanılacak olan kaynak teli ise sonradan ısı işlem uygulanacak iş parçaları için mümkün olduğu kadar kaynatılacak parçanın bileşimine uygun tel seçilir ve kaynak telleri hadde yağlarından arındırılmış dekape edilmiş şekilde olmalıdır.

Kaynak sonrasında ise geniş katılma aralığına sahip alaşımlar sıcak çatlama riskine karşı yavaşça soğutulacak ve yerlerinden ayrılmayacaklardır. Saf alüminyumda soğuk çekişleme işlemiyle mukavemet artar fakat korozyon direncinin düşmemesi için 400 °C sıcaklıkta tavlama işlemi gerçekleştirilmelidir. Fazla miktardaki korozyon zorlamalarında 350 °C'de sıcak çekişleme uygulanır bu işlem ile malzemenin kaba kristalleri bozulur ve korozyona karşı mukavemet artar (Oğuz, 1990).

3.2.4. Alüminyum ve Alaşımlarının Ultrasonik Kaynak ile Birleştirilmesi

Bu kaynak yöntemi basınç altında bulunan birleştirme işlemi gerçekleştirilecek alüminyum malzemelere yüksek frekanslı ultrasonik titreşim enerjisi uygulanarak birleştirme işleminin gerçekleştiği kaynak yöntemidir. Kaynak yüzeyindeki nispi hareketin etkisiyle alüminyum kaynağında sorun teşkil eden oksit tabakasını kırarak şekilde yüzey tabakasını plastikleştirmeye yetecek kadar ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bu ısı enerjisiyle doğal bir yapışma ve difüzyonu da içine alan kimyasal bir bağlantı elde edilmiş olur. Bu kaynaklı birleştirme sayesinde farklı kalınlıktaki malzemelerin birleştirilmesi, kaynaklı parçaların çarpılmaması, reaktif metallerin özel kontrollü atmosfere gerek olmadan birleştirilmesi gibi avantajları bulunmaktadır (Oğuz, 1990).

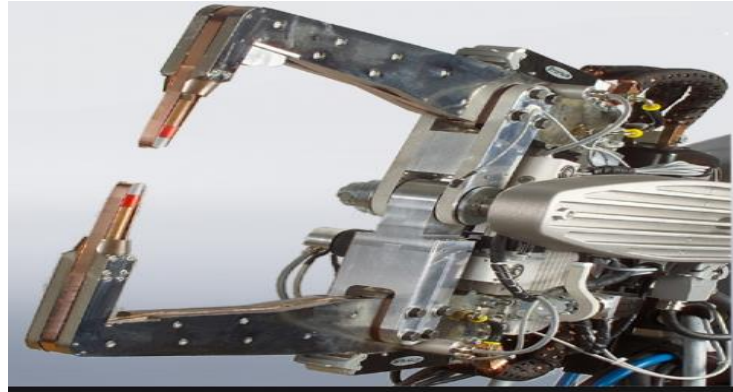
3.2.5. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektron Hüzmesi ile Birleştirilmesi

Alüminyum iş parçasının hızlı ve yoğun bir şekilde elektron bombardımanına tabi tutularak bu elektronların kinetik enerjisinin iş parçasında ısı enerjisine dönüşerek oluşan

ergime ile birleştirme işleminin gerçekleşmesidir. Elektron hüzme kaynağında havası boşaltılmış bir hücre vardır bu durumda kaynatılacak parçaların boyutuna göre sınırlama meydana getirir. Alüminyum ve alaşımlarının çoğu bu kaynak yöntemiyle gerçekleştirilebilir 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımları gibi ısı işlem kabul eden alaşım serilerinde sıcak çatlama hatası görülebilir. Isı girişine göre kaynatılacak parçaların et kalınlığında farklılıklar vardır. Örneğin 5083 alaşımı 130 mm 2219 alaşımında ise 50 mm et kalınlığına kadar alüminyum alaşımı kaynak edilebilmektedir.

3.2.6. Deltaspot Kaynak Yöntemi

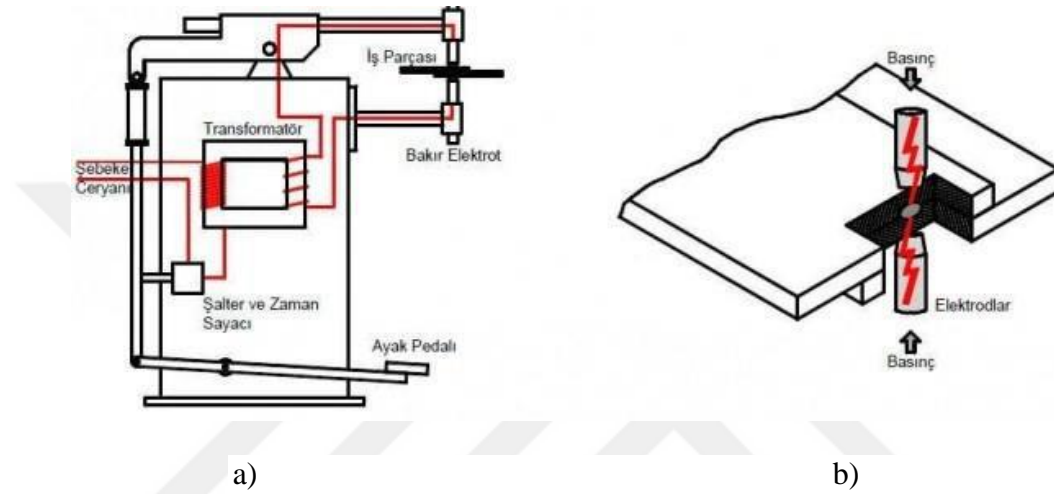
Elektrik direnç kaynağına benzer bir yöntemdir. Elektrik direnç kaynağının alüminyum ve alaşımlarına uygulanmasındaki birtakım zorluklar sebebiyle alüminyum saçların birleştirilmesi perçin ve cıvatalı olarak yapılmakta idi. Bu şekilde maliyetin fazla olması sebebiyle elektrik direnç kaynağı uygulama prensiplerine benzer deltapot kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Bu kaynak yöntemi hernekadar elektrik direnç kaynağı yöntemine benzese de deltapot kaynağında Şekil 3.4 görüldüğü gibi dönen proses bantları vardır bu bantlar iş parçası ve elektrotlar arasındaki teması önleyerek kaynak elektrodunun aşınmasını ve kaynak bölgesindeki ısı girdisi kontrol edilmiş oluyor. Otomotiv sanayisi için geliştirilen bir kaynak yöntemi olmasıyla beraber enbüyük avantajları perçin, yapıştırma gibi birleştirme yöntemlerinden daha mukavemetli, elektrik direnç kaynağına göre sıçrama olmadan ve ısı girdisi sebebiyle hem yapısal değişim hem şekil değişimli hasarlar olmadan kaynak yapabilmeye olanağı sağlamaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağı için geliştirilse de çelik-çelik, alüminyum-çelik kaynaklarında da kullanılır (Makina Tek, 2001).



Şekil 3.4. Deltaspot kaynak tabancası (Yuneka Metal Sanayi, 2018).

3.2.7. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı

Bu kaynak yöntemi Şekil 3.5'te görüldüğü gibi elektrotlar arasında basınç altında birarada tutulan iş parçasından geçen elektrik akımına karşı iş parçasının gösterdiği direnç sebebiyle elektrodun iş parçasına temas noktasında meydana gelen ısı ile baskı kuvvetinin uygulanarak birleştirme işleminin gerçekleştirilmesi işlemidir. Bu kaynak yönteminin alüminyum ve alaşımlarına uygulanabilmesi için yüksek mukavemetli ısıl işleme tabi tutulabilen alaşımların birleştirilmesinde kullanılmaktadır (Oğuz, 1990).



Şekil 3.5. Elektrik nokta direnç kaynağı şematik görüntüsü a) Genel görünüm b)Elektrot ve iş parçasının görünümü (Aslanlar, 2015).

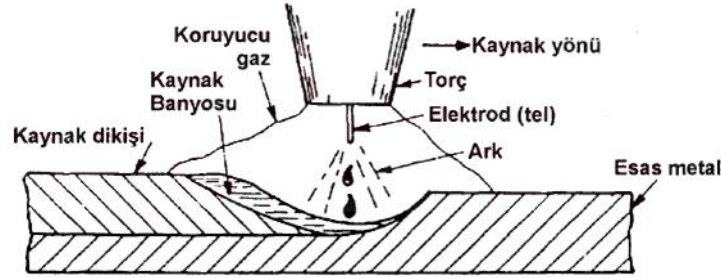
Kaynak kalitesini belirleyen 4 etken vardır. Bunlar; yüzey temizliği, malzeme üniformluğu elektrot ucunun temizliği ve uygulanan kuvvet ve akım şiddetidir. Çatlak ve gözeneklilik gibi kaynak hataları uc kuvvetiyle yakından ilişkilidir. Aşırı derecede kuvvet ve aşırı akım şiddeti kaynakta çatlamalara sebep olur, kaynak çekirdeğinden ergimiş metal atılması aşırı uygulanan kuvvet ve yüksek ısıdan meydana gelir. Kaynaklı birleştirme et kalınlığının %20'si ile %80 arasında nufuziyet elde edilen kaynak noktaları verimli kaynak uygulaması olarak değerlendirilir (Oğuz, 1990).

4. GAZALTI KAYNAĞI VE METAL TRANSFER MODLARI

4.1. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ

4.1.1. Yöntemin Tanıtımı

Kaynak bölgesindeki havanın olumsuz şartlarına karşı ark bölgesinin Şekil 4.1’de gazaltı kaynak yöntemi ark bölgesinin görüldüğü gibi koruyucu bir gaz ile korunarak kaynak yapılması işlemine gazaltı kaynak yöntemi denir. Gazaltı kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak soygazların kullanılması 1930 yılında ABD’li Henr M. Hobart ve Philip Dewers tarafından keşfedilmiş ve 1940 yılındada “Nontrop Aircraft Company Inc” firmasının uçak yapımında kullanılmıştır (Şahin, 2008).



Şekil 4.1. Gazaltı MIG kaynağı yönteminde ark bölgesi (Tülbentçi, 1990).

Gazaltı Kaynak yöntemlerinde Kaynakta kullanılan koruyucu gazın türü ve kullanılan elektrodun cinsine göre kendi arasında sınıflandırılır.

Kaynakta kullanılan gazın türüne göre aktif gaz kullanılan ve soygaz kullanılan gazaltı kaynak yöntemi olarak ikiye ayrılır.

Aktif Gaz Kullanılan: MAG

Soygaz Kullanılan: TIG, MIG sınıflandırılmıştır.

Kaynakta Kullanılan Elektrodun Cinsine göre kaynak esnasında ergiyen ve ergimeyen elektrot olarak sınıflandırılır;

1) Ergimeyen Elektrot ile yapılan gazaltı kaynağı

a) Ergimeyen iki elektrot ile yapılan gazaltı kaynak yöntemi (ark atom kaynağı)

b) Ergimeyen bir elektrot ile yapılan gazaltı kaynak yöntemi (TIG kaynağı)

2) Ergiyen Elektrot ile yapılan gazaltı kaynağı

a) Ergiyen Elektrot ile soy bir gazın koruyuculuğunda yapılan gazaltı kaynağı (MIG Kaynağı)

b) Ergiyen Elektrot ile aktif bir gazın koruyuculuğunda yapılan gazaltı kaynağı (Şahin, 2008).

Bu kaynak yöntemleri arasında en çok ergiyen elektrot ile yapılan gazaltı kaynağı uygulanır. Gazaltı kaynak yöntemi diğer geleneksel kaynak yöntemlerine göre kaynak maliyeti düşürülmüş, kaynakçının kaynak dikişine etkisi minimuma düşürülmüştür.

Gazaltı kaynağının ilk kullanılmaya başlanıldığında CO₂ gazı koruyucu gaz olarak kullanılmaktaydı. Bu durum örtülü elektrotlarla yapılan kaynaklardaki örtü kısmının kaynak sırasında oluşan ark ile yanması sebebiyle ortaya çıkan CO₂ gazının kaynak dikişini havanın olumsuz etkilerinden korumasından esinlenilerek CO₂ gazı koruyucu gaz olarak kullanılmıştır. Fakat kaynak sırasındaki sıçramalar ve kaynak dikişindeki aşırı porozite oluşumunun sebebi olarak CO₂ gazının safiyetsizliği ve içerisindeki rutubetten kaynaklandığı anlaşılmıştır. CO₂ gibi aktif bir gazın koruyuculuğunda gerçekleştirilen kaynak yöntemine MAG kaynağı adı verilmiştir (Tülbentçi, 1990).

MIG kaynak yöntemi 1948 yılında ABD’de Alüminyum ve alaşımları için uygulanmış ve daha sonra yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının kaynağında kullanılmaya başlanılmıştır. MIG kaynağında ark oluşumu inert gas olan helyum ve argon gibi gazların korumasında gerçekleşir (Taban, 2004).

Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağında elektrodun örtüsünün üstlenmiş olduğu görevi gazaltı kaynak yönteminde koruyucu gaz havanın olumsuz etkisine karşı kaynak banyosunu koruyucu bir etki göstermektedir.

MIG/MAG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre birçok üstünlüğü vardır;

a) Yüksek Erime Hızı

b) Derin nüfuziyet

c) Her pozisyonda kaynak ara vermeden kaynak yapabilme kabiliyeti

Demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının uygun koruyucu gaz ve elektrot seçimi ile sorunsuz kaynak yapılabilmesi;

a) Uygulamasının kolay olması

b) Ekonomik bir kaynak yöntemi olması

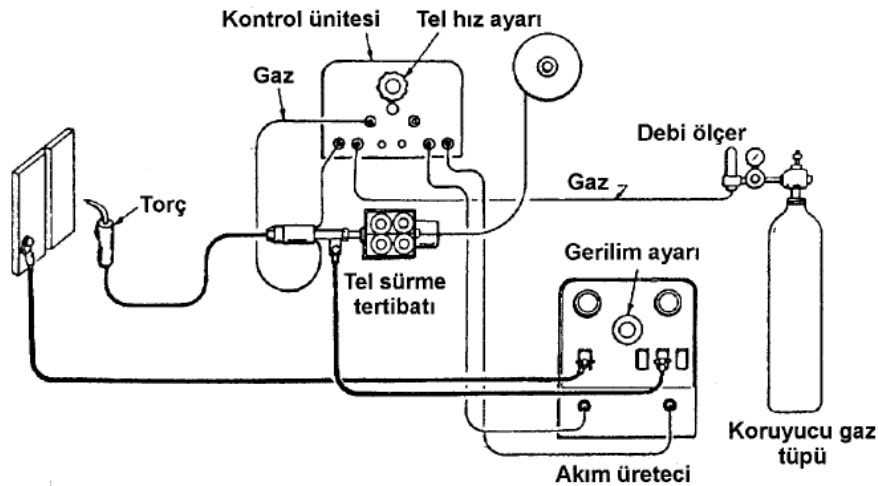
c) Yarı otomatik bir kaynak yöntemi olması

d) Gerekli donanımlar ile tam otomatikte olabilmesi.

Bu gibi özelliklerinin yanında MIG/MAG kaynak yöntemleri uygulamalarını sınırlayan özellikler vardır. Bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- 1) Donanım açısından daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Tel gaz taşıma hortumu ve torcun oluşturduğu aparatın uzunluğu kaynak donanımının ve kaynak yapılan yerin mesafesini kısıtlamaktadır. Kaynak makinasını bir yerden bir yere taşınması zordur.
- 2) Kaynak torcundan çıkan koruyucu gazın kaynak dikişine tam anlamıyla yönelebilmesi için hava akımının olduğu yerlerde kısıtlayıcı bir etken oluşturmaktadır.
- 3) Kaynak makinasındaki kaynak torcu elektrik ark kaynağındaki penseye göre daha az hareket serbestliğine sahip olması.
- 4) Gazaltı kaynak yönteminde son yıllarda geliştirilen darbeli akım kullanılan versiyonunda kaynak akımı, bir alt ve üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisinin minimumunda tutularak daha ince malzemelerin kaynatılmasına imkan sağlanmıştır. Sanayileşmiş ülkelerde her geçen gün kullanımı artan gazaltı kaynak yöntemlerinin ülkemizde de kullanımı artmaktadır.
- 5) Kısa devre halinde akımı sınırlayan reaktanslı üreteçler geliştirilerek kısa ark boyunda çalışarak kaynak esnasında oluşacak sıçramaların önüne geçilmiştir. Bu yöntemdeki diğer bir yenilikte ince çaplı kaynak teli (dolgu malzemesi) kullanılmasıdır. Çapın azalması ile akım yoğunluğu artmış ark ısısı düşürülmüş akım yoğunluğunu kontrol etmek kolaylaşmış ve daha az bölgenin ısıdan etkilenmesi sağlanmıştır ve ince parçaların çarpılması önlenmiştir.

4.1.2. Gazaltı Kaynak Yöntemi Donanımları



Şekil 4.2. MIG Kaynağı donanım şeması (Tülbentçi, 1990).

MIG kaynak donanımı şeması Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir.

- Kaynak tabancası (kaynak torcu)
- Tel şeklindeki elektrot muhafazası, kaynak ve şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını birarada tutan metal spiralli hortumu
- Tel elektrodun sürülme aparatı
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı
- Kaynak Akımı üretici
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz basıncı ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

Bu kaynak yönteminde kaynak operatörü hiçbir zorlukla karşılaşmaz topraklama (Şase) kaplosunu iş parçasına bağlayarak kaynak torcunun ucundaki teli (Dolgu Metali) kaynak dikişinin başlangıç noktasına değdirip sistemin uyarladığı sabit ark boyunda kaynak dikişi yapılabilmektedir (Tülbentçi, 1990).

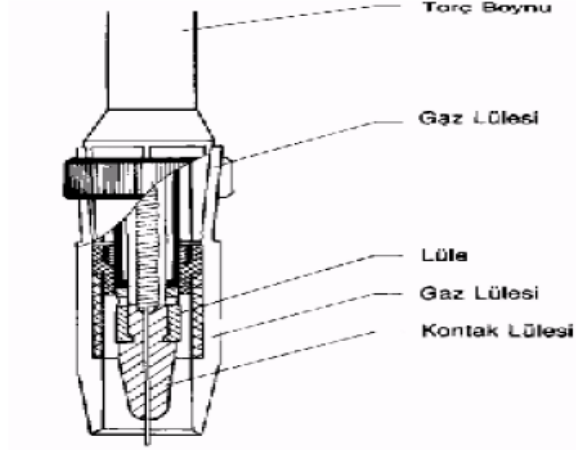
Gazaltı ark kaynağında birlikte düşünülmesi gereken 3 parametre vardır. Bunlar; kaynak makinası, elektrot (tel) ve koruyucu gazdır. Bu üç bileşen birbiriyle koordineli olarak çalışmalıdır.

4.1.2.1. Kaynak Torcları

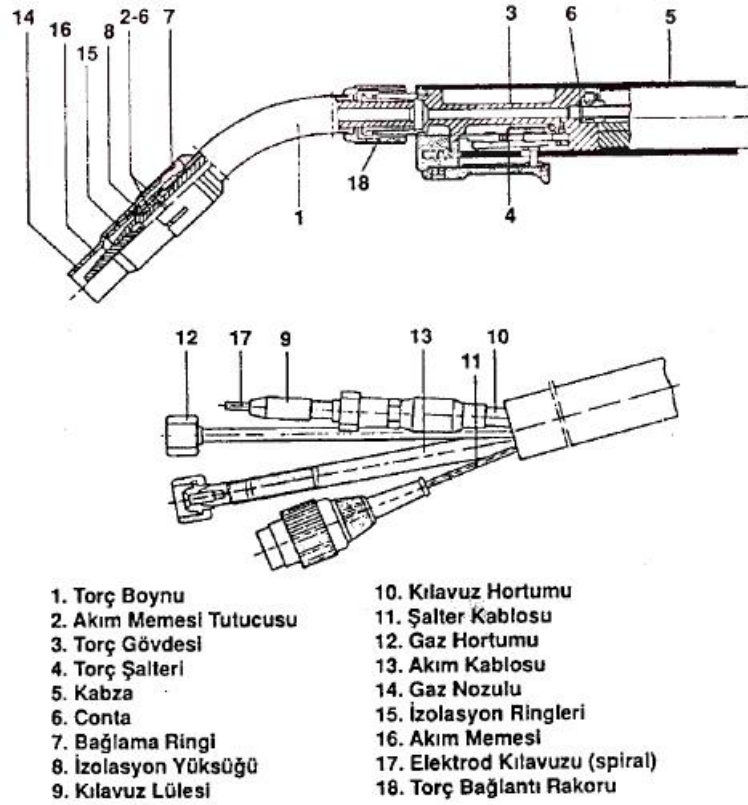
MIG/MAG kaynak yönteminde telin kaynak dikişine yönlendirilmesini, Koruyucu gazın kaynak bölgesine iletilmesini ve elektrik akımının kaynak teline yüklenmesini sağlayan aparata torc denir. Kaynak esnasında kaynak torclarının uc kısmı Şekil 4.3’de torcun uc kısmının kesit alınmasındaki görüntüde görülen torcun uc kısmı ark bölgesine yakın çalışması sebebiyle yüksek ısıya maruz kalır ve bu sebeple kaynak torcları kaynak operatörünün tutacağı kısımlar yalıtılmış ve oksitlenmiş kaynağında kullanılan üfleçlere benzetilmiştir.

Kaynak esnasında kaynak teli (dolgu metal) sürekli hareket halindedir. Şekil 4.4’de torcun şematik gösteriminde görüleceği gibi telin kaynak torcunu terketmeden bir bakır lümenin içerisinden geçerek elektrik akımıyla yüklenir. Torcun uc kısmında gaz nozuluda bulunur bu nozul koruyucu gazı kaynak bölgesine laminar olarak gönderir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gerekir. Bu soğutma koruyucu gazlar ile yapılabilmektedir. Birde su soğutma sistemide kullanılmaktadır fakat su torcun arızalanmasına sebep olduğu için tercih edilmemektedir. Torcun içerisindeki bakır lülede

yüksek akım yoğunluğundaki kaynaklarda fazla miktarda ısıya maruz kaldığından telin geçtiği delik genişler ve ve tele akım yüklemeye bazı düzensizlikler ortaya çıkarak kaynağın stabilitesi ve dayanımı azaltıcı yönde etki eder.



Şekil 4.3. MIG Kaynak torcunun kesit alınmış görüntüsü (Tülbentçi, 1990).



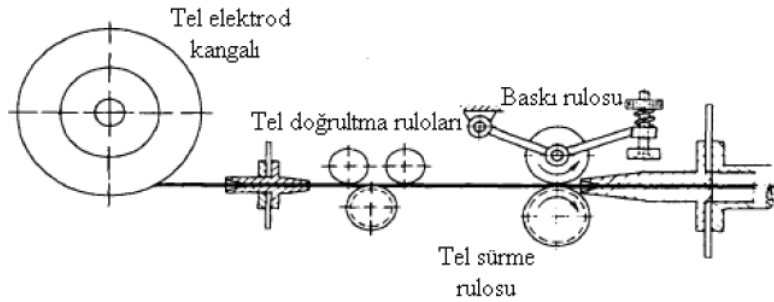
Şekil 4.4. Hava soğutmalı torcun kısımlarının gösterimi (Tülbentçi, 1990).

4.1.2.2. Tel Sürme Tertibatı

Makaradan alınan telin ayarlanmış bir hızla ark bölgesine gönderen sisteme verilen isimdir. Çalışma prensipleri açısından aralarında çok fazla bir fark olmasa'da çekmeli ve itmeli çalışan mekanizmalar olarak ikiye ayrılır. Hız ayarı mekanik bir tertibat veya gerilimi ayarlanabilen doğru akım motoru tarafından ayarlanır. Genellikle doğru akım motoru tercih edilir (Şahin, 2008).

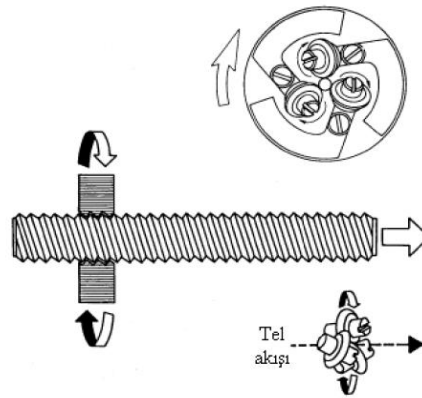
Tel sürme tertibatı rulolu ve planet tertibat olmak üzere ikiye ayrılır.

Rulolu aparatta Şekil 4.5'de gösterildiği gibi tel kaynak makinasının özelliğine göre 2 veya 4 makara arasından geçer ve bu makaraların hareketi tel besleme hızına eşit hızda döner ve bu makaralarda tel çapına uygun oluklar vardır. Sert tel malzemeleri içinde olukların içerisinde telin kaymaması için tırtıklar bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Tel Sürme tertibatının gösterimi (Tülbentçi, 1990).

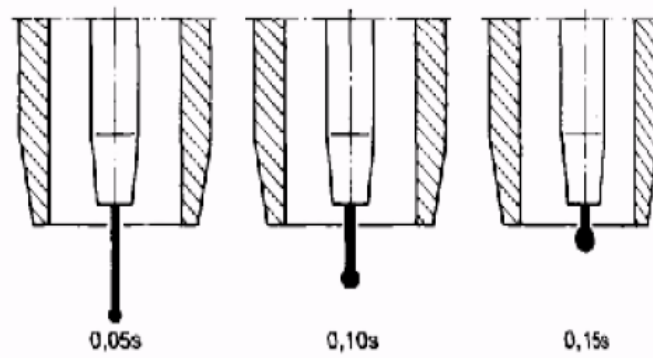
Planet sistemi Şekil 4.6. Planet sistemi çarpık rulo gösterimi Şekil 4.5'de görüldüğü gibi eksenleri birbirine çarpık rulo ve bu ruloların bağlı olduğu gövde döndürülür ve tel rulo tip mekanizmaya göre daha düz bir şekilde kaynak bölgesine hareket etmeye hazır olur.



Şekil 4.6. Planet sistemi çarpık rulo gösterimi (Tülbentçi, 1990).

4.1.2.3. Kumanda Tertibatı

Gerekli parametre ayarları yapılarak kaynak makinesi çalışır hale geldiğinde kaynağa başlamak için kaynak torcundaki mandala basılarak ilk önce kaynak bölgesine koruyucu gaz akışı başlar ve kısa bir süre sonra tel sürme tertibatı devreye girerek tel kaynak parçasına doğru ilerler ve ark oluşumu gözlenir. Kaynak işleminin gerçekleşmesinden sonra tetik bırakılır ve kaynak torcunun ucundaki telin görüntüsü Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Kaynak makinasına göre su soğutmalılardan soğutucu sistemleride aynı anda devreye girer (Tülbentçi, 1990).

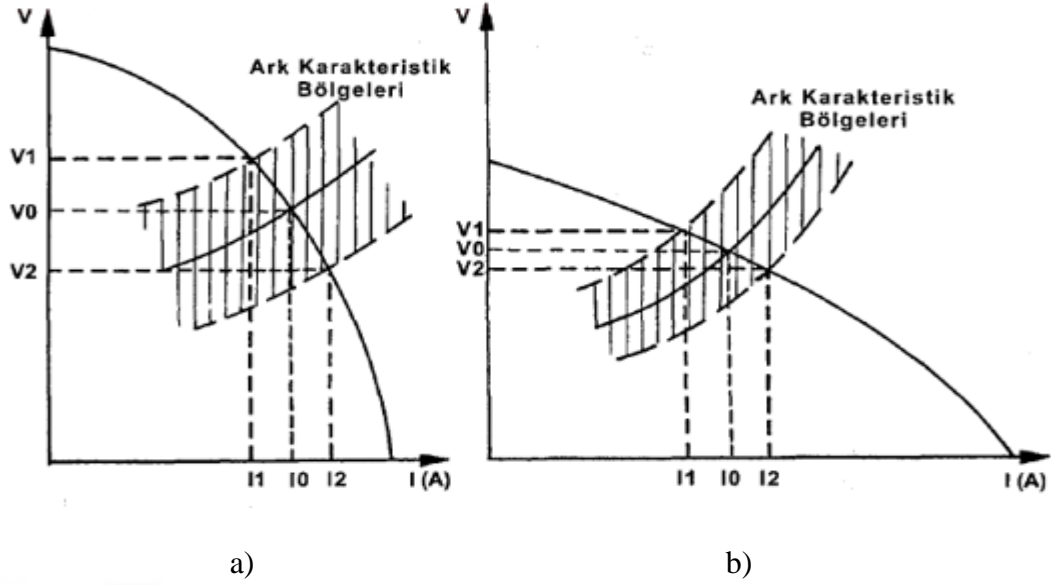


Şekil 4.7. Tel ilerlemesinin durması ve akımın kesilmesi arasındaki sürede tel ucunun görüntüsü (Tülbentçi, 1990).

4.1.2.4. Kaynak Akım Üreteçleri

Mıg/Mag kaynak yönteminde genellikle yatay karakteristikli akım üreteçleri kullanılır (Tülbentçi, 1990).

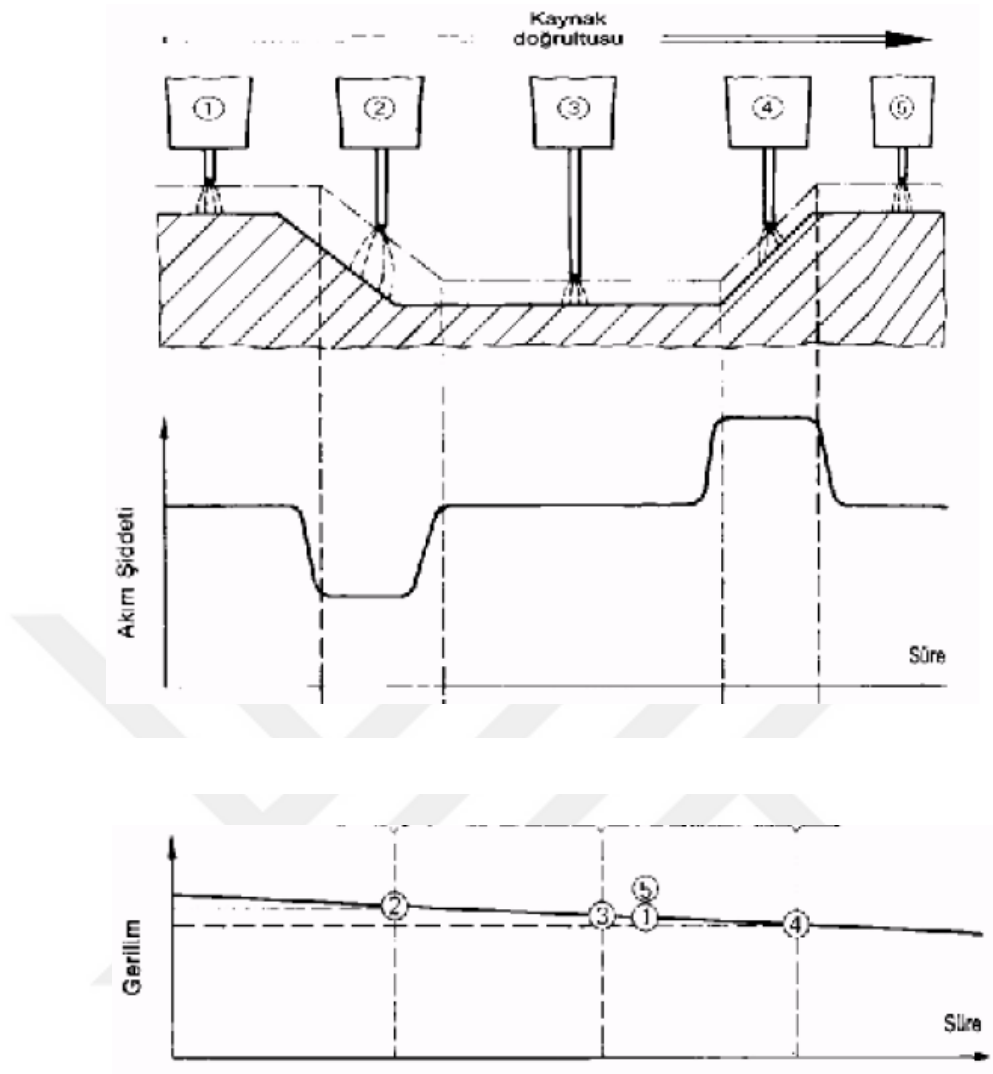
Doğru akım üreten kaynak akım şiddeti ve kaynak gerilimi arasında uygun parametreyi sağlayan akım üreteçleri kullanılmaktadır. Bir kaynak makinasının statik karakteristikleri Şekil 4.8’de gösterildiği gibi yani akım şiddeti (I) ve gerilimi arasındaki (V) bağıntı ile kaynak makinasının seçiminde bir kaynak yöntemine uygun olup olmaması hakkında fikir verir.



Şekil 4.8.Kaynak akım üreteçlerinde ark karakteristiği a) Düşey karakteristlikli b) Yatay karakteristlikli (Taban, 2004).

Sabit gerilimli (yatay karakteristlikli) akım üreteçlerinde ark boyundaki küçük değişimlerle akım şiddetindeki artış çok fazla olur ve daha hızlı bir ergime gerçekleşir. Bu tür kaynak akım üreteçlerinin kendinden ayarlanabilen bir ark boyu vardır. Ayarlanmış olan ark boyuna göre telin hızı ve bununla birlikte akım şiddeti ayarlayabilmektedir. Kaynak sırasında herhangi bir sebeple ark boyunun uzaması veya kılmasında kaynak akım üretici ark boyunun yarı otomatik bir şekilde uygun ark boyuna getirir ve bu durum kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde olan bir uygulamadır (Taban, 2004).

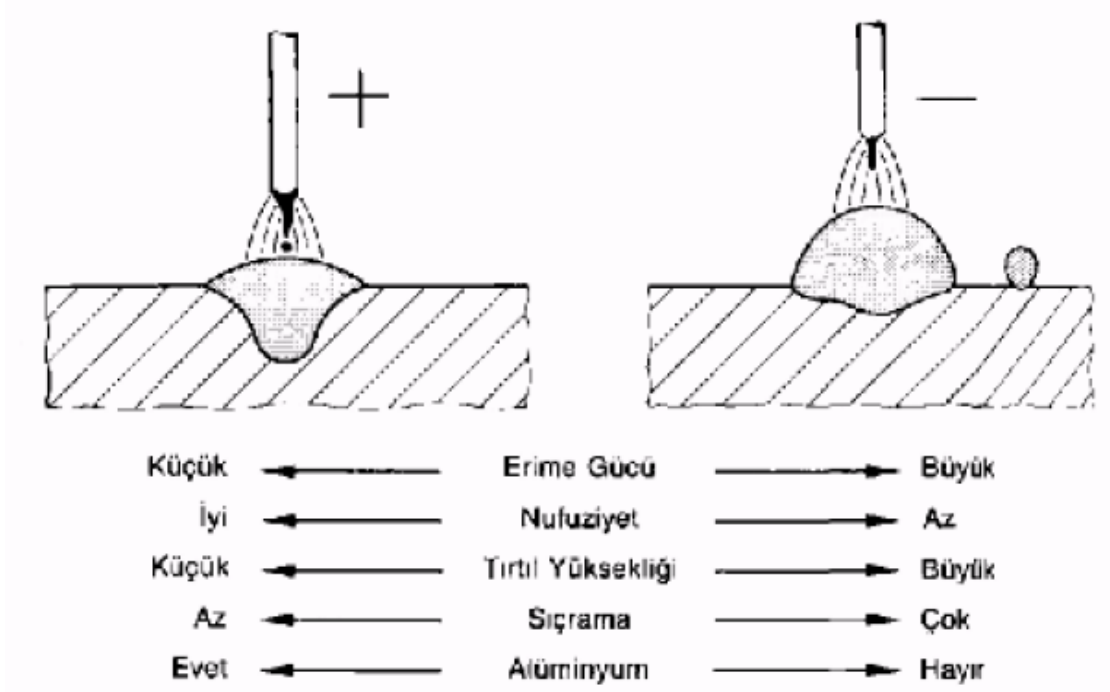
Bu tür kaynak makinalarında ark boyuna göre gerilim ve akım şiddetindeki ayarlar daha önce bahsettiğimiz gibi üreticinin yatay karakteristiğinden kaynaklanmaktadır ki tel ilerleme hızı bütün ayarlamalarda sabittir kalmaktadır (MEGEB, 2006).



Şekil 4.9. Ark boyunun gerilim ve akım şiddetiyle kıyaslanması (Taban, 2004).

Şekil 4.9'dan anlaşılacağı üzere kaynak ark boylarındaki değişim akım şiddeti ve gerilimde değişimlere sebebiyet vermektedir. Fakat aynı ark boyundaki kaynak süresince akım şiddeti sabit gerilimde küçük değişikliklere sebep olmuştur.

Gazaltı kaynağının eriyen elektrot ile yapılan MIG/MAG kaynak yöntemlerinde yatay karakteristikli üreteçlerin kullanılması ve doğru akım uygulanması halinde elektrot pozitif veya negatif kutba bağlanarak Şekil 4.10'da kutuplamanın nüfuziyete etkisinin görüldüğü gibi, daha önce'de bahsettiğimiz gibi alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kaynak banyosunun üzerindeki oksit tabakasının kırılması için ters kutuplama yani elektrotun pozitif kutba bağlanması imkânını sağlar. Diğer metal gruplarında ise daha fazla derin nüfuziyet sağlandığında ters kutuplama tercih edilmektedir. Az nüfuziyet gerektiren yerlerde doğru kutuplama yapılmaktadır (Tülbentçi, 1990).

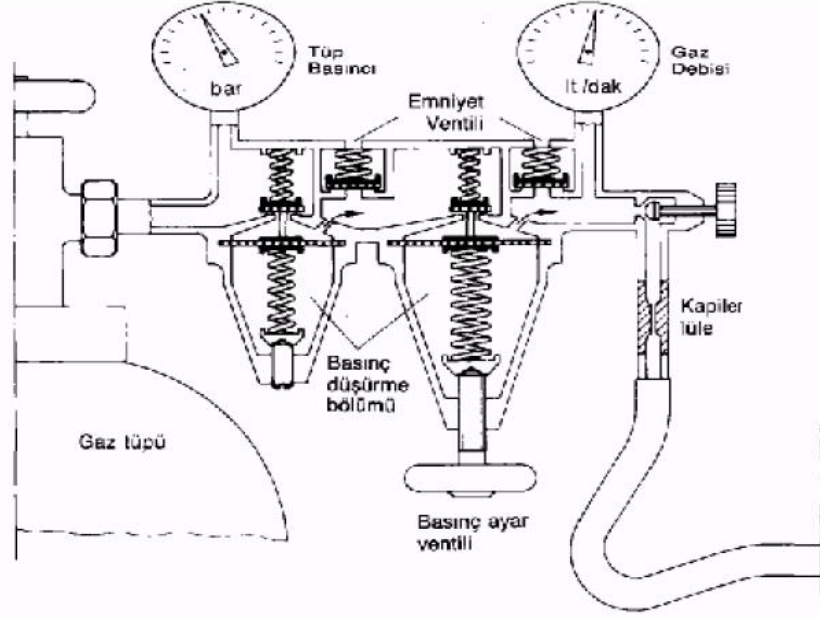


Şekil 4.10. Kutuplamanın kaynak dikiş formuna ve özelliklerine etkisi (Taban, 2004).

Kaynaklı birleştirmede iyi bir nufuziyet elde edip, kaynak parçasında ısı girdisini minimum seviyede tutmak için darbeli doğru akım yöntemi uygulanmak zorundadır. Darbeli doğru akımı alternatif akım ile karıştırmamak gerekir, darbeli akım daha önceden belirlenen akım şiddeti belli limitler arasında istenilen frekansta değiştirilebilen akım türüdür.

4.1.2.5. Koruyucu Gaz Tüpleri

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazlar basınçlı tüplerden sağlanmaktadır. Ülkemizde asal gaz tüpü olarak 40 lt hacimli 150 atütlük tüpler kullanılmaktadır. Avrupa da ise 10, 20 ve 50 lt hacimli 200 atü basınca sahip tüpler kullanılmaktadır. Tüplerin ağızında Şekil 4.11'de gösterildiği gibi gaz basınç ayar ventilleri bulunmaktadır. Bu ventillerin üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını diğer manometrede gazın debisini gösterir.



Şekil 4.11. Basınç düşürme ventilleri (Tülbentçi, 1990).

Koruyucu gaz tüplerine takılan basınç ayar ventilleri gazın özelliğine göre ayarlanmış ventillerdir. Bunlar tasarlanan gaz tipine göre kullanılmalıdır (Tülbentçi, 1990).

4.1.2.6. Koruyucu Gazlar

MIG/MAG kaynak yönteminde koruyucu gazdan beklenen özellik ark bölgesini tamamen örtmesi ve havanın olumsuz şartlarından kaynak dikişini korumasıdır.

Koruyucu gaz altında uygulanan bu kaynak yönteminde 3 tür tüketilen malzeme bulunmaktadır. Birincisi elektrik akımı; Akım elektrik üreticiden sağlanmaktadır. İkinci tüketilen malzeme ise koruyucu gazdır ve diğer tüketilen malzeme ise kaynak telidir.

Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimi ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir (Tülbentçi, 1990).

MIG Kaynağında koruyucu gaz olarak soygazlar kullanılmaktadır. Soygazlar diğer elementlerle reaksiyona girmediğinden demirdışı metallerin kaynağında kullanılmaktadır (Taban, 2004).

Koruyucu gaz kullanılan kaynak yöntemlerinde koruyucu gazın seçiminde dikkat edilecek hususlar.

- 1) Kaynatılacak metal ve alaşımının türü
- 2) Ark karakteristiği ve metal transfer modları
- 3) Kaynak hızı
- 4) Parça kalınlığı, dikiş formu ve nufuziyet derinliği

- 5) Gazın maliyeti ve kolay bulunabilme özelliği
- 6) Kaynak dikişinin mekanik özellikleri (Şık & Kaluç, Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının dikiş özelliklerine etkisi, 2004).

Arkın ısısına göre koruyucu gazda ve elektrot damlacığının kaynak dikişine geçişinde değişiklikler gözlenir. Bu sebeple koruyucu gazın kaynak ortamını korumasının yanında metal transferinde kaynakdikişinden istenilen özelliğe göre sağlaması gereklidir.

Koruyucu gazın özelliğini anlamak için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

-Gaz bileşenlerinin iyonlaşma potansiyeli

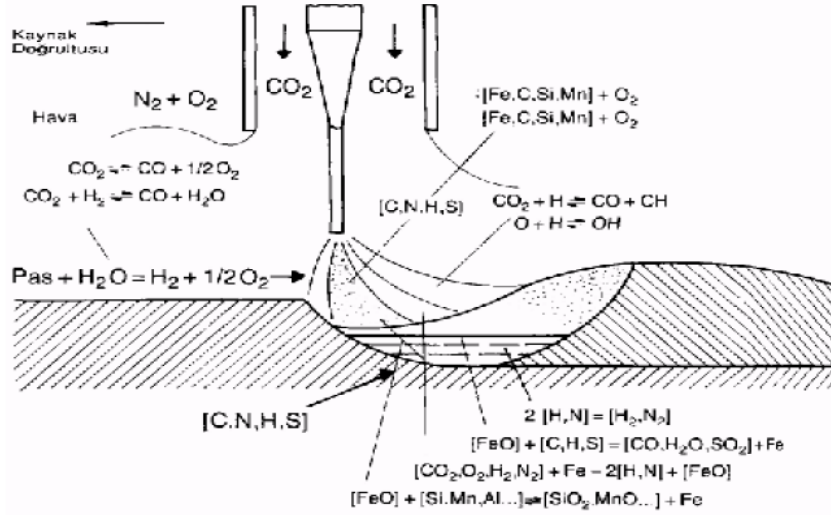
-Koruyucu gaz bileşenlerinin ısı iletkenliği

-Koruyucu gazın kaynak banyosu ile kimyasal reaktivitesi (Muzafferoğlu, 2008).

Asal gazlar dış kabuklarının her yerinin kapalı olması sebebiyle diğer element atomlarının elektronları ile elektron alış verişinde bulunmazlar diğer bir deyişle gaz atomu ve element atomu arasında kimyasal reaksiyon oluşmaz. Koruyucu gaz olarak asal gazlardan argon ve He kullanılmaktadır. Ar gazının içindeki gerilim düşümü daha azdır bu sebeple argon gazının ısı iletimi daha azdır az ısı iletimiyle kaynak nüfuziyeti dikişlerin merkezinde fazla uç kısımlarında ise daha azdır. Al – Cu gibi elementlerin kaynağında iyi koruma sağlayan argon gazı çelik malzemelerin kaynatılmasında başka gazlarla karışım halinde kullanıldığında iyi bir şekilde koruma özelliği gösterir.

Helyum gazı ise havada daha hafiftir ve bu hafiflik neticesinde argon gazı ile koruduğumuz bölgenin üç katı fazla miktarda helyum gazıyla koruyabiliriz bu sebeple gaz sarfiyatıda artmaktadır. Fakat gerilim düşümü argon gazındaki kadar fazla değildir bu sebeple ısı geçirgenliği daha fazladır ve ark bölgesindeki oluşan ısı yoğunluğu da fazla olduğu için argon gazı korumasında yapılan kaynağa göre daha derin nüfuziyetli kaynaklı birleştirmeler yapılabilmektedir.

Aktif gazlar ise CO₂ koruyucu gaz olarak kullanıldığı gazaltı kaynak yöntemine MAG kaynağı adı verilmektedir. Karbondioksit gazı arkın yüksek sıcaklığında Şekil 4.12’de CO₂ gazı korumasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda karbon ve oksijene ayrışır oksijen diğer elementlerle birleşir ark bölgesinde iyonize olan gaz kaynak banyosunda tekrar karbondioksit olur iyonize olduğu sıradaki ısıyı kaynak banyosuna verir ve kaynak dikişinde derin nüfuziyet oluşur. Kaynak banyosu içerisindeki demiroksit mangan gibi elementler tarafından redüklenir. Redüklenen elementlerin eksikliği kaynak doluğu metali olan tel tarafından karşılanır. Bu sebeple çeliklerin MIG kaynağı ile kaynatılmasında kullanılan teller MAG kaynağında kullanılamazlar.



Şekil 4.12. CO₂ korumasında oluşan kimyasal reaksiyonlar (Anık & Tülbentçi, 1990).

MAG kaynağında kaynak banyosunda bulunan bir miktar elementin kaybolması sebebiyle kaynak dikişinde ince cüruf oluşur.

Karışım Gazlarda ise Gazaltı kaynağında farklı özellikteki gazların üstün özelliklerinden faydalanılması için teknolojik özellikleri geliştirmek ve kaynak bölgesinde korumayı daha üst seviyelere çıkarmak, arkı istikrarlı hale getirmek ve sıçramayı azaltmak için argon-karbondioksit gazları belli oranlarda karıştırılmaktadır.

Uygulamada %80 He + %20 Ar ve %75 Ar + %25 He'a kadar farklı gaz karışımları endüstride kullanılmaktadır. Ar ve He gibi gazlar alüminyum, magnezyum, bakır, nikel gibi alaşımların kaynağında fazla miktarda kullanılmaktadır. Bu karışımlar saf He'a göre daha kontrollü ark oluşu, saf Ar'a göre ise daha yüksek sıcaklığa sahip özelliktedir (Taban, 2004).

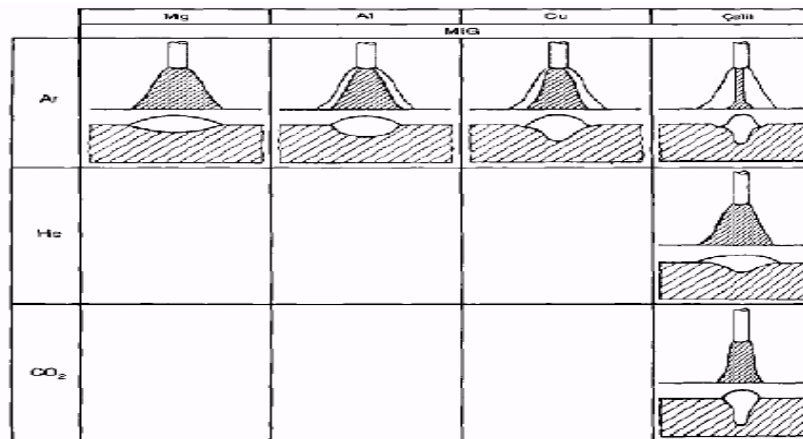
Çeliğe MIG kaynağı uygulamasında argon gazına oksijen ve karbondioksit karışımı kullanılmaktadır. Böylece oksijen kolay ergiyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak eriyen elektrot telinden çıkan damlacıkların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli metal transferi sağlanır.

Koruyucu gazın kimyasal davranışına göre belirlediğimiz uygulama alanlarını belirlemede Çizelge 4.1 koruyucu gaz uygulama alanları dikkate alınmalıdır.

Çizelge 4.1. Koruyucu gaz uygulama alanları.

Koruyucu Gaz	Kimyasal Davranışı	Uygulama Alanı
Argon	Soy	Çelik Hariç Bütün Endüstriyel Metal Alaşımlarının Kaynağında
Helyum	Soy	Al ve Cu Alaşımlarının Kaynağında
Argon+Helyum %20-80 %50-50	Soy	Yüksek sıcaklık ve gözenek daha kontrollü arkta çalışmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon +Klor	Soy	Gözenek miktarını azaltmak için Al kaynağında
Azot	Redükleyici	Güçlü ark için Cu Kaynağında
Argon+%25-30 N	Redükleyici	Güçlü fakat daha kontrollü ark için Cu kaynağında
Argon+%1-2 O ₂	Oksitleyici	Dezokside Cu alaşımlarının kaynağında
Argon+%3-5 O ₂	Oksitleyici	Yüksek miktarda dezoksite edilmiş kaynak teli ile çeşitli paslanmaz ve karbonlu çeliklerin kaynağında
Argon+%5-10 O ₂	Oksitleyici	Yüksek miktarda dezoksite edilmiş kaynak teli ile çeşitli çeliklerin kaynağında

Farklı elementlerin farklı gaz türüne göre ark dikişi oluşum görüntüsü şekilde verilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı koruyucu gazların farklı metallerde ark ve dikiş formları (Anık & Tülbentçi, 1990).

Farklı elementler aynı koruyucu gaz atmosferinde Şekil 4.13'de görüldüğü gibi farklı

nufuziyet derinlikleri oluşturur. Bu durumda daha önce bahsettiğimiz her gaz çeşidinin farklı gaz çeşitleriyle farklı reaksiyon vermesinden kaynaklanmaktadır.

Demirdışı metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar Ar, He ve Ar + He karışımı gazlardır. Bu durumda argon en az nufuziyeri ve en dar kaynak dikişini verir. Argon gazı helyum ve argon helyum karışımlarına nazaran daha ucuz ve en az sıçramayı oluşturan koruyucu gazdır. Helyum ise en fazla ergime gücü ve daha derin nufuziyet sağlayan koruyucu bir gazdır.

Koruyucu gaz atmosferi altında yapılan kaynak yöntemlerinde koruyucu gazın cinsinin önemli olduğu kadar koruyucu gazın debisinde önemlidir (Özsaraç, Aslanlar, Varol, Işık, & Ferik, 2017). Yapmış oldukları çalışmada farklı gaz basınçları kullanılarak CMT ile birleştirilmiş alüminyum 6082-T6 bağlantıların mekanik özellikleri incelenmiş ve gaz debisinin arttıkça mekanik özelliklerinin arttığı ancak belli bir basıçtan sonra düşüş eğiliminde olduğunu saptamışlardır.

4.1.2.7. Kullanılan Elektrotlar

Eriyen elektrot ile yapılan kaynak yöntemlerinde kullanılan elektrotlar tel halinde ruloya takılarak kaynak makinasına bağlı olarak bulunmaktadır. Kaynak metalinin özelliklerini geliştirmek için dolgu metali olarak kullanılan kaynak tellerinin seçiminde aşağıdaki kriterler gözönünde bulundurulmalıdır.

- Esas Metalin Mekanik Özellikleri: Genellikle kaynatılacak malzemenin akma ve çekme mukavemetine bakılarak elektrot seçimi yapılır.
- Esas Metalin Kimyasal Bileşimi: Esas Metalin Korozyon direnci, Isı ve elektrik iletkenliği, Kaynağın ITAP bölgesindeki esas metalin bileşimi elektrot seçiminde önemlidir.
- Koruyucu Gazın Özelliği: Koruyucu gaz olarak asal gaz ve karışımının kullanılması yanma kaybı oluşturmaz, fakat asal gaz ve aktif gazın birarada kullanıldığı koruyucu gazda yanma kayıpları görülür.

MIG kaynağında kullanılan tel elektrotlar MAG kaynağında kullanılmaz. Sebebi ise Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az bir miktar demir oksijen tarafından oksitlenir ve ortaya çıkan demir oksit de bileşimdeki mangan ve silisyum tarafından redüklenir; buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrod tarafından karşılanmak zorunda olmasıdır

Esas metalin kalınlığı ve geometrisi kaynakla birleştirilen parçaların kalın kesitli ve karmaşık şekilli olması halinde çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir. Kullanılan elektrodunda bu sünekliği sağlayacak özellikte olması beklenir (Tülbentçi, 1990).

4.1.2.8. Alüminyum ve Alaşımlarına MIG Kaynağı Uygulaması

Gazaltı kaynak yöntemlerinden ergiyen elektrot ile yapılan MIG kaynağının en çok uygulandığı metal alüminyum ve alaşımlarıdır. Daha öncede belirtildiği üzere bakır mangan, silisyum ve magnezyum gibi elementler alüminyumun en çok kullanılan alaşım elementleridir. MIG kaynak yöntemi 3mm kalınlığının üstündeki kalınlıklardaki alüminyum ve alaşımlarına uygulanabilmektedir. MIG kaynak yönteminde kaynak hızı ve ergime gücü TIG kaynağına göre daha fazladır. İnce levhaların kaynatılması için darbeli akım kullanılması gerekmektedir (Taban, 2004).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağının Çeliğin kaynağına göre farklı özellikleri;

- Alüminyum ve alaşımlarının ısı iletkenliği yüksek olması sebebiyle eş kalınlıktaki çeliğe göre ısı girdisinin daha yüksek olması gerekir.
- Alüminyum ve alaşımlarının ısıl genişleme katsayılarının yüksek olmasından kaynak bölgesindeki ısı değişimlerinden şiddetli iç gerilmeler ve çarpılmalara sebep olmaktadır.
- Alüminyumun havanın etkisiyle üzerinde oluşan ısı geçirgenliğini zorlaştıran oksit tabakası kaynak esnasında olumsuzluklar oluşturur. Bu sebeple ters kutuplama yapılarak bu sorun çözülür ve kaynak yapılmadan öncede kaynak bölgesi mekanik temizleme aşamalarından geçirilmelidir. Kaynaktaki oksit tabakasının çözülmesi için birde sürekli olarak sola kaynak yöntemi uygulanmalı, düşey kaynak ağızlarında ise aşağıdan yukarıya doğru kaynak yapılmalıdır. Kaynak dikişi düz olarak veya dar zig zağlar çizilerek kaynatılmalıdır (Taban, 2004).

El ile yapılan yarı otomatik MIG kaynak yöntemi ile mekanize halde ince parçaların kaynağında genellikle koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmaktadır. Kalın parçaların otomatik kaynağı için daha fazla ark enerjisi ve daha derin nüfuziyet için helyum veya belirli oranlarda karıştırılmış helyum+argon gaz karışımları kullanılır.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında MIG kaynak yöntemini sınırlayan sebepler kullanılan koruyucu gaz türüne göre Argon gazı kullanıldığında 25 mm kalınlığından

fazla malzemelerin kaynağına uygun değildir. He kullanımında 75 mm kalınlığa kadar kaynak yapılabilir. Koruyucu gazın kaynak bölgesini koruması için torç ile kaynatılacak parça arası mesafe 10-19 mm uzunluktan daha fazla olmamalıdır. Dış ortamda koruyucu gazın etkinliğinin azalması MIG kaynağını sınırlayan özelliklerdendir (Olabode, 2015).

Alüminyum ve alaşımlarının ısı geçirgenliği fazla olması sebebiyle kalın kesitli (15 mm Fazla) parçalarda ergime yavaş olacağından ön ısıtmaya tabi tutulması gereklidir. Ön ısıtma ısıda 200 °C aşmamalıdır. Ön ısıtmanın yapılmadığı hallerde yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile yüksek ısı girdisiyle kaynak işlemi gerçekleştirilir.

Soğuk şekillendirme veya ısıl işlemle sertleştirme işlemleriyle sonradan sertlik kazanan alüminyum ve alaşımlarının kaynak bölgelerinde kaynak sonrası sertliklerinde azalma olur. Bu şekilde işlem görmüş alüminyum ve alaşımlarına kaynak öncesi çözeltiye alma tavlama uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısıl işlem tavlama yapılarak sertlik kaybı önlenmiş olur.

Normal şartlarda alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kaynatılacak parçanın kalınlığına bakılmaksızın genellikle spreyl ark ile kaynak yapma tercih edilir. Spreyl ark'da yüksek ısı girdisi ve alüminyumunda yüksek ısı iletimi sayesinde kaynak banyosu çabuk katılaştır ve bu şekilde her pozisyonda kaynak yapabilme kabiliyeti oluşmuş olur.

4.1.3. Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Seçimi

Kaynak parametreleri kaynak işleminden önce gerekli hazırlıkların yapılması, kaynak işlemi ve kaynak sonrası kaynak dikişinin kalitesini belirleyen etkenlerin tümünü kapsayan önemli bir etkidir. Kaynak parametrelerini belirlerken kaynaklı birleştirilmesi yapılan metal ve alaşımlarının türü, kalınlığı, kaynak ağzı türü ve şekli, kaynak pozisyonu gibi etkenler göz önünde bulundurularak tespit edilir. Bu parametreler birleştirme işleminin özelliklerini belirlediği gibi kaynakçının çalışma koşullarını da kolaylaştırır, bu sebeple kaynakçı kaynak arkının ve parametrelerin kaynak banyosunu ve özelliklerini nasıl etkilediği hangi parametrelerin hangi sonucu elde etmek için kullanıldığı konusunda bilgi sahibi olmalıdır (Kahraman & Gülenç, 2016).

Kaynak parametreleri kaynak öncesi tespit edilen ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci dereceden ayarlanabilir ve ikinci dereceden ayarlanabilir parametreler olarak üç gruba ayrılır. Birinci gruba giren parametreler olarak kaynağın uygulanmasından önce tespit edilen Koruyucu gazın türü, elektrot çap ve türü gibi parametrelerdir. Bu parametrelerin kaynak esnasında değiştirilmesi mümkün

değildir. Bu parametrelerin belirlenmesinde birleştirme işlemi gerçekleştirilecek olan malzemenin türüne, kalınlığına, erime gücüne ve bağlantıdan beklenen mekanik özelliklere göre uygun birinci gruba giren parametreler tespit edilir. Birinci derece ayarlanabilen diye adlandırılan ikinci gruba giren parametreler ilk gruba giren parametre tespitinden sonra kaynak dikişinin kontrolünü sağlayan dikişin şekli boyutları, ark kararlılığı ve kaynaklı birleştirmenin mukavemetini etkileyen değişkenlerdir. MIG-MAG kaynağında bu özellikleri sağlayan parametreler akım şiddeti ark gerilimi ve kaynak hızıdır. İkinci gruba giren bu parametreler kaynak esnasında gerekli görüldüğünde değiştirilebilen ve kaynak dikişini kontrol altında tutan parametrelerdir. Üçüncü gruba giren ve kaynak işlemi süresince değişikliğe uğrayabilen ve kaynak dikiş formunu önemli derecede etkileyen parametrelerdir bunlar MIG-MAG kaynağında torç açısı ve elektrodun serbest uc açısıdır (Tülbentçi, 1990).

4.1.3.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler

Elektrot çapı; bileşimine göre çapına bağlı olarak akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrotlara daha fazla akım şiddeti yüklenebildiği için daha fazla erime gücüne, derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilebilme özelliğine sahiptir. Akım şiddeti, tel çapı ve erime gücü arasındaki bağlantıyı irdeleyecek olursak aynı akım şiddetinde küçük çaplı elektrotlarda daha derin nüfuziyetler elde edilebilmektedir. Büyük çaplı elektrotta ise kaynak dikişi daha geniş olmaktadır.

Koruyucu Gaz Türü; Gazaltı kaynak yöntemlerinde farklı tipte koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Her gazın özelliğine göre farklı tipte erime gücü, dikiş tipi ve nüfuziyet elde etme özellikleri mevcuttur. Ayrıca koruyucu gaz tipi kaynak esnasındaki sıçramaya kaynak hızına ve metal transfer modunada etkisi vardır. Demir esaslı metallerin kaynağında genellikle koruyucu gaz olarak karbondioksit, $CO_2 + Ar$ ve $Ar + O_2$ kullanılmaktadır. Koruyucu gaz olarak karbondioksit kullanımı yüksek ergime gücünün yanısıra derin nüfuziyet ve daha geniş kaynak dikişi elde etmemizi sağlar bu avantajlarının yanında daha fazla sıçrama ve en çok daman çıkaran koruyucu gazdır. karbondioksit kullanımında diğer gazlara göre aynı akım şiddeti uygulanmasında yüksek hızlarda kaynak yapabilme imkanı vardır. Koruyucu gaz olarak Ar veya $Ar + O_2$ kullanımında daha az sıçrama ve daha az duman oluşturmaktadır bu gibi özelliklerin yanısıra daha az ergime ve daha az nüfuziyet ve daha dar dikiş elde edilmektedir.

Koruyucu gazların demirdışı metallerin kaynağına göre incelediğimizde genellikle argon

gazı, helyum ve Ar + He gazları kullanılmaktadır. Ar demir esaslı metallerin kaynağında olduğu gibi en az ergime gücü ve en az nufuziyetle birlikte en dar şekilde dikiş elde edilen gazdır. He gazı kullanımında daha yüksek ergime gücü, daha derin nufuziyet ve geniş kaynak dikişi elde edilir. He gazında daha yüksek ark gerilimi oluşur fakat koruyucu gaz sarfiyatı Ar'a göre daha çoktur. Ar + He karışımı koruyucu gazda ise her iki gazın ortalamasında avantaj ve dezavantaj sağlanır.

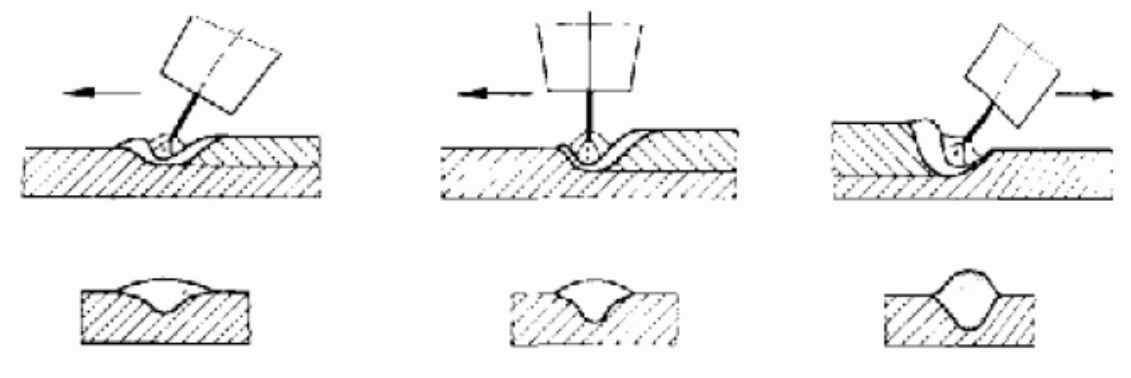
4.1.3.2. Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

Kaynak Akım Şiddeti; kaynak esnasında ergime gücü, nufuziyet, kaynak hızı ve kaynak dikişinin formuna etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Sabit gerilimli MIG-MAG kaynak makinalarında tel sürme tertibatına yapılan ayarlama ile otomatik olarak akım şiddetide ayarlanmış olur. Akım şiddeti arttıkça kaynak hızıda doğru orantılı olarak artar. Diğer parametreler sabit tutularak akım şiddeti arttırıldığında kaynak dikişinin nufuziyetinin, genişliğinin ve yüksekliğinin arttığı görülmektedir. Akım şiddetinin artması ile kaynak bölgeside daha fazla ısı yoğunlaşması olur ve ince parçalarda delimmeler meydana gelir düşük akım şiddetinde ise düşük bir nufuziyet ile elektrot ergiyişinin kaynatılacak metal üzerinde birikmesine sebep olur.

Kaynak Gerilimi (Ark Boyu); Arkın uzunluğunu ve dikişin genişliği üzerinde etkisi vardır. Ark gerilimi yüksekse kaynak dikişi yassı ve geniş olur.bu uygulama biçiminde

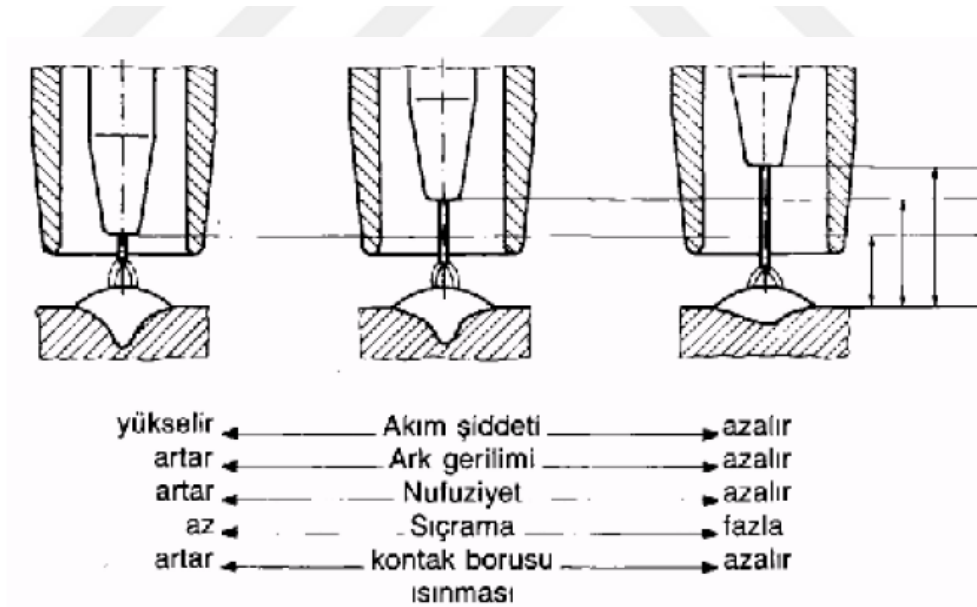
4.1.3.3. İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

Torc Eğimi; Gazaltı kaynak yöntemlerinin hepsinde sağa ve sola kaynak yapma imkanı vardır. Torcun kaynak dikiş düzlemine 90°'lik açı ile kaynak işleminin yapılması kaynak ortamı için son derece uygun bir torc pozisyonudur fakat kaynakçının kaynak banyosunu kontrolde zorlanması ve kaynakçının görüşünü netleştirme için torc dikiş düzlemine 10-30° açı ile torca biraz eğim verilir. Bu durumdan dikiş formu ve nufuziyet önemli ölçüde etkilenir. Eğer torc kaynak yönünün tarafına doğru eğim verilirse sağa doğru kaynak yapıldığı ve bu yönde yapılan kaynakta ark basıncı sıvı kaynak banyosunu geriye doğru iter ve daha derin nufuziyet elde edilir. Torc eğer kaynak dikişinin tersi yönde eğim verilirse sola kaynak işlemi olur ve ark basıncı kaynak yönünde olacağından geniş kaynak banyosu olacak fakat daha az nufuziyet elde edilir.



Şekil 4.14. MIG/MAG kaynağında sağa ve sola kaynakta dikiş formlarının değişimi
(Kahraman & Gülenç, 2016).

Serbest Tel Uzunluğu; Serbest tel uzunluğu Şekil 4.15’de görüldüğü gibi direkt olarak kaynak nüfuziyeti, akım şiddetine, ark gerilimine, sıçramaya ve kontak botusunun ısınmasına etki etmektedir. Çünkü Serbest telin uzaması eletrot üzerindeki direnci artırır ve ergime gücü azalır ve ergime gücünün azalması ile nüfuziyette azalması meydana gelir. Bu sebeple fazla miktarda soğuk kaynak metali yığılması olur. Genellikle serbest tel uzunluğunun sabit tutulması gerekir (Kahraman & Gülenç, 2016).



Şekil 4.15. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Tülbentçi, 1990).

Nozul Mesafesi: Gaz nozulunun iş parçasıyla olan mesafesi kaynak bölgesini yeterince koruyacak kadar kısa gaz çıkışının sorunsuz olacağı şekilde uzun olmalıdır (Eryürek, 2007). Akım şiddeti gaz nozulunun parça ile mesafesinin belirlenmesinde etkili bir parametredir. Akım şiddetiyle nozul mesafesi doğru orantılı olarak artar. Nozul mesafesi

fazla ise koruyucu gaz kaynak bölgesini koruyamaz yakın ise koruyucu gazın kaynak bölgesine geçişi engellenebilir, nozul fazla ısınır ve nozula olan sıçrama daha fazla olur (Kahraman & Gülenç, 2016).

4.1.3.4. MIG (Metal Inert Gaz) Kaynağı Çalışma Prensipleri

Genel olarak MIG kaynak yönteminin yatay pozisyonlarda hem otomatik hem manuel kaynak yapılabilme kabiliyeti vardır. Fakat zor olarak adlandırabileceğimiz pozisyonlarda manuel olarak kaynak yapılabilir. MIG kaynağında ilk dikkat edilecek hususlar kaynak yapılacak malzemenin özelliklerine, ağız şekline ve kaynak pozisyonudur. Kaynak dikişinin kalitesi, genişliği nufuziyet miktarı kaynak torcunun açısına, kaynak akım şiddetini ve kaynak hızını değiştirerek ayarlanabilir. Yüksek akım şiddetinde uygulanan kaynak işleminde kaynakta geçiş direncinin düşük olması engel teskil eder bunun içinde parçanın dikkatli bir şekilde kutuplanması gereklidir (Anık & Tülbentçi, 1990).

4.2. METAL TRANSFER MODLARI

Metal taşınımını katottan (eksi kutup) elektronlar hızlı bir şekilde anoda (artı kutba) doğru hareket ederler ve hızlı hareket eden elektronlar ısı enerjisi oluştururlar ve bu elektronlar temas ettikleri bölgede aşırı derecede ısınırlar ve temas noktasında malzeme ergir. Bu hızlı elektronlar kaynak parçasının atomlarına çarparak bu atomların elektronların ayrılmasına sebep olurlar elektron kaybeden atomlar iyon haline gelirler ve pozitif yüklüdür ve hızla katoda giderler ve o bölgede ısı artışına sebep olur ve ergime bu şekilde devam eder. Elektronların ve iyonların elektriksel alan içerisindeki hareketleri ark sütunu oluşumunu sağlar bunada plazma denir. Plazma oluşumunda koruyucu gazın türü ve bileşimi ark sütununun kesitini ve elektrodun erimesi sonucu oluşan damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve yönünü tayin eder (Tülbentçi, 1990).

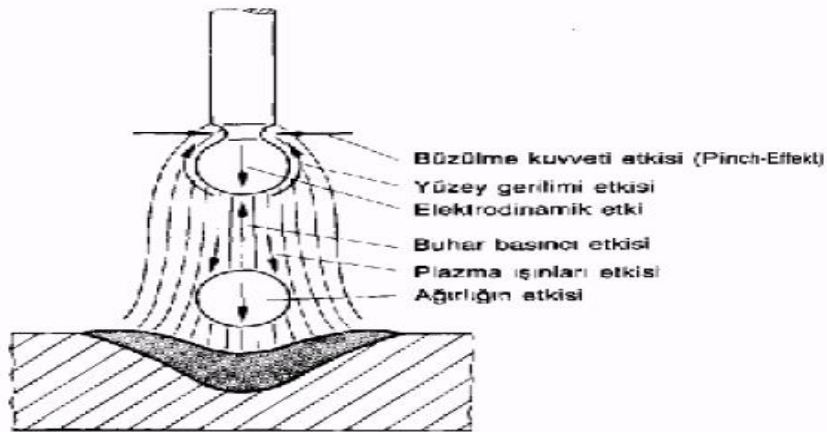
MIG kaynağında metal transferini özetleyecek olursak metal transferi küresel transfer modunda başlar. Akım şiddetinin artması ile sprey metal transfer moduna geçilir ve akım şiddetleri üzerinden değişiklikler yapılarak diğer iki metal transfer modundaki olumsuzlukları darbeli akım modunda yani metal transferinin en düşük seviyedeki akım ve en yüksek akım seviyesindeki darbeli akım ile gerçekleştirilmektedir (Makinatek, 2018).

Metal taşınımını etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir (Eryürek, 2007).

- 1) Kaynak akım şiddeti,
- 2) Tel Elektrot çapı,
- 3) Elektrodun bileşimi,
- 4) Serbest tel uzunluğu,
- 5) Koruyucu gazın türü.

Kaynak esnasında oluşan kaynak arkıda iletken bir özellik göstermesi sebebiyle ark etrafında manyetik bir alan oluşturur akım şiddeti arttıkça manyetik alanın şiddeti artar ve bu olaya “Pinch Efekt” adı verilir. Ark bölgesinde akım yoğunluğunun en fazla olduğu yer elektrot ucu olması sebebiyle en kuvvetli radyal büzülme bu kısımda görülür ve bu radyal büzülme en kuvvetli olduğu yerden kuvvetin az olduğu kısma doğru hareket eder ve damlacığın elektrot ucundan ayrılarak kaynak banyosuna transferini sağlar (Tülbentçi, 1990).

Kaynak esnasında oluşan arkın manyetik özelliği sebebiyle Şekil 4.16’da görüldüğü gibi büzülme kuvvetinden daha farklı kuvvetlerde damlaya etki etmektedir.

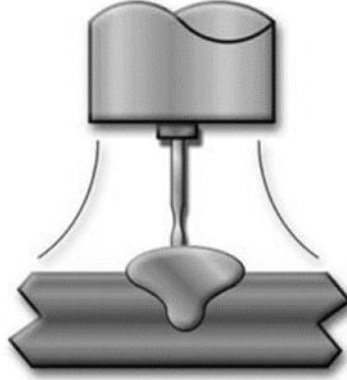


Şekil 4.16. Elektrot ucunda oluşan damlacığa etki eden kuvvetler (Tülbentçi, 1990).

4.2.1. Kısa Devre Metal Transferi

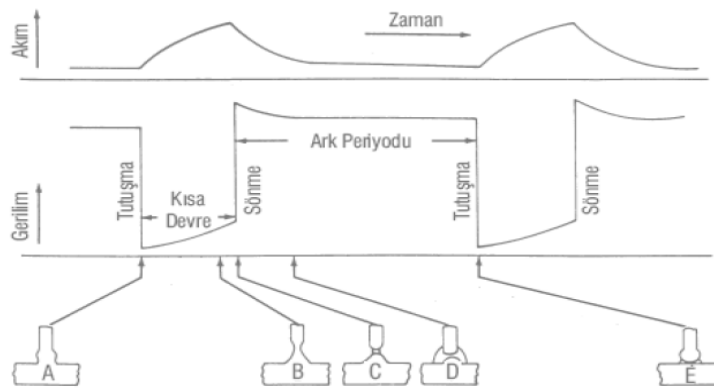
İnce elektrot kullanılarak kısa ark geriliminde düşük akım şiddeti ile yapılan kaynak uygulamasında gerçekleştirilen metal transfer yöntemidir. Kaynak esnasında ark oluşumuyla birlikte en yüksek ısının olduğu elektrot ucunda eriyik damla oluşur ve oluşan damlacık kaynak banyosuna akarken elektrot ve kaynatılan parça arasında kısa devre oluşur bu esnada gerilim düşer, akım şiddeti artar ark gerilimi koruyucu gaza ve kaynak elektrot tipine göre saniyede 20 ila 200 kez elektrot metal ile temas eder ve metal transferi sağlanmış olur. Kısa devre metal transferi düşük ısı girdili metal transfer modu olmasının yanında düşük kaynak akımı aralığında hızlı donma kabiliyetine sahip Şekil

4.17’de kısa devre transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişinde gösterilen, küçük kaynak havuzları oluşması istenildiğinde uygulanan bir kaynak yöntemidir (Eryürek, 2007).



Şekil 4.17. Kısa devre transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi (Muzafferoğlu, 2008).

Kaynak akımının karakteristiği akımın artış hızı elektrodu ısıtmaya ve metal iletimini sağlayacak kadar yüksek, ancak metal damlasının şiddetli bir şekilde ayrılmasını sağlayarak neden olacağı sıçramayı en az seviyede tutacak şekilde düşük olmalıdır. Metal iletimi kısa devre esnasında oluşur fakat kullanılan koruyucu gazın cinsi yüzey gerilimi, damla çapı ve kısa devre süresi üzerinde etkisi vardır. Örneğin argon gazının koruyuculuğunda yapılan kaynaklı birleştirmede kısa devre frekansını arttırırken erimiş damla boyutunu azaltır (Eryürek, 2007).



Şekil 4.18. Kısa devre transfer modunda gerilim ve akım değerleri (Eryürek, 2007).

Kısa devre transfer modunda gerilim ve akım değerlerinin Şekil 4,18’deki şematik gösteriminde tel elektrot A safhasında erimiş kaynak banyosuyla fiziksel temas sağlar ark

bu esnada ark gerilimi sıfıra yaklaşır ve akım değeri artar akımın pik değerine ulaşması endükdansın miktarına bağlıdır. B noktası elektrodun uc kısmına uygulanan elektromanyetik kuvveti gösterir bu kısımda elektrodun ucundaki ergiyiğin boyun verme aşamasıdır. Bu sırada voltaj yavaş bir şekilde artar ve akım pik değerine ulaşmaya başlar. C noktasında ise boyun vermiş olan ergiyik metal elektrodun ucundan kopma kuvvetine maruz kalır ve bu noktada akım pik değerine ulaşarak teli ucunda erimiş damla incelemek kaynak parçasına geçişi sağlanır. Akımın başlangıç noktasına döndüğü D noktasında damla tekrar oluşur.

E noktasında ise elektrot erimiş kaynak banyosu ile tekrar temas kurar ve diğer damlanın transferi sağlanarak kaynağın devamı sağlanır (Eryürek, 2007).

4.2.2. İri Damla (Uzun Ark) Metal Transferi

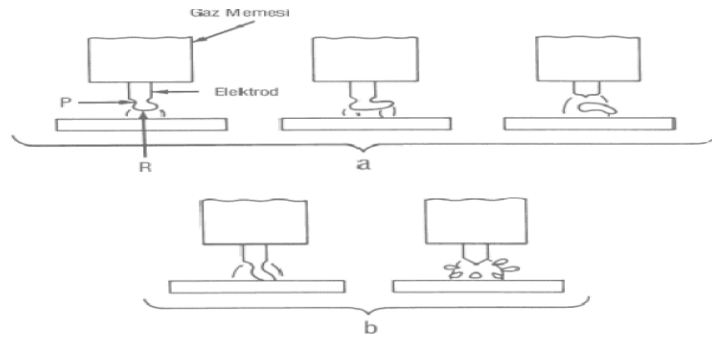
Kaynak işlemi esnasında sürekli olarak tel ile beslenen kaynak banyosunda kaynak telinde oluşan ergiyik damlacığın yerçekimi ve kaynak akımı ile oluşan kısa devrelerle sonucunda büyük damlalar halinde kaynak banyosuna katılmasına verilen isimdir. İri damlaların oluşumu doğru akımda ters kutuplamada (elektrot pozitif) ise kaynak akımında düşük olduğu zamanda koruyucu gazın cinsine bağlı olmadan bu iletim modu gerçekleşir. Ancak koruyucu gaz olarak CO₂ ve He kullanımında bütün kaynak akım değerlerinde iri damla oluşumu gerçekleşir (Eryürek, 2007).



Şekil 4.19. Küresel transfer transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi (Muzafferoğlu, 2008).

İri damlanın özelliği ergiyik damlanın çapının elektrot çapından daha büyük olmasıdır. İri damlalar yerçekiminin etkisi ile kaynak banyosuna doğru aksenal bir şekilde hareket eder. Bu damla iletim sisteminde kısa devre iletime göre daha yüksek akım değerlerinde transfer gerçekleşir. Damlanın geçişi esnasında kısa devre nadir olarak görülür. Elektrot

ve iş parçası arasındaki mesafe yani ark boyu kısa tutulursa büyüyen damla iş parçasıyla temas ederek aşırı şekilde ısıya maruz kalır ve yüksek oranda sıçrama meydana gelir bu sebeple ark boyu eriyik elektrotun kaynak banyosuna değmeden elektrottan ayrılmasına imkân verecek şekilde ark boyu mesafesi olmalıdır. Daha yüksek ark boyu ve gerilim değerlerinde yetersiz ergime ve bunun sonucunda daha az nüfuziyet elde edilir bu durum iri damla iletimini kısıtlayan bir etkidir. Ergiyik damlacığın aksel hareketten sapmasının sebebi elektrot ucundaki elektromanyetik kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin en önemlileri Şekil 4.20’de görülen büzme kuvveti ve anot reaksiyonlarıdır. Büzme kuvveti akım şiddetine ve elektrot çapına bağlı olup ergimiş elektrot damlasının elektrottan ayrılıp kaynak banyosuna düşmesini sağlar. Anodik reaksiyon sonucu oluşan elektromanyetik kuvvet ise metal damlacığının kopmasını önlemeyen damlayı destekleyen kuvvettir. Elektrot damlacığının Şekil 4.19. Küresel transfer transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişinde olduğu gibi elektrottan ayrılması damlacığın kaynak banyosuna değip kısa devre yapmasına veya yerçekimi kuvveti etkisiyle kaynak banyosuna düşmesiyle ilgilidir. Bu sebeple uzun ark damlacık modundaki metal transferinde kaynak banyosunda sıçrama şiddetlidir. Bu durum kaynak için koruyucu gaz olarak kullanılan CO₂ kullanımını kısıtlamaktadır. Koruyucu gaz olarak genellikle karbondioksit kullanılır fakat argon/karbondioksit karışımında kullanılmaktadır. Genel olarak karbon çeligi ile yapılan imalatlarda aksel spray transfere yakın geçiş bölgesi değerlerinde kullanılır ve yüksek kaynak hızı elde edilmiş olur. Küresel metal transfer modu gelişen teknoloji ile yerini daha az gaz oluşturan sıçrama yapmayan yeterli derecede ergiyen darbeli spray transfer yöntemine bırakmıştır. Koruyucu gaz olarak kullanılan karbondioksit gazı veya Ar + CO₂ gaz karışımı ve kullanılan elektrot gibi sarf malzemelerin ucuz oluşu kaynak hızının istenilen hızda olması bu transfer modunun avantajıdır.



Şekil 4.20. Aksel olmayan küresel transfer modunda damla geçişi (Eryürek, 2007).

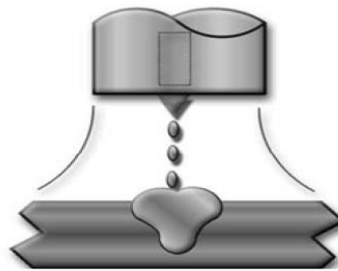
Sıçrama miktarının fazla olması sebebiyle kaynak dikiş temizliğinin maliyetini ve temizlik süresini arttırır. Kaynak dikişinde soğuk yapışma, yetersiz erime kusurları, kaynak dikiş formundaki bozukluklar ve ıslatma kabiliyetinin az olmasında dezavantajlarıdır (Eryürek, 2007).

4.2.3. Sprey Metal Transferi

Yüksek ısı girdisiyle kaynak metalinin iş parçasına doğru duşlama şeklinde Şekil 4.21 gibi geçişine sprej tranfer modu adı verilmektedir. Kaynak metalinin parçaya geçişi aksenel olarak arkın tam içinden geçer aksenel sprej tranfer modunda koruyucu gaz olarak Ar / O₂ ve Ar / CO₂ kullanılmaktadır. Bu sebeple Ar gazının soybir gaz olması ile bütün alaşımlarda uygulanabilme özelliği vardır.

Eksenel sprej tip metal taşınımı uygulamada doğru akımda elektrot pozitif kutupta kullanılması ve akım şiddetinin kritik geçiş akımının üzerinde olmalı ve bu geçiş akımının altındaki değerlerde iri damla iletimi olur damla geçişi saniyede birkaç damladır. Fakat kritik geçiş akımının üzerindeki değerlerde metal geçişi elektrot çapından daha küçük olan ve bu damlaların saniyede yüzlercesinin transferinin gerçekleşmesiyle olan damla iletim sistemidir. Damla iletimi istikrarlı bir şekilde yönlenmiş damlalar demetinden oluşur. Damlaların çapı ark boyundan küçük olduğu için kısa devre oluşmaz bu sebeple sıçrama ihmal edilecek kadar az olmaktadır (Eryürek, 2007).

Sprej ark ile metal taşınımı yüksek akım şiddetlerinde gerçekleştiği için kalın parçaların kaynatılmasında iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde sıçrama çok azdır. Kaynak banyosu yüksek ergime gücü ile oluşması sebebiyle diğer transfer yöntemlerine göre geniştir yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesinde istenilen sonucu veren bir transfer yöntemidir. Kaynak banyosundaki yüksek akışkanlık yöntemin kullanımını yatay ve düz pozisyonlarla kısıtlar. Yüksek enerji girişi olması sebebiyle torcun iyi şekilde soğutulması gerekir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 4.21. Sprej metal tranfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi
(Muzafferoğlu, 2008).

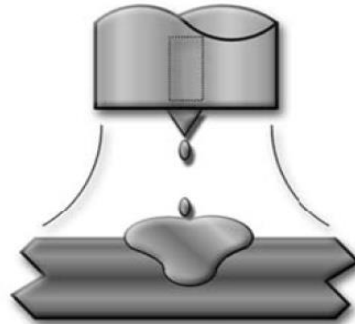
Bu yöntemde %95 argon %5 Oksijen kullanılan gaz karışımlarında parmak şeklinde derin nüfuziyet oluşur, bu gaz karışımı %10'dan daha fazla CO₂ içerdiğinde dairesel bir nüfuziyet şekli oluşur. Eksenel sprej metal transfer yönteminin seçiminde malzeme kalınlığı ve kaynak pozisyonunun durumuna göre belirlenir.

Eksenel sprej yönteminin avantajları; Yüksek kaynak metali yığıma hızı ile %98 oranında elektrot verimliliği sağlanır, çok çeşitli elektrot tipiyle çalışma imkânı verir. İyi bir ergime ile mükemmel dikiş formu elde edilir. Yarı otomatik ve tam otomatik olarak uygulama alanları vardır.

Eksenel sprej yönteminin dezavantajları; Daha öncede bahsettiğimiz gibi kaynak pozisyonundaki kısıtlamalar fazla miktarda gaz çıkışı olması, fazla miktarda ışık yayması sebebiyle kaynakçının özel korumaya ihtiyaç duymazı gibi dezavantajları vardır. Fakat kaynak pozisyonundaki sınırlamalar özel olarak geliştirilen güç üniteleri sayesinde büyük ölçüde giderilmiştir.

4.2.4. Darbeli Sprej Metal Transferi

Bu yöntemde darbeli akımı üretebilen kaynak akım üretici gereklidir. Darbeli Sprej metal transferi, eksenel sprej metal transfer yönteminde kullanılan kaynak akımının yüksek bir pik akım seviyesi ve düşük bir temel akım seviyeleri arasında değişen üst seviyede kontrolü yapılan bir metal transfer yöntemidir. Darbeli sprej metal transfer modunda ulaşılmak istenen küresel metal transfer modundan sprej metal transfer moduna geçişteki kritik akım değerinden daha düşük akımlarda sprej metal transfer modunu gerçekleştirmektedir. Elektrot ucundaki eksenel damlacığın darbenin etkisiyle kopmasını sağlayacak akım değerine ulaşmaktır (Muzafferoğlu, 2008).

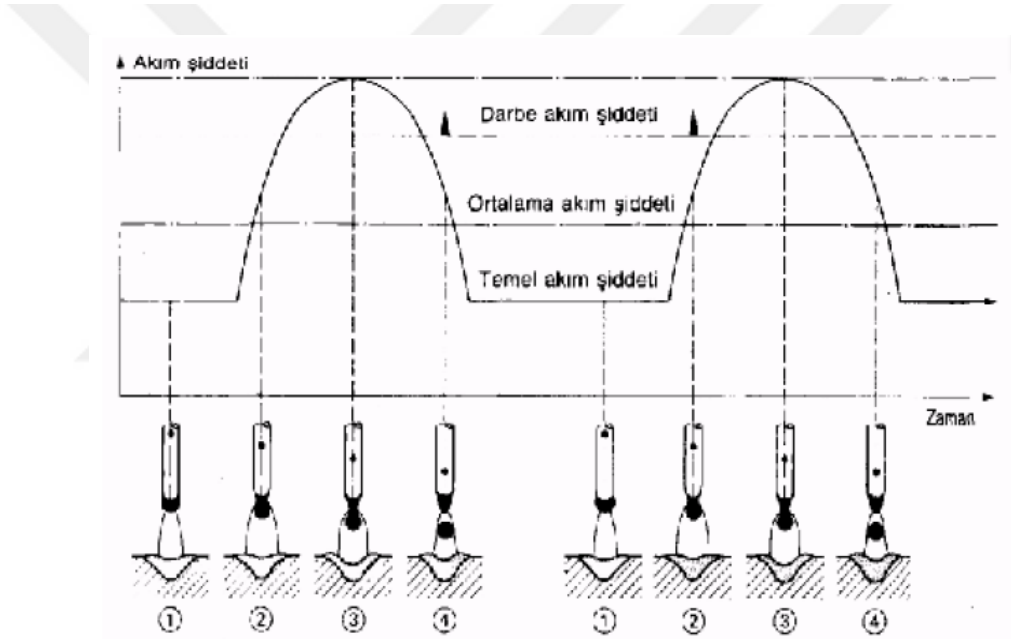


Şekil 4.22. Darbeli sprej metal transfer modunda elektrodun kaynak banyosuna geçişi (Muzafferoğlu, 2008).

Bu metal transfer yönteminde her akım şiddeti bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş

parçasına az bir ısı girdisiyle kaynak işlemini gerçekleştirmektedir. Ayrıca frekans ayarı yapılarak istenen sayıda ve irilikte metal damlacığının iş parçasına geçişinin sağlanmasıdır.

Akım şiddeti ayarına dikkat edilmelidir. Temel akım şiddeti her iki darbe arasında arkın devamlılığını sağlayacak şekilde olmalıdır. Frekans 1 sn. oluşan periyotların sayısıdır. Temel akım şiddeti büyük ölçüde darbe frekansının etkisi altındadır. Frekans arttıkça akım şiddeti azaltılabilir. Akım şiddetinin artışı ile kaynak parçasına olan ısı girdisi de artar ve daha fazla akım şiddetinin yükselmesi darbeler arası aşamada erime gerçekleşeceğinden damla oluşumu düzensizleşir. Bu sebeple kalın ve ısıyı iyi ileten kaynak parçalarının kaynağında mümkün olduğu kadar kalın elektrotlar kullanılır (Tülbentçi, 1990).



Şekil 4.23. Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve kaynak banyosuna geçişi (Tülbentçi, 1990).

Darbe akımı temel akım tarafından elektrodun ucunda oluşturulan damlaya yüksek bir büzülme kuvveti uygular ve kaynak damlası kısa devre olmadan kaynak banyosuna geçiş sağlanır. Bu şekilde kısa devre olmayan akım değerlerinde metal taşınımı darbeli spray metal transfer modunda gerçekleşmektedir. Kısa devresiz metal taşınımı darbe akımının belli bir pik akım seviyesine ulaşması sonucu oluşur. Pik akım değeri damlacığın kopmasına yetecek kadar uzundur. Bu değerın oluşumu kullanılan elektrot malzemesine elektrot çapına ve koruyucu gaz cinsine bağlı olarak değişiklik gösterir (Tülbentçi, 1990).

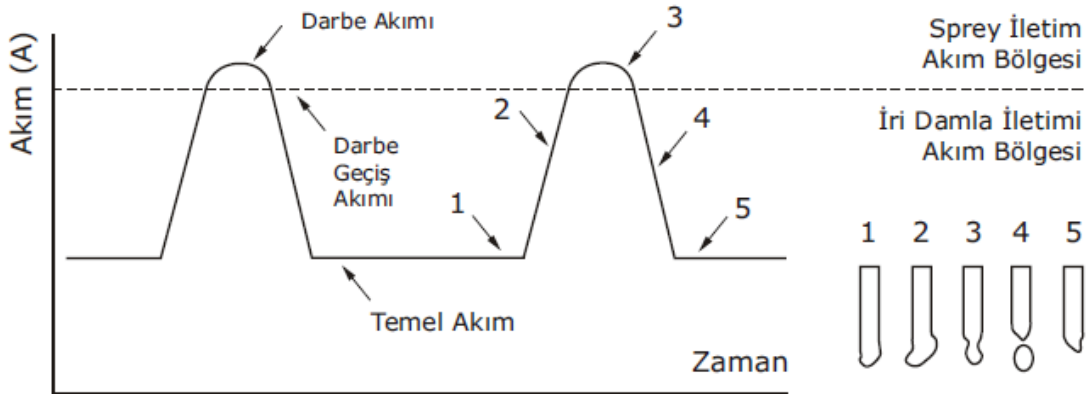
Birden fazla metal transfer yöntemi olması sebebiyle bu transfer yöntemlerinin geçiş akımlarının bilinmesi MIG/MAG kaynak yöntemleri için önemli parametrelerdir.

Darbeli akım şiddetinin çok fazla olması metal damlasının ivmesini artırır. Bu durumda kaynakta sıçramayı artırır ve banyoya hızla çarpan metal damlası dikişte yarılmalara sebep olur kaynak dikişinin kenar kısmında yenmelere sebep olur.

Darbeli akım ile metal transfer modunda amaçlanan spreyci transferi sağlayabilmek aynı zamanda her darbeye bir damla kopmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. En ideal damla çapı tel çapına eşit olanıdır. Bu şekilde kontrollü olarak en az hata ile metal transferi sağlanmış olur.

4.2.4.1. Darbeli Akım ile MIG/MAG Kaynağında Darbe Parametrelerinin Dikiş Geometrisine Etkisi

MIG/MAG kaynağında kullanılan darbeli akımın farklı parametrelerdeki kaynak kabiliyeti hakkında birçok uygulama yapılmıştır. Belirlenmesi gereken parametrelerin başında pik akım, pik akım oranı, tel besleme hızı, temel akım, darbe frekansındır. Bu parametrelerin arasındaki koordinasyonu kaynak makinasının işlemcisi tarafından kontrol edilir bu sebeple kaynakçının ince kesitlerin ve yüksek hız gerektiren kaynaklarda kısıtlayıcı etki yapar.



Şekil 4.24. Darbe dalga şekilleri (Eryürek, 2007).

Pik Akım Darbe döngüsündeki akım değerlerinden yüksek olan akıma verilen isimdir. Pik akım seviyesi küresel spreyci geçiş akımının üzerinde olacak şekilde ayarlanır. Pik akımın uygulandığı zaman diliminde erimiş damlacık elektrot ucundan kaynak banyosuna geçişi gerçekleşir. Pik akımının artışı ortalama kaynak akımını ve kaynak nüfuziyetini artırıcı yönde etki yapar. Pik akımın ayarlanmasının yanında darbe süreside

önemlidir bu süre elektrodun ucunu uygun boyutta eriterek kaynak banyosuna her darbeye ilave metal geçişi sağlayarak transferi devamlı hale getirecek parametrede olmalıdır. Darbeli akımın geçiş akım değeri doğru akımın akım geçiş değerinden yüksektir ve bu geçiş akım değeri kullanılan elektrot tipine ve çapına göre farklılık göstermektedir. Aşağıda farklı tel tipine göre geçiş akımları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Alüminyum ve çelik için geçiş akım değerleri.

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

Pik akım süresi akımın pik akımda kaldığı süre ifade eder ve milisaniye birimi ile ifade edilmektedir. Akım süresi 1 msn-3 msn arasında değişiklik gösterir ve akım süresi arttırıldıkça ortalama akım ve kaynak nufuziyetinde artış meydana gelir. Darbe süreleri her darbeye bir damla olabilecek şekilde parametreler ayarlanmalıdır.

Temel akım Darbe döngüsündeki akım değerlerinden düşük olan akıma verilen isimdir. Temel akımın birimi amperdir. Temel akımda istenilen ayar kaynak arkının söndürülmeden her bir darbe arasında devam etmesini sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Temel akımdaki artış nufuziyet artışına sebep olur.

Ortalama akım darbeli akım döngüsünde pik akım ve temel akımın toplamlarından oluşan akıma verilen isimdir. Sprey transferle konvensiyonel MIG/MAG kaynağından daha kararlı olabilmesi için ortalama akım geçiş akımının altında olmalıdır. Ortalama akım geçiş akımının üzerinde olduğu parametre ayarlarında darbeli akımla yapılan birleştirmede yağma davranışının daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Darbe frekansı Darbe çevriminin bir saniyede ne kadar sıklıkla uygulanacağını gösteren parametredir. Bir darbenin başlangıcından diğer darbenin hemen öncesinde temel akımın sonuna kadar geçen periyodu belirtir.

Darbe frekans ayarından istenen sabit bir ark boyu elde etmek için akım darbelerinin tekrar etme frekansı uygun elektrot yakma hızını verebilmesi için tel besleme hızı ile ilişkili olarak ayarlanmalıdır. Frekans tel besleme oranı ile doğru orantılıdır. Frekans arttığı zaman ark daralır, ortalama akım artar ve erimiş damlacık küçülür. Frekansın

azaldığı durumda kaynak dikişi ve ark genişler.

4.2.5. Değişen Darbe Parametreleriyle Geliştirilen MIG (Metal Inert Gaz) Kaynak Yöntemleri

Geleneksel MIG/MAG kaynak yöntemlerinde darbeli metal transfer modları geliştirildikten sonra gelişen teknoloji darbe parametre değişiklikleriyle yeni kaynak yöntemleri geliştirmiştir. Bu çalışmada geliştirilen P, DP, CMT, PCMT ve PMC kaynak yöntemleri incelenecektir.

4.2.5.1. Darbeli MIG Yöntemi

Darbeli MIG kaynak yöntemi daha önce darbeli ark ile metal transfer modunda bahsettiğimiz gibi malzeme geçişi olmayacak kadar temel bir akım ve pik akım denilen iki akımın kombinasyonunun da durgun bir ark ile kontrollü bir spreyci geçiş elde edilmesine dayanır (Kahraman & Gülenç, 2016) .

Elektrot ve kaynak banyosu arasında temas edilmeden metal transferinin olduğu kaynak çeşididir. Kaynak akımının hızlı bir şekilde yükselmesi ile gerçekleşir. Spreyci veya Küresel transfer yöntemlerinden daha düşük ısı girdisiyle daha düzgün dikiş formu elde edilmektedir (Eryürek, 2007).

Kaynak arkı devam ederken erimiş olan elektrot metalinin kaynak banyosuna itilmesini sağlayan darbe akımı devreye girer ve metal transferi darbe başına bir damlacık olacak şekilde kaynak süreci devam eder. Proses sırasında damlacık oluştuktan sonra akım zirveye çıkar ardından arka plandaki akım fazında toplam ısı girdisini azaltmak için akım düşürülür (Eryürek, 2007). Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan kaynak yöntemi geleneksel MIG kaynaklarına göre ergiyik metal damlacığının iyi bir şekilde kontrolünü sağlamaktadır (Y1, Cao, Li, Guo, & Liu, 2015).

Darbeli MIG kaynağı Alüminyum ve alaşımları gibi hafif metallerin kaynağına başarı ile uygulanabildiği gibi alüminyum kompozitlerde kaynak işlemi uygulanmış ve darbeli MIG yöntemiyle yapılan kompozit kaynağında ısı girdisinin az olması sebebiyle kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkilenmiştir (Kurşun, 2011).

4.2.5.2. Çift Darbe Yöntemi ile MIG (Metal Inert Gaz) Kaynağı

Son zamanlarda, yenilikçi bir DP MIG kaynak teknolojisi geliştirilmiştir. Bu, yüksek frekanslı bir akım darbesi üzerine bindirilmiş bir düşük frekanslı akım darbesini ifade eder (Liu, Tang, & Lu, 2013).

DP akımlı MIG kaynağının P akımlı MIG kaynağına göre kıyaslırsak (Liu, Tang, & Lu, 2013).

- 1) DP, MIG kaynağını ayarlamak için daha geniş kaynak akım aralığına sahiptir.
- 2) DP, toplam ısı girişini azaltır ve eklem özelliğini iyileştirir
- 3) DP, kaynak havuzunu kuvvetlice karıştırır ve gözenek ve çatlak oluşumunu azaltır.

Yüksek frekanslı akım darbesinin rolü, kaynak penetrasyonunu elde etmek için damlacık transfer davranışını kontrol etmektir. Düşük frekanslı akım darbesinin (termal darbe) ana işlevi, kaynak havuzunu karıştırmak için bir dizi düzenli darbe elde etmektir. Kaynaklı birleştirmedeki iki çeşit akımın faydası incelenmiş tanenin elde edilmesi kaynaklı birleştirmenin çatlğa karşı hassasiyetini azalttığı saptanmıştır (Liu, Tang, & Lu, 2013). Düşük frekanslı darbe akımının kaynak havuzunu karıştırıcı görevinin kaynak dikişindeki poroziteyi ne kadar etkilediği konusu hakkında araştırma yapan araştırmacılar. DP ve Doğru akım MIG kaynak yöntemlerinde porozite oluşumunu incelemişler ve sonuç olarak DP kaynak yönteminde fazla miktardaki tel besleme hızlarında porozitenin en fazla etkilendiği, Yüksek DP akım aralığında gözenek boyutu büyük olan zayıf bir kaynak banyosu oluştuğu, Düşük DP akımın ise kaynak füzyonunu olumsuz yönde etkilediği, Darbe frekansının gözeneklilik üzerine etkisinin olmadığını belirtmişlerdir (Warinsirruk, Greebmalai, & Sangsuriyun, 2018).

Kaynak arki, beklenen kaynak penetrasyonunu sağlamak için kaynak havuzu üzerinde ısı ve plazma kuvveti üretir (Liu, Tang, & Lu, 2013). Genel olarak tane büyüklüğü, penetrasyon ve füzyon bölgesi alanı ile karakterize edilen tane yapısı, Kaynaklı birleştirmenin özelliklerini etkileyen en temel faktördür. Kaynak eklemi kimyasal bileşimi, mikro yapısı, mekanik özellikleri, geometrisi ve doku stresi konusunda hayati bir rol oynar Kararlı damlacık transferi için arkın stabilitesi çok önemli bir faktördür (Liu, Tang, & Lu, 2013).

4.2.5.3. Soğuk Metal Transfer Yöntemi ile MIG (Metal Inert Gaz) Kaynağı

Daha önce Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan kaynak yöntemlerinde bahsettiğimiz kaynak yöntemi, CMT 2004 yılında Fronius'un geliştirdiği kaynak uygulaması anlamına gelen ve kaynak teknolojisine ve MIG/MAG kaynağı gibi geleneksel yöntemlere göre daha az ısı kullanılan bir kaynak yöntemidir.

Kaynak sırasında sıcaklık değişimleri kaynak dikişlerinde ve ana metallerde malzeme özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Artık gerilmelerin yanı sıra boyutsal ve kaynaklı ürünlerin şekil değişimleri gibi olumsuzluklar meydana gelebilmektedir (Selvi, Vishvaksenan, & Rajasekar, 2018). Düşük ısı girdisi ile uygulanan kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemleriyle kaynatılması güç olan metal dışı malzemelerin kaynağını mümkün kılmaktadır. Bazı metallerin kaynak uygulamalarında devamlı ısı girdisi kaynak bölgesinin ısısının artmasına ve kaynak banyosunda çukurlaşmalara ve sıçramalara sebebiyet vermektedir fakat CMT kaynak yönteminde düşük ısı girdisiyle bu gibi olumsuzluklar önlenmektedir.

CMT kaynak işleminde ısı girdisinin kontrolü, ark boyu uzunluğu, metal transferinin ayarlanması için yüksek hızlı dijital kontrol sistemine entegre edilmiş bir tel sürme sistemi mevcuttur (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018).

Konveksiyonel MIG/MAG kaynak makinalarında kısa devre oluşuncaya kadar tel elektrot kaynak bölgesine sürülmeye devam eder. Kısa devre oluşup kaynak akımı çok yükseldiğinde ise kaynak bölgesine yüksek ısı girdisi olur ve bu sebeple fazla miktarda sıçrama görülür. CMT kaynağında ise metal transferi sırasında gerçekleşen her kısa devrede dijital kontrol sistemi kaynak akımını düşürür ve tel elektrodun geri çekilmesini kontrol eder. Tel elektrodun geriye hareketi kısa devre süresince damla geçişi Şekil 4.25. Soğuk metal transfer yöntemi gibi devam eder (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018).



Şekil 4.25. Soğuk metal transfer yöntemi aşamaları (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018).

Damla transferinden sonra yeniden ark oluşumu gerçekleşir ve tel elektrot tekrar kaynak bölgesine yönlendirilerek kaynak dikişinin sonuna kadar döngü bu şekilde devam eder.

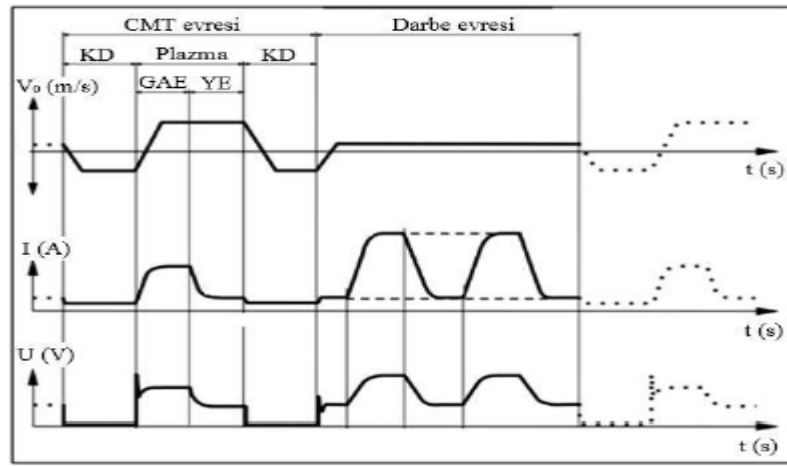
4.2.5.4. Darbeli Soğuk Metal Transfer Yöntemi ile MIG Kaynağı

Soğuk metal transfer yöntemi ve darbeli arkın kombinasyonu olan PCMT kaynak

yöntemi, tanımlanan darbe döngüleri, CMT kısa arkı ile darbeli arkın dönüşümlü olarak uygulanmasını sağlayan kaynak yöntemidir.

PCMT kaynağında prosese darbeli akımında eklenmesi ile prosese daha fazla ısı girişi olur ve daha yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilme imkânı sağlar. Geleneksel CMT kaynak tönemine kıyasla PCMT kaynağında ısı girişinin ayarlanması daha kolaydır (Pang, Hu, Shen, Wang, & Liang, 2016).

Bu kaynak prosesi kaynakçılara, CMT ile darbeli ark arasında istenen boyutta ayarlama imkânı sunmaktadır. Buna ek olarak “saf” darbeli arkta bile CMT yönteminin regülasyon teknolojisi avantajlarıyla yüksek proses kararlılığı sağlanabilmektedir.



Şekil 4.26. Normal CMT ve darbeli CMT kaynak yöntemlerinin karakteristik özellikleri, (KD: Kısa devre, GAE: Güç artış evresi, YE: Yanma evresi) (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018).

Proses Normal CMT döngüsü ile başlar ve bu döngüye darbeli akımın eklenmesi ile sabit tel sürme hızlarında değişken akım ve gerilim değerlerinde darbe döngüsünün son bulmasıyla metal transferi sağlanmış olur (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018).

Bu kaynak yönteminin Alüminyum ve alaşımları için yapılan kaynak uygulamalarında ark uzunluğu stabilizeleri ile uygun nüfuziyet ve daha hızlı kaynak ve yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilir (Fronius, 2016).

Darbeli CMT kaynak işleminde ek darbelerin daha kalın alüminyum yapıların kaynak edilebilirliğini arttırdığı, bunun yanında kısa devre sürelerini değiştirerek farklı özellikte kaynak dikişleri elde edilmektedir (Pang, Hu, Shen, Wang, & Liang, 2016).

4.2.5.5. Darbeli Yüksek Kontrollü MIG Kaynağı

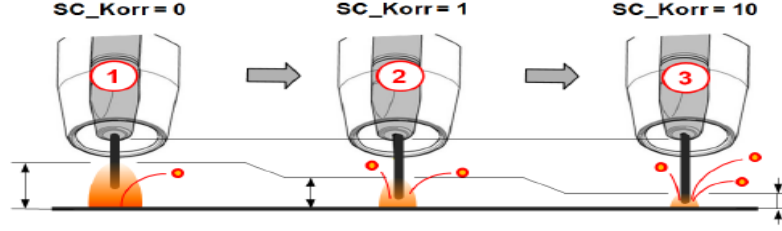
PMC kaynak yöntemi ile darbeli ark sırasında iyi bir kaynaklı birleştirme elde etmek için yüksek performans güç kaynağı (TPS) platformu ile birlikte kullanılarak darbeli ark modifiye edilmiştir. Yeni geliştirilen ve değiştirilen fonksiyonlar darbeli ark üzerinde çok daha iyi bir kontrol sağlamaktadır. Kaynak nüfuziyeti ve ark boyunun ayarlanabilmesi için stabilizörler geliştirilmiştir (Fronius, 2016).

Kaynak Nüfuziyeti stabilizörleri; Ek bir tel ayarı, torcun yapı parçasına doğru bir mesafe değişikliğinde akımı ve kaynak nüfuziyetini sabit tutar. Ark çok büyük bir kararlılık elde eder ve kaynak nüfuziyeti çok daha kararlı hale gelir. Kaynak nüfuziyeti stabilizatörü olmayan geleneksel MIG/MAG makinelerinde, kaynak akımının mesafe değişikliği algılanmaz ve bu şekilde kaynak gücü düşer. Sonucu: Kaynak nüfuziyeti düşük olduğunda bağlantı hataları meydana gelir. Kaynak nüfuziyeti yüksek olduğunda, kaynak akımı artacağından ince saclarda dikiş düşebilir (Fronius, 2016).



Şekil 4.27. Normal darbeli ve darbeli yüksek kontrollü ark parametrelerinin nüfuziyet görüntüsü (Fronius, 2016).

Ark Boyu Stabilizörü; Ark boyu, kaynak gerilimi üzerinden doğrudan etkilenebilir. Sonuç, kısa devre olduğunda daha güvenli ve hatasız bir damla geçişinin sağlandığı, daha kısa arktır. Hızlı ayarlama sayesinde kısa devre süresi asgaride tutulur ve gerilimi azalır. Ark boyu stabilizatörü arkı sürekli kısa tutar ve bu şekilde arkın kararlı olmasını sağlar. Dış hatalarda kullanıcı tarafından manüel bir yeniden ayarlamaya ihtiyaç duymaz. Özel olarak robotlu kaynak sırasında, uygulama için gerekli işlerin sayısına yönelik (programlanmış kaynak programları) çok büyük bir zaman tasarrufu potansiyeli ortaya çıkar (Fronius, 2016).



Şekil 4.28. Ark boyu stabilizörünün etkinleşmesi ile ark boyundaki değişim (Fronius, 2016).

Ark uzunluğu stabilizatör etkinleştirilmesi kısa devre gerçekleşene kadar ark uzunluğunu azaltır. Ark boyu stabilizörü ile kısa ark boyu hassasiyeti ortadan kalkmıştır, torç pozisyonundan etkilenmeden daha hızlı kaynak yapabilme ve sürekli otomatik (yeniden ark) uzunluğu ayarlama gibi özellikler elde edilmiştir.



5. MATERYAL METHOD

5.1. DENEYDE KULLANILAN MATERYALLER

5.1.1. Deney Malzemesi

Deneylerde AA 5083 H111 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1 gösterilmiştir.

5.1.1.1. Deney Malzemesinin Kimyasal Özellikleri

Çizelge 5.1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi (Ağırlık %)										
Malzeme	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Standart	0,40	0,40	0,07	0,60	4,0-4,9	0,05	-	0,25	0,15	Kalan

5.1.1.2. Deney Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Deney Malzemesinin mekanik özellikleri Çizelge 5.2 gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney malzemesinin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama	Elastik Modül (GPa)
275-300	125-145	%22	22

5.1.2. Deneyde Kullanılan Kaynak Telinin Özellikleri

Kaynak esnasında dolgu metali olarak 1,2 mm çaptaki AlMg4,5Mn(Zr) kaynak teli 9,3-11,60 m/dak arasında değişen tel sürme hızlarında MIG kaynak yönteminde kullanılmıştır. Kaynak telinin seçimi tedarikçi firma tarafından Alman standardizasyon enstitüsü (DIN) 1732 standardına göre kimyasal bileşimi Çizelge 5.3'de ve mekanik özellikleri ise Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kaynak telinin kimyasal bileşimi.

	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Cu	Zn	Ti	Al
AlMg4,5Mn(Zr)	5	0,10	0,65	<0,15	<0,06	<0,02	<0,03	<0,02	Kalan

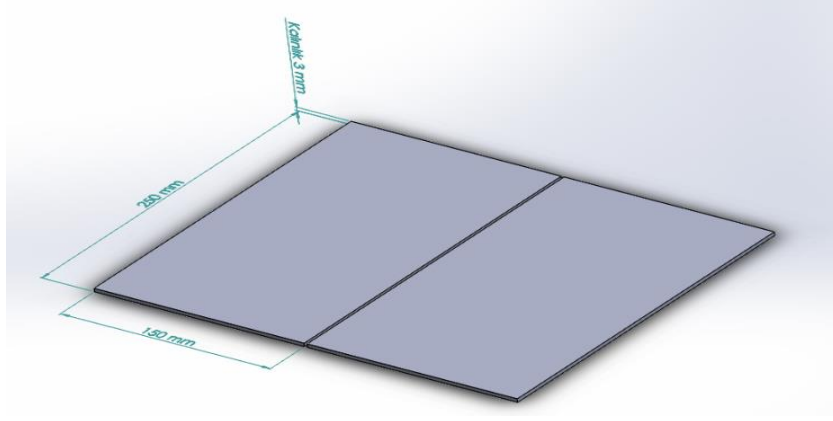
Çizelge 5.4. Kaynak telinin mekanik özellikleri.

Akma Dayanımı (N/mm ²)	240-260
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	285-295
Uzama (L=5d)	%25
Ergime Aralığı	568-638 °C
Yoğunluk (g/cm ³)	2,40

Mekanik özellikleri belirtilen AlMg4,5Mn(Zr) tipi kaynak teli düşük sıcaklıklarda çalışan (-196 °C) ve yüksek mekanik dayanıma sahip alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılır. Mekanik dayanımının diğer konveksiyonel tip ürünlere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

5.1.3. Deney Parçalarının Boyutları

Deneyde 3mm et kalınlığında 150x250 mm ölçülerinde AA 5083 H111 plakalardan 5 kaynak çeşidinden 2 adet birleştirme yapılması sebebiyle 20 adet plaka kullanılmıştır. Her kaynak çeşidinde koruyucu gaz olarak ticari saflıktaki argon gazı ve double pulse kaynakları için Ar-CO₂ karışım gazı kullanılarak iki plakanın Şekil 5.1’de birleştirilecek parçaların ölçülerinde görüldüğü gibi alın altına robotik kol yardımıyla birleştirilmesi işlemi uygulanmıştır. Birleştirme işleminden önce kaynak parçalarındaki yağ ve kir tabakasını gidermek için asetonla temizlik işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak Sehпасına kullanılacak olan bakır altlık sabitlenerek Şekil 5.2’de görüldüğü gibi mengene ile sabitlenmiştir. Denemeler yapılarak kaynak çeşitleri için gerekli torç açıları saptanmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.1. Kaynaklı birleştirme yapılacak parçaların boyutları.



Şekil 5.2. Kaynaklı birleştirme yapılacak parçaların bakır altlık üzerine sabitlenmesi.

5.1.4. Deney Numunelerinin Birleştirilmesinde Kullanılan Kaynak Parametreleri

Robotik kaynak işlemlerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Ölçülerinde hazırlanan ve alüminyum alaşımı levhalar, Fronius İstanbul Elektronik Ticaret ve Servis Ltd. Şti. kaynatılacak levhaların gerekli ön hazırlıklar yapıp P, DP, CMT, PCMT, PMC kaynak uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.4’de kaynak sonrası dikiş görüntüleri verilmiştir.



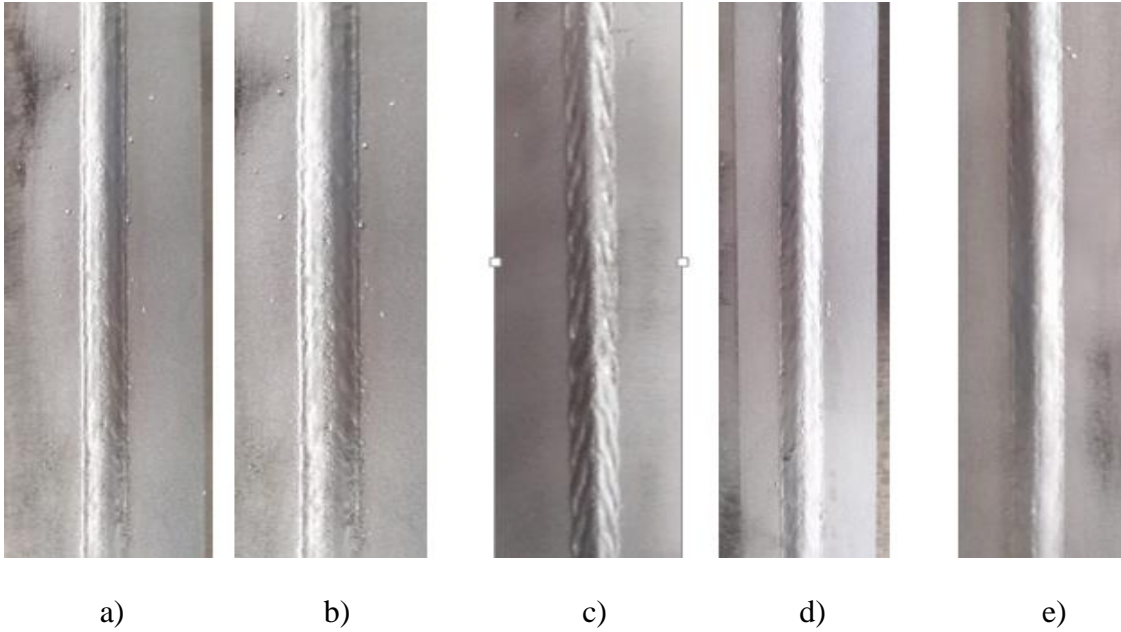
Şekil 5.3. Deney düzeneği.

Çizelge 5.5. AA 5083 H111 alaşımının kaynağında kullanılan parametreler.

PARAMETRELER	MİG/MAG KAYNAK YÖNTEMLERİ				
	Pulse	Double Pulse	CMT	Pulse CMT	PMC
Kaynak Akımı (Amper)	161	161	160	195	197
Kaynak Voltajı (Volt)	21,30	21,30	20,2	20,40	22,50
Tel Sürme Hızı (m/dak)	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3

5.1.5. Deney Numunesine Kaynak İşleminin Uygulanması

Standartlara göre hazırlanan levhalar Fronius İstanbul Elektronik Ticaret ve Servis Ltd. şti.” de Robotik kaynak parametreleri denemeler sonucunda en uygun parametreler seçilerek kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deney parçaları robotik MIG kaynağı ile 1,2 mm çapta AlMg4,5Mn(Zr) dolgu malzemesi elektrot tel Çizelge 5.5 Kaynak çeşitlerine göre ayarlanmış parametreler kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Kaynak Dikişi görüntüleri a) P b) DP c) CMT d) PCMT e) PMC görüntüleri.

5.1.6. Kaynaklı Levhaların Görsel İncelenmesi

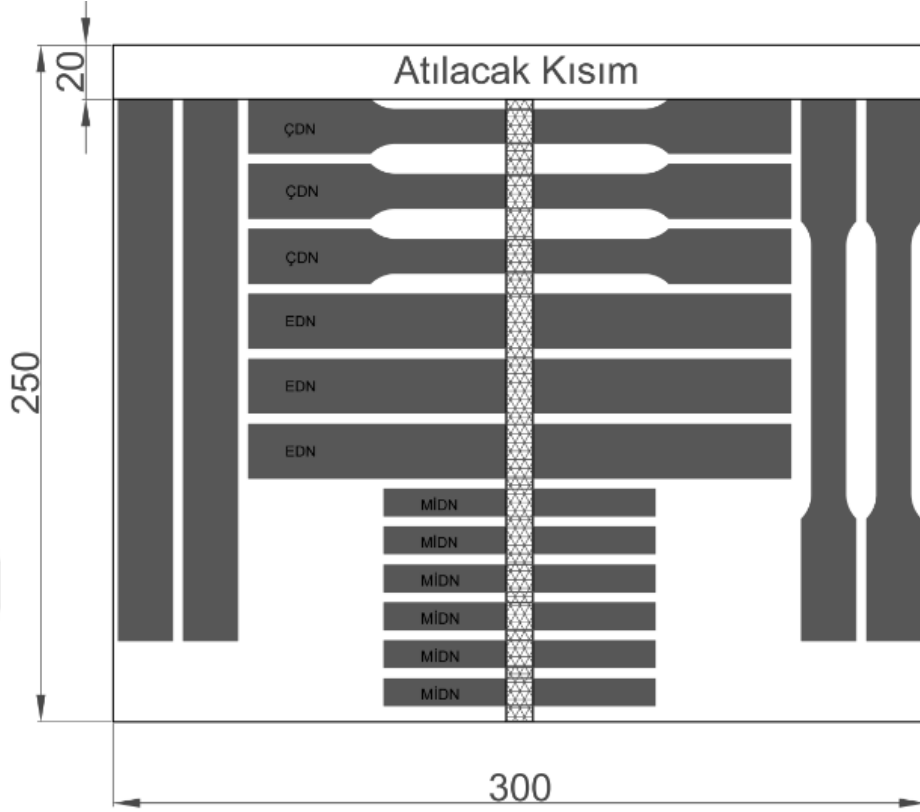
Kaynaklı bağlantıların mukavemetini etkileyecek türde herhangi bir hata saptanmamıştır. Kaynak dikişlerindeki sıçramalar ihmal edilecek kadar az olduğu, kaynak dikişlerinde süreksizliğin gözlenmediği kaynak dikiş tırtılı görüntüsünün düzgün bir şekilde kaliteli kaynak dikişi görüntüsü Şekil 5.4'deki dikiş görüntülerinde olduğu gibidir. Kaynak dikişlerinde nufuziyet eksikliği ve ergime hatası ile birlikte eksik dolgu gibi hatalar gözlenmemiştir.

Farklı akım türlerinde yapılan kaynak yöntemlerinde darbeli akım ile yapılan kaynak dikişlerinin soğuk metal transfer yönteminin dikişlerine göre daha kalın dikişler olduğu darbeli ve çift darbeli akımla yapılan kaynak dikişlerinin ITAB bölgelerinin CMT, PCMT ve PMC kaynak yöntemlerine göre daha geniş olduğu saptanmıştır.

5.1.7. Deney Numunelerinin Kaynaklı Plakadan Çıkarılması

Robotik kaynak işlemi gerçekleştirilmiş olan AA 5083H111 alüminyum alaşımı plakaların içerisinden Çekme, Eğme ve Mikroyapı incelemesi gerçekleştirilecek olan numuneler yapılan görsel incelemelerle gözönünde bulundurulması gereken dikiş özelliklerine göre başlangıç ve bitiş noktalarındaki kaynak hatalarının ortadan kalkması için kaynatılan plakanın dikiş uc kısımlarından 20 mm uzunluklar kesilerek atılmıştır. Deney numuneleri uygulanacak olan testler için çekme deneyi ölçüsü TS EN ISO 6892, eğme deneyi TS EN ISO 5173 standartlarına göre ve metalografik inceleme için belirlenen numuneler gerekli ölçülerde hazırlanarak plakalardan çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler her deney çeşidi için en az üçer adet numune alınacak şekilde sözkonusu standartlara uygun olarak plaka ölçüsüne uygun Şekil 5.5'de kaynaklı plakadaki numune dağılımına göre markalama işlemi yapılmıştır. Markalama işlemi yapılan plakaların kesiminde su jeti kullanılmıştır. Kesim işlemi yapılmadan önce malzememizin ağırlığının az olması sebebiyle kesim işlemindeki basıçlı su plakanın düzgün kesimine engel olmuştur fakat gerekli ağırlıklar ile plakanın kesin tablasına sabitleme işlemi gerçekleştirilerek birkaç deneme parçasının kesim işlemi gerçekleştirildikten sonra Şekil 5.6'da su jetiyle kesme düzeneğindeki gibi kesim işlemine başlanılmıştır.

5.1.7.1. Kaynaklı Plakalar Üzerinde Numune Dağılımı



Şekil 5.5. Kaynaklı plaka üzerinde numune dağılımı.

ÇDN: Çekme Deney Numunesi

EDN: Eğme Deney Numunesi

MİDN: Mikroyapı İnceleme Deney Numunesi



Şekil 5.6. Su jetiyle kesme düzeneği.

Su jetini tercih etmemizin sebebi ise numunelerin ısıdan etkilenmemesi ve çapaksız bir şekilde kesim işleminin gerçekleşmesidir. Su jetiyle kesim işlemi yüksek basınçlı bir pompa sayesinde su 0,28 mm çapında bir nozuldan dakikada 3 litreyi bulan debi yardımı ile püskürtülür. Bu sayede çok ince bir noktaya etki edebilen bir su jeti ortaya çıkar ve kesme işlemlerinde kullanılmasına yarar. Kesme işlemi gerçekleşirken basınçtan dolayı plakaların üzerine ağırlık olması için plakalar koyularak malzemenin titreşimsiz bir şekilde kesme işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.2. DENEYİN YAPILIŞI

5.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Kaynaklı birleştirmeleri yapılan plakalardan çıkarılan deney numunelerinin çekme eğme ve metalografik inceleme belirli bir sistem içerisinde kodlama işlemi yapılmıştır. Deney sırasında karşılaşılabilecek olumsuzluklar ve deney sonuçlarının güvenilir bir şekilde irdelenebilmesi için her bir kaynaklı plaka için;

3 Adet kaynak dikişli çekme numunesi

2 Adet kaynak dikişsiz çekme numunesi

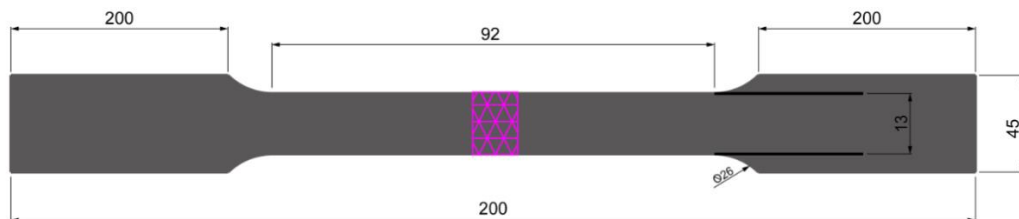
3 Adet kaynak dikişli eğme numunesi

3 Adet makroyapı inceleme numunesi çıkarılmıştır.

Darbeli MIG KaynakYöntemiyle kaynatılmış 10 adet plakadan toplam 110 adet deney numunesi çıkarılmıştır.

5.2.1.1. Çekme Deney Numunelerinin Hazırlanması

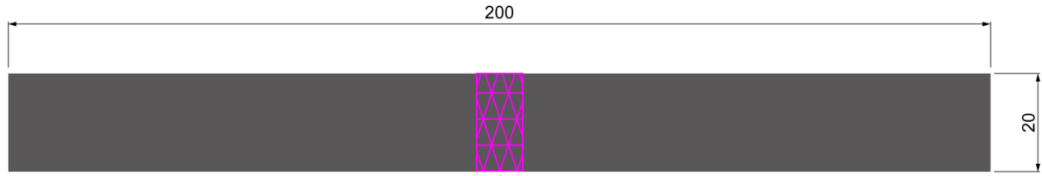
Kaynaklı levhalarda yapmış olduğumuz numune dağılımlarında çekme deney numunelerini TS EN ISO 6892 standardı ölçülerine göre belirleyerek su jetiyle kesme işlemleri gerçekleştirilen çekme numunesinin ölçülendirilmesi Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Çekme test numunesinin ölçülendirilmesi.

5.2.1.2. Eğme Deney Numunelerinin Hazırlanması

Kaynaklı levhalarda yapmış olduğumuz numune dağılımlarında eğme deney numunelerini TS EN ISO 5173 standardı ölçülerine göre belirleyerek su jetiyle kesme işlemlerini gerçekleştirilen eğme deney numunelerinin ölçülendirilmesi Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.8. Eğme test numunesinin ölçülendirilmesi.

5.2.1.3. Metalografik İnceleme Yapılacak Numunelerin Hazırlanması

Kaynaklı plakalardan belirlenen ölçüler dahilinde su jeti kesimiyle çıkarılan numunelerin dikişin tam ortasından sağ ve sol tarafından 15 mm uzunluklardan (Dikiş bölgesinden asıl metale kadar uzanana kadar) alüminyum metal kesici el testeresiyle kesilerek çapak alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Temizleme işlemi gerçekleştirilen numuneler metalografik inceleme işlemi için Şekil 5.10 a bakalite alma cihazı ile sıcak bakalite alma işlemleri için her kaynak yönteminden 2 şer adet olmak üzere bir bakalit dairesine 3 numune parçası Şekil 5.9'da görüldüğü gibi bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler Şekil 5.10 b zımparalama cihazında 400, 600, 800, 1000 ve 1200 kumluk zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımparalama sonrası parlatma işlemine geçilmiştir ve parlatma çuhası ile sırasıyla 6, 3, 1 mikronluk alümina solüsyon ile parlatma işlemi yapılmıştır. Numuneler optik mikroskop ile mikroyapı incelemesi için Keller çözültisi ile 75 s sürede tutularak dağlama işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.9. Bakalite alınmış numune görüntüsü.



a)



b)

Şekil 5.10. a) Bakalite alma cihazı b) Zımparalama cihazı.

Dağlama işlemi yapılmış olan numuneler Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Merkezinde FEI marka QUANTA FEG 250 model SEM (Taramalı elektron mikroskobu) cihazı ile numunelerin mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

5.2.2. Çekme Deneyi

Hazırlık işlemleri yapılan deney numunelerinin çekme deneyi Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında 10kN'luk Utest marka Şekil 5.10'da gösterilen çekme test cihazında 2mm/dk hızda oda sıcaklığında gerçekleştirilerek tüm sonuçlar bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Her kaynak yönteminden 6 adet numuneye çekme işlemi uygulanmıştır. Bu uygulamaların ortalama değerleri alınarak diğer kaynak yöntemleriyle kıyaslama işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.11. Çekme testi cihaz görüntüsü.

5.2.3. Eğme Deneyi

Eğme deneyleri Erciyas Çelik Boru Sanayi A.Ş. Düzce’de oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Eğme deneyinde 40’lık mandrel ve 0,5 mm/s basma hızı seçilerek her kaynak yönteminden üçer adet numune alınarak Şekil 5.12’de görüldüğü gibi numunelerin bir tanesine kök eğme diğer birtanesinde kep (yüzey) eğme deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.12. Çekme testi cihaz görüntüsü.

5.2.4. Sertlik Ölçüm Deneyi

Metalografik inceleme işlemi için hazırlanmış olan numunelerin her kaynak yöntemine göre kaynak dikişi, ITAB ve ana malzemeden özellikleri en iyi yansıtabilecek noktalarda sertlik ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümünü Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırmalar merkezinde oda sıcaklığında yapılmıştır. Sertlik ölçümleri DUROLİNE marka sertlik ölçüm cihazı ile 500 g yük altında 10 s sürede gerçekleştirilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. BULGULAR

6.1.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Tek ekseninde 2 mm/dk hızda sabit oda sıcaklığında malzemenin kopuncaya kadar gerçekleştirmiş olduğumuz çekme deneyinde maksimum çekme kuvveti uygulandığında meydana gelen % uzama değerleri kopma yerlerine göre sınıflandırarak elde edilen veriler Çizelge 6.1’de çekme testi sonuç değerleri listelenmiştir.

Çizelge 6.1. Çekme testi sonuç değerleri.

Numune No	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama	Kırılma Bölgesi
Ana Malzeme	274,30	22,67	Ana malzeme
Pulse	238,60	19,88	Ana malzeme
Double Pulse	273,08	22,00	Ana malzeme
CMT	168,59	18,35	Ana malzeme
Pulse CMT	201,17	18,16	Ana malzeme
PMC	120,55	11,15	ITAB Bölgesi

Numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda kaynak bölgesinden ve ITAB bölgesinde meydana gelen kopma biçimleri Şekil 6.1’de, ana malzemedeki meydana gelen kopmalar ise Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



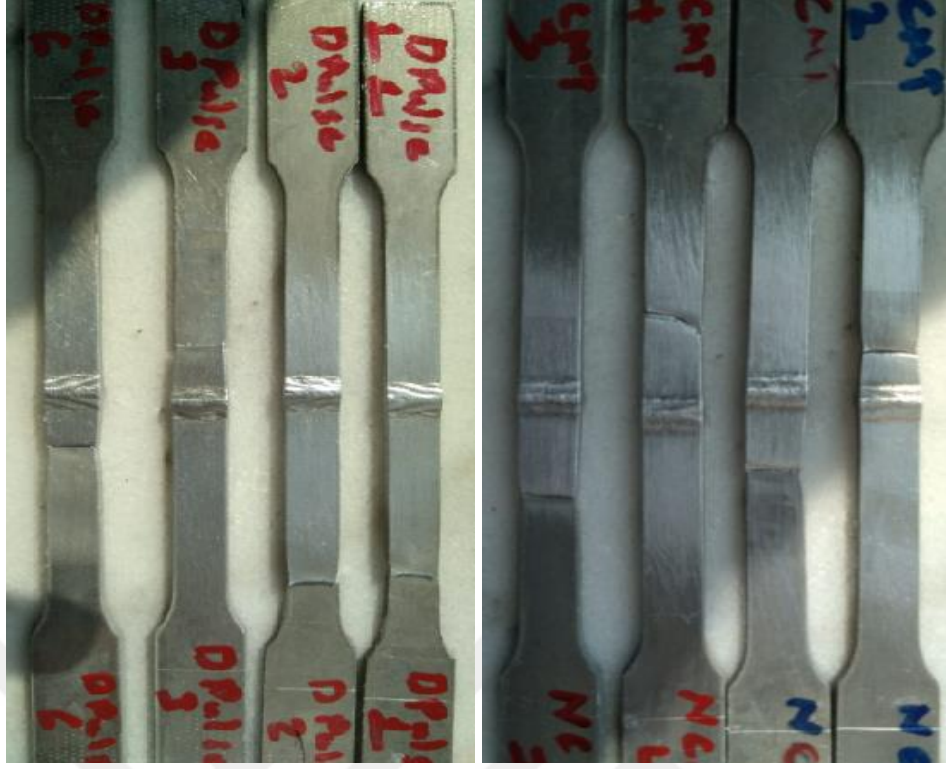
Şekil 6.1. Çekme testi uygulanarak kaynak dikişinden kopan numunelerin kopma biçimleri.



a)

b)

Şekil 6.2. Birleştirilen numunelerin kopma biçimi a) P b) PCMT c) DP d) PCMT

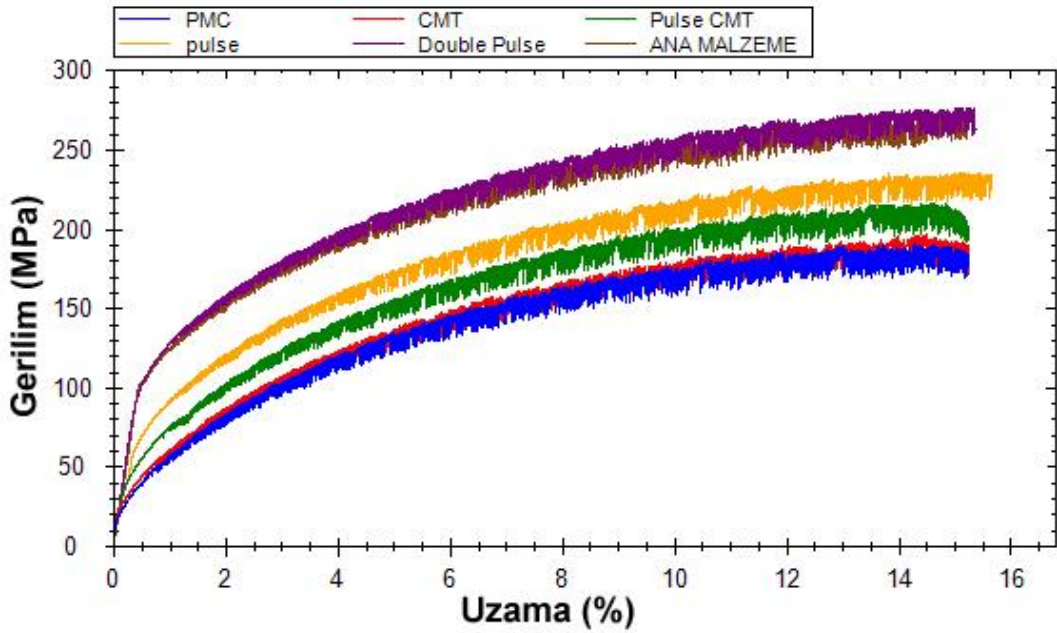


c)

d)

Şekil 6.2 (devam). Birleştirilen numunelerin kopma biçimi a) P b) PCMT c) DP d) PCMT

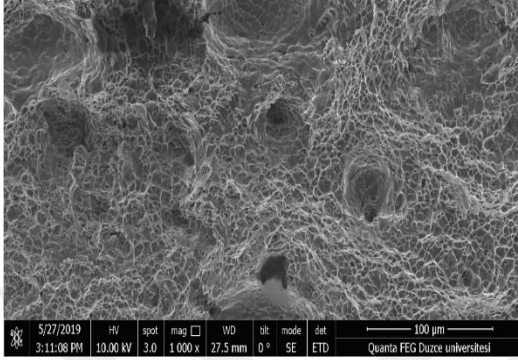
Çekme testi uygulanan numunelerin kaynak yöntemlerine göre çekme ve % uzama grafiği Şekil 6.3 grafiğinde gösterilmiştir.



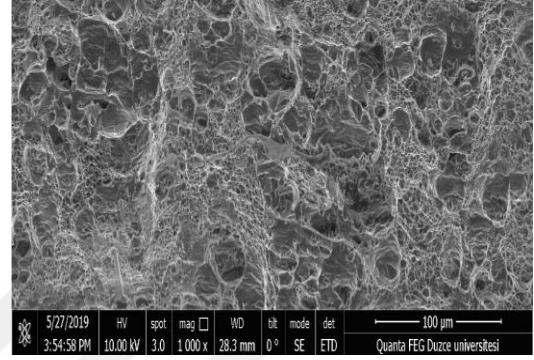
Şekil 6.3. Uygulanan kaynak yöntemlerine göre gerilme ve yüzde uzama grafiği.

6.1.1.1. Çekme Deneyi Sonrası Oluşan Kaynak Bölgesinden Kopan Numunelerin Yüzey Kırıklarının SEM Görüntüsü

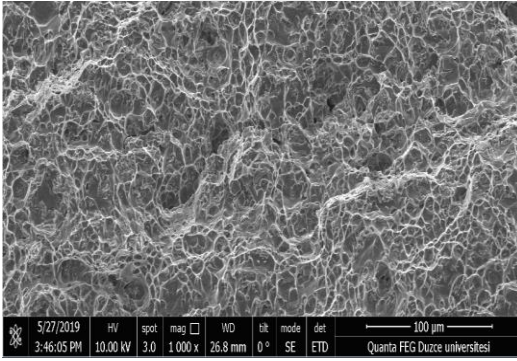
Çekme testleri sonucunda kaynak bölgesinden ve ana malzemeden kopan Şekil 6.4’de görüldüğü gibi kırılma yüzeyleri, farklı akım çeşitlerine göre ikişer adet numunenin SEM görüntüleri alınmıştır. Ana malzemeye ait kırılma görüntüsü Şekil 6.5’de verilmiştir.



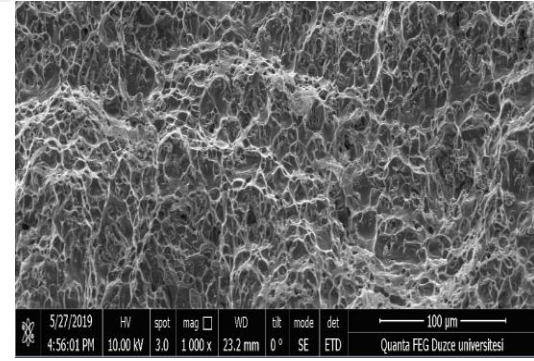
a)



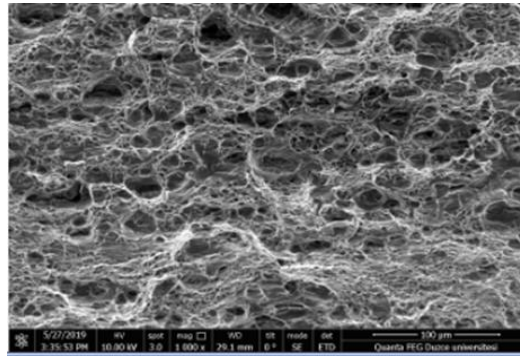
b)



c)



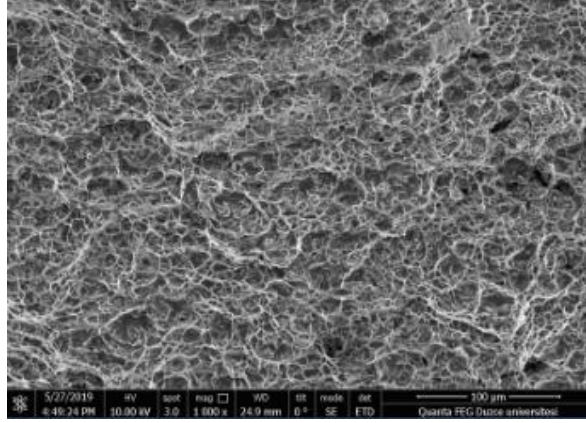
d)



e)

Şekil 6.4. Dikişlerin kırılma yüzeyleri 1000 X büyütmede sem görüntüsü a) CMT Dikiş

b) PCMT Dikiş c) DP d) P e) PMC



Şekil 6.5. AA 5083 H111 Alaşımının ana malzemedeki kırılma görüntüsü.

6.1.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Üç nokta eğme deneyi uygulanan numunelerde herhangi bir çatlama belirtisi gözlenmemiştir. Kaynak bölgeleri eğme kuvvetine karşı mukavemetlidir. Kök ve kep eğme kuvveti uygulanan numunelerin deney sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir ve eğme deneyi gerçekleşen numunelerin görüntüsü Şekil 6.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Eğme deneyi sonuç çizelgesi.

Numune Kodu	Sonuç
Pulse Kök ve Yüzey Eğme	Çatlama görülmedi
D. Pulse Kök ve Yüzey Eğme	Çatlama görülmedi
CMT Kök ve Yüzey Eğme	Çatlama görülmedi
P. CMT Kök ve Yüzey Eğme	Çatlama görülmedi
PMC Kök ve Yüzey Eğme	Çatlama görülmedi

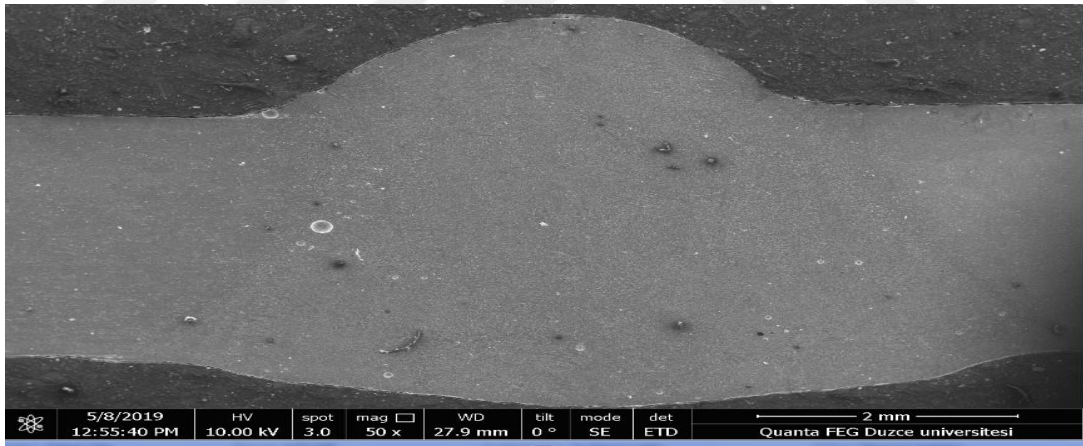


Şekil 6.6. Eğme deneyi uygulanmış numuneler.

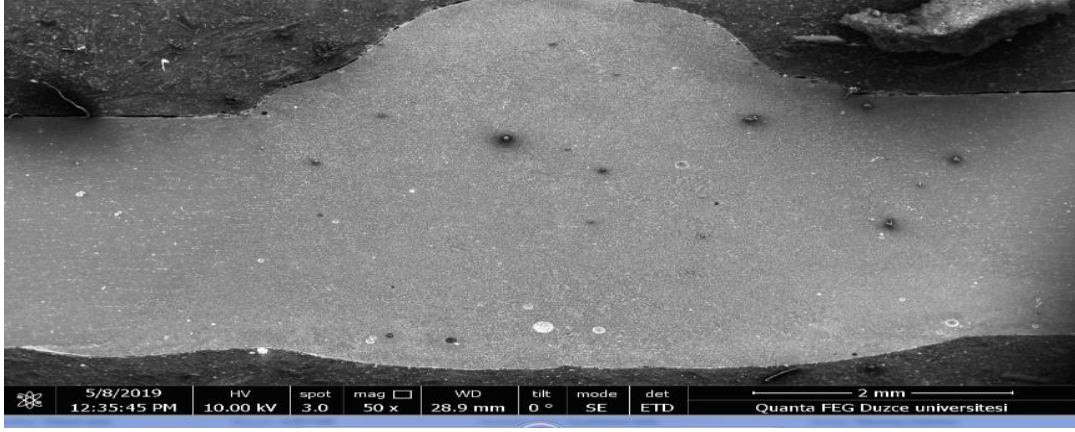
6.1.3. Metalografik İnceleme Sonuçları

6.1.3.1. Makroyapı İnceleme Sonuçları

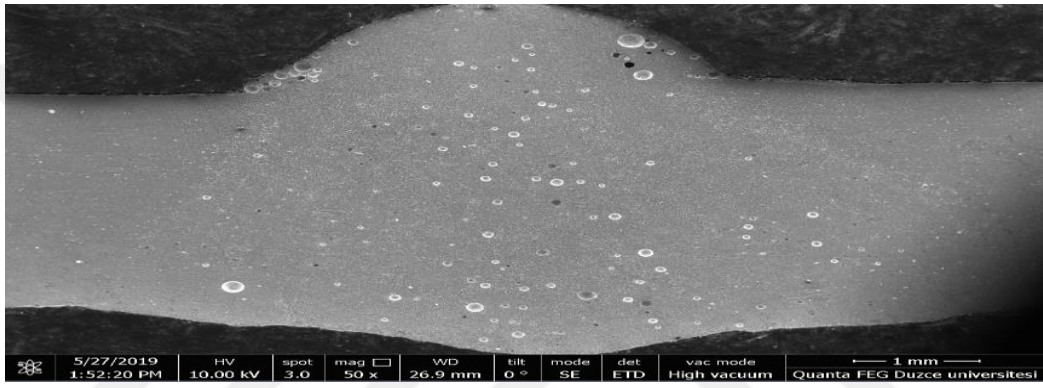
Makro incelemede çeşitli parametrelerde oluşan kaynak dikişlerinin ergimenin şekli, nufuziyet ve damla geometrisi gibi karakteristiklerin incelemesi yapılmış ve Şekil 6.7-6.11'de SEM görüntüleri verilmiştir.



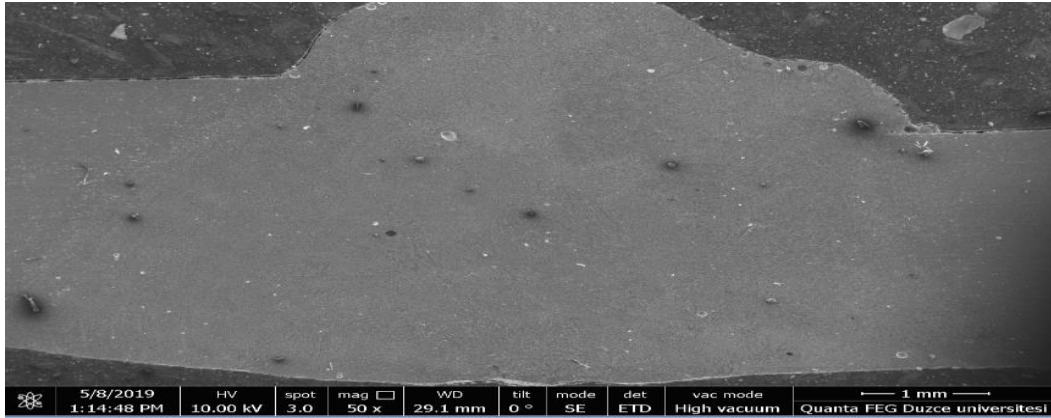
Şekil 6.7. P kaynak dikişinin makro görüntüsü.



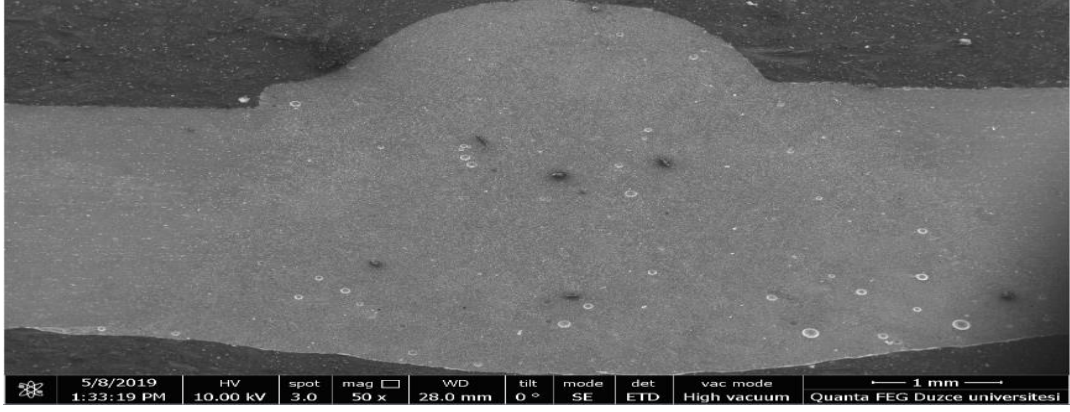
Şekil 6.8. DP kaynak dikişinin makro görüntüsü.



Şekil 6.9. CMT kaynak dikişinin makro görüntüsü.



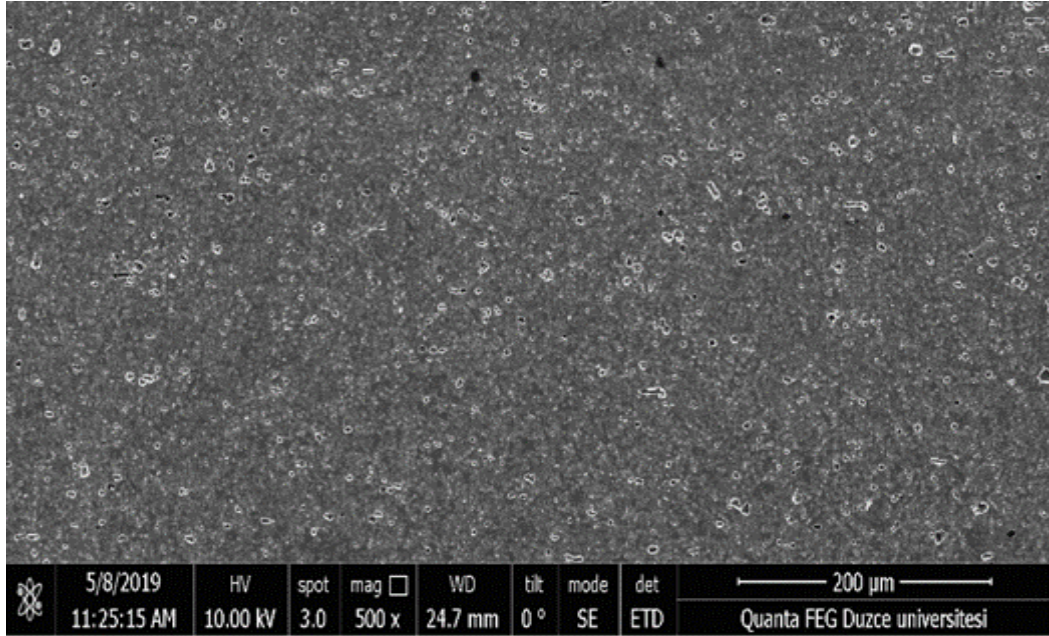
Şekil 6.10. PCMT kaynak dikişinin makro görüntüsü.



Şekil 6.11. PMC kaynak dikişinin makro görüntüsü.

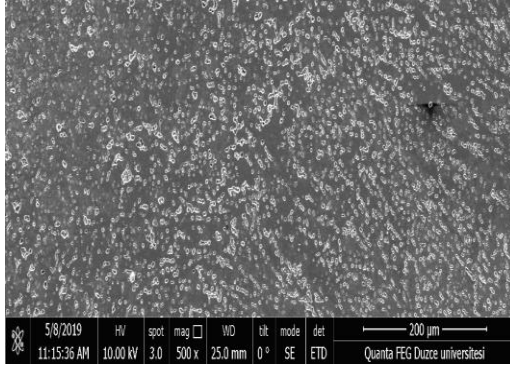
6.1.3.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Mikro incelemede çeşitli parametrelerde oluşan kaynak dikişlerinin ana malzeme, ITAB bölgesi ve kaynak dikiş bölgelerindeki farklılıkları gözlemlemek için SEM ile yapılan inceleme türüdür. Şekil 6.12’de ana malzemeye ait SEM mikroyapı görüntüsü bulunmaktadır.

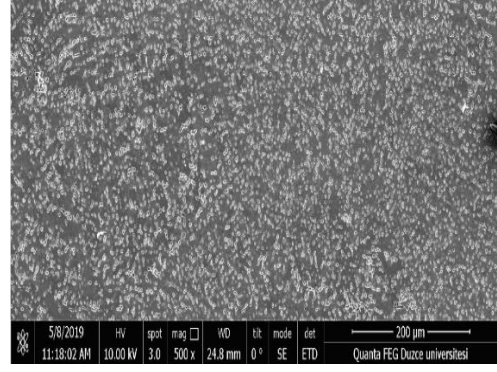


Şekil 6.12. AA 5083 H111 Alüminyum alaşımının sem görüntüsü.

Şekil 6.13 – 6.24’de AA 5083 H111 alüminyum alaşımına ait yapılan P, DP, CMT, PCMT ve PMC kaynaklarına ait hem SEM’de hemde optik mikroskopta çekilen mikroyapı görüntüleri görülmektedir.

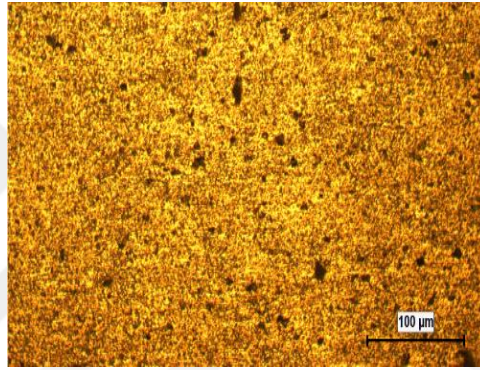


a)

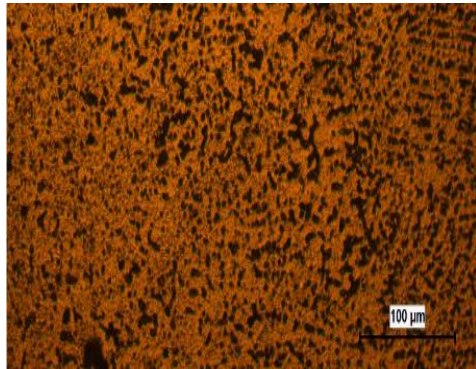


b)

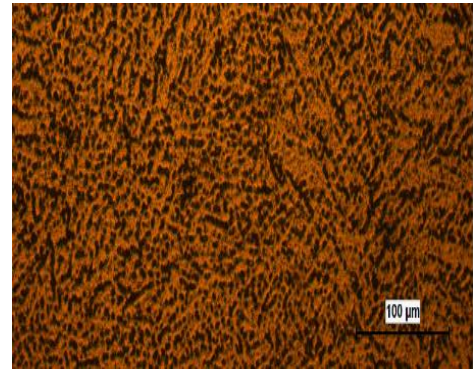
Şekil 6.13. P akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.



Şekil 6.14. 5083 H111 Alüminyum alaşımının optik mikroskop görüntüsü.

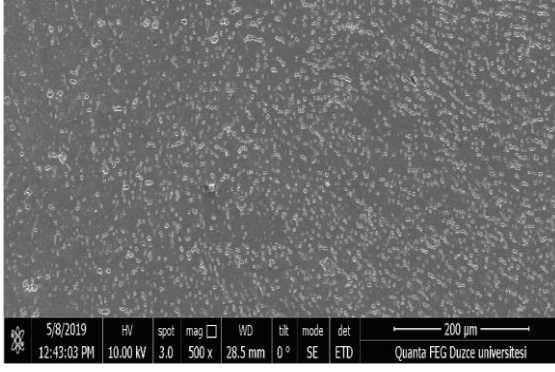


a)

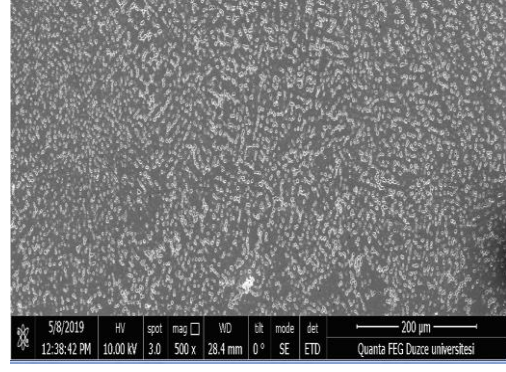


b)

Şekil 6.15. P akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

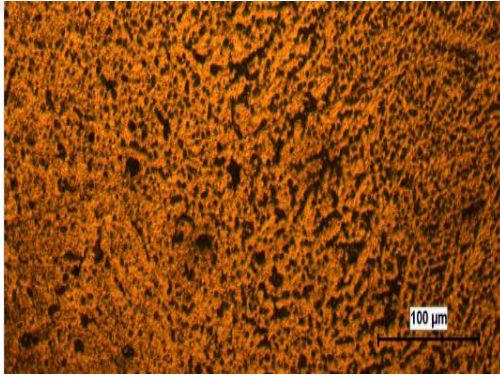


a)

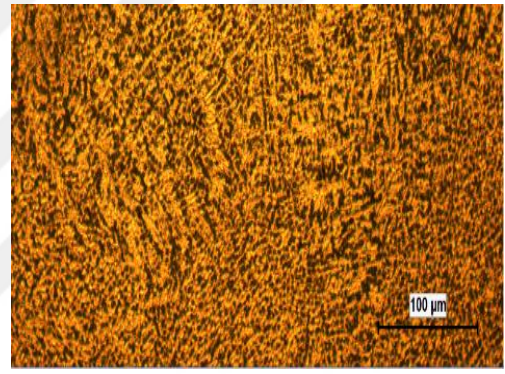


b)

Şekil 6.16. DP akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

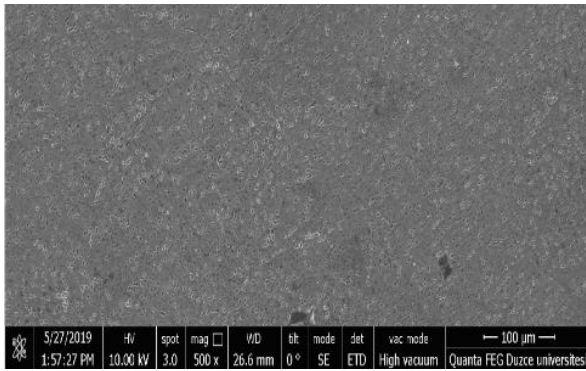


a)

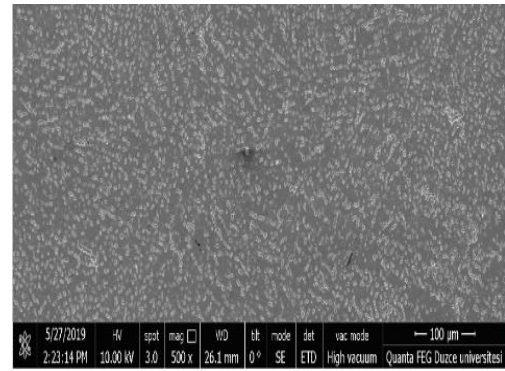


b)

Şekil 6.17. DP akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

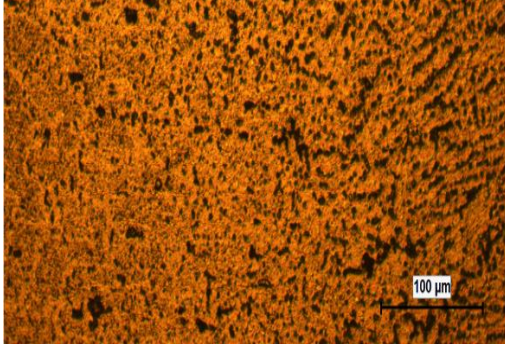


a)

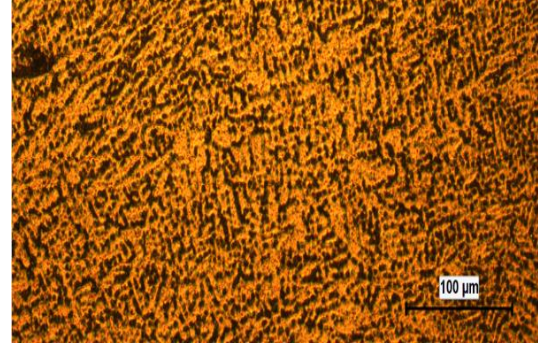


b)

Şekil 6.18. CMT akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

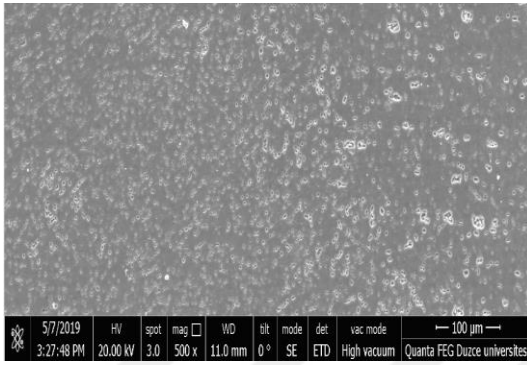


a)

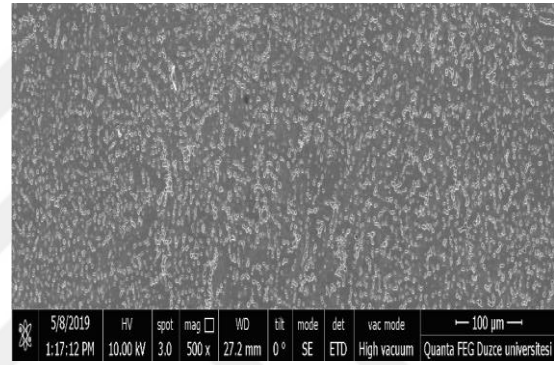


b)

Şekil 6.19. CMT akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

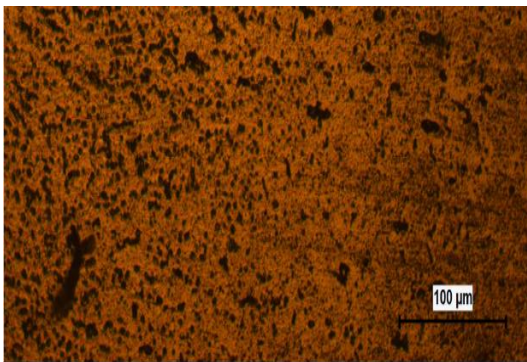


a)

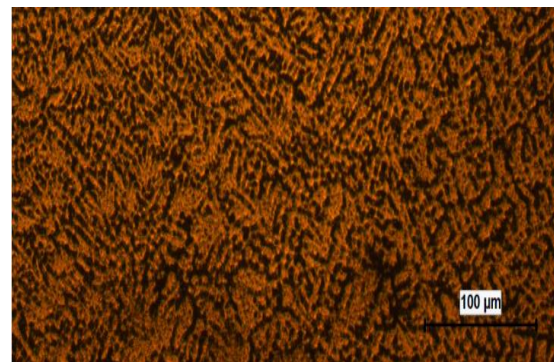


b)

Şekil 6.20. PCMT akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali .

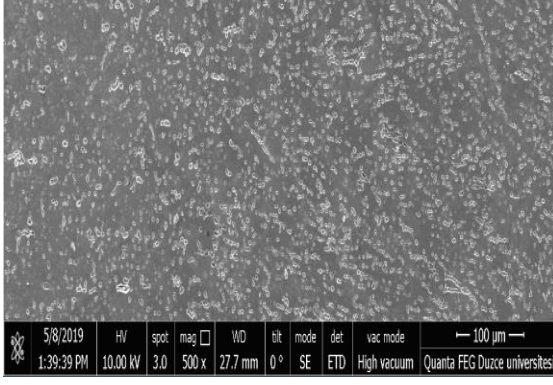


a)

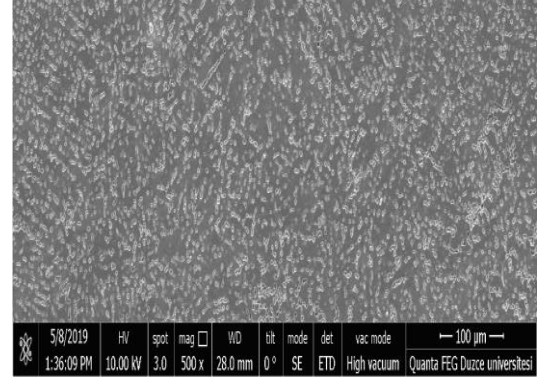


b)

Şekil 6.21. PCMT akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

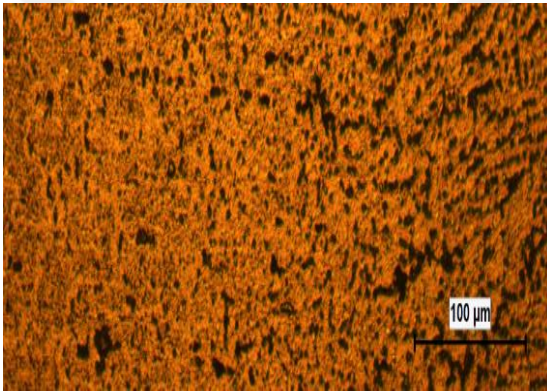


a)

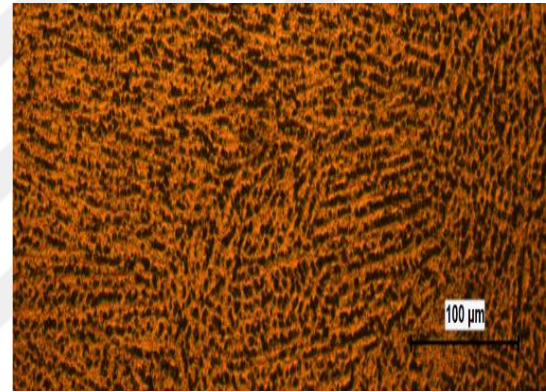


b)

Şekil 6.22. PMC akım kaynak dikişinin 500X sem görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.

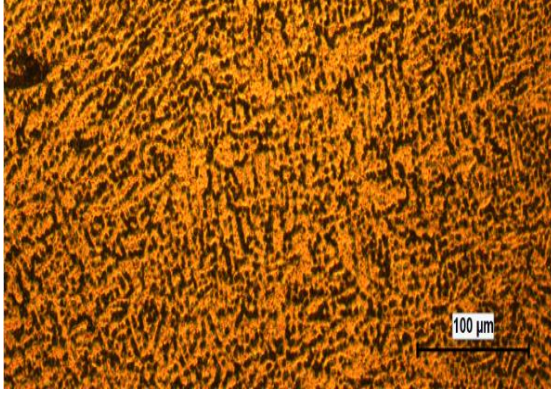


a)

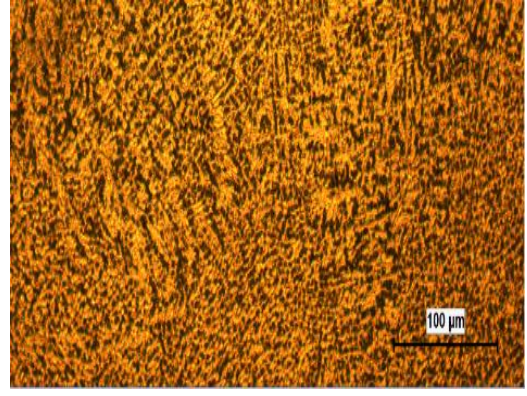


b)

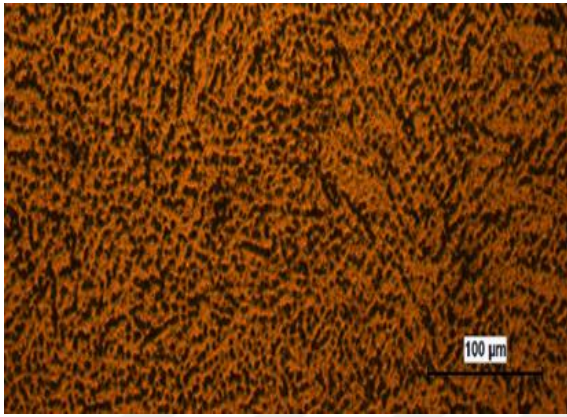
Şekil 6.23. PMC akım kaynak dikişinin optik mikroskop görüntüsü a) Geçiş bölgesi b) Kaynak metali.



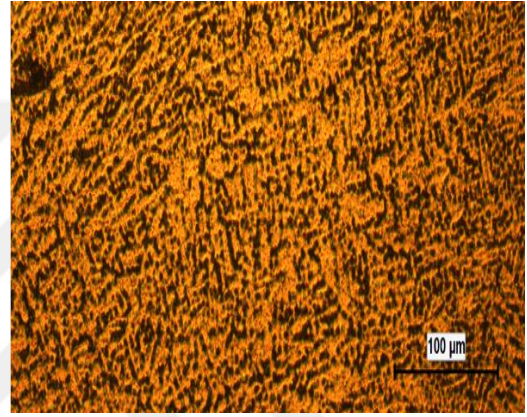
a)



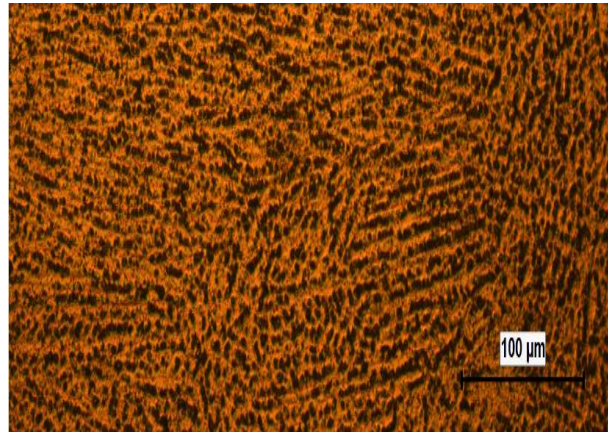
b)



c)



d)



e)

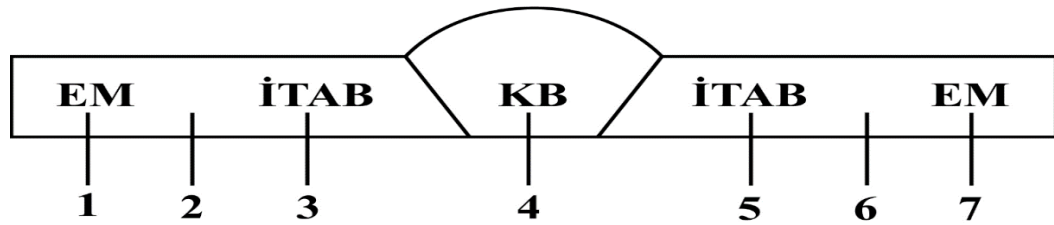
Şekil 6.24. Kaynak metali bölgesindeki dikişlerin optik görüntüsü a) P bölgesi b) DP c) CMT d) PCMT e) PMC

6.1.4. Sertlik Ölçüm Deneyi Sonuçları

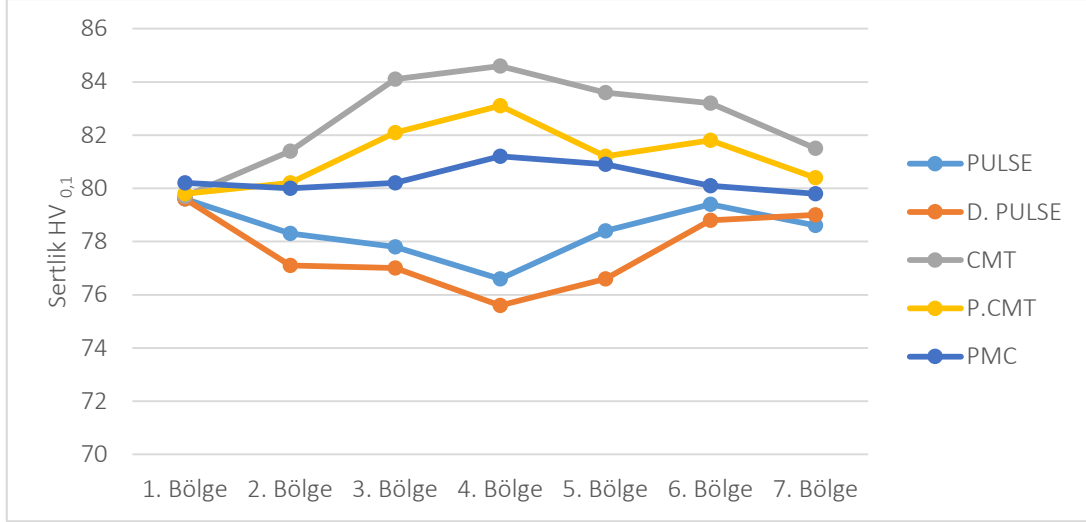
Kaynaklı bölgelerin Metalografik incelemesi için hazırlanmış olan numuneler üzerinden ana metal-Geçiş Bölgesi-Kaynak metali doğrultusunda 2 mm aralıklarla 200 gr yük altında ($HV_{0,2}$) yapılan mikrosertlik tarama sonuçları Çizelge 6.3’de verilmiştir. Ayrıca sertlik sonuçlarının ölçümlerinin yapıldığı bölge görüntüleri Şekil 6.25’de, sonuçlara ait grafik ise Şekil 6.26’da verilmiştir.

Çizelge 6.3. Numunelerin vickers sertlik tarama sonuçları.

	SERTLİK DEĞERLERİ ($HV_{0,1}$)				
	Pulse	D.Pulse	CMT	P.CMT	PMC
1.Bölge	79,6	79,6	79,7	79,8	80,2
2.Bölge	78,3	77,1	81,4	80,2	80
3.Bölge	77,8	77	84,1	82,1	80,2
4.Bölge	76,6	75,6	84,6	83,1	81,2
5.Bölge	78,4	76,6	83,6	81,2	80,9
6.Bölge	79,4	78,8	83,2	81,8	80,1
7. Bölge	78,6	79	81,5	80,4	79,8



Şekil 6.25. Kaynaklı birleştirmenin bölgesel dağılımı.



Şekil 6.26. Kaynak bölgesine göre sertlik değerleri grafiği.

6.2. DENEYSEL SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

6.2.1. Çekme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması

Çekme testi uygulanan sonuçlarına göre en mukavemetli kaynak dikişi çift darbeli kaynak akımı çeşidinde gerçekleştirilmiştir. Ana malzemenin mukavemet değerlerine göre farklı akım türlerinde kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerin çekme mukavemeti ve % Uzama mukavemetlerinde azalma görülmüştür. P akım ile yapılan birleştirmede %13, DP akımda %1, CMT yönteminde %38, P. CMT %26 ve PMC yönteminde %56'ya varan çekme mukavemetinde azalmalar meydana gelmiştir. En fazla % uzama değerinin ise çift darbeli akımla yapılmış olan birleştirme işleminde saptanmıştır. Ayrıca % uzama değerinden ulaşabileceğimiz diğer bir sonuç ise çift darbeli akım ile yapılan birleştirmenin koptuğu bölge ana malzemeden oluşudur. Çizelge 6.1'deki değerlere göre ve Şekil 6.1'de görülen kopma bölgelerine göre çekme testini yorumlanacak olursa PMC kaynak akım yönteminde yapılan birleştirmelerin fazla miktarlarda kaynak bölgesinden kopmuş olduğu saptanmıştır. Bu durum alüminyum ve alaşımlarının bu kaynak yöntemine uygun olmadığına göstergesidir. Diğer farklı akım türlerindeki birleştirme yöntemlerinde ise genellikle ITAB bölgesinden kopmalar gözlenmiştir. Bu sonuç (Yürük & Kahraman, 2016) çalışması tarafından desteklenmektedir. Bunun sebebinin mikroyapı incelemelerinden tespit edileceği gibi ısıdan etkilenen bölgedeki ısı artış aralığının yüksek olması ve tanelerin geç soğuyarak tane irileşmesinin daha fazla olmasından ve numunelerin genellikle ana malzeme değerlerine göre daha düşük çekme ve % uzama değerlerinde çıkması deformasyon ve olaylarının büyük bir çoğunluğunun ITAB

bölgesinde oluştuğu (Köse & Tatlı, 2014) çalışması tarafından da desteklenmektedir. DP ve P akım birleştirme yöntemlerindeki DP ve P numunelerde ana malzemedeki kopmaların görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin ise bu numunelerin kaynak işleminde daha az porozite ve diğer kaynak hatalarının görüldüğü için kaynak dikişinin ana malzemedeki daha mukavemetli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Birleştirme yöntemlerini mukavemet değerlerine göre değerlendirecek olursak elde edilen veriler doğrultusunda CMT yönteminin PCMT yöntemine göre daha az çekme mukavemeti ve % uzama değerinin olduğu görülmektedir. Bu durum literatürdeki bilginin paralelinde bir sonuçtur. P yöntemini DP yöntemine göre kıyasladığımızda ise DP çekme ve % uzama değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Liu, Tang, & Lu, 2013). Fakat şimdiye kadar yapılan çalışmalarda PMC yöntemi hakkında yapılan çalışma bulunmamıştır. Yapmış olduğum bu çalışmada PMC yönteminin diğer CMT, P, CMT, P ve DP yöntemleri ile kıyasladığımızda daha az çekme ve % uzama değerleri tespit edilmiştir.

6.2.1.1. Çekme Deneyi Sonrası Oluşan Kırık Yüzeylerin Tartışılması

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 verilen kırılma yüzeyleri incelendiğinde şekillerde ağsı tabakaların yoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu ağsı tabakalar numunelerin sünek bir şekilde koptuklarını göstermektedir. Pulse, DP, CMT ve PCMT kaynak yöntemlerinin kırılma yüzeylerinin daha sünek bir şekilde koptukları, fakat PMC yöntemlerinde oluşan kırılmaların biraz daha gevrek şekilde koptuğu görülmektedir. Bu gevrek kırılmanın sebebi olarak düşük ısı yoğunluklarında fazla miktarda oluşan porozitelerin sebep olabileceği düşünülmüştür. Şekil 6.5’de AA 5083 H111 alüminyum alaşımından gerçekleşen kopmanın oluşturduğu yüzeyde sünek kırılma oluştuğu görülmüştür. Çekme testi sonuçlarındanda anlaşılacağı üzere ana malzemenin çekme ve % uzama değerlerinin yüksek olmasıda ana malzemenin daha sünek bir şekilde kopma gerçekleştireceğinin göstergesidir.

6.2.2. Eğme Deneyi Sonuçlarının Tartışılması

Robotik gazaltı kaynak yöntemiyle yapılan birleştirmelere uygulanan eğme deneyinde Şekil 6.6’da görüldüğü gibi farklı parametrelerdeki kaynak akımlarının hepsinin eğme kuvvetine karşı mukavemetli olduğu tespit edilmiştir. Kaynak metalindeki porozite ve katılma esnasında oluşan çekirdekleşmiş yapının eğme mukavemetine etkisinin olmadığı görülmüştür.

6.2.3. Metalografik İnceleme Sonuçlarının Tartışılması

6.2.3.1. Makroyapı İnceleme Sonuçları

Makro inceleme sonuçlarındaki SEM görüntülerinden anlaşılacağı gibi akım parametrelerindeki değişikliğin kaynak damla geçişlerine fazla miktarda etki etmediği görülmüştür. Numuneleri nufuziyetleri açısından değerlendirecek olursak görüntüye göre kaynak dikişlerinin hepsinin nufuziyet alanının olduğu dikiş kök ve kep yüksekliklerindende farkedilmektedir. Fakat Şekil 6.9'da gösterilen CMT yöntemiyle gerçekleştirilmiş kaynak dikişinde diğer numunelere göre daha fazla gözenek olduğu ve gözeneklerin dikişin kep bölgesine doğru daha fazla sıklaşarak boyutlarının arttığı tespit edilmiştir. Bu gözeneklilik kaynak esnasında kullanılan dolgu metal ve koruyucu gazın cinsine göre MIG kaynaklarının çoğunda görülen bir durumdur. CMT kaynak yönteminde fazla miktarda görülmesi kaynak bölgesinin düşük ısısındanda gözenekliliğin etkilenebileceğini göstermektedir. Şekil 6.11'de görülen PMC yöntemiyle yapılan kaynak dikişinde gözenekliliğin yanısıra porozite göze çarpmaktadır. Yapılan çalışma neticesinde en az porozite P ve DP kaynak yöntemlerinde görülmektedir. Bu durum (Mendes & Scotti, 2006) çalışması tarafında desteklenmektedir.

6.2.3.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Yapılmış olan mikroyapı incelemelerinde genel olarak ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgesi incelenmiştir. Ana malzemedan kaynak kaynak metali bölgesine kadar yapılan incelemede Şekil 6.11'den Şekil 6.24'e kadar verilen SEM görüntülerine göre ana malzeme, ITAB ve kaynak metali bölgesine uygulanan ısı girdisi sebebiyle bu bölgelerdeki katılaşma esnasında düzensiz bir tanecik dağılımı olduğu saptanmıştır. Kaynak bölgesindeki ısı dağılımına göre numunelere baktığımızda daha az ısı girdisiyle gerçekleştirilen CMT ve PCMT tipi kaynak dikişlerinde kaynak bölgesindeki tanecik büyümesinin daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durumun CMT ve PCMT kaynak yöntemini kıyaslırsak normal CMT kaynağındaki katılaşma çekirdeklenmelerinin daha ince taneli olduğu görülmektedir ve bu sonuç (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018) çalışmalarında aynı sonuca ulaşmışlardır. Ana metal ile ITAB bölgesindeki sıcaklık farkından dolayı ITAB bölgesindeki tanelerin daha geç soğuması ve bu geç soğumanın etkisiyle taneler daha fazla irileşerek soğumuşlardır. Bu sebeple ana metal ve ITAB arasında tanecik boyutu farkı bulunmaktadır. CMT ve PCMT yöntemlerini farklı akım türlerindeki diğer birleştirmelere göre kıyaslayacak olursak P ve DP akımlarında

gerçekleştirilen kaynak işleminde ITAB bölgesinin daha geniş ve oluşan tane yapılarında daha iri olduğu saptanmıştır. Çünkü P ve DP akım türlerinde kaynak bölgesinde oluşan ısının daha fazla olması geçiş bölgesinin geniş ve bu bölgelerdeki tanelerin daha iri olmasına sebep olmuştur. Kaynak metalinde ise ince dentrit tabakası oluşumları göze çarpmaktadır. Bu dentritler soğuma hızına bağlı olarak boyutlarında farklılıklar gözlenmiştir. Dentritlerin ince tabaka halinde bulunması kaynak dikişlerinde çatlak oluşmadığından tespit edilmiştir. Bu tabakanın kalın olması kaynak bölgesinde çatlaklara sebebiyet vermektedir. Farklı akım türlerine göre yapılan mikro inceleme sonucuna göre ITAB bölgesindeki tane boyutlarındaki artış kaynak mukavemetinde azalmalara sebep olduğu çekme testi sonuçlarındanda görülmektedir. Çünkü her PMC akım türünün haricindeki diğer tüm akım türlerinde genellikle ITAB bölgelerinden kopmalar gerçekleşmiştir. Sadece PMC akım türü birleştirmede ise 6 numunenin 5 tanesi kaynak bölgesinden kopmuştur, bu sebeple PMC yöntemiyle yapılan kaynaklı birleştirmenin diğer darbe parametrelerine göre mekanik özelliklerinin düşük olduğu görülmüştür.

6.2.4. Mikrosertlik Sonuçlarının Tartışılması

MIG kaynak yönteminin farklı akım türleriyle birleştirilen saclardan alınan numunelerin 200 g yük altında vickers sertlik ölçümü sonuçları Çizelge 6.3 ve sertlik değerleri Şekil 6.26 incelendiğinde kaynaklı birleştirmeler sonucunda esas metalin ortalama sertlik değerinin 79,8 HV, kaynak metalinin ise 80,22 HV sertlik değerinde olduğu görülmektedir. En yüksek kaynak dikişi sertliği 84,6 HV ile CMT kaynak yönteminde elde edilmiştir. En düşük kaynak dikişi sertliği ise 75,6 HV ile double pulse kaynak akımı ile yapılan kaynakda ulaşılmıştır. Genel olarak kaynak dikişi sertlikleri yorumlandığında esas metale göre artış gözlenmiştir. Ana metal-ITAB-Kaynak metali doğrultusundaki sertlik değerlerini kaynak yöntemlerine göre incelediğimizde P, DP, yöntemlerinde esas metalden kaynak metaline doğru sertlik taraması yaptığımızda sertlik değerinde düşüş meydana gelmiştir. PCMT ve CMT kaynak yöntemlerinde ise esas metalden kaynak metaline doğru yapılan sertlik taramasında ise sertlik değerinde artış gözlenmiştir. PMC yöntemindeki sertlik değerlerinde ise Ana metal-ITAB-Kaynak metali uzantısında sertlik değerlerinde düşüş gözlenmiştir. P ve DP yöntemlerinin kaynak bölgesindeki sertlik düşüşü (Köse & Tatlı, 2014) çalışması tarafından desteklenmektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik düşüşünün akım şiddetinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. CMT ve PCMT yöntemlerindeki kaynak bölgesindeki sertlik düşüşleri

hakkında (Kahraman, Gencer, Yolcu, Kahraman, & Dilbaz, 2018) çalışmalarında aynı sonuçlar alınmıştır. PMC kaynak yönteminde kaynak bölgesindeki sertlik düşüşünün, çekme testinde genellikle ITAB ve kaynak metalinden meydana gelmesini destekler niteliktedir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- AA 5083 H111 alüminyum alaşımına uygulanan farklı akım türlerindeki MIG kaynağı sonucu numunelerde ısıdan dolayı açılmal çarpılma görülmemiş ve bu durumun geleneksel mıg kaynaklarına göre daha kontrollü metal transferinin ve akım şiddetinin olması sebebiyle daha az ısı girdisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak banyosundaki sıçramalar ihmal edilebilecek kadar azdır. Numunelerin hiçbirisinde nufuziyet azlığı problemi görülmemiştir.
- Kaynak dikişleri, mekanik özellikleri açısından değerlendirilirse Double Pulse akımı ile yapılan kaynaklı birleştirmenin ana metalin dayanımına yakın değerlerde çekme dayanımının olduğu tespit edilmiştir. Bu kaynak yönteminden sonra sırasıyla P, DP, CMT, CMT ve PMC akım çeşitlinin çekme mukavemeti ve % uzama özellikleri düşüş göstermektedir. PMC kaynak akımı ile birleştirme işlemi yapılan numunenin kaynak bölgesindeki kopma yüzeyi incelendiğinde bir miktar gevrek bir kırılmanın olduğu tespit edilmiştir.
- Kaynak dikişlerinin eğmeye karşı mukavemetli olduğu kök ve kep eğmeler sonucunda görülmüştür. Eğme testinde herhangi bir çatlakla ve kaynak dikişi diplerinde yırtılma gibi hatalar ile karşılaşılmasıdır.
- Kaynak dikişlerinin hepsinde ısı tesirine göre değişen boyutlarda ince dentrit kollarının olduğu görülmüştür. Dentrit tabakasının ince oluşu sebebiyle birleştirmelere sertlik ve bir miktarda tokluk kattığı çekme deneyi sonuçlarındanda görülmektedir.
- MIG kaynağını demirdışı metallerin kaynağını gerçekleştirmek için tasarlanmış olan farklı akım türlerinde alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan P, DP, PCMT ve CMT kaynak yöntemleri ile yapılacak kaynak işleminin PMC kaynak yöntemine göre daha mukavemetli olduğu görülmüştür.

7.2. ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar ışığında aşağıda verilen önermeler yapılabilir;

- Bu çalışma sadece AA 5083 H111 alüminyum alaşımı için yapılmıştır. Bu nedenle diğer alüminyum alaşımları ve birbirleri ile birleştirilmeleri konusunda uygulanabilir.
- Benzer özelliklere sahip olan TIG pulse ve Double pulse ile AA 5083 H111 alüminyum alaşımı kaynakları yapılarak bu çalışma ile karşılaştırılabilir.
- Yeni bir teknoloji olan PMC kaynak yöntemi ile daha detaylı çalışmalar gerçekleştirilebilir.

8. KAYNAKLAR

- Akıncı, S. (2008). '5754 Alüminyum alaşımının kaynak davranışının incelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye.
- Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Anık, S., & Tülbentçi, K. (1990). *Gazaltı Kaynak Tekniği Kitabı*. İstanbul.
- Aslanlar, S. 2019, *Elektrik nokta direnç kaynağı*, 23 Nisan 2019, <<https://docplayer.biz.tr/12668536-Elektrik-direnc-nokta-kaynagi-16-03-2015-dr-salim-aslanlar-1.html>>
- Asm Handbook, (1992). *Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. America: The Materials Information Company.
- Ayvaz, M., & Çetinel, H. (2011). Farklı alüminyum alaşımlarının Tıg kaynak yöntemi ile kaynatılması ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 39-46.
- Başer, T. A. (2013). Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(635), 51-58.
- Çetinkaya, C., Tekeli, S., & Kurtuluş, O. (2002). Alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilirliği ve kaynak parametrelerin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi. *Politeknik Dergisi*, 5(4), 321-333.
- Darıdereli, Y. (2010). 'Alüminyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma direncine yaşlanmanın etkisi'. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Erdem, M., & Türker, M. (2011). 7039 Alüminyum alaşımının kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 17-26.
- Eryürek, İ. B. (2007). *Gazaltı Ark Kaynağı*. İstanbul: Askaynak.
- Fronius, (2019), *Now that the intelligent revolution is complete TPS/i robotics*, internet yayını 25 Nisan 2019, <<http://www.fronius.cn/images/files/1503646859att.pdf>>.
- Günay, D. (2006). *Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme*. Ankara: Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş.
- Güngör, B. (2013). 'AW 5083-H111 VE AW 6082-T651 Alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma(FSW) ve robotik CMT-MIG Kaynak yöntemleri ile kaynağında mekanik ve metalurjik özelliklerin incelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Kahraman, F., Gencer, G. M., Yolcu, C., Kahraman, A. D., & Dilbaz, M. E. (2018). Soğuk

- metal transfer (CMT) ve darbeli soğuk metal transfer (darbeleri CMT) kaynak işlemleri ile birleştirilmiş AA5754 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(59), 635-646.
- Kahraman, N., & Gülenç, B. (2016). *Modern Kaynak Teknolojisi*. Ankara: EPAMAT Basım Yayın Promosyon San. Ltd. Şti.
- Kaluç, E., & Taban, E. (2004). EN AW-5083-H321 Alüminyum alaşımının MIG, TIG ve sürtünen eleman ile birleştirme (FSW) kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri. *Mühendis ve Makina*, 46(541), 40-51.
- Karadağ, A. (2011). 'Alüminyum ve alaşımlarının tıg kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine ve mekanik özelliklere etkisi'. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Karagöz, S. (2008). *Malzeme Bilgisi*. Aydın, Türkiye: AYMYO Yayınları.
- Köse, C., & Tatlı, Z. (2014). Robotik MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 5754 alüminyum ve alaşımının mekanik ve mikroyapı özelliklerine kaynak hızının etkisi. *NWSA-Technological Applied Sciences*, 10(1), 1-12.
- Kurşun, T. (2011). Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde Al4C3 oluşumunun önlenmesi ve sinerjik kontrollü darbeleri MIG kaynak yöntemi. *Teknik-Online Dergi*, 10(1), 86-98.
- Liu, A., Tang, X., & Lu, F. (2013). Arc profile characteristics of al alloy in double-pulsed GMAW. *Int J Adv Manuf Technol*, 65(1), 1-7.
- Makina Tek, 2019, *Alüminyum parçaları punta kaynağı ile birleştirilmesi*, 19 Mayıs 2019, <<http://makinatek.com.tr/uncategorized/aluminyum-parcalary-punta-kaynady-yle-birletirme/>>.
- Makine Tek, 2018, *Sinerjik kontrollü darbeleri MIG (GMAW-P) kaynak yöntemi*, 25 Mayıs 2019, <<http://makinatek.com.tr/uncategorized/sinerjik-kontrollu-darbeleri-mig-gmaw-p-kaynak-yontemi/>>.
- Mathers, G. (2002). *The Welding of Aluminium and Its Alloys*. England: Woodhead Publishing Limited.
- MEGEB. (2006). *MIG Kaynağı*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınevi.
- Mendes, C. L., & Scotti, A. (2006). The influence of double pulse on porosity formation in aluminum GMAW. *Journal Of Materials Processing Technology*, 366-372.
- Mert, Ş., & Mert, S. (2013). Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1), 26-35.
- Mısırlı, C. (2011). '5083 Kalite alüminyum alaşımının homojenize edilerek sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının incelenmesi'. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.
- Muzafferoğlu, H. F. (2008). 'Darbeleri akımla MIG/MAG kaynağında darbe parametrelerinin dikiş geometrisine etkisi'. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Nurveren, K., & Gündüz, B. B. (2018). 6082 Alüminyum alaşımının MIG kaynağı sonrası mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 909-916.
- Odabaş, C. (2007). *Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı*. İstanbul: Askaynak.
- Oğuz, B. (1990). *Demirdışı Metallerin Kaynağı*. İstanbul: Oerlikon Yayını.
- Olabode, M. (2015). *Weldability of High Strength Aluminium Alloys*. Finland: Lappeenranta Teknillinen Yliopisto.
- Özsaraç, U., Aslanlar, S., Varol, F., Işık, Ş., & Ferik, E. (2017). Farklı gaz basınçları kullanılarak Soğuk metal transferi (CMT) ile birleştirilmiş Alüminyum 6082-T6 bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 606-611.
- Pang, J., Hu, S., Shen, J., Wang, P., & Liang, Y. (2016). Arc characteristics and metal transfer behavior of CMT + P welding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 238(1), 212-217.
- Selvi, S., Vishvakshen, A., & Rajasekar, E. (2018). Cold Metal Transfer (CMT) technology - an overview. *Defence Technology*, 14(2018), 28-44.
- Sevinç, C. (2002). 'Zırhlı muharebe araçlarında kullanılan alüminyum ve alaşımlarının kaynak edilmesi'. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Şahin, E. (2008). 'Robotik gazaltı kaynak parametrelerinden akım, gerilim ve kaynak ilerleme hızının taguchi yöntemiyle optimizasyonu'. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Şık, A., & Kaluç, E. (2004). Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının dikiş özelliklerine etkisi. *Trakya Üniversitesi Bilim Araştırma Dergisi*, 5(2), 179-186.
- Şık, A., Ertürk, İ., & Önder, M. (2010). AA2024 Alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametrelerin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 139-147.
- Taban, E. (2004). '5XXX serisi alüminyum alaşımlarının tıg, mig ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi'. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası 2004, *Alüminyum Komisyonu*, Alüminyum raporu, no.2004-24, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.
- Tülbentçi, K. (1990). *MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Uzun, H. (2019), *Kaynak kabiliyeti*, 25 Mayıs 2019, <<http://docplayer.biz.tr/39413766-Prof-dr-huseyin-uzun-kaynak-kabiliyeti.html>>.
- Ünel, E. (2016). 'CMT-MIG Kaynaklı alüminyum ve çelik bağlantılarının özellikleri ve optimizasyonu'. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.

Warinsiriruk, E., Greebmalai, J., & Sangsuriyun, M. (2018). Effect of Double Pulse MIG Welding on Porosity Formation on Aluminium 5083 Fillet Joint. İçinde *Matec Web of Conferences*, (ss. 1-6).

Yalçın, E. D. (2010). 'AA7075 ve AA5754 alüminyum alaşımların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

Yı, J., Cao, S.-f., Lı, L.-x., Guo, P.-c., & Lü, K.-y. (2015). Effect of welding current on morphology and microstructure of al alloy T-joint in double-pulsed MIG welding. *Elsevier*, 25(2015), 3204-3211.

Yuneka Metal Sanayi, 2019, *Robotik kaynak makineleri*, 29 Mayıs 2019, <<https://yuneka.com.tr/fronius/robotik-kaynak-makineleri/>>.

Yürük, A., & Kahraman, N. (2016). Farklı alüminyum alaşımlarının mıg kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2016), 894-901.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Bülent DEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri :03.11.1983 - Ödemiş
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :bulentdemir@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Tekn. Anabilim Dalı	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Metalurji ve Malzeme Müh.	Sakarya Üniversitesi	2015
Lise	Metal İşleri Bölümü	Söke Endüstri Meslek Lisesi	2000