

**TIG KAYNAĞINDA AZOT GAZININ ALÜMİNYUM
YÜZEY VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Volkan ONAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010
ANKARA**

Volkan ONAR tarafından hazırlanan TIG KAYNAĞINDA AZOT GAZININ ALÜMİNYUM YÜZEY VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

.....

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliğiyle Metal Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

.....

Makine Eğitimi Enerji Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 24/06/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Volkan ONAR

TIG KAYNAĞINDA AZOT GAZININ ALÜMİNYUM YÜZEY VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Volkan ONAR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2010

ÖZET

Bu çalışmada, TIG kaynağı yöntemi ile yüzey kaplama işleminde azot gazı ilavesinin alüminyumun yüzey sertliğine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, AA 6063 T6 ticari saflıkta hadde mamülü alüminyum levhalar (140×80×5 mm) kullanılmıştır. Levhalara farklı azot gazı debilerinde (8dak/l, 10dak/l, 12dak/l, 14dak/l, 16dak/l, 20dak/l) ve toz (SiC) bileşimleriyle yüzey dolgusu işlemi yapılmıştır. Yüzey dolgu işlemine tabi tutulan levhalarda farklı sertlikler elde edilmiştir. Bu levhalardan elde edilen numunelere EDS analizi ve XRD analizi yapılmış buna ilave olarak mikroyapı incelemesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mikroyapı fotoğrafları, XRD ve EDS analiz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmış ve yüzey sertliklerindeki farklılığın sebebi belirlenmeye çalışılmıştır.

Yüzey sertliğindeki artış, kaynak esnasında yüzeye verilen azot gaz debisi ile doğru orantılı şekilde arttığı ve kaynak metali içerisinde nitrür tanelerinin oluştuğu belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 710.1.612
Anahtar Kelimeler : TIG kaynak yöntemi, Yüzey kaplama, Alüminyum Nitrür, Yüzey sertliği , XRD
Sayfa Adedi : 107
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

THE EFFECT OF NITROGEN GAS ON THE SURFACE AND MICROSTRUCTURE ALUMINUM IN THE MELDİNG

Volkan ONAR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY**

June 2010

ABSTRACT

In this study, effect of Nitrogen addition to argon on surface hardness of aluminum welded coated with TIG welding method was investigated. For this purpose, AA 6063 T6 commercial rolled aluminum plates (200x120x5mm) were used. Plates were coated under different nitrogen flow rates (8dak / l, 10dak / l, 12dak / l 14dak / l, 16dak / l, 20dak / l) and different powder composition (SiC). Different hardness values were received in the coated plates. Coated plates were characterized by means of EDS and XRD (The reason for the different surface hardness values) were concluded by company microstructural images, EDS and XRD datas.

Surface hardness increases with increasing nitrogen flow rate and also AlN phase arised in the weld metal.

Science Code	: 710.1.612
Key Word	: TIG Welding,Aluminum,Nitrogen, Hardness, Surface,XRD
Page Number	: 107
Adviser	: Assist. Prof. Dr. Behçet GÜLENC

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren, beni yetiştiren, beni oğlu gibi gören danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ' e, maddi ve manevi her türlü desteği ile yanımda olduğunu hissettiren ve beni yönlendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU' a deneylerin tüm aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Volkan KILIÇLI' ya, yüksek lisans eğitimim boyunca değerli teşvik ve katkılarından dolayı Doç. Dr. Bülent BOSTAN ve Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN hocalarıma, yüksek lisansa ilk adım atmamda ban destek olan sınıf arkadaşım Necdet DÜZGÖREN' e, desteklerini hiç esirgemeyen Asistan Öğrenci Alper Melih ATAÇ ve ev arkadaşım Mustafa TÜRKAN' a, daraldığım her anda yanımda bulduğum Murat AKIN' a, ev arkadaşım Yaşar ZORLU' a, Dr. Ulaş MATİK' e, tezimin başından sonuna kadar her zaman yanımda bulunan kız arkadaşım Neşe ARDA' ya ve sayamadığım tüm dostlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde maddi-manevi en büyük emeği olan, haklarının ödenmesi imkânsız, dünyadaki en büyük varlıklarım değerli anneme, babama ve kardeşime saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
RESİMLER LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM.....	4
2.1. Alüminyumun Elde Edilmesi ve Özellikleri.....	4
2.2. Alüminyum'un Özellikleri.....	6
3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	8
3.1. 1xxx, 3xxx, 5xxx Serisi Alaşımlar.....	9
3.2. Isıl İşlem Uygulanabilen Alüminyum Alaşımları (2xxx, 6xxx, 7xxx).....	10
3.2. Korozyon Dayanımı Yüksek Alüminyum Alaşımları.....	10
3.3. Sertleştirilmeyen Dövme veya Hadde Alüminyum Alaşımları.....	11
3.4. Yaşlandırılabilir (Yüksek Mukavemetli) Alüminyum Alaşımları.....	11
3.5. Döküm Alüminyum Alaşımları.....	12
3.6. Ts-410 Alüminyum Alaşımlarından Yapılan Döküm Bileşimleri.....	13
3.6.1. Al-Cu alaşımları.....	13
3.6.2. Al-Mg alaşımları.....	14

	Sayfa
3.6.3. Al-Si alaşımları.....	14
3.6.4. Al-Zn alaşımları.....	15
4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ.....	17
4.1. Alüminyumun Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Özellikleri.....	18
4.1.1 Oksit.....	18
4.1.2. Hidrojen çözünürlüğü	19
4.1.3. Elektriksel iletkenlik	19
4.1.4. Isıl karakteristikleri.....	21
4.1.5. Alüminyum çeşitleri	21
4.2. Çarpılma	25
4.3. Alüminyum Kaynağında Atmosfer Şartlarının Etkileri.....	26
4.3.1. Nem yoğunlaşması.....	26
4.3.2. Esas metalin ambarlanması	27
4.3.3. Tel elektrotların ambarlanması.....	28
4.3.4. Ortam şartları.....	29
5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ GAZALTI KAYNAĞI.....	30
5.1. Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağı.....	31
5.1.1. TIG kaynağı akım üreteçleri.....	32
5.1.2. TIG kaynak elektrotları.....	34
5.2. TIG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	37
5.2.1. TIG kaynak yönteminin avantajları	37
5.2.2. TIG kaynak yönteminin dezavantajları.....	37
6. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ VE YÖNTEMLERİ.....	38

	Sayfa
6.1. Yüzey Kaplama Alaşımı Seçimi	38
6.2. Yüzey Kaplamada İşlem Seçimi	40
6.3. Özellik ve Kalite Gereksinimleri	40
6.4. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri.....	41
6.5. Ana Metalin Metalürjik Özellikleri.....	42
6.6. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri	43
6.7. Yüzey Kaplama Yöntemleri	44
6.7.1. Elektrik ark kaynağı.....	44
6.7.2. Tozaltı kaynağı	46
6.7.3. TIG kaynağı.....	48
6.7.4. Toz ilaveli oksî-gaz kaynağı	49
6.7.5. Plazma ark kaynağı.....	50
6.7.6. Lazer kaynağı	52
7. ALÜMİNYUMA UYGULANAN SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ.....	54
7.1. Isıl İşlem	54
7.1.1. Çözeltiye alma işlemi.....	58
7.1.2. Su verme işlemi	59
7.1.3. Yaşlandırma işlemi	62
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	66
8.1. Deney Malzemeleri	66
8.1.1. 6063 Al alaşımı.....	66
8.1.2. İlave metal.....	67
8.1.3. Koruyucu gaz	67

	Sayfa
8.2. Deney Donanımı	67
8.2.1. Kaynak makinesi	67
8.2.2. Özel gaz nozulu	68
8.3. Metot.....	69
8.3.1. Deney numunelerinin kaynak ile kaplanması	69
8.3.2. Sertlik deneyleri.....	72
8.3.3. Metalografik çalışmalar	73
8.3.4. Tarama elektron mikroskop çalışmaları ve EDS analizleri.....	74
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	76
9.1. Sertlik Sonuçları.....	76
9.2. Mikroyapı Sonuçları.....	79
9.3. SEM ile Çekilmiş Mikroyapı ve EDS Analizleri Sonuçları	83
9.4. XRD Sonuçları.....	93
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Saf alüminyumun genel özellikleri.....	6
Çizelge 3.1. Çeşitli Al- alaşımlarının mekanik özellikleri.....	11
Çizelge 3.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	13
Çizelge 3.3. Al-Mg alaşımları	14
Çizelge 3.4. Al-Si alaşımları	14
Çizelge 3.5. Al-Zn alaşımları	15
Çizelge 4.1. Isıl işleme tabi tutulamayan şekillendirilmiş alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri.....	20
Çizelge 4.2. Isıl işleme tabi tutulabilen şekillendirilmiş alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri.....	22
Çizelge 4.3. Isıl işleme tabi tutulamayan döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri.....	23
Çizelge 4.4. Isıl işleme tabi tutulamayan döküm alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri.....	24
Çizelge 4.5. Nisbi neme karşılık gelen çiğ noktası.....	27
Çizelge 5.1. Tungsten elektrodların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri.....	35
Çizelge 6.1. Yüzey kaplama yöntemleri ve kullanılan formlar.....	38
Çizelge 7.1. Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu	54
Çizelge 7.2. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması	55
Çizelge 8.1. 6063 Al alaşımının kimyasal bileşimi	66
Çizelge 8.2. Kaynak parametreleri	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Alüminyum eldesi	4
Şekil 2.2. Alüminyum elektrolizinde kullanılan banyo fırın.....	5
Şekil 3.1. Döküm alüminyum alaşımlarının ısıtılma işlem uygulanabilirliğine göre sınıflandırılması.....	12
Şekil 5.1. TIG Kaynak yönteminin şematik gösterimi	31
Şekil 5.2. TIG kaynağında arkta yük taşıyıcıların üç farklı hareketi.....	34
Şekil 5.3. TIG kaynak elektrodlarının taşlanması (Doğru akımda).....	36
Şekil 5.4. Elektrod çapına göre elektrod uçları	36
Şekil 6.1. Plazma ark yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi.....	51
Şekil 7.1 Isıl işlem prosesi.....	57
Şekil 7.2. Çözeltiye alma işlemi	58
Şekil 7.3. Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti	59
Şekil 7.4. Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme	60
Şekil 7.5. Aşırı doymuş katı çözelti.....	61
Şekil 7.6. Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi	63
Şekil 7.7. İkinci kademe değişimi.....	64
Şekil 7.8. Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi	65
Şekil 8.1. Deney malzemesi boyutları	66
Şekil 8.2. Özel yapım gaz nozulu şematik gösterimi.....	68
Şekil 9.1. Numunelerin yüzeyinden merkezine doğru enine sertlik değerleri	76
Şekil 9.2. 10 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği.....	84
Şekil 9.3. 12 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği.....	85

Şekil	Sayfa
Şekil 9.4. 14 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği.....	87
Şekil 9.5. 20 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği.....	88
Şekil 9.6. 12 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analiz grafiği.....	90
Şekil 9.7. 8 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analiz grafiği.....	91
Şekil 9.8. 10 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelede kaynak metali XRD analiz grafiği.....	93
Şekil 9.9. 12 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelede kaynak metali XRD analiz grafiği.....	94
Şekil 9.10. 14 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelede kaynak metali XRD analiz grafiği.....	94
Şekil 9.11. 20 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelede kaynak metali XRD analiz grafiği.....	95
Şekil 9.12. 8 L/dakika azot gazı debisinde, SiC tozu ilaveli ve Pulse akım kaynak metali XRD analiz grafiği.....	95
Şekil 9.13. 8 L/dakika azot gazı debisinde, SiC tozu ilaveli ve AC akım kaynak metali XRD analiz grafiği.....	96
Şekil 9.14. Pik yüksekliklerine göre numuneler içerisindeki azot miktarının karşılaştırılması.....	96

RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 8.1. TIG kaynak makinesi	67
Resim 8.2. Levhanın kaynak öncesi görüntüsü	70
Resim 8.3. Levhaların TIG kaynak yöntemi ile kaplanması.....	71
Resim 8.4. Levhaların TIG kaynak yöntemi ile yüzeyleri kaplandıktan sonraki görünümü.	71
Resim 8.5. Mikrosertlik cihazı	72
Resim 8.6. Mikroyapı numuneleri	73
Resim 8.7. Optik mikroskop.....	74
Resim 8.8. Elektron mikroskobu	75
Resim 9.1. 10 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı	79
Resim 9.2. 12 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı	80
Resim 9.3. 14 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı	80
Resim 9.4. 20 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı	81
Resim 9.5. SiC tozu ve 8 L/dakika azot gazı debisinde pulse akım ile dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı	81
Resim 9.6. SiC tozu ve 8 L/dakika azot gazı debisinde AC akım ile dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı	82
Resim 9.7. 10 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelerde kaynak metali genel mikroyapısı	83
Resim 9.8. 10 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı	83

Resim	Sayfa
Resim 9.9. 12 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali genel mikroyapısı	84
Resim 9.10. 12 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı	85
Resim 9.11. 14 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali genel mikroyapısı.....	86
Resim 9.12. 14 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı	86
Resim 9.13. 20 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali genel mikroyapısı.....	87
Resim 9.14. 20 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı	88
Resim 9.15. 8 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli farklı büyütmelelerde kaynak metali genel mikroyapısı.....	89
Resim 9.16. 8L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analizi için mikroyapı	89
Resim 9.17. 8 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali genel mikroyapısı.....	90
Resim 9.18. 8 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analizi için mikroyapı	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
<i>a</i>	Kaynak dikiş kalınlığı
A	Akım
A_k	Toplam kaynak dikiş alanı
α	Açı
Ar	Argon
C	Karbon
cm	Santimetre
CO₂	Karbondiyoksit
D	Çap
dak	dakika
E	Elastikiyet modülü
f	Plastik kaplamanın kalibrasyon oranı
Fe	Demir
GPa	Giga pascal
gr	gram
in	inç
K	Optik gerinim katsayısı
kN	Kilo newton
L	Kaynak dikiş boyu
lt	Litre
max	Maksimum
min	Minimum
mm	Milimetre
μm	Mikrometre
Mn	Mangan

Simgeler**Açıklama****MPa**

Mega pascal

N

Newton

P

Yük

Si

Silisyum

sn

Saniye

t

Malzeme kalınlığı

 ϵ_1, ϵ_2

Asal gerinimler

 δ

Sehim miktarı

 σ_a

Akma gerilmesi

 σ_{ϕ}

Çekme gerilmesi

 σ_{max}

Maksimum gerilme

 σ_x

x eksenı boyunca oluşan gerilme

 σ_y

y eksenı boyunca oluşan gerilme

 τ_{xy}

Kayma gerilmesi

 ν

Possion oranı

Kısaltmalar**Açıklama****A.B.D.**

Anabilim dalı

ITAB

Isı tesiri altındaki bölge

MAG

Metal aktif gaz

MIG

Metal inert gaz

ÖG

Öngerilme

TIG

Tungsten inert gaz

TS

Türk standardı

XRD

X-ışınımı kırınımı

1. GİRİŞ

Ticari olarak alüminyumun üretimi 1859 yılında başlamıştır. 1914 yılına kadar elektroliz dışı yöntemler ile üretilmiş ve çok pahalı bir metal olarak endüstriye girememiştir. Elektroliz yöntemi ile üretim bulunduktan sonra geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde, çelikten sonra en çok kullanılan metalik malzeme alüminyum ve alaşımlarıdır.

Alüminyum yer kabuğunda çok fazla bulunan bir elementtir. Toprağı oluşturan kil tabakaları esas olarak alüminyum silikat bileşiğidir. Saf alüminyum parlak gümüş rengindedir. Alüminyum hem sünebilirlik hem de dövülebilirlik özelliği iyidir. 0.008 kalınlığına kadar ince plaka yapılabilir. Yoğunluğu çeliğin yoğunluğunun yaklaşık üçte biri kadardır [1].

Alüminyum, alaşımlama tekniğinin gelişmesi ile çok yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Geniş bir kullanım alanına sahip olmasının bir sebebi de alüminyum cevherinin bol oluşudur.

1936 -1957 yılları arasında alüminyum sektörü çok büyük bir büyüme göstermekle beraber üretilmiş alüminyumun hepsi ihtiyaçtan tüketilmiştir. Bu yıllardan sonra üretim miktarı tüketim miktarının üzerine çıkmıştır. Bu da fiyatların düşmesine neden olmuştur. Bunla birlikte üretim maliyetinin artması alüminyum için farklı pazarlar aranmasına neden olmuştur. Bu yüzden alüminyum sanayide alışlagelen metallerin yerini almıştır. Alüminyumun tüketimin artması uluslar arası bir endüstrinin güneş gibi doğmasına sebep olmuştur [2].

Alüminyum alaşımları iki şekilde sınıflandırılırlar. Birincisi içerdikleri alaşım elementlerinin türüne göre ikincisi de ısıtılma işlem sonucunda elde edilen mukavemet özelliklerinin değiştirilip değiştirilemeyeceklerine göre yani sertleştirilip sertleştirilemeyen alüminyum alaşımları şeklinde sınıflandırılırlar [3].

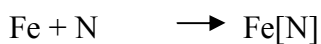
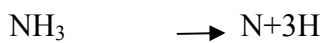
TIG kaynak yöntemi ergimeyen bir elektrot ile asal bir koruyucu gaz altında elektrot ile iş parçası arasında bir ark oluşur, dolgu malzemesi isteniyorsa dışarıda ilave edilir. TIG kaynağı en çok, alüminyum, magnezyum, bakır ve titanyum gibi diğer ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri oldukça güç olan düşük yoğunluklu metallerin kaynağında kullanılır [4,5].

Yüzey sertleştirme yöntemleri incelendiğinde; sertleştirilen malzeme özellikleri, arzu edilen sertlik değeri ve derinliği, uygulanabilirlik, malzemenin kullanım şartları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak çok değişik yüzey sertleştirme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir [6].

Nitrüleme işlemleri birden fazladır. Nitrülemede amaç yüzeye azot emdirmek ve yüzey sertliğini artırmaktır.

Yüksek sıcaklıklarda (490-585 °C) amonyak (NH₃) içeren ortamlarda çalışan metaller nitrüleyici saldırılara maruz kalırlar. Amonyak, yüksek sıcaklıkta metal yüzeyine çarptığında katalitik olarak kendini oluşturan atomik azot ve hidrojene ayrışır. Atomik azotun ve hidrojenin ömrü kısadır. Hidrojen atomları hemen kendi aralarında tekrar moleküler (H₂) oluşturur. Azotun bir kısmı moleküler azotu (N₂) oluştururken bir kısmı da metal yüzeyin nitrüleyici saldırılara maruz kalmasına sebep olur. Ortamın oksitleyici karakterlerde olduğu durumlarda nitrüleyici saldırıların şiddeti daha azdır [7].

Yüksek sıcaklıkta NH₃ gazını geçirildiği bir ortama maruz kalan demir esaslı bir alaşımın yüzeyinde meydana gelen nitrülenme reaksiyonları aşağıdaki gibidir [7].



Ortam sıcaklığı 585 °C üzerine çıktığında, atomik azot tamamen moleküler azota (N_2) dönüşmektedir. Moleküler azot inert bir gazdır fakat çok yüksek sıcaklıklarda (800- 1000 °C) ve yüksek azot kısmi basınçlarında çalışıldığında nitrürlenme ile metalik ekipmanlarda hasara yol açabilir [7].

En büyük negatif değerli standart serbest enerjiye sahip olan sahip olan bileşik, en kolay oluşan nitrür bileşiğidir. Alaşım içindeki az miktarda Alüminyum (%1-3) bile yüksek sıcaklıklarda önemli miktarda AlN oluşumu göstermiştir [7].

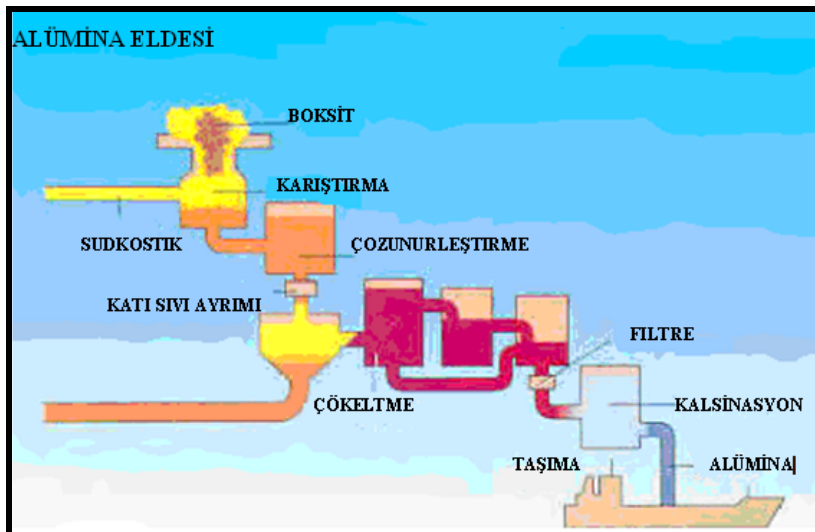
Bizim bu çalışmamızda aynı anda iki farklı gaz kullanıp, biri argon (koruyucu gaz) diğeri ise azot (nitrür oluşturuucu gaz) dolgu malzemesi kullanmadan yapılan kaynak işlemi sonucunda yüzey sertliği artırma çalışmalarımız incelenecektir.

2. ALÜMİNYUM

2.1. Alüminyumun Elde Edilmesi ve Özellikleri

Alüminyum, yer kabuğunda en fazla bulunan element olmasına karşın, bileşik halinde bulunduğu için elde edilmesi zor bir metaldir. Endüstriyel eldesi ilk kez 1988 yılında özel elektroliz yöntemi ile ABD'li Charles Martin Hall tarafından yapılmıştır [8].

Alüminyum, tüm dünyada aynı yöntemle elde edilmektedir. Alüminyum eldesi, iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada, Bayer¹ metodu ile boksit (%55 ile %65 Al_2O_3) cevherinden alümina elde edilir. İkinci aşamada ise, elektroliz ile alümina'dan alüminyum elde edilir. Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yanına kurulur. Madenden çıkarılan boksit cevheri, sudkostik (Kostik soda, NaOH) eriyiği ile muamele edilerek alüminyum hidroksit eldesi gerçekleşir. Bu işlem sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile "alümina" (Al_2O_3 : Alüminyum Oksit) elde edilir [9].

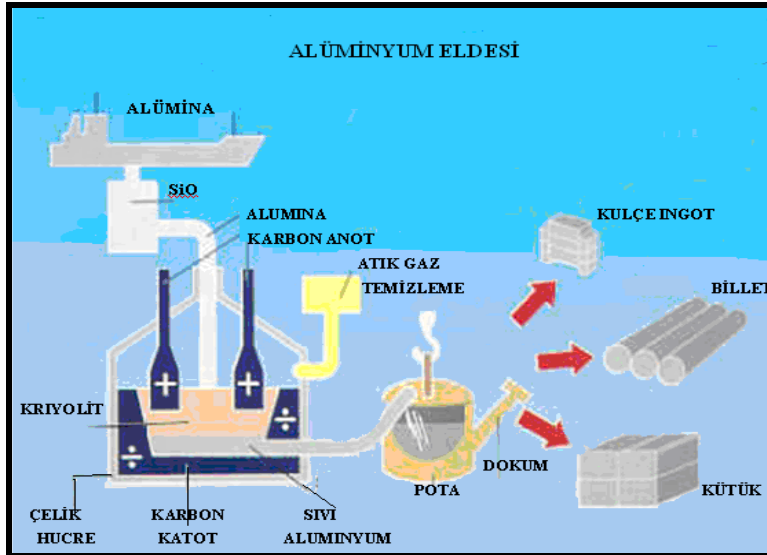


Şekil 2.1. Alüminyum eldesi [9]

¹ Bayer yöntemi, metalürjide, filizlerin deriştirilmesinde kullanılan kimyasal elektroliz yöntemlerinden biridir.

Alüminyumun, karbona göre oksijene karşı daha çok ilgilidir. Bu yüzden de demir cevherindeki gibi redükleme² yapılmaz, elektroliz uygulanır. Elektrolizin gerçekleşmesi için oksit halinde bulunan alüminyumun eritilmesi veya çözelti haline getirilmesi gereklidir [10].

Alümina, 2050 °C’ de eridiğinden eritme yöntemi kullanılmaz. Alümina başka bir cevher olan Kriyolit sayesinde çözülebilir. Kriyolit 980 °C civarında sıvı hale geçer ve alüminayı çözer. Karbon astarlı özel bir elektroliz fırını içerisinde Kriyolit eritilir ve alümina bu ergiğin içine karıştırılarak çözelti meydana getirilir. Daha sonra karbon anotlar kullanılarak elektroliz gerçekleştirilir. Al_2O_3 5 V’ luk bir gerilim uygulandığında parçalanır ama Kriyolit değişikliğe uğramaz ve alüminyum katot olarak kullanılan banyonun dibine birikir ve buradan dışarı alınarak banyoya sürekli alümina ilave edilir. Yöntem olarak bakıldığında enerji sarfıyatı çok yüksektir (1kg Alüminyum için 17 kwh). Sonuç olarak bu da alüminyumun fiyatını etkilemektedir [11].



Şekil 2.2. Alüminyum elektrolizinde kullanılan banyo fırın [9]

² Redükleme, indirgeme işlemidir. Genellikle doğada saf halde bulunmayan cevherleri zenginleştirmek için kullanılır. Yüksek sıcaklıktaki fırına seramik yapılı ve indirgen özellikli bir malzeme konur. Belirli bir süre sonunda saf ve zenginleşmiş cevher elde edilir. İndirgen madde oksijenlere tutunurken seramik yapı cürufa çekici olarak kullanılır. Özkütle farkından ayrılan cevher başka bir potaya aktarılır.

2.2. Alüminyum'un Özellikleri

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun genel özellikleri [11,12]

Kimyasal sembol	Al
Atom numarası	13
Atom Ağırlığı	26.98
Kafes Yapısı	YMK
Yoğunluğu (20 °C)	2,6989 gr/cm ³
(660 °C de sıvı)	2,37 gr/cm ³
Kaynama sıcaklığı	2300 ° C
Ergime sıcaklığı	660,24 ° C
Ergime ısısı	94,6 cal/gr
Özgül Isısı	0,2259 cal/g °C
Isıl Genleşme Katsayısı	23.8x10 ⁻⁶ / °C
Elektrik Direnci (20°C)	2,699 mikroOhm . cm
Çekme Mukavemeti	4-9 kPa/mm ²
Akma Mukavemeti	1-3 kPa/mm ²
Elastik Modülü	6500-7200 N/mm ²
Sıvılaşırken hacim büyümesi	6,5%
Katılaşırken kendini çekme	1,7.....1,8 %
Kopma uzaması	30-50 %
Sertlik	15-30 HB30
% Doğada Bulunabilirlik	7.9

Alüminyum, % 99- 99,5 - 99,8 - 99,99 safiyet derecelerinde üretilir; %99,99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikte saf alüminyum olarak adlandırılır ve fiziksel ve mekanik özellikler diğerlerine göre fark edilecek bir biçimde ortaya çıkar. %99,99 saflıktaki alüminyum yumuşaktır, kolay işlenebilir, ısı ve elektrik iletimi iyidir, ışığı yansıtma kabiliyeti iyidir ve korozyona karşı mukavemeti çok yüksektir.

Alüminyum diğer metal malzemelere göre daha yüksek ışık yansıtma ve ısı yayılımı kabiliyetine sahiptir. Yüksek saflıkta alüminyum levha %80' den daha fazla ışık yansıtabilir. Ultraviyole ışınını yansıttığından dolayı güneş ışınlarının tahribatına karşı koruyucu olarak alüminyum boyaları kullanılmaktadır [8].

Bu özellikleri ile saf alüminyum, teknik malzeme olarak, özellikle korozyona dayanımı ve yüzey kalitesi yüksek olması gereken parçaların üretiminde(oto farları

ve yansıtıcılar, kimya ve gıda endüstrisinde kullanılan çeşitli kutular, kaplar ve ince yapraklar (folyo: 4/20 μm), elektronik sanayinde özel iletkenler gibi) öncelikle kullanılır [13].

3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Bu bölümde alüminyum alaşımları hakkında genel bilgiler verilerek alüminyum alaşımlarını oluşturan elementlerin bileşimleri üzerinde durulacaktır.

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları; artırılmış mukavemet özellikleri, hafiflikleri, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşa endüstrileri, taşıt, makine ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat, havacılık ve uzay endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahiptirler ve birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir [14–16].

Alaşım elementlerinin en önemli görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilenmeden saf alüminyumun, düşük akma sınırını en üst seviyeye getirmektir. Alüminyum içerisine katılan başlıca alaşım elementleri, silisyum, magnezyum, bakır, çinko, manganez, nikel ve titanyumdur. Yüzey merkezli kübik alüminyum kristal kafes yapısına, ancak çok küçük oranlarda girebilir. Yabancı atomlar kristal kafes içerisinde kaymaya karşı mukavemeti artırır; bu da alüminyumun şekil değiştirme kabiliyetini çok fazla etkilemezken akma sınırını büyük bir ölçüde arttırmaktadır [17,18].

Alaşım elementlerinin miktarının artması ile bunların, alüminyum içinde çözölemeyen kırılğan metaller arası bileşikler ve ara fazlar oluşturur ve böylece mukavemet daha da yükselir ama şekil değiştirme kabiliyeti azalır [19].

Günümüzde daha ekonomik ve de daha iyi özelliklere sahip malzemelere olan talebin artışı, yeni alaşımların üretimini zorunlu hale getirmiştir. Çünkü bir tek madende bu özellikleri bulmak mümkün değildir. Doğada en çok bulunan maden olması, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği, kolay işlenebilirliği ve şekil verilebilirliği, yüksek korozyon direnci, yüksek yansıtıcı özelliği ile gümüşümsü bir yüzey görünümü ve yüksek elastiklik özellikleri ile alüminyum, sanayinin birçok sektöründe kullanılmaktadır. Ayrıca günümüz teknolojisinde adeta bir zorunluluk haline gelen

minyatürleştirme, ağırlık azaltma talebinden dolayı düşük yoğunluğu $2.703 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ ile hafif metaller sınıfına giren alüminyuma olan ilgiyi daha da artırmaktadır. Alüminyum kullanıldıktan sonra tekrar kullanılma özelliği dolayısıyla da hem çevreci hem de enerji deposu olarak ta bilinir. Saf alüminyumun mukavemetinin düşük olmasından dolayı daha yüksek mukavemetli elementlerle alüminyum esaslı alaşımları daha çok kullanılır [20].

Günümüzde Al ve Al-esaslı alaşımlar başta otomotiv ve uçak sanayi olmak üzere, sanayinin birçok alanında yoğun olarak kullanılmaktadır [23].

3.1. 1xxx, 3xxx, 5xxx Serisi Alaşımlar

1xxx serisi alaşımlar minimum % 99,0 alüminyum, empürite olarak da silisyum ve demir içerirler. Bu alaşımlar yüksek oranda haddelenerek levha veya folyo haline getirilerek kullanılırlar. 1100 alaşımlarının tavllanmış durumda çekme mukavemeti 90 MPa'dır.

3xxx serisi alaşımlarının en önemli alaşımı 3003'tür. Bu alaşım 1100 alaşımına % 1,25 mangan ilavesi ile oluşturulur. 3003 alaşımının tavllanmış durumda çekme dayanımı 110 MPa'dır. Bu serinin alaşımları iyi işlenebilirliğin gerektirdiği yerlerde kullanılabilen genel amaçlı alaşımlardır.

5xxx serisi alaşımlarının ana alaşım elementi olan magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve miktarı % 5 e kadar çıkabilir. Bu serinin endüstride kullanılan en önemli alaşımı 5052'dir. Bu alaşım % 52,5 Mg, % 0,2 Cr içerir ve tavllanmış durumdaki çekme dayanımı 193 MPa'dır.

3.2. Isıl İşlem Uygulanabilen Alüminyum Alaşımları (2xxx, 6xxx, 7xxx)

2xxx serisi alaşımlarının birçoğuna bakırın yanında magnezyum ve düşük miktarda diğer elementler eklenir. 2xxx serisi alaşımları birim ağırlık dayanımının yüksek olması gereken uçak sanayi gibi alanlarda kullanılır. Bu alaşımlar katı eriyik

mukavemetlenmesi ve çökelti sertleşmesiyle dayanım kazanırlar. Endüstriyel uygulama alanı bulabilmiş en önemli alaşım 2024 alaşımıdır. 2024-T6 alaşımı % 4,5 bakır, %1,5 magnezyum ve % 0,6 mangan bulundurur ve çekme dayanımı 442 MPa'dır.

6xxx serisi alaşımlarının Mg_2Si intermetalik bileşikleri, çökelti sertleştirilmesi ile dayanım artışı sağlar. En yaygın kullanılan alaşım 6061 alaşımıdır ve bu alaşım % 1 magnezyum, % 0,6 silisyum % 0,3 bakır içerir. 6061 alaşımının çekme mukavemeti 290 MPa'dır. Bu seri, otomotiv sektöründe genel amaçlı yapı elemanı olarak kullanılır.

7xxx serisi alaşımlar, temel çökelti $MgZn_2$ intermetalik bileşiğinden oluşur. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içerisinde yüksek çözünübilirliği yüksek yoğunluklu çözeltilerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serinin en önemli alaşımı 7075 tir. Bu çalışmada incelenecek olan alaşım da 7075' tir. Bu alaşım % 5,6 çinko, % 2,5 magnezyum, %1,6 bakır, % 0,25 krom ihtiva eder. 7075-T6 alaşımının çekme dayanımı 504 MPa' dır. Bu seri yüksek dayanımın gerekli olduğu yerlerde kullanılır [21].

3.2. Korozyon Dayanımı Yüksek Alüminyum Alaşımları

Alüminyumun korozyona dayanıklılığı yüzeyin koruyucu ve sıkı bir oksit tabakasıyla (Al_2O_3) kaplanmasından oluşur. Sulu çözeltili ortamlarda ve havada, yüzey bölgesinde kolaylıkla oluşan bu tabaka, oksitlenmenin devamından korur. Çok ince olan bu doğal oksit tabakası (-10-5 mm), korozi koruyuculuğun devamı için, mekanik zorlanmalardan uzak tutulur ve kuvvetlendirilir; tabaka Eloksal3 yöntemi ile sıkıştırılır ve kalınlaştırılır [13].

³ Alüminyumun kimyasal yöntemlerle kontrollü olarak oksitlendirilmesi işlemidir. Bu işlem geleneksel olarak DC akım altında sülfürik asit banyosu ile yapılır. Elde edilen kaplamanın derinliği ve sertliği kontrol edilebilir.

3.3. Sertleştirilmeyen Dövme veya Hadde Alüminyum Alaşımları

Bu gruba giren alüminyum alaşımları Cu, Mg, Mn, Si ve Ni gibi elementler içerirler. Sürekli döküm yöntemi ile blok halinde üretilirler ve homojenleştirme tavlama yapıldıktan sonra ekstrüzyon veya haddeleme ile şekillendirilirler. Döküm yapısında iken tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazla, şekil değiştirme sırasında kırılarak ana kütleye dağılırlar ve sonuç olarak alaşım şekil vermeye uygun hale gelir [22].

3.4. Yaşlandırılabilir (Yüksek Mukavemetli) Alüminyum Alaşımları

Bu alaşımlarının sertlik ve mukavemetlerinin artırılması “yaşlandırma” ısı işlemiyle gerçekleştirilir. Alaşım elementleri yanında, uygulanan yaşlandırma işlemi ve ulaşılan özellikler bu alaşımlarının kullanım alanını belirlemektedir. Alüminyumun, sertlik, akma ve çekme mukavemetlerini artırmak için, Cu, Zn, Mg gibi elementlerle yaptığı yaşlandırılabilir alaşımlar diğer özelliklerinin yanında mukavemetin ön planda olduğu taşıyıcı profiller, makina ve inşaat konstrüksiyonlarında kullanılır [13].

Çizelge 3.1. Çeşitli Al- alaşımlarının mekanik özellikleri [13]

Al Alaşımları	Malzeme Durumu	Çekme muk.	Akma Dayanımı	Kopma Uzaması
		R _m [N/mm ²]	R _{p0,2} [N/mm ²]	A [%]
Al 99,5	Y	70	25	50
AlMn	Y	100	40	22
AlMg 3	Y	180	80	17
AlMgMn	Y	180	80	17
AlMgSi 1	SI	320	260	10

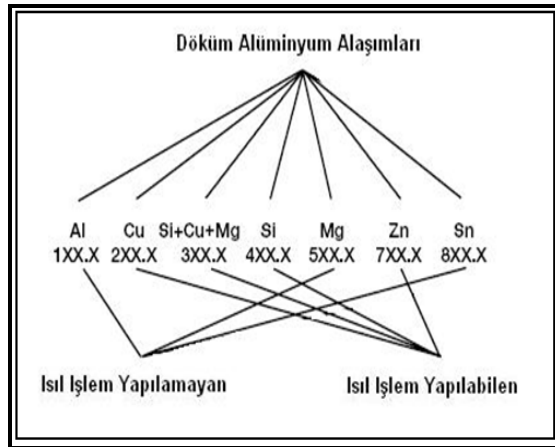
Çizelge 3.1 (Devam). Çeşitli Al- alaşımlarının mekanik özellikleri [13]

AlZnMg 1	SI	360	280	10
AlCuMg 2	SO	430	280	10
AlZnMgCu 1,5	SI	520	460	6
G-AlSi 12	D	180	85	8
G-AlSi 10 Mg	SI	280	250	3
G-AlCu 4 TiMg	SI	380	290	6
G-AlMg 5	D	190	110	6
GA1Si 12 CuNiMg	SI	70 ($R_{p0,2/1000/200^{\circ}C}$)		

3.5. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm alüminyum alaşımlarının özelliklerinin iyi olması için uygulanan yöntemler çerçevesinde bu alaşımlar iki kısımda incelenebilir. Birinci kısımda alaşımlandırılmış döküm alaşımları, ikinci kısımda da ısıt işlem görmüş döküm alaşımları şeklindedir [23].

Döküm alüminyum alaşımlarının seçiminde korozyon dayanımı ve mukavemet değerleri yanında “döküm özelliklerinin iyi” olması da esas alınır [22].



Şekil 3.1. Döküm alüminyum alaşımlarının ısıt işlem uygulanabilirliğine göre sınıflandırılması

Dökümlerde kullanılan alaşımlandırıcı metaller genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarda ilavesi ile

3.6.2. Al-Mg alaşımları

Çizelge 3.3. Al-Mg alaşımları [25]

10		Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Be	Al
Al-Mg3	Min Max	-- 0,10	2,0 4,5	-- 0,5	-- 0,5	-- 0,6	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,1		Rest
Al-Mg3 Si	Min Max	-- 0,10	2,0 4,5	-- 1,3	-- 0,5	-- 0,6	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,4		
Al-Mg5 Si1	Min Max	-- 0,10	4,0 6,0	0,5 1,5	-- 0,5	-- 0,5	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2			
Al-Mg6	Min Max	-- 0,10	4,5 7,0	-- 0,50	-- 0,5	-- 0,6	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,15		
Al-Mg6 Fe	Min Max	-- 0,10	4,5 7,0	-- 0,50	-- 1,3	-- 0,6	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2	-- 0,5		
Al-Mg9 Si	Min Max	-- 0,1	7,0 10,0	-- 1,0	-- 1,0	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2		-- 0,3	
Al-Mg10	Min Max	-- 0,10	9,0 11,0	-- 0,30	-- 0,3	-- 0,3	-- 0,10	-- 0,10	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,15		-- 0,05	

3.6.3. Al-Si alaşımları

Çizelge 3.4. Al-Si alaşımları [25]

TS-410		Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Be	Al
Al-Si5	Min Max	-- 0,10	-- 0,10	4,0 6,0	-- 0,8	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,20			Rest
Al-Si5Fe	Min Max	-- 0,10	-- 0,10	4,0 6,0	-- 1,3	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,20			
Al-Si5 Mg	Min Max	-- 0,1	0,4 0,9	3,5 6,0	-- 0,6	-- 0,6	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,2			
Al-Si5 Mg Fe	Min Max	-- 0,1	0,4 0,9	3,5 6,0	-- 1,3	-- 0,6	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,2			
Al-Si5 Cu1	Min Max	1,0 1,5	0,3 0,6	4,5 6,0	-- 0,8	-- 0,5	-- 0,3	-- 0,5	-- 0,2	-- 0,1	-- 0,2			
Al-Si5 Cu3	Min Max	2,0 4,5	-- 0,15	4,0 6,5	-- 1,0	0,2 0,7	-- 0,3	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,2			
AlSi5 Cu3 Fe	Min Max	2,0 4,5	-- 0,15	4,0 6,5	-- 1,3	0,2 0,7	-- 0,3	-- 0,5	-- 0,3	-- 0,2	-- 0,2			
AlSi6 Cu4	Min Max	3,0 5,0	-- 0,3	5,0 7,0	-- 1,3	0,2 0,6	-- 0,3	-- 2,0	-- 0,2	-- 0,1	-- 0,2			

Çizelge 3.4(Devam). Al-Si alaşımları [25]

Al-Si7 Mg	Min Max	-- 0,20	0,2 0,4	6,5 7,5	-- 0,5	-- 0,6	-- 0,05	-- 0,3	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,2			
Al-Si8 Cu3 Fe	Min Max	2,5 4,5	-- 0,15	7,0 9,5	-- 1,3	-- 0,6	-- 0,3	-- 1,2	-- 0,3	-- 0,2	-- 0,2			
Al-Si10 Mg	Min Max	-- 0,10	0,15 0,40	9,0 11,0	-- 0,70	-- 0,6	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,05	-- 0,15			
Al-Si12	Min Max	-- 0,10	-- 0,10	11,0 13,5	-- 0,70	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,15			
Al-Si12 Fe	Min Max	-- 0,10	-- 0,10	11,0 13,5	-- 1,3	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,05	-- 0,15			
Al-Si12 Cu	Min Max	-- 1,2	-- 0,3	11,0 13,5	-- 0,8	-- 0,5	-- 0,2	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,2			
Al-Si12 Cu Fe	Min Max	-- 1,2	-- 0,3	11,0 13,5	-- 1,3	-- 0,5	-- 0,2	-- 0,5	-- 0,1	-- 0,1	-- 0,2			

3.6.4. Al-Zn alaşımları

Çizelge 3.5. Al-Zn alaşımları [25]

TS-410		Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Be	Al
Al-Zn5 Mg	Min Max	-- ,035	0,20 0,70	-- 0,30	-- 1,0	-- 0,4	-- 0,05	4,5 6,0	-- 0,05	-- 0,05	0,10 0,30	0,15 0,60		Rest

Alüminyum döküm alaşımları, dökülecek parçanın cinsi, boyutu ve beklenen kaliteye göre, döküm kalıp ve biçim (kum, kokil veya presdöküm) şeklinde gruplandırılabilir. Bu alaşımlarının ortak özellikleri dökülebilme yeteneklerinin yüksek olmasıdır [26].

Alüminyum için Jules Verne şöyle demektedir [27].

“Gümüşün parlaklığına, Altının asaletine, Demirin sağlamlığına, Bakırın uysallığına, Camın hafifliğine, Rahat işlenebilirliğe, Kolay bulanabilirliğe, Demirin üç katı hafifliğe Sahiptir”.

4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ

Çekici özellikleri sebebiyle çok farklı alanlarda kullanılan alüminyum, çoğu zaman diğer metallere tercih edilmektedir. Ancak bu çekici özelliklerin bir kısmı alüminyum kaynağı söz konusu olduğunda problem yaratıcı unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bunların başında metal yüzeyinde biçimlenen koruyucu oksit tabakası gelir. Oksit tabakasının yanı sıra; hidrojen çözünürlüğü, ısıl geçirgenlik, ısıl çekme, ışık yansıtma gibi özellikleri de işin içine girdiğinde alüminyum kaynağı demir esaslı malzemelere göre biraz daha zor kaynak yapılan malzeme hissini verir. Aslında, bazı kurallara uymak kaydıyla alüminyum kaynağı ile demir esaslı malzemelerin kaynağı arasında zorluk yönünden çok fazla bir fark yoktur. Bununla beraber kabul edilebilirlik sınırları söz konusu olduğunda bu zorluk olayı değişir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı, diğer metallerin kaynağı için kullanılan metotların çoğu ile kaynak edilebilir. Ancak alüminyum ve alaşımlarının kaynağında en çok kullanılan metotlar koruyucu gaz ark kaynak metotlarıdır.. Alüminyumun kaynağını etkileyen ana karakteristikler; hidrojen çözünürlüğü, alüminyum oksit, ısıl iletkenlik, ısıl genleşme ve katılaşma çekmesi ve renk değiştirmedir. Alüminyumun temizliği dendiğinde iki şeyden bahsedilir. Birincisi; bütün nem ve hidrokarbonların yüzeyden uzaklaştırılması, ikincisi ise oksit temizliğidir. Anlaşılması gerekenlerden biri, yüzeydeki nem veya hidrokarbonun ark vasıtasıyla ayrılarak hidrojen meydana getirmesidir. Hidrojen ergimiş alüminyumda son derece çözülebilirdir. Bu sebeple donma esnasında kaynak içinde hapsolabilir. Bu alüminyum kaynak dikişlerindeki gözeneğin ana sebebidir.

Temizlik açısından yüzeydeki her türlü nem kaynağı yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Yüzeyden uzaklaştırılmasıyla alüminyum kaynağındaki gözeneğin ana sebebi yok edilmiş olur. Bir diğer husus ilâve metalin temizliğidir. İlâve metalin ambarlanması ve taşınmasının önemi sıkça göz ardı edilir. Aynı sebeplerden dolayı ilâve metal plakalar gibi ele alınmalıdır. Alüminyum tel besleyicilerinin çoğunda, makaralar

normal tel kirleticilerinden korumak maksadıyla kapalı bir bölümde muhafaza edilir. Alüminyum ilâve metal kuru ve yağlayıcılardan uzak olarak muhafaza edilmelidir.

4.1. Alüminyumun Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Özellikleri

4.1.1. Oksit

Alüminyumun oksijene karşı kuvvetli bir affinitesi olup havaya maruz kaldığında hemen oksitlenir. Isıl işlemler ve nemli depolama şartları oksit kalınlığını artıracak, süsleme, mimari ve aşınma direnci uygulamaları için elektrokimyasal anotlama işlemi uygulanmış gibi olacaktır. Tabii oksit, asal gaz kaynak arkları veya tozlar vasıtasıyla giderilebilecek inceliktedir. Bununla beraber daha kalın oksit, mekanik veya kimyasal araçlarla kaynak öncesi giderilmelidir. Alüminyum oksit, esas metal alaşımının ergime sıcaklığından çok daha yüksek olan 2050°C civarında (yaklaşık olarak alüminyum alaşımının kendi ergime sıcaklığının 3 katı sıcaklıkta) ergir. Kaynakta esas metalin oksitten çok daha önce ergiyeceği kesindir. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımlarının kaynağında tabii oksitler asal gaz ark vasıtasıyla parçalanabilir. Bununla beraber, ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları belli bir ısıl işlem için yüksek sıcaklığa çıkarıldığından ısıl işlem uygulanamayan alaşımlarda bulunandan daha kalın bir oksit tabakası biçimlenecektir. Oksit giderilmediğinde veya yeri değiştirildiğinde yetersiz ergimeye sebep olacaktır. Oksidi gidermek için klorür ve florür ihtiva eden tozların kullanıldığı bazı birleştirme işlemlerinde kullanım sırasında korozyon problemi ihtimalinden kaçınmak için birleştirme işleminden sonra bu tozlardan birleştirme yeri arındırılmalıdır. Bu konu, toz kullanılmaksızın oksidi giderebilen asal gaz ark kaynak işlemlerinin kullanımını geniş ölçüde ön plana çıkarır. Alüminyum oksit, bir elektriksel yalıtkandır. Yeterince kalın olduğunda, anodik kaplamalarda olduğu gibi ark başlatmayı önleyebilir. Bu durumda, oksit azalması sadece kaynak yapılacak yerde değil aynı zamanda şase bağlantısının yapıldığı yerde de gereklidir. Bir ısıl işlem veya nemli atmosferde depolamanın sebep olabileceği gaz metal ark kaynak (GMAW) elektrodundaki kalın bir oksit tabakası torcun temas ucunda, kötü kaynakla sonuçlanan kararsız elektriksel akım yönü değişikliği meydana getirebilir [28].

4.1.2. Hidrojen çözünürlüğü

Ergimiş alüminyumda hidrojen çok hızlı çözünür. Buna karşılık, hidrojen katı alüminyum içinde hemen hemen hiç çözünmez. Bu da alüminyum kaynağında gözeneğin birinci sebebi olarak tanımlanır. Yüksek sıcaklıklarda kaynak banyosu çok miktarda hidrojen soğrulmasına müsaade eder ve katılaşma esnasında hidrojen çözünürlüğü çok miktarda azalır. Etkili çözünebilirlik sınırını aşan hidrojen, katılaşan kaynaktan kaçamadığında gözenek oluşturur.

Sağlam kaynakların yapılabilmesi için esas metal ve ilâve metal üzerindeki yağlayıcı, yüzeydeki nem veya hidrojen ihtiva eden oksit, bir su soğutmalı torcun nozulu içinde nem yoğunlaşması veya su sızıntısı, koruyucu gaz içerisindeki nem bertaraf edilmelidir. Alüminyum-magnezyum alaşımları (5xxx serisi), hidrojen ihtiva eden oksit oluşumu yönünden en hassas olan alaşımlardır. Makaralara sarılmış haldeki çıplak tel elektrot, kuru ve ısıtılmış bir bölgede ambarlanmalıdır. Nem, hidrojen ihtiva eden oksitten toz özlü elektrotlarda yapıldığı gibi ısıtılarak uzaklaştırılmaz [28].

4.1.3. Elektriksel iletkenlik

Ark kaynağı esnasında, şase kablosu parçanın herhangi bir yerine tutturulabilir. Gerek alüminyum üzerindeki yalıtkan oksidin ve gerekse çelik masa üzerindeki pasın elektrik akımını kötü iletmesine sebep olabilmesinden dolayı şase kablosunun çelik çalışma masasına tutturulması tercih edilir. Temas noktalarında ark oluşumu, alüminyumun yüzeyinde bozulma yapabilir. Alüminyum alaşımları, yüksek elektrik iletkenliğine sahip olup saf alüminyum saf bakırın elektrik iletkenliğinin % 62' sine sahiptir.

Çizelge 4.1. Isıl işleme tabi tutulamayan şekillendirilmiş alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri ve kaynak edilebilirlikleri [28]

ESAS ALAŞIM	YAKLAŞIK ERGİME ARALIĞI °C	25°C' da ISIL İLETKENLİK W / m.K	ELEKTRİK İLETKENLİĞİ (a) % IACS	KAYNAK EDİLEBİLİRLİK(b)				
				GAZ	TOZ ARK	ASAL GAZ ARK	DİRENÇ	BASINÇ
1060	646-657	234	62	A	A	A	B	A
1100	643-657	222	59	A	A	A	A	A
1350	646-657	234	62	A	A	A	B	A
3003	643-654	193	50	A	A	A	A	A
3004	629-654	163	42	B	A	A	A	B
500	632-654	200	52	A	A	A	A	A
5050	624-652	193	50	A	A	A	A	A
5052	607-649	138	35	A	A	A	A	B
5652								
5083	574-638	117	29	C	C	A	A	C
5086	585-641	125	31	C	C	A	A	B
5154	593-643	125	32	C	C	A	A	B
5254								
5454	602-646	134	34	B	B	A	A	B
5456	568-638	117	29	C	C	A	A	C

a) 20°C'de eşdeğer hacim
b) Kaynak edilebilirlik derecesi:
A: Kolayca kaynak edilebilir.
B: Çoğu uygulamalarda kaynak edilebilir, ancak özel teknik veya ilâve metal alaşımı gerektirir.
C: Sınırlı kaynak edilebilir.

Yüksek elektrik iletkenliği sebebiyle demir esaslı elektrotlarda olduğu gibi; elektrotta direnç ısınması olmadığından GMAW tabancalarında uzun temas ucu kullanılabilir. Uzun temas uçları çoklu temas noktalan sağlayarak iyi akım geçirdiklerinden tercih edilirler. Kısa temas uçları ile ark yapma, alüminyumda sadece bir kaç temas mümkün olduğunda tabii oksit yalıtımı sebebiyle vasattır. Bu olay özellikle sabit gerilim güç ünitesi ve yüksek akım dalgalanmalarına sebep olan yüksek elektrot besleme hızı kullanıldığında doğrudur. Alüminyumun manyetik olmama özelliği, ark üfleme problemini en aza indirir. Bu özellik diğer malzemelerin ark kaynağında alüminyumı bağlama ve sabitleme için uygun malzeme haline getirir. Bu özelliği

sebebiyle kaldırma ve yükleme için manyetik kaldırma aparatları yerine vakumlu kaldırma cihazları gereklidir [28].

4.1.4. Isıl karakteristikleri

Alüminyumun ısı iletkenliği, çeliğin altı katı civarındadır. Alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı demir esaslı alaşımların ergime sıcaklığının altında olmasına rağmen özgül ısısının yüksek olması sebebiyle alüminyumun kaynağı için daha yüksek ısı girdisi gerekir. Buna rağmen bir kaynak yavaş hızla yapılıyorsa, ısı arkın önünde ilerleyebilir, kaynak parametrelerinin devamlı ayarı gerekir. Düzenli kaynak şartlarının çoğu uyumlu kaynak hızları ile yüksek ısı girdilerine zorlar. Yüksek ısı iletkenlik, kaynak işleminin vasıtasıyla ısı girişinde alüminyumun değişimlere hassas hale getirir. Özellikle GMAW gibi daha hızlı kaynak işlemleri ile nüfuziyet ve ergime farklılıklarından kaçınmak için sabit bir ısı girdisi gerekir. Mesela bu iki süreksizliğin her ikisi de sabit gerilimli bir makina ile torç salınımı kullanılarak yapılan bir GMAW da, kaynak ağızı açılmış bir alın kaynağı veya bir içköşe kaynağının kök pasosunda akım değişimi sebebiyle meydana gelebilir. Radyografik muayeneye tabi tutulacak parçalarda alüminyumda en sağlam kaynakların yapılması için sabit akım tipi bir güç ünitesi ile GMAW tercih edilir. Alüminyumun ısı iletkenliği çeliğin iki katı civarındadır ve alüminyum kaynaklan katılaşıma sırasında hacim olarak %6 büzölür [28].

4.1.5. Alüminyum eşitleri

Çoğu alüminyum biçimleri kaynak edilebilir. Şekillendirilmiş olanların (plaka, tabla, ekstrüzyon, dövme, çubuk, bar ve darbeli ekstrüzyon) olabildiğince iyi kumlanmış ve kokil dökümler kaynak edilebilir. Alışlagelmiş kalıp dökümleri kaynak edildiğinde iç gazlar sebebiyle kaynak ve kaynağa bitişik esas metalde aşırı gözenek meydana gelir. Bununla beraber vakum altında kalıp döküm kaynak yapıldığında mükemmel sonuç verir. Toz metalürjisi ile imal edilen parçalarda da kaynak esnasında iç gazdan dolayı gözenek oluşabilir. Bir alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliğinin tayininde şekillendirilmiş alaşım bileşimi alaşımların biçiminden çok daha fazla

4.2. Çarpılma

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı esnasında, gerek ısı iletkenliği ve buna bağlı olarak ısı girdisinin, gerekse alüminyumda sıvı halden katı hale geçme sırasında hacim kaybının çeliğe göre daha fazla olması sebebiyle doğal olarak çarpılma daha çok olur. Çarpılmanın azaltılması için yapılacak çalışmalar tasarım sırasında kaynak ağızlarının tespitiyle başlayıp atölye çalışmalarıyla devam eder.

Çarpılmanın önlenmesi için çelik kaynaklarında kul Ulanılan; kaynak sırasını belirlemek suretiyle ısı girdisini yaymak, kaynak kalıpları vasıtasıyla parçaları sabitlemek gibi önlemler alüminyum için de kullanılabilir.

Alüminyum için çokça kullanılan bir diğer yöntem ise hidrolik veya mekanik krikolar vasıtasıyla ön gerilim vermektir. Bu yöntem, ancak çarpılma yönü belli olan uygulamalar için kullanılabilir. Ön gerilim miktarı çoğunlukla deneme yanılma yöntemi ile belirlenir. Verilecek ön gerilim miktarını sınırlayan ana etken kaynak dikişlerindeki sıcak çatlama riskidir.

Aynı kaynaklı yapı üzerinde otomatik ve yarı otomatik kaynak dikişleri yer alıyorsa otomatik kaynak dikişlerinin öncelikle atılması çarpılma miktarını düşürmeye büyük ölçüde yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak çarpılmayı tam manasıyla önlemek çoğu zaman mümkün değildir. Bu sebeple gerektiğinde parçalar, presler veya krikolar kullanılarak doğrultulmalıdır. Alüminyum kaynaklı yapılarda doğrultma işlemi, kritik işlemler sınıfına girer. Doğrultma işlemi, doğrultma miktarına bağlı olarak kaynak dikişlerinde çatlamaya sebep olabilir. Bu çatlakların gözle muayene esnasında gözden kaçma ihtimali yüksektir. Bu sebeple doğrultma işlemi sonrası penetrant test uygulaması gereklidir [28].

4.3. Alüminyum Kaynağında Atmosfer Şartlarının Etkileri

Birçok imalâtçı yılın farklı zamanlarında kaynak problemleri ile karşı karşıya kalır. Nem (H_2O) kaynak esnasında en önemli hidrojen kaynağıdır. Ark sıcaklıkları, suyu parçalayarak kaynaklı yapılarda gözeneğe sebep olan hidrojen açığa çıkarır.

Koruyucu gaz içindeki nem miktarı çok düşüktür (çiğ noktası $70^{\circ}F$ veya daha düşük). Aynı şekilde imalat tesisinde atmosfer şartları, tel elektrot veya esas metal üzerinde nem yoğunlaşmasını önlemek için kontrol altında tutulmaktadır.

Defalarca su ile temas etmesine izin verilen alüminyum üzerinde Hidrojen ihtiva eden oksit ($ALOH$) oluşur.

Tel elektrot veya esas metal üzerinde yoğunlaşan nem kaynak esnasında iki probleme sebep olur.

1. Su veya metal yüzeyinde bulunan Hidrojen ihtiva eden oksitin parçalanmasıyla ortaya çıkan Hidrojenin sebep olduğu gözenek
2. Metal yüzeylerinde mevcut oksitin ($ALOH$) kaynaklı yapıda hapsolması [28].

4.3.1. Nem yoğunlaşması

Kaynak yapılan bölgede nisbi nem mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Kimyasal daldırma tankları, temizleme istasyonları ve hatta yerlerin ıslatılarak süpürülmesi dahi nem miktarını arttırır. Çiğ noktasına bağlı olarak sıcaklık ve nisbi nem miktarı Çizelge 7'de verilmiştir. Örneğin; kaynak yapılan bölgede nisbi nem %70 olduğunda nem yoğunlaşmasını önlemek için tel elektrot veya esas metal sıcaklığı ortam sıcaklığından $5^{\circ}C$ dan daha soğuk olmalıdır[28].

Çizelge 4.5. Nisbi neme karşılık gelen çiğ noktası

$(T_A - T_M)^\circ$		Nisbi Nem	$(T_A - T_M)^\circ$		Nisbi Nem
$^\circ\text{C}$	$(^\circ\text{F})$	%	$^\circ\text{C}$	$(^\circ\text{F})$	%
0	(0)	100	12	(21,6)	44
1	(1,8)	93	13	(23,4)	41
2	(3,6)	87	14	(25,2)	38
3	(5,4)	81	15	(27,0)	36
4	(7,2)	75	16	(28,8)	34
5*	(9,0*)	70	18	(32,4)	30
6	(10,8)	66	20	(36,0)	26
7	(12,6)	61	22	(39,6)	23
8	(14,4)	57	24	(43,2)	21
9	(16,2)	53	26	(46,8)	18
10	(18,0)	50	28	(50,4)	16
11	(19,8)	48	30	(54,0)	14

- $(T_A - T_M)^\circ$, $^\circ\text{C}$ ve $^\circ\text{F}$ olarak hava metal sıcaklık farkı
 - Nisbi nem, atmosferde mevcut su buharı miktarının, mevcut sıcaklıkta havayı doyuracak miktara oranıdır.
 - Çiğ noktası,, havada yer alan su buharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklıktır.
 - Hava sıcaklığı, istenen herhangi bir anda kaynak hattında ölçülen hava sıcaklığıdır.
 - Metal veya tel elektrot sıcaklığı, istenen herhangi bir anda tel elektrot veya esas metal üzerinde ölçülen sıcaklıktır.

4.3.2. Esas metalin ambarlanması

Esas metal üzerinde su lekelenmesi olarak da bilinen hidrojen ihtiva eden oksitin oluşmasını önlemek için plakalar kuru yerde muhafaza edilmelidir. Özellikle yağışlı havalarda kapılar açık bırakılmamalı ve ambarlama ortamında nemi ve sıcaklık farkının yükselmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde metal havadaki sıcaklık değişim hızı farklı olacağından plaka yüzeyinde nem yoğunlaşacaktır. Bu olay sadece yağışlı havalarda olmayıp nem, sıcaklık ve zaman değişkenlerine bağlı olarak her zaman meydana gelebilir.

1. Plakalar üzerinde herhangi bir yoğunlaşma görüldüğünde derhal giderilmelidir.

2. Plakalar arasına ince elemanlar konarak, plakalar birbirinden ayrılıp aralarından hava geçişi sağlanmalıdır.
3. Ambarlama alanı müsaade ettiği taktirde plakalar dik ve aralıklı muhafaza edilmelidir (Su ile teması en aza indirmesinden dolayı tercih edilir.).
4. Lekelenme (AlOH) söz konusu olduğunda kaynak öncesi bir kısım malzeme kalınlığına bağlı olarak aşındırıcı lifli malzemelerde veya zımpara ile mekanik olarak giderilmelidir [28].

4.3.3. Tel elektrotların ambarlanması

Tel elektrotlar için belirlenmiş kesin bir raf ömrü olmamakla birlikte genellikle imalatçı firmalar paketler açılmadığı müddetçe normal ambarlama koşullarında elektrotların sekiz ay saklanabileceğini belirtmektedirler. Elektrotların muhafazası için şartlandırılmış odalar kullanıldığında, çok daha uzun süreleri kullanıldığı, ambarlama koşullarına dikkat edilmedikçe çok kısa sürede bozulduğu bilinen bir gerçektir. 12°C-20°C sıcaklık ve %45-60 max. nem ortamı elektrot saklama için ideal bir ortamdır (depolama sıcaklığı ' 10°C altına düşmemelidir).

1. Elektrotlar daha soğuk bir ortamdan kullanım bölgesine alındığı takdirde 24 saat sonra orijinal paketinden çıkarılmalıdır.
2. Özellikle tek vardiya çalışan iş yerlerinde kullanımdaki elektrotlar mesai bitiminde çıkarılarak nem kontrollü kabinlere alınmalı tüm gece boyunca atmosfer koşullarına maruz bırakılmamalıdır [28].

4.3.4. Ortam şartları

Kaynak hattında temizleme, daldırma tankları gibi bölümlerin bulunması nisbi nemin artmasına sebep olur. Bu durumda bu bölgelerde yeterli havalandırma sistemi kurularak nisbi nemin yükselmesi önlenmelidir. Esas metal ve elektrot sıcaklıklarının atölye ortam sıcaklığına yükseltilmesi nem yoğunlaşma riskini önler. Atölye

ortamındaki sıcaklığın yükselmesinin önlenmesi akla gelebilecek diğer bir tedbirdir [28].

5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ GAZALTI KAYNAĞI

Gazaltı kaynak yöntemleri aslında birer elektrik ark yöntemidir. Kaynak bölgesi atmosferin etkisinden koruyucu bir gaz ile korunur. Gazaltı kaynak yöntemi, son on beş yıl içinde hızla gelişen ve dünyadaki kullanımı da bu gelişmeye paralel olarak hızlı bir artış gösteren, endüstrinin vazgeçemediği bir konuma gelen kaynak yöntemidir [30].

Gazaltı kaynak yöntemleri alüminyum alaşımlarının uygulamalarında, kaynaklı birleştirmede en önemli tekniklerdendirler [29].

Gazaltı kaynak yöntemi, son on yıl içinde hızla gelişen ve dünyadaki kullanımı da bu gelişmeye paralel olarak hızlı bir artış gösteren, endüstrinin vazgeçemediği bir konuma gelen kaynak yöntemidir [38].

Endüstride alüminyum alaşımlarının kaynağında en çok kullanılan yöntemlerin başında TIG ve MIG kaynakları gelmektedir [31,32].

TIG kaynağı, ergimeyen (tükenmeyen) tungsten bir elektrod ile iş parçası arasında meydana gelen ark ve kaynak bölgesinin de asal bir gaz (argon, helyum, argon-helyum karışımı) tarafından korunduğu bir gazaltı kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde yüksek kalitede birleştirmeler elde etmek mümkündür [37].

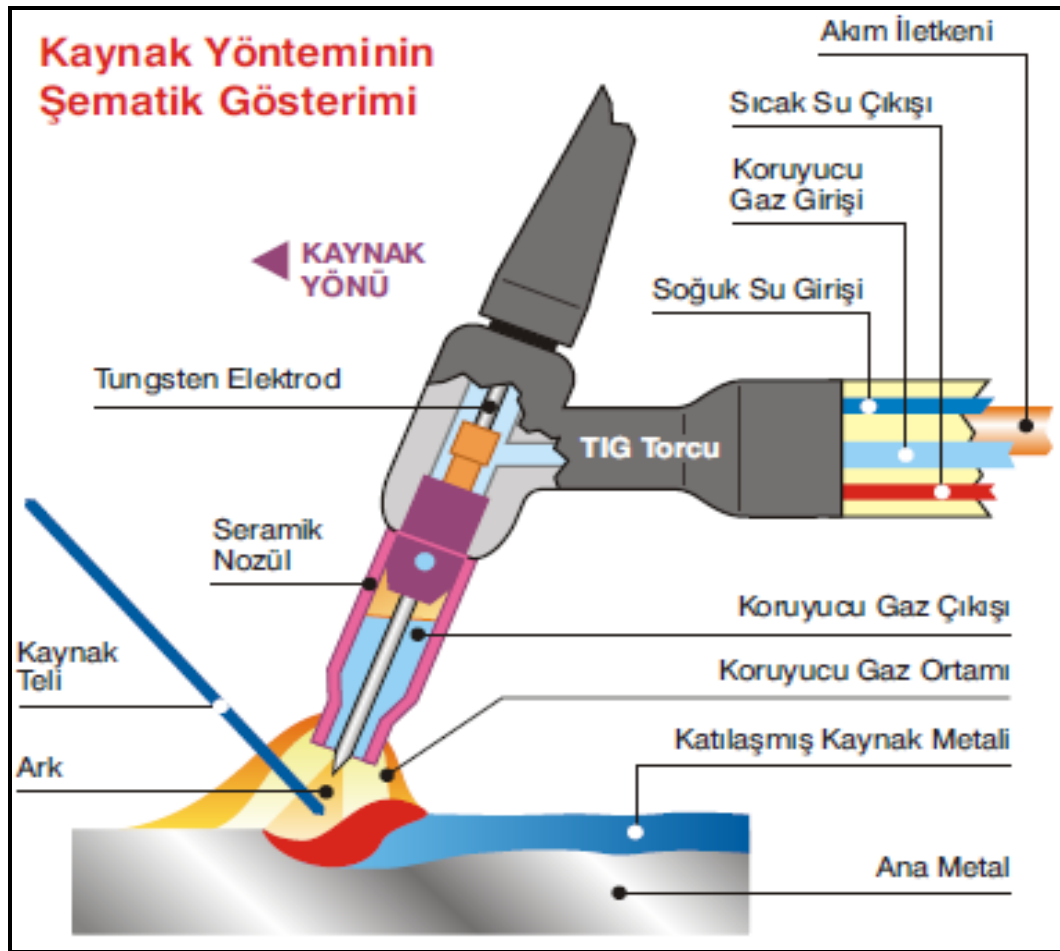
TIG kaynağı en çok, alüminyum, magnezyum, bakır ve titanyum gibi diğer ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri oldukça güç olan düşük yoğunluklu metallerin kaynağında kullanılır [33–35].

MIG kaynağında ise ark, iş parçası ve kaynak metali arasında ergiyen bir elektrod ile oluşur. Ark, helyum veya argon gazı altında yanar ve sürekli bir gaz akışı olduğu için kaynak banyosu atmosferden korunur [36].

5.1. Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağı

TIG kaynağı; kaynak için gerekli olan ısı enerjisi tungsten bir elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından oluşur. Kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunan bir kaynak yöntemidir [39–42].

Şekil 5.1’de kaynak yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.1. TIG Kaynak yönteminin şematik gösterimi [39]

Kaynak yöntemini koruyucu bir asal gaz atmosferi altında ilk uygulaması ilk defa İkinci Dünya savaşında uçaklarda kullanılan bazı magnezyum alaşımlı parçaların kaynak ile birleştirilmesiyle başlamıştır. Çok kısa bir sürede bu yöntemin geniş bir alanda kullanılabilmesi ve bilinen kaynak yöntemleri ile kaynatılması zor olan metal

ve alaşımların kaynağı için uygun olduğu anlaşılmış ve bugün en çok kullanılan yöntemlerden birisi olmuştur [43,47].

Bu Yöntemde kaynak yapıla parça ile erimeyen elektrod (Tungsten ve/veya alaşımları)arasında oluşturulan elektrik arkı kaynak için gerekli sıcaklığı sağlar. Atmosferin kaynak bölgesine olumsuz etkilerine mani olmak için kaynak bölgesi asal bir gazla örtülür.

TIG kaynağı için en başta helyum, zaman geçtikçe ise argon gazı kullanılmaya başlanmıştır. Argon gazının hafif metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılması için saflık derecesinin çok yüksek olması gerekir. Saflık derecesinin yüksek olmamasından dolayı gaz içerisinde bulunabilecek su buharı, oksijen ve azot gibi istenmeyen faktörler yapılan kaynağın kalitesini düşürür [43–47].

TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş, uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilir. Gerektiğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal kullanılmaktadır. Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı her geçen gün yaygınlaşmaktadır [46].

5.1.1. TIG kaynağı akım üreteçleri

TIG kaynak yönteminde günümüz teknolojisinde, akım üretici olarak redresör ve transformatör türleri, alternatör ve jeneratörlere göre daha çok yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Redresör tipi akım üreteçleri, kaynağın akımı-gerilimini ayarlayan bir transformatör ve ayarlanan akımı doğrultan bir redresörden oluşmuşlardır. Böylece hem doğru hem de alternatif akım üreten redresör gibi üreteçler ile her tür metal ve alaşımların kaynağını yapmak mümkün haldedir. Cihaz üzerinde bulunan bir şalter yardımıyla kaynak akımı hem redresör çıkışından, hem de alternatör çıkışından alınabilir; redresör çıkışından akım çekeceksek, bir başka şalter yardımı ile düz

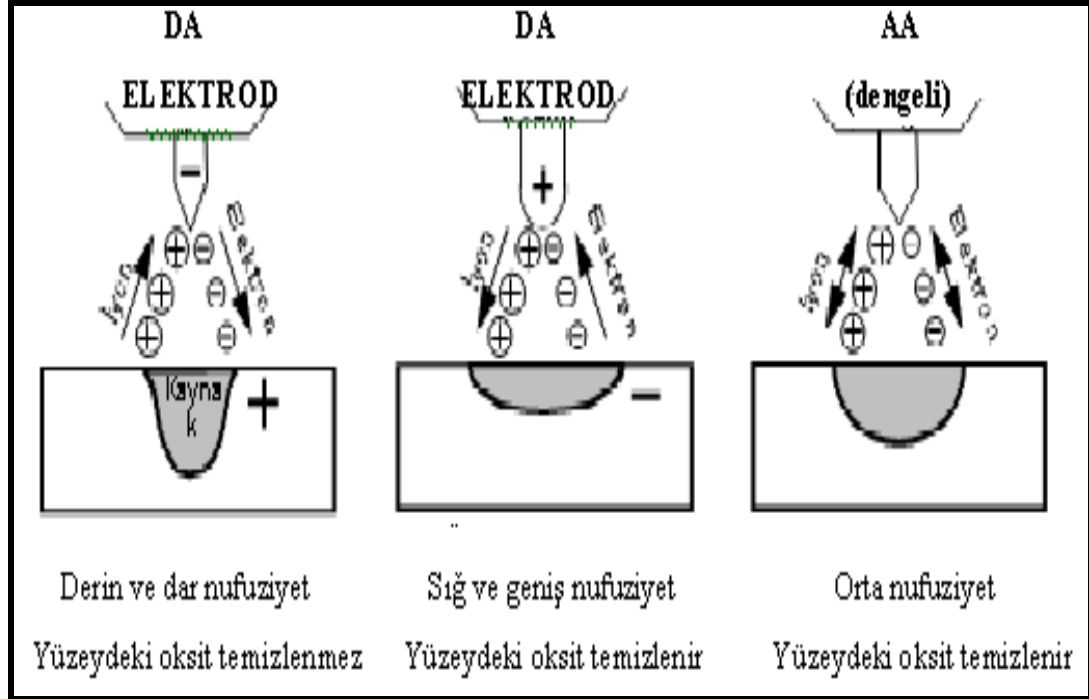
kutuplama (torç negatif kutupta) veya ters kutuplama (torç pozitif kutupta) bağlantılarından herhangi bir tanesi seçilebilir. Bu seçimi kaynakçı, kaynak yapacağı metal ve alaşımın türüne göre belirler. TIG kaynağında akım üreteçleri, düşen tipte bir Akım-Gerilim karakteristiğine sahiptirler. Düşen tipte, gerilmelerdeki büyük ark boyu değişimleri, akım şiddetini sadece önemsiz miktarlarda etkilemektedirler. Genel olarak, düşen gerilim/akım (volt-amper) karakteristiğine sahip güç ünitelerinin kullanılması, doğru akım (DC) ve elektrotun negatif (-) kutuba bağlanması tercih edilir. Bunun yanında, paslanmaz çeliklerin kaynağında, ark temizleme etkisinden dolayı bazen alternatif kaynak akımı da (AC) kullanılmaktadır [48].

Tüm ark kaynak yöntemlerinde, kaliteli bir kaynak dikişi eldesi ancak kararlı bir ark ile gerçekleşebildiğinden, kaynak makinesinin seçimine özen göstermek gereklidir, TIG kaynak yönteminde, arkın kararlılığı, kutuplama ve akım türü diğer ark kaynak yöntemlerinden daha etkin bir biçimde kaynak dikişinin kalitesini etkilediğinden bu konuda daha büyük özen göstermek gereklidir.

Yüksek sıcaklıkta ergiyen oksit tabakası içeren malzemelerde katı oksit tabakası, kaynak banyosunun akmasını ve damlaların üzerine düştüğü paso ile birleşmesini engeller. Yaklaşık 2050 °C'lik ergime sıcaklığıyla alüminyum oksit, ergitme kaynağında çok zor parçalanarak oksitlerden biridir. TIG kaynağında bu oksit tabakasının uzaklaştırılması arktaki yük taşıyıcılarla sağlanır. Yük taşıyıcılar, elektronlardan ve elektronların ayrılmasıyla oluşan pozitif yüklü gaz iyonlarından oluşur. Elektronlar büyük bir hızla hareket eder ancak, kütlelerinin küçüklüğü nedeniyle kinetik enerjileri azdır. Bu nedenle sadece iyonlar, esas malzeme yüzeyine çarptıklarında oksit tabakasını parçalamak için yeterli enerjiye sahiptir.

Şekil 5.2'de arktaki yük taşıyıcıların hareketleri şematik olarak verilmiştir. Elektronlar katottan anoda doğru yer değiştirir ve burada çarpma sonucu ısı üretilir. İyonlar ise ters yönde hareket eder. Ancak iyonların kinetik enerjisi, sadece elektrod anod ve parça da katod olduğunda kaynak banyosunun yüzeyi üzerine uygulanabilir. Fakat bu şekilde temizleme etkisi önemli oranda düşük olur. Çünkü pozitif

kutuplanmış elektrodun kuvvetli bir şekilde ısınması, akım şiddetini zayıflatır. Alternatif akım kullanılması ile bu durumun iyi bir ortalaması elde edilebilir [49].



Şekil 5.2. TIG kaynağında arkta yük taşıyıcıların üç farklı hareketi [49]

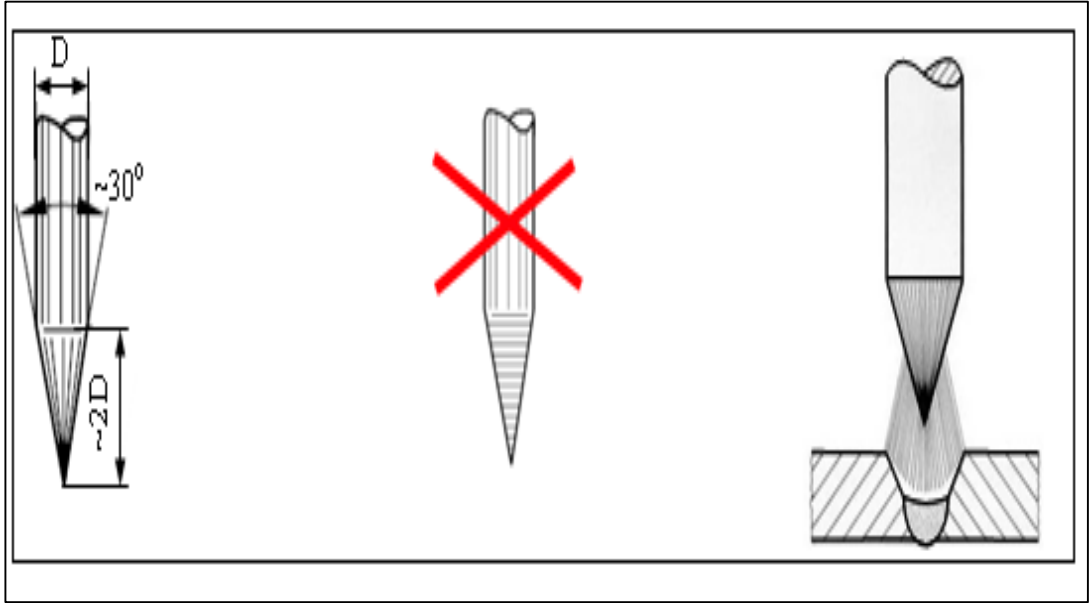
5.1.2. TIG kaynak elektrotları

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemleri arasında en önemli fark, ek ilave elektrotun kullanılması ve elektrotun sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirmemesidir. Bundan dolayı erime sıcaklığı 3350 °C olan tungsten elektrot kullanılmaktadır [32]. Bu elektrotlar yüksek ergime sıcaklığına sahip olmakla beraber çok önemli bir elektron yayıcı olup yayılan elektronlar ark sütunu içinde elektrik akımı oluşturmakta ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek arkın kararlılığı sağlamaktadır. TIG kaynak elektrotları AWS (Amerikan Kaynak Derneği), DIN (Alman Standart Enstitüsü) göre sınıflandırılmış ve bunların birbirinden kolayca ayırt edilebilmesi için uç kısımları çeşitli renklere boyanarak belirlenmesinde farklı renk kodları kullanılmıştır [33]. Bu renk ve kodlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

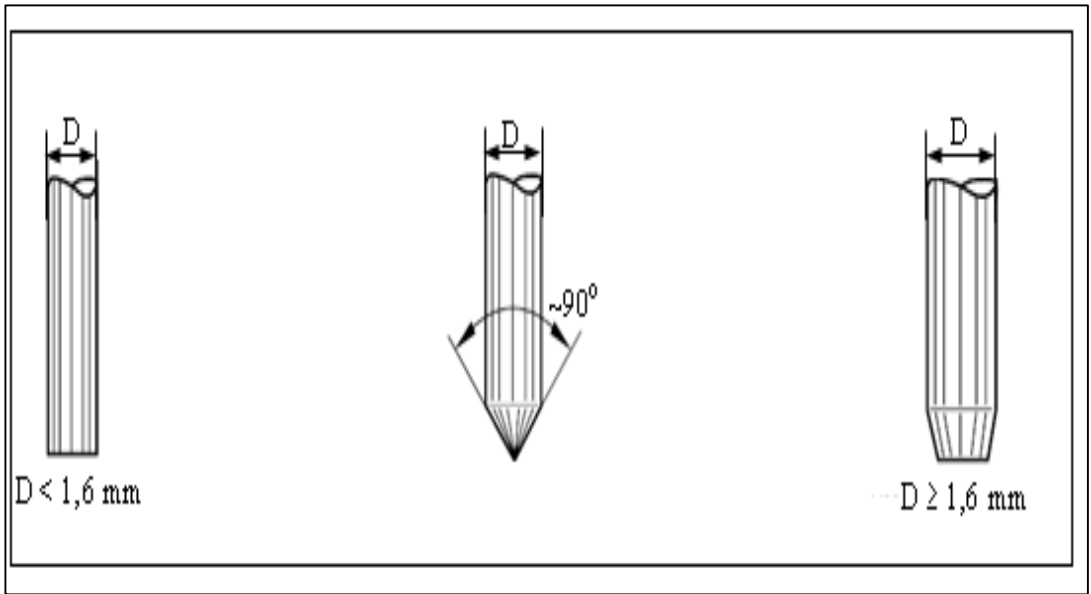
Çizelge 5.1. Tungsten elektrodların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri [33]

	İşareti	Oksit İçeriği (%)	Katışkılar (%)	Renk Kodu	Bazı özellikleri
Katkısız	W	-	<0.20	Yeşil	Alternatif akımda ark kararlılığı iyi, elektrod ucu düzgün yarı küre şeklinde olmalı
Toryum oksit	WT 10	0.90-1.20 ThO ₂	<0.20	Sarı	Toryum oksit oranı yükseldikçe, elektron çıkışında açığa çıkan enerji azalmaktadır. Bu nedenle tutuşma özellikleri, dayanma süresi ve akım yüklenebilme kapasitesi artmaktadır.
Toryum oksit	WT 20	1.80-2.20 ThO ₂	<0.20	Kırmızı	
Toryum oksit	WT 30	2.80-3.20 ThO ₂	<0.20	Leylak	
Toryum oksit	WT 40	3.80-4.20 ThO ₂	<0.20	Portakal	
Zirkonyum oksit	WZ 4	0.30-0.50 ZrO ₂	<0.20	Kahverengi	Kaynak banyosu elektrod tarafından daha az kirletilir.
Zirkonyum oksit	WZ 8	0.70-0.90 ZrO ₂	<0.20	Beyaz	
Lantan oksit	WL 10	0.90-1.20 LaO ₂	<0.20	Siyah	Toryum oksitli elektrodlarla oranla daha uzun dayanma süreleri. (plazma ark yöntemleri)

TIG kaynağında kullanılan tungsten elektrodlar, kural olarak Şekil 5. 3.' deki gibi boylamasına taşlanmalıdır. Aksi halde dönel taşlama izleri arkın sapmasına ve akımın sınırlandırılmasına neden olur. Gerekli durumlarda taşlama tozlarının parlatılarak uzaklaştırılması gereklidir.



Şekil 5.3. TIG kaynak elektrodlarının taşlanması (Doğru akımda)



Şekil 5.4. Elektrod çapına göre elektrod uçları (Alternatif akımda)

TIG kaynak elektrodunun uç formunu uzun süre koruyabilmek için kaynak parametrelerinin uygun seçilmesi gereklidir. Kaynak esnasında (elektrod uçlarını koruyabilmek için) akımın doğru ayarlandığı elektrod ucunun aldığı şekilden kolayca anlaşılabilir. Şekil 5. 4.'de alternatif akımda elektrod çaplarına göre elektrod uç formları görülmektedir.

5.2. TIG Kaynak Yönteminin Avantaj Ve Dezavantajları

5.2.1. TIG kaynak yönteminin avantajları

1. Bütün metal ve alaşımları kaynatılabilir. Paslanmaz çelikler, ısıya mukavim çelikler dökme demir ve çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, titanyum, nikel, molibden, niyobyum, tungsten gibi.
2. Bu yöntemle yapılan kaynaklarda mukavemet ve kalite bakımından mükemmel dikişler elde edilir. Dekapana ihtiyaç yoktur.
3. Kaynak dikişleri genellikle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılır.
4. Çok küçük alanın ısıtılması ve ısının sürekli transferi dolayısıyla diğer yöntemlere göre çarpılmalar daha azdır.
5. Tungsten elektrodla dikişte çok az bir karbür ayrışması meydana gelir.
6. Her çeşit birleştirme şekli uygulanabilir; yatay, dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapılabilir.
7. Kaynak torcu hafiftir ve dolayısıyla rahat bir çalışma olanağı sağlar.
8. Bu yöntem sayesinde ayrı cins metalleri ve alaşımları birbirleriyle kaynatmak mümkündür.
9. TIG kaynak yönteminde genellikle koruyucu gaz olarak Argon kullanılır.
10. Kaynak dikişi üzerinde curuf yoktur.

5.2.2. TIG kaynak yönteminin dezavantajları

1. TIG kaynağının metal yığılma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
2. Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir.
3. Koruyucu gaz gerekir.
4. Kirliliğe hassastır bu yüzden yüzey temizliği gerektirir.
5. Açık havada zor kullanılır.
6. Kimyasal yapı düzeltilemez [48,51].

6. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ VE YÖNTEMLERİ

6.1. Yüzey Kaplama Alaşımı Seçimi

Kaplamada alaşım seçimi, ilk olarak aşınma ve maliyet göz önünde bulundurularak belirlenir. Daha sonra ana metal, kaplama işlemi, çarpılma, korozyon, oksidasyon ve termal şartlar gibi diğer çevresel ve üretim faktörleri de göz önüne alınmalıdır. Son olarak da kaplama işlemine göre, yüzey kaplama veya dolgu metal ürün formu belirlenir [52].

Yüzey kaplama alaşımları genellikle örtüsüz çubuk, örtülü çubuk, uzun teller, toz özlü tel (örtülü, örtüsüz) veya tozlar şeklinde mevcuttur. Kaynak türlerine göre kullanım şöyledir:

Çizelge 6.1. Yüzey kaplam yöntemleri ve kullanılan formlar [52]

Yüzey kaplama işlemleri		Kullanılan formlar
1	Oksi-gaz / oksi-asetilen	Örtüsüz veya toz özlü tel
2	Elektrik ark kaynağı	Örtülü veya toz özlü çubuk (elektrot)
3	TIG kaynağı	Örtüsüz veya toz özlü çubuk
4	MIG/MAG kaynağı	Toz özlü veya sürekli tel
5	Toz özlü açık ark	Toz özlü tel
6	Tozaltı ark kaynağı	Toz özlü veya sürekli çubuk
7	Plazma ark kaynağı	Toz
8	Lazer ışın kaynağı	Toz

Genel olarak yüzey kaplama alaşımlarının karbür içeriği artarken sünekliği azalır. Kırılabilirliğin çok önemli olduğu durumlarda östenitik manganlı çelikler aşınan

parçaları tamir için kullanılabilir. Nikel veya kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımları, korozyon ve aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda tavsiye edilir. Örneğin; bıçağın ağzı çelikten değil de kobalt esaslı alaşımdan yapılsaydı çelikten yapılmış olan bıçaktan daha uzun süre dayanırdı [52].

Demir esaslı alaşımlara oksidasyon ve sıcak korozyon direnci de genellikle zayıftır. Aşınma direnci ile beraber oksidasyon veya sıcak korozyon direncinin gerekli olduğu durumlarda Laves fazı veya karbür içerikli nikel veya kobalt esaslı alaşımlar tavsiye edilir. Bu yüzden yüksek sıcaklık mukavemeti ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda, kobalt esaslı veya Laves fazı içerikli alaşımlar tavsiye edilir. Martensitik yapılı demir esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybederler.

Genellikle yüzey kaplama alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması molibden ve tungsten içeriği ile artar [53].

Aşınma dirençli malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması genellikle alaşım içeriği ve çeşidine göre yapılır. Yüzey kaplama alaşımının seçiminde aşağıdaki basamaklar izlenmelidir;

1. Çevresel aşınma şartları ve aşınma tipini belirlemek için çalışma şartlarının analizi.
2. Çeşitli ve olabilecek birkaç yüzey kaplama alaşımının seçimi.
3. Termal gerilme ve muhtemel çatlamları göz önünde bulundurularak yüzey kaplama alaşımı ile ana metal uyumunu analizi.
4. Yüzey kaplama işlemi görmüş parçaların uygulama alan testi.
5. Maliyet ve aşınma ömrüne göre uygun değer bir yüzey kaplama alaşımının seçimi.

Aşınmaya uğramış parçanın üretime geçilmesi için yüzey kaplama işleminin seçimi, kaplamanın oranı, dilatasyon, kaplama, maliyet ve bütün verimliliğin göz önünde bulundurulması gerekmektedir [53].

6.2. Yüzey Kaplamada İşlem Seçimi

Yüzey kaplama işlem seçimi, mühendislik uygulamasına bağlı olarak yüzey kaplama alaşım seçimi kadar önemli olabilir. Yüzey kaplama işlem seçimi ile ilgili olan diğer teknik faktörler, yüzey kaplama özelliği ve kalite gereksinimleri, iş parçasının fiziksel özellikleri, ana metalin metalürjik özellikleri, yüzey kaplama alaşımının şekli ve bileşimi ve kaynakçı becerisidir. Ekonomik faktörler de önemlidir [54].

6.3. Özellik ve Kalite Gereksinimleri

Kaynak yöntemi ile yapılmış yüzey kaplama tabakası aslında değişebilir kompozisyonu ve mikroyapıdaki katılaşma kinetiği ile tanımlanan bir tür döküm işlemidir. Bu tarif abartılı değildir ve bu yüzden kaynakla yapılmış kaplama tabakası özellikleri ve kalitesi, alaşım seçimine bağlı olduğu gibi kaynak işlem ve tekniğine de bağlıdır.

Oksi-gaz kaynak işlemlerinde karbonun açığa çıkması ve ark kaynak işlemleri sırasında eriyen maddenin buharlaşması, ilave faktörler olmasına rağmen kaynak sırasında bileşimin değişmesi de ana metal sıvılaşmasından bağımsız değildir. Sıvı çözelti (dilatasyon), yüzey kaplama alaşımı ve ana metalin ara alaşımıdır. Ana metalin yüzey kaplama içindeki yüzdesi olarak ifade edilir. % 15'luk dilatasyon, kaplamanın % 20 ana metal ve % 85 yüzey kaplama alaşımı içerdiğini ifade eder. Yüzey kaplama alaşımının aşınma direnci ve diğer üstün özelliklerinin genellikle dilatasyon artarken azaldığı düşünülür. Kabul edilebilir maksimum çözelti miktarı ise özel kullanım gereksinimlerine bağlıdır. Aynı zamanda kaynak işlem ve tekniği, en sert tabaka için dilatasyon miktarı % 20'den daha az olacak şekilde seçilmelidir. Uygulamada dolgu kaplama tabakası için daha fazla dilatasyon oranı kabul edilir [55].

Dilatasyon termal püskürtme işlemlerinde bulunmaz ve geleneksel oksi-gaz kaynak işlemlerinde az miktarda var olduğu kabul edilir. Dilatasyon tabakası genellikle ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde büyük bir problemdir. Plazma ark

kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık % 5 ve toz altı ark kaynağında yaklaşık % 50 gibi büyük bir değere ulaşır. Lazerle yüzey kaplama işlemlerinde dilatasyon azdır, genellikle % 1-10 arasındadır. Çok katlı tabakalar şeklinde uygulanabilen ve ince yüzey kaplama tabakası gerektiren uygulamalarda, yüksek dilatasyonlu kaynak işlemlerinin yapılmasına müsaade edilir [56].

Dökümde olduğu gibi yüzey kaplama tabakalarının mikroyapı ve mekanik özellikleri, dilatasyon tabakasının katılma kinetiğine bağlı olarak değişir. Bazı termal püskürtme işlemlerinde hemen hemen amorf yapılara meydana gelmesine rağmen termal püskürtmede katılma genellikle hızlıdır. Katılma kinetiği geleneksel kaynak yöntemleriyle yüzey kaplama işlemlerinde biraz yavaşlama eğilimi gösterir. Kural olarak oksî-gaz kaynak işlemleri ile oluşturulan yüzey kaplama tabakalarının katılma eğilimi ark kaynak işlemleri ile oluşturulanlara göre çok daha yavaştır. Katılma oranındaki bu farklılık, dilatasyon oranı ne olursa olsun, mikroyapıda ve özelliklerde büyük farklılık meydana getirir [57].

6.4. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Ana malzemenin büyüklüğü, şekli ve ağırlığı yüzey kaplama işlem seçimini büyük oranda etkiler. Taşınması zor, geniş ve ağır iş parçaları, yüzey kaplama donanımı iş parçasının bulunduğu yere götürülerek elle veya yarı otomatik işlemler ile rahat bir şekilde kaplanır. Portatif araç-gereçleri hazır olarak bulunan MIG ve elektrik ark kaynak işlemleri, erişilmesi zor yüzeylerin ve taşınması zor iş parçalarının açık alan uygulamaları için çok uygundur. Termal püskürtme işlemleri ve araç-gereçleri de özellikle iş yerindeki yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Yüzey kaplama işlem seçimi daha çok ana malzemenin yeterince küçük olduğu varsayılarak yapılır ve bu yüzden ana malzeme, kaynak araç-gereçlerinin olduğu yere kolaylıkla taşınabilir. Termal püskürtme işlemleri ve oksî-gaz kaynağı, tozaltı kaynağı, TIG kaynağı, plazma ark kaynağı atölyedeki küçük iş parçalarının yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Çok miktarda küçük malzemeler genellikle özel olarak üretilmiş tam otomatik yüzey kaplama araç-gereç ve ekipmanlar ile ekonomik olarak kaplanabilir [53].

6.5. Ana Metalin Metalürjik Özellikleri

Termal püskürtmeli yüzey kaplama işlemlerinde ana metal yüzeyinin hazırlanması önemlidir. Kaynak işlem seçiminde ana metal bileşimi, ergime sıcaklık aralığı, termal genleşme ve küçülme özelliklerinin önemli etkisi vardır. Çelikler yüzey kaplama için genellikle uygun ana metallerdir. Düşük alaşımlı ve % 0,4'ün üzerinde karbon içeren orta karbonlu çeliklere bütün kaynak işlemleri ile mükemmel bir şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Yüksek karbonlu çelikler, benzer şekilde, sorunsuz olarak yüzey kaplama işlemine tabi tutulabilirler, fakat ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) zararlı martensitik reaksiyonu en aza indirmek için ön tav gerekir. Östenitik paslanmaz çeliklere ve birçok nikel esaslı alaşımlara, işlem hatası olmadığı takdirde, bütün kaynak işlemleri ile kolaylıkla mükemmel sonuç verecek şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Martensitik paslanmaz çelikler, takım çelikleri, kalıp çelikleri ve dökme demirlere de kolaylıkla yüzey kaplama uygulanabilir. Fakat ön tav, geçiş sıcaklığı ve kaynak sonrası gerekli ısıtılma çok dikkat edilmelidir. Yaşlandırma sertleşmesi işlemine tabi tutulmuş ana metaller bazı yüzey kaplama problemleri çıkarabilir ve ön tav, geçiş sıcaklığı ve son tav işlemlerine dikkat edilmesi gerekir [58].

Yüzey kaplama kaynak işlemleri, ana metalin erime sıcaklık aralığının yüzey kaplama alaşımınıninkinden daha yüksek veya en az eşit olmasını gerektirir. Diğer taraftan termal püskürtme işlemleri ana metal ergime sıcaklığının yüksek olmasını gerektirmez. Ana metalin termal genleşme ve büzülme özellikleri katılaşma sonrası boyutlarını etkiler. Yüzey kaplama alaşım kaplama tabakasının çatlamasını önlemek için, iş parçası kaynak sırasında genellikle yüksek sıcaklıklara kadar düzenli bir şekilde ısıtılır. Kaynak işlem seçimi burada önemlidir. Çünkü bu seçim ısı girdisini ve ön tav koşullarını direkt olarak etkiler [58].

Yüzey kaplama alaşımı ve ana metal arasındaki genleşme ve büzülme farklılıkları termal çevrim koşullarını içeren uygulamalarda önemlidir. Büyük farklılıklar kaynak yapılan bölgede, termal püskürtme tabakasında kesme hatası veya kaynakla kaplanmış tabakada termal yorulma hatasına sebep olabilir. Ara kaplama tabakaları

termal genleşme ve büzülme özelliklerindeki büyük farklılıkları önlemek için genellikle ana metal ve yüzey kaplama alaşımı arasına uygulanır. Genellikle zararlı olarak kabul edilen dilatasyon oranı kendi alanındaki ara tabakaları şekillendirmek ve termal yorulma hatasını en aza indirmek için iyi bir avantaj olarak kullanılabilir. Bu husus yüzey kaplama işlem seçiminde önemli bir yere sahiptir [59].

6.6. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri

Yüzey kaplama işlem seçimi genellikle ürünün şekli ile sınırlıdır. Yüzey kaplama alaşımları normal olarak örtüsüz çubuk, örtülü elektrot, tel ve toz şeklinde bulunurlar. Fakat bütün alaşımlar bütün ürün şekillerinde mevcut değildir. Hemen hemen bütün yüzey kaplama alaşımları toz şeklinde ve birçoğu da çubuk şeklinde üretilir. Çubuklar genellikle örtüsüz çubuk veya tüp (toz dolgulu metal boru) şeklinde bulunurlar. Örtüsüz çubuk çapları, alaşım özellikleri ve döküm şartlarına göre 3,2–8 mm arasında sınırlandırılır. Örtüsüz çubuk uzunlukları genellikle 250–700 mm arasındadır, fakat bazı yüzey kaplama alaşımları 3,2 mm çapında daha uzun veya sonsuz uzunlukta olabilir. Tüp şekilli çubuklar düşük alaşımlı kılıflar içine doldurulmuş, yüksek seviyede alaşımlandırılmış toz tanelerinden oluşur. Bu çubuklar farklı uzunlukta veya sürekli sargılı bobinler şeklinde üretilirler. Farklı uzunlukta boru şeklindeki çubuklar örtüsüz çubuk şeklinde olduğu gibi genellikle aynı çapta olurlar. Uzun boru şeklindeki çubuklar veya boru şeklindeki tel normal olarak 1,6 - 4 mm çaplarında bulunurlar. Daha sünek yüzey kaplama alaşımları tel çekme yöntemi ile üretilirler. Bir kısım gevrek yüzey kaplama alaşımları özel ekstrüzyon teknikleri kullanılarak üretildiğinden oldukça pahalıdır [60].

6.7. Yüzey Kaplama Yöntemleri

Ark kaynağı ile yüzey kaplama işleminde, elektrik arkından elde edilen ısı yüzey kaplama malzemesini iş parçası yüzeyinde eritmek için kullanılır. Elektrik arkı, elektrot ile iş parçası arasındaki gerilim farkından meydana gelir. Gerilim, elektrot ve iş parçası arasındaki mesafeye ve ark kaynak işlemlerine bağlı olarak ark değişimini muhafaza eder. Dolgu malzemesi, arkı oluşturmak için kullanılan elektrotlardan

sağlanır veya dışarıdan arkın içine konulabilir. Eriyen elektrot kullanıldığında, ark kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak direkt elektrottan yararlanılır. Erimeyen elektrot kullanıldığında ise ark kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak dışarıdan malzeme ilave edilir. Bir kural olarak; erimeyen elektrot kullanımı daha az tabaka kalınlığı ve daha az sıvılaşma oluşturduğu için eriyen elektrot işlemlerinden daha az güç kullanımı gereklidir. Hem eriyen hem de erimeyen elektrot ile yüzey kaplama işlemlerinde dolgu malzemeleri eriyip iş parçası yüzeyine kaplanırken oksidasyondan korunması gerekir [59].

Eriyen elektrotlarla yüzey kaplama işlemlerinde kaynak banyosu bazen toz ile (elektrik ark kaynağı ve tozaltı kaynağında olduğu gibi), bazen de inert gazlarla (TIG ve MIG kaynağında olduğu gibi) korunur [61].

6.7.1. Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynak yöntemi ve eriyen elektrotlarla yapılan yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan elektrotlar özel bileşimdeki bir örtü tabakası ile kaplanmış farklı boyutlardaki örtülü çubuklardan oluşurlar. Dolgu malzemesi çubuk çapları genellikle 3.2-8mm'dir ve çubuk tel veya tüp şeklinde (toz dolgulu metal boru) bir yapıdadır.

Elektrot örtü tabakası, dolgu malzemesini kaynak sırasında elektrot eridiğinde dış ortam ile olabilecek kimyasal reaksiyonlardan korur. Ancak örtü tabakası erimiş metalin korumasını sağladığı gibi koruyucu tabaka içerisindeki bazı elementler ergime esnasında kaynak banyosuna karışarak alaşımın içeriğinin değiştirilmesinde de kullanılabilir. Örtü tabakası bileşimindeki maddeler, kaynak formunu, nüfuziyet miktarını, kaynağın soğuma hızını, arkın kararlılığını, yüzey kaplama tabakası saflığını da etkiler [61].

Eriyen elektrotlarla yapılan elektrik ark kaynağında jeneratörler, doğru akım kaynakları ve alternatif akım transformatörleri kullanılabilir. Doğru akım pozitif kutup, normalde yüzey kaplama işlemleri için tavsiye edilir. Doğru akım negatif

kutup, tabaka kalınlığını az miktarda arttırmak için kullanılabilir, fakat kaynak pasosunun dar ve yüksek olma ihtimali vardır. Doğru akımın tavsiye edilmesine rağmen alternatif akımla yapılan işlerde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ark kararlılığı ve tam erime özelliği bu metotta iyi değildir [62].

Kaynak hızı, kaynak banyosuna göre elektrotun pozisyonu, ark gerilimi ve akım şiddeti, nüfuziyet ve kaplama tabakası dilatasyon oranını en aza indirmek için biraz değiştirilebilir. Eriyen elektrotlarla yapılan metal ark kaynağının pek çok avantajları vardır. Arkın şiddetli ısı büyük parçalarda yüzey kaplama işlemini ön tav uygulanmadan mümkün kılar. Makede ya da fabrikada küçük toleranslarla üretilmiş parçaların küçük bölgelerine, bütün parça değiştirilmeden yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Kplama işleminde, kaplanacak malzeme miktarı sarfiyatı kaynak yöntemine göre değişir. Normal olarak ark zaman saat başına 1,4'ten 1,8 kg'a kadar dolgu malzemesi kaynak bölgesine uygulanabilir. Kullanılan kaplama alaşımı çubuk kaybı hariç tutulduğunda genellikle elektrot ağırlığının % 65-75'i kadardır. Ortalama çubuk kaybı yaklaşık olarak 75 mm'dir ve bu 350 mm'lik bir elektrotun yaklaşık % 20'sidir. Ulaşılması zor bölgeler örtülü elektrotlarla en iyi şekilde kaplanabilir. Bütün işlemler nispeten hızlıdır, çünkü ön tav ve yüksek geçiş sıcaklığının korunması gerekli değildir. Bu işlemin bir diğer cazip özelliği de araç-gereçlerinin taşınabilirliğidir. Benzin motor jeneratörleri herhangi bir yere taşınabilir [63].

Eriyen elektrotlarla metal ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinin bazı sakıncalarının da olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Nüfuziyet yüksektir ve dilatasyon oranı % 20 veya daha fazla olabilir. Bu durum sertliğin, aşınma direncinin azalmasına sebep olur. Kaynak metalinin iki veya üç tabakasının normal olarak maksimum aşınma özelliklerine sahip olması gerekir. Örtülü elektrotlar kaynak kaplama tabakası yüzeyini örten bir cüruf bırakırlar ve bu cüruf her kaynak pasosundan sonra mutlaka temizlenmelidir. Örtülü elektrotlar genellikle ön tav işlemine gerek duyulmaksızın kullanılırlar. Bu durumda da özellikle sert kaplama tabakası oluşturan yüksek alaşımlı elektrotlarla yapılan kaplama işlemlerinde çatlaklar veya çapraz çatlaklar meydana gelebilir. Yüzey kaplama malzemeleri

kaplama yapıldığı zaman maksimum sıcaklık ve maksimum termal yayılma gösterirler. Bunun tersine iş parçası kaynak sırasında çevre sıcaklığında olabilir ve bu durumda yüzey kaplama malzemesinden daha az yayılma gösterebilir. Yüzey kaplama tabakasında kaynak sonrası hızlı soğuma olduğundan dolayı şiddetli gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler sünek yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda deformasyonla, gevrek yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda çatlak veya çapraz çatlak ile yok edilir. Çatlaklar birçok uygulamada üst tabakanın aşınma direncini etkilemezler [64].

6.7.2. Tozaltı kaynağı

Bu yöntemle yapılan yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan mineral bileşimli tozlar, fazla miktarda gaz üretmeyen, erimiş dolgu metalini korumak için özellikle oluşturulmuşlardır. Yüzey kaplama işlemi, dolgu malzemeleri birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen kaynak akımı, gerilimi ve kaynak hızının geniş bir aralığında yapılabilir. Bununla birlikte genellikle akım, gerilim ve iş parçası hareket hızı yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık olarak 15 mm genişlikte az miktarda dış bükey yüzeyli ve kenarları ana metale doğru gittikçe incelen bir ark hattı oluşturmak için ayarlanabilir. Birçok tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde akım genellikle 300-500 A'dır. Eğer istenirse kaplama oranını yükseltmek için akımı 900 A gibi bir değere çıkartmak mümkündür. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde eriyen elektrotlar kullanılır ve bu yöntemde kaynak banyosu taneciklerden oluşan ve eritilebilir tozlar ile korunur. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde elektrotlar sürekli tel, bobin veya toz özlü tel şeklindeki dolgu malzemelerinden oluşur. Burada kullanılan tozlar genellikle küçük parçalar halindedir ve katı halde serbest akabilir, elektrotun içinden kaplanan yüzey boyunca kaynak bölgesi üzerine kaplanır [65]. Bazı özellikler tozaltı yüzey kaplama işlemini avantajlı hale getirir. Çünkü bu yöntem otomasyona uygundur ve az beceri gerektirir. Yüksek kaplama oranlarının oluşması mümkündür, bu oran işe bağlı olarak 4,5-9,0 kg/sa kadar yükselebilir. Bu yöntem ile yüzeyde pürüzsüz, düzenli ve boşluksuz kaplama yapılabilir ve hatta hem çok düzgün yüzey elde edilir hem de taşlama ve temizleme işlemleri en az düzeyde olabilir. Dolgu metali atmosfere karşı başka bir

koruyucu gerektirmeden, arkı tamamıyla çevreleyen toz ile korunur. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işleminin en büyük dezavantajlarından birisi; bu yöntemde yüzey kaplama işlemi basit silindirik veya düzgün yüzeyli iş parçaları için sınırlıdır. Diğer dezavantaj da yönteminin küçük parçaların yüzey kaplaması için uygun olmayışıdır. Bazı silindirik parçalar yüzey kaplama işlemleri esnasında özel toz koruyucu yöntemler gerektirir. İş parçasına 315 °C'den daha yüksek bir sıcaklıkta ön tav uygulandığında cüruf sıcak iken kaldırılmalıdır. Aksi takdirde cürufun kaldırılması aşırı derecede zorlaşır. Bazen küçük portatif üniteler kullanılır. Fakat normalde tozaltı kaynak üniteleri oldukça büyüktür ve sabit raylar üzerine monte edilmiştir ve bu nedenle saha uygulamaları için kullanımı sınırlıdır. Tozun kurutulması zorunludur, bu yüzden depolama problem olabilir. Kaynak esnasında dilatasyon oranı yüksektir. % 30'a varan veya daha yüksek düzeyde ana metal ile alaşım yapması mümkündür [65,66].

6.7.3. TIG kaynağı

TIG kaynağı erimeyen elektrotlarla yapılır. Toryumlu tungsten, erimeyen elektrot malzemesi olarak kullanılır. Güç ayarları, damlama durumuna göre gerilim - akım değerleri yüzey kaplama işlemlerinde belirlenebilir. Bu yöntemde iş parçasının ısınmış bölgesi, erimiş yüzey kaplama alaşımı ve erimeyen elektrot torç içinden beslenen koruyucu gaz akışı ile atmosferin zararlı etkilerinden korunur [65].

Koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır, fakat helyum da kullanılabilir. Özellikle geniş parçalar veya ana metaller söz konusu olduğu zaman oksijen-gaz ile yapılan yüzey kaplama işleminden daha iyi neticeler verir. Motorlu jeneratörler, sürekli yüksek frekans akımı üretmek için alternatif akım transformatörleri gibi kullanılabilirler. Doğru akımda elektrotun negatif kutba bağlanması tungstenin yüzey kaplama tabakasına geçişini en aza indirmek için kullanılır. TIG kaynağı titanyum katkılı paslanmaz çelikler veya alüminyum içerikli nikel esaslı alaşımlar gibi reaktif ana metale yüzey kaplama uygulamasında tercih edilir. TIG kaynağı karbon varlığının kabul edilemez olduğu yüzey kaplama işlemlerinde veya dolgu malzemesi kullanılarak yapılan ve bu dolgu malzemesinin oksijen-asetilen alevi etkisi altında

kaynama eğiliminde olduğu işlemlerde de oksî-gaz ile yapılan yüzey kaplama işlemlerine tercih edilir. Ana metal dilatasyonu torç hareketi ile gereğinden fazla akım kullanılmayarak ve arkı iş parçasından ziyade yüzey kaplama tabakası üzerine yoğunlaştırarak en aza indirilebilir. Yüzey kaplama tabaka oranları, ana metal dilatasyon oranındaki farklılığa rağmen, elle yapılan TIG ve oksî-gaz kaynağı ile karşılaştırılabilir [65,66].

TIG kaynak yöntemiyle yüksek kaliteli ve tekrarlı yüzey kaplama tabakaları oluşturmak için dolgu metali erime oranı ve torç hareket hızı kontrol edilmelidir. Akım gecikme kumanda cihazları yüzey kaplama tabakası içindeki son katılaşmayı kontrol etmek, fireyi ve krater çatlağını en aza indirmek için kullanılır. TIG de arkın durumu, diğer eriyen elektrotlarla ark kaynak işlemlerinden daha düzgün ve daha sakindir, kaynak sıçraması daha azdır. TIG kaynağı küçük ve karmaşık şekilli parçaların yüzey kaplama işlemleri için daha uygundur ve genellikle diğer yüzey kaplama işlemlerinden daha kaliteli sonuçlar verir [67].

6.7.4. Toz ilaveli oksî-gaz kaynağı

0.75 mm'den 3 mm'ye kadar olan tabaka kalınlığı paso başına 1,3 mm olarak uygulanabilir. Yüzey kaplama esnasında ana metalin ergimesi, yüzey kaplama alaşımı ile erimeyle birleşme şeklinde bir bağ oluşturur. Kaynak alevi içinde toz akışının sıkı kontrolü nedeniyle uygulamada malzemenin kaplanabilirliği daha düzenli hale gelir. Yüzey kaplama işlemi için gerekli olan aşırı asetilen miktarı alaşım bileşimine bağlı olarak değişir ve oksî-asetilen yelpaze uzunluğu ile iç koni uzunluğu arasındaki oran ile alev şekline bakılarak kolaylıkla anlaşılabilir [68].

Toz kaynağı olarak da adlandırılan elle yapılan toz ilaveli oksî-gaz kaynağı, özel bir oksî-asetilen torcu kullanılarak toz transferinin ve erimenin tek işlemde meydana geldiği oksî-gaz kaynak işleminin biraz değiştirilmiş şeklidir. Toz, gaz kaynak torcu üzerine monte edilmiş küçük bir hazneden beslenir ve alev içinden iş parçası üzerine gönderilir. Bu işlemde sonra uygulanan genel oksî-asetilen yüzey kaplama işlemi ile düz, ince, yoğun tabakalar elde edilir. Tabaka kalınlığı, toz akış oranı ve torç hareketi

ile kontrol edilir. Bu işlemten dolayı tabaka içinde % 1-5 oranında dilatasyon meydana gelir [69].

Tungsten karbür içerikli kompozit tozlar 1,5X alevi kullanılarak kaplanır. Nikel esaslı tozlar ise nötr veya az oksitleyici alev ile kaynatılır. Çünkü toz püskürtüldüğü zaman alevin özellikleri biraz değişir. Toz besleme kulpu bastırılmalıdır ve toz püskürtülürken son alev formu oluşur. Çoğu alaşımlar bor ve silisyum içeren bu yöntem ile kaplanır ve burada kolayca kaldırılan cüruf oluşturmak ve temiz kaynak banyosu elde etmek için geçici bir oksit tabakası oluşur [70].

Oksi-asetilen yelpaze uzunluğu, torcun tepe noktasından ara bölgenin en uç noktasına kadar ölçülür ve genellikle iç koni uzunluk katsayısı şeklinde tarif edilir. Böylece bu nötral alev IX olarak sınıflandırılır. Kobalt esaslı tozlar genellikle 2X, 3X alev formu kullanılarak uygulanır. Oksi-asetilen yelpazesi, iç konininkinden iki veya üç defa daha uzundur [71].

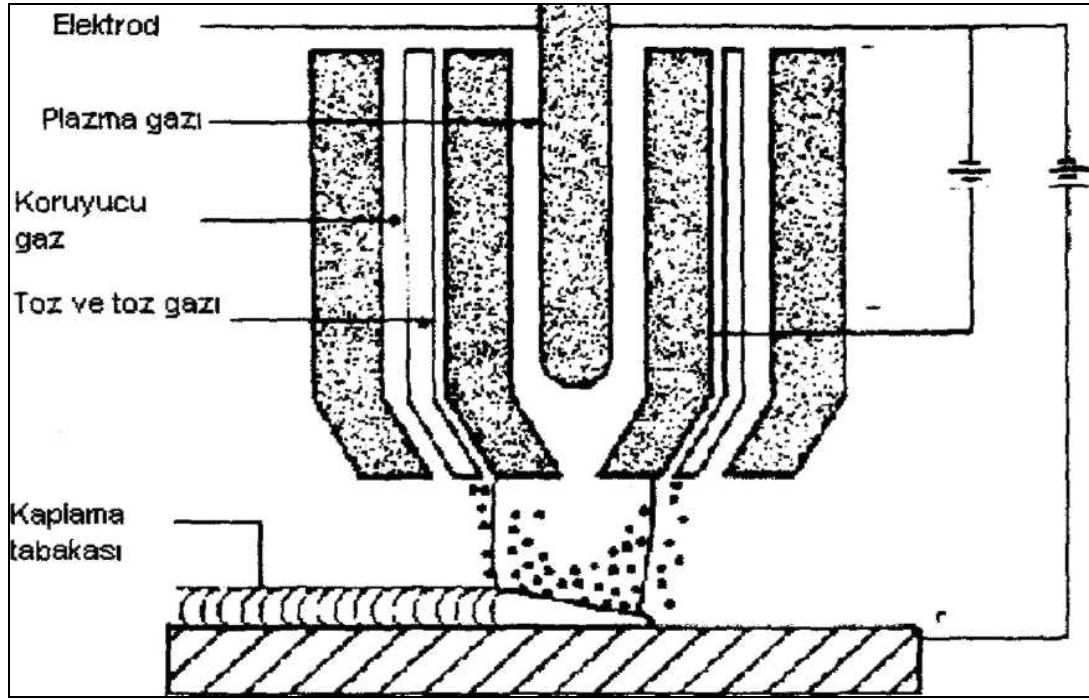
Toz ilave torç kaynağı küçük tamirler ve sertliğin geniş bir aralığının (yaklaşık 20-60 HRC) gerektiği küçük bölgelerin yüzey kaplama işlemi için çok uygundur. Toz ilaveli torç kaynağı genellikle cam kalıplar, tuğla biçimlendirme gereçleri, tuğla endüstrisi elemanları, dökme demir parçalar, besleme vidaları, çekiç tamirleri ve pompa parçalarına uygulanır [72].

6.7.5. Plazma ark kaynağı

Plazma ark kaynağı plazmanın ikincil ısı kaynağı gibi kullanımının etkili olmasıyla TIG yönteminden ayrılır. Plazma, elektrotu çevreleyen nozuldan çıkan gazın iyonlaşması ile oluşur. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemi TIG ile yapılan yüzey kaplama işlemine benzer ve her ikisinde de erimeyen tungsten elektrot ve iş parçası arasındaki ark, yüzey kaplama için asıl ısı kaynağı olarak kullanılır.

Plazma ark kaynağında, yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan eriyen elektrotlar gibi örtüsüz çubuk veya tel ile beraber toz da kullanılabilir [73].

Şekil 6.1'de şematik olarak gösterilen plazma ark yüzey kaplama işlemi, tozun iş parçası üzerinde ergimiş bir kaynak banyosu oluşturmak için, birleştirilmiş ark/plazma akımının içine gönderildiği bir kaynak işlemidir [65].



Şekil 6.1. Plazma ark yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi [5]

Alaşım toz besleyiciden plazma torcuna bir argon gaz akımı içinde gelir ve bu plazmayı oluşturur ve torçtan ark çıkışına yönelir, burada alaşım erir ve ana metal ile birleşir. Oluşan kaplama tabakası homojendir ve ana metal ile mükemmel bir metalürjik bağ oluşturur. Tungsten elektrot ile iş parçasına bağlı olan doğru akım güç kaynağı transfer edilen ark için enerji sağlar. Daraltılmış ark ağzı ve tungsten elektroda bağlı ikinci bir doğru akım güç kaynağı transfer edilmeyen arkı destekler. Transfer edilmeyen ark transfer edilen arkın ısısına destek sağlar ve transfer edilen arkı başlatmak için pilot ark görevi üstlenir. Argon, ark bölgesinin içinde ve çevresinde koruyucu gaz görevi sağlamak için bir gaz yayıcı içinden geçirilir [71].

Plazma arkı ile yapılan yüzey kaplama işleminde tek pasoda 0,64–3,2 mm kalınlığında kaplama tabakası oluşturulabilir. Kaplama tabakasında % 5-20 dilatasyon oranı normaldir. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işleminin

dezavantajları ise araç-gereçleri pahalıdır ve özel takımların sağlandığı durumlar hariç kullanımı düz veya silindirik parçalar ile sınırlı olmasıdır. torç, sürekli tertibatın gerektiği bir taşıyıcı ray üzerine monte edilmiştir. Bu işlemde kullanılan iki devre vardır; bu yüzden ya özel güç sağlanır ya da iki tane ayrı geleneksel güç ünitesi gerekir. Argon tüketimi bazen TIG kaynağından daha fazladır. Argon, elektrotu korumak için torcun merkezinden temin edilir. Koruyucu gaz kaynak metalini korumak için gereklidir ve argon gazı toz için taşıyıcı olarak da kullanılır. Sert alaşımlarla kaplanan geniş parçalar normalde ön tav ister. Eğer aşırı ön tav ve uzatılmış yüzey kaplama süresi torcun aşırı ısınmasına sebep olursa, bu durum plazma ark kaynağında büyük bir problem oluşturur [72].

6.7.6. Lazer kaynağı

Lazerli kaplama ark veya gaz alevinin aksine yüksek enerjili lazer ışın ısı kaynağının kullanılması ile geleneksel yüzey kaplama işlemlerinden farklıdır. Lazer ışınları ile ince kaplama tabakaları oluşturulabilir veya yüzey kaplama işlemi görmüş yüzeye lazer ile kaplama işlemi torç veya elektrot kullanılarak yapılan işlemlerden daha iyi sonuç verir [73].

Yüzey kaplama malzeme seçimi, malzemenin ana malzeme ile metalürjik uyumuna bağlıdır. Ana malzeme ile gevrek intermetalik faz oluşturan alaşımların kullanımı sakıncalıdır. Geleneksel yüzey kaplama yöntemlerinde, malzemeler metal-metal teması, çarpma, erozyon ve abrasif aşınma direnci içeren uygulamalarda kullanılır. Kobalt, nikel ve tungsten karbür esaslı yüzey kaplama alaşımında, lazer yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan genel kaplama malzemeleridir. Diğer lazer yüzey kaplama malzemeleri titanyum karbür, Fe-Cr-Ni-B alaşımından, alüminyum bronzları ve seramiklerdir. Kaplanacak malzeme karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar, alüminyum, dökme demir ve takım çelikleridir. Kobalt, titanyum ile zararlı intermetalik faz oluşturur ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının titanyum ana malzeme olduğu durumlarda kullanımı uygun değildir [74]. Lazer ile yüzey kaplama uygulamalarında yüzey kaplama alaşımı bir lazer ışını ile eritilir ve ana malzeme üzerinde serbestçe yayılır ve donar.

Işın aynı zamanda çok ince bir tabaka şeklinde ana malzemeyi de ertirir ve bu sıvı kaynak metali ile en az düzeyde birleşir ve güçlü bir metalürjik bağ oluşturmak için katılaşır [75]. İyi bir ertirme bağı 10-20 um kalınlığında bir dilatasyon tabakası ile oluşur. Yüzey kaplama alaşımı birkaç şekilde bulunur. Örneğin; numune yüzeyine bağlayıcı kullanarak veya kullanmaksızın uygulanan ön alaşımlama tozu, alevle püskürtmede kullanılan toz karışımı, plazma püskürtmede kullanılan yüzey kaplama alaşımı gibi. Tabakaların lazerle takviye edilmesi yoğunluğa, düzleşmeye, olukların ana malzemeden uzaklaştırılmasına, kaplama ve ana malzeme arasındaki bağı düzeltilmesine, boşlukların azalmasına sebep olur ve bunların hepsi yüzey kaplama tabakasının mukavemet ve bütünlüğüne katkıda bulunur. Lazer kaplama işlem parametreleri 10-1000 MW/m² güç yoğunluğu ve 0,1'den 1sn'ye kadar zaman değerlerine sahiptir. Koruyucu gaz olarak herhangi bir ağır gaz veya He/Ar ve H₂/Ar gibi gaz karışımlar kullanılabilir [76].

Lazerle yüzey kaplama işleminde, özel olarak üretilmiş toz besleme düzeneğinde toz ve yardımcı gaz bir seramik hortum ağızından kaynak bölgesine gönderilir, helyum ve argon koruyucu gazı hortum ağızından ayrılırken toz-gaz karışımını çevreler. Toz dağıtım ağızı kaynak banyosuna tozun akacağı bir şekilde konumlanmıştır. Yatay besleme açısı genellikle 35-45⁰ ve genellikle 3 mm çapındaki besleme tüpü ana malzemeden 10-12 mm mesafelik konumda yerleşmiştir. Toz akış miktarı 0,005-0,1 cm³/sn, partikül hızı 1-2 m/sn ve gaz akış hızı 3-7m/sn'dir. Uygun dilatasyon miktarı % 3-8'dir. Kaplama tabaka kalınlığı 0,15-4 mm arasındadır. Tozun düzenli verilmesi kaplama tabakasının uniform olmasını sağlar. Plazma püskürtmeli kaplamanın aksine porozite ve erimemiş toz partikülleri bir lazer yüzey kaplama tabakası içinde hemen hemen hiç bulunmaz [77].

Lazer ile iyi özelliklere sahip bir kaplama tabakası oluşturmak isteniyorsa genellikle geniş yelpaze şeklindeki ışın ile veya salınan odaklanmış ışınlar ile yapılmalıdır [78]. Yüzey kaplama malzemeleri çubuk, tel veya levha şeklinde olabilir fakat kullanım problemlerinden dolayı bazı özel yöntemler gerekir. Uygun ön tav işlemi ile kaynak metalinde oluşabilecek olan termal gerilmeler zararlı çatlak oluşumlara engel

olunabilir. Düşük güç yoğunlukları, geniş ışın çapları ve yavaş geçiş oranları çatlaksız kaplama tabakası oluşumunu sağlar [79].

7. ALÜMİNYUMA UYGULANAN SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ

7.1. Isıl İşlem

Isıl işlem döküm parçası üzerinde uygulanan ısıtma ve soğutma sonucunda parçasının fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olur. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma ve soğuk işlem gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir [80].

Alüminyum alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil, elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici rol oynamaktadır. Bölüm 2’de sınıflandırması yapılan alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemi uygulanabilirliği Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl işlem
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek saflık)	Olur
2xx.x	Bakır	Olur
3xx.x	Silisyum ile Magnezyum ve/veya Bakır	Bazıları olur
4xx.x	Silisyum	Olmaz
5xx.x	Magnezyum	Olmaz
6 xx.x	Kullanılmıyor	-
7 xx.x	Çinko	Olur
8 xx.x	Kalay (Tin)	Olur
9 xx.x	Kullanılmıyor	-

Isıl İşlemin meydana gelebilmesi için temel olarak üç kademe mevcuttur, bunlar sırasıyla; özeltiye alma, su verme ve çökelme (yaşlandırma) işlemidir. Aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için temel kuraldır. Bu çökelti fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilmektedir. Ancak, genellikle alüminyum alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişim elde edilemez.

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtım proseslerinin kodlaması ve açıklamaları çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması

Temper	Temper Kodu	Açıklama
	F	Mekanik veya ısıtım işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
	O	Tavlanmış ve yeniden kristalleşmiş
H	H1x	Soğuk işlem uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x, farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısıtım işlemle stabilize edilmiş (x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemini ifade eder.)
	W	Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış

Çizelge 7.2 (Devam). Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması

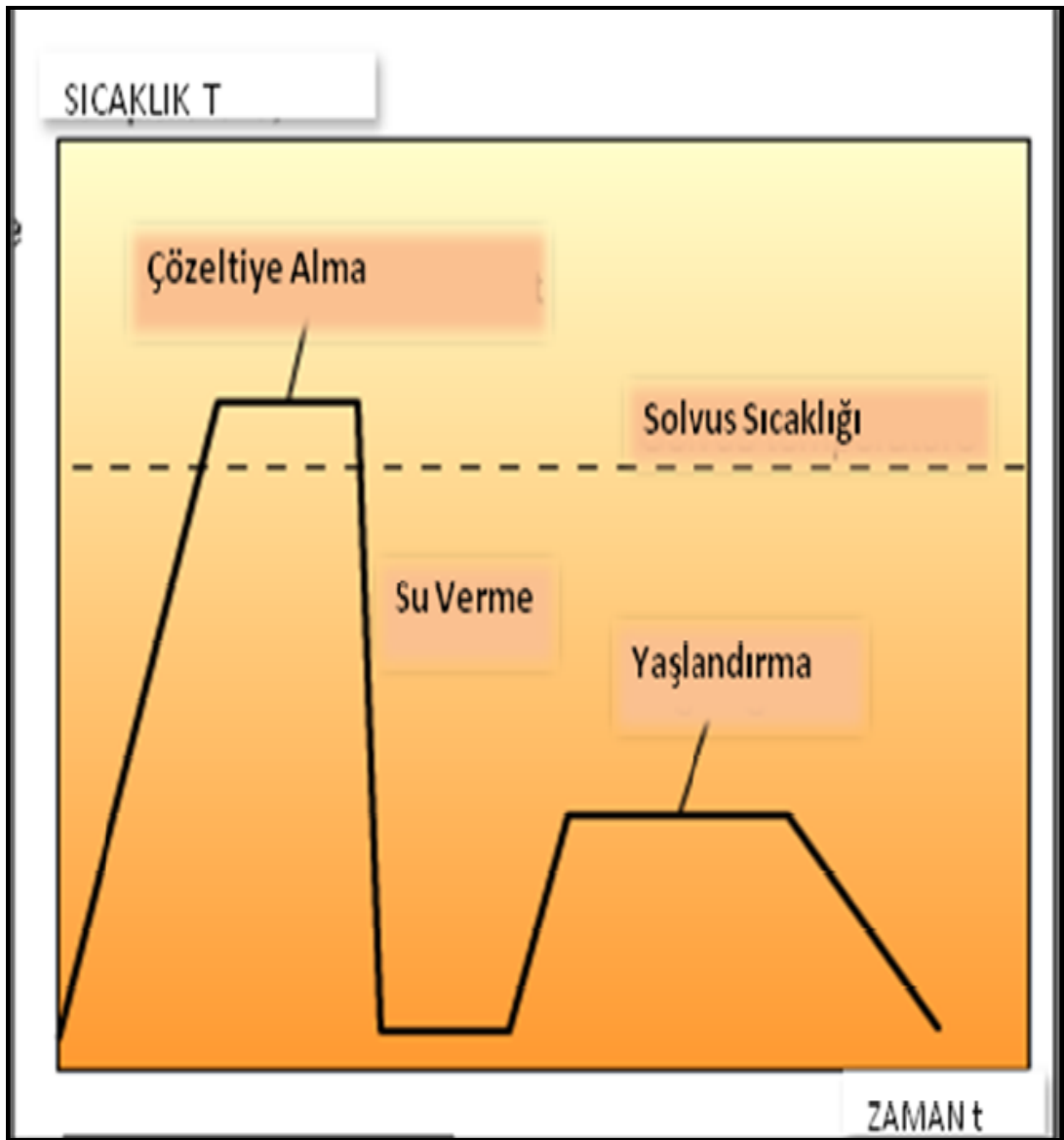
T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlanmış

Alüminyum döküm alaşımlarına uygulanan ısıl işlem proseslerinde etken olan parametreler; çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi, su verme hızı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresidir. Ticari Al – Si – Mg alaşımları (6xx.x grubu) döküm parçasında, arzu edilen mukavemet değerlerine ulaşmak için genellikle T6 ısıl işleme tabii tutulurlar. Döküm parçaları temel olarak, T6 işleminde sırasıyla katı çözelti içerisinde çökeltili fazının oluşturulması için, uzun müddet ötektik altı sıcaklık olan 545 °C’de çözeltiye alma, ardından yüksek sıcaklıkta su verme ve sonrasında da 150 – 200 °C civarlarında yapay yaşlandırmaya alınırlar. Çözeltiye alma sırasında, magnezyum ve bir miktar silisyum çözünerek homojen bir katı çözelti oluşturur. Yaşlandırma ise, magnezyum ve silisyum alüminyum dendritleri içerisinde Mg_2Si olarak çökelmesine sebep olur.

Bahsedilen sıvı metal tretmanları, ısıl işlem sırasında meydana gelen mikroyapı değişiklikleri üzerinde önemli etkilere sahiptirler. Örneğin; sıvı metalin sodyum veya stronsiyumla modifikasyonu tanelerin küreselleşmesini ve büyüme kinetiklerini değiştirmekte olduğu bilinmektedir. Bu sayede, çözeltiye alma sürelerinde ciddi bir şekilde düşüş sağlanması mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, sıvı metal

içerisine tane inceltici olarak eklenen $TiAl_3$ partikülleri Mg_2Si fazının yaşlandırma sırasında çökelme kinetiğini geciktirebilmektedir.

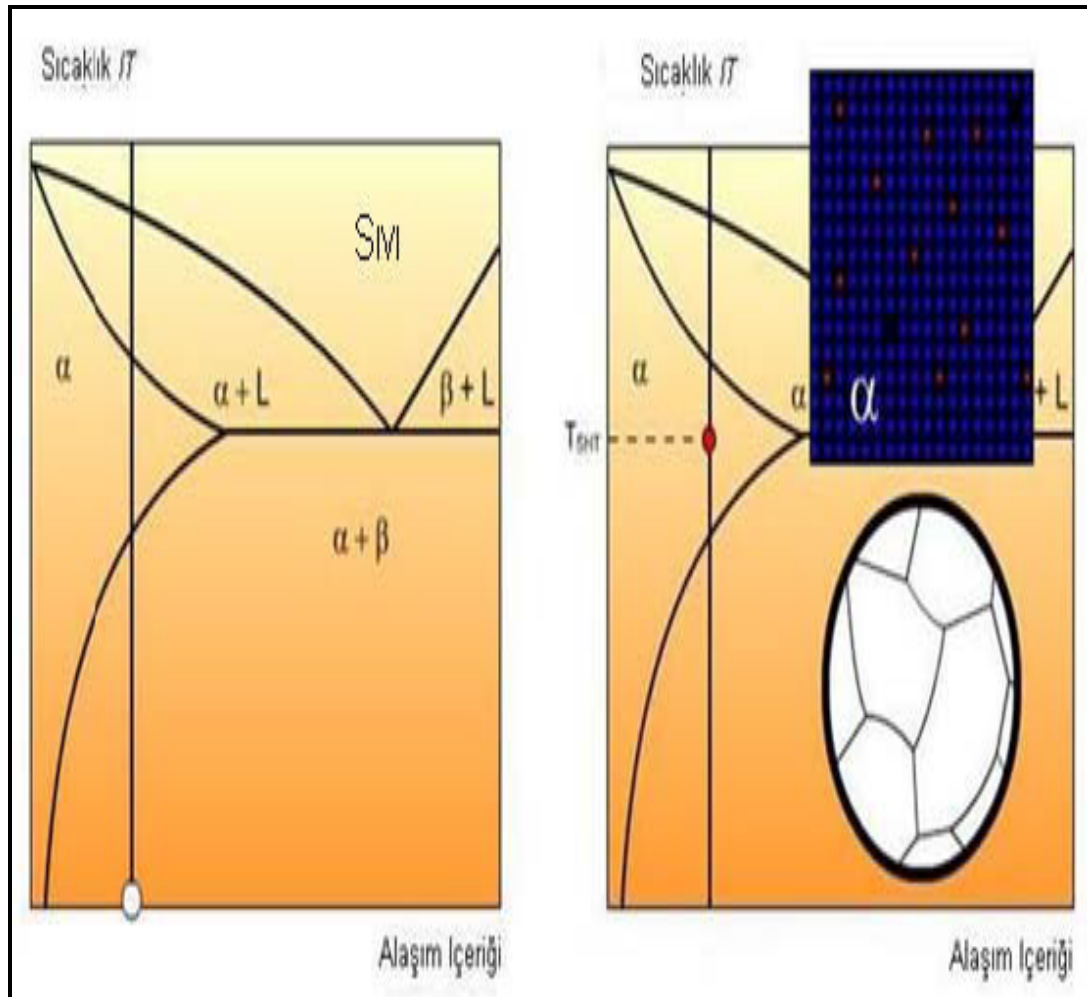
Araştırmalar sonucunda ortaya çıkan ve bahsi geçen bu gözlemlerin, yıllar önceden standartları belirlenmiş olan ısıtma işlem uygulamaları üzerine etkileri gözden geçirilmeli ve mevcut dökümhane pratikleri ile entegre edilerek uygulanmalıdır. Şekil 7.1’de ısıtma işlem süreçleri görülmektedir [80].



Şekil 7.1. Isıl işlem prosesi [81]

7.1.1. Çözeltiye alma işlemi

Çözeltiye alma işleminin amacı, tek fazlı katı çözelti elde etmektir. İlk sıcaklıkta β ve α fazı denge halinde değildir. Alaşım solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığı çıkarılır ve bu sıcaklıkta β fazı (Şekil 7.2), α fazı (Şekil 7.2) içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur (Askeland,1990). Yapının tümü tamamen α fazına dönüştükten sonra ani olarak soğutulur. Çözeltiye alma sıcaklığı, alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Alüminyum ergime sıcaklığı 560 °C civarında olması nedeni ile işlem sıcaklığı 525 – 545 °C arasında olmalıdır. Bu sıcaklık Şekil 7.2 'de TSHT ile ifade edilmektedir. TSHT sıcaklığında bütün bileşenler katı çözeltide tek bir faz halindedir.

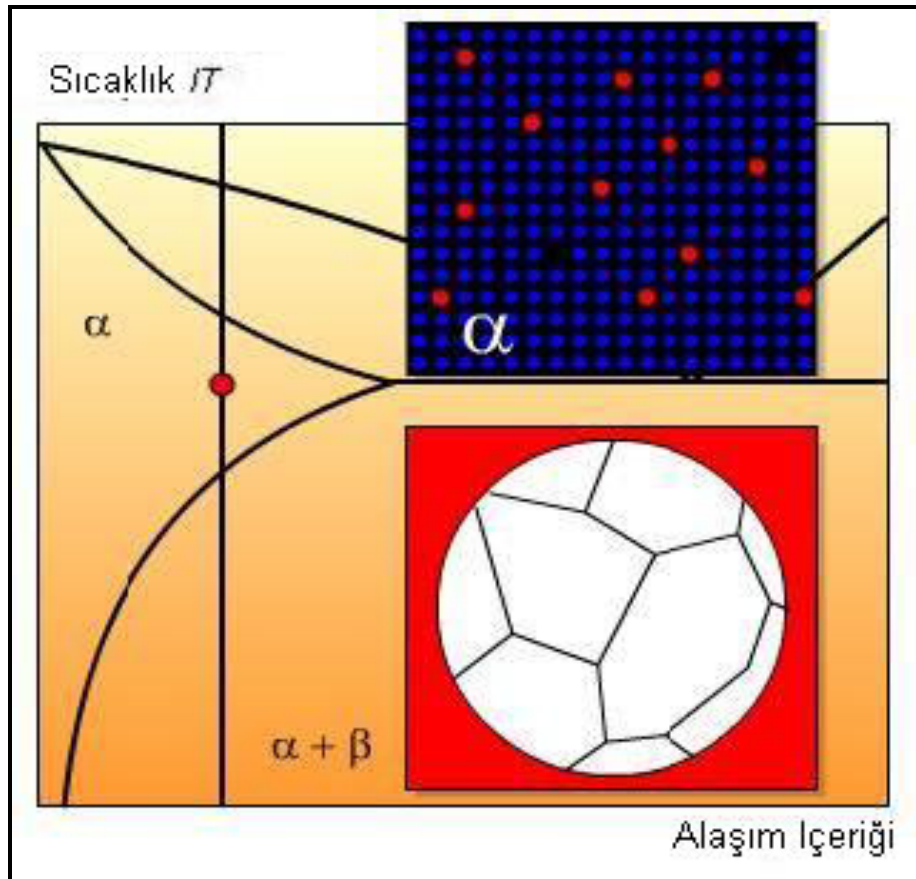


Şekil 7.2. Çözeltiye alma işlemi [81]

Çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi mikroyapıya, parçanın kalınlığına ve fırın kapasitesine/yüküne göre değişiklik göstermektedir. Bu süre ince levhalar için, dakikalar ile ifade edilirken kesit kalınlığı arttıkça saatler ile belirtilmektedir [80].

7.1.2. Su verme işlemi

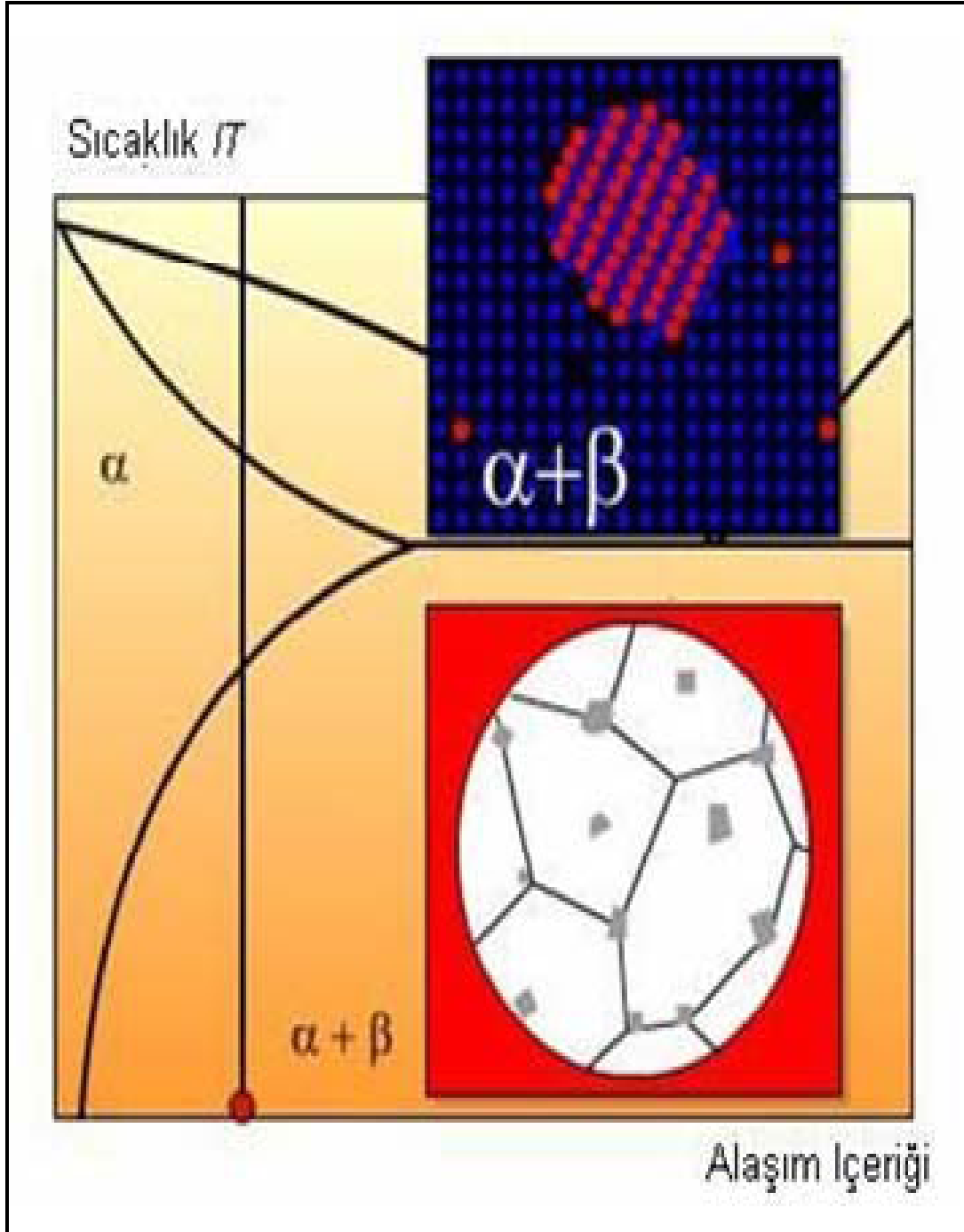
Su verme işleminin amacı, çözeltiye almada tek faz haline alüminyum içerisindeki alaşımlandırma elementlerinden oluşan aşırı doymuş bir çözelti oluşturmak (Şekil 7.3.) ve alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulmasıdır.



Şekil 7.3. Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti [81]

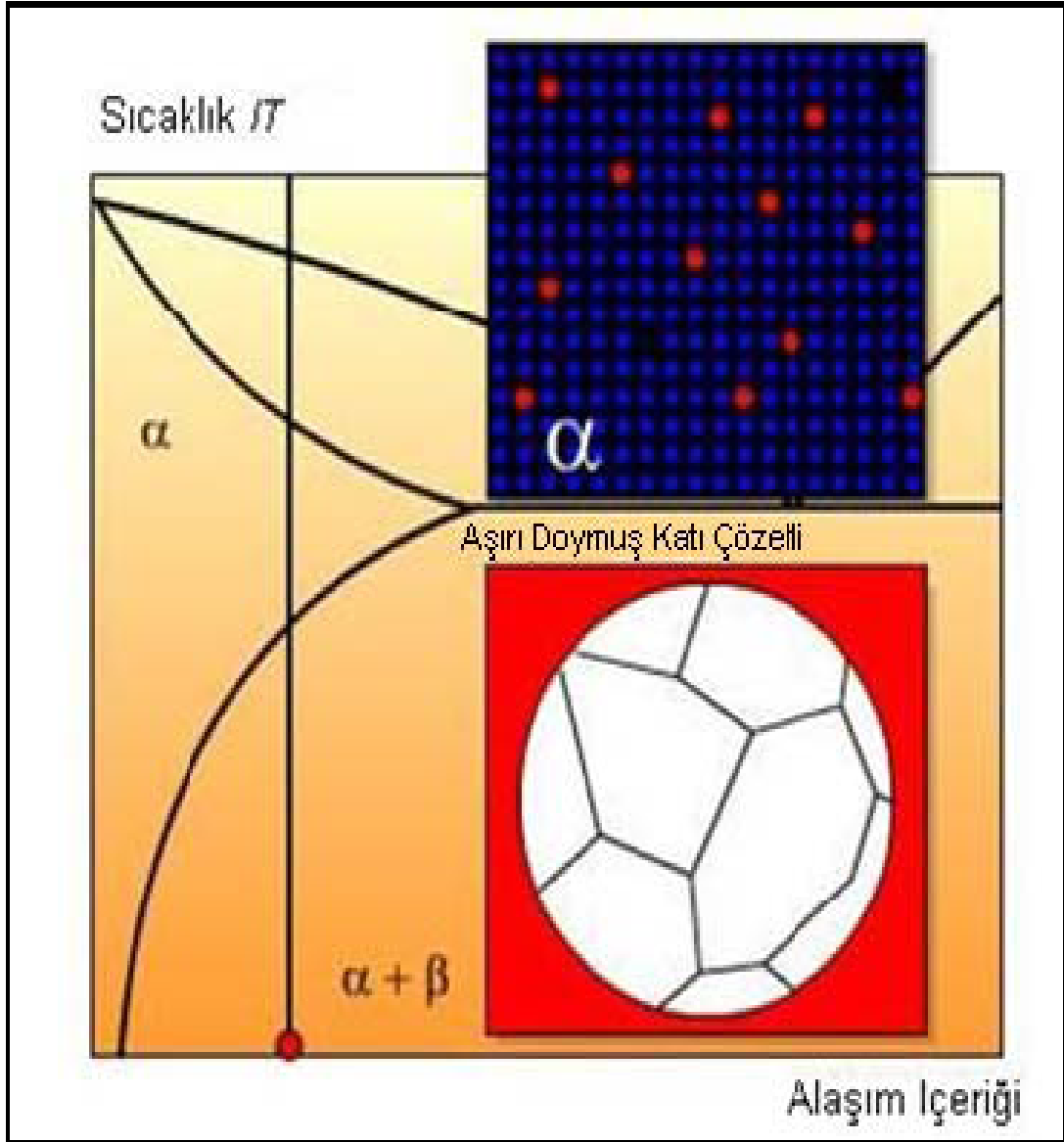
Eğer alaşım kendiliğinden (yavaş soğuma) soğumaya bırakılırsa, Beta fazı çekirdeklenecek denge halinde bir $\alpha + \beta$ fazı oluşturmak için heterojen olarak çökelir

Ani soğuma (Şekil 7.4.) α içerisindeki Beta fazının çökmesine imkan vermez ve bu nedenle α fazı artık denge halinden daha fazla katı (aşırı doymuş) içermektedir [80].



Şekil 7.4. Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme [81]

Bunun yanı sıra su verme difüzyon süresini düşürür ve dengede olmayan alfa faz yapısının “donmasını” sağlar. Çünkü alfa fazı denge durumundakinden daha fazla katı içerir. Bu katı çözelti aşırı doymuş olarak adlandırılır (Şekil 7.5).



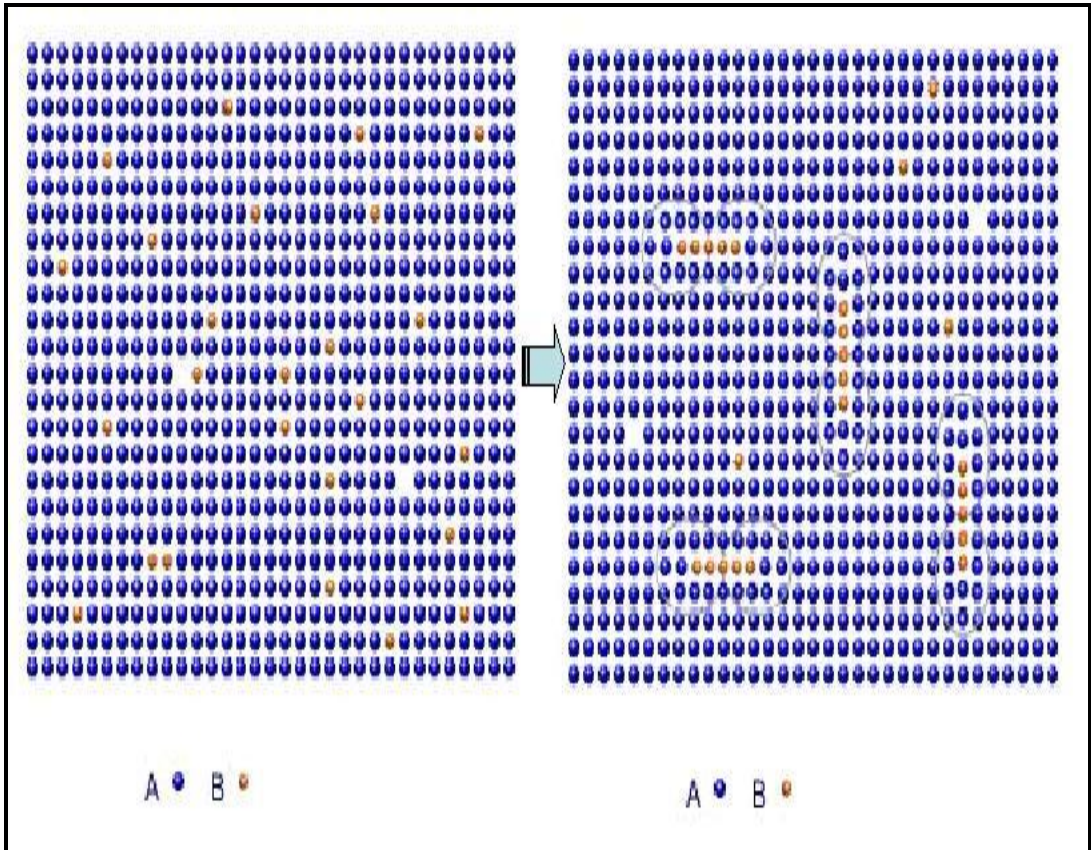
Şekil 7.5. Aşırı doymuş katı çözelti [81]

Su verme işleminde genellikle su kullanılmaktadır. Ancak suyun yanı sıra, su verme ortamı olarak glükol – su karışımları, suda çözülebilen polimerik yağlar veya madeni yağlar da kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle, aynı parça ince ve kalın kısımlarda soğuma karakteristikleri farklı

Çekirdek → Ara Çökelti → Kararlı Çökelti

şeklinde. Çökelti oluşumunun ara kademeleri temel olarak alaşımın bileşimine, su verme ve yaşlandırma koşullarına bağlıdır [80].

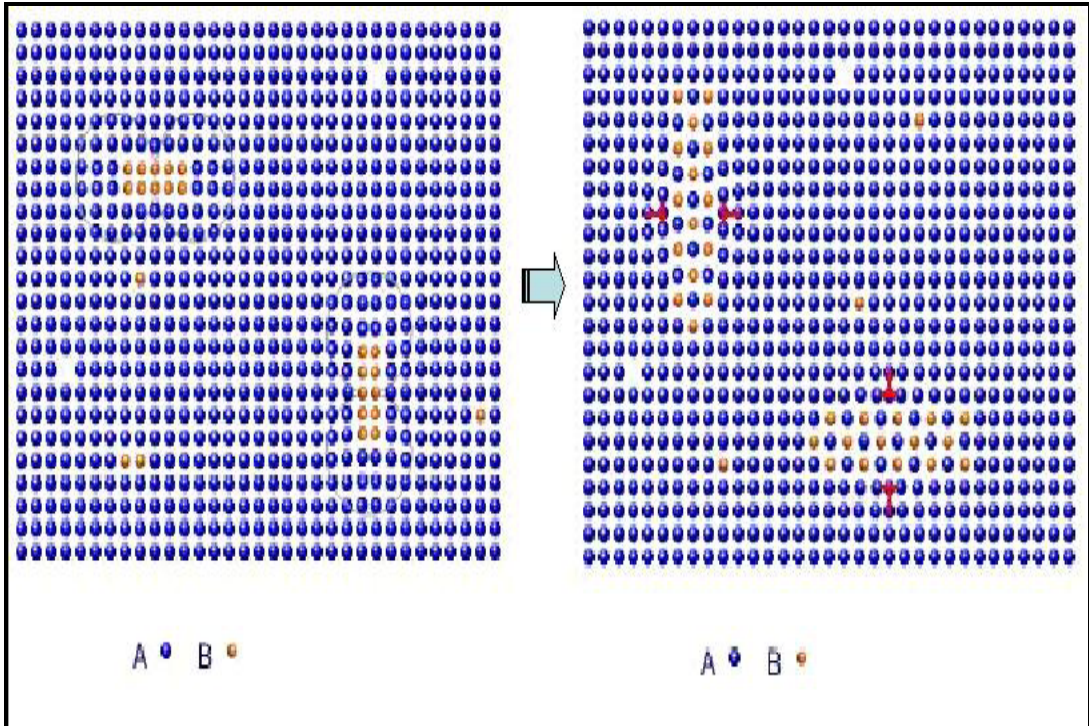
Çözelti aşaması sonucunda aşırı doymuş yapı, denge yapısına dönmeye eğilimlidir. Şekil 7.6'da sol tarafta görülen yapı, su verme sonucu A (Al) içerisinde aşırı doymuş B (Mg-Si) katı çözeltisi fazını temsil etmektedir (Askelnd,1990). Yaşlandırma işlemi sırasında gerçekleşen difüzyon sonucu B atomları, A latisi içerisindeki spesifik düzlemler üzerinde bölgesel konsantrasyonlar oluşturur (Şekil 4.6'da sağ tarafta görülen yapı). Bu bölgeler GP (Guinier – Preston) bölgeleri olarak adlandırılır. Bazı sistemlerde GP bölgeleri disk, küre veya çubuk şekilli olabilir [80].



Şekil 7.6. Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi [81]

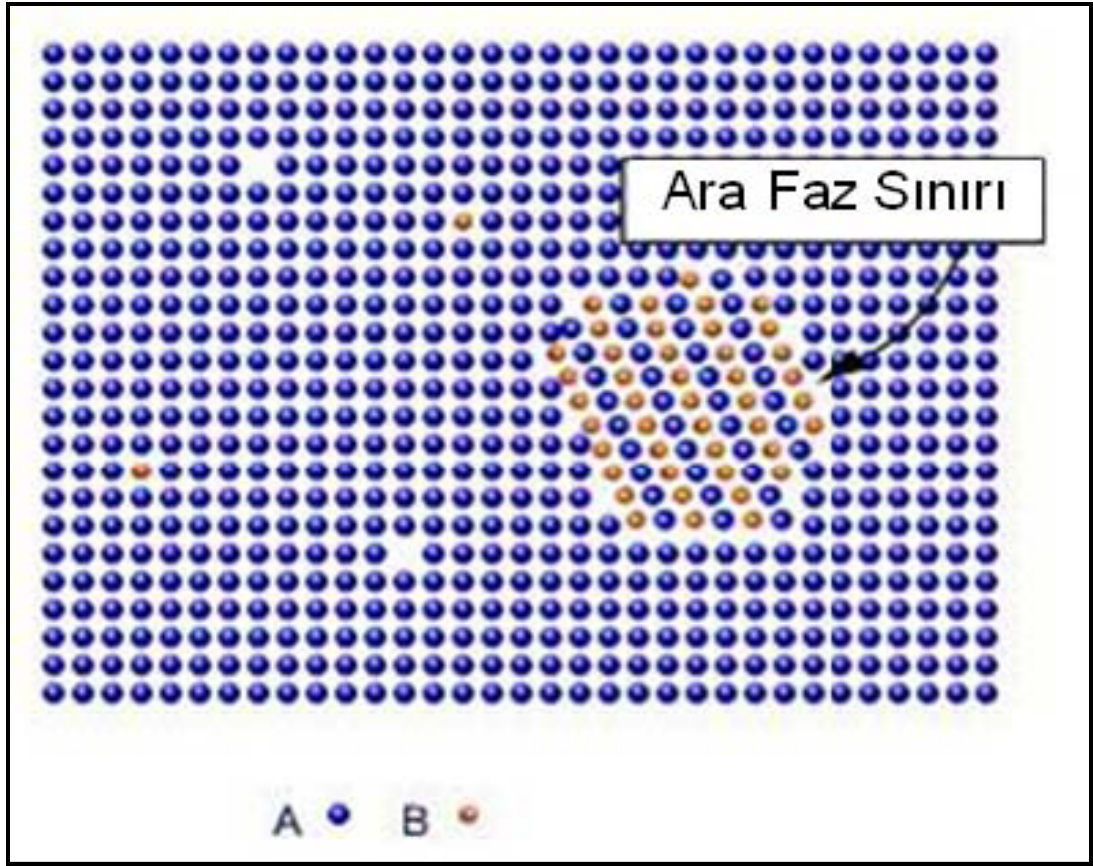
Daha sonra GP bölgeleri tutarlı bir ara faz oluşturmak için, çekirdeklenme siteleri oluştururlar. Bu düzlemin etrafındaki A atomları oluşan bu ara fazın ilerlemesi ve yerleşmesi için bozularak bu birleşme işleminden doğan kuvvetin etkisiyle, deformasyona uğrar ve bir yapışma baskısı oluştururlar (Şekil 7.7’de sol tarafta 2. ara kademe) .

Çökelti büyüdükçe, büyümeden kaynaklanan sıkışmanın (coherency strain) bir kısmı, ara yüzdeki dislokasyon oluşumları tarafından giderilir (Sağ Taraf – yapı: Ara Kademe 3).



Şekil 7.7. İkinci kademe değişimi [81]

Yaşlandırma işleminin son kademesi denge aşamasıdır. Yeterli yaşlandırma işlemi sonucu en son aşama olarak denge fazı oluşur. Bu faz, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapısına sahip olup bu faz içerisinde yapışık değildir. Böylece büyümeden kaynaklanan sıkışma elimine edilmiştir. Ancak, matris ve çökelti arasında yeni bir ara faz sınırı vardır (Şekil 7.8.) [80].



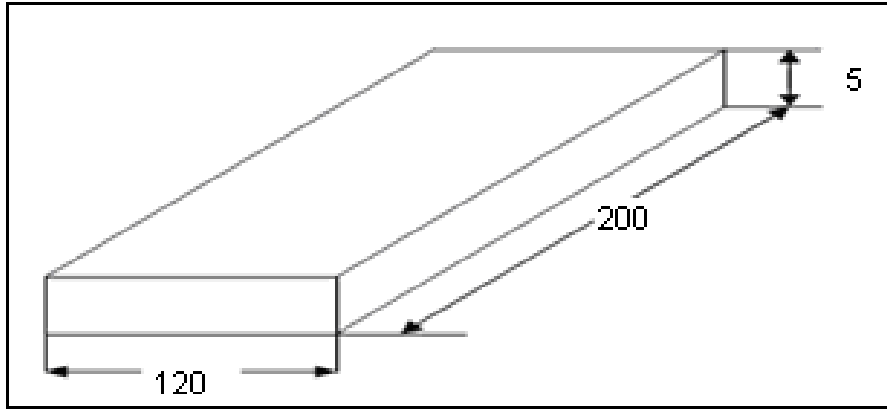
Şekil 7.8. Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi [81]

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1. Deney Malzemeleri

8.1.1. 6063 Al alaşımı

Tüm deneylerde toplam 60 adet 200x120x5 Al levha kullanılmıştır. Bu numunelerden, 20'si sertlik 40 adedi ise mikroyapı deneylerinde kullanılmıştır (Şekil 8.1.).



Şekil 8.1. Deney malzemesi boyutları

Deneylerde kaplama yapılan malzeme, ticari saflıkta 6063 T6 Al alaşımı olan malzemedir. Bu malzemeyle ait kimyasal analiz çizelgesi Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. 6063 Al alaşımının kimyasal bileşimi [81]

Analiz	Cr	Si	Mg	Cu	Ti	Mn	Fe	Diğer
% Ağırlık	0.10	0.2-0.6	0.45-0.90	0.1	0.1	0.1	0.35	0.15

8.1.2. İlave metal

Deneylerde % oranı olarak 6 farklı gaz yüzdesi ve AlSi12 kaynak teli ve SiC tozu kullanılmıştır. Kaplama alaşımları arasında kullanılan SiC tozu 4mm'lik alüminyum boru içerisinde sıkıştırılıp özlü tel gibi kullanılmıştır. Ayrıca yüzey sertliğini artırmak için farklı % oranlarında Azot gazı kaynak banyosu içerisine gönderilmiştir.

8.1.3. Koruyucu gaz

TIG kaynak yöntemi ile üretilecek numunelerde koruyucu gaz olarak saf argon gazı kullanılmıştır. Kullanılan numunelerde yüzey sertliğini nitrür oluşturarak artırmak amacı ile Ar gazı içerisine nitrürleyici N gazı ilave edilmiştir.

8.2. Deney Donanımı

8.2.1. Kaynak makinesi

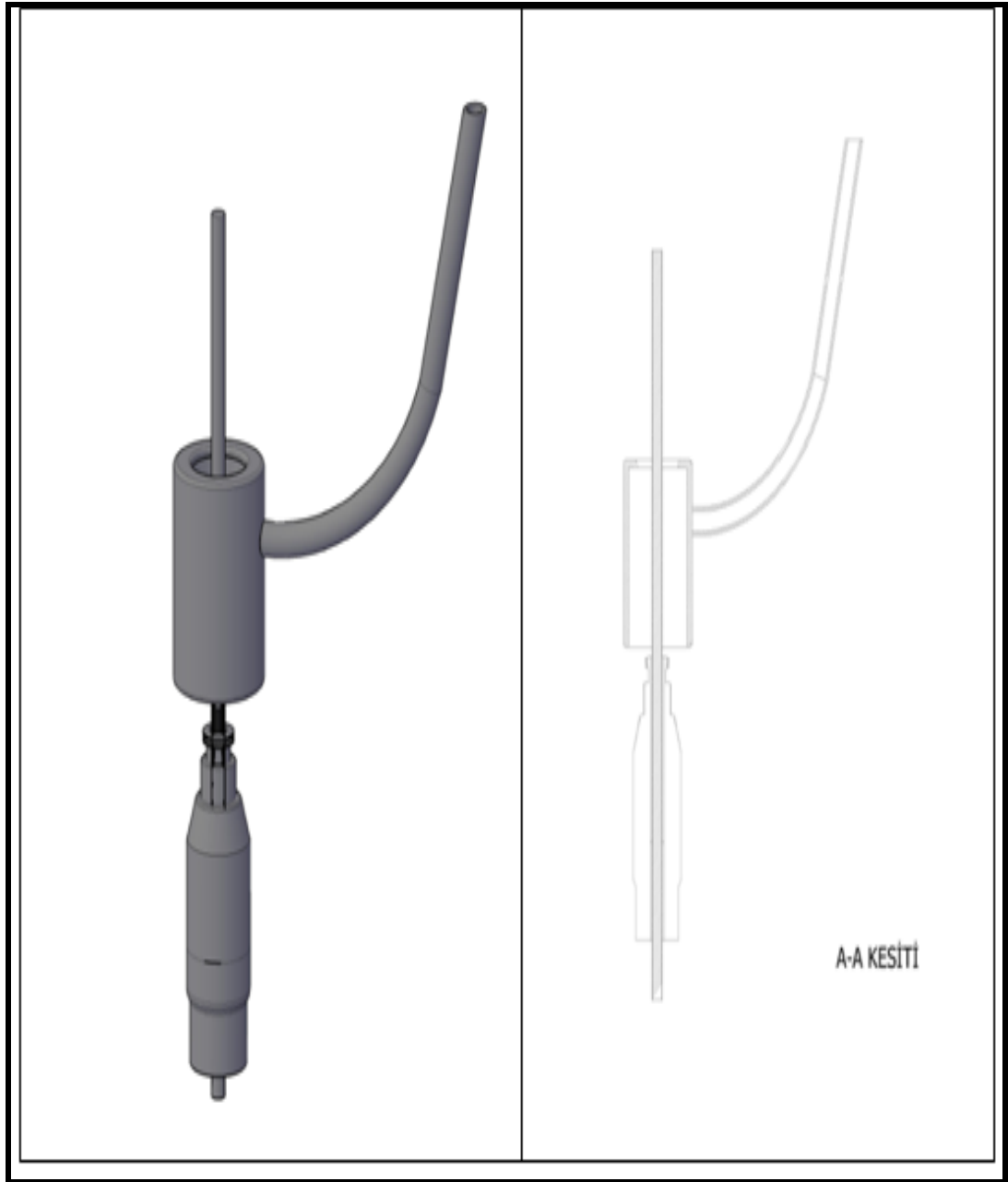
Kaynak dikişleri Cebora tipi TIG kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak dikişinde nitrür oluşturmak ve sertliği artırmak amacı ile Ar gazına N ilave edebilecek özel yapım bir gaz nozulu tasarlanmıştır (resim 8.1).



Resim 8.1. TIG kaynak makinesi

8.2.2. Özel gaz nozulu

Çalışmamızda argon gazı ile ark oluştururken aynı anda kaynak banyosuna azot gazının girişini sağlamak amaçlı özel yapım bir nozul yaptırılmıştır. Özel yapım gaz nozulu şekil 8.1 ' de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 8.2. Özel yapım gaz nozulu şematik gösterimi

8.3. Metot

8.3.1. Deney numunelerinin kaynak ile kaplanması

TIG kaynak yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, 5 mm kalınlığa sahip dövme mamulü ticari AA 6063 T6 sınıfı, 34 HV0025 sertlik değerindeki alüminyum levhalar farklı akım ve farklı gaz debilerinde özel yapım bir nozul (şekil 8.1) yardımıyla ilave metal kullanarak kaynak dikişleri ile kaplanmış ve sertlik özellikleri araştırılmıştır. Kaplanacak alüminyum levhalar 150x50 mm ebatlarında hazırlandıktan sonra yüzeyleri temizlenmiş ve 200 oC’ de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Kaynak işlemi başlamadan flowmetre yardımı ile gaz debisi ayarlanmıştır. Daha önceden hazırlanan levhalar bir altlık kullanılarak SG-ALSi12 ilave metal ile kaplanmış ve açık havada soğumaya bırakılmışlardır. Kaplama işlemleri invertör tipi kaynak makinesi ile argon koruyucu gazı ve nitrürleyici azot gazı atmosferi altında yapılmış olup deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 8.2. Kaynak parametreleri

Parametre	1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune
Amper (A)	150	150	150	150	150	150
Voltaj (V)	25	25	25	25	1,5	1,5
Tungsten Elektrod (mm)	2	2	2	2	150	150
İlave Metal (mm)	2	2	2	2	SiC tozu	SiC tozu
Kaynak Hızı (mm/dk.)	150	150	150	150	150	150
Isı girdisi (kj/mm)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Gaz Akış Oranı (l/dk.)	Argon (Ar)	8	8	8	8	8
	Azot (N)	8	12	14	20	8

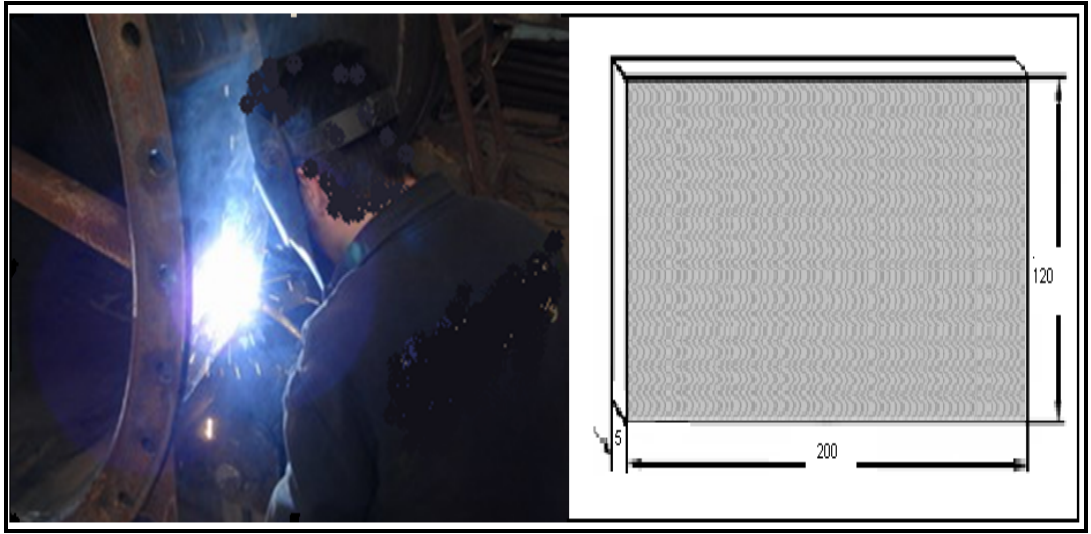
Deney numunelerinin hepsi Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Kaynak Eğitimi Anabilim Dalı Laboratuarlarında hazırlanmıştır.



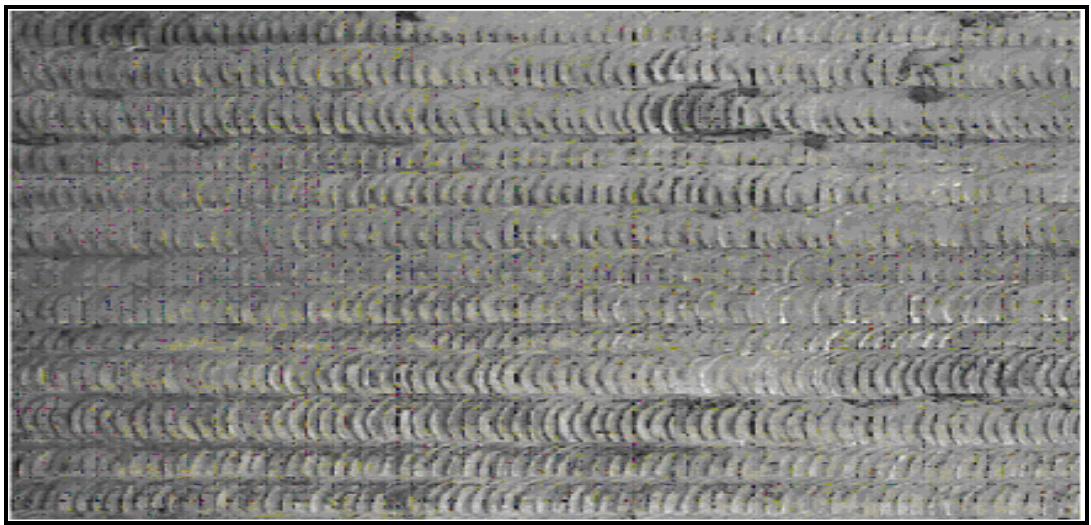
Resim 8.2. Levhanın kaynak öncesi görüntüsü

TIG kaynak yönteminde kullanılan farklı hızdaki gaz debileri ve SiC tozundan kaynaklanan, kaynak metali ve ITAB bölgesindeki sertlik değişimlerini incelemek için mikroyapı numuneleri hazırlanmıştır.

Levhaların TIG kaynak yöntemiyle kaplanmaları şematik olarak Resim 8.3’de gösterilmektedir



Resim 8.3. Levhaların TIG kaynak yöntemi ile kaplanması



Resim 8.4. Levhaların TIG kaynak yöntemi ile yüzeyleri kaplandıktan sonraki görünümü.

8.3.2. Sertlik deneyleri

Yüzey kaplama yönteminin amacı, herhangi bir ana malzeme yüzeyinde sert bir yüzey tabakası oluşturma işlemi olması nedeniyle kaplanan yüzey tabakasının sertliği büyük önem arz eder. Bu sebepten dolayı hem kaynak yüzeylerinden hem de kaynak yüzeyine dik kesit yönünde ana malzemeden kaplama tabakasının dışına doğru bir dizi sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Sertlik testleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Eğitimi Laboratuvarında bulunan Instron Marka sertlik ölçüm cihazında 0,5 kgf ($HV_{0,025}$) yük altında her bir noktadan 4'er ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir (Resim 8.5).



Resim 8.5. Mikrosertlik cihazı

8.3.3. Metalografik çalışmalar

Yüzeyi kaplanan malzemelerin mikroyapı fotoğraflarını çekebilmek amacıyla yüzeyler standart metalografik yöntemler kullanılarak incelemeye hazır hale getirilmiştir. Daha sonrasında bu numunelerin yüzeylerinin dağlanması Keller çözeltisi kullanılmıştır.



Resim 8.6. Mikroyapı numuneleri

Hazırlanan numuneler standart metalografik numune hazırlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu numuneler daha sonra % 0,5'lik hidroflorik asit (0,5 HF+99,5 Saf su) çözeltisinden oluşan dağlayıcı ile dağlanmış ve mikroyapı incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir.

Mikroyapı çalışmaları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Eğitimi Laboratuvarında bulunan Leica DM4000M marka(Resim 8.7) optik mikroskop cihazında çeşitli büyütmelede fotoğraf alınarak gerçekleştirilmiştir



Resim 8.7. Optik mikroskop

8.3.4. Tarama elektron mikroskop çalışmaları ve EDS analizleri

Deneyler sonrası numunelerin mikroyapılarını daha net bir biçimde görebilmek, oluşan nitrür bileşiklerinin % miktarları hakkında bilgi edinebilmek ve yorum yapabilmek amacıyla tarama elektron mikroskop çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmalar yine Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Eğitimi Anabilim Dalı laboratuvarlarında bulunan X 15– X 300 000 büyütme yapabilen Jeol marka JSM 6060 LV model Tarama Elektron Mikroskobu

yardımıyla çeşitli büyütmelerde çekilmiştir. Ayrıca yine kaplama alایشlarına ait EDS analizleri 15X–300 000X büyütme yapabilen Jeol marka JSM 6060 LV model Tarama Elektron Mikroskobuna bağı IXRF systems yardımıyla yapılmıştır (Resim 8.8.).

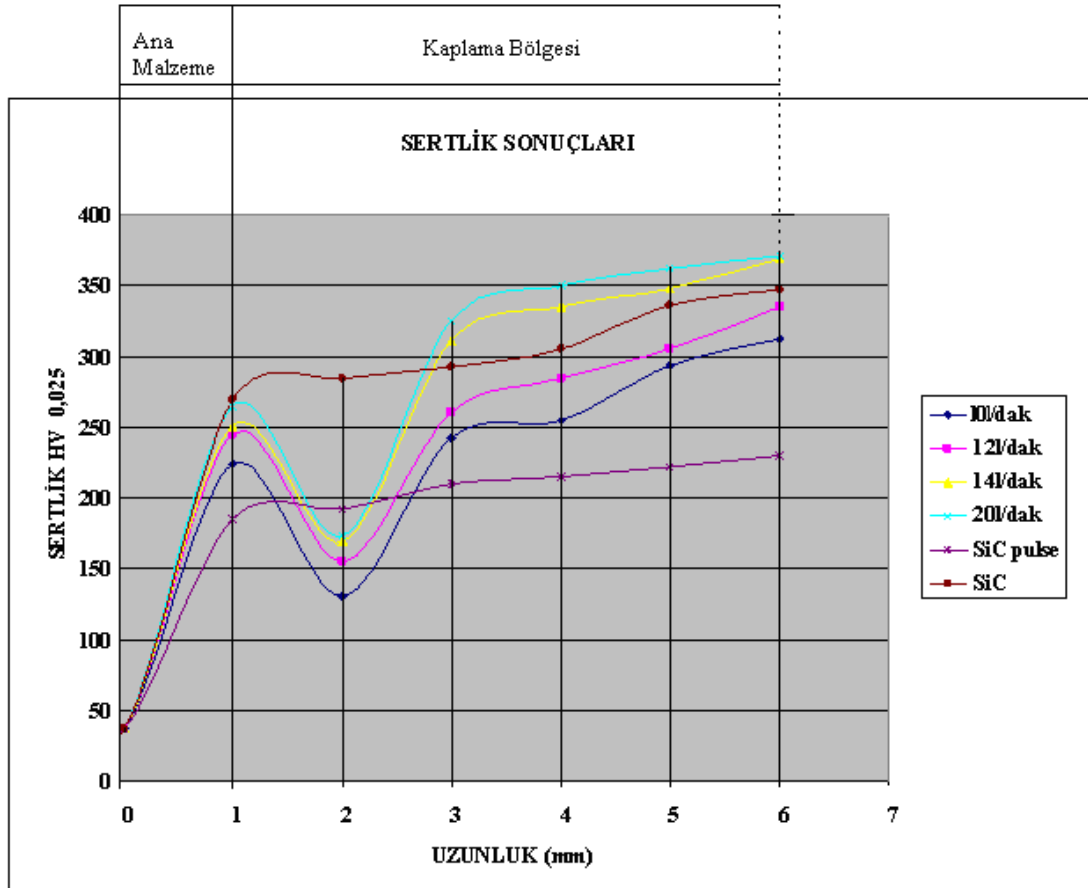


Resim 8.8. Elektron mikroskobu

9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

9.1. Sertlik Sonuçları

Sertlik ölçümleri numunelerin boyuna kesitleri alınarak kaplama ile ana malzeme arasında 1mm'lik mesafe aralığında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde kaplamanın yüzeyi 0 noktası olarak kabul edilmiş ve ana malzemeye doğru her 1 mm aralıklarla yapılan 5'er ölçümün ortalamaları alınarak değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Şekil 9.1'de numunelerin kaplama sonrası kaplama bölgesinden ana malzemenin merkezine doğru enine sertlik değişim grafiği olarak verilmiştir



Şekil 9.1. Numunelerin yüzeyinden merkezine doğru enine sertlik değerleri

Şekil 9.1'deki sertlik grafiği incelendiğinde tüm numunelerde 0 kabul edilen ana malzeme yüzeyinden kaplama yüzeyine doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir. Sertlik değerlerindeki bu artışın kaynak sırasında kaynak

havuzuna verilen azot gazının debisindeki farklılığa bağlı olduğu, ana malzemeden farklı bir yapının oluştuğu, verilen azot gazı miktarına bağlı olarak kaynak bölgesinde sertliğin artış gösterdiği ve ana malzemeye doğru gidildikçe sertliğin düştüğü gözlenmektedir. Sertlik değerlerindeki artış üst yüzeyden 2 mm sonra ana malzeme ile kaplama alaşımı birleşme çizgisine kadar devam etmiş, ana malzemeye göre kıyaslandığında yaklaşık 10 kat fazla sertlik değerleri elde edilmiştir. Literatürde benzer çalışmalarda da aynı sonuçlar elde edilmiştir. Çöğür [82] çalışmasında kaplanan numunelerde, kaplama üst yüzeyi ile ana malzeme arasında sertlik farkının olduğunu ve ana malzemeye gidildikçe sertlik değerlerinde azalma olduğunu belirtmiştir. Çömez [83], çalışmasında sertlik değerlerinin ana malzemeden kaplama alaşımına doğru gidildikçe arttığını, en yüksek sertliğe en üst kısımda ulaşıldığını söylemiştir. Arabacı [79], supap yüzeylerinin TIG kaynak yöntemi ile kaplanması çalışmasında da aynı sonucu elde etmiştir.

8 L/dak azot gazı debisi altında yapılan kaynak dolgu numunesinde kaynak merkezinde 312 HV_{0,025} sertlik değeri elde edilirken, ana malzemeye yaklaşırken 1 mm sonra bu değer 294 HV_{0,025}'ye, 2 mm sonra ise 255 HV_{0,025}'ye düşmüştür. Daha sonra ana malzeme bölgesinde yapılan sertlik ölçümlerinde ortalama olarak 37 HV_{0,025} sertlik değeri elde edilmiştir.

12 L/dak azot gazı debisi altında elde edilen numunede kaynak merkezinde 335 HV_{0,025} sertlik değeri elde edilirken, ana malzemeye yaklaşırken 1 mm sonra bu değer 301 HV_{0,025}'ye, 2 mm sonra ise 265 HV_{0,025}'ye düşmüştür. Daha sonra ana malzeme bölgesinde yapılan sertlik ölçümlerinde ortalama olarak 37 HV_{0,025} sertlik değeri elde edilmiştir.

14 L/dak azot gazı debisi altında elde edilen numunede kaynak merkezinde 369 HV_{0,025} sertlik değeri elde edilirken, ana malzemeye yaklaşırken 1 mm sonra bu değer 348 HV_{0,025}'ye, 2 mm sonra ise 335 HV_{0,025}'ye düşmüştür. .

20 L/dak azot gazı debisi altında elde edilen numunede kaynak merkezinde 371 HV_{0,025} sertlik değeri elde edilirken, ana malzemeye yaklaşırken 1 mm sonra bu değer 362 HV_{0,025}'ye, 2 mm sonra ise 350 HV_{0,025}'ye düşmüştür.

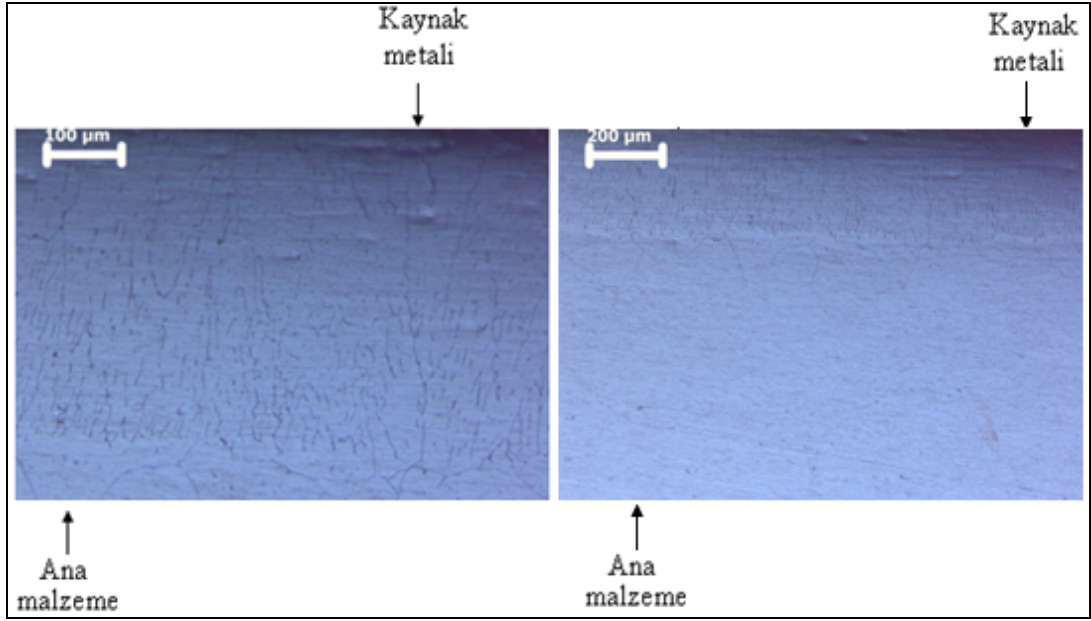
Numuneler sertlik değerleri bakımından birbirleri ile kıyaslandığında en düşük sertlik değerleri elde edilen 8L/dak azot gazı debisi etkisinde kalan numune, 20L/dak azot gazı debisi etkisinde kalan numune ise en yüksek sertlik değerlerine ulaşılan numuneler olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9.1).

SiC tozu ile yapılan dolgu numunelerinde de azot gazı ilave olarak kullanılmış ve sertlik artışı gözlenmiştir. İki farklı numune farklı akım türlerine göre incelenmiş ve sonuç olarak, Pulse akım ile yapılan dolguda sertlik değerinin AC akım ile yapılan dolguya göre daha az olduğu gözlenmiştir (Şekil 9.1).

Sertlik değerlerinde azot gazı debisindeki artışın etkili olduğu, azot gazı debisin artışına bağlı olarak sertliğin de arttığı, yine pulse akımda elde edilen sertlik değerlerinin oranın AC akım da elde edilen sertlik değerlerine göre az olması ile sertliğin düşüş göstermiştir. Bunun sonucu olarak da pulse akımda ısı girdisinin az olması oluşabilecek nitrür ve karbür bileşiklerinin bu ısı girdisi içerisinde oluşamadığı görülmüştür.

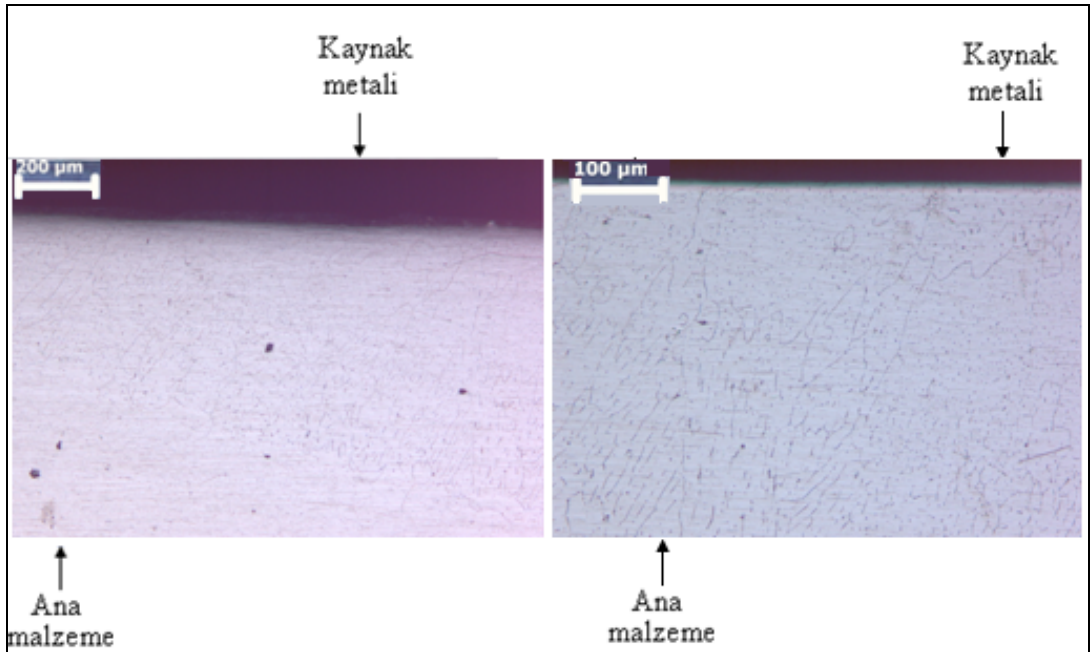
9.2. Mikroyapı Sonuçları

Resim 9.1'de numunelere ait ana malzeme-kaplama ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflarda koyu renkli bölge ana malzemeyi, açık renkli bölge ise kaplama malzemesini göstermektedir. Bütün yüzeylerde benzer ara yüzeyler elde edildiği için örnek olması için sadece 2 farklı büyütmedeki görüntü verilmiştir.



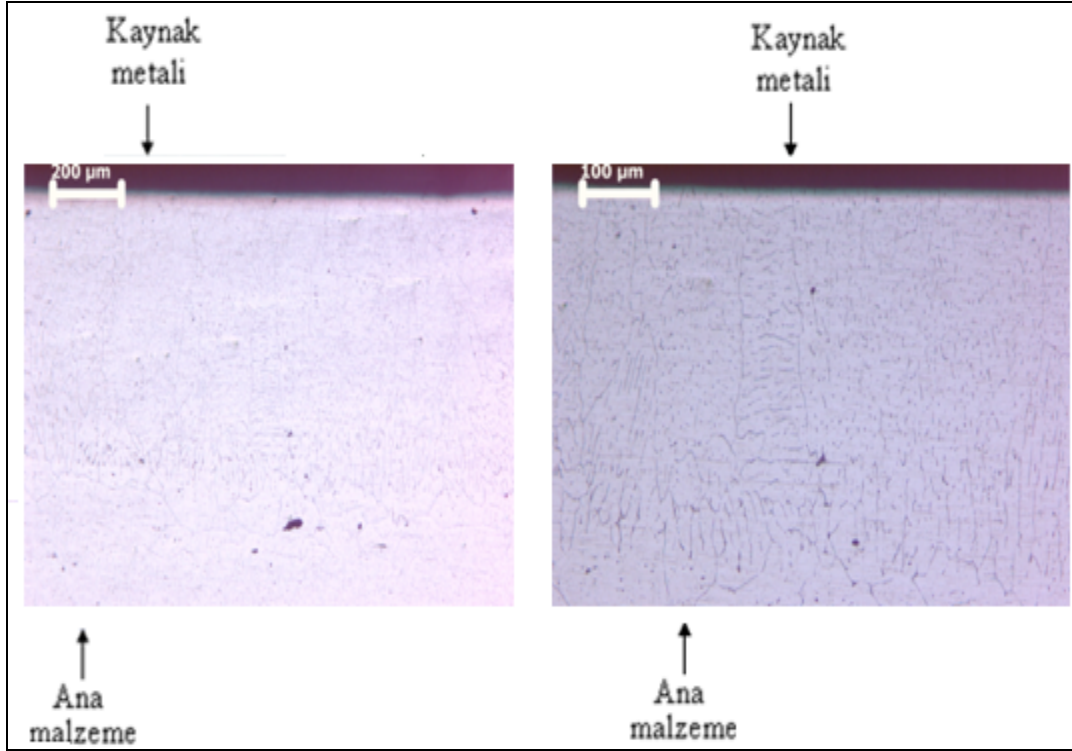
Resim 9.1. 10 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı

Resim 9.1 incelendiğinde ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki birleşme çizgisi net olarak gözükmeyle birlikte geçiş bölgesinden kaynak bölgesine doğru bakıldığında tanelerde yönelmelerin olduğu ve yüzeye doğru iri taneli bölgenin oluştuğu gözlenmektedir.



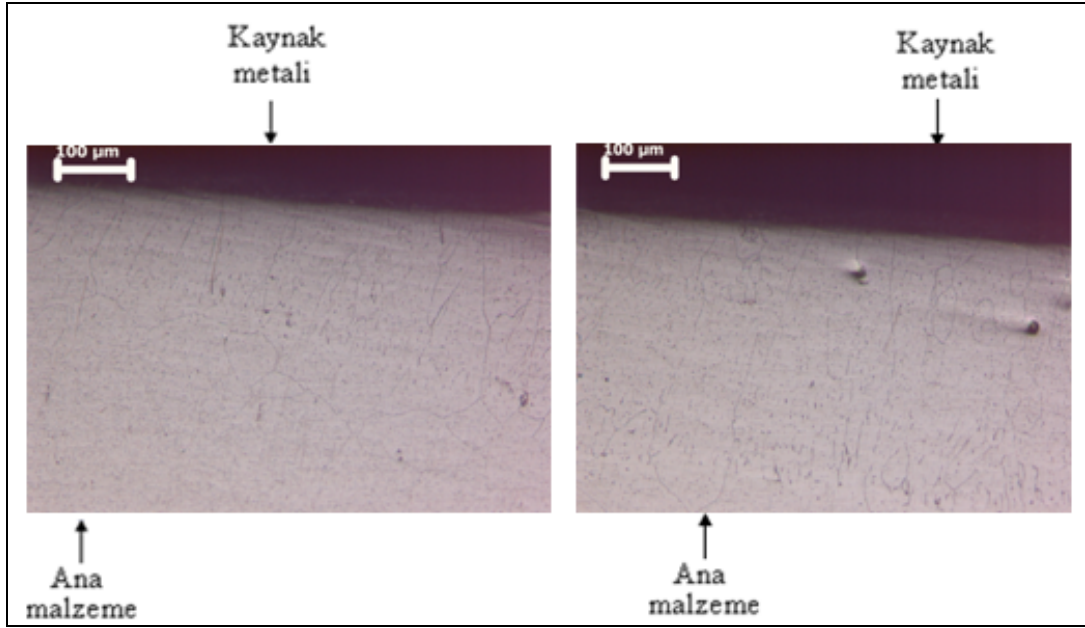
Resim 9.2. 12 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı

Resim 9.2 incelendiğinde ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki birleşme çizgisi net olarak gözükmele birlikte geçiş bölgesinden kaynak bölgesine doğru bakıldığında tanelerde yönlenmelerin olduğu ve yüzeye doğru resim 9.1’dekenden daha iri taneli bir bölgenin oluştuğu gözlenmektedir.



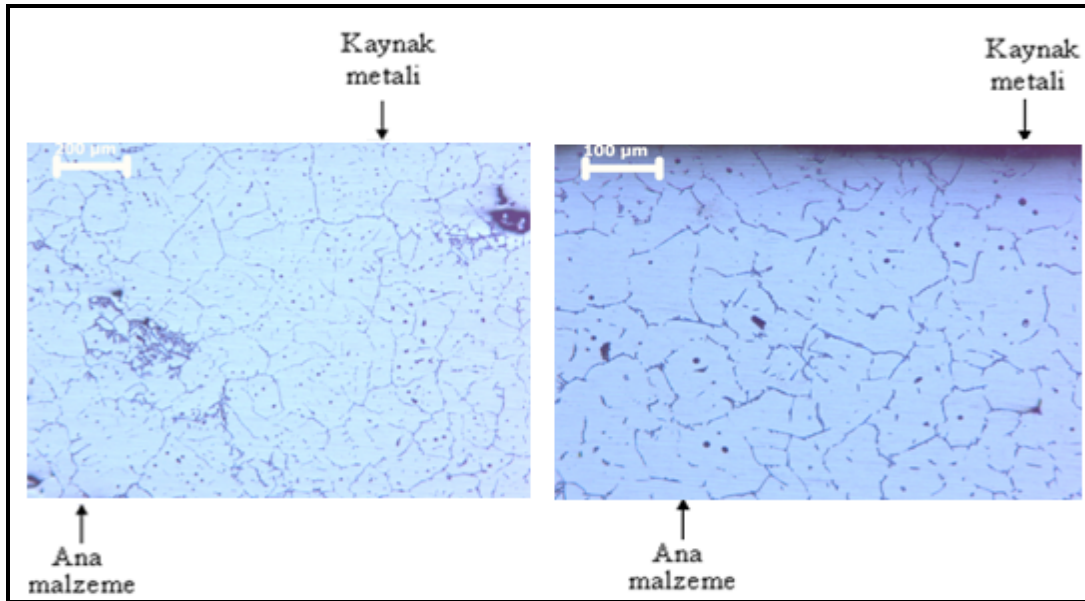
Resim 9.3. 14 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı

Resim 9.3 incelendiğinde ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki birleşme çizgisi net olarak gözükmele birlikte geçiş bölgesinden kaynak bölgesine doğru bakıldığında tanelerde yönlenmelerin olduğu ve yüzeye doğru resim 9.2’dekenden daha iri taneli bir bölgenin oluştuğu gözlenmektedir.



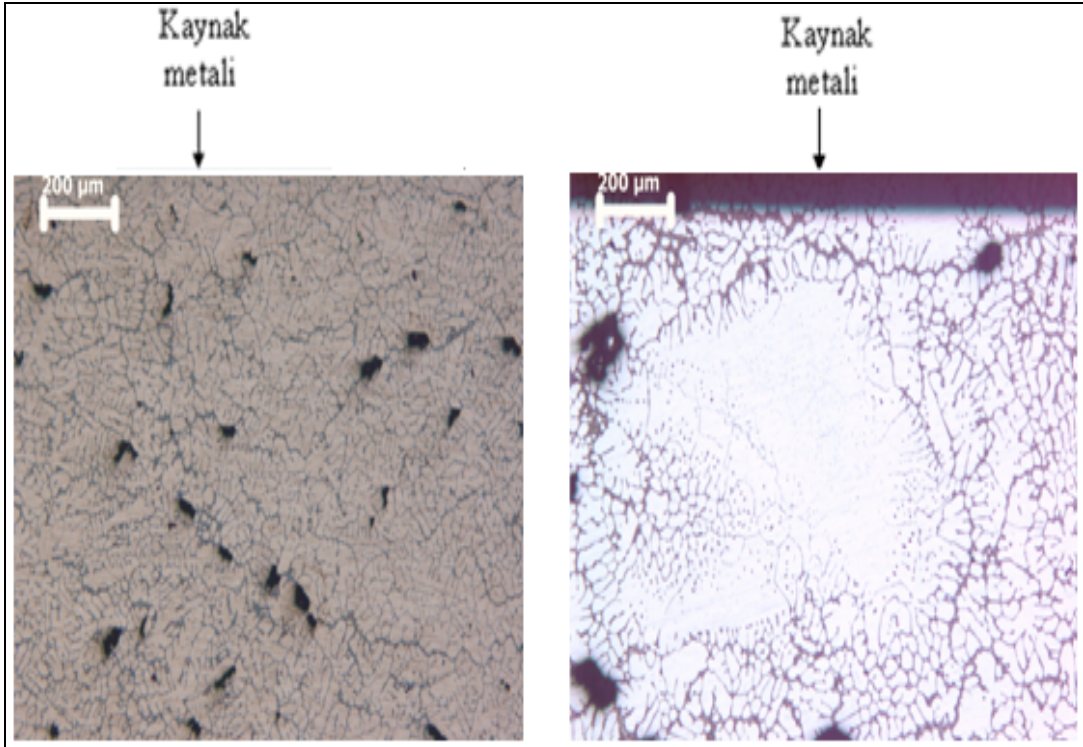
Resim 9.4. 20 L/dakika azot gazı debisinde dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı

Resim 9.4 incelendiğinde ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki birleşme çizgisi net olarak gözükmeyle birlikte geçiş bölgesinden kaynak bölgesine doğru bakıldığında tanelerde yönlenmelerin olduğu ve yüzeye doğru resim 9.3’dekinden daha iri taneli bir bölgenin olduğu gözlenmektedir.



Resim 9.5. SiC tozu ve 8 L/dakika azot gazı debisinde pulse akım ile dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı

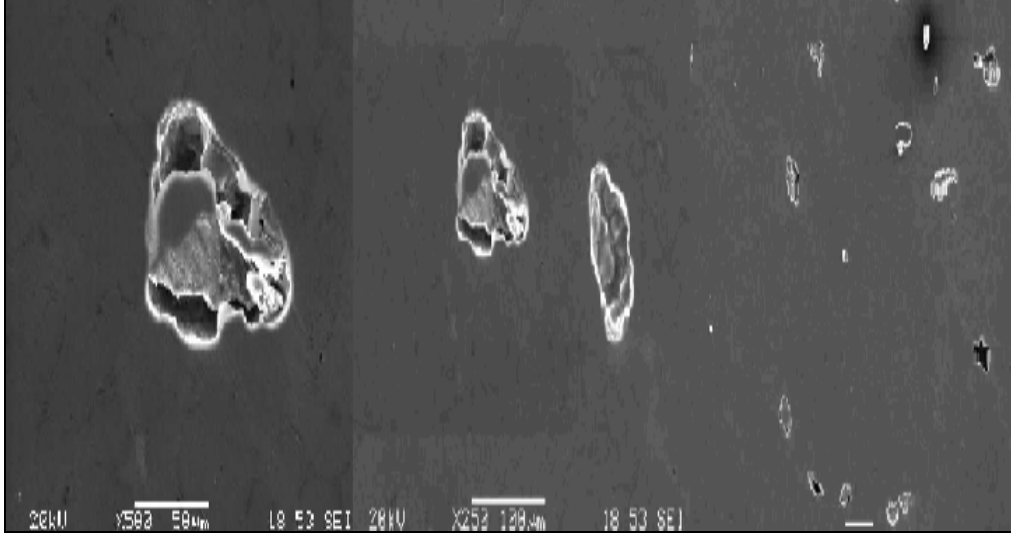
Resim 9.5 incelendiğinde ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki birleşme çizgisi net olarak gözükmemekte, tane sınırları daha belirgin ve karbür çökeltileri görülmekle birlikte geçiş bölgesinden kaynak bölgesine doğru bakıldığında tanelerde yönelmelerin olduğu ve yüzeye doğru daha iri taneli bir bölgenin olduğu gözlenmektedir.



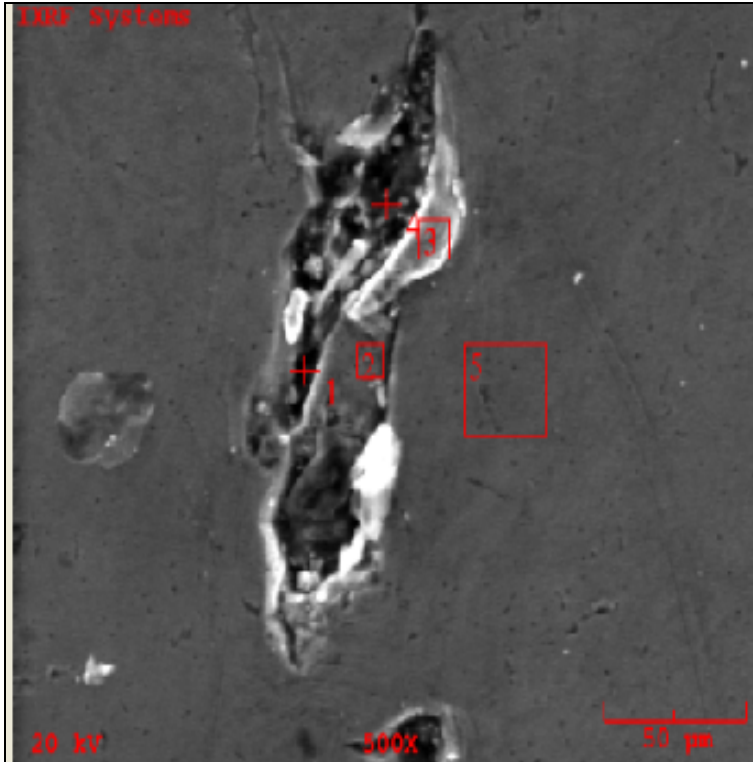
Resim 9.6. SiC tozu ve 8 L/dakika azot gazı debisinde AC akım ile dolgu-ana malzeme ara yüzey mikroyapı

Resim 9.6 incelendiğinde resim 9.5'e göre daha iri taneli bir yapı olduğu ve yüzeye daha fazla yönelme olduğu gözlenmiştir. Tane sınırları daha belirgin ve karbür çökeltileri görülmekle birlikte geçiş bölgesinden kaynak bölgesine doğru bakıldığında tanelerde yönelmelerin olduğu ve yüzeye doğru daha iri taneli bir bölgenin olduğu gözlenmektedir.

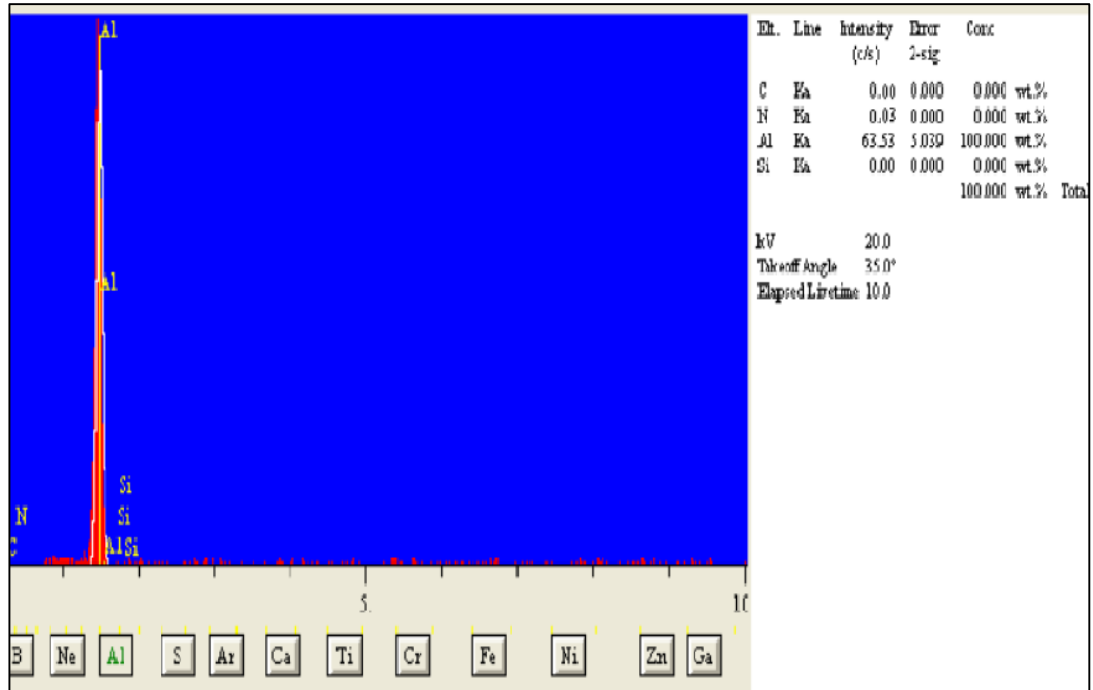
9.3. SEM ile Çekilmiş Mikroyapı ve EDS Analizleri Sonuçları



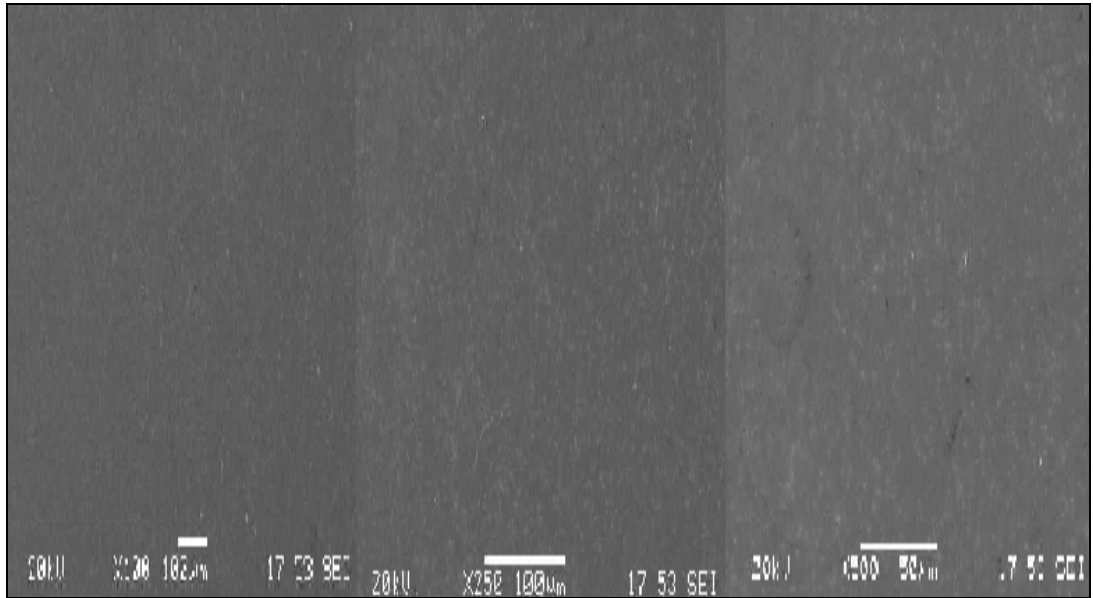
Resim 9.7. 10 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelerde kaynak metali genel mikroyapısı



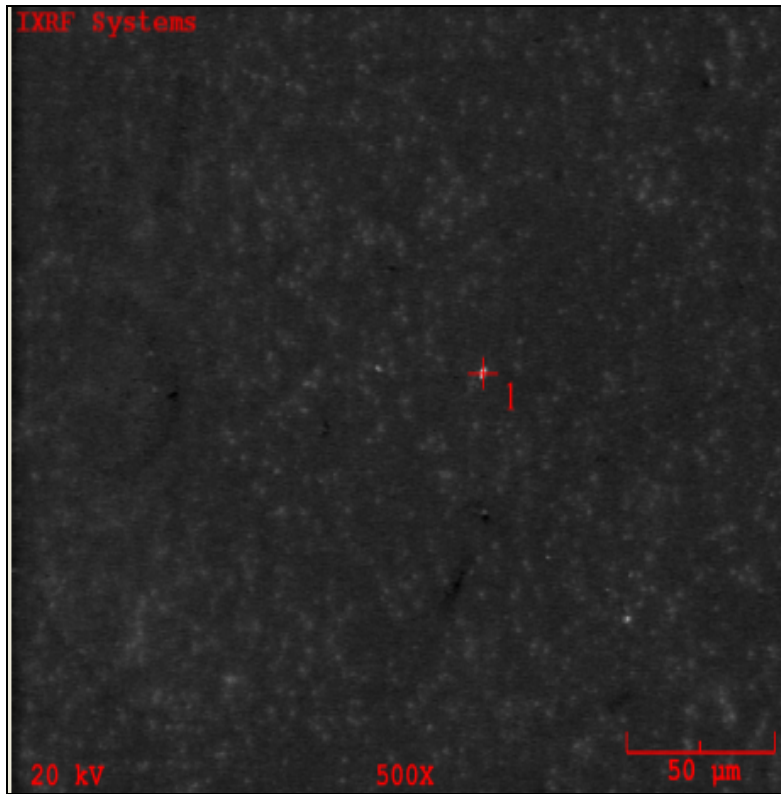
Resim 9.8. 10 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı



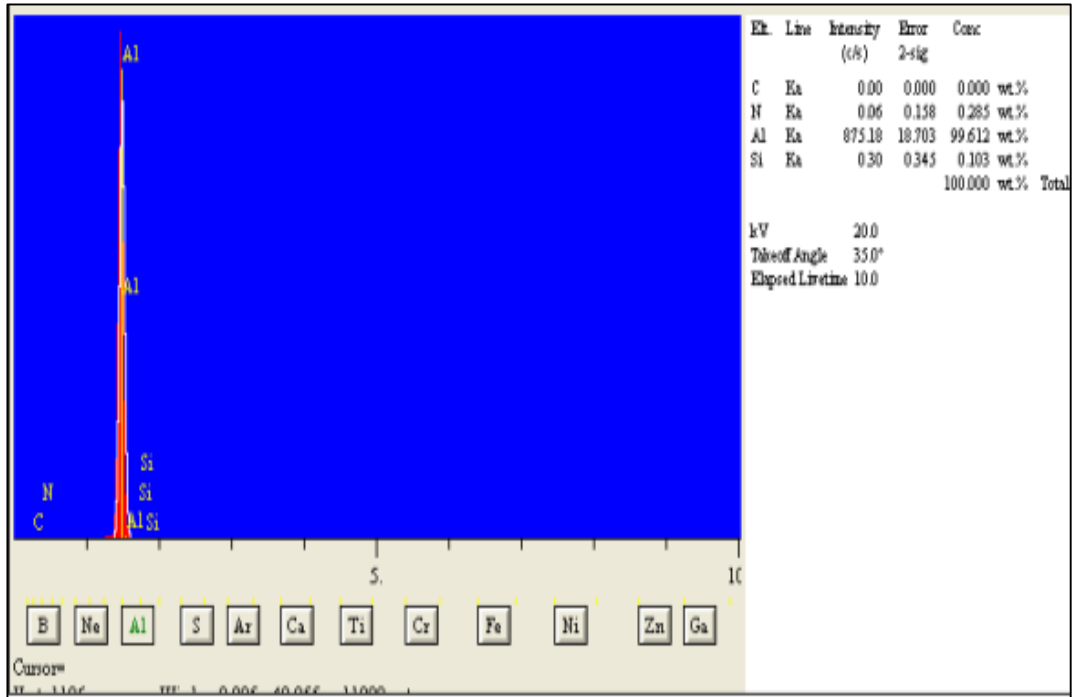
Şekil 9.2. 10 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği



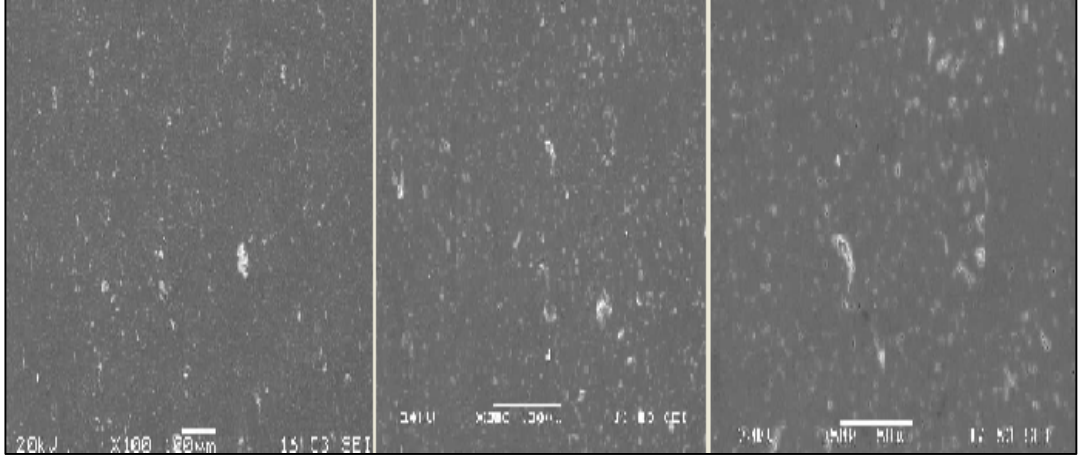
Resim 9.9. 12 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali genel mikroyapısı



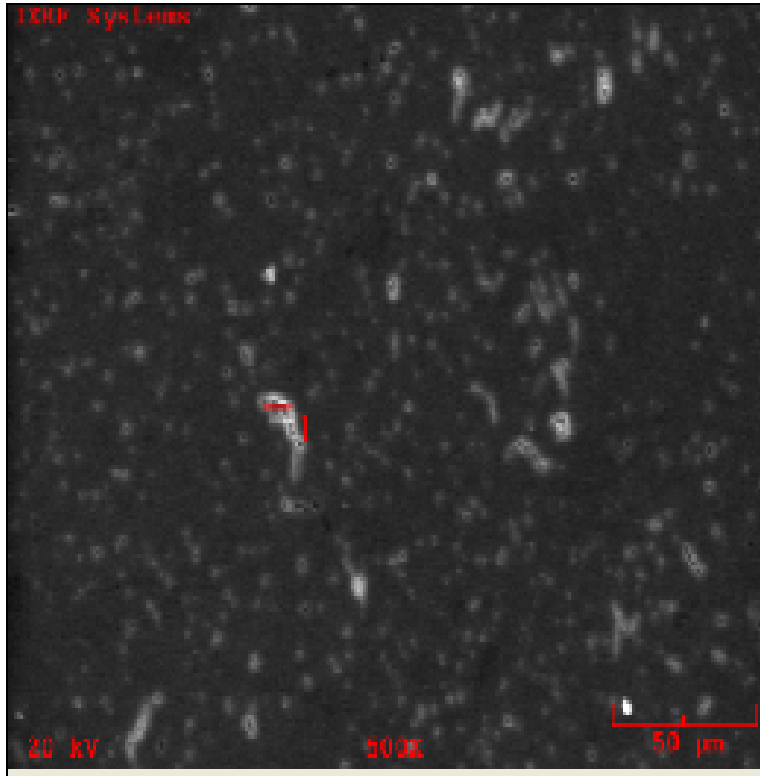
Resim 9.10. 12 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı



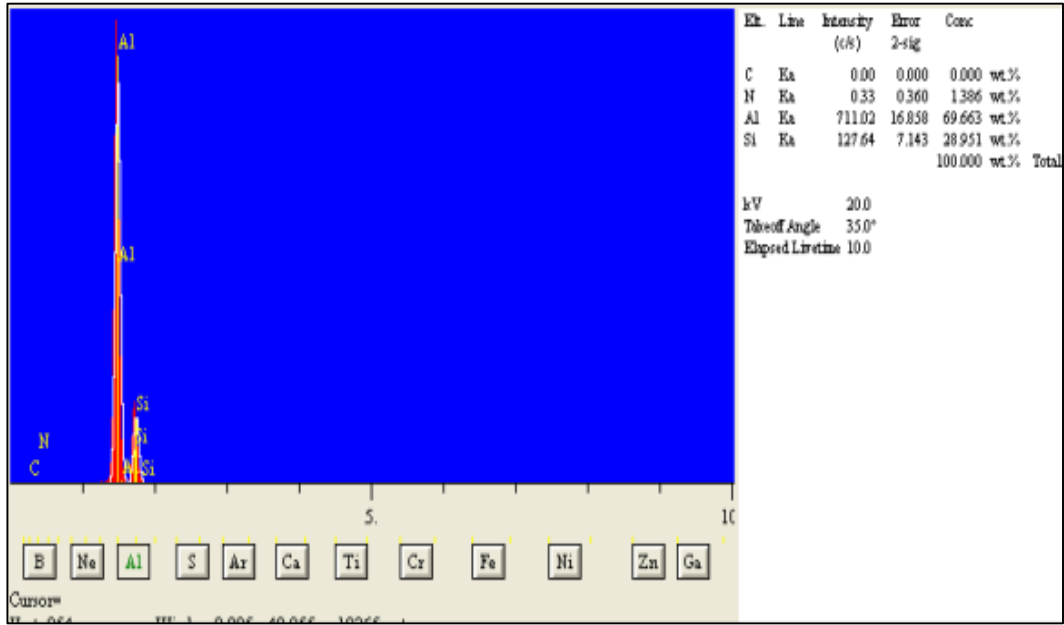
Şekil 9.3. 12 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği



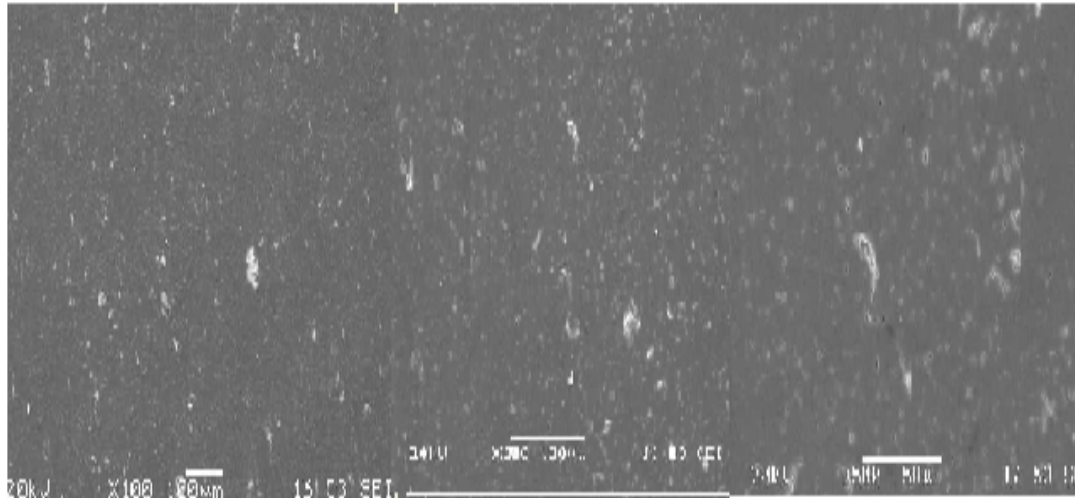
Resim 9.11. 14 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelerde kaynak metali genel mikroyapısı



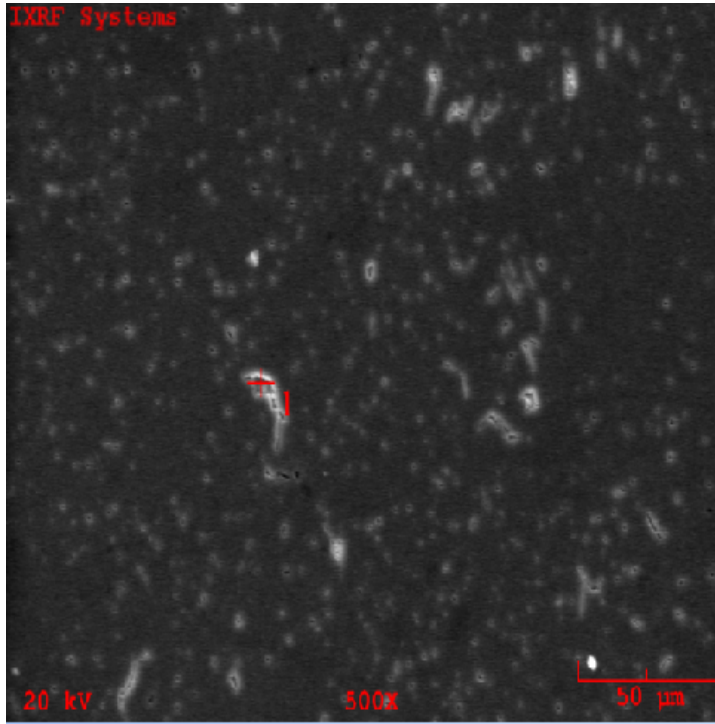
Resim 9.12. 14 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı



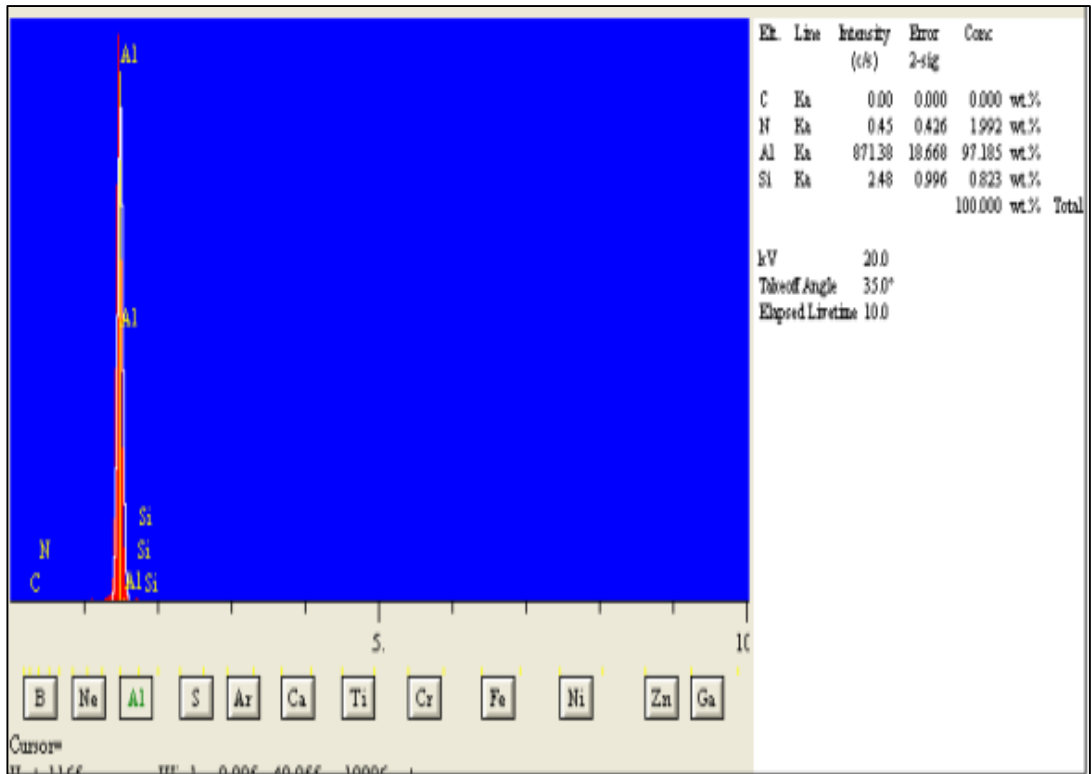
Şekil 9.4. 14 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği



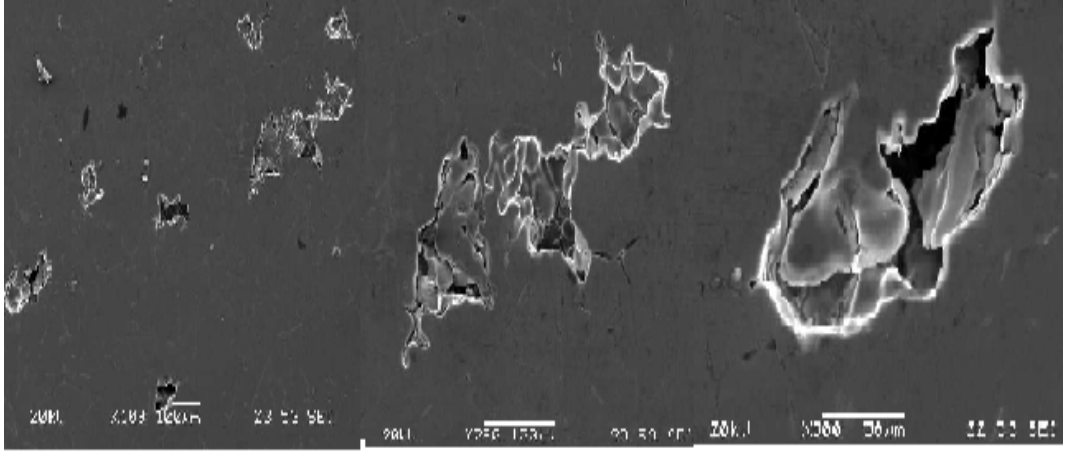
Resim 9.13. 20 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelede kaynak metali genel mikroyapısı



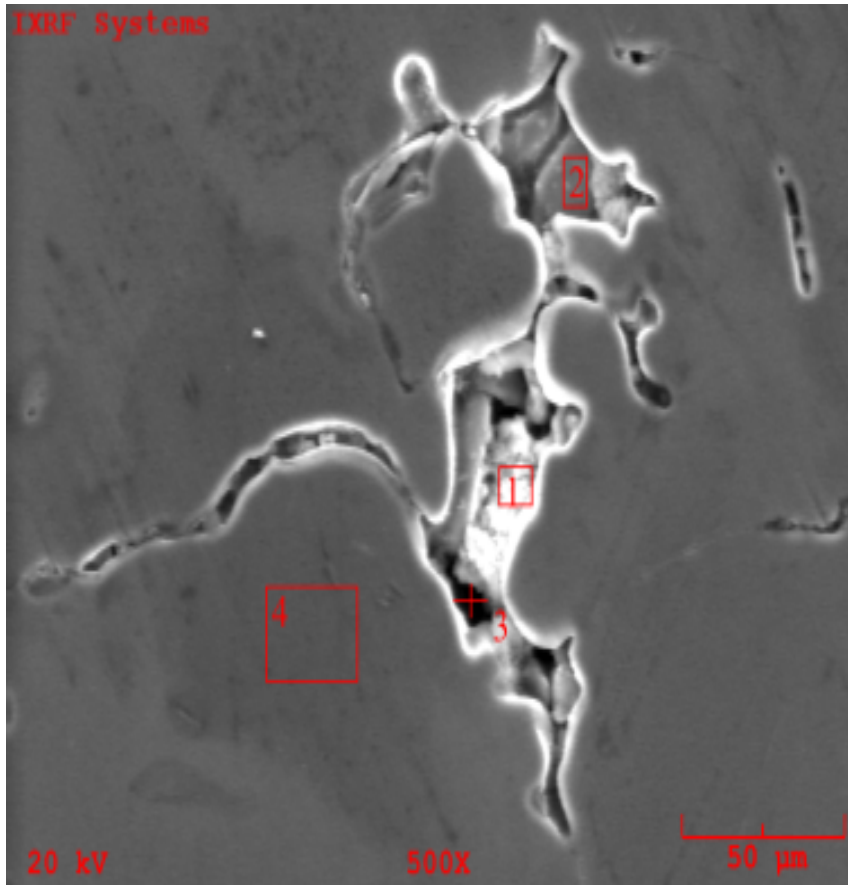
Resim 9.14. 20 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analizi için mikroyapı



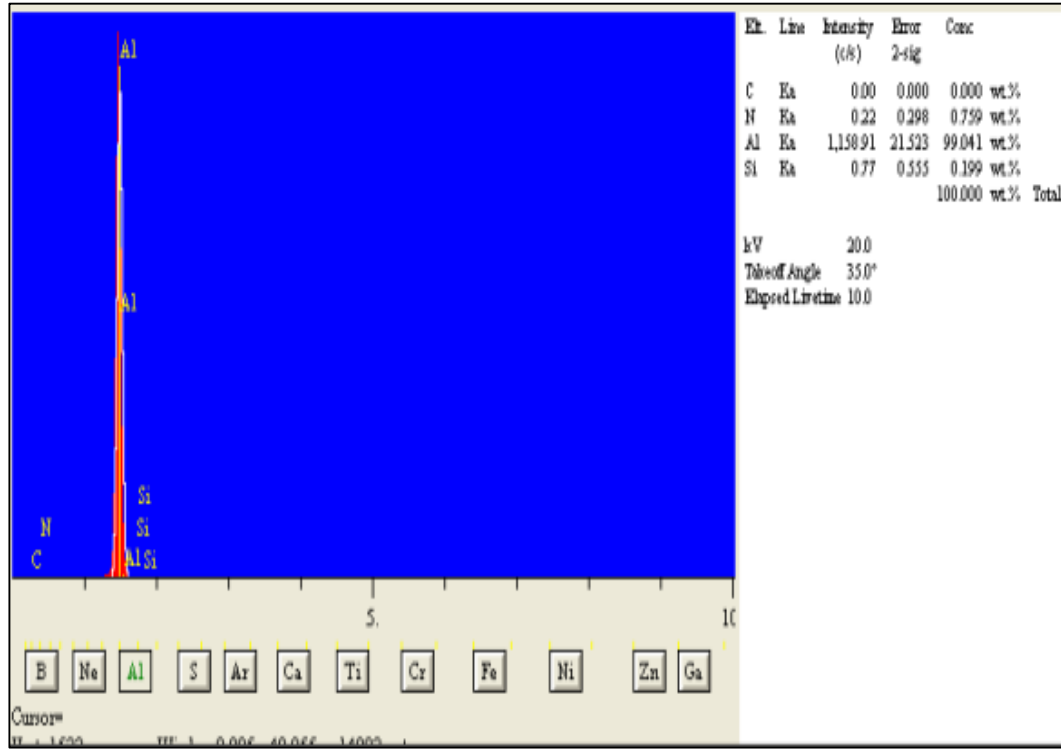
Şekil 9.5. 20 L/dakika azot gazı debisinde kaynak metali EDS analiz grafiği



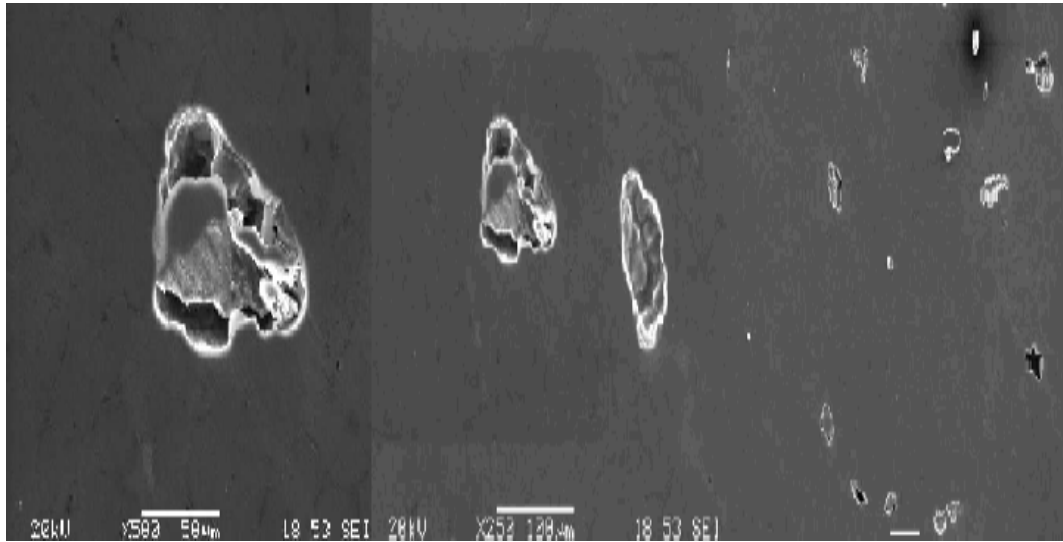
Resim 9.15. 8 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli farklı büyütmelerde kaynak metali genel mikroyapısı



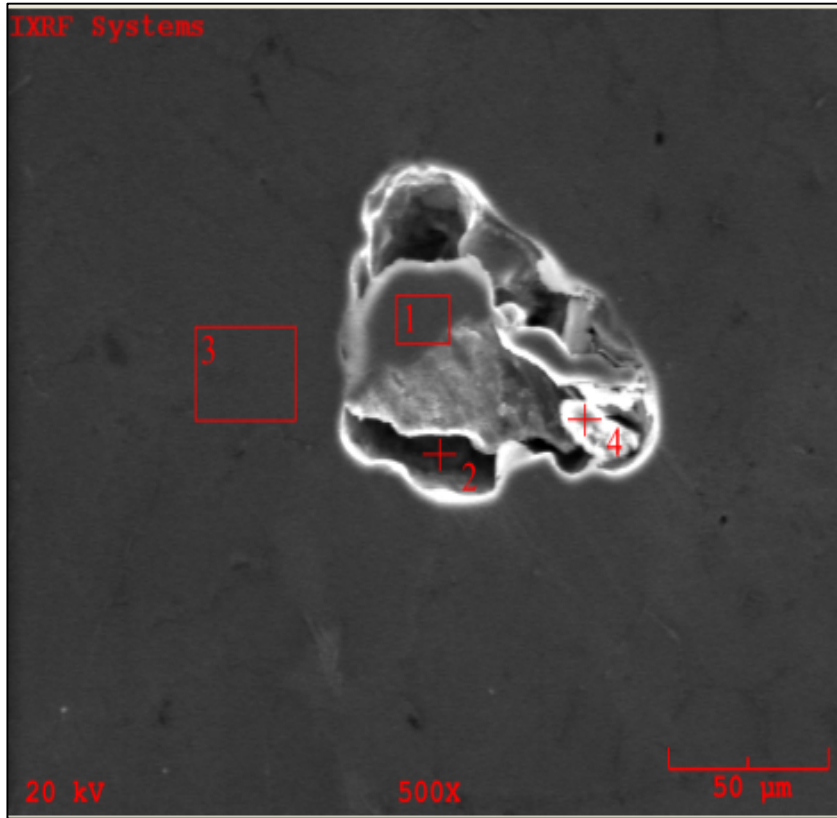
Resim 9.16. 8L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analizi için mikroyapı



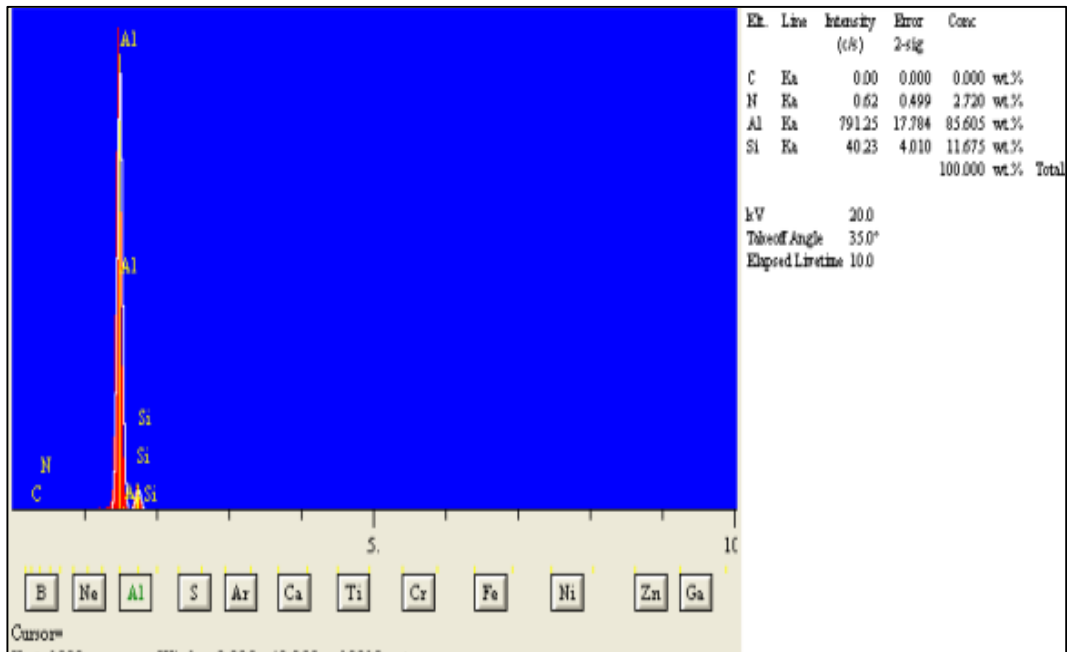
Şekil 9.6. 12 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analiz grafiği



Resim 9.17. 8 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütme ve SiC tozu ilaveli kaynak metali genel mikroyapısı



Resim 9.18. 8 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analizi için mikroyapı



Şekil 9.7. 8 L/dakika azot gazı debisinde ve SiC tozu ilaveli kaynak metali EDS analiz grafiği

Resim 9.7'ye ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde nitrür bileşiğinin kaynak metali içerisindeki varlığından söz edebiliriz. Şekil 9.1'de noktasal EDS analizi gösterilmekte ve Resim 9.8'deki EDS grafiğinde R incelendiğinde % 00,00C, % 00,00 N, % 100 Al ve % 0,00 Si oranına sahip olduğu görülmektedir.

Resim 9.9'a ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde nitrür bileşiğinin kaynak metali içerisindeki varlığından söz edebiliriz. Şekil 9.2'de noktasal EDS analizi gösterilmekte ve Resim 9.10'daki EDS grafiğinde R incelendiğinde % 00,00 C, % 0,285 N, % 93,612 Al ve % 0,303 Si oranına sahip olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analiz çalışmalarında da yapıda N 'un gaz debisi ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği gözlenmiştir.

Resim 9.11'e ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde nitrür bileşiğinin kaynak metali içerisindeki varlığından söz edebiliriz. Şekil 9.3'de noktasal EDS analizi gösterilmekte ve Resim 9.12'deki EDS grafiğinde R incelendiğinde % 00,00 C, % 1,386 N, % 69,683 Al ve % 28,953 Si oranına sahip olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analiz çalışmalarında da yapıda N 'un gaz debisi ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.

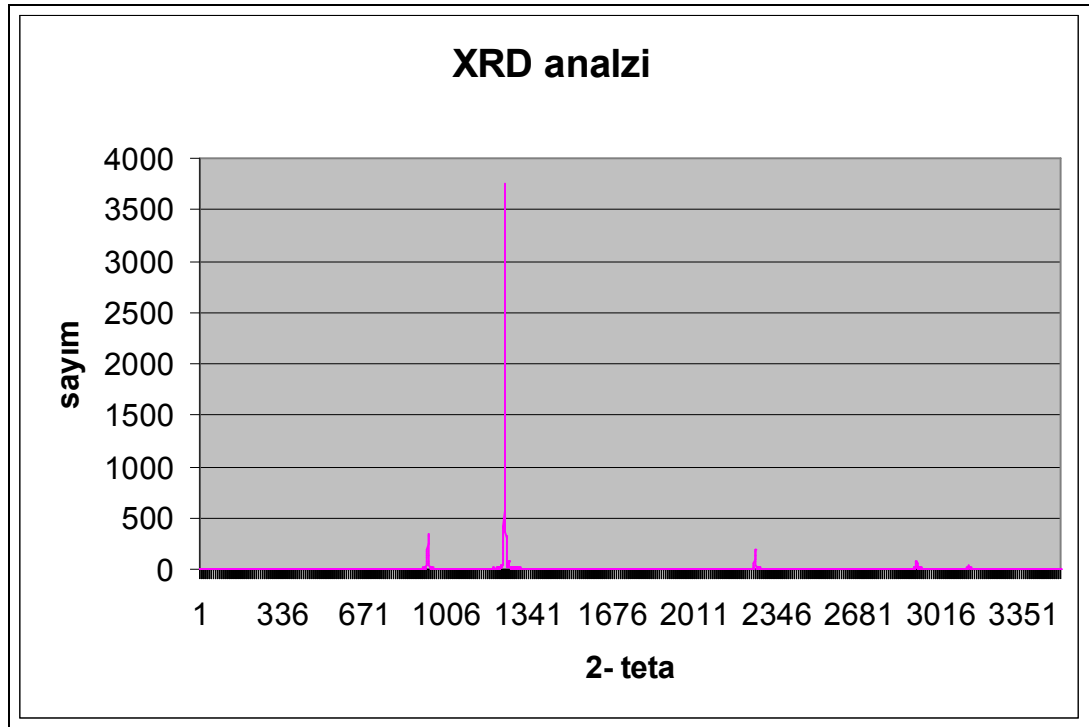
Resim 9.13'e ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde nitrür bileşiğinin kaynak metali içerisindeki varlığından söz edebiliriz. Şekil 9.4'de noktasal EDS analizi gösterilmekte ve Resim 9.14'deki EDS grafiğinde R incelendiğinde % 00,00 C, % 1,992 N, % 97,185Al ve % 0,823 Si oranına sahip olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analiz çalışmalarında da yapıda N 'un gaz debisi ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği gözlenmiştir.

Resim 9.15'e ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde nitrür bileşiğinin kaynak metali içerisindeki varlığından söz edebiliriz. Şekil 9.5'de noktasal EDS analizi gösterilmekte ve Resim 9.16'deki EDS grafiğinde R incelendiğinde % 00,00 C, % 0,759 N, % 99,041 Al ve % 0,199 Si oranına sahip olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analiz çalışmalarında da yapıda N 'un gaz debisi ile doğru orantılı olarak artış

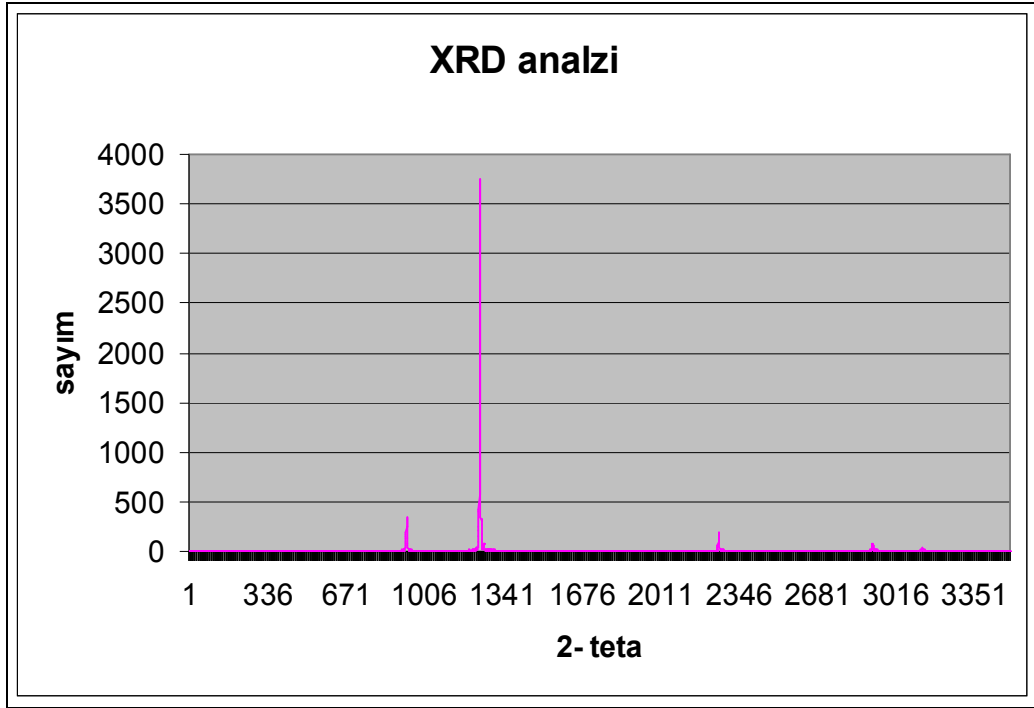
gösterdiği tespit edilmiştir. En Fazla gaz debisine sahip olan numune de en çok N gazının bulunduğu tespit edilmiştir.

Resim 9.17'e ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde nitrür bileşiğinin kaynak metali içerisindeki varlığından söz edebiliriz. Şekil 9.6'da noktasal EDS analizi gösterilmekte ve Resim 9.18'deki EDS grafiğinde R incelendiğinde % 00,00 C, % 2,720 N, % 85,605 Al ve % 11,675 Si oranına sahip olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analiz çalışmalarında da yapıda N 'un gaz debisi ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte SiC tozunun, pulse akım ile yapılan kaynak sonrası ve AC akım ile yapılan kaynak sonrası yapılan EDS analizlerinde de görüldüğü gibi AC akımda elde edilen sonuçların daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

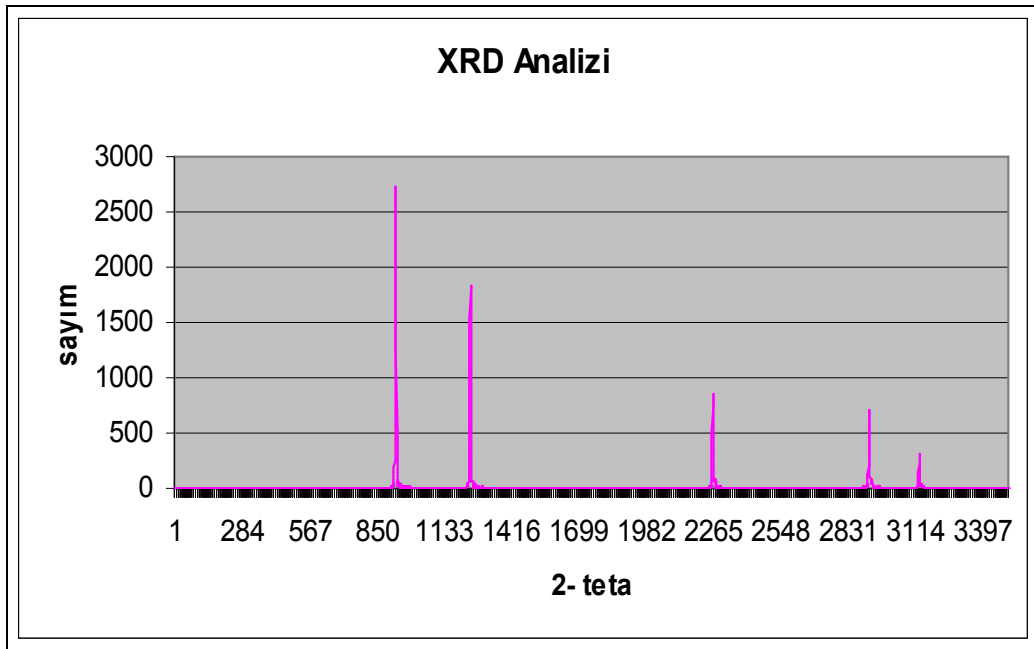
9.4. XRD Sonuçları



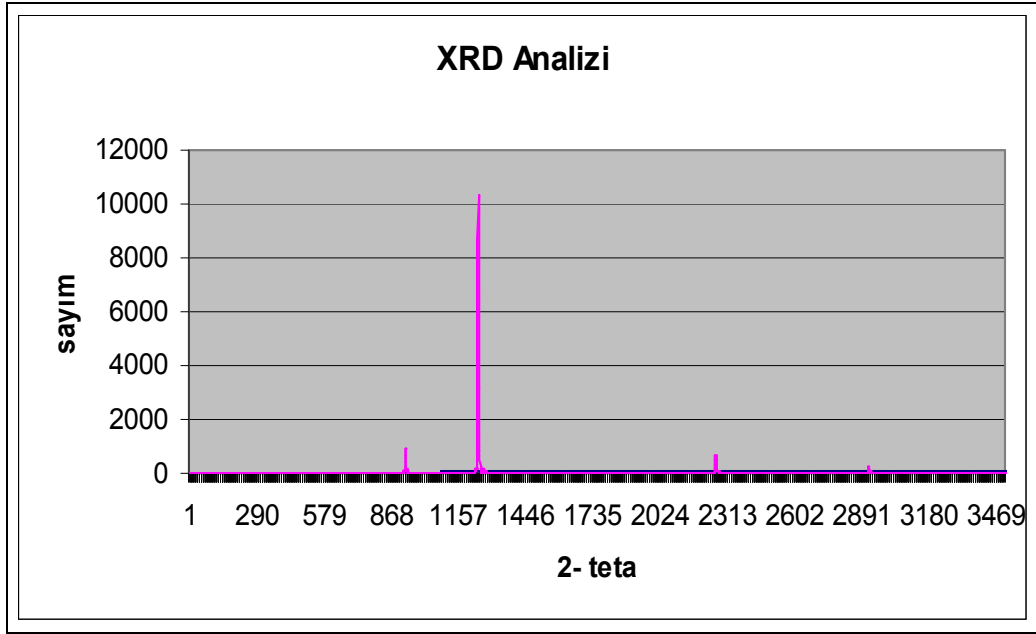
Şekil 9.8. 10 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali XRD analiz grafiği



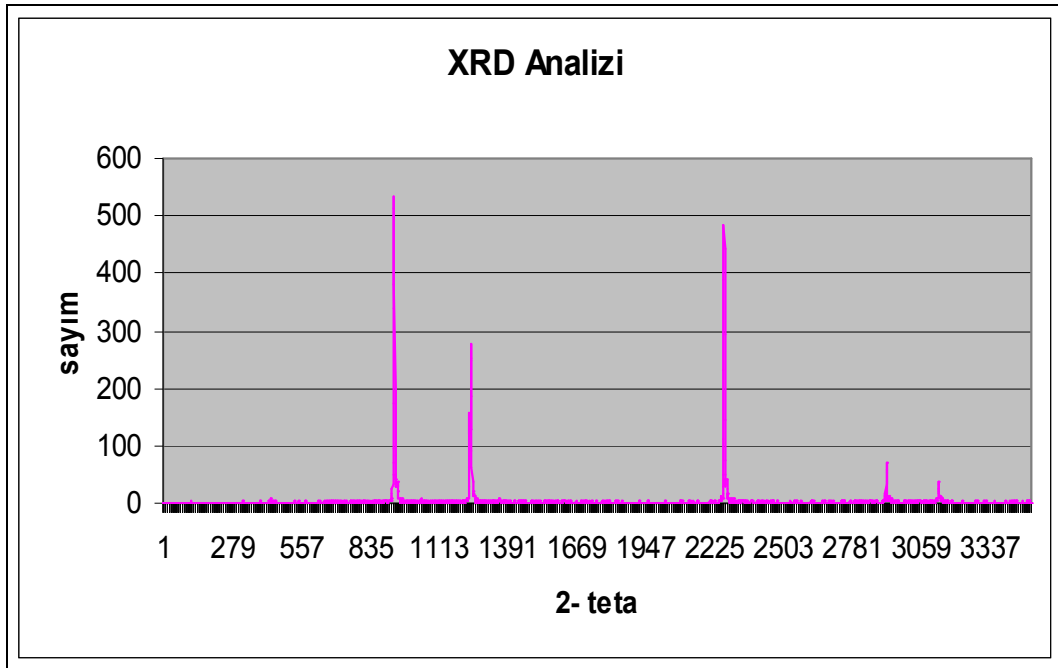
Şekil 9.9. 12 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali XRD analiz grafiği



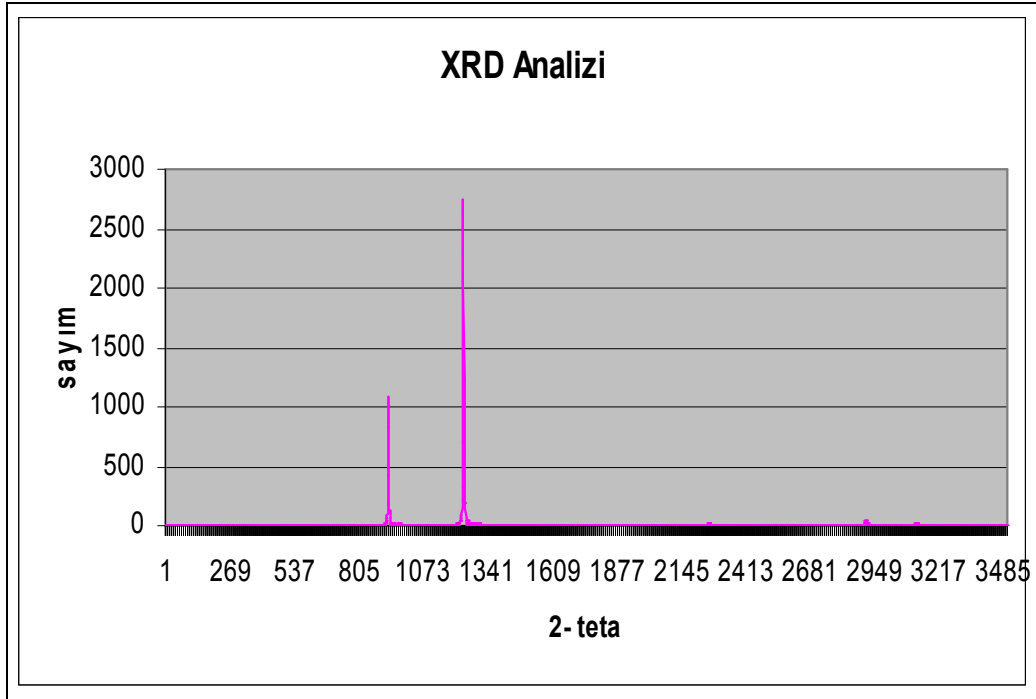
Şekil 9.10. 14 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali XRD analiz grafiği



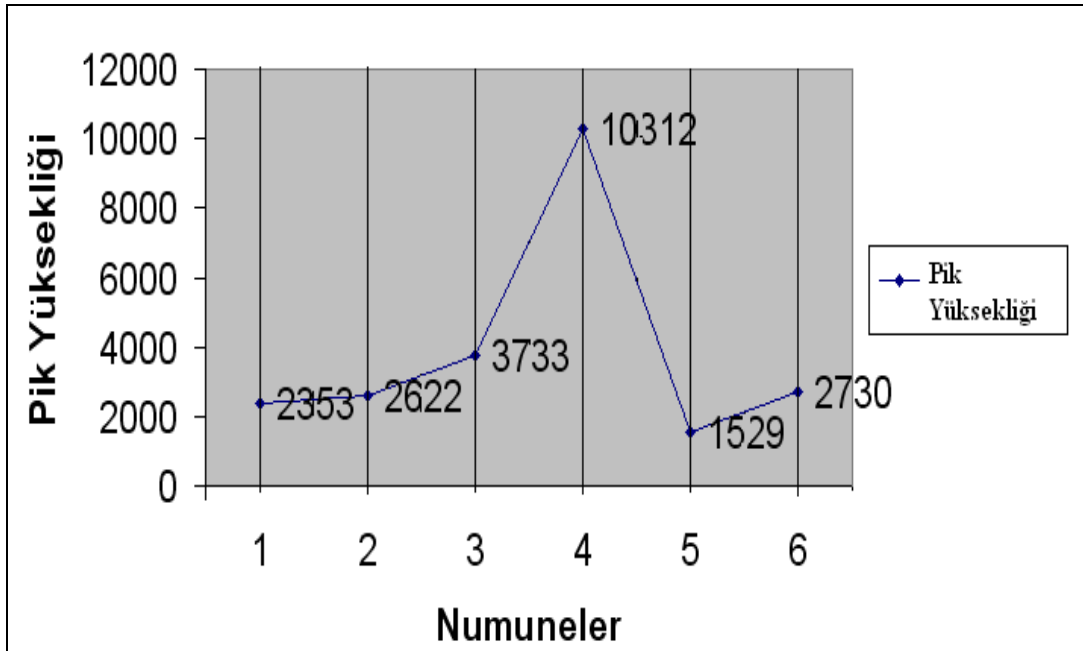
Şekil 9.11. 20 L/dakika azot gazı debisinde farklı büyütmelelerde kaynak metali XRD analiz grafiği



Şekil 9.12. 8 L/dakika azot gazı debisinde, SiC tozu ilaveli ve Pulse akım kaynak metali XRD analiz grafiği



Şekil 9.13. 8 L/dakika azot gazı debisinde, SiC tozu ilaveli ve AC akım kaynak metali XRD analiz grafiği



Şekil 9.14. Pik yüksekliklerine göre numuneler içerisindeki azot miktarının karşılaştırılması

XRD sonuçlarına bakıldığında (Şekil 9.13.), azot gazı debisindeki artış ile kaynak metali içerisine girebilen azot miktarının doğru orantılı artış gösterdiği elde edilen pik yükseklikleri ile belirlenmiştir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. En iyi kaynak havuzu %50 Argon %50 Azot karışımında olmuştur.
2. Azot oranı arttıkça yüzey sertliğinde artış gözlenmiştir.
3. Ön tav yapılmayan Al levhada ark zor oluşmuş ve sertlikteki artış da azalmıştır.
4. Isı girdisi, Azotun Alüminyum numunelerde nitrür oluşumunu artırmış ve sertlik de buna bağlı olarak artmıştır.
5. Pulse akımda yapılan kaynaklarda ısı girdisinin azlığından dolayı Azot gazı mikroyapıya ve sertliğe çok az etkisi olmuştur. Pulse akımın normal (AC) akıma göre etkisinin çok az olduğu saptanmıştır.
6. Eklenen SiC tozunun kaynak metali içerisinde çökeldiği ve sertlik artırıcı yönde etki yaptığı saptanmıştır.
7. Mikro yapılarda görüldüğü gibi azot miktarı arttıkça taneler yüzeye doğru yönelmiş ve yüzeyde iri taneli bir yapı oluşmuştur. Bu da sertliği artırmıştır.
8. Yapılan EDS analizlerinde görüldüğü üzere Azot gazının kaynak metaline girdiği saptanmıştır.
9. EDS resimlerinden görüldüğü üzere Azot gazı Al ile birleşip AlN olmuş ve kaynak metali içerisinde bir miktar çökelmiştir.
10. XRD sonuçları da bu sonuçları tamamen desteklemektedir.

Yapılan bu çalışmada kullanılan kaynak parametreleri, dolgu malzemeleri ve akım türleri çalışma konusu çerçevesinde belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılamayan ancak denenmesinde yarar olacak görüşlerimiz ise şunlardır;

1. TIG kaynak yöntemi yerine MIG, MAG ve oksijen gaz yöntemleri kullanılabilir.
1. SiC tozu yerine Titanyum tozu veya kompozit tozlar kullanılabilir.
2. İlave metal olarak özlü teller kullanılabilir.
3. Adhesif ve abrasif aşınma davranışları incelenebilir.
4. Ana malzeme olarak Alüminyum yerine çelik veya bakır alaşımları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gürü, M., Yalçın, H., “Malzeme Bilimi”, *Palme Yayınları*, Ankara, 143-149 (2006).
2. Doğan, M., “Alüminyum alaşımının ısı işlemleri”, Y.Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 21-28 (1989).
3. Tülbentçi, K., “Alüminyum ve alaşımlarının kaynağı”, *İstanbul Yayınevi*, 7-10 (1989).
4. Kahraman, N., Durgutlu, A., “316L paslanmaz çelik ile bakır levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, *Teknoloji*, 8 (1): 43-50 (2005).
5. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., “Bakır ve çelik levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi ve ara yüzey özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi University J. Fac. Eng. Arc.*, 20 (2): 183-189 (2005).
6. Özdemir, U., Erten, M., “Plazma (İyon) nitrürleme yöntemi ve malzeme özellikleri üzerindeki etkisi”, *Havacılık Ve Uçay Teknolojileri Dergisi*, 1 (2): 41-48 (2003).
7. Sarıkaya, Ö., “Aşınmaya karşı yüzey mühendisliği yöntemleri”, *Sakarya Yayınları*, 75-77 (2007).
8. Kaluç E., “Gazaltı kaynak yöntemleri (MIG/MAG, TIG ve PA kaynağı)”, *Gazaltı kaynağı Seminer Notu*, Kocaeli, 1-88 (2006).
9. İnternet: Sakarya Üniversitesi “Alüminyum Metalürjisi”
<http://web.sakarya.edu.tr/~kenyil/aluminyum.pdf> (2010).
10. Tülbentçi, K., Kalunç, E., Sarı, N.Y., “MIG-MAG ergiyen elektrod ile gazaltı kaynak yöntemi”, *K.O.Ü Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi Seminer notları*, Kocaeli, 1-112 (1997).
11. Gedik, D., “Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sodyum dikromat ve sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi”, Y. Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-21 (2008).
12. İnternet: ALFED (Avrupa Alüminyum Federasyonu) “Alüminyum”
<http://www.alfed.org.uk> (2010).
13. Demirci, A. H., “Mühendislik Malzemeleri”, *Aktüel Yayınları*, Bursa, 124-125 (2004).

14. Anderson, T., "The advancement of al within the welding fabrication industry and its many product design applications", *Svetsaren*, 3-5 (2000).
15. Mathers, G., "The welding of aluminium and its alloys", *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge, 35-36 (2002).
16. Welding Handbook, "Welding processes", 2 (I): *AWS*, USA, 4 (1997).
17. Bozacı, M., "Gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve uygulamadaki yeri", Y. Lisans tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 20-55 (1990).
18. Gülenç, B., Tülbentçi, K., "Gaz metal ark kaynağında metal transferi", *Kaynak Teknolojisi 1. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 65-79 (1997).
19. Tülbentçi, K., "Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MIG-MAG) kaynak parametrelerinin seçimi", *GH Kaynak Dünyası*, 3-9 (1988).
20. Okumuş, M., "Al-Ni-Si alaşımlarının hızlı katılaştırma ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi", Y. Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*, Kahramanmaraş, 30-31 (2006).
21. Saraçoğlu, E., "Alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağının incelenmesi", Bitirme Projesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, 2-3 (2007).
22. Demirci, A. H., "Mühendislik Malzemeleri Seçimi", *Aktüel Yayınları*, Bursa, 113-123 (2004).
23. Tulgar. H. E., "Demirden Gayri Metaller Metalürjisi ", *İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul, 388-389 (1987).
24. Kurtuluş O., "Alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilirliği ve değişik parametrelerin mekanik özellikler ile mikroyapı üzerine etkisi", Y. Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara , 8-9 (2001).
25. İnternet: Türk Döküm " Döküm Alüminyum"
<http://www.turkdokum.com/s-aluminyum.htm> (2009).
26. Demirci, A. H., "Mühendislik Malzemeleri ", *Aktüel Yayınları*, Bursa, 129-130 (2004).
27. İlkelen, Z., "Dünyadan Aya ", *İthaki Yayınevi*, İstanbul, 118-165 (2001).
28. Seygen, C., "Alüminyum alaşımlarının kaynağında dikkat edilecek hususlar", *Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 256-264 (2001).

29. Laiping, L. C., Shanben, L. T., “The modeling of welding pool surface reflectance of aluminum alloy pulse GTAW” , *Materials Science and Engineering*, 320–326 (2005).
30. Yıldırım, S., Beköz, N., Oktay, E., “Otomobil parçalarının gazaltı kaynağı ile birleştirilmesi”, *10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli, 1056-1061 (2004).
31. Owen, R. A., Preston, R. V., Withers, P. J., Shercliff, H. R., Webster, P. J., “Neutron and synchrotron measurements of residual strain in TIG welded aluminium alloy 2024”, *Materials Science and Engineering*, 159–167 (2003).
32. Czechowski, M., “Low-cycle fatigue of friction stir welded Al-Mg alloys”, *Journals of Materials Processing Technology*, 164–1006 (2005).
33. Kahraman N., Durgutlu, A., Gülenç, B., “Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerdeki aşınma davranışlarının incelenmesi” *1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi*, İstanbul, 1392-1399 (2005).
34. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., “Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates”, *Materials and Design*, 23: 721-725 (2002).
35. Tarng, Y. S., Tsai, H. L., Yeh, S. S., “Modeling, optimization and classification of weld quality in tungsten inert gas welding”, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 1427–1438 (1999).
36. Anık, S., “Kaynak tekniği el kitabı, yöntemler ve donanımlar”, *Gedik Holding Yayınları*, 5-45 (1991).
37. Kıratlı, N., Yetgi, S. H., İnci, M., “Gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilen 6351 alüminyum alaşımının metalurjik özelliklerinin incelenmesi”, *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 165-168 (2006).
38. Taban, E., Kaluç, E., “EN AW–5083-H321 alüminyum alaşımının MIG, TIG ve sürtünen eleman ile birleştirme (FSW) kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri”, *Mühendis ve Makina* 541, 40-51 (2005).
39. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., Taskın, M., ”An investigation into the effect of welding current on the plasma arc welding of pure titanium”, *Materials and Design*, 48 (3): 1-6 (2010).
40. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., “Al-Si alaşımının TIG kaynağında darbeli akımın mikroyapı, sertlik, eğme ve çekme dayanımına etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 11 (4): 334-339 (2008).

41. Kahraman, N., Gülenç, B., "Investigation of the coating thickness effect on the surface roughness and hardness of powder flame spraying coated specimens, **2. International Conference on Powder Metallurgy**, Napoca-Romania, 305-311 (2000).
42. Hicken, G. K., "Gas-Tungsten Arc Welding", **ASM Handbook**, 6: 190-193 (1993).
43. Doruk, İ., "Gıda sanayinde kullanılan paslanmaz çelikler ve bu çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 71-74 (2005).
44. Anık, S., Vural, M., "Gazaltı ark kaynağı", **GEV Yayını**, İstanbul, 41 (1990).
45. Kahraman, N., Gülenç, B., "Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerde kaplama tabakası ve ara yüzeyinin incelenmesi", **Makine Tasarım ve İmalat Dergisi**, 3 (4): 146-154 (2002).
46. Gözütok, E., "Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 11-16 (2009).
47. Gülenç, B., Kahraman, N., "Modern Kaynak Teknolojisi", **Epa-Mat Yayın L.T.D. Ş.T.İ.**, Ankara, 3 (2009).
48. Gülenç, B., Develi, K., Kahraman, N., Durgutlu, A., "Experimental study of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in MIG welding of austenitic stainless steel", **International Journal of Hydrogen Energy**, 30: 3-14, 1475-1481 (2005).
49. Kurt, H. İ., "TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 143-147 (2006).
50. Sindo, K., "Welding Metallurgy", **John Wiley & Sons Inc.**, New Jersey, 8-19 (2003).
51. Grant, K. H., "Gas-Tungsten arc welding", **ASM Handbook**, London, 6: 590-602 (1998).
52. Noble, D. N., "The effect of flux-coard arc welding conditions on microstructure and abrasive wear resistance of two iron-based hardfacing alloys", **Welding Institute Res. Report**, 67-93 (1986).
53. Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ., "An investigation of a stellite-6 alloy containing 5.0 wt % silicon", **Journal Of Materials Processing Technology**, 47-51 (1998).

54. Yaz, M., Çelik H., “Cr-Ni’li paslanmaz çeliğin Co esaslı süper alaşımlar ile sert yüzey kaplanabilirliğinin araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 19 (2): 225-233 (2007).
55. Antony, K. C., “Wear-resistant cobalt base alloys”, *Journal of Metals*, 35: 52-60, 45-52 (1983).
56. Subramanyam, D. K., Swansiger A. E., Avery, H. S., “Austenitic manganese steels, properties and selection irons, steels and high performance alloys”, ASM Handbook, *ASM International*, 1: 822-840 (1990).
57. Wagner, H. J., Hall, A. M., “The physical metalurgy of cobalt-base super alloys”, Defense Metals Information Center, *Batelle Memorial Institute*, Ohio, 328-332 (1962).
58. Ceylan, M., Kuzucu, V., Çelik, H., Aksoy, İ., “Microstructure and phase analyses of alüminyum alloys plus 4 % wt. Si alloy”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 241-257 (1999).
59. Gülenç, B., Candan, İ., Kahraman, N., “MIG-MAG kaynağı ile birleştirilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4): 631-637 (2006).
60. Mingxi, L., Yizhu, H., Xiaomin, Y., "Effect of nano-y₂o₃ on microstructure of laser cladding cobalt-based alloy coatings", *Applied Surface Science*, Maanshan, 120-125 (2005).
61. Çelik, H., Yaz, M., “Klinker öğütme silpepslerinin alaşım katkı oranlarına bağlı abrasif aşınma davranışlarının araştırılması”, *10. International Metallurgy and Materials Congress*, İstanbul, 893-900 (2000).
62. Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ., "Phase investigation of a cobalt base alloy containing Cr, Ni, W And C", *Journal Of Materials Processing Technology*, 137-141 (1998),
63. Zordan, R. D., “Cobalt Corporation”, *Iv Report 10890*, Kokomo, 27-39 (1982).
64. İzçiler, M., Çelik, H., “Two-anda tree-boddy abrasive wear beaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grinding balls”, *G.U. Journal of Materials Processing Technology*, 105: 237-245 (2000).
65. Çömez, E., “Kobalt esaslı elektrotlarla kaplanan malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 13-45 (2003).

66. Crook, P., Furmer, H. N., "Friction and wear of hardfacing alloys", Friction, Lubricant, and Wear Tech., *ASM International*, 18: 758-765 (1992).
67. Sahin, Y., "Tribological behaviour and wear surface analysis of metal-matrix composites", *Journal of Materials Science*, 34: 875-880 (1999).
68. Korkut, H. M., "Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınma üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 11-71 (1997).
69. Savaş, S., "PVD metodu ile TiN kaplanmış S-6-5-2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi", Y. Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 6-75 (2004).
70. Çelik, H., Çimenoglu, H., Kayalı, E. S., "Abrasive wear properties of some stellite alloys", *European Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Esda, 361-365 (1992).
71. Alwart, S., Ulrich, C. P., "Abrasive resistant hard steel surface produced by boriding", *Industrial Heating*, 47-50 (1998).
72. Bozkurt, N., "Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme", Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 23-73, (1984).
73. Er, Ü., Par, B., "Bor yayınımla yüzeyi sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin abrazif aşınma dayanımlarının incelenmesi", *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17: 1-17 (2004).
74. Şahin, Y., Murphy, S., "The effect of sliding speed and microstructure on the dry wear properties of metal matrix composites", *Wear*, 214: 98-106 (1998).
75. Kulkarni, K. M., Anand, V., "Metal powder used for hardfacing, Powder Metallurgy", *American Society for Metals Handbook*, 9 (7): 823-836 (1984).
76. Blake, A. G., "Lase Coating Techn., A Commercial Reality", *Bulletin of Quantum Laser Corporation*, 37-41 (1988).
77. Olson, D. L., "Prediction of austenitic weld metal microstructure and properties", *Weld Journal*, 64: 2185-2995 (1985).
78. Turhan, H., "Östenitik manganlı çeliğin aşınma davranışlarının araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 12-78 (1994).
79. Arabacı, U., "Supap yüzeylerinin TIG kaynak yöntemi ile kaplanması ve aşınma özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 38-61 (2009).

80. Demir, E., “Alüminyum alaşımlarda ısıtıl işlem etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 23-34 (2008).
81. İnternet: Alüminyum Material “Alüminyum Üretimi”
<http://aluminium.matter.org.uk> (2010).
82. Çöğür, T., “Toz alev spreyleme yöntemi kullanılarak kaplanan farklı malzemelerin aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 23-73 (2007).
83. Çömez, E., “Kobalt esaslı elektrotlarla kaplanan malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 13-45 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ONAR, Volkan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.02.1984 Üsküdar
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (507) 699 25 32
 e-mail : volkan.onar@hotmail.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birim	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	G.Ü. / Metal Eğitimi A.B.D.	2010
Lisans	G.Ü. / Metal Eğitimi Böl.	2007
Lise	Sabancı A.T.L Bilgisayar/ Yazılım Kocaeli	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009–2010	Gazi Üniversitesi T.E.F.	Öğrenci Asistan
2009–2010	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi (Dış. Görv.)
2008–2009	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi (Dış. Görv.)
2008–2009	Siteler M.E.M	Usta Öğretici

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Seyahat etmek, kitap okumak, bilgisayar, yeni insanlar tanımak.