

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALÜMİNYUM KILIFLI Al/B_4C ÖZLÜ KOMPOZİT SERT
DOLGU ÇUBUĞU ÜRETİMİ VE TIG KAYNAK
YÖNTEMİYLE OLUŞTURULAN YÜZEY KAPLAMANIN
KARAKTERİZASYONU**

**Tezi Hazırlayan
Muharrem Armağan ÇETİN**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Fehmi NAİR**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2020
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**ALÜMİNYUM KILIFLI Al/B_4C ÖZLÜ KOMPOZİT SERT
DOLGU ÇUBUĞU ÜRETİMİ VE TIG KAYNAK
YÖNTEMİYLE OLUŞTURULAN YÜZEY KAPLAMANIN
KARAKTERİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Tezi Hazırlayan
Muharrem Armağan ÇETİN**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Fehmi NAİR**

**Temmuz 2020
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

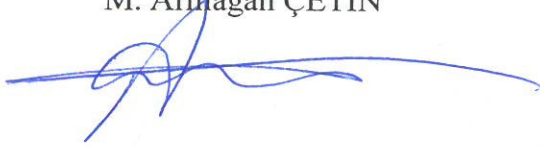
M. Armağan ÇETİN



“Alüminyum Kılıflı Al/B₄C Özlü Kompozit Sert Dolgu Çubuğu Üretimi ve TIG Kaynak Yöntemiyle Oluşturulan Yüzey Kaplamanın Karakterizasyonu” adlı Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

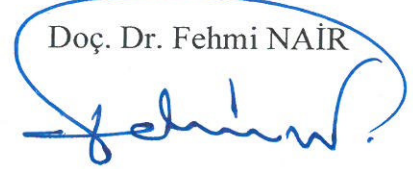
Hazırlayan

M. Armağan ÇETİN



Danışman

Doç. Dr. Fehmi NAİR



Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Doç. Dr. Fehmi NAİR danışmanlığında Muharrem Armağan ÇETİN tarafından hazırlanan “Alüminyum Kılıflı Al/B₄C Özlü Kompozit Sert Dolgu Çubuğu Üretimi ve TIG Kaynak Yöntemiyle Oluşturulan Yüzey Kaplamanın Karakterizasyonu” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

12.07.2020

JÜRİ:

Danışman : Unvan İsim SOYİSİM

Üye : Unvan İsim SOYİSİM

Üye : Unvan İsim SOYİSİM

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Alüminyum Kılıflı Al/B₄C Özlü Kompozit Sert Dolgu Çubuğu Üretimi ve TIG Kaynak Yöntemiyle Oluşturulan Yüzey Kaplamanın Karakterizasyonu” konulu tez çalışmasının seçiminde ve yapılmasında kıymetli bilgilerini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Fehmi NAİR’e, laboratuvar çalışmalarında emeği ve desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Abdullah GÖÇER’e ve hayatım boyunca maddi-manevi her türlü yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Saygılarımla...



ALÜMİNYUM KILIFLI Al/B₄C ÖZLÜ KOMPOZİT SERT DOLGU ÇUBUĞU ÜRETİMİ VE TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE OLUŞTURULAN YÜZEY KAPLAMANIN KARAKTERİZASYONU

Muharrem Armağan ÇETİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2020

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fehmi NAİR

ÖZET

Malzemelerde sert yüzey oluşturma amacını, malzemelerin iç yapısını çok değiştirmeden yüzey modifikasyon teknikleri kullanarak malzemenin çalıştığı ortama göre servis ömrünü uzatmaktır. Günümüzde bu işlem için en kolay yöntemlerden birisi kaynak işlemiyle bu özelliklerin sağlanmasıdır. Bu deneysel çalışmada saf kaynak çubukları Al2024 kütük ve Al2024 tozundan üretilmiştir. Özlü çubuklar ise belirli hacim oranlarında B₄C içermektedir. Üretilmiş kaynak çubuklarıyla Al2024-T351 plaka üzerine manuel TIG kaynağı kullanılarak yüzey dolgusu gerçekleştirilmiştir. Yüzey dolgu maddesinin malzemeye kattığı özelliklerin karşılaştırılmasında, kaynak yapılmayan levhaya göre değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmelerde eğme deneyi, darbe deneyi, mikrosertlik analizleri ve metalografik inceleme uygulanmıştır. Toz metalürjisi ile üretilen çubuklarla yapılmış yüzey dolgu kaynaklarında porozite gözlemlenmiştir. Porozite, çökeltiyle sertleştirilmiş ana malzemedeki çökeltilerin ark ısısıyla ergimesi ve ısıdan etkilenen bölgede oluşan tane irileşmesi ana malzemede yumuşamaya neden olmuştur. Ancak yüzey dolgu kaynağı uygulanmış numunelerin eğme deneylerinde, kaplamada kullanılan B₄C oranının artmasıyla dayanımın da arttığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışması dört bölüm olarak ele alınmıştır. Başlangıç bölümünde tezin amacı ve literatürlerin incelemesi sunulmuştur. İkinci bölümde, genel bilgiler anlatılmıştır. Malzeme özellikleri ve farklı B₄C hacim oranlarına sahip kaynak çubuklarının üretim yöntemleri, belirli parametrelere uygun yapılan yüzey kaplamasından üretilen numunelerle yapılan deneyler üçüncü bölümde verilmiştir. Tez çalışması ile elde edilen sonuçlar ve sonuçlara ilişkin yorumlar dördüncü bölümde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Özlü kaynak elektrodu, mikro sertlik, kaynak mikroyapısı, darbe dayanımı, TIG kaynağı, yüzey sertleştirme

**FABRICATION OF AL SHEATHED AL/ B₄C CORED COMPOSITE HARD
FILLER ROD AND CHARACTERIZATION OF THE SURFACE COATING BY
APPLIED TIG WELDING
Muharrem Armağan ÇETİN**

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences M.Sc.

Thesis, July 2020

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Fehmi NAİR

ABSTRACT

The purpose of creating hardfacing on materials is to extend the service life of the material according to the environment in which the material works without using much modification of the internal structure of the materials. Today, one of the easiest methods for this process is to provide these features by welding process. In the experimental study, pure welding rods are produced from Al2024 billet and Al2024 powder. Cored rods, on the other hand, contain B₄C in certain volume ratios. Subsequently, surface fillings were performed on the Al2024-T351 plate with the produced welding rods using manual TIG welding. In the comparison of the properties added by the surface filler to the material, evaluations were made based on the plate which was not welded. The results were analyzed using bending test, metallographic examination, impact test and hardness tests. Porosity has been observed in surface filler welds made with filler rods produced by powder metallurgy. Porosity, melting of the sediments in the base material with the arc heat and the grain coarsening in the heat affected zone caused softening in the base material. However, in the bending tests of the samples with surface filler welding, it was observed that the strength increased with the increase of the B₄C ratio used in the coating.

This thesis study is discussed in four parts. In the initial section, the purpose of the thesis and the review of the literature are presented. In the second section, general information is explained. The material properties and production methods of welding rods with different B₄C volume ratios, the experiments made with the samples produced from the surface coating made according to certain parameters are given in the third section. The results obtained with the thesis study and the comments on the results are presented in the fourth section.

Keywords: Cored welding electrode, micro hardness, welding microstructure, impact strength, TIG welding, surface hardening

İÇİNDEKİLER

ALÜMİNYUM KILIFLI Al/B_4C ÖZLÜ KOMPOZİT SERT DOLGU ÇUBUĞU ÜRETİMİ VE TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE OLUŞTURULAN YÜZEY KAPLAMANIN KARAKTERİZASYONU

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

İKİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Sert Dolgu Kaynağı	12
2.1.1. Doldurma Kaynağı.....	13

2.1.2. Tampon Paso	13
2.1.3 Sert Dolgu.....	14
2.2 Sert Dolgu Kaynağının Uygulama Alanları.....	15
2.3. Sert Dolgu Kaynağı Malzemeleri.....	17
2.4. Sert Dolgu Kaynağında Yöntem Seçimi.....	19
2.5. Sert Dolgu Kaynağında Kullanılan Yöntemler	21
2.5.1. Oksi-Asetilen Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı.....	22
2.5.2. Tozaltı Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı	24
2.5.3. Elektrocüruf Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı.....	25
2.5.4. Lazer Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı	27
2.5.5. Elektron Işın Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı	28
2.5.6. Plazma Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı.....	29
2.5.7. Örtülü Elektrot Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı.....	31
2.5.8. MIG/MAG Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı.....	33
2.5.9. Özlü Elektrot Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı	36
2.5.10. TIG Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı.....	39
2.5.10.1. TIG Kaynağı Parametreleri	41
2.6. Alüminyum Malzeme Özellikleri.....	50
2.7. Alüminyumun Kaynaklanabilirliği.....	55
2.7.1. Kaynaktaki Çatlak Hassasiyeti	56
2.7.2 Porozite.....	58
2.7.3. Isıdan Etkilenen Bölgedeki Bozulma.....	60
2.7.4. Isı Girdisinin Isıdan Etkilenen Bölge Üzerindeki Etkisi	61
2.7.5. Kaynak Sonrası Isıl İşlem ve Isıdan Etkilenen Bölge	62
2.7.6. Alüminyum Alaşımlarındaki Kaynakların Mukavemeti ve Sünekliği.....	63
2.7.7. Kaynakların Korozyon Direnci.....	65

2.7.8. Diğer Bağlantı Karakteristikleri.....	65
--	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL ve DENEYSEL ÇALIŞMA METODU

3.1. Çalışmanın Amacı	67
3.2. Al2024 Malzeme Özellikleri.....	68
3.3. Al2124 Malzeme Özellikleri.....	69
3.4. B ₄ C Malzeme Özellikleri	70
3.5. Kaynak Çubuklarının Üretimi.....	71
3.6. Kaynak Parametreleri ve Kaynak İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi	79
3.7. Deney Numunelerin Hazırlanması	83
3.8. Darbe Deneyi.....	84
3.9. Eğme Deneyi	87
3.10. Sertlik Deneyi.....	90
3.11. Metalografik İnceleme	91

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇLAR ve GENEL TARTIŞMA

4.1. Darbe Deneyi Sonuçları.....	93
4.2. Eğme Deneyi Sonuçları	94
4.3. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	96
4.4. Metalografik İnceleme Sonuçları	97
4.4.1. Kaynaksız Al2024-T351 plakanın iç yapı görüntüsü.....	97
4.4.2. Üretilmiş Dolgu Çubuklarının İç Yapı Görüntüleri.....	98

4.4.3. Al ₂ O ₃ Kütükten Üretilmiş Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı	100
4.4.4. Al ₂ O ₃ Tozdan Üretilmiş Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı	102
4.4.5. Al-Al ₂ O ₃ (5) Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı.....	103
4.4.6. Al-Al ₂ O ₃ (10) Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı.....	105
4.4.7. Al-Al ₂ O ₃ (15) Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı.....	107
GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	110
KAYNAKÇA.....	113
EKLER.....	120
ÖZGEÇMİŞ	121

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.	Değişik alaşım grupları için dolgu metali tipleri.....	18
Tablo 2.2.	Dolgu kaynağında kullanılan yöntemle bağlı olarak değişen bazı değerler	21
Tablo 2.3.	TS EN 439'a göre koruyucu gazların özellikleri.	43
Tablo 2.4.	TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi	48
Tablo 3.1.	Al2024 alaşımının çeşitli ısıtılma koşullarındaki mekanik özellikleri. ..	68
Tablo 3.2.	Al2024-T351 malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri.	69
Tablo 3.3.	Al2124'ün kimyasal içeriği (ağırlıkça %).	70
Tablo 3.4.	Bor karbürün fiziksel özellikleri.	71
Tablo 3.5.	Çalışmada kullanılacak tozların toz boyutları.....	74
Tablo 3.6.	Dolgu çubuklarının malzemeleri, kısa gösterimleri ve üretim yöntemleri	74
Tablo 3.7.	Al-Al/ B ₄ C(5) dolgu çubuğunun hacim oranı tablosu.....	75
Tablo 3.8.	Al-Al/ B ₄ C(10) dolgu çubuğunun hacim oranı tablosu.....	75
Tablo 3.9.	Al-Al/ B ₄ C(15) dolgu çubuğunun hacim oranı tablosu.....	75
Tablo 3.10.	Yarı mamul dolgu çubuklarının redüksiyon oran değerleri.....	79
Tablo 3.11.	TIG kaynağı işlem parametreleri	81
Tablo 3.12.	Çentik darbe cihazının teknik özellikleri ve deney parametreleri.....	91
Tablo 3.13.	Kullanılan modifiye dağıtıcılar.....	92

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dolgu kaynağı.	13
Şekil 2.2. Tek pasolu sert dolgu işlemi.....	15
Şekil 2.3. Çok pasolu sert dolgu işlemi.	15
Şekil 2.4. Sert dolgu kaynağı uygulanmış makine parçalarının resimleri.....	17
Şekil 2.5. Oksi-asetilen kaynağıyla sert dolgu işlemi	22
Şekil 2.6. Toz altı bant kaplama kaynağı.....	24
Şekil 2.7. Elektrocüruf kaynağıyla kaplama yöntemi.	26
Şekil 2.8. Lazer kaynağı prensibi.....	27
Şekil 2.9. Elektron ışın kaynağı sistemi	28
Şekil 2.10. Plazma kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemi	30
Şekil 2.11. Taşınan ark ve taşınmayan ark	30
Şekil 2.12. Örtülü elektrot kaynağı yöntemi ile sert dolgu kaynağı	32
Şekil 2.13. (a)Uzun ark ve (b) sprej ark geçişi gösterimi.....	34
Şekil 2.14. Kısa ark oluşumu gösterimi	34
Şekil 2.15. Kendinden korumalı özlü elektrot ark kaynağı	36
Şekil 2.16. Özlü elektrotla ark kaynağı	37
Şekil 2.17. TIG kaynağı işleminin şematik gösterimi.....	41
Şekil 2.18. TIG kaynak yönteminde malzeme kalınlığına bağlı olarak kullanılan akım değerleri	42
Şekil 2.19. Argon tüketiminin parça kalınlığı ve gaz memesine bağlı tüketim oranları.....	44
Şekil 2.20. Tavsiye edilen elektrot şekli ve elektrot ucunun aynı akımda dikiş formuna etkisi	46
Şekil 2. 21. a) Elle ark kaynağı ve TIG kaynağı için, b) MIG/MAG kaynakları için kaynak akım üretici karakteristik diyagramı	47

Şekil 2.22. Al-Cu faz diyagramı ve Al %4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökelme sertleşmesi safhalarında mikroyapı değişimleri	54
Şekil 2.23. Isıl işlemle sertleştirilebilen alaşımların sıcaklıkla yumuşama diyagramı. (a)Isıdan etkilenmiş bölgedeki termal dönüşümler, (b) kaynaktan hemen sonra ve kaynak sonrası yaşlandırmadan sonra ısıdan etkilenmiş bölgedeki sertlik.....	56
Şekil 2.24. Çeşitli ikili alüminyum sistemler için bağıl çatlak hassasiyeti	57
Şekil 2.25. Saf alüminyum içerisindeki hidrojen çözünürlüğü.....	58
Şekil 2.26. Aynı sabit ısı girişi uygulanan değişik alüminyum alaşımlarının kaynak bölgesine uzaklık-sertlik profili.....	60
Şekil 2.27. Alüminyum bakır sistemi için parçalı faz diyagramı	61
Şekil 2.28. Aynı malzeme için TIG kaynağında değişken ısı girdileri kullanılmasıyla oluşan sertlik- kaynak bölgesine uzaklık profili.....	62
Şekil 2.29. 6061-T4 ve T6 malzeme için ısıdan etkilenmiş bölgede kaynak sonrası ve kaynak sonrası yaşlandırma uygulandığında sertlik profili.....	63
Şekil 2.30. Çeşitli alaşımlarda alternatif akımlı TIG kaynağındaki mukavemet- kaynak bölgesi uzaklığı profilleri	64
Şekil 3.1. Özlü kaynak çubuğu üretiminin şematik gösterimi	72
Şekil 3.2. Al2024 kılıf olarak kullanılmış billetin teknik resmi	72
Şekil 3.3. Billet, sıkıştırma zımbası ve sabitleme pulu	73
Şekil 3.4. Turbula 3 boyutlu karıştırıcı.....	76
Şekil 3.5. İçine toz sıkıştırılmış billet.....	76
Şekil 3. 6. Isıtıcı kovan.....	77
Şekil 3.7. Hidrolik pres ve ekstrüzyonu gerçekleştirilmiş yarı mamul kaynak çubuğu....	78
Şekil 3.8. Miller Syncrowave 351 marka TIG kaynak makinesi.	80
Şekil 3.9. Temizleme banyoları.	81
Şekil 3.10. Kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesi.	82
Şekil 3.11. Yüzey dolgusu yapılmış plaka.	82

Şekil 3.12. Dolgu kaynağı yapılmış malzemelerin yüzeyinin silinmesi	83
Şekil 3.13. a) Al-Al/ B ₄ C(5), b) Al-Al/ B ₄ C(10), c) Al-Al/ B ₄ C(15) dolgu çubuklarıyla yüzey dolgusu yapılmış test numunelerinin görüntüsü.....	84
Şekil 3.14. a) Al(T) çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış, b) kaynaklı altlık plakası, c) Al kaynak çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış test numuneleri görüntüsü.....	84
Şekil 3.15. Şematik darbe testi ve deney hesaplamalarında kullanılan ilgili parametreler.....	85
Şekil 3.16. Alşa marka darbe deneyi test cihazı.	86
Şekil 3.17. MTS 50KN eğme deneyi cihazı.	88
Şekil 3.18. Şematik eğme testi ve hesaplamalarda kullanılan ilgili parametreler	89
Şekil 3.19. Eğme deneyi uygulanmış numune görüntüsü.	89
Şekil 3.20. Struers Duramin mikrosertlik ölçüm cihazı.	90
Şekil 4.1. Test numunelerinin kırılma tokluğu grafiği.....	93
Şekil 4.2. Kaynaklı altlık plakasının gerilme-sehim diyagramı	94
Şekil 4.3. Yüzey dolgusu yapılmış numunelerin gerilme-sehim diyagramı.....	95
Şekil 4.4. Altlık plakası ve yüzey dolgu kaynaklı numunelerin maksimum gerilme grafiği.	96
Şekil 4.5. Kaynaklı numunelerin mikrosertlik grafiği.....	96
Şekil 4.6. Al2024-T351 altlık malzemesi iç yapı görüntüsü.	98
Şekil 4.7. a) Al2024 kütükten üretilmiş dolgu çubuğu (Al), b) Al2024 tozdan üretilmiş dolgu çubuğu (Al(T)) iç yapısı.	99
Şekil 4.8. a) Al-Al/B ₄ C(5), b) Al-Al/B ₄ C(10), c)Al-Al/B ₄ C(10) dolgu çubuklarının iç yapı görüntüleri.....	100
Şekil 4.9. Al dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve ısıdan etkilenmiş bölgenin iç yapı görüntüsü..	100
Şekil 4.10. Al dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü.....	101

Şekil 4.11. Al(T) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü	100
Şekil 4.12. Al(T) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının alt bölgelerinin iç yapı görüntüsü.....	103
Şekil 4.13. Al-Al/B ₄ C(5) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının iç yapı görüntüsü	104
Şekil 4.14. Al-Al/B ₄ C(5) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü	105
Şekil 4.15. Al-Al/B ₄ C(10) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaynak altı bölgelerin iç yapı görüntüsü	106
Şekil 4.16. Al-Al/B ₄ C(10) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve IEB'nin iç yapı görüntüsü	
Şekil 4.17. Al-Al/B ₄ C(15) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve IEB'nin iç yapı görüntüsü.....	108
Şekil 4.18. Al-Al/B ₄ C(15) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü	109

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif Akım
Al	: Alüminyum
Al2024	: 2024 Alüminyum Alaşımı
Al2124	: 2124 Alüminyum Alaşımı
Al ₂ O ₃	: Alümina
AlN	: Alüminyum Nitrür
B ₄ C	: Bor Karbür
BN	: Bor Nitrür
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
DC	: Doğru Akım
DCEN	: Doğru Akım Elektrot Negatif Kutuplanmış
DCEP	: Doğru Akım Elektrot Pozitif Kutuplanmış
Fe	: Demir
HB	: Brinell Sertlik Değeri
HF	: Hidroflorik Asit
HNO ₃	: Nitrik Asit
HV	: Vickers Sertlik Değeri
I	: Kaynak Akım Değeri
IEB	: Isıdan Etkilenen Bölge
J	: Joule
Li	: Lityum
MAG	: Metal Active Gas

Mg	: Magnezyum
MIG	: Metal İnert Gas
Mn	: Mangan
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Ni	: Nikel
PIT	: Powder in Tube(tüp içinde toz tekniği)
Si	: Silisyum
TIG	: Tungsten Inert Gas
Ti	: Titanyum
TiC	: Titanyum Karbür
TM	: Toz metalürjisi
V	: Kaynak Gerilim Değeri
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
µm	: Mikrometre

GİRİŞ

İmalat sanayisinde kullanılan yeni teknolojiler, yaygın olarak kullanılan malzemeler (metaller, polimerler, seramikler) tarafından sağlanamayan daha üst seviye dayanım değerlerine ihtiyaç duyarlar. Özellikle uzay, havacılık, sualtı ve taşımacılık gibi sektörler bu tarz yüksek dayanım gösteren malzemeler üzerine yoğunlaşmışlardır. Malzeme üzerine çalışan bilim insanları daha düşük yoğunluklu, ancak buna rağmen aşınmaya, kimyasal etkilere, darbelere karşı daha dayanıklı malzemeler üretmeye odaklanmışlardır. Bilimsel araştırmalar, malzemelerin istenilen özelliklerini (mekanik, kimyasal, fiziksel, vb.) ve performans değerlerini geliştirmeye yönelik olarak devam etmektedir. Bu tür mekanik, kimyasal ve fiziksel malzeme özelliklerindeki önemli gelişmeler geleneksel mekanik, termal ve termomekanik işleme teknikleri ve kimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte alışlagelmiş tekniklerle üretilen malzemelerden dayanımı ve tokluğu yüksek, yoğunluğu düşük malzemelerin gereksinimi, ileri malzemelerin tasarımına ve geliştirilmesine yol açmıştır.

Günümüz endüstriyel malzemelerinde aranan önemli özellikler; hafiflik, yüksek mukavemet ve düşük maliyettir. Malzemelere çeşitli ısıt işlemler uygulanarak bazı dayanım değerleri arttırılabilirse bile aşınma dayanımı, kırılma tokluğu, darbe dayanımı gibi istenilen bütün değerlerin ısıt işleme sağlanması mümkün değildir. Bu gibi amaçlarla kompozit malzeme adı verilen hibrit malzeme kombinasyonları günümüzde sıkça kullanılmaktadır [1].

Katı malzemeler üç temel sınıfa ayrılabilir bunlar; metaller, seramikler ve polimerlerdir. Kompozit malzemeler, yukarıdaki üç temel malzeme sınıfının iki veya daha fazlasının kombinasyonu ile bir araya gelmesinden oluşan yeni malzemelerdir. Yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılan malzemeler ise başka bir sınıf oluşturmaktadır. Bunlar; yarı iletkenler, biyomalzemeler, akıllı malzemeler ve nano-mühendislik malzemeleridir [2].

Günümüz endüstrisinde ise alüminyum ve alüminyum alaşımları hafifliklerinin yanında sağlamlığı ve kolay şekillendirilebilme özellikleri sayesinde endüstriyel olarak en çok kullanılan metallerden biri olmuştur. Bu alaşımlar içerisinde 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının bilhassa havacılık ve savunma sanayisinde önemi ve kullanım alanları hızla artış göstermiştir.

Alüminyumun bu sektörlerde yaygın kullanımı ile devam eden ve artan talep, açıkça tanımlanmış fonksiyonel özelliklere sahip alüminyum alaşımları üretmek için sebep olmuştur. Bunlar içerisinde, alüminyumdan üretilmiş ürünler için yüzey modifikasyon tekniklerine özel ilgi gösterilmiştir. Örneğin aşınma direnci sağlama için sert alümit işlemi ve kaplama gibi sert yüzey tabakaları oluşturma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tabakaların kalınlıkları birkaç μm 'den birkaç mm'ye kadar değişebilmektedir. Geçtiğimiz yıllarda, TIG kaynağı yönteminde kullanılmak üzere kaynak dolgu çubuğu olarak alüminyum sert dolgu kaynak malzemeleri geliştirilmiştir. Bu malzemelerin uygulanmaya başlanmasıyla yüksek yüzey sertlik değerleri elde edilmiş ve buna bağlı olarak alüminyum ürünlerinin yüzey modifikasyonu için sertleştirici kaynak malzemesi olarak tüketim miktarlarında artış gözlemlenmektedir. Çok çeşitli metotlar barındıran bir işlem olan yüzey sertleştirme işlemi, parçanın daha yumuşak olan iç kısmını etkilemeden parçaların özellikle aşınma, darbe direncini arttırmak için kullanılır [3].

Yüzey mühendisliği terimi, bir malzeme yüzeyinin belirli özelliklerinin, alt katman tabakasından bağımsız olarak geliştirilmesi işlemidir. Bu geliştirmeler; görsel, dokunsal özellikler, optik özellikler, ıslatılabilirlik, korozyon direnci veya tribolojik davranış gibi çok çeşitli alanlarda uygulanabilir. Tribolojik uygulamalar için yüzey mühendisliğinin kullanımında iki ortak amaç vardır: bileşenin aşınma direncini veya hasar direncini arttırmak ve sürtünme davranışını değiştirmek. Bazı durumlarda, her ikisi de birlikte elde edilir. Bir bileşenin yüzey mühendisliği üç temel gruba ayrılabilir.

- Birinci yüzey mühendisliği grubu, malzeme bileşiminde bir değişikliğe neden olmadan yüzeyde değişiklik sağlayan yöntemlerdir (dönüşüm sertleştirme ve yüzey eritme gibi) bir bileşimde değişiklik olmadan mevcut yüzeyi bir şekilde modifiye eden işlemlerden oluşur.
- İkinci grupta ise yüzey bileşiminde bir değişiklik vasıtasıyla yüzey

modifikasyonu elde edilir. Katı bir çözelti oluşturarak veya kafesin bozulmasıyla mevcut kristal yapısını değiştirebilir veya dönüşüm davranışında değişikliklere neden olabilir (örn. karbürleme). Bununla birlikte, malzeme reaksiyona sokularak farklı yeni fazların oluşumuyla da yüzey modifikasyonu gerçekleştirilebilir. Bazı durumlarda, yüzey mühendisliği yapılan katman, bu yeni fazlardan bir matris içindeki çökelti formunda (örn. çeliğin nitrürlenmesiyle oluşan alüminyum veya vanadyum nitrürler), yeni fazların oluşumuyla ayrı bir katman oluşturur. Ancak bu reaksiyon katmanı, normal olarak bir kaplama değil malzemenin kendisinden türemiş bir katmandır. Substrat ve reaksiyon katmanı arasındaki sınır normalde gerçek bir kaplama ile substrat arasındaki sınırdan daha dağınıktır ve bağlanma mukavemeti normalde daha yüksektir. Eloksallama (içinde bir alüminyum alaşım üzerinde bir alümina tabakasının oluşturulduğu) ve boronize etme (burada demir, titanyum veya kobalt bazlı alaşımlar üzerinde borid tabakaları oluşturulabilir) bu tür işlemlere örnektir.

- Üçüncü grup ise malzeme yüzeyine başka bir malzemenin uygulanmasıyla (kaplama uygulanmasıyla) gerçekleştirilir. Boyama, sert yüzey dolgu kaynağı, elektrokaplama ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri bu gruptaki işlemlere örnektir [4].

Kaynakla sert yüzey kaplama, daha fazla arzu edilen aşınma özellikleri ve / veya boyutlar elde etmek için çeşitli kaynak işlemleriyle metalik bir parça üzerinde özel bir alaşımlı malzemenin biriktirilmesidir. Yüzeyi sertleştirilmiş parça; ekonomik bir ana metal ve kritik kullanma ortamlarında servis ömrünü uzatacak pahalı özel kaplama ile birleştirilmiş kompozit malzeme olarak düşünülebilir [5].

Bu sert yüzey oluşturma; lehimleme yoluyla, metal püskürtme teknikleriyle veya ergitme kaynağı tekniklerinin herhangi biriyle tek veya çok katmanlı olacak şekilde gerçekleştirilebilir. Eğer tamir veya eksik olan malzemenin tamamlanması isteniyorsa tamiri gerçekleştirilecek ana malzemeye benzer özellikte bir dolgu malzemesi seçilir. Ana malzemeye farklı özellikler kazandırılması isteniyorsa değişik özellikler barındıran malzemelerle kaynak yapılır. Genellikle ana malzemeye kazandırılmak istenen özellikler şunlardır:

- Sertlik
- Sıcak haldeki sertlik
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Korozyona dayanıklılık,
- Sıcak halde oksidasyona dayanıklılık,
- Darbelere dayanıklılık [6].

Geleneksel kaynak işlemlerinin çoğu, mühendislik uygulamalarında belirli koşullar çerçevesinde yüzey sertleştirme işlemlerinde kullanılabilir. Bu işlemler iki geniş ana başlıkta irdelenebilir. Ark işlemleri

- Elektrik ark kaynağı
- Tungsten inert gaz kaynağı (TIG)
- Plazma ark kaynağı
- Gaz altı (MIG/MAG) kaynağı
- Özlü ark kaynağı
- Tozaltı ark kaynağı,

ve aşağıdaki ark enerjisinden bağımsız diğer işlemler

- Oksi-asetilen kaynağı
- Toz kaynağı
- Lazer kaplama
- Elektrocüruf kaynağı
- Direnç kaynağı
- Sürtünme yüzeyi
- Patlayıcı kaplama yollarıyla gerçekleştirilebilmektedir [6].

Günümüzde herhangi bir metal parçanın sert yüzey kaplamasında kullanılabilecek çok sayıda yüzey kaplama alaşımları kullanılmaktadır. Bu alaşımlardan bazılarının kendisi yüksek sertlik değerleri verirken, bazıları aşınma özelliklerini arttıracak parçacık takviyelidir. Bu takviye elemanları metal içinde dağılmış şekilde bulunur. Bazı alaşımların kendisi çok sertken, diğerleri ise tümüyle dağılmış sert, aşınmaya dirençli parçacıklara sahiptir [7].

Yakın zamana kadar, demir ve demirdışı alaşımların yüzey modifikasyonu işlemlerinde, karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme veya kromlama gibi difüzyon kontrollü sertleştirme işlemlerine dayanan lokal bölgelerde sertleştirmeye yarayan ısıtma işlem yöntemleri kullanılmıştır. Çelik malzemelerde sertliği ve aşınma direncini artırıcı faz dönüşümü mekanizmaları (martensit veya beynit oluşturma) tokluk ve süneklikte düşüşe neden olarak gerçekleştirilebilir. Başka bir yöntem olan kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD veya PVD) elde edilen düşük kalınlık nedeniyle (2-3µm) yüksek sıcaklık ve aşınma ihtimali bulunan ortamlarda kullanım için çok ince kaplama kalınlığı sunar. Bu tarz ince kaplamalar, darbeli yüklemeler sırasında kaplama arayüzü boyunca delaminasyon nedeniyle başarısız olur. Bu durumda, yüzey eritme ve seramik malzemelerin yüzeye yakın bölgesine eklenmesi ile sert bir kompozit tabakanın oluşturulması, malzemelerin özelliklerini koruyarak istenilen dayanımı sağlaması konusunda yardımcı olacaktır [8].

Sert yüzey dolgu kaynaklarında TIG kaynak yönteminin kullanılması, kolay uygulanan bir yöntem oluşu ve ekonomikliği ile avantaj sağlamaktadır. Ayrıca TIG kaynak yöntemi ile kaynak hatalarının engellenmesi sağlanabilir. Sert dolgu kaynağıyla elde edilen mikroyapıların korozyon ve aşınma dirençleri, diğer yüzey modifikasyonlarına göre daha iyi sonuçlar verebilmektedir [9].

Özlü kaynak çubukları bir tür çıplak elektrottur. Bu kaynak çubuklarının içinde kaynak metalini alaşımlandırarak istenilen özellikleri sağlarken ve arkın kararlı bir şekilde tutuşmasına yardım eden bir madde bulunur. Bu madde öz olarak adlandırılır. Bu çubukların kullanıldığı kaynaklarda koruyucu gaz atmosferi sayesinde havanın kaynak metaline olumsuz etkileri daha az seviyededir. Bazı özlü çubuk elektrotlar sadece yüzey sertleştirme işlemleri için üretilmişlerdir [10].

Kaynak için gerekli malzeme seçildikten sonra kaynak işlemini gerçekleştirmek için malzemenin ısıtma iletkenliğinin, kimyasal ve termofiziksel özelliklerinin (yani yoğunluk, termal iletkenlik, özgül ısı, termal genleşme katsayısı, gizli ısı, vb.) bilinmesi gerekir. TIG kaynağı işleminden önce, kaynaklanacak yüzeyden tüm pas, gres, kir, yağ, boya ve diğer kontaminasyonlar giderilmelidir. Kaynak penetrasyonu ayrıca ark uzunluğuna ve elektrot durumuna, kaynak akım kutuplanma şekline, ilerleme hızına, torç açısına ve koruyucu asal gaz koruma alanına da bağlıdır [11].

Bu çalışmada, kılıflı kaynak çubuklarının üretiminde tüp içinde toz (PIT) tekniği kullanılmıştır. Bu tekniğe göre Al2024 serisi alüminyum çubuk kılıf malzemesi olarak kullanılmış içine öz oluşturma için 24-30 µm boyutlu Al2124 tozu ve ağırlıkça %5, %10, %15 oranlarında 8-32 µm boyutlu B₄C tozu kullanılmıştır. Bunlardan ayrı olarak Al2024 kütükten ve 40-50 µm boyutlu Al2024 tozdan da toz metalürjisi (TM) ile üretilen yarı mamulden de kaynak çubuklarının üretimi ekstrüzyon yolu ile gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon işleminden sonra yarı mamullerin çapları haddeme yoluyla azaltılmıştır. Üretilen bu kaynak çubukları manuel TIG kaynağı yöntemiyle Al2024 malzeme üzerine kaynak yapılmıştır. Kaynak yöntemi olarak TIG kaynağı seçilmesinin nedeni alüminyum üzerindeki oksit tabakasının parçalanmasını kolaylaştırmak ve diğer kaynak yöntemlerine göre daha iyi kaynak kalitesi almaktır. Bu gibi ön hazırlıklar yapıldıktan sonra üretilen Al/B₄C özlü kaynak çubuğuyla TIG kaynağı işlemiyle alüminyum malzeme yüzeyinde bir Al/B₄C metal matrisli kompozit sert katman oluşumu sağlanacaktır. Ancak incelenmiş olan literatür çalışması ışığında 2XXX serisi alüminyum malzemenin yaşlandırma ile sertleştirildiği düşünüldüğünde kaynak işlemindeki ısı girdisinin malzeme iç yapısında tane büyümesi ve oluşturulan çökeltileri tekrar eriteceği için mukavemet kaybı yaşatması beklenmektedir. Bir diğer beklenen sonuç ise malzemede yüzeyindeki B₄C oranı arttıkça malzeme yüzeyinde sertliğin buna bağlı olarak artabileceğidir. Oluşturulmuş olan bu sert yüzeyin mekanik özelliklere etkisi;

- Metalografik inceleme
- Eğme
- Çentik darbe
- Sertlik taraması

testleri yardımıyla incelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemeler ve sert dolgu kaynağı ile ilgili Ulusal ve Uluslararası boyutta yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Fatih Toptan alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemeler üzerine yapmış olduğu çalışmada; kompozit malzemede B₄C partikül takviyesinin hacim oranı parametresinin sürtünme katsayısı değerleri için en etkili faktör olduğu; yük parametresinin ise aşınma hızı değerleri için en etkili faktör olduğu belirlemiştir. Aşınma yüzeylerinin mikroyapısal karakterizasyonu sonucunda aşınma mekanizmasının adhesiv, abrasiv ve tabakalı aşınmanın bir kombinasyonu olduğu belirlemiştir [12].

Niyazi Yılmaz Çolak, Hüseyin Turhan yapmış oldukları çalışmada ise alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemeler üretmiş. Kompozit malzemede ağırlıkça B₄C oranı arttıkça sertliğin de arttığını göstermişlerdir [13].

Yusuf Şahin ve Y. Emre Öksüz yapmış olduğu çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile üretilen ağırlıkça %20 SiC partikülü içeren Al₂O₃ matrisli kompozitin sertlik değerlerinin yaklaşık 2 katına çıktığını (44,2 HRB'den 87 HRB'ne) gözlemlemiştir [14].

Ying Wei ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada plazma ark kaynağı ile yüzey sertleştirme işleminde kaynak akım şiddeti yükseltildikçe artan ısı girdisine bağlı olarak tungsten karbürlerin de bozulduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca toz besleme hızı ve kaynak hızının elde edilen kaplama kalınlığının üzerinde ciddi bir etkisi olduğu belirtilmiştir [15].

R. Cervay yapmış olduğu çalışmada Al₂O₃-T851 alüminyum alaşımının test sıcaklığına

bağlı olarak mukavemet, tokluk ve döngüsel yüklemde çatlak büyüme oranındaki değişiklikleri incelemiştir. Malzemenin sıcaklığı oda sıcaklığından daha yüksek değerlere çıkarıldıkça, çekme mukavemetinde, kırılma tokluğunda kayıplar yaşanmış ve döngüsel çatlak büyüme hızının ciddi miktarda arttığı belirlenmiştir [16].

Sweta Saroj ve arkadaşları TiC-Inconel825 kompozit kaynak çubuğuyla AISI 304 çeliği üzerine TIG kaynağıyla sert yüzey oluşumu sağlamış. TiC konsantrasyonu, tabaka kalınlığı ve kaynak akımı, kaplamanın mikro yapısı ve mekanik performansı üzerinde önemli bir etki göstermiştir. Uyguladıkları kaplamanın mikro sertlik değeri 1100 HV'ye ulaşırken aşınma değerleri oluşturulan sert yüzeyde yedi kat azalmıştır [17].

V. Balasubramanian ve arkadaşları ana metalin sert yüzey dolgu metaline karışarak mekanik özelliklerini düşürmesi üzerine yaptığı çalışmada; sert dolgu kaynaklarında istenilen özelliklerin sağlanmasında ana metalin dolgu metaline karışma oranının çok etkili olduğunu vurgulamıştır. Çünkü karışma oranı düşük olduğunda, nihai sert dolgu bileşimi dolgu metalininkine daha yakın olacak ve sert dolgu malzemesinin aşınma ve korozyon direnci de korunacaktır. Bu karışma oranını; ilerleme hızı, kaynak akımı, toz besleme hızı, salınım frekansı ve durma mesafesinden etkilenir. Karışma oranına bu parametrelerden en çok etki edeni ilerleme hızıyken en az etkili olanının toz besleme hızı olduğunu belirtmiştir [18].

Shivank A. Tyagi ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada TIG kaynağı kullanarak ve alümina parçacıklarının matrise takviye edilerek alüminyum alaşımının yüzeyi üzerinde sert bir tabaka oluşturma yönteminin, arttırılmış sertlik ve yüzey aşınma direncinin elde edilmesi için başarılı olduğunu bulmuştur. Oluşturulan sert yüzey tabakasının sertliğinin, baz alüminyum alaşımına kıyasla %30-40 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Bu iyileşme, tane incilmesi ve baz metal içine alümina partiküllerinin dispersiyonla homojen dağılım sağlanmasına bağlanmıştır. Bu çalışmada kaynak parametrelerinin sert yüzeyli tabakanın sertliği üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Buna göre kaynak akımının artması ve kaynak hızının azalması, daha yüksek ısı girdisi ve daha kalın tane yapısı nedeniyle ısıdan etkilenen bölgede sertliğin azalmasına neden olmuştur [19].

D Tijo ve Manoj Masanta yapmış olduğu çalışmada Ti-6Al-4V alaşımı üzerine TIG kaynağıyla yapılan yüzey sertleştirme işleminde kaplamada kullanılan B₄C oranı arttırıldıkça kaynak akımının arttırılması gerektiğini belirlemişlerdir. Gözlemlenmiş

olan başka bir sonuç ise kaplamanın B_4C oranı arttıkça sertliğin ve aşınma direncinin arttığı olmuştur [20].

Jasbir Singh ve arkadaşları AISI 304 çeliği yüzeyine WC-10Co-4Cr toz karışımını yaymış ve TIG kaynağı yardımıyla sert yüzey oluşumunu sağlamışlardır. Sertliğin ve aşınma direncindeki artışın CoCr matrisinde takviye edilmiş kısmen erimiş WC taneleri sayesinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Değişken kaynak hızı ve akım değerinin mikroyapıyı değiştirdiği ve düşük ısı girdisi uygulanmış numune kaplamalarında aşınmanın daha az olduğu sonucuna varılmıştır [21].

G. Gontarz ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada önce S235JR çelik ana malzeme üzerine alüminyumun termal püskürtme yöntemiyle kaplamış daha sonra TIG kaynağı uygulayarak bu kaplamayı eriterek sert yüzey elde etmişlerdir. Oluşturulan Fe-Al intermetalik sert yüzey kaplamasının kalınlığı artırılmasıyla malzeme üzerine uygulanan ısı girdisi arttığından dolayı kaynak işleminden sonra oluşan kalıntı gerilmeler artış göstermiştir [22].

Qing Yu Hou ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada düşük karbonlu çelik üstüne plazma ark kaynağı ile nikel bazlı sert yüzey kaplaması uygulamıştır. Uygulanan kaplamalardan ağırlıkça %0,8 oranında alümina (Al_2O_3) eklenen kaplamalar ağırlık azalmasına karşın alumina katılmamış olan kaplamaya karşın daha yüksek aşınma direnci sergilemiştir [23].

Ji-kun Ding ve arkadaşları AA2219 alüminyum alaşımı malzemelerin TIG kaynağı uygulandığındaki mekanik davranışlarını gözlemlemiş ve kaynak sonrası ısıtıl işlemin (PWHT) kaynaklı parçaların çekme mukavemeti, mikroyapı ve yorulma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. TIG kaynak işlemi, alternatif akım kullanarak iş parçası üzerindeki oksit temizleme ihtiyacını karşılayabildiği ve tungsten elektrot sarfının olmaması yüzünden tercih edilmiştir. Kaynaklanan örnekler sonradan ısıtıl işlem uygulanmış veya uygulanmamış olarak ayrılıp değerlendirilmiştir. Numuneler üzerinde uygulanan kaynak sonrası ısıtıl işlemler; çözeltiye alma işlemi ($535^{\circ}C$, 30 dakika), su verme işlemi ve yapay yaşlanma işlemidir ($175^{\circ}C$, 12 saat). Deneysel sonuçlar incelendiğinde, kaynak sonrası ısıtıl işlem gören parçaların ısıtıl işlem görmeyen parçalara göre mikroyapı özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermektedir. Buna göre malzemelerin kaynak sonrası ısıtıl işlemle akma dayanımı,

maksimum çekme mukavemeti ve yorulma mukavemeti artışı sırasıyla %42,6, %43,1 ve %18,4 artış göstermiştir [24].

C. Ramesh ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada alüminyumun TIG kaynağıyla yüzey sertleştirmesinde yüzeyde sertleşmiş bölgenin kalınlığının arttığında darbe direncinin arttığı, sertleştirilmiş yüzey bölgesinden ana metale geçtikçe sertlikte düşüşün yaşandığı görülmüştür [25].

H. Korkut ve arkadaşlarının çalışmasında AISI 1018 çeliği üstüne Fe – Cr – Si – Mo – C alaşımlı kaplamayı TIG kaynağı yöntemiyle uygulamıştır. Bu çalışmada kaynak işlemine bağlı olarak gerçekleşen hızlı ısınma ve soğuma neticesinde martenzitik ve martenzitik-perlitik iç yapılar elde edilmiştir. Gözlemlenen bir diğer sonuç ise ısıdan etkilenen bölgedeki tokluk, kaplama yüzeyi ve ana metalden daha düşüktür. Bunun tane irileşmesine bağlı olduğu belirtilmiştir. Tokluktaki bu düşüşün giderilmesinde yaşlandırma işleminden faydalanılmıştır. 480-550 °C arasında uygulanan yaşlandırma işlemiyle ısıdan etkilenen bölgede oluşan tokluk kaybı giderilmiştir [26].

I. Bitharas ve arkadaşları TIG kaynak yönteminde asal gazların ve bunların karışımlarının kaynak kalitesine etkisini araştırmışlardır. Helyum argona göre daha derin kaynak penetrasyonu sağlar, fakat helyum argona kıyasla daha hafif bir gaz olduğu için kaynak banyosunu korumada daha zayıf özellik sergiler. Yapılan çalışmada koruyucu gazlar dönüşümlü olarak uygulandığında, aynı hacimde argon ve helyum içeren önceden karıştırılmış bir gaza kıyasla argonun helyumu kaynak banyosu üzerinde tutarak, helyumun yatay bir bölge oluşturduğu gözlenmiş ve önceden karıştırılmış gaz karışımından daha derin kaynak penetrasyonu elde edilmiştir [27].

Hüseyin Turhan ve Niyazi Yılmaz Çolak TIG kaynağı yöntemiyle Stellite 6+FeMo alaşımını, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik üzerine başarıyla kaynaklayarak sert yüzey oluşumunu sağlamışlardır. Uygulanan sertlik deneylerinde ana malzemedan sert yüzey dolgusuna yaklaştıkça; yükselen takviye malzemesi oranı ve difüzyon etkisine bağlı olarak sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Elde edilen en büyük sertlik değerinin kaplama tabakasında olmasının nedeni, kaplama malzemesinin içinde ihtiva ettiği karbür parçacıklarına bağlanmıştır [28].

Ali Kaya Gür ve arkadaşları plazma ark kaynak yöntemiyle Hardox 400 çelik yüzeyinde

FeCrC, TiC, SiC ve B₄C tozlarını eriterek sert yüzey dolgusu tabakası oluşumunu sağlamışlardır. Bu tozların ergimesi sonucunda birçok yeni faz sentezlenmiş bunun sonucunda da kaplama tabakasının sertliği baz metale oranla yüksek derecede artış göstermiştir [29].

Wang Xinhong ve arkadaşları AISI 1020 çelik malzeme üzerinde Ferrotitanyum (Fe – Ti) ve ferrovanadyum (Fe –V) alaşım tozlarını TIG kaynağı ile eriterek çoklu karbür partikül takviyeli Fe bazlı yüzey kaplaması sentezlenmiştir. (Ti, V) C karbür, TiC yapısında çözünmüş V ile çoklu karbür partikülüdür. Yapılan bu çalışmada karbür partikülleri ile matris ara yüzünün temiz kaldığı ve zararlı fazdan arındırıldığı bulunmuştur, bunun sonucunda da güçlü bir ara yüzey bağı sağlanmıştır. Elde edilen bir diğer sonuç ise (Ti, V) C karbürleri, Fe bazlı yüzey sert dolgu tabakasının sertliğini ve aşınma direncini arttırmasıdır. Bu sayede çoklu karbür ile güçlendirilmiş Fe bazlı yüzey sert dolgu tabakası hafif bir aşınma göstermiştir [30].

D'Oliveira ve arkadaşları TIG kaynağının daha gelişmiş bir varyasyonu olan plazma ark kaynağı yönteminde toz beslemesi ile malzeme girdisi sağlayarak homojen mikroyapı oluşumu sağlayarak iyi kalitede yüzey kaplaması elde etmiş, bu da diğer kaynak teknikleriyle işlenen sert yüzey kaplamalarıyla karşılaştırıldığında gelişmiş yüzey özelliklerine neden olmuştur. Bu gelişmiş yüzey özelliklerinin sağlanmasında alternatif akım (AC) kullanımı önemli bir parametredir. Alternatif akım kullanımı doğru akım kullanımına göre daha homojen katılaşma bölgeleri oluşturmuş ve bunun sonucunda daha doğru akımla yapılan kaynağa göre daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir ve kullanılan akım değeri arttıkça malzeme dayanımında azalma görülmüştür. Bunun nedeni yüksek ısı girdisinin malzeme iç yapısını değiştirmesi ve buna bağlı olarak dayanım kaybı yaşatmasına bağlanmıştır [31].

S. Yoshie ve arkadaşları alüminyumun yüzey sertleştirmesinde, sürekli döküm yöntemiyle ürettikleri kaynak çubuğuyla TIG kaynağı tekniğini kullanmış ve yaklaşık 300 HV sertlik elde ederek malzemenin aşınma davranışının geliştiğini gözlemlemişlerdir [3,32].

İKİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Sert Dolgu Kaynağı

Sert dolgu kaynağı işlemi, iş parçasına aşınmaya karşı daha mukavemetli yüzey oluşturulması veya aşınmış parçaları ilk çalışma boyutlarına getirilebilmek için kaynaklama işlemiyle doldurulmasıdır. Metal malzemelerde aşınma birçok nedenle gerçekleşebilir. Sert dolgu, metal parçaların çalışma ömürlerini uzatmak için aşınma direnci yüksek yüzey oluşturmakta düşük maliyetli bir metottur. Eski şartlara nazaran daha az parça değişim ihtiyacı, daha uzun ekipman ömrü, toplam bakım süresinde azalma, daha ekonomik ana malzeme seçebilme, parça değişim süresinin azalması, yedek parça stoku bulundurma miktarlarının azalması ve bu gelişmelere bağlı olarak işletme maliyetlerinin azalması sert dolgu işleminin avantajlarından. Sert dolgu işlemleri bakım-onarım faaliyetlerinden birisidir [33,34].

Sert dolgu alaşımları, tüm metal malzemelerin ihtiyaç duyduğu aşınma dayanımını karşılayacak geniş bir yelpazeye sahiptir. Dolgu malzemelerinin çoğu, yüksek sertliğe sahiptir. Bu sebepten yöntem sert dolgu kaynağı olarak adlandırılır. Bazıları ise yumuşak bir matrise ve bu matris içinde abrazyon dayanımı sağlayacak parçacıklara sahiptir. Bazı alaşımlar sert dolgu tabakası sağlamak, bazıları ise parçaları orijinal boyutlarına getirmek amacı ile geliştirilmiştir [35].

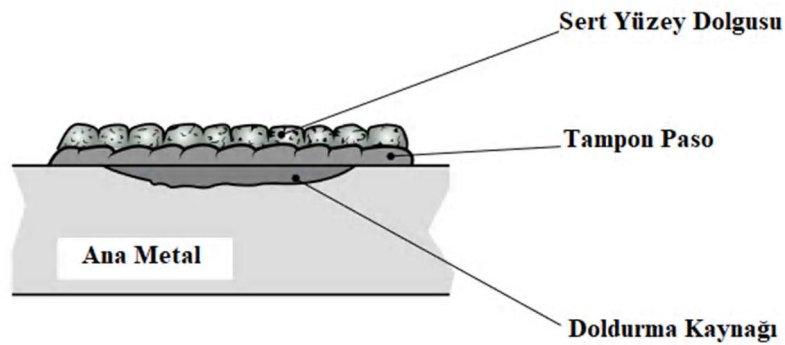
Aşınan parçaların sert dolgu kaynağı ile onarımı genellikle aşağıdaki üç aşamayı içerir:

- Doldurma kaynağı
- Tampon paso
- Sert yüzey dolgusu.

2.1.1. Doldurma Kaynağı

Doldurma kaynağı; bir parçanın geometrisi aşınma ile değiştiğinde başlangıç boyutlarına getirilmesidir [33]. Doldurma kaynağı işlemi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Dolgu malzemeleri genellikle, kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri, baz metalinkine benzer veya özdeş malzemelerden seçilir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, karakteristiklerinin ana metalle uyumlu olması koşuluyla başka bir alaşım kullanılabilir. Dolgu kaynağında çoklu paso işlemi de kullanılabilir. Yeniden inşa etmek için uygun bir dolgu metalinin seçilmesindeki üç ana faktör şunlardır [34]:

- Soğuk çatlama riski: hem ön ısıtma sıcaklığı hem de pasolar arası sıcaklığın tanımlanması gerekir (tipik olarak temel malzeme tipine göre belirlenir).
- Servis sıcaklığı ve dolayısıyla dolgu metalini ile ana metal arasındaki termal genleşme farklarının bilinmesi gerekir.
- Yeniden inşa eden dolgu metalini ile müteakip herhangi bir yüzey kaplaması arasındaki uyumluluğun bilinmesi gerekir.



Şekil 2.1. Dolgu kaynağı [34].

2.1.2. Tampon Paso

“Alt katman” veya “metalik geçiş” olarak da bilinen tampon paso, ana metal ve sert dolgu kaplaması arasındaki uyumsuzluk sorunlarının üstesinden gelmek için gerektiğinde kullanılır. Bazı durumlarda ise, ana metalin ve dolgu metalinin birbirine karıştırılarak alaşım seyreltmesi işlemi bir tampon paso ile gerçekleştirilir. Tampon paso uygulaması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Tampon pasonun kullanılmasının nedenleri şunlardır:

- Ana metal ile sert dolgu arasında iyi bir temel sağlamak.
- Büzülme çatlaklarının sert dolgudan ana metale yayılmasını önlemek için.

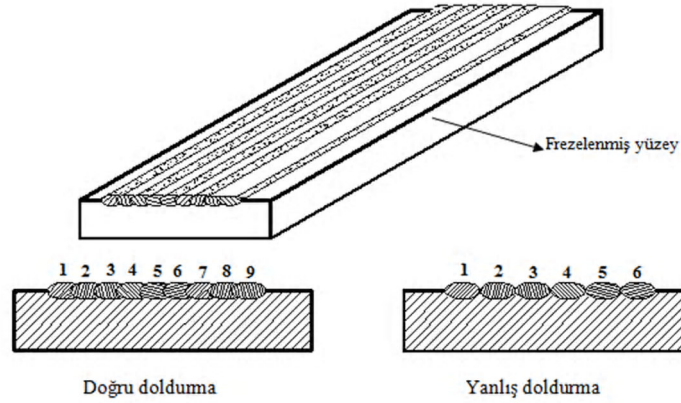
Tampon paso uygulaması için dolgu metali seçerken çok dikkatli olunmalıdır. Ana metal, tampon ve kaplama arasındaki esneklik veya termal genleşme farkları çok büyükse; kaynak bağlantılarında aşırı gerilmeler oluşabilir. Bu, malzemelerin erken bozulmasına neden olabilir [34].

2.1.3 Sert Dolgu

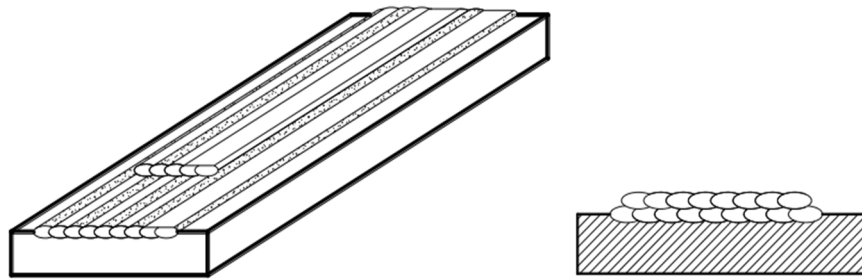
Sert dolgu, bir yüzey tabakasının, ana malzemeden daha sert olan kaynakla biriktirilmesidir. Ana metal üzerine kaynak yöntemiyle oluşturulan aşınmaya dirençli dolgu yüzeyler, malzemenin servis ömrünü uzatır. Sert dolgu kaynağı, dolgu malzemelerinin bazıları yalnızca tek bir katmanda uygulanacak şekilde tasarlanmıştır, diğerleri ise sınırsız uygulanabilir. Ancak sert dolgular genellikle bir, iki veya üç paso ile uygulanır. Sert dolgu kaynağı uygulaması, malzemelerin abrazyon aşınması, darbe, metal-metale sürtünme veya bunların bir arada etkisi altında kaldığı durumlarda malzemeyi korumak ve servis ömrünü uzatmayı amaçlar [33]. Tek pasolu sert dolgu uygulaması Şekil 2.2’de, çok pasolu uygulama ise Şekil 2.3’te gösterilmiştir [36]. Sert yüzü katmanlar aşağıdaki özelliklerle de karakterize edilebilir:

- Sağlamlık (bazı durumlarda çatlaklar kabul edilebilir)
- Tokluk (darbelere direnme ihtiyacına bağlı olarak)
- Korozyon ve yüksek sıcaklıklar gibi çevresel streslere karşı direnç.

“Önleyici sert dolgu” yepyeni bir bileşenin üretimine sert kaplama tekniklerinin uygulanmasıdır. “Düzeltilici sert dolgu” zaten aşınmış bir parçanın yeniden oluşturulmasını içerir, bu nedenle parçanın malzemesiyle uyumluluk dikkate alınmalıdır [34].



Şekil 2.2. Tek pasolu sert dolgu işlemi [36].



Şekil 2.3. Çok pasolu sert dolgu işlemi [36].

2.2 Sert Dolgu Kaynağının Uygulama Alanları

Sert dolgu kaynakları genel olarak iki temel amaç için kullanılır:

- Aşınmaya uğramış parçaları orijinal çalışma boyutlarına getirmek için kullanılmaktadır. Bu işlem sert dolgu kaynağı veya sert dolgu ve gerekirse tampon paso uygulaması yoluyla yapılabilir. Bu işlem doğru kaynak metodu ve prosedürler uygulandığı müddetçe defalarca uygulanabilir.
- Aşınmaya duyarlı ve yeni üretilmiş parçaların koruyucu kaplama uygulamasında sert yüzey dolgusu kullanılabilir. Bu tarz bir uygulama ile malzemenin servis ömrü en az iki kat artabilir. Her ne kadar bu işlem maliyet üzerinde negatif etki gösterse de ana malzemeyi daha ucuz malzemeden seçerek üzerine kaplama yapılması maliyeti azaltabilir [33].

Sert dolgu kaynağı sadece aşınan parçaların onarılmasında değil, aynı zamanda yeni parçaların üretiminde de sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu işlemlerde dolgu malzemelerine karar verirken göz önünde bulundurulması gereken şey malzemenin içinde bulunduğu çalışma ve aşınma şartlarıdır. Bu çalışma şartlarında aşınmalar; sürtünme, korozyon, kavitasyon, erozyon, yüksek sıcaklık veya bunların kombinasyonu sayesinde oluşabilir. Dolgu malzemesi seçiminde bu şartlar gözetilmelidir. Ayrıca, ana metalin kimyasal kompozisyonunu bilmek, ön ısıtma ve gerekiyorsa kaynak sonrası ısıtma işlem sıcaklıklarının belirlenmesinde çok etkilidir [37].

Sanayide yüksek yük altında çalışılan ortamlarda yaygın olarak kullanılan lokomotif tekerleği, kepçe dişleri, kırıcı çeneler, sondaj burgusu gibi parçaların en çok uğradığı hasar türlerinden biri aşınmadır. Maliyet bakımından ele alındığında krank mili gibi yüksek maliyetli parçaların aşınan bölgelerinin sert dolgu kaynağıyla tamiri yeniden üretime göre hem ekonomik hem de zamandan tasarruf sağlar. Taş kırma çeneleri gibi malzemenin iç bölgelerinin sünek, dış kısımlarının aşınmaya dayanıklı sert yüzey istendiği durumlarda yine sert yüzey dolgusundan yararlanılır. Bu gibi durumlarda ana malzeme sünek ve ucuz malzemeden seçilerek daha sert ve pahalı malzemelerle kaplama yapmak maliyeti azaltmada kullanılmaktadır [35].



Şekil 2.4. Sert dolgu kaynağı uygulanmış makine parçalarının resimleri. a) Çimento fabrikalarının öğütme tesislerinde kullanılan aşınmaya dayanıklı boruların sert dolgu kaynağı uygulaması. b) Aşınma plakası. c) Kumlama makinelerinde kullanılan rölelere uygulanmış sert dolgu kaynağı. d) İşlenmiş aşınma plakası. e) Aşınma plakaları. f) İş makinası kepçesine uygulanmış sert dolgu kaynağı g) Aşınma plakalarından elde edilen fan kanadının sert dolgu kaynağı uygulaması. h) Kumlama makinelerinde kullanılan rölelerin sert dolgu kaynağı uygulaması. i) Adezyon aşınması sonucu aşınmış milin sert dolgu kaynağı uygulaması [35].

Haddeler, vinç tekerlekleri, miller, raylar, ekskavatör kepçeleri, taşıyıcı helezonlar, kepçe dişleri, konkasör çeneleri sert dolgu kaynağının uygulandığı diğer bazı örneklerdir [38].

2.3. Sert Dolgu Kaynağı Malzemeleri

Genellikle dolgu kaynağında kullanılan malzeme grubunu yüksek alaşımlı östenitik manganlı çelik malzemeler ve düşük alaşımlı perlitik çelik malzemeler oluşturur. Bu malzeme gruplarının büyük bir kısmının ana amacı aşınma dayanımını arttırmaktır. Östenitik manganlı çelikler ise genellikle hafif aşınma şartlarında çalışacak parçalar için kullanılmaktadır. Sert dolgu malzemeleri genel olarak 5 kategoride gruplanabilir [35,39].

1. Dolgu kaynağı alaşımları
2. Adezyon aşınmasını önleyici alaşımlar
3. Abrazyon aşınmasına önleyici alaşımlar
4. Tungsten Karbürler
5. Demir dışı alaşım grubu

Sert dolgu kaynak malzemeleri TS EN 14700 standardında sınıflandırılmıştır. Bu standart kaynak malzemelerini alaşım türüne ve sertlik düzeylerine göre sınıflandırmıştır [35].

Tablo 2.1’de çeşitli kaynak metali veya dolgu metali alaşım grupları için kod numaralandırmaları gösterilmiştir [35].

Tablo 2.1. Değişik alaşım grupları için dolgu metali tipleri[35]

Alaşım Grubu	Kaynak Metali veya Dolgu Metali Tipi
1	%0,4 C’lu alaşımsız veya %0,4 C’lu toplam %5’e kadar alaşım elementleri (Cr, Mn, Mo ve Ni) ihtiva eden az alaşımlı çelikler
2	%0,4’den fazla C’lu alaşımsız veya %0,4 C’den fazla C’lu, toplam %5’e kadar alaşım elementleri (Cr, Mn, Mo ve Ni) ihtiva eden az alaşımlı çelikler
3	Sıcak işleme özelliğine sahip çelikler
4	Yüksek hız özelliğine sahip çelikler
5	%5’den fazla Cr’la alaşımlandırılmış, düşük C’lu (yaklaşık %0,2’ye kadar) çelikler
6	%5’den fazla Cr’la alaşımlandırılmış, daha yüksek C’lu (yaklaşık %0,2-%2’ye kadar) çelikler
7	%11-%18 Mn %0,5’den fazla C ve %3’e kadar Ni ihtiva eden Mn-östenitik çelikleri

8	Cr-Ni-Mn östenitik çelikleri
9	Cr-Ni çelikleri (paslanmaya, asitlere ve ısıya dayanıklı)
10	Karbür yapıcı malzeme ilavesi olmaksızın yüksek C ve yüksek Cr'lu çelikler
20	Co esaslı Ni ve Mo ihtiva ederek veya etmeden Cr-W alaşımlı
21	Karbür esaslı (sinterlenmiş, döküm veya özlü)
22	Ni esaslı, Cr, Cr-B alaşımlı
23	Ni esaslı, Cr'lu veya Cr'suz Mo alaşımlı
30	Cu esaslı, Sn alaşımlı
31	Cu esaslı, Al alaşımlı
32	Cu esaslı, Ni alaşımlı

Sert yüzey dolgusu malzemeleri alaşımlar, karbürler ve bu iki malzeme grubunun bileşiminden oluşturulmuş malzemeleridir. Sıklıkla kullanılan dolgu malzemelerinin sınıflandırılması; çelikler, düşük alaşımlı dolgular, yüksek krom oranlı beyaz demirler, yüksek alaşımlı demir malzemeler, karbürler, nikel bazlı alaşımlar ve kobalt bazlı alaşımları şeklindedir. Çok sınırlı olmakla birlikte bakır bazlı alaşımlarda kullanılabilir [35].

Kobalt ve demir esaslı dolgu malzemelerinde sertleştirici faz olarak karbürler tercih edilirler ve bu dolgu malzemelerinin içerdiği karbon oranı genel itibariyle %4'lere çıkabilmektedir. Nikel esaslı sert dolgu malzemelerinde ise karbür ve borürler sertleştirici faz olarak kullanılırlar. Nikel esaslı sert dolgu malzemelerinin karbon ve bor içeriğinin toplamı %5'lere çıkabilmektedir [39].

2.4. Sert Dolgu Kaynağında Yöntem Seçimi

Sert dolgu kaynağı işlemlerinde dolgu malzemesi kadar önemli olan bir diğer husus dolgu malzemesinin hangi yöntemle uygulanacağıdır. Malzemenin hangi şartlarda çalışacağını bilmesi hangi işlemin kullanılacağını belirlemede önem arz eder. Hangi sert dolgu kaynağı işleminin belirlenmesinde göz önüne alınması gereken özellikler şunlardır [39].

- Ana malzemenin fiziksel özellikleri
- Ana malzemenin metalürjik özellikleri
- Sert dolgu malzemesinin kimyasal bileşimi ve formu
- Kaynağı yapacak kişinin el becerisi
- Maliyet

Malzeme yüzeyine dolgu yapılırken kalite gereksinimleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Dolgu malzemesine ana metalden malzeme karışması sonucunda kaynak malzemesinde bir seyrelme yaşanır. Sert yüzey dolgularında seyrelme istenmeyen bir durumdur. Birleştirme kaynaklarında dayanım, nüfuziyet ve seyrelme miktarıyla orantılıdır. Sert dolgu işleminde yüksek nüfuziyet aranan özelliklerden biri değildir. Sert yüzey dolgularında aranan özellik dolgu malzemesinin ana malzemeye yapışması oranının yüksek olmasıdır.

Sert dolgu malzemelerinin kimyasal içeriği ve özellikleri iş parçası ana metalinden farklı özellikler barındırır. Yüksek seyrelme oranı sert dolgu metalinin ve buna bağlı oluşturulacak yüzeyin özelliklerini bozar. Genellikle sert yüzey kaplama işlemlerinin minimum paso sayısında yapılması istenir. Dolgu malzemesinde seyrelmeye neden olan faktörler şunlardır.

- Ön ısıtma: Yüksek ön ısıtma, daha fazla kaynak metali yığılmasına neden olacağından seyrelmede artışa neden olur. Ön ısıtma değerleri belirli değerler arasından seçilmelidir.
- Kaynak akım değeri: Kaynak akım değerinin yüksekliği seyrelme oranını artırır.
- Kaynak kutuplaması: Doğru akım negatif (-) kutuplama az seyrelmeye, doğru akım pozitif (+) kutuplama yüksek seyrelmeye neden olurken, pozitif (+) kutuplama daha stabil ark sağlayacaktır.
- Kullanılan kaynak tekniği: Elektrodun salınımı arttıkça seyrelme azalır. Salınım yapılmadığında seyrelme artar. Çoklu paso kullanımı seyrelmeyi azaltır.
- Kaynak pozisyonu: daha yavaş çalışılmasını gerektiren aşağıdan yukarı kaynak yüksek seyrelmeye neden olurken, oluk pozisyonunda kaynak düşük seyrelmeye neden olur.
- Serbest tel boyu: Serbest tel boyu arttıkça seyrelme azalır [35].

2.5. Sert Dolgu Kaynağında Kullanılan Yöntemler

Dolgu kaynağı ve birleştirme kaynakları bazı özellikleri itibariyle birbirinden farklılık gösterir. Birleştirme kaynaklarında nüfuziyetin yüksek olması istenirken dolgu kaynaklarında nüfuziyetin düşük olması istenir. Bundan ayrı olarak dolgu kaynağında ana malzeme oranının düşük olması ve kaynak yüzeyinin geniş olması istenmektedir.

Dolgu kaynağı işleminde geleneksel kaynak yöntemlerinin birçoğu kullanılmaktadır. Tablo 2.2’de bazı kaynak yöntemleri için ergime verimi değerleri, nüfuziyet oranları ve kullanılabilecek dolgu malzemesi türleri ve dolgu malzemesinden kaynak havuzuna malzeme geçişi oranları verilmiştir.

Uygun yöntem seçiminde amaçlanan kaynak dikişi özellikleri, kaynak yöntemini seçerken göz önünde bulundurulacak en önemli kıstas olmaktadır. Bu kıstas, ana malzeme ile dolgu malzemesinin özelliklerinin değerlendirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. İstenilen dolgu özellikleri ve bileşimine sahip olmak için dolgu malzemesini oluşturan tel, bant, toz, öz, örgü, örtü gibi elemanlarında özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, yöntem seçiminde, çok yönlü bakış açısı, vazgeçilmez bir esas olarak kabul edilmelidir [35].

Tablo 2.2. Dolgu kaynağında kullanılan yöntemle bağlı olarak değişen bazı değerler [35]

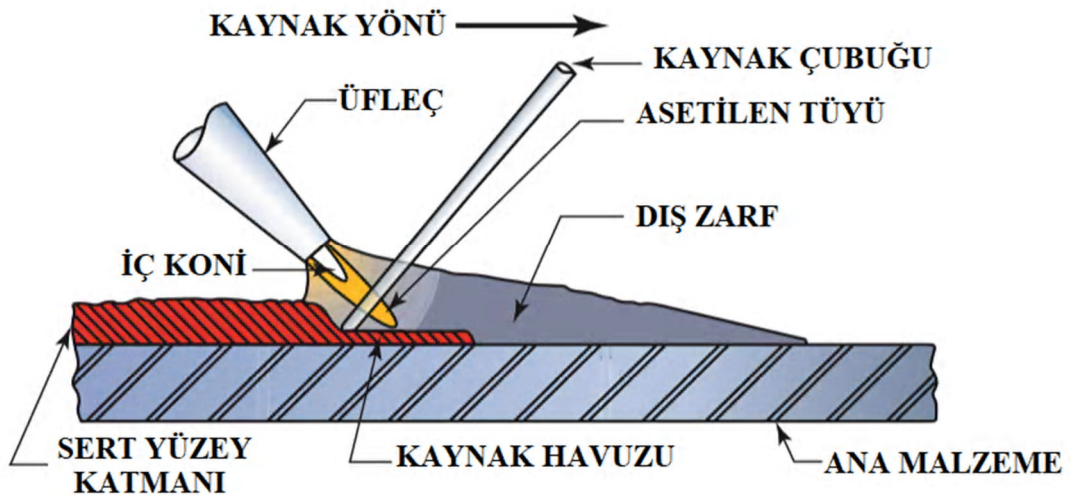
Kaynak Yöntemi	Ergitme Verimi (Kg/Saat)	En Küçük Karışım Oranı (%)	En Küçük Nüfuziyet Derinliği (mm)	İlave Malzeme Şekli
TIG	2,25	10	2,4	Kaynak Elektrotu Kaynak Teli
MIG	5,4	30	3,2	Tel Elektrot
MIG	11,3	20	4,8	Tel Elektrot Kaynak Teli
Plazma	3,15	5	0,25	Metal Tozu
Tozaltı (Birleştirme)	7,10	20	3,2	Tel Elektrot
Tozaltı (Birleştirme)	14,0	15	4,8	Tel Elektrot
Tozaltı (Kaplama)	14,5	8	0,5	Band Elektrot

2.5.1. Oksi-Asetilen Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Oksi-Asetilen kaynağı ile yüzey dolgusun işleminde ana metali ve dolgu metalinin eritilmesinde ısı kaynağı olarak alevden faydalanılır. Alevde yakıcı gaz olarak genellikle oksijendir. Ancak çok çeşitli yakıcı gazlar kullanılabilir. Bunlar [40]:

- Asetilen (C_2H_2)
- Hidrojen (H_2)
- Metan (CH_4)
- Propan (C_3H_8)
- Bütan (C_4H_{10})
- Propan- Bütan karışımı ($C_3H_8-C_4H_{10}$)
- Havagazı
- Benzin ve benzol buharıdır.

Oksi-asetilen kaynağı işleminde en fazla kullanılan yakıcı gaz asetilendir. Bu işlemde alev ısıyla ana malzemenin yüzeyinden de bir miktar erime oluşur. Birçok alaşım tozu ve dolgu kaynak çubukları bu ergitilmiş ana malzemeyle birlikte ergitilerek kaplama gerçekleştirilebilir. Kaynak operatörü açısından kaynak işleminin kontrolü kolaydır. Kaplamanın kalınlığı birçok faktörden etkilenir. Bu faktörler ilerleme hızı, ön ısıtma yapıldıysa ön ısıtma derecesi, sert dolgu malzemesi türüdür. Şekil 2.5. Oksi-asetilen kaynağıyla sert dolgu işleminin şekilsel gösterimidir [39,41].



Şekil 2.5. Oksi-asetilen kaynağıyla sert dolgu işlemi [41].

Oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu kaynağı yönteminin donanımı oldukça basittir ve kolaylıkla taşınabilir. Oksi-asetilen alevi ile, küçük alanlar ince sert dolgu tabakaları uygulanarak sertleştirilebilir. Ek olarak, malzeme üzerinde aşırı ısınma veya çok kalın birikintiler oluşturmada iş parçasının köşelerine ve kenarlarına kolayca uygulanabilir. Demir, nikel ve kobalt bazlı alaşımlar karbürleme alevi gerektirir. Bakır alaşımları ve bronz, nötr veya hafif oksitleyici bir alev gerektirir.

Oksi-asetilen kaynağı birçok çeliğin sert dolgusunun yapılabildiği bir yöntemdir ama yüksek sülfür ve mangan içeren çeliklerde önerilen bir işlem değildir. Yüksek hız çeliklerine uygulama yapılmadan önce ön ısıtma yapılması sağlanmalıdır, dökme demirlerin sert yüzey kaplamasında da kaynak parametrelerine dikkat edilerek ve dekapan malzemeleri kullanılarak sert yüzey oluşumu sağlanabilir [39].

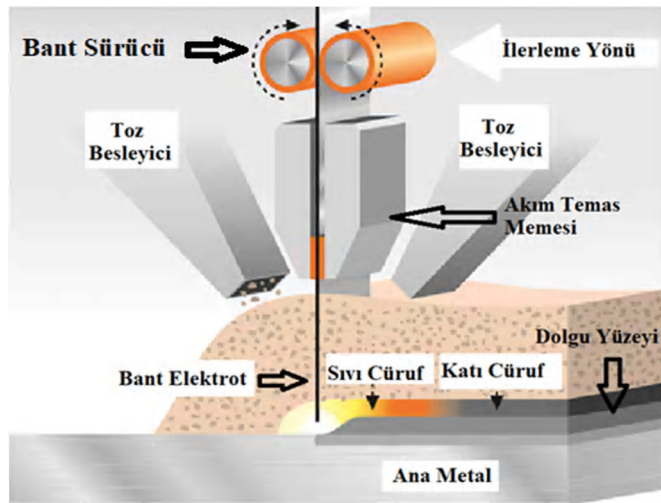
Oksi-asetilen kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağında seyrelme oranı %1 ile %10 arasındadır. Oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemlerinde oluşan dolgu düşük seyreilmeye sahiptir. Sert yüzey dolgusunda istenmeyen süreksizlikler oluşabilir. Bu hataların oluşumu sert yüzey alaşımının kalitesi ve kaynak operatörü becerisine bağlıdır. Bu yöntemde en çok karşılaşılan hatalardan birisi porozitedir. Kaynak havuzuna yetersiz dolgu malzemesi beslenmesi ve katılma sırasındaki ergimiş kaynak havuzu içinde bulunan gaz miktarı çözülebilirlik sınırını aştıysa gözenekli yapı oluşabilir [39].

Tüm yüzey kaplama işlemlerinde metal, sert dolgu malzemeleri uygulanmadan önce tüm pas, kir ve diğer yabancı maddelerden temizlenmelidir. Bu safsızlıkları gidermenin en iyi yöntemi, yüzeyin taşlanması veya işlenmesidir. Temiz bir yüzeyi korumak için dekapan malzemeler kullanılabilir. Bu sayede kaynaklama sırasında oluşabilecek oksidasyonun üstesinden gelmeye yardımcı olurlar.

Küçük boyutlu parçalar için oksi-asetilen işlemi tercih edilmesi ekonomik bir yöntemken yüksek dolgu miktarı istenilen parçalarda oksi-asetilen yöntemi ekonomik yöntem olmaktan uzaktır. Çatlama ihtimali, yeterli ön ısıtma, son ısıtma ve yavaş soğutma kullanılarak en aza indirilebilir. Büyük parçalar için ekranlı metal ark kaynağı tercih edilir [41].

2.5.2. Tozaltı Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Tozaltı bant kaplama ile tozaltı kaynak yöntemi işlemi arasındaki temel fark toz altı bant kaplamada tel yerine bant tipi elektrot kullanılmasıdır. Sadece kaynak kafası ve bant elektrot sargıları değiştirilerek sistem bant kaplamaya hazır hale getirilebilir. Kaynak kafasının hareketi elle veya otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Bant elektrot ve ana malzemeyi ergitmede kullanılacak ark, kaynak tozunun altında oluşur ve bu toz karışımı kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korur. Toz besleme sistemi, değişken hızlı tahrik motoru, motor kontrolörü ve tahrik silindirlerinden oluşur ve bu sistem toz karışımını ark üzerine yayar. Tozaltı bant kaplama işleminde elektrot ve toz bileşiminin birbirine uygun olması gerekir. Tozun görevi sadece kaynak havuzunu atmosferden korumak değil, aynı zamanda kaynak banyosunu istenilen özellikleri sağlamak için alaşımlandırmaktır [40]. Dolgu metali, ark içine sabit bir oranda beslenir. Bu işlem sırasında bu toz karışımı eriyerek kaynak havuzu üzerinde bir cüruf tabakası oluşturur ve altında oluşturulan ark enerjisi ile bant elektrot ve ana malzeme aynı anda ergitilerek kaplama işlemi yapılır. Şekil 2.6'da tozaltı kaynağı ile sert dolgu kaynağının işlem prensibi gösterilmektedir. Kaynak soğuması, cürufun sağladığı ısı tutma etkisi ile bir miktar yavaşlar. Büyük kaynaklarda soğutma hızı çok yüksekse, kaynak külçesinin ortasında bazı yabancı maddeler ve cüruf sıkışabilir. Eğer hızlı soğuma sorun teşkil edecekse ön ısıtma ve son ısıtma ile soğutma hızı yavaşlatılabilir [35,41].



Şekil 2.6. Toz altı bant kaplama kaynağı [42].

Bant kaplama kaynak yönteminin tel ile kaynak yöntemine göre en önemli avantajları şu şekilde sıralanabilir [41];

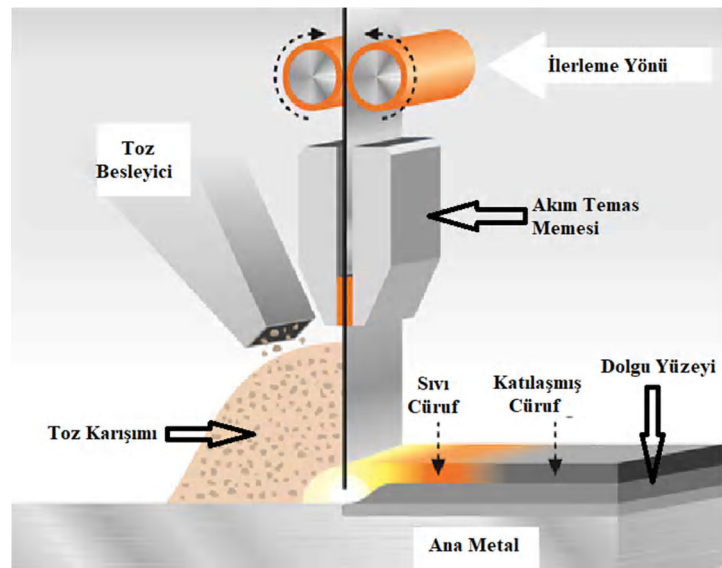
- Yüksek nüfuziyet
- Düzgün yüzey kalitesi
- Yüksek kaynak kalitesi
- Yüksek metal yığılma hızı,
- Yüksek metal yığılma oranı sayesinde daha az kaynak pasosu ve azaltılmış maliye
- Hızlı bir yöntem olduğundan dolayı düşük ısı girdisi, dar IEB ve buna bağlı olarak düşük sıcak çatlak hassasiyeti
- Telden banda geçmek için çok az yatırım gerekmektedir
- Ark toz altında yandığı için ışıın ve zararlı gaz salınımı yoktur

Bu yöntemin dezavantajları ise şu şekildedir:

- Sadece belirli kaynak konumlandırmalarında kullanılabilir
- Kaynak parametrelerinin çok iyi ayarlanmış olması gerekir.

2.5.3. Elektrocüruf Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Elektrocüruf kaynağı (ECK) bir ark kaynağı işlemi değildir. Erimiş toz yüzeyinin altında ark oluşmaz. Elektrocüruf kaynağı için kullanılan tozlar kaynak sırasında özel özelliklere sahip cüruf lar üretir. Cüruf lar erimiş halde çok iletken olacak şekilde tasarlanmıştır ve elektrik devresini kesmeden arkın yerini alabilirler. Bu nedenle elektrocüruf bant kaplama yönteminde elektrik akımı doğrudan cüruf oluşturu cu yüksek floritli aglomere toza iletilir. Elektrik arkı sadece ilk başta işlemin başlayabilmesi için kullanılır. Kaynak için ısı, erimiş akının elektrik direncinin bir sonucu olarak üretilir. Bu sayede ark enerjisinden farklı olarak ergime sağlayarak yüzey oluşumu sağlanır. Ark enerjisi, iletken bir cüruf havuzu üretmek için yeterli tozu erittikten sonra, tel ucu ile plaka arasındaki mesafeyi artırarak veya güç kaynağından voltajı azaltarak ark söndürülür. Kaplama işleminin stabil olması cüruf kalınlığının yani kaynak banyosunun kalınlığına bağlıdır. Şekil 2.7’de Elektro-cüruf kaynak kaplama yönteminde bant elektrot kullanımı prensibi gösterilmektedir [35,41].



Şekil 2.7. Elektrocüruf kaynağıyla kaplama yöntemi [42].

Elektrocüruf bant kaplamanın avantajları [35,41]:

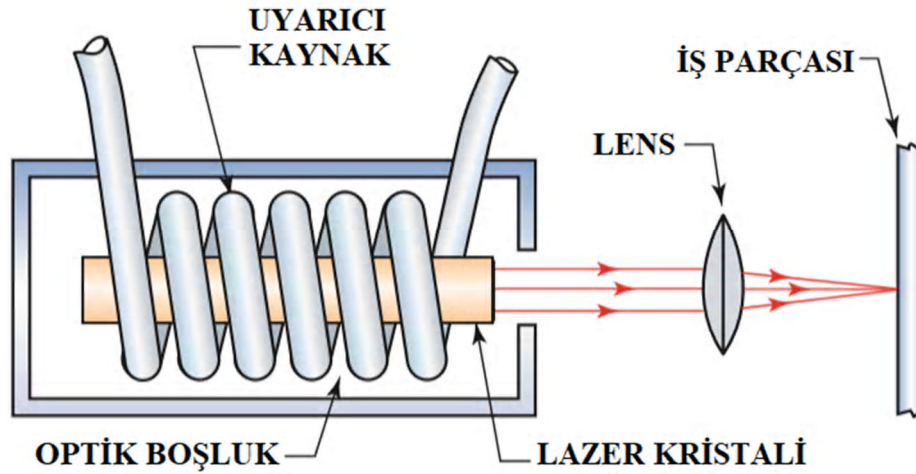
- Stabil nüfuziyet
- Yüksek kaynak hızı
- Minimum çarpılma
- Kaynak metali, metalürjik cüruflla yüksek oranda saflaştırılmıştır.
- Düşük nüfuziyet düzeyi ve daha az paso sayısı ihtiyacı
- Homojen alaşım elementi dağılımı
- Düzgün yüzey oluşumu
- Düşük sıcak çatlak hassasiyeti
- Yüksek metal yığılma oranı
- Yüksek tekrarlanabilirlik

Elektrocüruf işleminin dezavantajları:

- Masif, pahalı kaynak ekipmanı ve yönlendirme sistemleri gereklidir.
- Uzun kurulum süreleri gereklidir.
- Çok belirgin kolonik mikroyapılara ve zayıf tokluğa sahip kaynaklar üretir.

2.5.4. Lazer Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Lazer ışını kaynağında yüksek konsantrasyonlu ışık demetinin çok küçük bir noktaya yönlendirilmesiyle ısınma sonucu ergime elde edilir. Lazer ışınları, düşük ısı girdisine (0.1 Joule ila 10 Joule) rağmen santimetre kare başına 10.000 Watt'tan fazla (elektron ışını kaynak tekniğine göre oldukça fazla) yüksek güç yoğunluğu üretebilir. Isının bir ışık demeti tarafından sağlanmış olması nedeniyle, iş parçası ile kaynak ekipmanı arasında fiziksel bir temas yoktur. Şeffaf malzemelerle kaynak yapmak mümkündür. Işının işin herhangi bir alanına yönlendirilme kolaylığı, lazer kaynağını çok esnek hale getirir. Karmaşık formların imalatında, örneğin, istenen herhangi bir şekli kaynaklamak için odaklanmış lazer ışını dijital kontrol altında hareket ettirilebilir. Bakır gibi yüksek termal iletkenliğe sahip malzemelerin lazer kaynağı yapmak zor değildir. Aşırı konsantre lazer ısı, kaynak yapmak için metali lokal olarak eritecek ve derin penetrasyon sağlayacak şekilde en dibe kadar metali eriterek anahtar deliği tekniği ile kaynaklamayı sağlayacaktır. Şekil 2.8'de lazer kaynağı uygulama prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Lazer kaynağı prensibi [41].

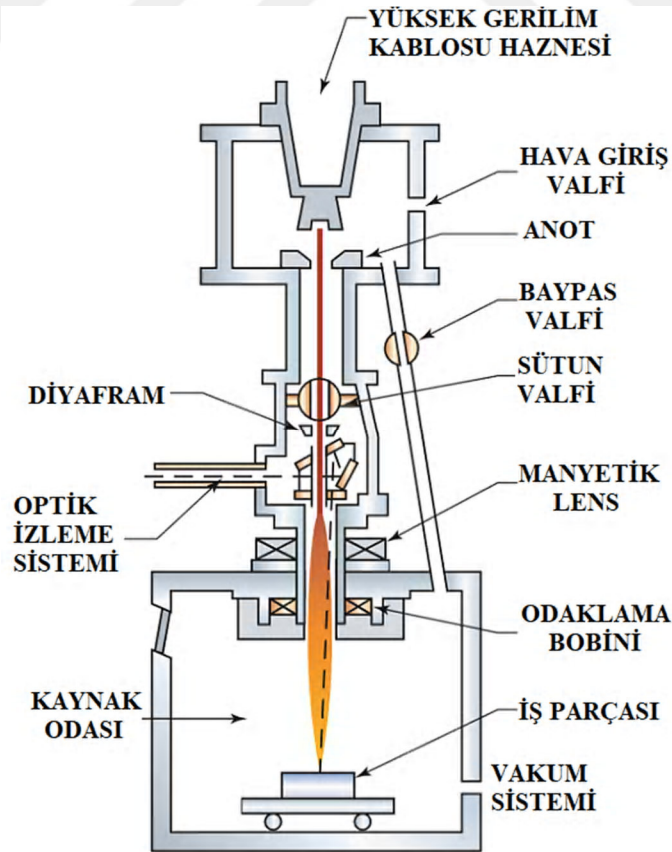
Lazer ile yüzey sertleştirme, günümüz uygulamalarında neredeyse tüm metalik malzemelere uygulanabilen en yaygın kullanılan yüzey sertleştirme işlemlerinden biridir. Lazer ışını, malzemenin gerekli kısmını sertleştirmek için çok dar bir bölgeye odaklanır. Bu yüksek yoğunluklu lazer radyasyonu, çelik yüzeyinin östenitik bölgeye ısıtılmasında rol oynar. Yüksek sıcaklık değişim oranları nedeniyle, çok kısa sürede

soğutma sağlayan bir dik sıcaklık gradyanı ortaya çıkar. Bu sayede çok kısa sürede östenit fazından martensite dönüşüm sağlanır. Yüzey sertleştirme işlemlerinde çok çeşitli lazer türleri kullanılabilir. Bunlar;

- CO₂
- Nd: YAG
- Diyot lazerleridir [43].

2.5.5. Elektron Işın Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Temel olarak elektron ışın kaynağı sistemi bir filaman, bir katot, bir anot ve bir odaklama bobinden oluşur. Bu parçalar, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi çalışma odasının üzerine monte edilmiştir. Isıtılmış filamandan gelen elektronlar negatif bir yük taşır ve katot tarafından yayılır ve anot tarafından kendine çekilir. Anot, içinden elektronların geçtiği bir açıklığa sahiptir.



Şekil 2.9. Elektron ışın kaynağı sistemi [41].

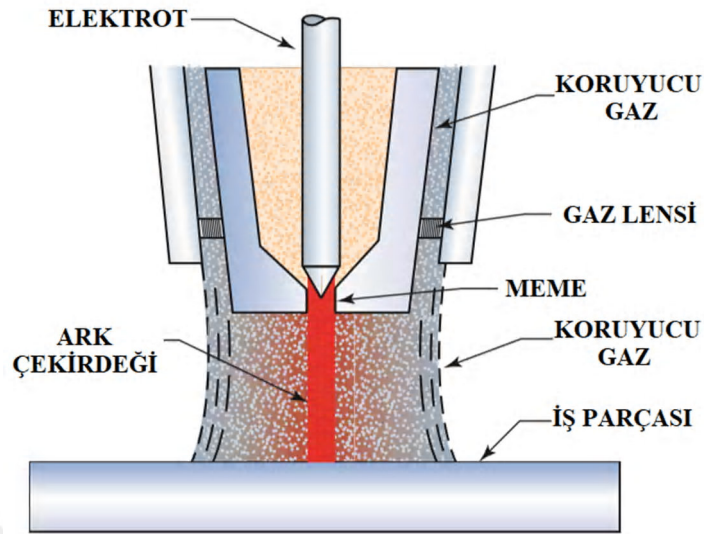
Elektronlar daha sonra bir elektromanyetik odaklama bobini tarafından üretilen manyetik bir alandan geçer. Makine bir optik görüntüleme sistemi ile donatılmıştır. Bu sistem, kaynak operatörünün ışın kapalıyken kaynak alanını gözlemesini sağlar. Akımı odaklama bobinine değiştirmek mümkündür, böylece operatör ışını keskin bir odaktan çapı 1/4 inç (6 mm) bir ışına odaklayabilir [41].

Elektron ışın kaynağı teknolojisi, sert dolgu kaplamaların yapılması ve mevcut yüzey tabakalarının modifikasyonu için kullanılan teknolojilerden biridir. Teknoloji, toz dolgu malzemelerin yüzeye püskürtme yoluyla kaplandıktan sonra ergitilmesi usulüyle uygulanır. Ek olarak, elektron ışınlarının hızla yüzeye çarparak oluşturduğu ısıyla yüzey işlemleri yapmak mümkündür. Elektron ışını teknolojisinin karmaşık çalışma rejimlerinin kullanılmasıyla, makinelerin ve mekanizmalarda sert dolgu yüzeylerin oluşturulması mümkündür [10].

2.5.6. Plazma Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

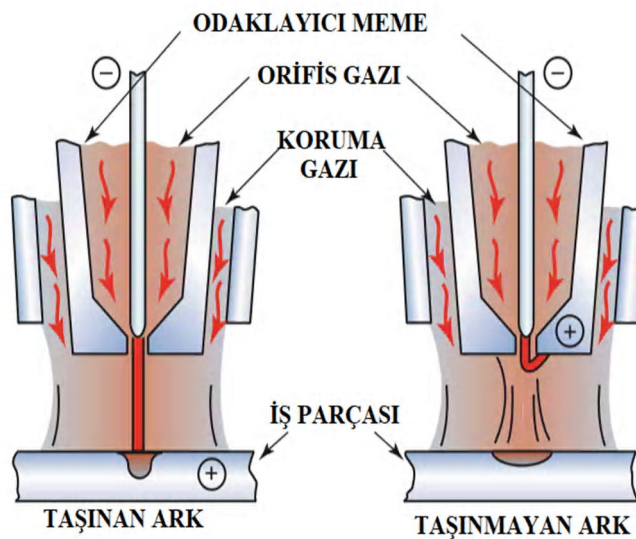
Moleküllerin, atomların ve elektronların oluşturduğu kızdırılmış gazı plazma denir. Bu gaz elektriksel olarak nötr etki gösterir. Plazmanın iki üstün avantajı, daha yüksek sıcaklık ve diğer nesnelere daha iyi ısı aktarımıdır. Plazma ark kaynağında gaz, elektromanyetik olarak sınırlandırılarak bir memeden geçen plazma jeti oluşturulur. Plazma kaynağında iki farklı ark düzeni vardır. Bunlardan ilki; taşıyıcı olmayan arktır ve bu ergimeyen tungsten elektrot ve su veya hava ile soğutulan bakır meme arasında oluşturulur. Taşıyıcı olmayan arkın görevi taşıyıcı arkı tutuşturmadır. Taşıyıcı olan ark tutuştuğunda taşıyıcı olmayan ark söner. Bakır meme; taşıyıcı arkı odaklayarak güç yoğunluğunu artırır. Bakır meme pozitif kutuplanırken, tungsten elektrot negatif kutuplanır. Taşıyıcı ark ergimeyen tungsten ve iş parçası arasında oluşur ve plazma gazı bakır memenin içerisinde iş parçasına püskürtülür. Hem birleştirme hem de plazma ile kesme işlemlerinde aynı sistem kullanılır [40,41].

Plazma birleştirme kaynağında plazma gazına ilâveten, kaynak banyosunu havanın tesirlerine karşı korumak üzere ikinci bir gaz akımı (argon) kullanılır. Plazma kaynağı cihazlarının büyük çoğunluğunda üçüncü bir gaz akımı, plazma demetini odaklayıcı ve meme dışında daraltıcı olarak kullanılır. Odaklayıcı gaz olarak; argon-helyum, argon-hidrojen veya argon-azot gaz karışımları kullanılmaktadır [40].



Şekil 2.10. Plazma kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemi [41].

Plazma doldurma kaynağında, her iki ark beraber kullanılır. Bu uygulamada; düşey karakteristikli iki ayrı akım üretici, elektrot ile meme arasında ve elektrot ile iş parçası arasında bağlı olarak kullanılır. Her iki ark kaynak işlemi sırasında yanar. Genellikle toz halindeki doldurma malzemesi bir gaz akımı üzerinden kaynak bölgesine iletilir, plazma demetinde eritilir ve taşıyıcı arkla esas malzemeye kaynak edilir. Üçüncü bir gaz akımı da kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korur.



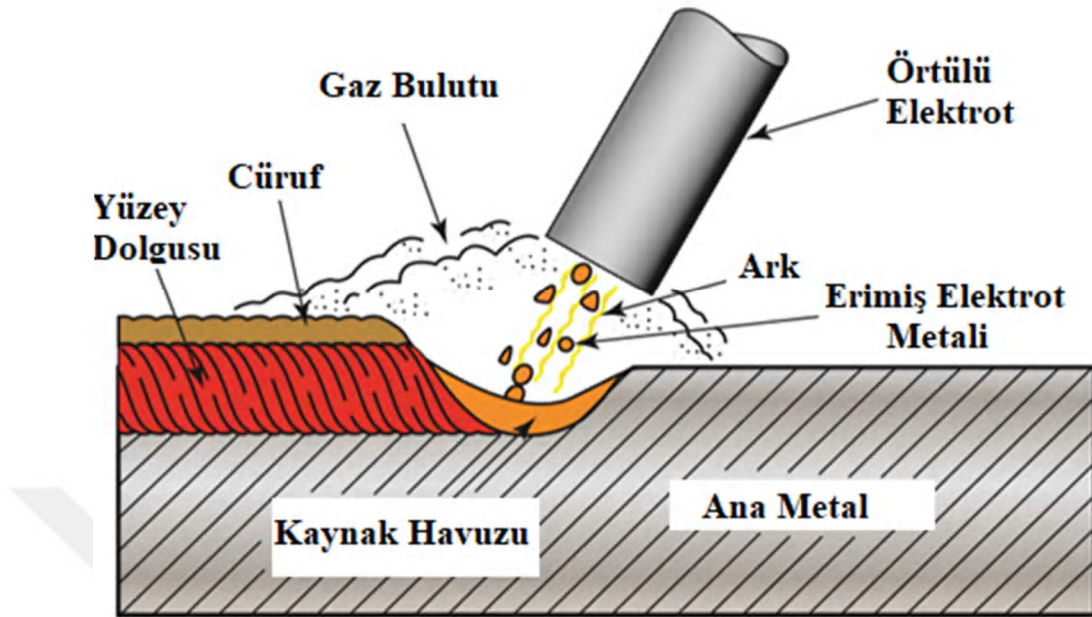
Şekil 2.11. Taşınan ark ve taşınmayan ark [41].

Bu yöntemde genellikle iş parçasının hareket ettirildiği otomatik sistemlerden yararlanılır. Plazma kaynak yöntemde kullanılan dolgu malzemeleri Ni, Co, östenitik esaslı metal tozları şeklinde sınıflandırılırlar. Sert yüzey dolgu malzemesinin Bor ihtiva ettiği durumlarda, bor bileşiğin ergime noktasını ve yüzey gerilimini düşürmektedir. Kaynak işleminde oluşan bor karbür B_4C ise sertliği arttırmasının yanında dolgu katmanını gevrekleştirir. Bundan dolayı çatlamları engellemek için bor içeren dolgu malzemelerinde ön ısıtma yapılması önerilir.

Plazma kaynak yöntemi odaklanmış ark enerjisi ve arkın kararlılığı sayesinde kaynak yöntemleri içinde en düşük ana malzeme ergime oranını ve nüfuziyet derinliğini veren yöntemdir [35].

2.5.7. Örtülü Elektrot Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağı, elektrik akımını taşımak için örtü kaplı bir metal elektrot kullanılan bir kaynak işlemidir. Bu kaynak yönteminde ark, iş parçası ve örtülü elektrot arasında yanar. Ark ısısı sayesinde eriyen örtülü elektrot ve ana metal birbirine karışarak kaynak işlemi gerçekleştirilir. Bu esnada elektrot üzerindeki örtü yanar, buharlaşır ve açığa çıkan gaz ark bölgesini korur. Bu örtünün diğer görevleri ark kararlılığını sağlamak, kaynak metalini alaşımlandırmak ve cüruf oluşturarak kaynak havuzunu korumaktır. Bazı elektrot tipleri diğerlerinden daha ağır cüruf kaplamaları üretir [10,41].



Şekil 2.12. Örtülü elektrot kaynağı yöntemi ile sert dolgu kaynağı [41].

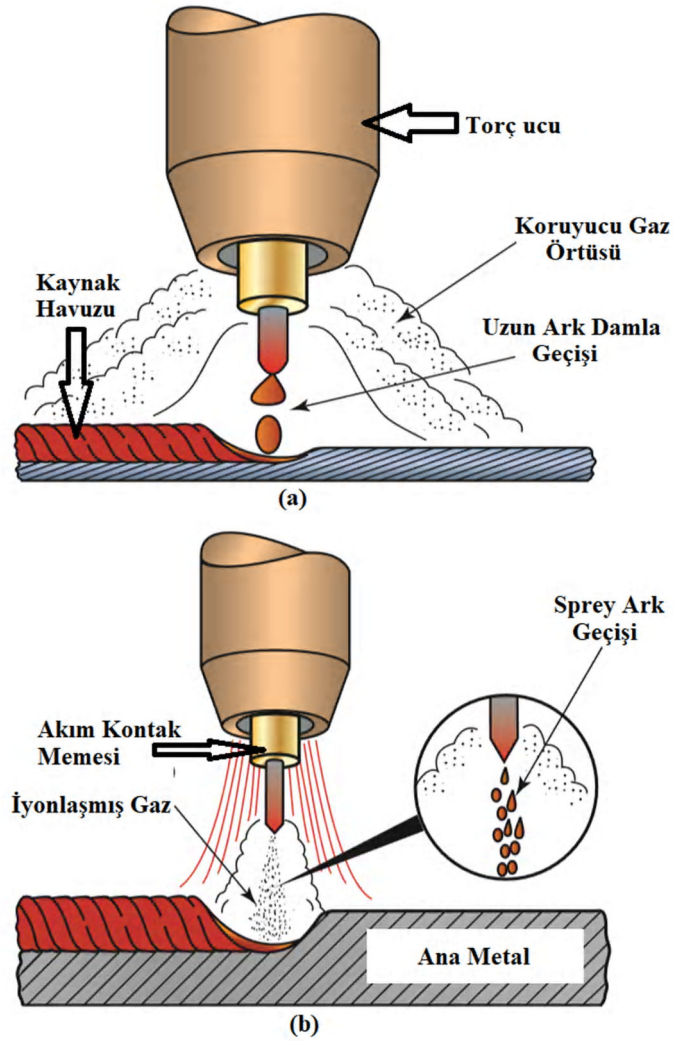
İşlem çok yönlüdür ve dökme demir, alüminyum, paslanmaz çelik ve nikel dahil olmak üzere neredeyse tüm metalleri veya alaşımları kaynaklamak için kullanılır. Örtülü elektrot ile dolgu kaynağı, düşük maliyeti, işlem esnekliği, taşınabilirliği ve çok yönlülüğü nedeniyle en yaygın olarak kullanılan kaynak işlemidir. Makine ve elektrotların maliyeti düşüktür [10,41].

Buna rağmen bu sistemin dezavantajları da vardır. Elektrotların tamamının kullanılamaması sistemin verimliliğini düşürmektedir, ayrıca yığılma oranları MIG/MAG kaynağına göre düşüktür. Başka bir sınırlayıcı unsur ise aşınma direncinin çok önemli olduğu durumlarda 2-3 pasoyla kaynak yapılması önerilir [35].

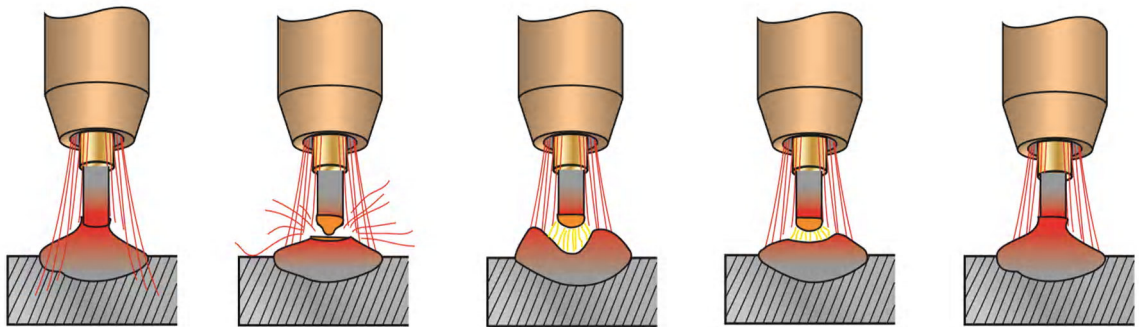
Örtülü elektrot ark kaynağı yönteminde genellikle doğru akım ve elektrot pozitif kutuplanarak çalışılır. Ancak bazı spesifik uygulamalarda alternatif akımla çalışılabilir. Çok değişik çaplarda (3,2-8 mm'ye kadar) sert dolgu elektrotları kullanılabilir ve kullanılan elektrot çapı arttıkça yüklenmesi gereken kaynak akım miktarı artırılmalıdır [39].

2.5.8. MIG/MAG Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

MIG/MAG kaynağı aynı prensiple çalışır fakat kullanılan gaz türü kaynak işlemlerini birbirinden ayırır. MIG kaynağı işleminde kaynak havuzu asal gaz koruması altındayken, MAG kaynağında bu koruma aktif gazlar kullanılarak yapılır. MAG kaynağı işlemi kullanılan gaz çeşidine göre MAGm ve MAGc olarak adlandırılır. MAGm kaynağında karışım gazları kullanılırken, MAGc kaynağında CO₂ gazı kullanılır. Bu yöntemlerde ergiyen elektrot bir torç içinden akım yüklenerek malzeme üzerine sürülür ve akım etkisiyle ergiyerek kaynak havuzuna katılır. Bu kaynak yönteminde kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kullanılan gaz türü ayarlayarak ark karakteristiği (uzun ark, kısa ark, spreyci ark) ayarlanabilir. Bu ark karakteristikleri kaynak dolgusunun akışkanlığını ve nüfuziyeti üzerinde etkilidir. Kaynak makinesinin üstünden girilen bir diğer değer olan tel sürme hızı sabittir ve kaynak akımı değişimiyle ark uzunluğunun sabit kalmasını sağlar.



Şekil 2.13. (a) Uzun ark ve (b) sprey ark geçişi gösterimi [41].



Şekil 2.14. Kısa ark oluşumu gösterimi [41].

MIG kaynağı genel itibariyle bütün metal alaşımlarına uygulanabilen bir kaynak türüdür. MIG kaynak işleminde elektrot genelde doğru akım pozitif kutuplanır. Alüminyumun kaynağında elektrot pozitif kutuplanarak kaynaklama işlemi

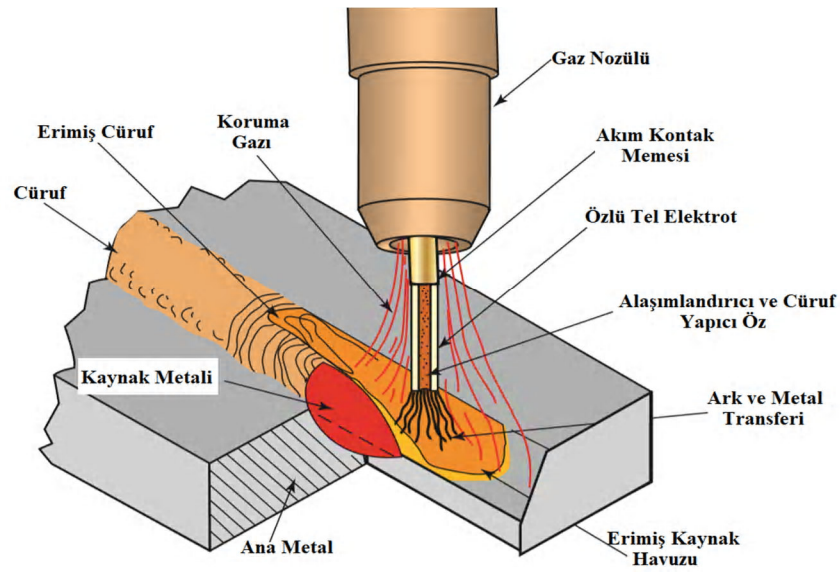
gerçekleştirilir. Böylece hem derin bir nüfuziyet hem de oksit tabakasının parçalanması sağlanmış olur. Poroziteye neden olmaması için kaynak öncesi temizliğe dikkat edilmelidir. İnce alüminyum levhaların kaynaklama işleminde çarpılmaması için puntalama yoluyla sabitlemesi yapılmalı ve geri adım usulüyle kaynaklama işlemine devam edilmelidir. Bakır gibi yüksek ısı iletkenliğine sahip metaller için genellikle 200-400 °C ön ısıtma uygulanır. Paslanmaz çeliklerin iç köşe kaynağında ve doldurma kaynaklarında, elektrot negatif kutuplanır. Paslanmaz çeliklerin MIG usulüyle kaynaklanmasında asal gaz koruması, kaynak banyosunu atmosfer etkisinden koruyarak reaksiyon ile element kaybını önler [40].

MIG kaynağı işleminde koruyucu gaz atmosferini argon, helyum veya bunların karışımı oluşturur. Hafif metallerin MIG kaynağında kullanılan argon gazının saflığının yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Çeliklerin MIG kaynağında ise, argon gazına düşük miktarda oksijen ve karbondioksit gazları. Asal gaza oksijenin ilavesi, arkın kararlılığını ve erimiş damlaların yüzeyde kolayca tutunmalarını sağlamaktadır. Ayrıca bu durum porozite oluşumunu engeller.

MAG kaynağı genel olarak çeliklerin kaynağında kullanılır. Yüzeyinde oksit tabakası bulunan alüminyum gibi metallerde kullanılmamasının nedeni alüminyum gibi metallerin kaynağını zorlaştıran alümina tabakasının parçalanma gereksinimidir. CO₂ kaynak işlemi sırasında alüminyum üzerinde tekrar oksitlenmeye neden olacağı için MAG kaynak yöntemi bu tarz yüzeyinde oksit tabakası barındıran metallerin kaynağında kullanılmaz. Kullanılacak gazların saflığına ve kuruluşuna dikkat edilmelidir. Aksi takdirde kaynakta gözenek ve gevrekleşme oluşabilir. Karbondioksit gazı, kaynaklama işleminin ısıyla karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca CO₂, ergimiş demir ile birleşerek demiroksit bileşiği oluşturur. Demiroksit ise manganez ve silisyum ile birleşerek, bu elementlerin kaybına sebep olur. Kaynak işleminde bu gibi element kayıplarının önüne geçmek için kullanılan dolgu malzemesinin daha yüksek element oranı ihtiva etmesi istenir.

Çeliklerin eş malzemeyele doldurma kaynağında veya yüksek karbon içeren dolgu malzemeleriyle dolgu kaynağı uygulamasında MAGc kaynak işlemi ve buna bağlı olarak sadece CO₂ aktif gazı kullanılmaktadır.

Yüksek alaşımlı dolgu malzemeleriyle sert yüzey yaparken (yüksek Cr ihtiva eden) özlü



Şekil 2.16. Özlü elektrotla ark kaynağı [41].

Ergimiş kaynak metalinin atmosfer etkilerinden dolayı kirlenmesi, ergimiş metalin katılaşırken meydana gelir. Başlıca atmosferik kirlilikler, havadaki ana elementler olan oksijen ve azottan kaynaklanır. Özlü elektroda gaz oluşturan takviyelerin eklenmesi bu atmosfer etkilerini azaltır veya ortadan kaldırır.

Öz bileşenleri kaynağın mukavemetini, fiziksel veya korozyon dayanımını artırıcı etkiler sağlar. Öz içine oksit giderici, gaz oluşturun, cüruf oluşturun, alaşım elementleri gibi takviyelerin ilavesi kaynak özelliklerini geliştirebilir. Sertlik, mukavemet, sürünme direnci ve korozyon direncini artırmak için öz içine karbon, krom ve vanadyum eklenebilir. Alüminyum, silikon ve titanyum kaynaktaki oksitleri ve / veya nitrürleri gidermeye yardımcı olur. Öz içine potasyum, sodyum ve zirkonyum eklenirse elektrot daha fazla cüruf oluşturun. Oksidasyon giderici maddeler, gaz oluşturun ve cüruf oluşturun olarak işlev gören akı çekirdeği katkı maddeleri, erimiş kaynak havuzunu korur veya ana metalden süreksizlik çıkarmaya yardımcı olur. Oksidasyon gidericiler ayrıca çok küçük miktarlarda yüzey oksitlerini tekrar saf metale dönüştürebilir. Gaz oluşturun takviyeler kaynak sırasında hızla genişler ve çevresindeki havayı erimiş kaynak havuzundan uzaklaştırır. Havadaki oksijen erimiş kaynak metali ile temas ederse, kaynak metali hızla oksitlenir. Kaynağın cüruf kaplaması birkaç nedenden dolayı yararlıdır. Cüruf, sıcak metali atmosferin etkilerinden korur, kaynak şeklinin oluşumunu sağlar ve soğuma hızını yavaşlatarak kaynağın fiziksel özelliklerini geliştirir [41].

Özlü elektrotla ark kaynağı birçok avantaj sağlar bunlar [41,44]:

- Yüksek Dolgu Hızı ve Oranı: Yüksek oranda kaynak metali biriktirme mümkündür. Özlü ark kaynağı ile 12 kg / saat 'ten fazla kaynak metali biriktirme oranı mümkündür. Bu örtülü elektrotla kaynağın neredeyse iki katıdır.
- Minimum Elektrot Atıkları: Özlü elektrotla ark kaynak yöntemi dolgu metalini verimli kullanır. Özlü ark kaynak elektrotunun ağırlığının %75 ila %90'ı metaldir, geri kalanı özdür. Örtülü elektrotların maksimum %75 dolgu metale sahiptir; bazı örtülü elektrotların dolgu metali ise çok daha azdır. Ayrıca, her bir örtülü elektrotun sonunda kullanılmayan bir uzunluk bırakılmalıdır. Bu kullanılmayan bölgenin uzunluğu yaklaşık 51 mm uzunluğunda olacak ve bundan dolayı örtülü elektrotun %11 veya daha fazlasının kaybolmasına neden olacaktır. Özlü ark kaynağının elektrot kaybı yoktur, bu nedenle verimli bir yöntemdir.
- Dar Kaynak Ağzı Açısı: Çok küçük kaynak ağzı açısıyla çalışılabilir veya ince parçalarda hiç kaynak ağzı açısı gerektirmez. Azaltılmış kaynak ağzı açısı daha küçük boyutlu bir kaynak sağlar. Bu, dolgu metalinden tasarruf sağlayabilir ve kullanılan zaman ve kaynak gücünden de tasarruf sağlar.
- Minimum Ön Temizleme: Oksit giderici ve diğer takviye elemanlarının eklenmesi, hafif yüzey oksitleri ve küçük yüzey düzensizlikleri barındıran malzemelerde yüksek kaliteli kaynakların yapılmasına izin verir. Bu, Gaz Metal Ark kaynağı yapılmadan önce gereken ön temizleme işlemlerinin çoğunu ortadan kaldırır. Genellikle “kesilmiş” durumda plakalar üzerinde mükemmel kaynaklar yapmak mümkündür, temizlik gerekmez.
- Her pozisyonda kaynak: Özel akıllarla birlikte küçük çaplı elektrot boyutları, tüm pozisyonlarda mükemmel kaynaklara izin verir. Bu işlemin kullanımı kolaydır ve uygun şekilde ayarlandığında, diğer tüm pozisyon ark kaynağı işlemlerinden çok daha kolaydır.
- Esneklik: Kolayca mekanize edilebilir bir yöntemdir. Güç ayarlarındaki değişiklikler, aynı elektrot boyutunu kullanarak ince kalınlıkta saclara veya daha kalın plakalara kaynak yapılmasına izin verebilir. Çok pasolu kaynaklar, sınırsız kalınlıktaki metallerin birleştirilmesine izin verir. Bu da elektrotun bir boyutu ile

elde edilebilir.

- **Yüksek Kalite:** Öz ilavesi, prosese kazanlar, basınçlı kaplar ve yapısal çeliklerde kaynak yapmak için gereken yüksek güvenilirliği sağlar.
- **Mükemmel Kontrol:** Erimiş kaynak havuzu, özlü elektrotla kaynaklamada gaz metal ark kaynağından daha kolay kontrol edilir. Bu yöntemdeki yüzey görünümü, operatör daha az beceriye sahip olsa bile yüksek kalitededir.
- **Az deformasyon:** Özlü elektrotla kaynak işleminde daha az çarpılma gerçekleşir. Dikiş altı çatlakları daha az görünür.

Dolgu kaynaklarında koruyucu atmosfer oluşturmada yapılan kaynak yöntemine "açık ark" tekniğini adı verilir. Açık ark tekniğinde kaynak havuzuna havadan nüfuz eden azot karbon gibi bileşik oluşturmaya etki gösterir. Karbon karbür oluşumunu tetiklerken, azot nitrür oluşturmaya etki gösterir. Dolgu kaynaklarında nitrür veya karbonitrürlerin oluşumu kaynak dolgusunun aşınma mukavemeti kazanmasında önemlidir. Bu nedenle eğer dolgu kaynağı yapılacaksa gaz koruması kaynak metaline girecek azotu engelleyeceğinden çok büyük bir avantaj teşkil etmeyebilir. Örneğin bazı öz içerisinde titanyum içeren dolgu kaynak elektrotlarının açık ark tekniğiyle kullanımında titanyum karbür (TiC) oluşumu gözlenir. Titanyum karbür yüksek sertlik değerleri gösteren karbürlerden biridir. Sertlik bakımından ikinci sırada bulunan bir karbür oluşturma özelliğine sahiptir. Bu sayede sertlik artışı sağlanabilir [45].

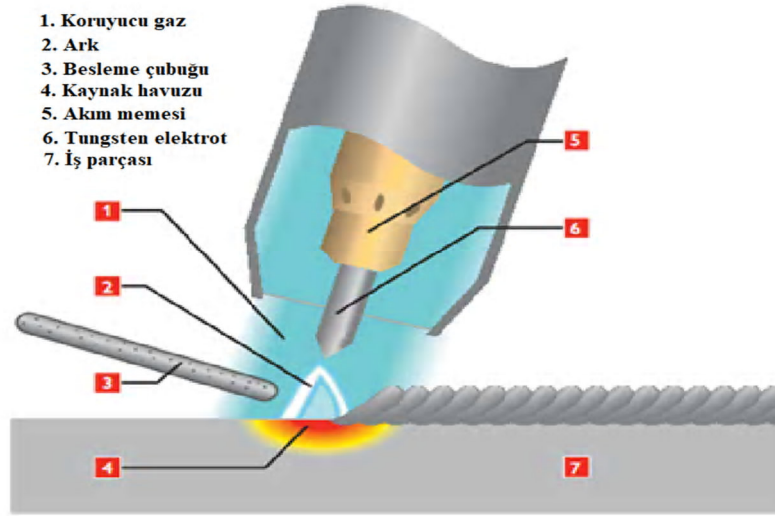
2.5.10. TIG Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

TIG kaynağı, kaynaklama işlemi için tüketilemez bir tungsten elektrodu kullanan bir ark kaynağı işlemidir. Kaynak alanı, koruyucu bir asal gaz (argon veya helyum) yardımı ile atmosferden korunur ve normalde bir dolgu metali ekleyerek kullanılır. Güç, güç kaynağından torç vasıtasıyla tungsten elektroda iletilir. Daha sonra, enerji üreten sabit akım kaynak güç kaynağı kullanılarak tungsten elektrot ve iş parçası arasında yüksek iyonize gaz ve metal buharları kolonu aracılığıyla bir elektrik arkı oluşturulur ve bu sayede kaynaklama işlemi gerçekleştirilir. Tungsten elektrot ve kaynak havuzu çevresi, çevredeki havanın etkilerinden asal bir gazla korunmaktadır. Elektrik arkı, 20.000°C dereceye kadar sıcaklıklar üretebilir ve bu sıcaklık, malzemenin iki farklı parçasını eritmek ve birleştirmek için kullanılır. İstenmesi durumunda kaynak işlemi ilave dolgu

malzemesiz de yapılabilir. Tungsten elektrotlar genellikle 0,5 mm ila 6,4 mm çapında ve 150-200 mm uzunluğunda üretilirler. Elektrotun akım yüklenebilirliği elektrotun kutuplanma şekli ile ilgilidir. TIG arkını korumak için gereken güç kaynağı, ark uzunluğu birkaç milimetre değiştiğinde bile sabit bir akım değeri sağlar. Bu tarz güç kaynaklarına düşey akım karakteristiğine sahip güç kaynağı denir. Dolayısıyla, manuel kaynakta meydana gelen ark uzunluğundaki doğal değişimlerin kaynak akımı üzerinde çok az etkisi vardır [46].

TIG kaynağı işlemi, Şekil 2.17'de gösterildiği gibi ark kolonu, kaynak çubuğu ve kaynak havuzu, harcanmayan tungsten elektrot ve elektrotu korumak için inert gaz kalkanı kullanan bir ark kaynağı işlemidir. Kaynak arkı sadece bir ısı kaynağı olarak görev yapar ve kaynağı yapan kişi, bir kaynak dolgu çubuğu ekleyip eklememe seçeneğine sahiptir. Kaynak havuzu, kolayca kontrol edilir, ark çok düşük kaynak akımlarında stabildir [47].

TIG kaynağı yöntemi ile alt tabakadan farklı özelliklerde yüzey modifikasyon işlemleri uygulanabilir. Oluşturulan yüzey dolgusunun özelliklerinin ihtiva ettiği bileşimler ve bunların oranları belirler. Ergime olayı, yüzey dolgusu ve ana malzemede aynı anda gerçekleşir ve bunu takiben hızlı soğuma ve katılaşma oluşur. Bu hızlı katılaşma sonucunda sert karbür fazlarını ihtiva eden ince taneli mikroyapılar oluşur ve bu yapılar yüzeyde sertlik, aşınma direnci vb. istenen özellikleri sağlar. TIG kaynağının sağladığı üstün kaynak kalitesi ve asal gaz korumasının iyi olması nedeniyle, TIG kaynağı ile yüzey modifikasyonu yöntemi aşınma uygulamalarında ve sertlik istenen durumlarda mikroyapı özelliklerinin değiştirilmesinde kullanılmaktadır [26,28].

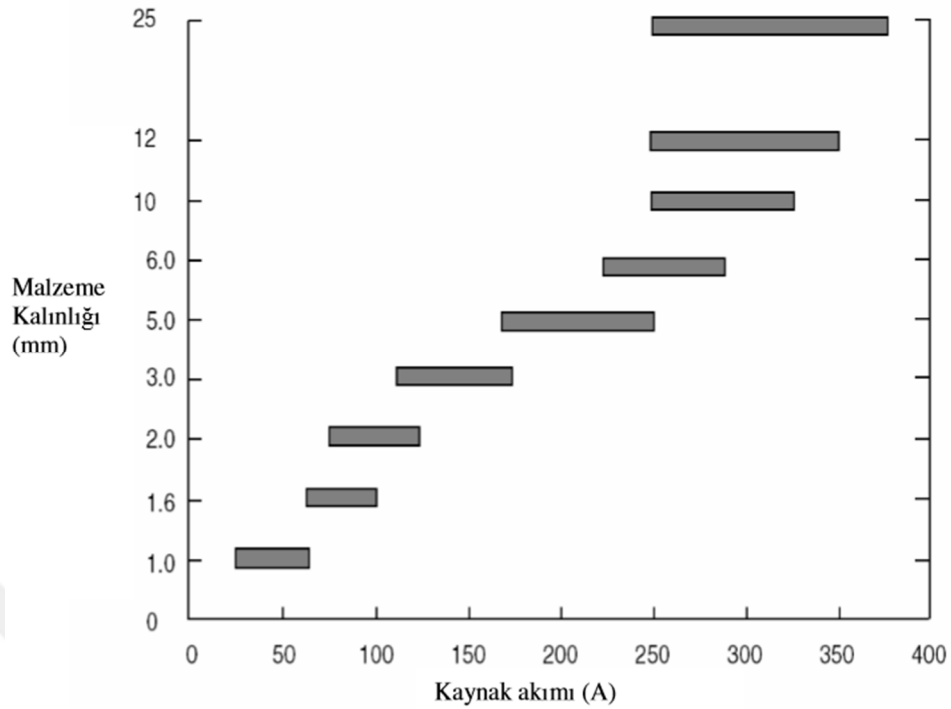


Şekil 2.17. TIG kaynağı işleminin şematik gösterimi [48].

2.5.10.1. TIG Kaynağı Parametreleri

TIG kaynağı yapılırken şu kaynak parametreleri kaynak kalitesini etkiler:

- **Kaynak akım değeri:** TIG kaynağındaki yüksek akım değeri sıçrantılara veya iş parçasının zarar görmesine neden olabilir. Düşük akım değeri ise dolgu malzemesinin tam ergimeden yapışmasına neden olur. Akım değerinin yeterince yüksek olmaması durumunda yeterli kaynak dolgu metalini eritmek için daha uzun süre işlem yapılacağından ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği artabilir. Şekil 2.18’de TIG kaynak yönteminde malzeme kalınlığına bağlı olarak kullanılan yaklaşık akım değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.18. TIG kaynak yönteminde malzeme kalınlığına bağlı olarak kullanılan akım değerleri [47].

- **Kaynak gerilim değeri:** TIG kaynağında kaynak gerilim değeri genellikle kaynak makinesi tarafından ayarlanır veya sabitlenir. Gerilim değeri ark genişliğini değiştirir ve arkın kolay tutuşmasına yardımcı olur.
- **Koruyucu gaz türü ve debisi:** Koruyucu gazların kaynak işlemindeki asıl görevi, iyonize olarak ark oluşumunu sağlamak ve kaynak havuzunu dış atmosfer etkilerinden korumaktır. Genellikle uygulamalarda saf argon gazı kullanılmasına rağmen zaman zaman çeşitli karışım gazları da uygulanabilir. Bu karışım gazlarında bir diğer asal gaz olan Helyum ve karbondioksit veya oksijen gibi aktif gazların karışımları da tercih edilebilir. Böylece plazma haline gelmiş olan gazların termofiziksel özellikleri değiştirilerek kaynak işleminin ark oluşumu, ısı transferi, gaz koruma alanı gibi özelliklerinde gelişme sağlanabilir [27].

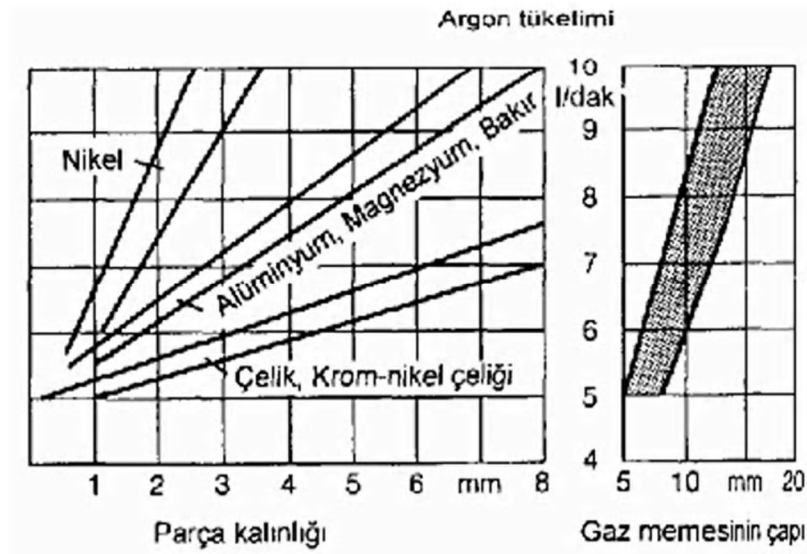
Koruyucu gaz mümkün olduğu kadar kuru olmalıdır. TS EN 439, kaynak metaline hidrojen girmemesi için gaz saflığı için kuralları ve gazların kuruluşunu, çığlenme sıcaklığı ile verir Tablo 2.3'de TS EN 439'a göre koruyucu gazların özellikleri gösterilmiştir.

Argon helyuma göre daha düşük bir iyonizasyon enerjisine sahiptir. Bunun için kolayca plazma meydana getirir. Ark kararlı ve sakin yanar. İyi bir elektrik iletkenliğine sahiptir. Isıl iletkenliği kötüdür. Kaynak banyosunun yüzey gerilimi yüksektir; sıçrama yapar ve tipik argon parmağı şeklinde nüfuziyet sağlar. Ark gerilimi düşük olduğundan ısı girdisi azalır. Argon helyuma göre 10 kat daha ağırdır (Ar: 1,7840 kg/Nm³, He: 0,1785 kg/Nm³). Diğer taraftan argon havadan da ağır olduğu için kaynak yerini daha iyi korur ve sarfiyatı da helyumdan çok daha azdır [44].

Tablo 2.3. TS EN 439'a göre koruyucu gazların özellikleri.

Gaz	Safılık (%)	Çiğlenme Sıcaklığı (°C)	Havaya Göre İzafi Yoğunluğu (Hava=1)	Reaksiyon Davranışı	1,013 Bar'da Erime Sıcaklığı (°C)
Argon	99,99	-50	1,37	Asal gaz	-185,9
Helyum	99,99	-50	0,14	Asal gaz	-268,9
Hidrojen	99,5	-50	0,06	Redükleyici	-252,9
CO ₂	99,7	-35	1,44	Oksitleyici	-78,5

TIG kaynağı işleminde koruyucu gaz tüketimi ve buna bağlı olarak ayarlanması gereken gaz debisi, malzemenin kalınlığına, kaynaklanacak malzemeye, tungsten elektrot çapına ve dolgu teli boyutuna bağlıdır. Bu değerlere bağlı olarak ısıdan etkilenmiş bölgenin boyutları, kaynak bölgesinin genişliği ve kaynak hızı değişkenlik gösterebilir. Kaynak işlemindeki koruyucu gaz sarfiyatı, torçun ucundaki gaz memesinin çapıyla da alakadır. Şekil 2.19'da parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi ilişkisi verilmiştir [44].



Şekil 2.19. Argon tüketiminin parça kalınlığı ve gaz memesine bağlı tüketim oranları [44].

TIG kaynağında kullanılacak gaz türü kaynağı gerçekleştirilecek malzemeyle, kaynak maliyetiyle, kaynak sıcaklığıyla, ark kararlılığıyla, kaynak hızıyla, sıçrantiyla, elektrot ömrüyle yakından ilgilidir. Kullanılan gaz türü kaynak etki derinliğini, korozyon direncini, poroziteyi, kaynak yüzey kalitesini ve mukavemeti etkiler.

- **Kaynak hızı:** Kaynak hızı önemli parametrelerden birisidir. Çünkü birim uzunluğa uygulanan ısı girdisini belirler ve ısıdan etkilenmiş bölgenin mukavemet değerleri buna bağlıdır. Kaynak hızı gereğinden fazla arttırılırsa bu seferde kaynak penetrasyon etkisi azalır. Gereksiz yüksek kaynak hızı yanma çentiklerinin oluşumu ihtimalini artırır. Porozite oluşumu ihtimali hem çok yüksek kaynak hızlarında hem de çok düşük kaynak hızlarında artar [46].

Kaynak hızının arttırılması, birleşme hatalarına, düşürülmesi ise dikişin genişlemesine ve istenmeyen aşırı ısı girdisine yol açar. TIG kaynağında en yaygın kaynak hızları 10 ila 40 cm/dak arasındadır [44].

- **Kaynak Öncesi Yüzey Hazırlığı:** Özlü kaynak çubuğu üretildikten sonra taban malzemesinin kaynak için hazırlanması gerekir. Bu konudaki ilk gereklilik iş parçasının temiz ve pas veya kirden arındırılmış olmasıdır. Tel fırçalama ve/veya çözücü ile yıkama kir, yağ, pas vb. gidermek için gerekli olabilir [45]. Gazlı sert dolgu kullanıldığında gerekli olan temizlik derecesi daha fazladır ve bu işlem için

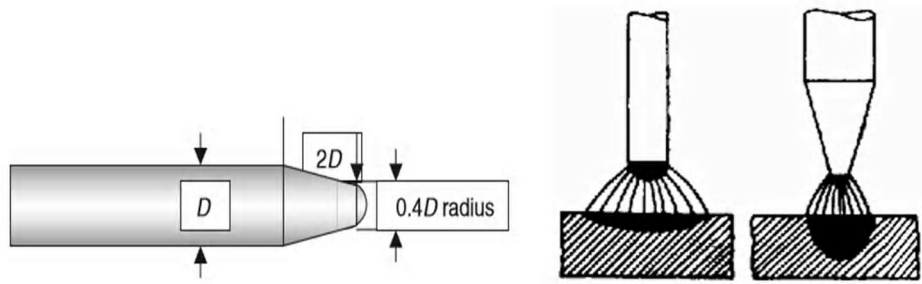
her zaman iş parçasının temizliğine dikkat edilmelidir.

Genellikle düz bir işlem yüzeyi gereklidir ve bu, yorulmuş veya yuvarlak yüzeyli metallerin, yüksek çıkıntıların veya diğer ana yüzey düzensizliklerinin giderilmesini gerektirebilir. Bu düzensizliklerin giderilmesi için taşlama, işleme yapılabilir [49].

- **Ön ısıtma:** Yüzey sertleştirme işleminde bazı durumlarda ön ısıtma gerekebilir ve bu ön ısıtma ile büzülmelerin önüne geçilerek iç gerilme oluşumunda azalma sağlanarak çatlaklar ve çarpılmalar azaltılabilir veya önlenir. Malzeme yüzeyindeki nem giderilerek porozite azaltılabilir. Uygun ön ısıtmayla tutunma oranı artırılabilir.

Doğru bir ön ısıtma sıcaklığı seçilmeden önce ana malzeme kimyası bilinmelidir. Ana alaşım içeriği, ön ısıtma sıcaklığını etkileyen ana faktördür. Normal olarak, alaşım içeriği ne kadar yüksek olursa, ön ısıtma sıcaklığı o kadar yükselir. Kaynak sırasında, uygulama sıcaklığı, ön ısıtma sıcaklığı ile aynı olmalıdır. Ön ısıtma sıcaklıklarının belirlenmesinde bir başka önemli faktör de baz metal kalınlığıdır. Baz metalin kalınlığı arttıkça, daha yüksek bir ön ısıtma sıcaklığı gereklidir bunun nedeni malzemenin kalınlığının artmasıyla soğuma alanının artmasıdır. Ön ısıtma sırasında, tüm bileşenin verilen ön ısıtma sıcaklığına getirilmesi için ısıtma ön ısıtması gereklidir. Genellikle önceden ısıtılmış tüm bileşenler yavaş soğutulmalıdır [33].

- **Elektrot türü ve özellikleri:** Alüminyumun alternatif akımda kaynaklanmasında seçilecek elektrot çapına ve elektrot içeriğine dikkat edilmelidir. Uygun olmayan elektrot çapı yüksek akım yüklemelerinde elektrotun eriyerek kaynak havuzu içine girmesine neden olur. Uygun elektrot çapı seçiminde ise elektrot ucu eriyerek yarım küre şeklini alarak arkı stabil hale getirir. Ark sapması yaşanmaması için alüminyum kaynaklama işlemlerinde elektrot ucunun sivri olmasının değil, daha iyi ark stabilitesi sağlayan küresel uçlu elektrot olması istenir. Elektrot ucu, Şekil 2.20'de gösterildiği gibi yuvarlak ucun oluşmasına yardımcı olmak için hafifçe konik olmalıdır.

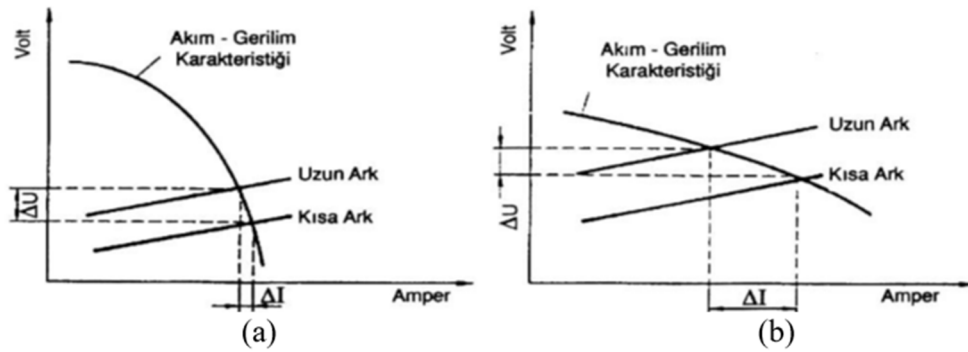


Şekil 2.20. Tavsiye edilen elektrot şekli ve elektrot ucunun aynı akımda dikiş formuna etkisi [40,47].

Elektrot içeriğinde ise alüminyum kaynağında saf tungsten elektrotlar ve zirkonyum takviyeli elektrotlar önerilir. Zirkonyum takviyeli elektrotların takviyesiz olanlara göre avantajı daha yüksek akım yüklenebilir olmaları ve daha yüksek ömürlü olmalarıdır. Toryum katkılı elektrotlar ise alternatif akımda düşük ark stabilitesi gösterdiklerinden dolayı tercih edilmezler. Ancak son zamanlarda, toryum içeren elektrotların kullanımı sırasında ortaya çıkan radyasyon riskini azaltacağı iddia edilen sezyum, seryum veya lantan gibi uzun elektrot ömürlü toprak elementleri takviyeli elektrotların kullanımı artmıştır [45,47].

- **Akım Türü:** Kaynak akımı üreteçlerinin V-I (volt-amper) karakteristiği, elle ark kaynağı ve TIG kaynağı işleminde kullanılan akım üreteçlerinde düşey karakterli üreteçlerken, MIG/MAG kaynağında ise yatay karakteristiğe sahip akım üreteçlerdir. Şekil 2.21’de bu kaynak akım üreteçlerinin karakteristik çizgileri gösterilmektedir [50,51]. Alüminyum kaynağı için hem doğru akım elektrot pozitif (DCEP) kutuplanarak hem de alternatif (AC) akımda kullanılabilir. Ancak alüminyum, magnezyum ve bunların alaşımları, sabit oksit filmi nedeniyle genellikle alternatif akımla kaynaklanır. Alternatif akımda yapılan kaynağın avantajı, akımın tersine çevrilmesinin, küçük yüzey düzgünsüzlüklerinin ve oksitlerin temizlenmesini sağlamasıdır. Oksitler, değişken kutuplu arka bağlı yüksek ısı konsantrasyonuna ve yüksek gaz enerjili iyonlar tarafından parçalanırlar [52]. Elektrot pozitif kutuplandığında ergimiş kaynak banyosundan çıkan elektronlar, oksit tabakasını parçalar. Ancak bu teoriye karşı, elektronların çıkış enerjisinin düşüklüğü nedeniyle, bunların alttaki metalden değil mevcut oksit tabakasından çıktığı söylenmektedir. Ancak elektrot

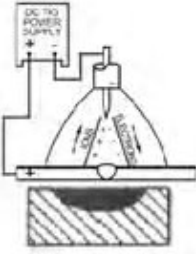
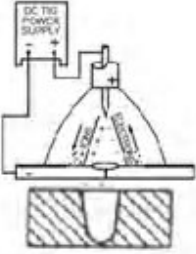
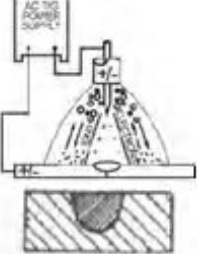
pozitif kutuplanması aynı zamanda TIG kaynağı için elektrotun eriyerek kaynak metali içine karışabileceği anlamı taşır. Bunu engellemek için alüminyum kaynaklarında alternatif akım kullanılır. Yüzeydeki oksit filminin temizlenmesi kaynak kalitesini artırır. Tungsten elektrodun ucu, yarım küre şeklinde olduğunda ark enerjisini en iyi şekilde ileterek en iyi kaynak performansını gösterir [44].



Şekil 2. 21. a) Elle ark kaynağı ve TIG kaynağı için, b) MIG/MAG kaynakları için kaynak akım üretici karakteristik diyagramı [51].

Alüminyumun kaynağında elektrotun negatif (DCEN) kutba bağlandığı doğru akım da kullanılır; bu derin penetrasyon ve dar kaynak bölgesi sağlar. Bu işlem daha yüksek kalınlıktaki parçalar için iyidir. Ancak DCEN kutuplamanın yüzey oksit temizleme özelliği yoktur. Bu nedenle kaynak öncesi kir ve oksit temizliğine daha fazla önem verilmesi gerekir. Helyum gazı kullanılırsa, bu, argon gazı ile karşılaştırıldığında daha derin penetrasyona neden olacaktır [53].

Tablo 2.4. TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi [54].

Akım Türü ve Kutuplama	Doğru Akım, Elektrot Negatif	Doğru Akım, Elektrot Pozitif	Alternatif Akım
Elektronların ve İyonların Akış Yönü			
Dikişin Nüfuziyet Biçimi			
Oksit Temizleme Etkisi	Yok	Var Kuvvetli	Var Orta
Nüfuziyet	Derin ve dar	Az ve geniş	Orta derinlik
Elektrot Akım Kapasitesi	Fevkalade 3,2 mm çap 400 A	Kötü 6,4 mm çap 120 A	İyi 3,2 mm çap 225 A
Isı Dağılımı	%70 iş parçası %30 Elektrot ucuna	%30 iş parçası %70 Elektrot ucuna	%50 iş parçası %50 Elektrot ucuna

TIG kaynağı yöntemi ile hemen hemen bütün metal ve alaşımlarının kaynak ile birleştirilmesi mümkündür. Çelik alaşımları, alüminyum, titanyum, zirkonyum alaşımları, nikel gibi metallerin kaynaklanmasında TIG kaynağından yararlanılır. Kurşun ve çinkonun kaynak edilebilirliği düşük ergime sıcaklıkları yüzünden zordur [54].

TIG kaynağı sektörel olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bunlar [55]:

- Alüminyum konstrüksiyonların kaynaklanmasında (Mutfak takımları, boru tesisatlarında, tankların imalatında, taşıt imalatlarında, denizcilik sektöründe, gemi ve yat imalatı vb.)
- Paslanmaz çeliklerin kaynaklanmasında (Gıda sanayisinde, kimyasal tesislerde, boru tesisatlarında, tıbbi aletlerin üretilmesinde, ısı eşanjörleri, tanklar, gaz ve buhar türbinleri, havacılık sanayisinde vb.)
- Magnezyum parçaların kaynaklanmasında.
- Deokside edilmiş bakır ve bakır alaşımlarının kaynaklanmasında (elektronik

aksam imalatı ve kimya endüstrisi vb.)

- Sert dolgu yüzey kaynakları (Sübapların oturma yüzeyleri vb.)
- DKP çelik saçların kaynaklanmasında (uzay ve havacılık endüstrisi, ince sac konstrüksiyonları vb.)
- Özel işlerin kaynaklanmasında (kaplamalı(çinko) saçların kaynağı, nükleer santral inşası vb.)

TIG kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre bazı avantajları vardır bunlar [55]:

- Neredeyse bütün metal alaşımlarına uygulanabilir bir kaynak yöntemidir.
- Kaynak sırasında asal gaz koruması kullanılması nedeniyle kaynak dikişinde oksidasyon görülme riski azdır ve bunun sonucunda kaynak metalinde alaşım elemanlarının kayıpları söz konusu değildir. Bu nedenle kaynak dikişi kalitesi daha yüksek seviyededir.
- Kaynak işleminde dekapan malzemesine gereksinim yoktur.
- Kaynak dikiş kalitesi yüksek olduğu için genellikle sonradan işleme gerek duyulmadan kaynaktan sonra malzeme olduğu gibi kullanılır. Eğer ek işleme gerek duyuluyorsa ek işlem masrafları üstün kaynak dikişi kalitesi sayesinde daha düşüktür.
- Isıdan etkilenmiş bölge diğer yöntemlere göre daha küçük olduğundan iç gerilmeler ve çarpılmalar daha azdır.
- Her pozisyonda kaynak yapmak mümkündür.
- Bu kaynak yöntemiyle farklı tür metallerin birbirleri ile kaynaklanması mümkündür.

Bunların yanında TIG kaynağı bazı dezavantajlar barındırır bunlar:

- Diğer gaz altı kaynak yöntemlerine göre daha yavaş bir yöntemdir
- Daha hassas işçilik gerektirdiği için daha kalifiye kaynak operatörü ihtiyacı vardır.
- Gaz altı kaynak yöntemine göre daha yavaş bir kaynak yöntemi olduğundan dolayı kalın iş parçalarının kaynaklanmasında ekonomik bir yöntem değildir.
- Rüzgârlı ortamlarda soygaz koruması sağlanamayacağı için bu tarz hava akışının olduğu ortamlarda kullanılmaya uygun bir yöntem değildir [48].

2.6. Alüminyum Malzeme Özellikleri

Alüminyum yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip, hafif, kolay şekillendirilebilir ve korozyon dayanımı yüksek bir malzemedir. Alüminyum alaşımları hafifliğinin yanı sıra sağladığı üstün mekanik özellikleri sayesinde özellikle uzay-havacılık, silah ve savunma sanayisinde kendisine geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Alüminyum alaşımlarının günümüz sanayisinde kullanım alanının artması alüminyum malzeme üstüne daha fazla bilimsel çalışma yapılmasını sağlamıştır. Alüminyumun özellikle uzay-havacılık ve savunma sanayisindeki yapılan çalışmalar ve araştırmalar özellikle 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyumun kullanımının giderek arttığını göstermiştir [56].

Bakır, magnezyum ve çinko alüminyumu alaşımlandırma işlemlerinde en fazla kullanılan elementlerdir. Alüminyum alaşımları ihtiva ettikleri alaşım elementleri ve ısıl işlemle mukavemet kazanıp kazanmadıklarına göre ısıl işlemle sertleştirilebilen alaşımlar veya ısıl işlemle sertleştirilemeyen alaşımlar olarak iki gruba ayrılırlar [57].

Alaşım elementlerine göre sınıflandırma ise yine EN standartlarına göre;

1XXX : Saf alüminyum

2XXX : Alüminyum-Bakır alaşımları

3XXX : Alüminyum-Manganez alaşımları

4XXX : Alüminyum-Silisyum alaşımları

5XXX : Alüminyum-Magnezyum alaşımları

6XXX : Alüminyum-Magnezyum-Silisyum alaşımları

7XXX : Alüminyum-Çinko-Magnezyum alaşımları

8XXX : Lityum, demir, vb. Elementleri alaşımları

9XXX : Herhangi bir grupta bulunmayan alaşım türleri

olarak sınıflandırılmışlardır [47].

Alüminyumun alaşımlandırılmasında kullanılan alaşım elementleri ve bunların alüminyum alaşımına kattığı önemli özellikler şunlardır [47]:

- Magnezyum (Mg), alüminyumun soğuk şekillendirilebilmesini geliştirir ve katı eriyik

sertleştirilmesi ile mukavemet artışına neden olur.

- Mangan (Mn), alüminyumun soğuk şekillendirilebilmesini geliştirir ve katı eriyik sertleştirilmesi ile mukavemet artışına neden olur.
- Bakır (Cu), çökelme sertleştirilmesi ile mukavemet artışı sağlar ancak alüminyumun korozyon direncini düşürür. Alüminyumı gevrekleştirerek kaynaklanabilirliğini azaltır.
- Silisyum (Si), magnezyum ile birlikte kullanılarak çökelti sertleşmesi oluşumunu sağlar. Bu sayede mukavemet ve süneklikte gelişme sağlanır.
- Çinko (Zn), mukavemet artırır, çökelme sertleştirilmesi uygulanabilmesini sağlar ancak gerilme korozyonu riskini artırır.
- Demir (Fe), genellikle saf alüminyum içinde cevherden gelen alaşım elementi olarak bulunur ve mukavemet artışında rol oynar.
- Krom (Cr), alüminyumun gerilme korozyonu direncini artırır.
- Nikel (Ni), alüminyumun yüksek sıcaklıkta çalışma mukavemetini artırır.
- Titanyum (Ti), alüminyum bazlı dolgu malzemelerinde özellikle düzgün tane oluşumu için kullanılır (grain-refining).
- Zirkonyum (Zr), aynı titanyum gibi özellikle dolgu metalinde düzgün tane oluşumu için kullanılır (grain-refining).
- Lityum (Li), alüminyumda mukavemet ve elastikiyet özellikleri sağlarken, çökelme sertleşmesi uygulanabilmesini sağlar ve yoğunluğu düşürür.

Avrupa’ da kullanılan standartlara göre öncelikli olarak alüminyum alaşımları üretim yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. EN 573’ e göre ‘AB’ ingot, ‘AC’ döküm, ‘AM’ master döküm alaşımları, ‘AW’ ise dövme ürünlerin kodlarıdır [47].

Alüminyumun isimlendirilmesinde alaşım simgesinden sonra eklenen tire (-) işareti sonrakı harf malzeme üzerine uygulanmış esas işlemin anlatır. Harften sonra gelen rakam ise esas işlemin uygulanmasında kullanılan özgül işlemin anlatır. Sadece pekleştirilerek sertleştirilebilen alaşımlar ‘H’ harfiyle gösterilirken, ısıtıl işlemlerle veya hem ısıtıl işlemlerle hem de pekleşme yoluyla sertleştirilebilen alüminyum alaşımları ‘T’ harfiyle gösterilirler. Alüminyum alaşımlarının isimlendirmesinde;

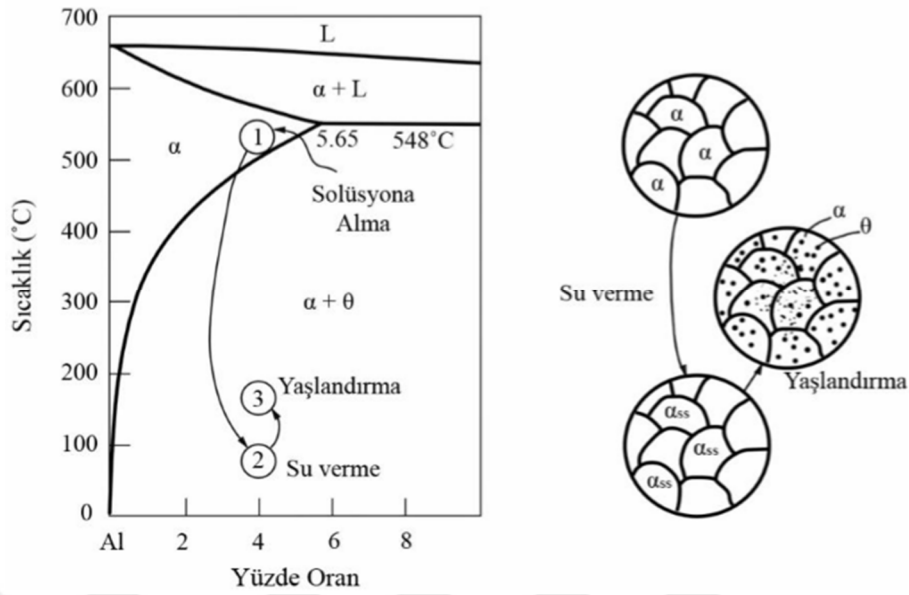
- F: imal edildiği gibi
- O: tavllanmış, rekristalize edilmiş
- H: pekleşme ile sertleştirilmiş (H1: sadece pekleşme ile sertleştirilmiş, H2: pekleşme ile sertleştirilmiş ve sonra kısmen tavlama uygulanmış, H3: pekleşme ile sertleştirilmiş ve sonra stabilize edilmiş)
- W: Çözelti ısı işlemi görmüş (stabil olmayan yapı)
- W5: Çözelti ısı işlemi ve gerilim giderme uygulanmış
- T: Stabil meneviş için ısı işlem görmüş (T1: değiştirilmiş eriyik ısı işlemi ve sonra pekleştirilmiş, T2: tavllanmış (sadece döküm), T3: çözelti ısı işlemi ve soğuk işlenmiş, T4: Çözelti ısı işleminden sonra doğal yaşlandırma uygulanmış, T5: döküm veya ekstrüzyondan sonra hızlı soğuma ve yapay yaşlandırma uygulanmış, T6: çözelti ısı işlemi ve yapay yaşlandırma uygulanmış, T7: çözelti ısı işlemi uygulanmış ve stabilize edilmiş, T8: çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış, T9: çözelti ısı işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş, T10: yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş) anlamını taşır [45].

Alüminyuma mukavemet kazandırmada kullanılan ana yöntemler; deformasyon ile sertleştirme, çözeltiye alma sertleştirilmesi veya mikroyapıya çökeltilerin sokulmasıdır. Çok kullanışlı bir malzemedir; kaynaklanabilirliği ve şekillendirilebilirliği nispeten kolaydır. Bununla birlikte kaynakla verilen ısı, deformasyon yoluyla sertleştirilmiş veya çökeltiyle sertleştirilmiş alaşımlarda ciddi şekilde dayanç kaybı oluşturabilir. Alüminyum ve alaşımları hava ile temas ettiğinde, yüzeyde hızla refrakter oksit tabakası (Al_2O_3 - alümina) oluşur. Alüminyum oksidin erime noktası 2300 °C'nin üzerindedir, 660 °C'de eriyen alüminyumdan oldukça yüksektir. Kaynak işlemi sırasında bu oksit tabakası etkili bir şekilde çıkarılmadığı sürece, erime sıcaklıklarındaki fark, iş parçasının ergimiş metalinin dolgu maddesine bağlanmasını zorlaştıracaktır. Kaynak işlemi sırasında bu oksit filminin kaynaklama işlemini zorlaştırmaması için malzeme yüzeyinden uzaklaştırılması ve kaynak işlemi sırasında oksitlenmeye izin verilmemesi gerekir. Bununla birlikte, yüzey oksit filmine rağmen özel kimyasallar kullanarak veya kaynak arkının doğru kullanılması sayesinde yüzey oksit filmini parçalanmasıyla çok ciddi bir kaynak ortamına ihtiyaç duymadan da kaynaklama işlemi yapılabilir.

[58,59].

Al-Cu alaşımları özellikle ısıtıl işlemle mekanik özelliklerde iyileşmeye izin verdiği için sanayide sıklıkla tercih edilirler. Günümüzde Al-Cu alaşımları toz metalürjisi işlemlerinde kullanım miktarlarıyla en çok dikkat çeken alaşım grubudur. Alüminyum-Bakır denge diyagramına göre, alüminyum içerisinde ötektik sıcaklıkta (548 °C’de) ağırlıkça %5,65 bakır çözünür. Sıcaklık artışıyla alüminyum içinde bakır çözünmesi artar ve bu durumda Al_2Cu intermetalik bileşiği oluşumu başlar. Difüzyon, denge hali gerçekleşene kadar devam eder. Ötektik sıcaklığa ulaşıldığında ilk olarak Al- Al_2Cu tane sınırlarında ergime başlar ve ilk sıvı faz oluşmuş olur. Dolayısıyla 548 °C üzerinde yapılan tüm sinterleme işlemleri sıvı faz sinterlemedir [60].

Bazı alüminyum alaşımlarının yaşlandırma sertleşmesi ile mukavemet değerleri arttırılır. 2XXX serisi alüminyum da bunlardan birisidir. Yaşlandırma ısıtıl işlemi üç adımda uygulanır. Bu işlemler öncelikle çözeltiye alma, ardından su verme ve yaşlandırma işlemiyle tamamlanır. Aşağıdaki Şekil 2.22’de yaşlandırma işleminin uygulanma aşamaları gösterilmiştir. Alüminyuma yapılacak ısıtıl işlemle mukavemet kazandırmada çözeltiye alma işlem süresi malzeme içerisindeki alaşım elementi miktarı ve cinsine bağlıdır. Malzemenin kimyasal kompozisyonunun bilinmesi bu sürenin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Al2024 malzeme için çözeltiye alma işlemi yaklaşık 490-503 °C sıcaklıkta 30 dakika süresince uygulanır [61]. Yaşlandırma işlemi ise oda sıcaklığında doğal olarak uzun süreler beklenerek veya 115–190 °C sıcaklık arasında 5–48 saat yapay yaşlandırma uygulamak suretiyle daha kısa sürede mukavemet artışı gerçekleştirilebilir [62].



Şekil 2.22. Al-Cu faz diyagramı ve Al %4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökelme sertleşmesi safhalarında mikroyapı değişimleri [63].

Alüminyum alaşımı malzemelere uygulanabilecek tavlama türleri şunlardır [45]:

- Homojenleştirme tavlaması: ingot malzemelerdeki segregasyon bölgelerinin haddeleme işleminden önce giderilmesi için kullanılır. Malzeme içerisindeki segregasyon bölgeleri homojen olmayan karı eriyiklere sebep olurlar ve Al_2Cu , Al_2CuMg , Mg_2Si , $Al_2Mg_3Zn_3$ gibi denge dışı fazların tane sınırlarında ve dendrit aralarında birikirler. Homojenleştirme işleminde bu fazlar erir ve soğuma sırasında çok ince bileşikler halinde çökelerler. Bu sayede alaşımın sünekliğinde iyileşme gözlenir. Homojenleştirme tavlaması ince taneli bir iç yapı oluşturur ve gerilmeli korozyon riskini azaltır. Homojenleştirme tavlaması sıcaklığı 450- 520 °C arasında iken, bekletme süresi yaklaşık 4-10 saat civarındadır. Alaşımlar havada veya fırında soğutulurlar.
- Rekristalizasyon tavlaması: pekleştirme sertleşmesi uygulanmış malzemede ince taneli iç yapı elde etmek ve yumuşama sağlamak için kullanılır. Genellikle alüminyum alaşımlarında rekristalizasyon sıcaklığı 350-500 °C, bekletme süresi ise 0,5-2 saat civarındadır. Isıl işlemle sertleştirilemeyen alüminyum alaşımlarında rekristalizasyon tavlamasından sonra soğutma isteğe göre şekillendirilebilir. Isıl işlemle sertleştirilebilen alüminyum alaşımlarında ise

sıcaklık 200-250 °C'ye düşene kadar saatte 30 °C'yi geçmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

- Yumuşatma tavlama: yaşlandırma veya pekleşmeyle sertleştirilmiş alüminyum alaşımların yumuşatılmasında tavlama sıcaklığı 350- 450 °C, bekletme süresi 1-2 saat olarak uygulanır. Böylece fazla doymuş katı eriyik tamamen çözünür ve kuvvetlendirici etki gösteren fazlar ayrılıp toplanırlar. Soğutmada ise saatte 30 °C'den daha yüksek soğutma hızı kullanılmaz.

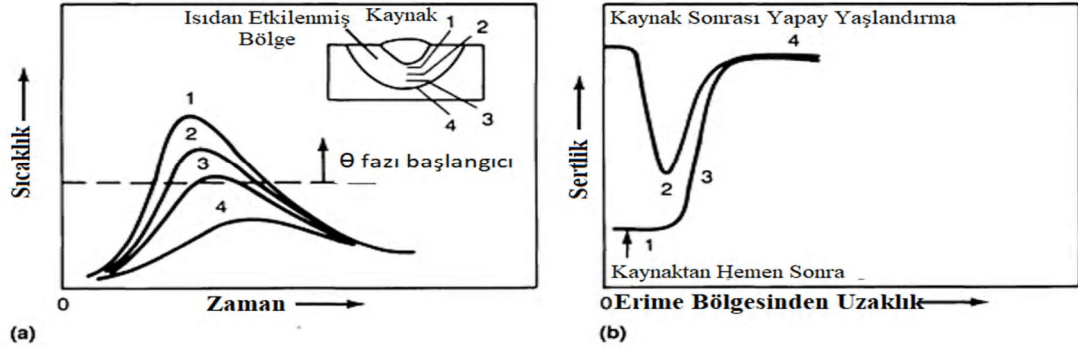
2.7. Alüminyumun Kaynaklanabilirliği

Alüminyumun diğer metallerden özellikle çeliklerden farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyeti üzerinde oldukça etkilidir. Bunlar [62];

- Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Yüksek ısı genleşme katsayısı,
- Düşük ergime sıcaklığı,
- Ergime sıcaklığına yaklaştığında renk değişimi göstermemesi (kısaca tav rengi göstermemesi).

Isıl işleme tabi tutulabilir alüminyum alaşımlarının kaynaklanmasındaki temel problemler, kısmen erimiş bölgede sıvı çatlamasıdır ve ısıdan etkilenmiş bölgedeki mukavemet kaybıdır. İkincisi, kaynak bağlantı gücünün azaltılabileceği anlamına gelir. Yumuşama nedenleri Şekil 2.23'e atıfta bulunarak anlaşılabilir. Ana malzemenin, (θ , alüminyum-bakır alaşımlarında) metastabil fazını içerecek şekilde yapay olarak yaşlandırılmış 2XXX veya 6XXX serisi bir alüminyum alaşımı olduğu varsayılır. Ana malzemede, çözelti ısı işlemi ve ardından yaşlanma ile çok ince bir çökelti partikülü dispersiyonu elde edilir ve bu, malzemelere yüksek mukavemet kazandırmada kullanılır. Şekil 2.23 (b), kaynak işleminden hemen sonra ısıdan etkilenmiş bölgede sertlikte oluşan sertlik gradyanlarını göstermektedir. 1. konumda yüksek tepe sıcaklığı, çökelti partiküllerinin çözeltiye girmesine neden olur ve soğutma oranı yeniden çökeltme için çok yüksektir. 2. ve 3. konumlarda, çökelti parçacıkları kısmen çözünür ve iri taneli yapı gözlenir. Kaynak sonrası yapay yaşlandırma işleminden sonra, konum 1'de tekrar ince çökelti parçacıkları oluşur ve bu da sertliğin ana malzeme seviyesine

yükselmesine neden olur. Bununla birlikte, 2 ve 3 konumlarında, kaba çökelti parçacıklarının oluşumu nedeniyle sadece daha düşük bir sertlik elde edilebilir. Kaynak ısı girdisinin artması ısıdan etkilenmiş bölgenin genişlemesine neden olur [39].



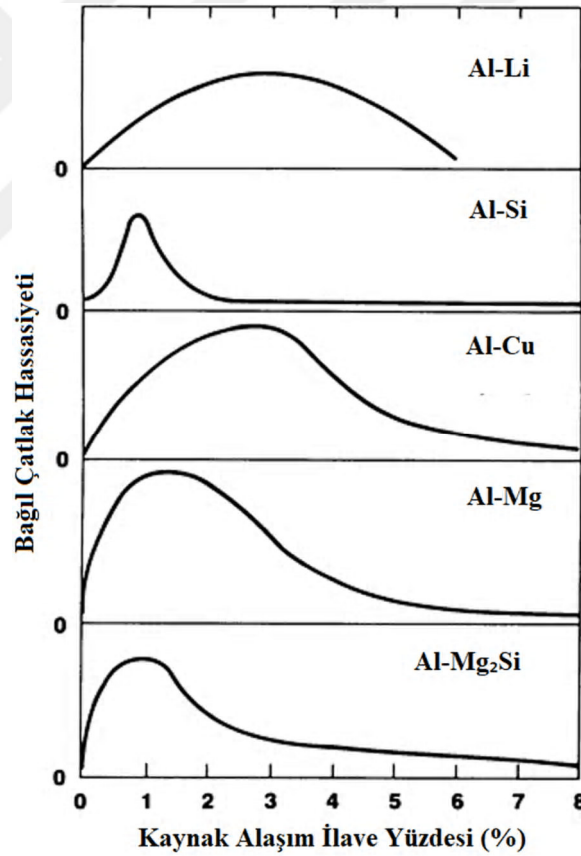
Şekil 2.23. Isıl işlemle sertleştirilebilen alaşımların sıcaklıkla yumuşama diyagramı. (a) Isıdan etkilenmiş bölgedeki termal dönüşümler, (b) kaynaktan hemen sonra ve kaynak sonrası yapay yaşlandırmadan sonra ısıdan etkilenmiş bölgedeki sertlik [39].

2.7.1. Kaynaktaki Çatlak Hassasiyeti

Alüminyum alaşımlarındaki kaynakta oluşan çatlamlar, alüminyumun nispeten yüksek termal genişmesi, katılaşma sonrasında hacimde büyük değişiklik ve geniş katılaşma-sıcaklık aralığı nedeniyle oluşabilir. Isıl işleme tabi tutulabilir alüminyum alaşımlarının kaynak çatlak hassasiyeti, bu alaşımlarda daha fazla alaşım elementi kullanılması nedeniyle daha yüksek orandadır. Alüminyumun kaynaklamalardaki çatlak hassasiyeti nedeniyle, bir alüminyumun kaynaklanabilirliği aslında kaynak çatlama direnci olarak tanımlanır. Alüminyum alaşımlarındaki kaynak çatlama, çatlak oluşma mekanizması ve konumuna göre iki temel sınıfa ayrılır. Katılaşma çatlama kaynağın erime bölgesi içinde gerçekleşir ve tipik olarak kaynağın merkezi boyunca veya kaynak bitiş kraterlerinde görülür. Sıvılaşma çatlakları, erime bölgesine bitişik olarak meydana gelir ve kolayca görülebilir veya görülemeyebilir [39].

- **Katılaşma çatlama veya sıcak yırtılma**, kaynak havuzu çeşitli derecelerde katılaşma geçirirken yüksek seviyelerde termal gerilme ve katılaşma büzülmesi olduğunda meydana gelir. Herhangi bir alüminyum alaşımının sıcak yırtılma hassasiyeti; mekanik, termal ve metalürjik faktörlere veya bunların

kombinasyonuna bağlıdır. Kaynaklı montajların sabitleme derecesi, katılaştıran kaynak üzerindeki gerilmeyi artırarak çatlak duyarlılığında önemli bir rol oynar. Sıcak yırtılma, kaynak erime bölgesi içinde meydana gelir ve kaynak-metal bileşimi ve kaynak parametrelerinden etkilenir. Yüksek akımlar ve yavaş kaynak hızlarının oluşturduğu yüksek ısı girdisi, kaynakta katılma çatlama neden olabilir. Elektron ışını kaynağı gibi minimum ısı girdisi oluşturan metotlar kaynak çatlak hassasiyetini azaltır. Alüminyum kaynaklarında çatlama ortadan kaldırmak için birincil yöntem, dolgu metali ilaveleri yoluyla kaynak-metal bileşimini kontrol etmektir. Kaynak bileşiminin bir fonksiyonu olarak deneysel olarak belirlenen çatlak hassasiyeti, çeşitli ikili alüminyum sistemleri Şekil 2.24'te gösterilmektedir.



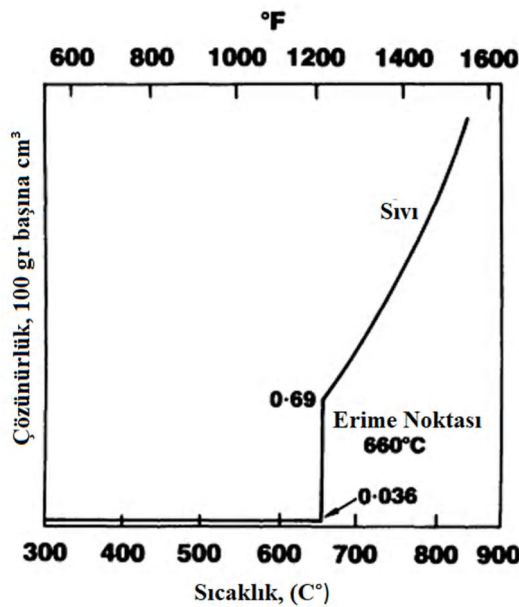
Şekil 2.24. Çeşitli ikili alüminyum sistemler için bağıl çatlak hassasiyeti [39].

- **Sıvılaştırma Çatlakları.** Çökeltme ile sertleşebilen alaşımlar için ısıdan etkilenmiş bölgenin önemli bir elemanı, kısmen erimiş bölge olarak adlandırılan ergime bölgesine bitişik ince sınır tabakasıdır. Bu bölge, düşük erime noktalarına (dökme

malzemenin erime noktasının altındaki erime noktaları) sahip ötektik fazlar veya bileşenler kaynak sırasında tane sınırlarında yetersiz olduğunda veya eridiğinde oluşur. Sıvılaşma çatlakları genellikle ötektik fazlar oluşturmak için malzemeden yüksek alaşım elementleri içeren çökelti ile sertleşebilen serilerde görülür. Kaynak sırasında, bu fazlara ergir ve eğer yeterli stres varsa, yırtılma gerçekleşir. Aşırı koşullar altında, ergime bölgesi ara yüzü boyunca sürekli çatlaklar oluşabilir. Beklendiği gibi, yüksek ısı girdisi kısmen erimiş bölgeyi genişletir ve çatlamaya daha yatkın hale getirir. Dolgu alaşımı bileşimi bu sıvılaştırılmış bölgede çatlak oluşup oluşmadığını büyük ölçüde etkiler. Düşük katılaşma sıcaklıklarına sahip dolgu alaşımları sıvılaşma çatlaklarına karşı daha az hassasiyete sahiptir, çünkü katılaşma büzülmesi gerilmeleri daha düşük sıcaklıklarda meydana gelir. Bu, kısmen erimiş bölgenin, katılaşma büzülmesi gerilmelerine maruz kalmadan önce iyileşmesini veya katılaşmasını sağlar [39].

2.7.2 Porozite

Alüminyum kaynaklarındaki gözeneklilik(porozite), katılaşma sırasında hidrojen gazı tutulduğunda meydana gelir. Hidrojen, erimiş alüminyumda ciddi çözünürlüğe ve katıda düşük çözünürlüğe sahiptir. Şekil 2.25 katı ve sıvı durumları temsil eden sıcaklıklarda saf alüminyumdaki hidrojenin çözünürlüğünü gösterir [39].



Şekil 2.25. Saf alüminyum içerisindeki hidrojen çözünürlüğü [39].

Hidrojen, yüksek çözünürlüğü nedeniyle kaynak sırasında erimiş kaynak havuzunun içine emilir ve çözünürlüğün azalması nedeniyle katılaşma sırasında gaz gözenekleri oluşturur. Bir gaz kabarcığı oluştuktan sonra, doğal kaldırma kuvveti veya erimiş havuz içindeki zorlanmış konveksiyon ile kaynaktan çıkarılabilir. Katılaşma sırasında hidrojenin yeniden dağıtılması, gözenekleri katılaştırma cephesinin önüne itmek için de etkili olabilir. Bu nedenle, kaynak pozisyonu ve kaynak parametreleri katılaşmış kaynaklarda bulunan gözeneklilik miktarını önemli ölçüde değiştirebilir.

Hidrojen gözeneklerinin çıkarılması, gözeneğin kaldırma hızı ve kaynak hızı ile açıklanabilir. Katılaşma bölgesi, gözeneğin çıkma hızından daha düşük bir hızda hareket ediyorsa, gaz gözenekleri kaçabilir. Düşük kaynak hızları daha yavaş katılaşma oluşturur ve gaz gözeneklerinin atılmasına yardımcı olur. Kaynak pozisyonu, gözeneklerin atılmasına yardımcı olabilir veya engelleyebilir.

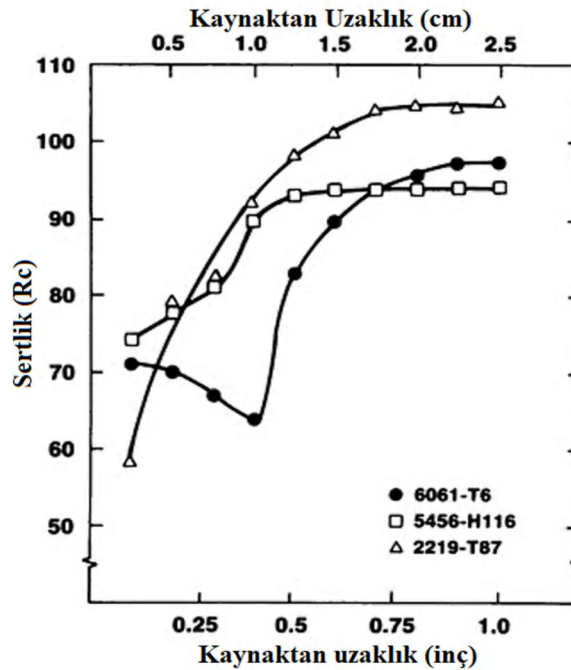
Kaynak sisteminde hidrojen çeşitli şekilde katılabilir. Ark kaynağında hidrojen ana metalden, dolgu metalinden ve koruyucu gaz içinden katılabilir. Ana metalden gelen hidrojen yüzeye hidrokarbonlar (yağlayıcılar) ve hidratlı oksitler şeklinde girebilir veya dökümlerde ve alüminyum toz metalürjisi (TM) parçalarında olduğu gibi dahili olabilir. Dolgu metali hidrojeni, dolgu maddesinin yüzeyindeki hidrokarbonlar (yağlayıcılar) veya hidratlı oksitler biçimindedir. Koruyucu gazdaki hidrojen, gaz içindeki nem kontaminasyonundan veya kusurlu gaz hatları ve kaplinlerinden dolayı nemli havanın gaz sistemine aspirasyonundan kaynaklanır.

Alüminyum kaynağında, dolgu elektrodu, koruyucu gaz ve ana metal yüzey kirleri gaz gözenekliliğine katkıda bulunabilir. Alüminyum dökümlerin veya toz metalürjisi parçalarının kaynaklanması durumunda, baz metalin iç hidrojeni tipik olarak gözenek oluşumunu neden olabilir. Alüminyum kaynaklardaki gözeneklilik, kaynak sistemindeki bir hidrojen kaynağıyla ilişkilendirildiğinden, sağlam kaynakların sağlanması için önleyici tedbirler alınabilir. Bu, kaynak yapılacak parçaların uygun şekilde ön temizliği ile başlar. Ön işleme kir ve yağları, kaynak işleminden önce solvent çözücü maddeleriyle giderilmelidir. Kaynaktan hemen önce kalın oksitleri tabakalarını çıkarmak için yüzeyin paslanmaz çelik tel fırça ile fırçalanması önerilir. TIG sırasında, doğru kutuplama oksitlerden arındırma için önemlidir. Her durumda, gözeneksiz

kaynaklar üretmek için gaz hortumlarının, regülatörlerin ve yardımcı ekipmanların bakımı gerekir [39].

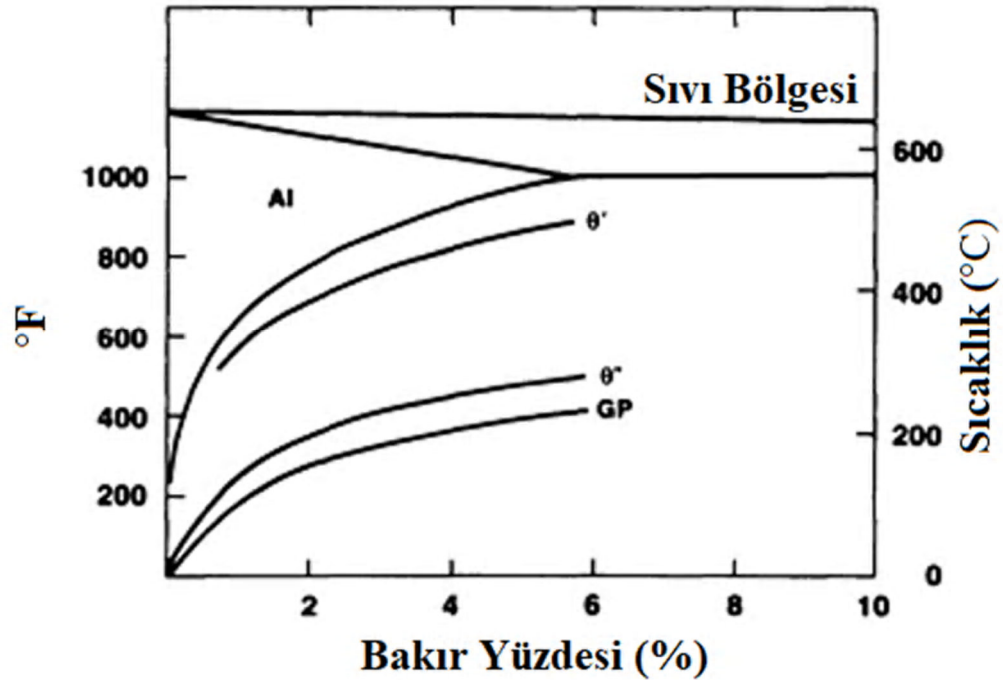
2.7.3. Isıdan Etkilenen Bölgedeki Bozulma

Isıdan Etkilenen Bölge, ergime bölgesinin yanında oluşur ve ana metal özelliklerinin bozulmasına neden olur. Bu bozulmaya, bu bölgede yaşanan yüksek sıcaklıklarla ilişkili mikroyapısal değişiklikler neden olur. Isıl işlem ile sertleştirilebilen alüminyum alaşımları için, ısıdan etkilenen bölgede çökeltilerin çözünmesi veya tane büyümesi gözlenir. 2xxx serisi alüminyum alaşımlarının ısıdan etkilenen bölgedeki sorun genellikle çökeltilerin çözünmesi iken, 6xxx serisi alaşımlarda öncelikle tane büyümesi gerçekleşir. Isıdan etkilenen bölgelerin yapısı farklılık gösterse de bunların hepsi difüzyon kontrollüdür ve sıcaklığa bağlıdır. Isıdan etkilenen bölgenin genişliğini ve kapsamını belirlemenin yaygın bir yöntemi, bu bölgedeki sertliğin ölçülmesidir. İki yaygın ısıl işlemle sertleştirilebilir alaşımın (2219-T87 ve 6061-T6) TIG kaynakları için sertlik profilleri Şekil 2.26’da gösterilmektedir. Pekleşme ile sertleştirilebilir alaşım 5456-H116 için sertlik profili karşılaştırması da Şekil 2.26’da gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Aynı sabit ısı girişi uygulanan değişik alüminyum alaşımlarının kaynak bölgesine uzaklık-sertlik profili [39].

2219-T87 için sertlik profili, çökeltilerin çözünmesini gösterir. Bu alaşımlar için güçlendirici parçacıklar, metastabil çökeltiler olan Guinier-Preston bölgeleridir. Bu fazlar için çözünme eğrileri, Şekil. 2.27'deki kısmi alüminyum-bakır faz diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Isıdan etkilenen bölgedeki sıcaklıklar çeşitli sıvılaşma eğrilerini aştığında, ilgili fazlar çözülür. Ergime bölgesine yakın konumlarda daha yüksek sıcaklıklar vardır ve güçlendirme fazlarının daha fazla çözünmesi meydana gelir. Bu, alüminyum-bakır alaşımlarının Isıdan Etkilenen Bölgesi'nde mukavemette sürekli bir azalmaya neden olur ve 2219-T87 alaşımı için Şekil 2.26'da gösterilmiştir [39].

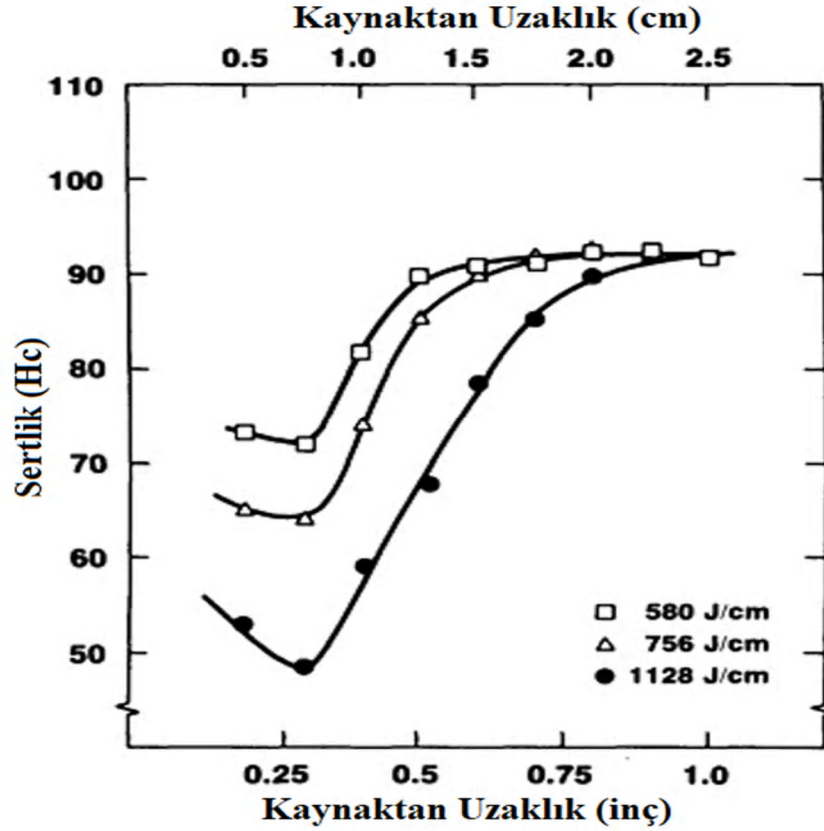


Şekil 2.27. Alüminyum bakır sistemi için parçalı faz diyagramı [39].

2.7.4. Isı Girdisinin Isıdan Etkilenen Bölge Üzerindeki Etkisi

Alüminyum alaşımlarının Isıdan Etkilenen Bölgesi'nin metalürjik dönüşümleri ısıya bağlı olduğundan, kaynak işlemi ve parametreleri ana metaldeki mukavemet kaybı derecesini belirler. Yüksek ısı girdisi ve ön ısıtma, ısıdan etkilenen bölgenin derecesi ve genişliğini artırır bu özellikle çökeltiler ile sertleşebilen alüminyum alaşımları için geçerlidir ve Şekil 2.28'deki çeşitli ısı girdileri kullanılarak yapılan 6061-T6 kaynakları için gösterilmiştir. Isıl işlemle sertleştirilebilen alaşımların ısıdan etkilenen bölgede yaşadığı bozulma, çok pasolu kaynak kullanımı, pasolar arası sıcaklığa dikkat edilmesi

ve ön ısıtmanın kullanılmamasıyla azaltılabilir. Bu alaşımlar için en yüksek kaynak mukavemetleri, pasolar arası sıcaklıklar 65 °C'yi (150 °F) aşmadığında ve kaynak ısı girdisi en aza indirildiğinde elde edilir [39].



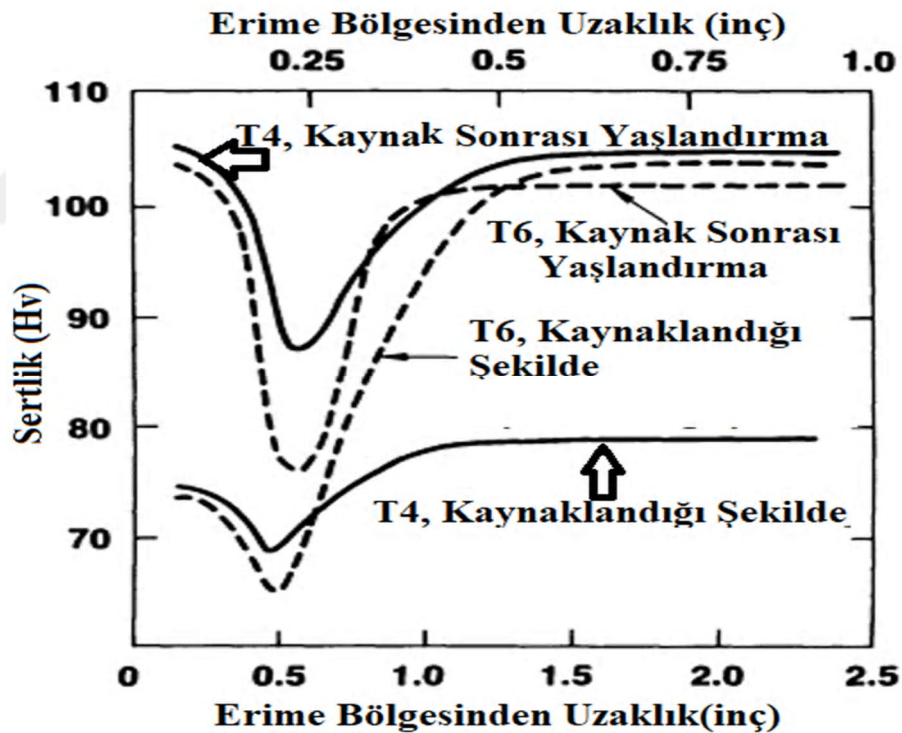
Şekil 2.28. Aynı malzeme için TIG kaynağında değişken ısı girdileri kullanılmasıyla oluşan sertlik- kaynak bölgesine uzaklık profili [39].

2.7.5. Kaynak Sonrası Isıl İşlem ve Isıdan Etkilenen Bölge

Kaynak sonrası ısıtma işlemleri, ısıtma işleminden geçirilebilen alaşımlar için ısıtma etkilenen bölgenin mukavemetini arttırmak için de kullanılabilir. Bu işlem, kaynak sonrası çözeltiye alma ısıtma işlemi ve yaşlandırma uygulayarak veya kaynak sonrası direkt yaşlandırma uygulamayı içerebilir. Kaynaktan sonra direkt yaşlandırma işlemiyle ısıtma etkilenen bölgede sağlanan mukavemet artışı, kaynak sonrası çözeltiye alma ısıtma işleminden ve yaşlandırmadan işleminden daha az olsa da sadece kaynak sonrası yaşlandırmanın avantajları vardır. Kaynak sonrası yaşlandırma için kullanılan sıcaklıklar, kaynak sonrası çözelti ısıtma işleminden çok daha düşüktür ve kaynak sonrası yaşlandırma, kaynaklı montajlarda kalıntı gerilmeler ve bozulmalara neden olan su

verme işlemini içermez.

Şekil 2.29 kaynaklı ve kaynak sonrası yaşlandırılmış koşullarda 6061-T4 ve 6061-T6 başlangıç malzemesi için ısıdan etkilenen bölgenin sertlik profillerini göstermektedir. 6061-T4'e kaynak yapılırken ve kaynak sonrası yaşlandırmada ısıdan etkilenen bölgede mukavemette çarpıcı bir iyileşme gözlenir. Kaynak sonrası ısıl işlemler, ısıl işlemle sertleştirilebilen alaşımların ısıdan etkilenen bölgesindeki mukavemeti geri kazanmak için kullanılabilir; bununla birlikte, 6061-T6 kaynak sonrası yaşlandırıldığında, etkilenmemiş ana metalin mukavemeti azalırken, ısıdan etkilenen bölgedeki mukavemet artar. Bunun nedeni, 6061-T6 ana metalinin aşırı yaşlanmasıdır; bu nedenle çöktürme ile sertleşebilen alaşımların kaynak sonrası yaşlandırılması yapılacaksa T4 veya T3 ısıl işlem görmüş malzemeler kullanılmalıdır [39].



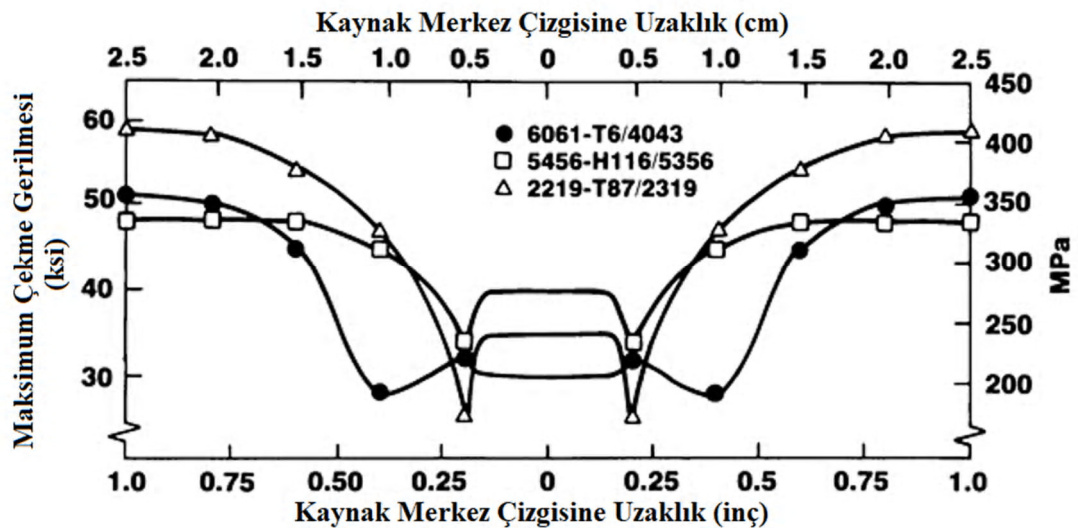
Şekil 2.29. 6061-T4 ve T6 malzeme için ısıdan etkilenmiş bölgede kaynak sonrası ve kaynak sonrası yaşlandırma uygulandığında sertlik profili [39].

2.7.6. Alüminyum Alaşımlarındaki Kaynakların Mukavemeti ve Sünekliği

Alüminyum alaşımlarındaki kaynakların mukavemeti ve sünekliği bir dizi parametre ile belirlenir. Bunlar ana metal alaşımı ve ısıl işlem durumu, dolgu alaşımı, kaynak işlemi

ve parametreleri, kaynak sonrası ısıt işlemlerin kullanımı, dolgu tipi, ana yükleme durumu ve kaynak kusurlarının varlığını içerebilir. Daha önce açıklandığı gibi, ısıt işlemle sertleştirilebilir alüminyum alaşımlarının ısıdan etkilenen bölgedeki metalürjik dönüşümler, bu bölgedeki mukavemetin düşmesine neden olur. Bu bozulmanın derecesi, kaynağı üretmek için kullanılan ısı girdisiyle ilişkili olabilir. Daha yüksek hareket hızları sağlayan işlemler, ısıdan etkilenen bölgedeki bozulmayı en aza indirir ve tipik olarak daha yüksek kaynak gücüne neden olur. Kaynak Sonrası ısıt işlemler, ısıdan Etkilenen Bölgedeki güç kaybını geri kazanmak için kullanılabilir. Kaynaklı bağlantıların özelliklerini ayırt eden yükün etkileri hakkında yorum yapmak da uygundur. Malzeme aynı anda bir veya daha fazla eksenel kuvvetin etkisinde kalabilir.

Şekil 2.30, TIG kaynağı uygulanmış 2219-T87 ve 6061-T6 alaşımlarının kaynak hattı boyunca mukavemet profillerini göstermektedir. 2219-T87 alaşımı 2319 dolgu alaşımı ile kaynaklanmış, 6061-T6 alaşımı ise 4043 alaşımı ile kaynak yapılmıştır. Pekleşme ile sertleştirilebilir 5456-H116 alaşımı 5356 malzeme ile kaynaklanmış olup mukavemet profili de karşılaştırma için şekilde gösterilmiştir. Şekil 2.30'daki mukavemet değerleri, alüminyum alaşımları için ampirik olarak türetilmiş ilişki kullanılarak sertlik ölçümlerinin dönüştürülmesiyle elde edilen yaklaşımlardır [39].



Şekil 2.30. Çeşitli alaşımlarda alternatif akımlı TIG kaynağındaki mukavemet- kaynak bölgesi uzaklığı profilleri [39].

Şekil 2.30'daki ısıdan etkilenen bölgedeki mukavemet kaybı, aslında kaynaklı bağlantının mukavemet kaybını belirler. Kaynaklanmış parçaları kaynak sonrası ısıt

işlemden geçirildiğinde mukavemette düzelme yaşanması her zaman doğru değildir. Çünkü ergime bölgesi ısıtılma işlemlere ısıdan etkilenmiş bölgeyle aynı tepkiyi vermeyebilir.

2XXX serisi alaşımlar, çökeltme ile sertleşebilen alaşımların malzemeler içerisinde en düşük süneklik değerini gösteren seridir. Bunun nedeni, ergime bölgesi ara yüzünün yakınındaki tane sınırlarında kırılma, bakır taşıyan ötektik fazların oluşumundan kaynaklanır. 6xxx ve 7xxx serisi alaşımlar iyi kaynak sünekliği gösterir. Kaynak sonrası çözelti ısıtılma işlem ve ısıtılma işlem yapabilen alaşımların yaşlandırılması veya sadece kaynak sonrası yaşlandırma, genellikle kaynak sünekliğini azaltır [39].

2.7.7. Kaynakların Korozyon Direnci

Isıl işlemle sertleştirilebilir alüminyum alaşımlarının çoğu, korozyon direncini azaltmadan kaynaklanabilir. Bununla birlikte, bazı alaşımlarda kaynaklama işlemi kalıntı gerilmeler oluşturduğundan ve ana metal yapısını değiştirdiğinden, korozyon direnci düşebilir. Alüminyum kaynakların korozyonu genellikle lokal olarak oluşur veya kabul edilebilir niteliktedir ve ana metal alaşımı, dolgu malzemesi alaşımı ve ısıdan etkilenen bölge yapısına bağlı olarak oluşur [39].

2.7.8. Diğer Bağlantı Karakteristikleri

Kaynaklı montajın servis gereksinimlerine bağlı olarak diğer bağlantı karakteristikleri de önemli olabilir. Bunlar, servis sıcaklığındaki mukavemet ve tokluk gibi montajın yapısal performansını etkileyebilecek özelliklerin yanı sıra eloksallı işleminden sonra eklem rengi uyumu gibi estetik nitelikleri içerebilir. Alüminyum alaşımları bilinen tüm kriyojeniklerle uyumludur; baz metal mukavemeti ve kaynak mukavemeti genellikle kriyojenik sıcaklıklarda artar. 2XXX serisi ısıtılma işlemle sertleştirilebilen alaşımlar ve pekleşmeyle sertleştirilebilen 5XXX serisi alaşımlar, düşük sıcaklıklarda iyi bir mukavemet ve süneklik kombinasyonu sergiler. Alüminyum alaşımlarındaki kaynakların sertliği, birleşme yerinin aşırı yükleme anında kırılmak yerine deformasyon ile enerjiyi emme kabiliyeti olarak tanımlanır. Alüminyum alaşımlı kaynaklardaki kırılma tokluğu tipik olarak Charpy darbe testleri ile belirlenmez, ancak çentikli numuneleri içeren yırtılma veya gerilim testleri ile makul şekilde elde edilebilir.

Her ne kadar ısı ileme sertleştirilebilir alüminyum alaşımlarının, özellikle 2XXX serilerinin kaynak ve ana metal mukavemetleri, 150 °C'ye (300 °F) kadar yüksek sıcaklıklarda iyi değerler sergilese de bu sıcaklıklarda çalışacak kaynaklı montajlar için dolgu alaşımları seçerken dikkatli olunmalıdır. Alüminyum kaynaklı imalatlar için yüksek servis sıcaklıkları genellikle 65 °C'nin (150 °F) üzerindeki sıcaklıklar olarak tanımlanır. Yüksek miktarda magnezyum içeren kaynakların yüksek servis sıcaklıklarında çalışması, tane sınırlarında Mg_2Al_3 oluşumuna bağlı olarak stres-korozyon çatlağına hassasiyetin artmasına neden olabilir. Bu nedenle, sürekli yüksek servis sıcaklıklarında çalışmayı gerektiren kaynaklı uygulamaların çoğunda, magnezyum içermeyen dolgu alaşımlarının kullanımını gerektirir [39].

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL ve DENEYSEL ÇALIŞMA METODU

3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada uygulanacak kaynak türü ve kaynak işlemi parametrelerinin belirlenmesinde yapılan literatür araştırmaları baz alınmıştır. Alüminyumun kaynağında pek çok kaynak işlemi kullanılabilir ancak malzeme üzerindeki oksit tabakasının temizlenmesi ve atmosfer şartlarından korunmasında en iyi sonucu veren kaynak türleri TIG ve MIG kaynak yöntemleridir. Bunlar içinden MIG kaynağının seçilmemesinin nedeni üretilen özlü elektrotun çapının düşürülerek tel haline getirilmesinin zorluğudur. Bu nedenle bu çalışmada manuel TIG kaynağı yöntemi kullanılmıştır.

Bu deneysel çalışmada Al2024 kılıflı, özü farklı hacim oranlarında B₄C ve Al2124 takviye elemanları ile oluşturulmuş sert dolgu kaynak çubukları üretilmiştir. Ayrıca etkileri kıyaslayabilmek amacıyla Al2024 kütük ve sinterlenmiş Al2024 tozdan da ekstrüzyon yöntemiyle yarı mamul kaynak çubukları üretilmiştir. Daha sonra yarı mamul kaynak çubukları haddelenerek çapları düşürülmüştür. Üretilen kaynak çubukları Al2024-T351 plaka üzerine TIG kaynağı uygulanması suretiyle kompozit bir katman oluşturması için kaynaklanmış, bu katmanların malzeme özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla özlü kaynak çubuklarının üretiminde kılıf malzemesi olarak Al2024, öz malzemeleri olarak ise B₄C ve Al2124 toz karışımı seçilmiştir. Kaynak çubuklarının üretiminde karıştırma süresi, tavlama süresi, billetlerin üretimindeki sıkıştırma basıncı ve ekstrüzyon basıncı gibi parametreler sabit tutulmuştur. Takviye elemanı olan B₄C katkı yüzdelerine bağlı olarak, oluşturulan yüzeyin mikroyapı, sertlik ve mekanik davranışları (darbe testi ve eğme testi ile) incelenmiştir.

Bu deney sonucunu etkileyecek önemli parametreler şunlardır;

- Kullanılacak Al kılıf malzemesi
- Kullanılacak Al tozu
- Kullanılacak B₄C tozu
- Takviye elemanı hacim oranı
- Elde edilecek sert dolgu tabakası kalınlığı
- Kaynak parametreleri.

3.2. Al2024 Malzeme Özellikleri

Al 2024 alüminyum alaşımı, duralümin olarak da adlandırılır. Bakırlı bir alüminyum alaşımıdır ve gösterdiği mukavemet, sertlik değerleri bakımından alüminyum alaşımları içerisinde en önemli yerlerden birine sahiptir. Bu nedenle spesifik mukavemet (Akma gerilmesi/yoğunluk) ve/veya spesifik elastisite modülünün (Elastisite modülü/yoğunluk) önemli olduğu yerlerde (uzay-havacılık sektörü, iş makinesi sektörü, savunma sanayisi) yoğun kullanımı vardır [64].

Al2024 alaşımına ısıtıl işlem uygulanarak çökelme sertleşmesi yardımıyla mekanik özelliklerinde ciddi ölçüde artış gerçekleştirilebilir. Al2024 alaşımına uygulanan değişik ısıtıl işlemler sonucundaki mekanik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir [65].

Tablo 3.1. Al2024 alaşımının çeşitli ısıtıl işlem koşullarındaki mekanik özellikleri [65].

Isıl İşlem Koşulu	R _{p0.2} (Akma Dayanımı) [N/mm ²]	R _m (Çekme Dayanımı) [N/mm ²]	A (Kopma Uzaması) [%]	Sertlik HB	Sertlik HV
0	75	185	20	55	60
T3	340	475	18	120	125
T4	330	460	20	120	125
T6	345	427	5	125	130
T8	450	485	6	130	140

2XXX serisi alüminyum alaşımlarının Mg içermesi nedeniyle şekillendirilebilme ve talaşlı imalat kabiliyeti iyidir. Bu alaşımların iyi olan fiziksel ve mekanik özelliklerine karşılık korozyona karşı olan dayanımları zayıftır. Bunun nedeni 2XXX serisi alüminyum alaşımları esas olarak hem matris içinde hem de tane sınırlarında faz (Al_2Cu) içerir. Yüksek kaynak ısı, tane irileşmesi ve farklı çökeltilere sahip çeşitli bölgeler oluşturarak mikroyapıda değişikliğe yol açar. Bu nedenlerle 2XXX serisi alüminyum alaşımının korozyon direncini azaltır. 2XXX serisi alüminyum alaşımlarında bu nedenle çukurcuk korozyonu sıklıkla görülür [66].

Yaşlandırma sertleştirmesi yapılmış 2XXX serisi alaşımlarda kaynak işleminden sonra kopma mukavemetinin yaklaşık olarak yarıya düşmesi, kaynak işleminde verilen ısının çökeltiyle sertleştirmeye çökelmiş fazların yeniden çözünmesine neden olmasındır. Bu sebeple 2XXX serisi alaşımların kaynaklanmasından sonra mukavemet kaybının azaltılması için mümkün olduğunca kaynak işleminden sonra yaşlandırma işlemi yapılmalıdır [67].

Tablo 3.2. Al2024-T351 malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri [68].

MEKANİK ÖZELLİKLER			KİMYASAL BİLEŞİM(%)									
ÇEKME (MPa)	AKMA (MPa)	UZAMA (%)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	V
476,4	346,8	17,2	0,08	0,22	4,47	0,59	1,37	0,01	0,18	0,02	0,01	0,01

Yapılacak deneysel çalışmada taban ana malzemesi Al2024-T351 malzeme seçilmiştir. T351 kodu alüminyum taban malzemesinin çözelti ısıtma işlemi yapılmış, gerilim gidermeye tabi tutulmuş olduğunu göstermektedir [69].

3.3. Al2124 Malzeme Özellikleri

Yapılan çalışmada, Al2024 billet içine dolgu olarak değişken hacim oranlı Al2124- B₄C tozları sıkıştırılmıştır. Al2124 malzeme kimyasal içerik bakımından Tablo 3.3'te Al2124 tozlarının kimyasal içeriği gösterilmiştir [70].

Tablo 3.3. Al2124'ün kimyasal içeriği (ağırlıkça %) [70].

Al	Cu	Si	Mg	Mn	Fe	Cr	Ti	Zn	Diğer
91,5-93,55	3,8-4,9	0,2	1,2-1,8	0,3-0,9	0,3	0,1	0,15	0,25	0,15

3.4. B₄C Malzeme Özellikleri

Bor karbür (B₄C) seramik bir malzemedir. Metal dışı sert malzemeler içerisinde en önemli bir yere sahiptir. Doğada bilinen en sert üçüncü malzemedir (oda sıcaklığında elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert üçüncü malzeme) ve üretim miktarı bakımından en fazla üretilen en sert malzemedir [71].

B₄C seramiklerin en hafifidir. Bu yüzden kompozit malzemelerde istenilen özelliklerden olan düşük ağırlığa rağmen yüksek dayanım sağlamada kullanılabilirler [13].

Bor karbür (B₄C) seramikleri, yüksek erime noktası ve sertliği, iyi aşınma direnci, yüksek darbe direnci, kimyasal maddelere karşı mükemmel direnç ve yüksek nötron emme özellikleri gibi mükemmel fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Bor karbür (B₄C) günümüzde, hafif zırh kaplama, patlatma nozulları, mekanik salmastra yüzeyleri, taşlama aletleri, kesici aletler gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilmektedir [72].

Bor karbürün iyi fiziksel ve mekanik özellikleri olmasına rağmen, kırılmaya karşı aşırı duyarlılık, yoğun cisimler elde etmek için yüksek sıcaklık gereksinimi ve buna bağlı olarak daha yüksek maliyet oluşturmaları, daha yüksek sıcaklıklarda yoğunlaştırma maliyetine bağlı olarak en yüksek potansiyelde kullanımı oldukça sınırlıdır. B₄C 'de yaygın olan kovalent bağ oluşturma vasıtasıyla daha yoğun sıkıştırma oranları elde etmek için erime noktasına daha yakın sinterleme sıcaklıkları gereklidir. Dahası, 2000 °C'nin üzerinde sinterlenen sıkıştırmalar, tane büyümesinden dolayı kalıntı gözenekliliğin azalmasına neden olur. Bor karbür esaslı seramikler üzerine yapılan araştırmalar, daha iyi sinterleme ve mekanik özelliklerin elde edilmesinde uygun ikinci faz ilavesinin fayda sağladığını göstermiştir. SiC, Be₂C ve TiC gibi karbürlerin eklenmesi toz yüzeyinin deoksidasyonunu sağlayarak sinterleme kinetiğini etkiler. B₄C 'de artan bor içeriği, kırılma tokluğunda önemli bir iyileşmeye ve sinterleme işlemini de kolaylaştırmaya yardımcı olur. Metalik katkı maddeleri (Fe ve Cu gibi) sıvı faz sinterleme işlemlerinde kolaylaşma sağlar ve böylece daha düşük sinterleme

sıcaklıklarında daha mukavemetli yapıların elde edilmesi kolaylaşır. B_4C 'ye AlN (alüminyum nitrid) ve BN(bor nitrid) gibi oksit içermeyen seramiklerin eklenmesi, darbe direncinde ve işlenebilirlikte artış sağlar [73].

Bor karbürün ilgi çeken bazı özellikleri ergime sıcaklığı $2450^{\circ}C$, kaynama noktası $3500^{\circ}C$, sertliği 2900-3580 kg/mm², Knoop, 100g, Young modülü 450-470 GPa, kayma modülü 180 GPa, havada oksidasyon sıcaklığı $600^{\circ}C$ 'in üzeridir [74].

Tablo 3.4. Bor karbürün fiziksel özellikleri [74].

B_4C Malzeme Türü	Yoğunluk (g/cm³)	Sertlik (Vickers)	Eğme Muk. (MPa)	Poisson Oranı	Kırılma Tokluğu (MPa/m²)
Sıcak preslenmiş	2,51	-	480±40	0,17	3,6±0,3
Sinterlenmiş (%1 C ağı.)	2,44	3700	351±40	0,17	3,3±0,2
Sinterlenmiş (%3 C ağı.)	2,46	-	353±30	0,17	3,2±0,2

B_4C tozları reaksiyona bağlı olarak, sıcak presleme veya sinterleme uygulamalarında kullanılabilir. Bundan dolayı aşınma ihtimali gösteren parçalarda, zırhlı araç gövde ve ekipmanlarında kullanımı uygundur [29].

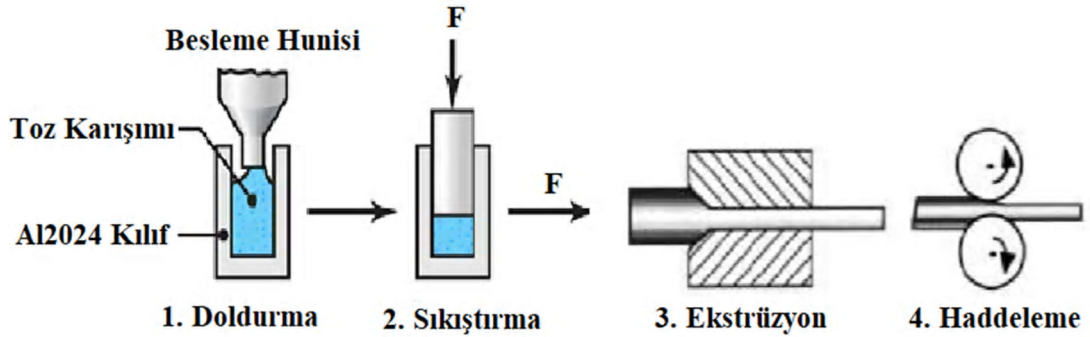
3.5. Kaynak Çubuklarının Üretimi

Yapılmış olan tez çalışması için öncelikle Al- B_4C özlü dolgu kaynak çubuğunun üretimi gerçekleştirilmiştir. Bunun için tüp içinde toz (Pit- Powder in tube) tekniğinden yararlanılmıştır. Şekil 3.1'de özlü dolgu çubuklarının üretim işleminin uygulanma aşamaları gösterilmektedir.

Tüp içinde toz (Pit-Powder in tube) tekniği; tüm başlangıç malzemelerinin iyice karıştırılması, tozları metal bir tüpte sıkıştırılması ve sinterlenmesiyle gerçekleştirilir. İmalat yönteminin ana değerleri güvenlik ve kolaylıktır [75].

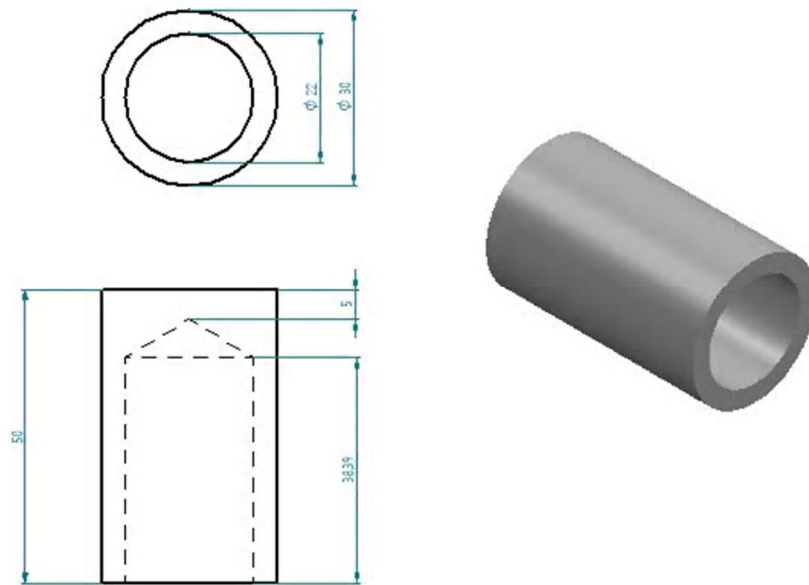
Son yıllarda yüksek sıcaklıklarda çalışacak süper iletken malzemeleri ve bunların elektrik iletkenleri olarak potansiyel kullanımlarını anlamada önemli ilerlemeler

kaydedilmiştir [76].



Şekil 3.1. Özlü dolgu çubuğu üretiminin şematik gösterimi [76].

Tüp içinde toz tekniğinin ilk aşaması olarak kılıf olarak kullanılacak Al2024 malzemeden biletler tornada imal edilmiştir. Şekil 3.2’de kılıf olarak kullanılacak biletin teknik resmi gösterilmektedir. Şekil 3.3’de tozların bilet içerisine sıkıştırılmasında kullanılmak üzere üretilen sıkıştırma zımbası ve sabitleme pulu ile bilet gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Al2024 kılıf olarak kullanılmış biletin teknik resmi.



Şekil 3.3. Bilet, sıkıştırma zımbası ve sabitleme pulu.

Daha sonra öz malzemesinin karıştırılması gerekmektedir. Bu işlemi uygularken toz metalürjisi (TM) yönteminden yararlanılmıştır. Toz metalürjisi yönteminde amaç, çeşitli yöntemlerle (fiziko-kimyasal veya mekanik yöntemler) üretilmiş tozları belirli sıcaklık ve basınç altında sinterleyerek parça üretilmesidir. Sinterleme işleminde tozlar birbirine bağlanarak dayanıklı malzemeler elde edilir. Toz metalürjisi yönteminin yaygın olarak kullanılmasının ana sebeplerinden birisi sıvıların seramik tozlarını ıslatmada yaşadığı sorundur. Bu nedenle bu yöntem partikül veya whisker takviyeli kompozitlerin üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir [77].

Alüminyum yüzeyinde bir oksit tabakası barındırır ve bu oksit tabakası katı faz sinterlemede sorun teşkil eder. Bu yüzden alüminyum tozların sinterlenmesinde bu oksit tabakası göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü oksit tabakası tanelerin bağlanmasını etkileyerek sinterleme süresinin uzamasına neden olur. Ancak uzayan sinterleme süresinin beraberinde getirdiği büyük problem tane büyümesidir. Ayrıca oluşmuş bu oksit tabakaları tane sınırlarında birikerek malzeme mukavemetinde düşmeye sebep olur.

Bununla birlikte, presleme sırasında oluşan mekanik kuvvet oksit tabakasını kırar ve bu kırılan tanelerin arasında sinterleme işleminde soğuk kaynak oluşumu gözlemlenebilmektedir [78].

MMK özlü dolgu çubuğunun üretiminde kullanılacak toz karışımı için tozlar belirli hacim oranlarında (%5, %10, %15 B₄C kalan Al2124 tozu olmak üzere) hazırlanmış daha sonra Şekil 3.4'te gösterilen 3 boyutlu karıştırıcı ünite 3 saat boyunca karıştırılmıştır. Tozların homojen karışması için şişelerin içlerine rulman bilyeleri konulmuştur. Çalışmada kullanılan toz boyutları Tablo 3.5'te, üretilen dolgu çubuklarının kısa gösterimleri ve üretim yöntemleri ise Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Çalışmada kullanılacak tozların toz boyutları

Malzeme Türü	Ortalama Toz Boyutu (µm)
Al2024	40-50 µm
Al2124	24-30 µm
B ₄ C	8-32 µm

Tablo 3.6. Dolgu çubuklarının malzemeleri, kısa gösterimleri ve üretim yöntemleri

Numune No	Kısa Gösterim	Malzeme		Üretim Yöntemi
		Öz	Kılıf	
1	Al-Al/B ₄ C(5)	Al2124/B ₄ C(%5)	Al2024	Ekstrüzyon + Haddeleme
2	Al-Al/B ₄ C(10)	Al2124/B ₄ C(%10)	Al2024	Ekstrüzyon + Haddeleme
3	Al-Al/B ₄ C(15)	Al2124/B ₄ C(%15)	Al2024	Ekstrüzyon + Haddeleme
4	Al	Al2024 Kütük		Ekstrüzyon + Haddeleme
5	Al(T)	Al2024 Toz		Ekstrüzyon

Tablo 3.7. Al-Al/ B₄C(5) Dolgu çubuğunun hacim oranı tablosu

Kalıp Hacmi (cm ³)	Hacimsel Olarak	Kalıba Konulması Gereken
16 cm ³		
Al2124 Yoğunluk	Al Yüzdesi (%)	Al Miktarı (gr)
2,78 g/ cm ³	95	42,256
B₄C Yoğunluk	B₄C Yüzdesi (%)	B₄C Miktarı (gr)
2,52 g/ cm ³	5	2,016
Toplam	100	44,272

Tablo 3.8. Al-Al/ B₄C(10) Dolgu çubuğunun hacim oranı tablosu

Kalıp Hacmi (cm ³)	Hacimsel Olarak	Kalıba Konulması Gereken
16 cm ³		
Al2124 Yoğunluk	Al Yüzdesi (%)	Al Miktarı (gr)
2,78 g/ cm ³	90	40,032
B₄C Yoğunluk	B₄C Yüzdesi (%)	B₄C Miktarı (gr)
2,52 g/ cm ³	10	4,032
Toplam	100	44,064

Tablo 3.9. Al-Al/ B₄C(15) Dolgu çubuğunun hacim oranı tablosu

Kalıp Hacmi (cm ³)	Hacimsel Olarak	Kalıba Konulması Gereken
16 cm ³		
Al2124 Yoğunluk	Al Yüzdesi (%)	Al Miktarı (gr)
2,78 g/ cm ³	85	37,808
B₄C Yoğunluk	B₄C Yüzdesi (%)	B₄C Miktarı (gr)
2,52 g/ cm ³	15	6,048
Toplam	100	43,856



Şekil 3.4. Turbula 3 boyutlu karıştırıcı.

Daha sonra kılıf olarak kullanılan Al2024 malzeme içine karıştırılan belirli hacim oranlarındaki Al2124-B₄C toz karışımları el presi vasıtası ile 10 bar basınçta sıkıştırılmıştır. Biletler hazırlandıktan sonra çıkartma silindirlerinin içerisinde Şekil 3.6’da gösterilen ısıtıcı kovanın içine yerleştirilmiş, reskristalizasyon sıcaklığına (400 °C’ye) çıkılması beklendikten sonra 400 °C’de yarım saat tavlansmıştır.



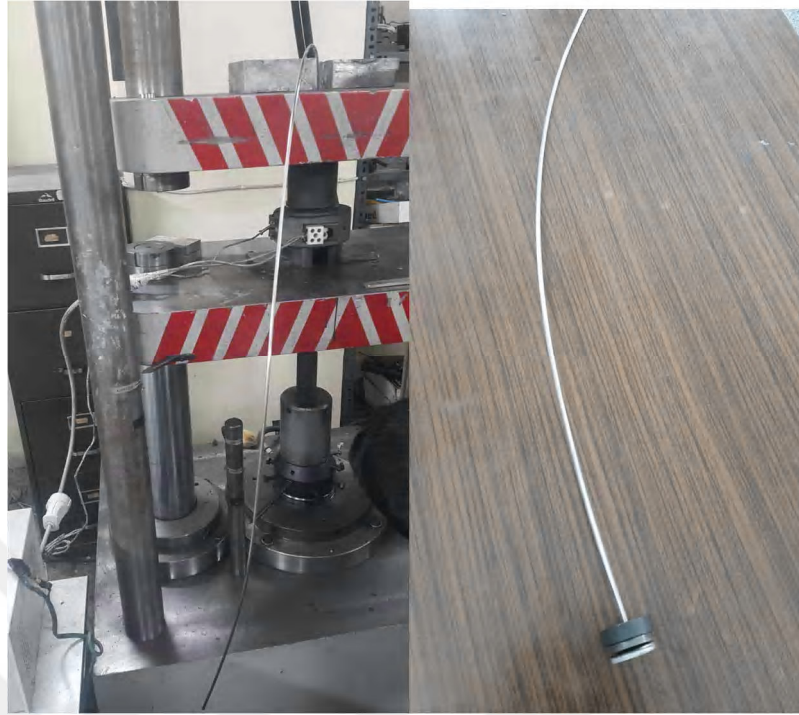
Şekil 3.5. İçine toz sıkıştırılmış bilet.

Çıkartma silindirlerinin içerisinde tavllanmış billetler, ekstrüzyon kalıbının çıkartma silindirlerinin üstüne yerleştirilmesinden sonra hidrolik pres zımbası ile basınç uygulanması suretiyle ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuştur.



Şekil 3. 6. Isıtıcı kovan.

Saf Al2024 kütükten dolgu çubuğunun (Al kodlu kaynak çubuğu) üretiminde; Al2024 kütükten kesilen malzeme çıkartma silindirinin içinde ısıtıcı kovanın içine yerleştirilmiş, reskristalizasyon sıcaklığına (400 °C'ye) çıkılması beklendikten sonra 400 °C'de yarım saat tavlandıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuştur.



Şekil 3.7. Hidrolik pres ve ekstrüzyonu gerçekleştirilmiş yarı mamul kaynak çubuğu.

Özlü yarı mamul dolgu çubukları ve Al2024 kütükten üretilen yarı mamul dolgu çubuklarının ekstrüzyon oranının hesaplanmasında;

R: Ekstrüzyon oranı

Ao: Billetin kesit alanı (R=30 mm)

Af_i: Yarı mamulün kesit alanı (R=8.8 mm)

$$R = \frac{A_o}{A_{f_i}} = \frac{\pi R_o^2}{\pi R_{f_i}^2} = \left(\frac{R_o}{R_{f_i}} \right)^2$$

R=11,62 olarak bulunmuştur.

Al2024 tozdan üretilen kaynak çubuğunun üretiminde (Al(T) kodlu kaynak çubuğu), Al2024 toz alaşımsız bir şekilde el presiyle 10 bar basınçta direkt olarak çıkartma silindirinin içine sıkıştırılmıştır. Daha sonra çıkartma silindiri ısıtıcı kovanın içine yerleştirilmiş, reskristalizasyon sıcaklığına (400 °C'ye) çıkılması beklendikten sonra 400 °C'de yarım saat tavlandıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuştur.

Al2024 tozdan üretilen kaynak çubuklarının ekstrüzyon oranının hesaplanmasında;

R: Ekstrüzyon oranı

Ao: Billetin kesit alanı (R=30 mm)

Af: Yarı mamulün kesit alanı (R=4 mm)

$$R = \frac{A_o}{A_f} = \frac{\pi \cdot r_1^2}{\pi \cdot r_2^2} = \frac{\pi \cdot 15^2}{\pi \cdot 2^2}$$

R=56,25 olarak hesaplanmıştır.

Daha sonra ekstrüzyonu gerçekleştirilmiş numuneler haddelenerek çapları yaklaşık 4 mm olan dolgu çubukları haline getirilmişlerdir. Tablo 3.10'da yarı mamul dolgu çubuklarının haddeme redüksiyon oranları verilmiştir.

Ai = Haddeme öncesi alan

As = Haddeme sonrası alan

% Redüksiyon oranı = $\frac{A_i - A_s}{A_i}$ formülüyle hesaplanır

Tablo 3.10. Yarı mamul dolgu çubuklarının redüksiyon oran değerleri

Hadde Çapları, (mm)	8,8		8,4		8		7,6		7,2		6,8		6,4
Redüksiyon Oranı		9%		9%		10%		10%		11%		11%	
Hadde Çapları, (mm)	6,4		6		5,6		5,2		4,8		4,4		4
Redüksiyon Oranı		12%		13%		14%		15%		16%		17%	

3.6. Kaynak Parametreleri ve Kaynak İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi

TIG yöntemiyle kaynaklama işlemleri Kayseri 2. Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı kaynak atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde Şekil 3.8'de gösterilen Miller Syncrowave 351 marka TIG kaynak makinesi kullanılmıştır. Miller Syncrowave 351 pedal kontrollü TIG kaynak makinesi, %40 görev döngüsünde maksimum 400 amper kapasitesine sahiptir. Hem doğru akım hem de alternatif akım üretici olan makine kaynaklama işlemi bitiminde akımı yavaş yavaş keserek krater boşluğunu önleyen bir düzeneğe sahiptir. Krater boşlukları ergimiş kaynak metalinin hızlı katılarak, malzemenin o bölgeyi tamamen kapatamamasıyla oluşur. Malzeme

üzerine yük uygulandığında bu boyut farklılığı çentik etkisi göstererek malzemede çatlağın bu kraterden başlamasına neden olur. Bu yüzden krater boşluğu oluşumunun önüne geçmek önemlidir.



Şekil 3.8. Miller Syncrowave 351 marka TIG kaynak makinesi.

Kaynak işleminden önce daha önce üretilmiş olan dolgu çubukları ve üzerine sert dolgu yapılacak plakaların yüzeyindeki kir ve oksit tabakalarının temizlenmesi için Kayseri 2. Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı kaplama bölümünde Şekil 3.9'da gösterildiği gibi temizleme işlemine tabii tutulmuştur. Dolgu çubukları ve plakalar öncelikle sodyum hidroksit içeren alkali dağlama banyosunda bir süre bekletilmiş suyla yıkandıktan sonra nitrik asit, kromik asit, hidroflorik asit içeren temizleme banyosuna alınıp daha sonra tekrar yıkanmak suretiyle üzerlerindeki kir, yağ ve oksit tabakalarından arındırılması sağlanmıştır.



Şekil 3.9. Temizleme banyoları.

Yapılan ön çalışmalar sonucunda kaynak parametreleri, Tablo 3.11’de verildiği gibi seçilmiştir.

Tablo 3.11. TIG kaynağı işlem parametreleri

Kaynak akım değeri	200 A
Kaynak gerilim değeri	15 V
Akım türü	Alternatif akım
İnert gaz türü	Argon
İnert gaz saflığı	%99,9
İnert gaz debisi	10 Lt/dk
İlerleme hızı	3 mm/sn
Ön ısıtma	Gerek duyulmadı
Paso şekli	Çizgisel
Tungsten elektrot türü	Saf Tungsten
Tungsten elektrot çapı	3,2 mm



Şekil 3.10. Kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesi.

Bu parametrelere sadık kalınarak kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak öncesi altlık plakasının kalınlığı 10 mm iken, TIG kaynağıyla yüzey dolgusu yapıldıktan sonra ölçülen kalınlık yaklaşık 13 mm olmuştur. Şekil 3.11’de yüzey dolgu kaynağı gerçekleştirilmiş kaynaklı plaka gösterilmektedir.

Isı Girdisi = ————— = 0,7 verim faktörü (TIG kaynağı için)

Isı Girdisi = ————— Isı Girdisi= 700 —————



Şekil 3.11. Yüzey dolgusu yapılmış plaka.

Daha sonra deney numunelerinin üretimi için kaplama kalınlıklarının stabil hale getirilmesi ve deney numunelerinin boyutlandırması için talaşlı imalat sürecine geçilmiştir.

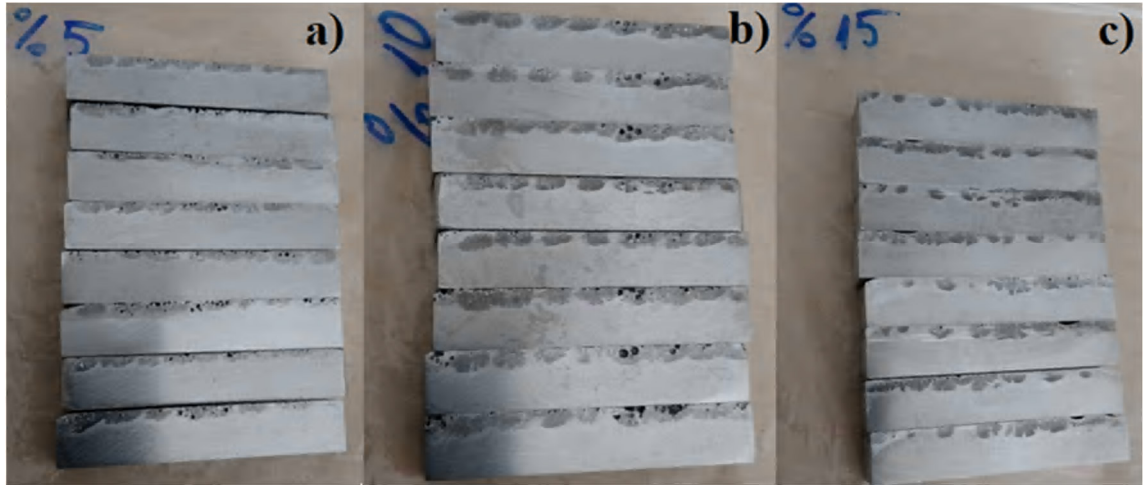
3.7. Deney Numunelerin Hazırlanması

Eğme ve darbe deneyi numunesi olarak aynı boyuttaki deney numuneleri kullanılmıştır. Düzgün bir kaplama yüzeyi elde edebilmek için önce kaplama yapılan yüzeyden Şekil 3.12’de gösterildiği gibi frezeyle malzeme kaldırılmıştır.

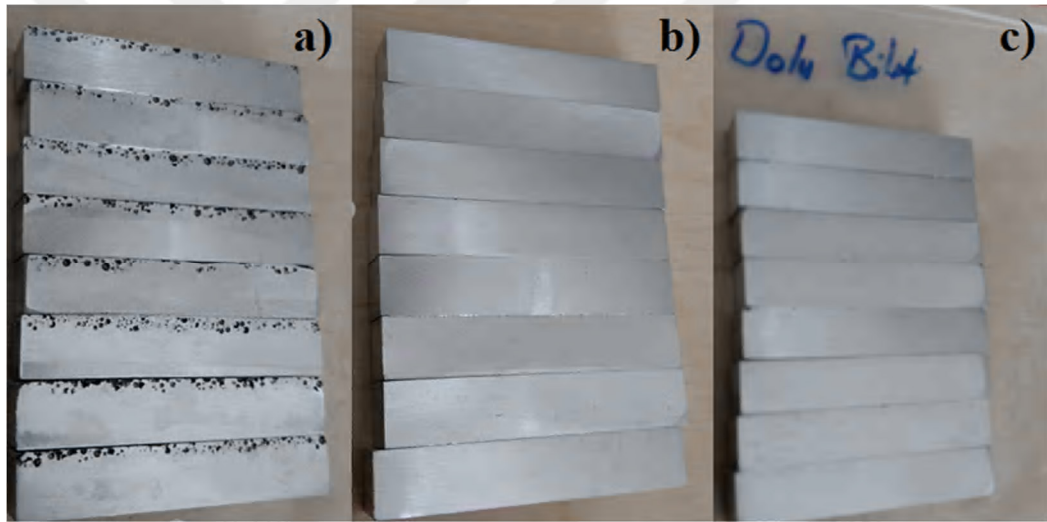


Şekil 3.12. Dolgu kaynağı yapılmış plakaların yüzeyinin silinmesi.

Daha sonra parça ters çevrilerek yüzey sertleştirme yapılmamış yüzeyden talaş kaldırmak suretiyle bütün plakalarda sert yüzey kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 2 mm olacak şekilde işlenmiştir. Deney numuneleri yaklaşık 10x10x55 mm olarak boyutlandırılacağı için levhalardan şerit testere yardımıyla parçalar kesilmiş, daha sonra bu parçalar yeniden kenarlarından talaş kaldırılması suretiyle istenilen ölçülerde üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. a) Al-Al/ $B_4C(5)$, b) Al-Al/ $B_4C(10)$, c) Al-Al/ $B_4C(15)$ dolgu çubuklarıyla yüzey dolgusu yapılmış test numunelerinin görüntüsü.



Şekil 3. 14. a) Al(T) çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış, b) kaynaksız altlık plakası, c) Al kaynak çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış test numuneleri görüntüsü.

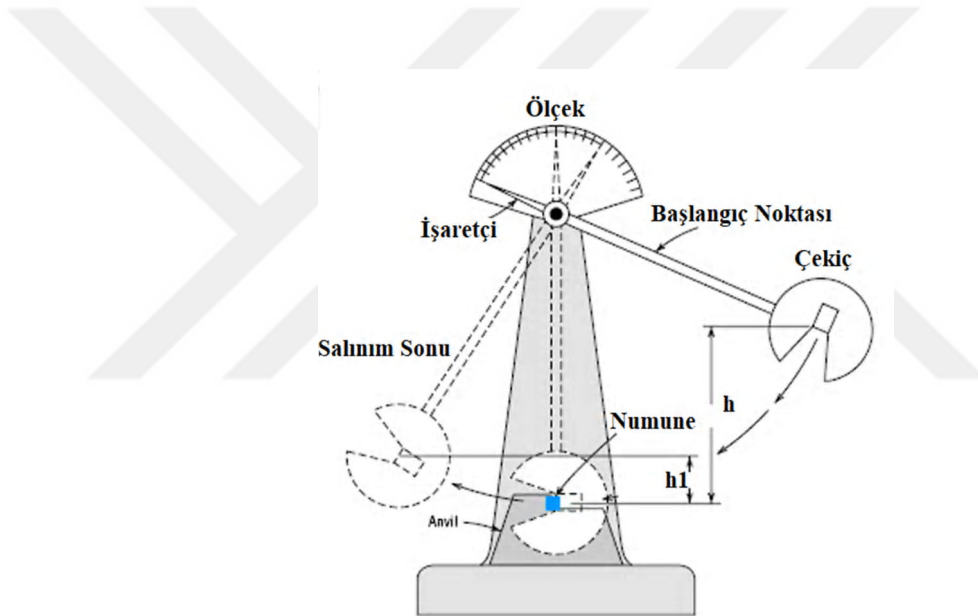
Talaşlı imalatla şekillendirilmiş numunelerde eğme ve darbe testinde yüzey çatlak oluşumunu daha iyi gözlemleyebilmek adına numune yüzeyleri döner tablalı zımpara makinesinde sırasıyla 120 ve 600 numaralı zımparalar ile parlatılmıştır. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te ölçülendirilip parlatılan deney numuneleri gösterilmiştir.

3.8. Darbe Deneyi

Bir malzemenin belirli bir sıcaklıktaki darbe dayanımını ölçmede çentik darbe testinden faydalanılmaktadır. Malzemeler düşük sıcaklıklarda genellikle daha kırılgan davranış

sergilerler. Bu nedenle kaynaklı malzemelerin çalışacağı ortam sıcaklıklarında belirli bir kırılma tokluğu değerini sağlaması beklenir. Bu sebeple malzeme seçiminde bu özelliklerin göz ardı edilmemesi gerekir.

Darbe testinde 10x10x55 mm boyutlarında numune test cihazındaki tablaya yerleştirilir. Belirli ağırlıktaki çekiç belirli bir açı ve yükseklikten bırakılarak numuneye çarptırılır. Belirli bir hıza ulaşan çekiç numuneye çarparak onu kırar ve daha düşük olan ikinci yüksekliğe ulaşır. İlk ve ikinci yükseklik arasındaki potansiyel enerji farkı bu malzemenin deney sıcaklığındaki darbe enerjisini verir [79]. Şekil 3.15. darbe deneyinin uygulama prensibini göstermektedir.



Şekil 3.15. Şematik darbe testi ve deney hesaplamalarında kullanılan ilgili parametreler.

$$\text{Kırılma enerjisi} = m (h - h_1)$$

Burada; m = Sarkacın ağırlığı (kg)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

Çekicinin numuneye çarpma hızını (v) bulmak için;

$h = 108,5 \text{ cm}$

Darbe deneyleri Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında Şekil 3.16'da gösterilen Alşa marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyleri kaynaklı Al2024 plakadan kesilmiş numunelere, Al2024 kılıflı değişken hacim takviye oranlı (%5-10-15 B₄C, kalan Al2124 özlü) dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış Al2024 plakadan kesilmiş numunelere, takviyesiz Al2024ten toz metalürjisi ile üretilmiş dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış Al2024 plakadan kesilmiş numunelere, Al2024 kütükten ekstrüzyon yoluyla çapı düşürülerek üretilen dolgu çubuğunun Al2024 malzeme yüzeyine kaynaklanmasından sonra kesilen numunelere uygulanmıştır. Deneyler hata payının en asgari düzeye indirilmesi için her gruptan 3 adet numuneye uygulanarak ortalama darbe değerleri elde edilmiş ve grafiklerde bu değerler kullanılmıştır. Bütün darbe deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup kaynaklı yüzeyin tam tersinden darbe kuvveti uygulanılması suretiyle sert yüzey dolgusu çekme kuvvetlerinin etkisinde bırakılmıştır.



Şekil 3.16. Alşa marka darbe deneyi test cihazı.

Darbe testinde numunelerin kırılmasında kullanılan darbe testi cihazının teknik özellikleri ve deney şartları Tablo 3.12’de verilmiştir. Darbe deneyi ampirik olduğu ve deney şartları farklılaştıkça malzeme değerlerinde farklılık gözleneceği için deney numunelerinin darbe deney cihazına uygun bir şekilde yerleştirilip aynı şartlarda deneyi yapmak, doğru sonuçları elde etmek bakımından çok önemlidir.

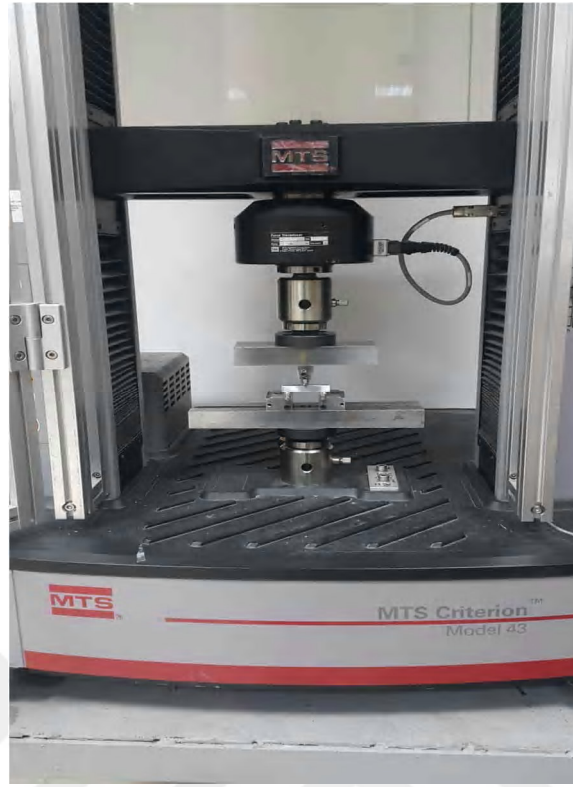
Tablo 3.12. Çentik darbe cihazının teknik özellikleri ve deney parametreleri

Sarkacın maksimum darbe enerjisi	300 Joule
Sarkaca yüklenen enerji	147 Joule
Sarkaç etkili ağırlığı	22 kg
Sarkaç vuruş hızı	4,61 m/sn
Örsler arası mesafe	40 mm
Çekiç kenar açısı	30°

3.9. Eğme Deneyi

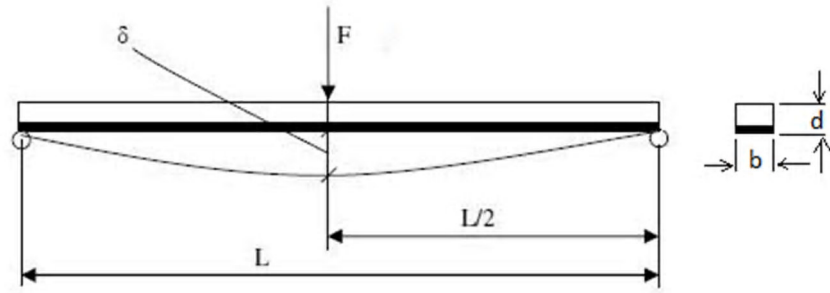
Bir kaynaklı malzemedeki kaynaktan kaynaklanan düzensizliklerin (porozite, çatlak, ergime noksanlığı vb.) ortaya çıkarılmasında eğme testinden yararlanılır. Bu test ile malzemenin sünekliği ve kaynak metali/ana malzeme uyumunu tayin etmek mümkündür [79].

Eğme deneyleri Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik A.B.D Laboratuvarında Şekil 3.17’de gösterilen MTS Criterion Model 43 marka test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.17. MTS 50KN eğme deneyi cihazı.

Deney 2 mm/sn ilerleme hızında kaynaklı Al2024 plakadan kesilmiş numunelere, Al2024 kılıflı değişken hacim takviye oranlı (%5-10-15 B₄C, kalan Al2124 özlü) dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış Al2024 plakadan kesilmiş numunelere, takviyesiz Al2024'ten toz metalürjisi ile üretilmiş dolgu çubuğuyla yüzeyine kaynak yapılmış Al2024 plakadan kesilmiş numunelere, Al2024 kütükten ekstrüzyon yoluyla çapı düşürülerek üretilen dolgu çubuğunun Al2024 malzeme yüzeyine kaynaklanmasından sonra kesilen numunelere uygulanmıştır. Deneyler hata payının en asgari düzeye indirilmesi için her gruptan 3 adet numuneye uygulanarak ortalama eğme değerleri elde edilmiş ve grafiklerde bu değerler kullanılmıştır. Eğme deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup kaynaklı yüzeyin tam tersinden kuvvet uygulanılması suretiyle sert yüzey dolgusu çekme kuvvetlerinin etkisinde bırakılmıştır. Şekil 3.18'de şematik olarak eğme deneyinin uygulanması ve deney parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Şematik eğme testi ve hesaplamalarda kullanılan parametreler.

δ (sehim)

b (kaynaklı yüzey genişliği)= 10 mm

d (yükseklik)= 10 mm

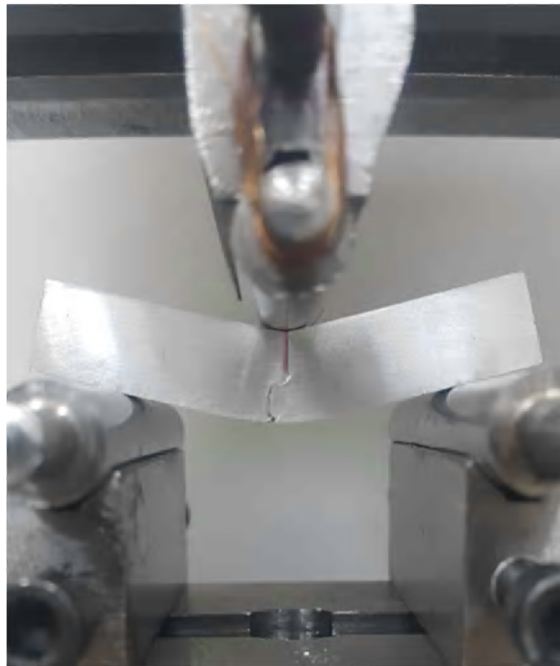
L (mesnetler arası mesafe) = 40 mm alınmıştır. Bunlara bağlı olarak;

M (maksimum eğme momenti) = —

c (numune merkezinden numunenin dış yüzeyinden uzaklık) = —

I (atalet momenti) = —

σ (eğme gerilmesi) = ————— formülü ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. Eğme deneyi uygulanmış numune görüntüsü.

3.10. Sertlik Deneyi

Bir malzemenin kaynak sonrasındaki sertlik değerlerindeki farklılığın tayininde sertlik deneylerinden faydalanılır. Kaynak işlemi sırasında faz dönüşümleri ve tane boyutundaki farklılaşmalar ısıdan etkilenmiş bölgede değişik değerlerdeki sertliklerin oluşmasını sağlar. Değişik malzeme gruplarında değişik sertlik değerleri arzulansa da genel olarak hiçbir malzemede 480 HV üzeri sertlik değeri kabul edilmez.

Malzemelerin sertlik değerlerinin tayininde değişik sertlik ölçeklerinden faydalanılmaktadır. Bu değerler Rockwell, Brinell, Vickers ve Knopp sertlik değerleridir. Bu ölçekleri birbirine çevirmek mümkün olsa da bazı değersel azalmalar olabilmektedir [79].

Mikrosertlik (HV0.1) taraması Şekil 3.20’de gösterilen Struers Duramin marka sertlik cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik taramasında, kaplama yüzeyinden belirli uzaklıklardan her uzaklık değeri için en az üç sertlik değeri alınarak ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 3.20. Struers Duramin mikrosertlik ölçüm cihazı.

3.11. Metalografik İnceleme

Malzeme kesitinin maksimum 10 kat (10x) büyütülmesiyle yapılan inceleme türüne makro kesit incelemesi adı verilmektedir. Bu inceleme yöntemiyle nüfuziyet, efektif boğaz yüksekliği gibi istenilen kaynak özelliklerini, poroziteler, çatlaklar, ergime noksanlığı, yanma çentiği gibi kaynak süreksizliklerini gözlemlemek mümkündür. İnceleme için malzeme yüzeyi hazırlandıktan sonra belirli bir dağlayıcı ile dağlanarak mikroskopla inceleme gerçekleştirilir.

Mikro kesit incelemesi ise kaynaklanmış malzemeden çıkarılan kesitin 10 kattan daha büyük büyütme oranlarında incelenmesidir. Mikro kesit incelemesi yöntemi ile malzemenin tane boyut analizi, tane yapısı, kaynak sonucu oluşan faz değişimleri, mikro çatlaklar belirlenebilir. Mikro kesit incelemesinde malzeme hazırlığının makro kesit incelemesine göre daha özenli ve dikkatli yapılması gerekmektedir [79]. (Numunenin parlatılması, dağlama süresine dikkat edilmesi vb.)

Malzemede yapılacak olan metalografik inceleme için numuneler önce Metcon Digipress marka bakalit makinesinde bakalite alınmış, daha sonra numune yüzeyleri döner tablalı zımpara makinesinde sırasıyla 600, 1000, 2000 ve 4000 numaralı zımparalar ile parlatılmıştır.

Parlatılan numuneler modifiye keller dağlayıcıda dağlanmıştır. Numunelerin dağlanmasında kullanılan modifiye keller dağlayıcı çeşitleri Tablo 3.13'de gösterilmektedir.

Tablo 3.13. Kullanılan modifiye dağlayıcılar

Dağlayıcı No:	Dağlama Reaktifi	Miktar	Uygulama Şartları	Uygulama Alanları
Al (M1)	Saf Su HF (%40)	100 ml 0,5 ml	10-60 saniye	Çok farklı tip Al ve Al alaşımlarında
Al (M3)	Saf Su NaOH	100 ml 1-2 gr	Mümkünse 50°C'de 5-10 sn. Daha sonra saf su ile 5ml Nitrik asit ile çalkalanmalı	Saf Al, Cu-Al, Mg-Si-Al, Mg-Al ve Zn-Al alaşımlarında
Al (M5)	Saf Su HNO ₃ (1,40)	75 ml 25 ml	40 sn 70°C'de	Özellikle Cu-Al alaşımları ve makro dağlamada kullanılır

Dağlaması yapılmış numunelerin metalografik incelemeleri Euromex optik mikroskop kullanılarak 4X, 10X, 20X ve 40X’lik lenslerin kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.



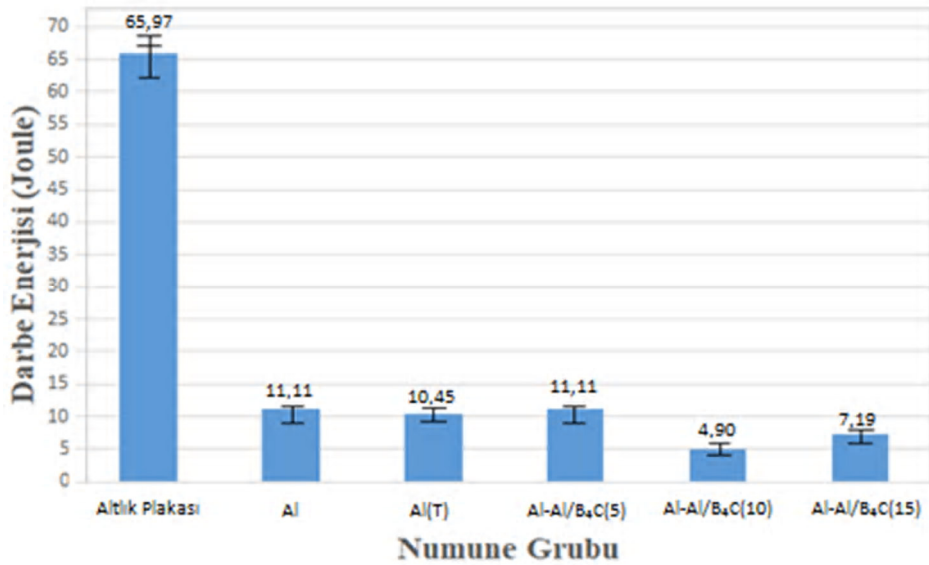
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇLAR ve GENEL TARTIŞMA

4.1. Darbe Deneyi Sonuçları

Kaynaksız plaka ve yüzey dolgusu yapılmış numunelere uygulanmış darbe deneyi sonuçlarına göre oluşturulmuş grafik Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Kaynak ısısı ve oluşan porozite kaynaklanmış bütün numunelerde darbe direncini kaynaklı plakaya göre önemli ölçüde düşürmüştür. Buna göre kaynaklı plakalardaki darbe direncinin düşüşü ark ısısıyla oluşan tane irileşmesine, tane sınırlarında oluşan Al_2Cu intermetalik fazına ve çökeltiyle sertleştirilmiş ana malzemedeki mukavemeti sağlayan çökeltilerin ark ısısıyla çözülmesine bağlanabilir.

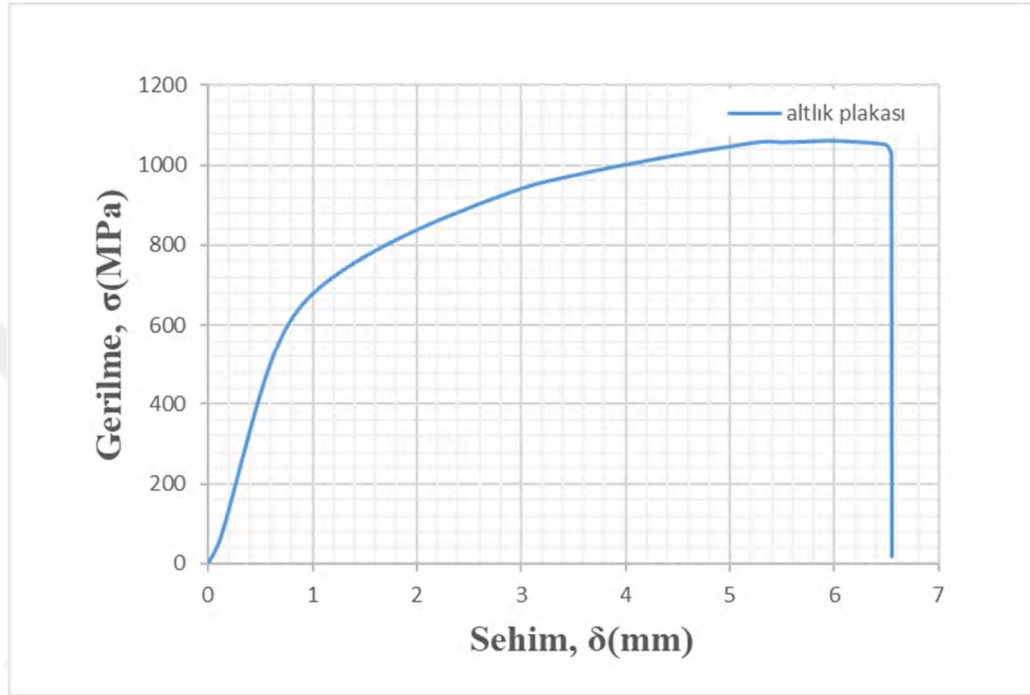
Grafikten görüldüğü üzere kaynaklı plakadan sonra en yüksek darbe direncini Al dolgu çubuğuyla yapılan yüzey dolgulu numuneler ile Al-Al/ $B_4C(5)$ dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış numuneler göstermiştir. En düşük darbe direncini gösteren numuneler ise Al-Al/ $B_4C(10)$ özlü dolgu çubuğuyla yüzeyine dolgu yapılan numunelerdir.



Şekil 4.1. Test numunelerinin kırılma tokluğu grafiği.

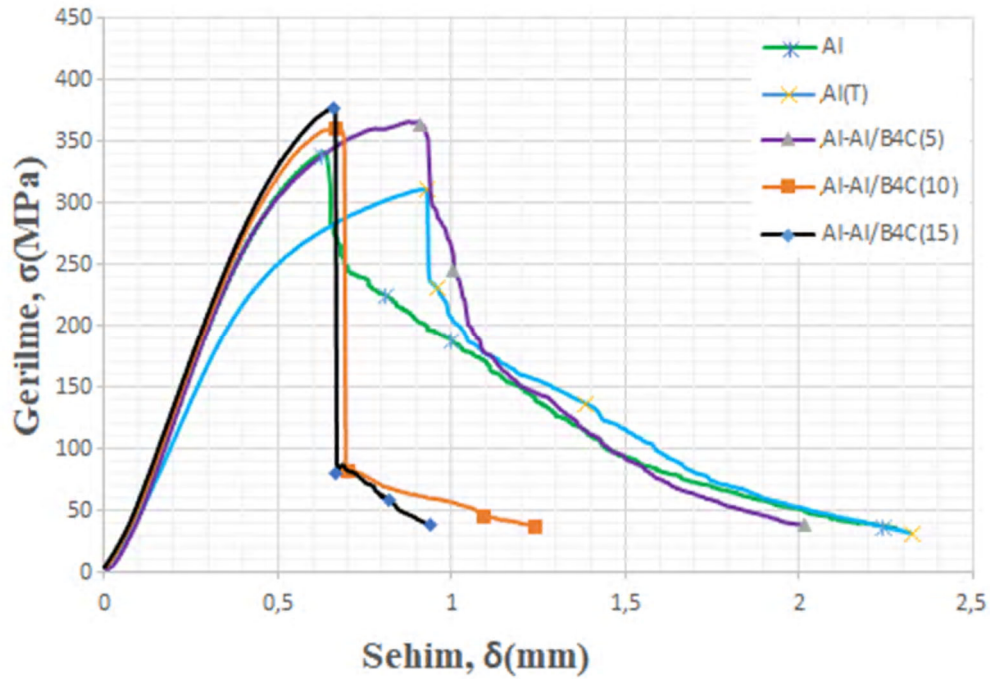
4.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Altlık olarak kullanılacak Al2024-T351 kaynaksız altlık plakasının eğme deneyi sonucu oluşan gerilme sehim grafiği aşağıda Şekil 4.2’de verilmiştir.



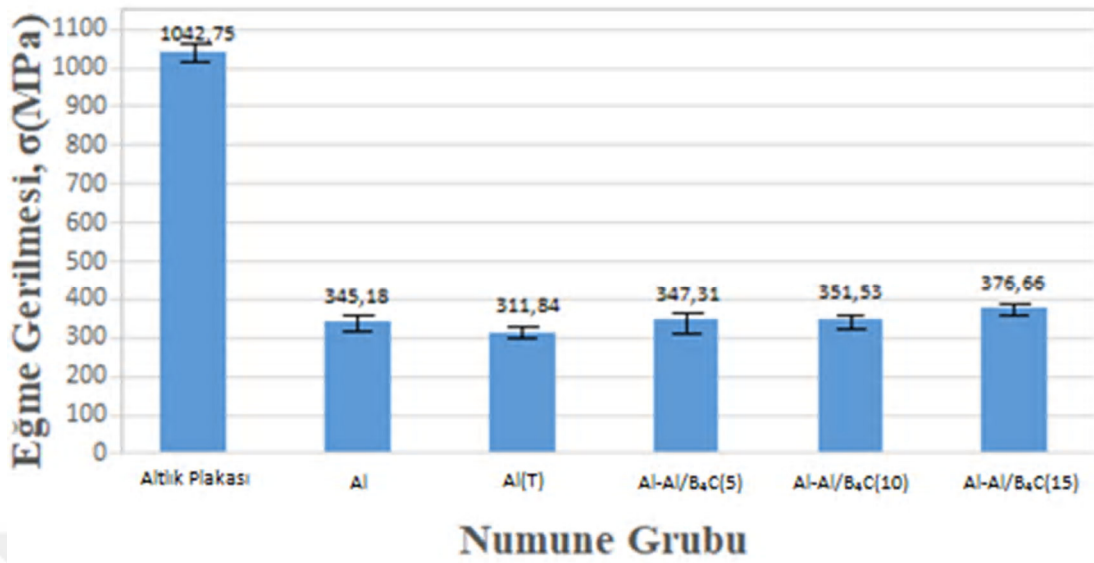
Şekil 4.2. Kaynaksız altlık plakasının gerilme-sehim diyagramı.

Üretimi gerçekleştirilmiş dolgu çubuklarıyla yüzeyine dolgu kaynağı yapılmış levhalardan alınan numunelerin eğme deneyleri sonuçlarında oluşan gerilme sehim grafikleri Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Buna göre kaynak işleminde oluşan ark ısısı kaynaklı numunelerde işlem görmemiş altlık plakasına göre dayanım ve sehim değerlerinde azalmaya neden olmuştur.



Şekil 4.3. Yüzey dolgusu yapılmış numunelerin gerilme-sehim diyagramı.

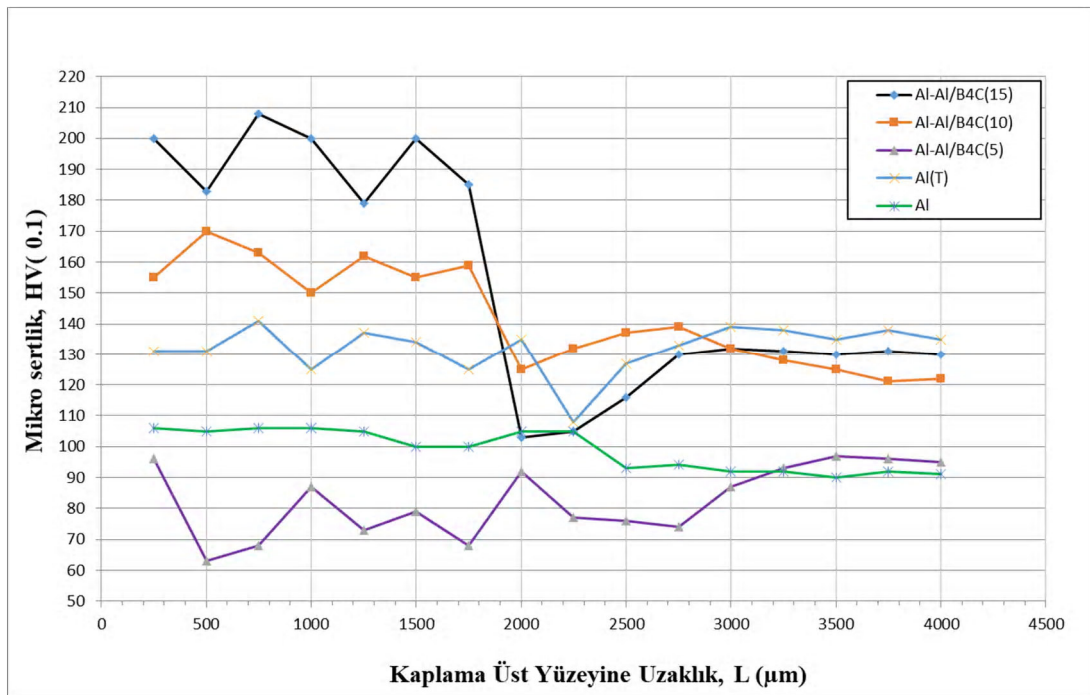
Bu grafiklere bağlı olarak elde edilen sonuçlara göre kaynak işleminde oluşan ark ısısı, Şekil 4.4'te gösterilen yüzey dolgu kaynağı yapılmış numunelerde %64'den daha fazla dayanım kaybına yol açmıştır. Aynı zamanda numunelerin çatlamadan önce dayanabileceği sehim miktarını ciddi derecede düşürmüştür. Elde edilen ortalama maksimum kuvvet ve buna bağlı olarak oluşan maksimum eğme gerilmelerinde yüzey dolgusu yapılmış numunelerde en düşük ortalama değeri saf Al2024 tozdan üretilmiş dolgu çubuğuyla (Al(T)) yapılmış dolgu kaynaklı numuneler vermiştir. Ayrıca gözlemlenen başka bir sonuç ise B₄C ihtiva eden özlü dolgu çubuklarıyla yapılan dolgu kaynaklı numunelerde B₄C oranının artışıyla elde edilen kuvvet dayanımı ve buna bağlı olarak eğme gerilmesi dayanımının da arttığı, böylece dolgu kaynaklı numunelerde en yüksek dayanım değerinin Al-Al/B₄C(15) dolgu çubuklarıyla yüzey dolgusu yapılmış numunelerde elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Altık plakası ve yüzey dolgu kaynaklı numunelerin maksimum gerilme grafiği.

4.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

Altık olarak kullanılacak Al2024-T351 kaynaklı taban malzemesinin mikrosertlik değeri ortalama 167,7 HV olarak ölçülmüştür.



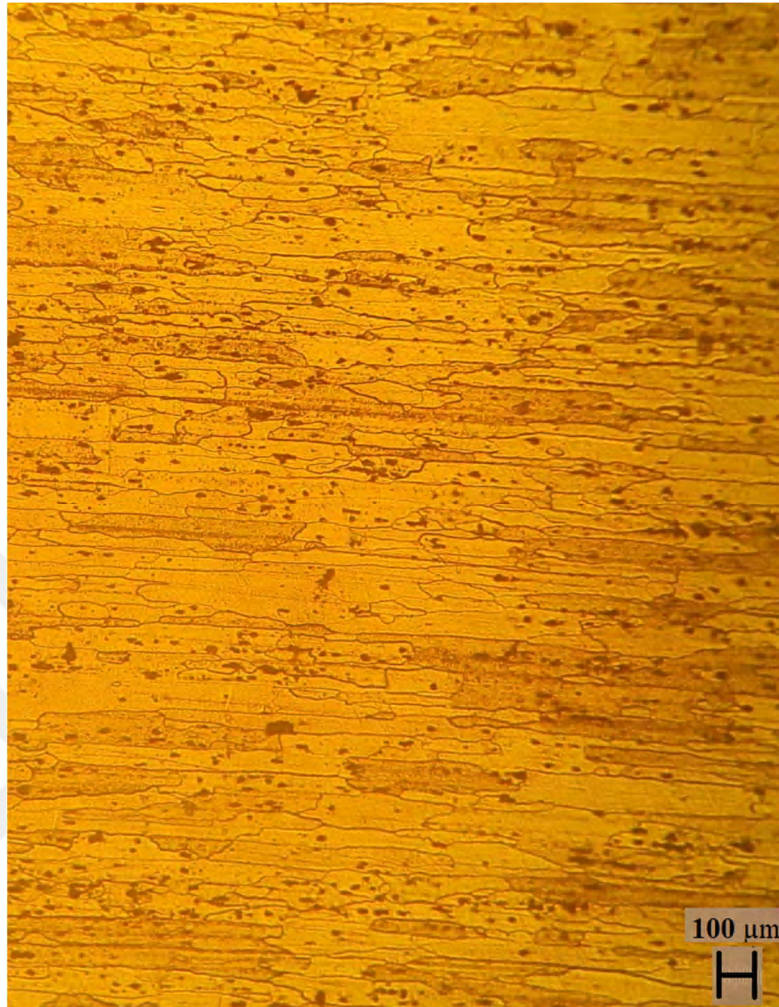
Şekil 4.5. Kaynaklı numunelerin mikrosertlik grafiği.

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere kaynaklı numuneler içerisinde en yüksek sertlik değerini Al-Al/B₄C(15) dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış numune göstermiştir. En düşük sertlik değerini gösteren numune ise Al-Al/B₄C(5) dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış numune olmuştur. Bunun nedeninin en yüksek poroziteye sahip numunenin Al-Al/B₄C(5) dolgu çubuğuyla yüzey dolgusu yapılmış numune olması sonucu, sertlik ölçümü sırasında elmas ucun bastığı alanın altında boşluk olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Yüzey dolgu kaynağı yapılan bütün numunelerin ana malzemesinde, kaynak yapılmamış ana malzemeye göre ciddi seviyede sertlik kaybı yaşandığı gözlemlenmiştir. Özellikle Al-Al/B₄C(15) ve Al-Al/B₄C(10) dolgu çubuklarıyla yüzey dolgusu yapılmış numunelerde kaplama bölgesinden ısıdan etkilenmiş olan geçiş bölgesine geçildiğinde ciddi miktarda sertlik kaybı yaşanmıştır. Malzemede oluşan bu sertlik kayıplarının özellikle ısıdan etkilenmiş bölgede oluşan tane irileşmesi ve çökeltilerle sertleştirilmiş ana malzemedeki çökeltilerin yüksek ısı nedeniyle çözünmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

4.4. Metalografik İnceleme Sonuçları

4.4.1. Kaynaksız Al2024-T351 plakanın iç yapı görüntüsü

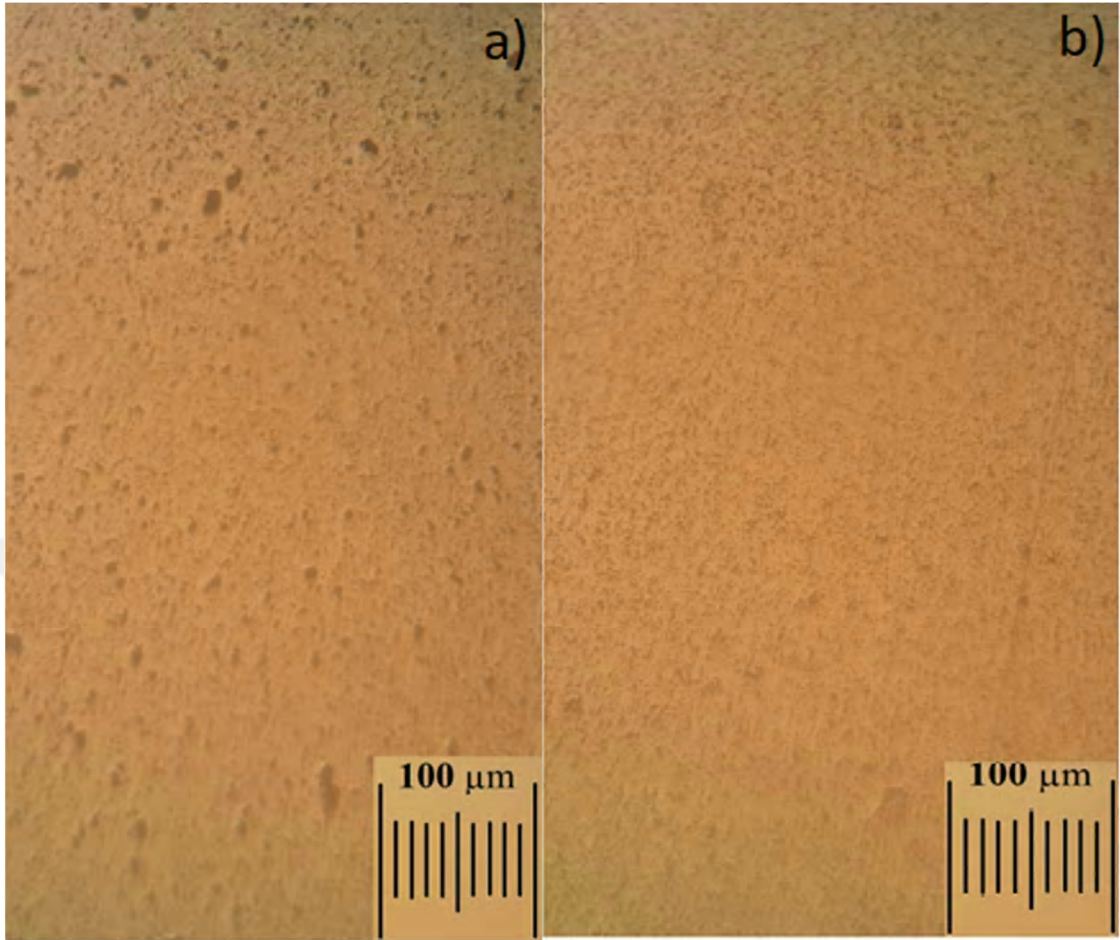
Kaynaksız Al2024-T351 altlık malzemesinin iç yapı görüntüsü Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Elde edilmiş iç yapı görüntüsüne göre malzemede hadde doğrultusu net bir biçimde görünmektedir.



Şekil 4.6. Al2024-T351 altlık malzemesi iç yapı görüntüsü.

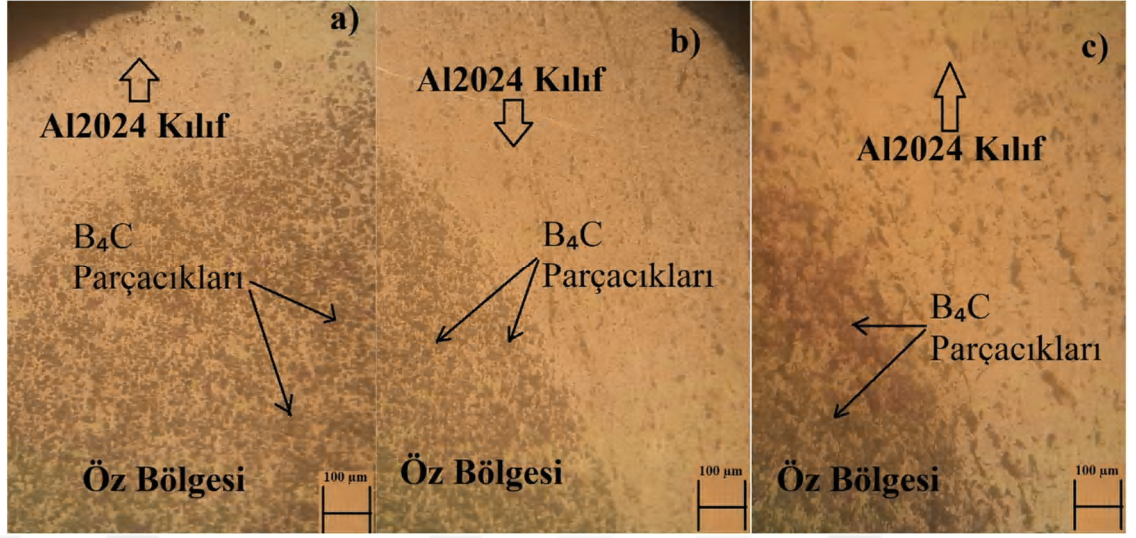
4.4.2. Üretilmiş Dolgu Çubuklarının İç Yapı Görüntüleri

Şekil 4.7 a) Al2024 kütükten (Al), b) Al2024 tozdan (Al(T)) üretilmiş dolgu çubuklarının iç yapıları göstermektedir. Her iki dolgu çubuğunda da benzer şekilde iç yapıya dağılmış küçük düzensizlikler görülmektedir. Ancak bu düzensizliklerin boyutları Al2024 kütükten üretilmiş olan dolgu çubuğunda daha fazla belirginlik göstermektedir.



Şekil 4.7. a) Al2024 kütükten üretilmiş dolgu çubuğu (Al), b) Al2024 tozdan üretilmiş dolgu çubuğu (Al(T)) iç yapısı.

Şekil 4.8'a) Al-Al/B₄C(5), b) Al-Al/B₄C(10), c) Al-Al/B₄C(10) dolgu çubuklarının iç yapılarını göstermektedir. Al2024 kılıflı, B₄C-Al2124 özlü dolgu çubuklarında B₄C oranlarının birbirlerinden farklı olmasına rağmen çok benzer iç yapı görüntüleri elde edilmiştir. Bunun nedeninin tozların topaklandığı yerden numune kesiti alınması olabileceği düşünülmektedir. Şekillerde özlü dolgu çubuklarının kılıf ve öz bölgesi gösterilmiştir.



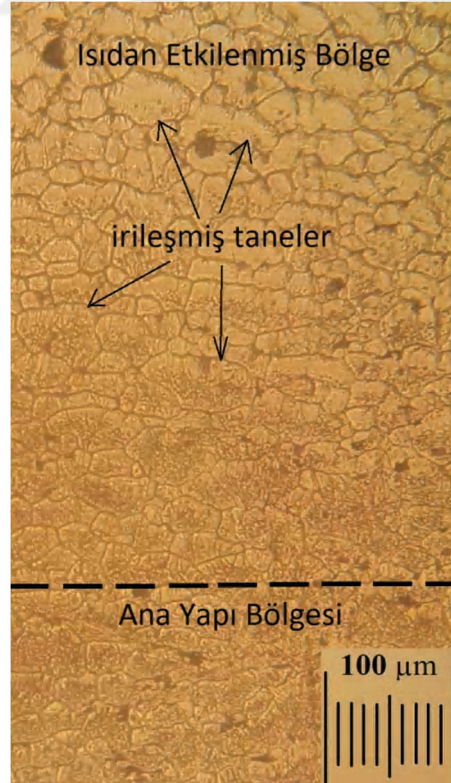
Şekil 4.8. a) Al-Al/B₄C(5), b) Al-Al/B₄C(10), c) Al-Al/B₄C(10) dolgu çubuklarının iç yapı görüntüleri..

4.4.3. Al2024 Kütükten Üretilmiş Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı

Al2024 kütükten üretilmiş (Al) dolgu çubuğuyla kaynaklanmış numunenin kaplama bölgesinde herhangi bir poroziteye rastlanmamıştır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, kaplama bölgesinin alt kısmında (IEB) tane büyümesi görülmüş bu bölgeden ana metale doğru uzaklaştıkça tane boyutlarında küçülme gözlenmiştir.



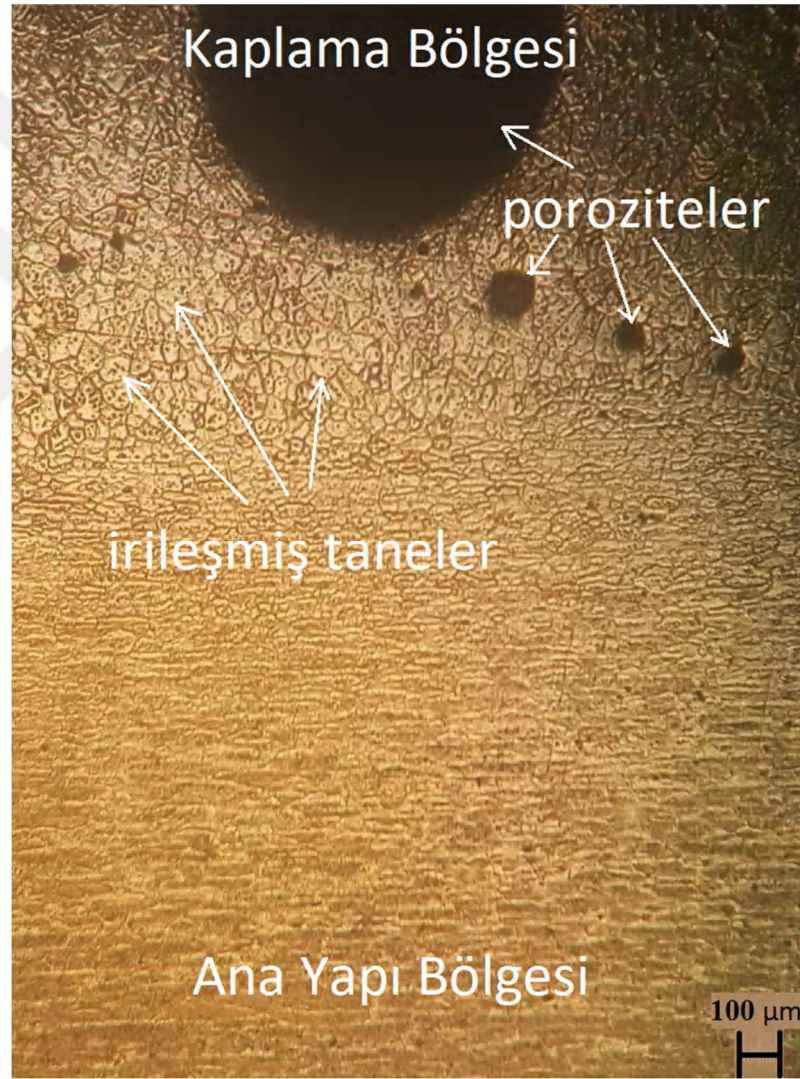
Şekil 4.9. Al dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve ısıdan etkilenmiş bölgenin iç yapı görüntüsü.



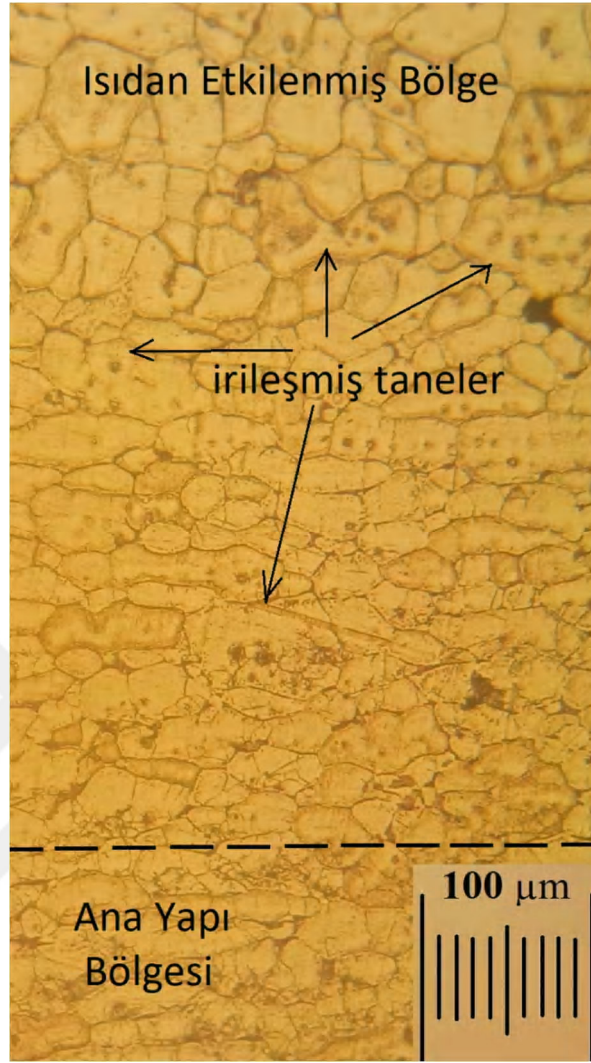
Şekil 4.10. Al dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü.

4.4.4. Al2024 Tozdan Üretilmiş Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı

Al2024 tozdan üretilmiş dolgu çubuğuyla (Al(T)) kaynaklanmış numunenin kaplama bölgesinde porozite oluşumu gözlenmiştir. Şekil 4.11’de kaplama bölgesi ve geçiş bölgesindeki tane yapıları daha dairesel bir hal almışken, ısıdan etkilenen bölgeden uzaklaştıkça tane yapılarının hadde yönünde yönlenmiş bir şekil aldığı net bir biçimde gözlemlenmektedir. Isıdan etkilenen bölgedeki tane irileşmesi ve bu bölgeden uzaklaştıkça tane yapısında görülen küçülme Şekil 4.12’de görülmektedir.



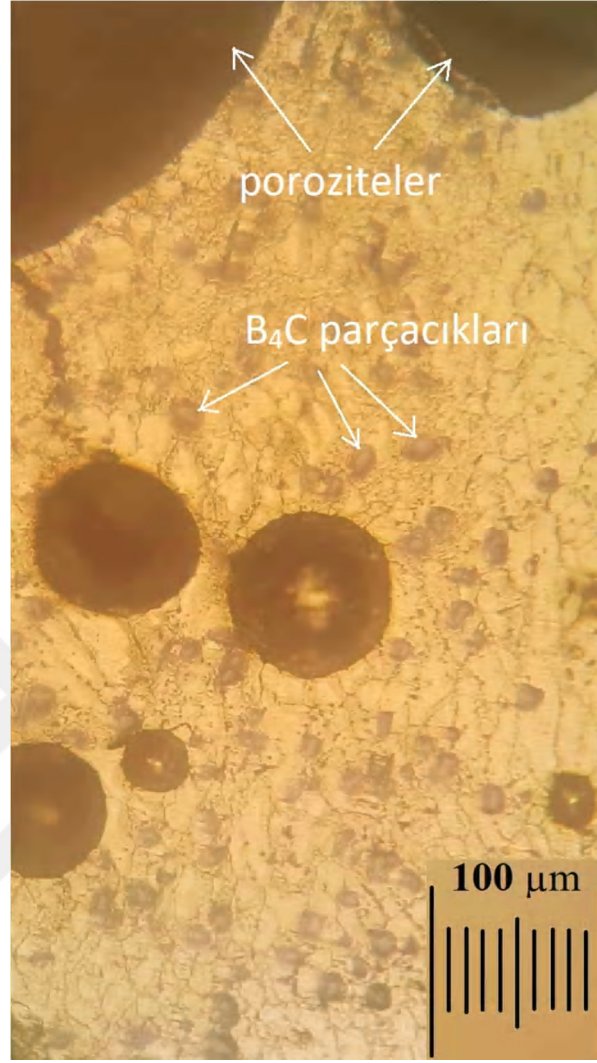
Şekil 4.11. Al(T) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü.



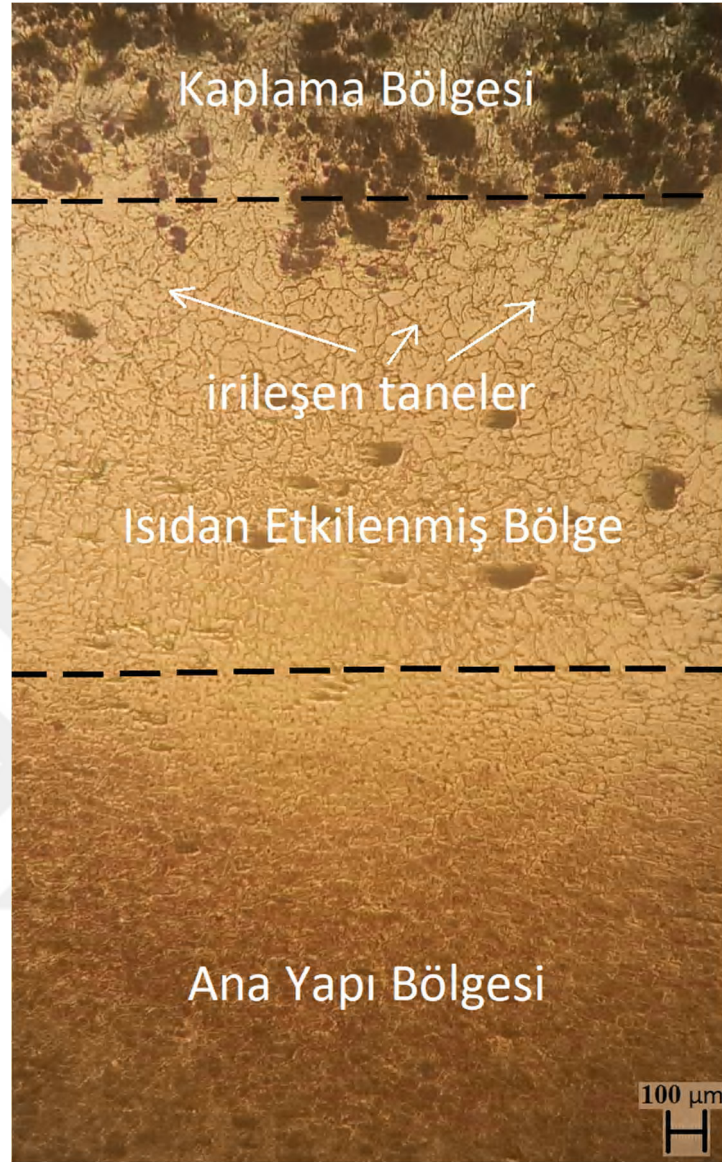
Şekil 4.12. Al(T) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının alt bölgelerinin iç yapı görüntüsü.

4.4.5. Al-Al/B₄C(5) Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı

Al-Al/B₄C(5) dolgu çubuğuyla kaynaklanmış numune, bütün kaynaklı numuneler içerisinde en yüksek poroziteye sahip numunedir. Şekil 4.13'te oluşan poroziteler gösterilmiştir. Kaplama bölgesinde B₄C parçacıklarının kümelenme oluşturmaları Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Isıdan etkilenmiş bölgede tane büyümesi gözlemlenmiştir.



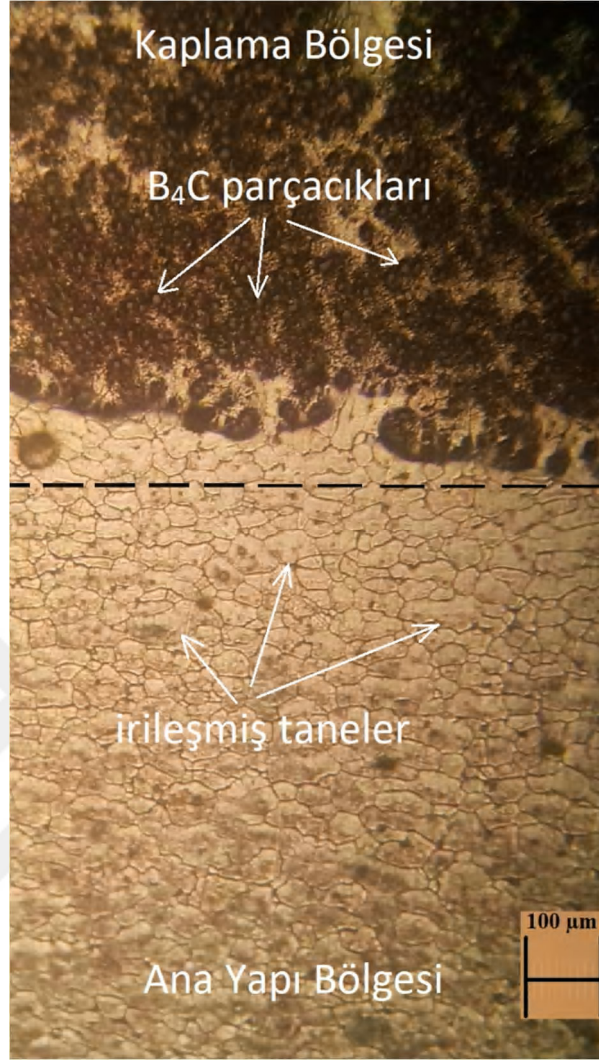
Şekil 4.13. Al-Al/B₄C(5) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının iç yapı görüntüsü.



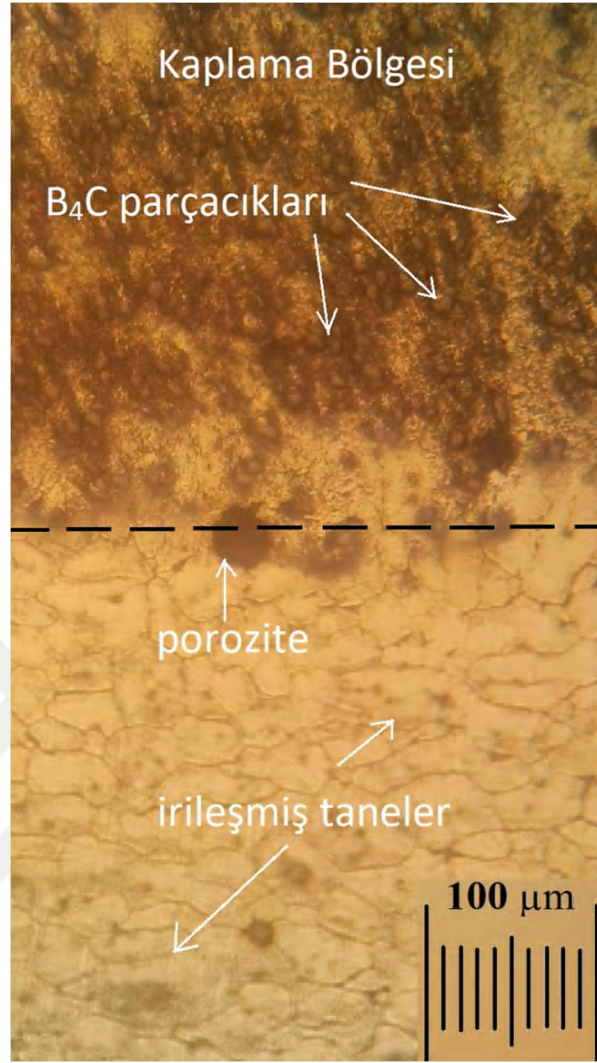
Şekil 4.14. Al-Al/B₄C(5) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü.

4.4.6. Al-Al/B₄C(10) Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı

Al-Al/B₄C(10) dolgu çubuğuyla kaynaklanmış numunenin kaplamasında B₄C parçacıklarının kümelenme bölgeleri ve porozite oluşumu Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Isıdan etkilenmiş bölgede tane büyümesi gözlemlenmiştir.



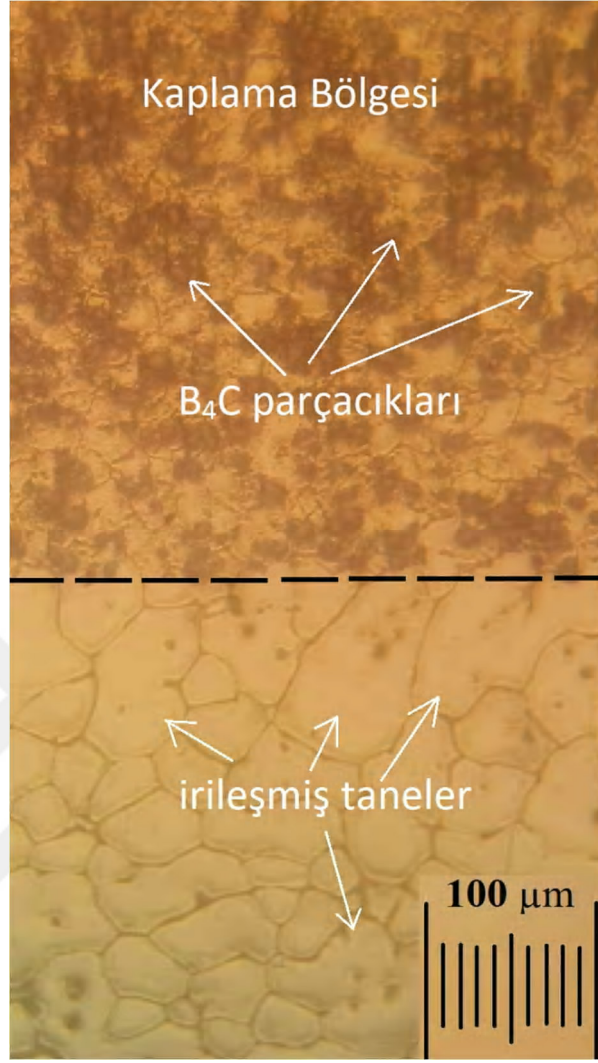
Şekil 4.15. Al-Al/B₄C(10) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaynak altı bölgelerin iç yapı görüntüsü.



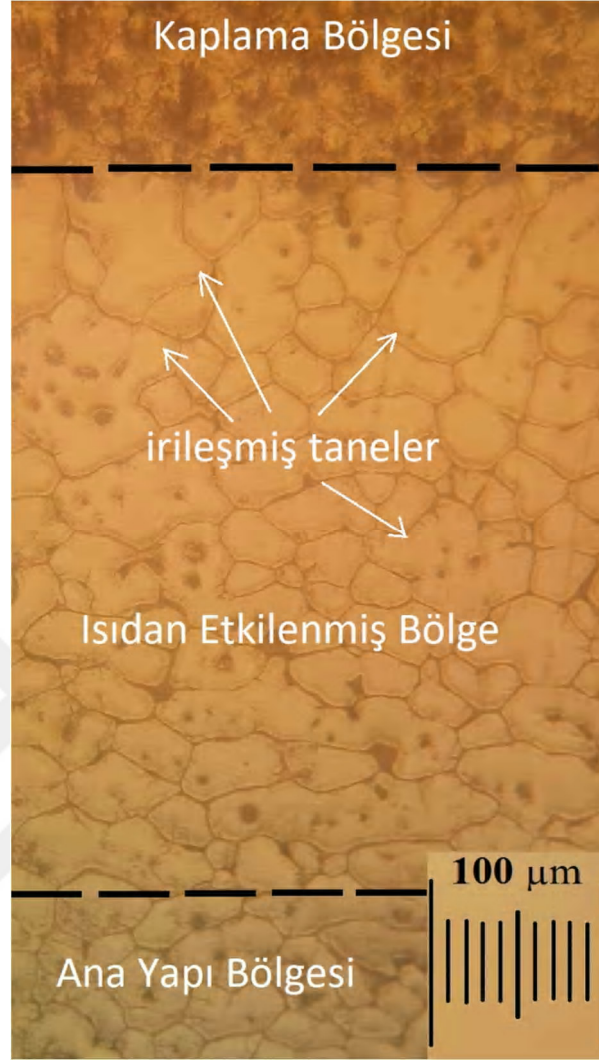
Şekil 4.16. Al-Al/B₄C(10) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve IEB'nin iç yapı görüntüsü.

4.4.7. Al-Al/B₄C(15) Dolgu Çubuğuyla Kaynaklanmış Plaka İç Yapısı

Al-Al/B₄C(15) dolgu çubuğuyla kaynaklanmış numune bütün kaynaklı numuneler içerisinde en yüksek kaplama kalınlığına sahip numunedir. Şekil 4.17'de görüldüğü üzere kaplama bölgesinde B₄C parçacıkları bazı bölgelerde kümelenme oluşturmuşlardır. Isıdan etkilenmiş bölgede tane büyümesi gözlemlenmiştir. Diğer kaynaklı numunelerde olduğu gibi geçiş bölgesinden ana metale uzaklaştıkça tane boyutlarındaki küçülme Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Al-Al/B₄C(15) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve IEB'nin iç yapı görüntüsü.



Şekil 4.18. Al-Al/B₄C(15) dolgu çubuğuyla yapılan yüzey kaplamasının ve kaplama altı bölgelerin iç yapı görüntüsü.

GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

1. Al2024 kılıflı B₄C-Al2124 özlü dolgu kaynak çubukları belirlenen koşullar altında başarıyla üretilmiştir.
2. Saf Al2024 kütükten üretilmiş dolgu çubuğuyla (Al) yapılan dolgu kaynağında herhangi bir gözenek oluşumu gözlenmemiştir.
3. Kaynaklama işleminde parametrelere uyarak kaynak işleri yapılmasına rağmen özlü dolgu çubuklarıyla gerçekleştirilen dolgu kaynaklarında ve Al2024 tozdan üretilmiş olan dolgu çubuğuyla gerçekleştirilen dolgu kaynağında yüksek miktarda gözenekli yapıyla karşılaşmıştır. En fazla gözenek oluşumu %5 B₄C takviyeli, Al2124 özlü dolgu çubuğuyla yapılmış olan kaplamada gözlemlenmiştir. Bütün kaplama bölgelerinde yüksek miktarda gözenek oluşmasının nedeni kaynak çubuklarının üretiminde kullanılan tozların içinde barındırdığı süreksizliklere, kaynak çubuklarının üretimi esnasında oluşan oksit tabakalarına, sıkıştırılmalarda yaşanan düzensizliklere ve kaynak işlemindeki temizlik kusurlarına bağlanmıştır.
4. B₄C ihtiva eden dolgu çubuklarıyla yapılan kaplamalarda, kaplama bölgelerinde toz kümelenme bölgeleri görülmüştür.
5. Dolgu kaynağı yapılmış bütün iç yapı görüntülerinde kaplama bölgesinde ısıdan etkilenmiş bölgeye göre daha küçük taneler gözlenmiştir. Bunun nedeninin kaynak bölgesinin çok hızlı ergiyip katılaşması sonucu tane büyümesi için yeterli zaman bulamaması olduğu düşünülmektedir. Ancak kaynak işleminde kullanılan ark ısısının ısıdan etkilenen bölgede daha yavaş soğumaya neden olması bu geçiş bölgesinde daha iri taneli yapıya neden olmuştur. Isıdan etkilenmiş bölgeden ana malzemeye doğru gittikçe tane boyutlarında tekrar küçülme gözlemlenmiştir.

6. Kaynak ark ısısının özellikle çökeltiyle sertleştirilebilen ana malzeme üzerinde mukavemeti arttırıcı etki gösteren çökeltileri tekrar eritecek etkiye sahip olduğu düşünülmektedir [31].
7. Eğme deneylerinde bütün kaynaklı plakalar kaynaksız ana malzemeye göre ciddi mukavemet kaybı yaşamıştır. Bu mukavemet kayıpları daha önce belirtilen ısıdan etkilenen bölgede oluşan tane irileşmesi, ana malzemede dayanım sağlayan çökeltilerin çözülmesi, kaplama bölgesinde oluşan porozite ve tane sınırlarında oluşan kırılğan intermetalik Al_2Cu fazına bağlanmıştır [19,25,31,39].
8. Malzemelerin eğme deneylerinde çatlamadan önce dayanabildiği maksimum kuvvet değerleri göz önüne alındığında B_4C takviyeli yüzey dolgularında B_4C oranı artışıyla birlikte dayanım artışı da gözlemlenmiştir [13,20].
9. Malzemelerin darbe deneylerinde eğme deneyinde olduğu gibi kaynaklı malzemelerde ciddi düşüş görülmüştür. Darbe tokluğundaki en düşük değeri %10 B_4C takviyeli, Al_{2124} özlü dolgu çubuğuyla kaplaması yapılmış numune vermiştir. Darbe tokluğunun düşmesinde yine porozitenin, çökeltilerin çözülmesinin, tane irileşmesinin ve Al_2Cu fazının etkili olduğu düşünülmektedir.
10. Mikrosertlik taramalarında kaplama bölgesinde en düşük ortalama değeri %5 B_4C takviyeli, Al_{2124} özlü dolgu çubuğuyla yapılmış olan kaplama vermiştir. Bunun nedeninin sertlik taramasında kullanılan elmas ucun bastığı yüzey altında gözenek olabileceği ile ilişkilendirilmiştir. Kaplama bölgelerindeki en yüksek sertlik değerini ise %15 B_4C takviyeli, Al_{2124} özlü dolgu çubuğuyla yapılmış olan kaplama göstermiştir. Mikrosertlik taramasında gözlenen diğer bir sonuç ise bütün kaynaklı numunelerin taban malzemesinin, kaynaksız plakaya göre sertlikte düşüş yaşamış olduğudur [25].
11. Bütün bu bilgilerin ışığında malzemede yaşanan mukavemet kayıplarının az da olsa giderilmesinde kaynak sonrası yaşlandırma uygulaması kullanılabileceği düşünülmektedir. Kaynak çubuklarının üretiminde toz metalürjisinden başka bir işlemle üretim yapılmasının (karıştırılmalı döküm vb.) ve kaynaklama işleminde kaynak yüzey ve kaynak çubuklarının temizliğine özen

gösterilmesinin, porozitenin azaltılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu deneysel çalışmanın ileri aşamalarında termal şok, balistik ve aşınma testlerinin yapılmasının deneysel çalışmayı daha da zenginleştireceği düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Çalgülü, U., Dikbaş, H., Taşkın, M., 2006. Sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiş SiCp takviyeli Al esaslı kompozitlerin difüzyon kaynağında sürenin birleşme üzerindeki etkisinin incelenmesi. **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi**, 18(3): 437-443.
- [2] Callister, W. D., 2011. Materials Science and Engineering, 8th Edition. 1000p.
- [3] Yoshie, S., Hiraishi, E., “Hardfacing of alumininum products using TIG arc welding methods”, *Welding International*, 9(2):94-99,8
- [4] Hutchings, I., Shipway, P., 2017. Surface engineering. *Tribology*, p.237–281.
- [5] Pradeep G. R. C., et. al., A review paper on hardfacing processes and materials. **International Journal of Engineering Science and Technology**. Vol. 2(11), 2010, 6507-6510
- [6] Grainger, S., Blunt, J., 1998. Engineering Coatings Design and Application. 2nd Edition, 42-118p.
- [7] Afrox Product Reference Manual, Welding Consumables, Hardfacing, [http://www.afrox.co.za/en/images/Section %2012 %20 %207 %20 %20Hardfacing tcm266-154582.pdf](http://www.afrox.co.za/en/images/Section%2012%20%207%20%20Hardfacing_tcm266-154582.pdf), (Erişim Tarihi: Haziran 2020)
- [8] Bello, K. A., Maleque, M. A., Adebisi, A. A., 2019. Processing of ceramic composite coating via TIG torch welding technique. **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**.
- [9] Ulutan, M., Yıldırım, M., Buytoz, S., 2009. TIG yöntemiyle yüzeyi sertleştirilen AISI 4140 çeliğinin mikroyapı incelemesi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt:XXII, Sayı:1.
- [10] Anık, S., Tülbentçi K. ve Kaluç E., 1991. Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 296s.
- [11] Kumar Singh A. K., et. al., 2017. Techniques to improveweld penetration in TIG welding (A review) , **Materials Today: Proceedings**, 4, p.1252–1259.
- [12] Toptan, F., 2011. Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.

- [13] Çolak, N. Y., Turhan, H., 2016. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B₄C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. **Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi**, 28 (2), S.259-266.
- [14] Şahin, Y., Öksüz, Y. E., 2013. SN Ratio Analysis of Tribological Behavior of SiCp Reinforced Al₂O₃ Based Metal Matrix Composite. **Advanced Materials Research**, Vol 685, p.24-29.
- [15] WEI, Y., et, al., 2018. Parameter optimization for tungsten carbide/Ni-based composite coating deposited by plasma transferred arc hardfacing. **Transactions of Nonferrous Metals Society China**, 28, p.2511–2519.
- [16] Cervay, R. R., 1975. Temperature Effect On The Mechanical Properties Of Aluminum Alloy 2124-T851”, p.29.
- [17] Saroj, S., Sahoo, C. K., Masanta, M., 2017. Microstructure and mechanical performance of TiC-Inconel825 composite coating deposited on AISI 304 steel by TIG cladding process. **Journal of Materials Processing Technology**, 249, p.490–501.
- [18] Balasubramanian, V., et, al., 2009. Application of Response Surface Methodology to Prediction of Dilution in Plasma Transferred Arc Hardfacing of Stainless Steel on Carbon Steel. **Journal Of Iron And Steel Research, International**. 16(1): 44-53.
- [19] Tyagi, S. A., Bhadauria, N., Vashishtha, P., Mishra, S., 2020. Improving surface hardness of aluminum 6063 alloy using hardfacing. **Materials Today: Proceedings**.
- [20] Tijo, D., Masanta, M., 2019. Effect of Ti/B₄C ratio on the microstructure and mechanical characteristics of TIG clad TiC-TiB₂ coating on Ti-6Al-4V alloy. **Journal of Materials Processing Technology**, 266, p.184–197.
- [21] Singh, J., Thakur, L., Angra, S., 2020. Abrasive wear behavior of WC-10Co-4Cr cladding deposited by TIG welding process. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 88, 105198.
- [22] Gontarz, G., et, al., 2013. Properties of Fe-Al Type Intermetallic Layers Produced by AC TIG Method. **Advances In Materials Science**, Vol. 13, No. 3 (37).
- [23] Hou, Q. Y., Huang, Z., Wang, J. T., 2011. Influence of nano-Al₂O₃ particles on the microstructure and wear resistance of the nickel-based alloy coating

deposited by plasma transferred arc overlay welding. **Surface and Coatings Technology**, 205(8-9), 2806–2812.

- [24] Ding, J., Wang, D., Wang, Y., Du, H., 2014. Effect of post weld heat treatment on properties of variable polarity TIG welded AA2219 aluminium alloy joints. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, 24(5), 1307–1316.
- [25] Ramesh C., et, al., 2016. Theoretical and Experimental Investigations of Mechanical Properties of Hardfaced Aluminium By TIG Welding. **Advances in Natural and Applied Sciences**. 10 (7), p.18-25.
- [26] Korkut, M. H., et, al., 2002. Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C coated low carbon steel. **Surface and Coatings Technology**, 157, p.5–13.
- [27] Bitharas, I., Campbell, S. W., Galloway, A. M., McPherson, N. A., Moore, A. J., 2016. Visualisation of alternating shielding gas flow in GTAW. **Materials & Design**, 91, 424–431.
- [28] Turhan, H., Çolak, N. Y., 2018. TIG Yöntemi ile Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine Kaplanan Stellite 6+FeMo Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. **BEÜ Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt (Sayı), s.22-31.
- [29] Gür, A. K., Cengiz, M. H., Taşkaya, S., 2019. Mikroalaşımli Hardox 400 Çelik Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve İncelenmesi. **DÜMF Mühendislik Dergisi**, 10:3, s.969-979.
- [30] Xinhong, W., Lin, C., Min, Z., Zengda, Z., 2009. Fabrication of multiple carbide particles reinforced Fe-based surface hardfacing layer produced by gas tungsten arc welding process, **Surface and Coatings Technology**, 203(8), 976–980.
- [31] D'Oliveira, A. S. C. M., Paredes, R. S. C., Santos, R. L. C., 2006. Pulsed current plasma transferred arc hardfacing. **Journal of Materials Processing Technology**, 171(2), p.167–174.
- [32] Shimizu, T., Soda, H., 1993. Development of aluminum alloy welding rod for hard facing applications. Department of Metallurgy and Material Science, University of Toronto, Canada.

- [33] Cavcar, M. M., 1998. Sert Dolgu Rehberi, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 31s.
- [34] Gerard, B., Fundamentals of hardfacing by fusion welding, Welding Alloys Group.
- [35] Ozan S., 2010. Sert Dolgu Kaynağında Dolgu Alaşım Elementlerinin Aşınma Direnci, Mikroyapı ve Seyrelme Miktarları Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [36] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011. Metal Teknolojisi, Dolgu Kaynağı, 521MMI193, Ankara.
- [37] Hıdıroğlu, M., 2012. Aşınan Makine Parçalarına Uygulanan Sert Dolgu Kaynağının Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- [38] Atabey, M., 2006. Sıcak Dövme Kalıplarında Sert Dolgu Kaynağı Uygulamasıyla İyileştirmeler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [39] ASM Handbook, 1993. Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, 10th edition, ASM International, 2859p.
- [40] Anık, S., 1991. Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 250s.
- [41] Jeffus, L., 2012. Welding_ Principles and Applications, Seventh Edition, 962p.
- [42] <http://phoenixweld.com/product/cladding-nozzle-sk60/> (Son Erişim Tarihi: Haziran 2020)
- [43] Babu, P. D., Balasubramanian, K. R., 2011. Laser surface hardening: a review. **Int. J. Surface Science and Engineering**, Vol. 5, Nos. 2/3.
- [44] Anık, S., Vural, M., 1991. Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 308s.
- [45] Oğuz B., 1990. Demir Dışı Metallerin Kaynağı, İstanbul, 868s.
- [46] Bhavsar, A. N., Vikram, A. P., 2016. Influence of process parameters of TIG welding process on mechanical properties of SS304L welded joint, **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, Volume: 03, Issue: 05.
- [47] Mathers, G., 2002, “The welding of aluminium and its alloys”, p.97-115.
- [48] Asadi, P., Kazemi-Choobi, K., Elhami, A., 2012. Welding of Magnesium Alloys. **New Features on Magnesium Alloys.**

- [49] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011. Metal Teknolojisi, TIG Kaynağı, 521MMI242, Ankara.
- [50] Askaynak, 2007. Kaynak Teknolojisi Kitabı, 272s.
- [51] Şık, A., 2002. Otomobil Saclarının Mıg/Mag Kaynağında Gaz Karışımlarının Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [52] Vural, M., 2014. Welding Processes and Technologies. **Comprehensive Materials Processing**, 3–48.
- [53] Singh, R., 2016. Welding Nonferrous Metals and Alloys. Applied Welding Engineering, p.263–275.
- [54] Uzunonat, Y., 2012. TIG Kaynağı Uygulanmış Inconel 718 Malzemenin Darbe Dayanımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [55] Komaç, E., 2014. Teknik Eğitim El Kitabı, 57s.
- [56] Pul, M., 2019. Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC, B₄C ve TiB₂ Takviye Elemanlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Karşılaştırılması. **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 7, s.180-193.
- [57] Çetinkaya, C., Tekeli, S., Kurtuluş O., 2002. Alüminyum Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği ve Kaynak Parametrelerin Mekanik Özelliklere ve Mikroyapıya Etkisi. **Politeknik Dergisi**, Cilt: 5 Sayı: 4, s. 321-333.
- [58] Singh, R., 2011. Applied Welding Engineering Processes, Codes and Standards, p.376.
- [59] Wilhelmsen Ships Service Marine Products, The Welding Handbook, 14th edition, 561p.
- [60] Gökçe, A., Fehim Fındık, F., Kurt, A. O., 2017. Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri. **Mühendis ve Makine**, cilt 58, sayı 686, s. 21-47.
- [61] Özkavak, H., Bıçaklı, E. E., 2018. Tam Yoğun ve Toz Metal AA2024 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Yaşlandırma İşleminin Etkisi, **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi**, 6(4), 650-658.
- [62] Ayvaz, M., Çetinel, H., 2011. Farklı Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. **C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 7.1, s.39-46.

- [63] Al-Saadi, H. I. A., Tunay, R. F., 2017. Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi, **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi**, 5(3), 525–532.
- [64] Atik, E., Meriç C., Şahan A., 2001. TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş 2024 Alüminyum Alaşımının Kaynak Bölgesinin Çökelme Sertleşmesi Bakımından İncelenmesi. **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, Cilt: 3 Sayı: 3 S. 75-83.
- [65] Aydın, H., Bayram, A., 2010. Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 15, Sayı 1.
- [66] Sinhmar, S., Dwivedi, D. K., 2018. A study on corrosion behavior of friction stir welded and tungsten inert gas welded AA2014 aluminium alloy. **Corrosion Science**, 133, 25–35.
- [67] Eşit, F., 2006. Soğuk ve Sıcak Haddelenmiş Alüminyum 6016 Alaşımlarının Kaynak Davranışları ve Kalıntı Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [68] Seidt, J. D., Gilat, A. 2013. Plastic deformation of 2024-T351 aluminum plate over a wide range of loading conditions. **International Journal of Solids and Structures**, 50(10), 1781–1790.
- [69] <https://www.seykoc.com.tr/icerik/isil-islem-sembolleri?dil=tr> , (Son Erişim Tarihi: Haziran 2020).
- [70] Çakır, E., 2016. Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Yorulma Çatlak İlerleme Hızı ve Yorulma Çatlak İlerleme Mekanizmaları. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [71] Karaçay, E., Alp, E., Cabbar, H. C., 2012. Sol-Jel Yöntemiyle Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu. **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 27, No 2, 417-428.
- [72] Xiaozhou, C., Chao, W., Xiangxin, X., Gongjin, C. 2015. Effect of Ti Addition on the Residual Aluminium Content and Mechanical Properties of the B₄C-Al Composites Produced by Vacuum Infiltration / Wpływ Dodatku Tytanu Na Resztkową Zawartość Aluminium I Właściwości Mechaniczne

- Kompozitów B_4C -Al Wytworzonych Przez Infiltrację Próżniową. **Archives of Metallurgy and Materials**, 60(4), 2493–2498.
- [73] Sairam, K., Sonber, J. K., Murthy, T. S. R. C., Subramanian, C., Hubli, R. C., Suri, A. K., 2012. Development of B_4C -HfB₂ composites by reaction hot pressing. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 35, 32–40.
- [74] Ögünç, H., 2006. Sıcak Presleme ile Sinterlenmiş A-SiC Matriksli B_4C Kompozitlerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [75] Z. Gao, Y. Qi, L. Wang, D. Wang, X. Zhang, C. Yao, Y. Ma., 2011, **Superconducting properties of FeSe wires and tapes prepared by a gas diffusion technique**. **Superconductor Science and Technology**, 24 (6).
- [76] Kalpakjian, S., 2010. Manufacturing Engineering and Technology In SI Units, Sixth Edition, 500p.
- [77] Nazik, C., 2013. Alüminyum Matrisli B_4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [78] Kalaycıoğlu, A. S., 2010. SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalürjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [79] Biner, İ., 2015. Kaynaklı Numunelerin Tahribatlı Testlerinin Güvenilirliği ve Cihaz Kalibrasyonu, Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı.

EKLER

Tablo.EK1-1 Darbe tokluğu değerleri

<i>Numune Grubu</i>	<i>Darbe Enerjisi 1</i>	<i>Darbe Enerjisi 2</i>	<i>Darbe Enerjisi 3</i>			<i>Numune Grubu</i>	<i>Darbe Enerjisi(J)</i>
Kaynaksız Plaka	62,7	68,6	66,6			Kaynaksız Plaka	65,97
Al	11,76	9,8	11,76			Al	11,11
Al(T)	9,8	11,76	9,8			Al(T)	10,45
Al-Al/B ₄ C(5)	9,8	11,76	11,76			Al-Al/B ₄ C(5)	11,11
Al-Al/B ₄ C(10)	3,92	5,88	4,9			Al-Al/B ₄ C(10)	4,90
Al-Al/B ₄ C(15)	5,88	7,84	7,84			Al-Al/B ₄ C(15)	7,19

Tablo.EK1-2 Eğme gerilmesi değerleri

<i>Numune Grubu</i>	<i>Gerilme Değeri 1</i>	<i>Gerilme Değeri 2</i>	<i>Gerilme Değeri 3</i>		<i>Numune Grubu</i>	<i>Gerilme Ortalaması(Mpa)</i>
Kaynaksız Plaka	1017,89	1047,69	1062,67		Kaynaksız Plaka	1042,75
Al	368,57	326,06	340,9		Al	345,18
Al(T)	304,929	319,358	311,227		Al(T)	311,84
Al-Al/B ₄ C(5)	363,52	313,67	364,75		Al-Al/B ₄ C(5)	347,31
Al-Al/B ₄ C(10)	360,97	334,45	359,18		Al-Al/B ₄ C(10)	351,53
Al-Al/B ₄ C(15)	387,92	364,79	377,27		Al-Al/B ₄ C(15)	376,66

Tablo.EK1-3 Mikro sertlik (HV 0.1) değerleri

<i>Kaplama Üst Yüzeyden Uzaklık, (μm)</i>	<i>Al-Al/B₄C(15)</i>	<i>Al-Al/B₄C(10)</i>	<i>Al-Al/B₄C(5)</i>	<i>Al (T)</i>	<i>Al</i>
250	200	155	96	131	106
500	183	170	63	131	105
750	208	163	68	141	106
1000	200	150	87	125	106
1250	179	162	73	137	105
1500	200	155	79	134	100
1750	185	159	68	125	100
2000	103	125	92	135	105
2250	105	132	77	108	105
2500	116	137	76	127	93
2750	130	139	74	133	94
3000	132	132	87	139	92
3250	131	128	93	138	92
3500	130	125	97	135	90
3750	131	121	96	138	92
4000	130	122	95	135	91

ÖZGEÇMİŞ

MUHARREM ARMAĞAN ÇETİN

Battalgazi Mah. Kartal Bul. Bahar Apt.
No:18/14 Melikgazi Kayseri/TÜRKİYE

05355114527 | armagancetin01@gmail.com

EĞİTİM

Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Uluslararası Kaynak Mühendisliği

Ankara/TÜRKİYE
Mezuniyet: Ocak 2020

Linnaeus Üniversitesi
Yüksek Lisans Değişim Öğrencisi

Växjö/İSVEÇ
Ocak 2019-Haziran 2019

Erciyes Üniversitesi
Makine Mühendisliği Lisans

Kayseri/TÜRKİYE
Mezuniyet: Haziran 2009

PROFESYONEL DENEYİMLER

Güven Makine Ltd. Şti.
Talaşlı İmalat Stajı

Kayseri/TÜRKİYE
2004

İzmir Makine Ltd. Şti.
Part-time Çalışma

Kayseri/TÜRKİYE
2005-2007

Kaydöksan A.Ş.
Döküm Stajı

Kayseri/TÜRKİYE
2008

Visam Plastik Enjeksiyon A.Ş.
Danışman

İzmir/TÜRKİYE
2010-2017