

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ALÜMİNYUMUN KAYNAĞINDA KAYNAK
PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANER OZAN

BOLU, EYLÜL - 2019

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ALÜMİNYUMUN KAYNAĞINDA KAYNAK
PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANER OZAN

BOLU, EYLÜL - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Caner OZAN tarafından hazırlanan "ALÜMİNYUMUN KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 13/09/2019 tarihinde BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

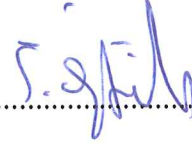
Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Sabri Öztürk
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

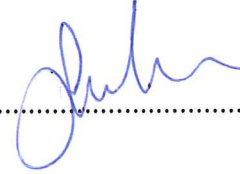
Üye
Prof. Dr. Murat PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi

İmza


.....


.....


.....


Prof. Dr. Ömer Özyurt.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Eşime ve Aileme



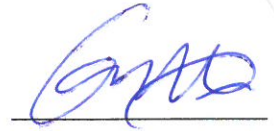
ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Caner OZAN



ÖZET

ALÜMİNYUMUN KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANER OZAN

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SABRİ ÖZTÜRK)

BOLU, EYLÜL - 2019

Bu tez çalışmasında 6082-T6 alüminyum alaşımına V ve II olmak üzere iki farklı kaynak ağzı açılmış olup bu alaşıma farklı akım şiddetleri ve farklı alaşımlardaki dolgu telleri kullanılarak MIG kaynağı yapılmıştır. Bu kaynak işleminin alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı akım şiddetleri ve farklı alaşımda dolgu telleri ile kaynak yapılan alaşımın akma ve çekme dayanımı, sertlik ve çentik darbe enerjisi gibi mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Kullanılan dolgu tellerine ve kaynak ağzına bağlı olarak kaynak akım şiddeti arttıkça (150-160 A arası) genel olarak alaşımın dayanım değeri ve mekanik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: 6082-T6 Alaşımı, MIG Kaynağı, Mekanik Özellikler, Dolgu Telleri, Kaynak Ağzı

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON
THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM
MSC THESIS
CANER OZAN
BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, SEPTEMBER 2019

In this thesis, two different welding bent, V and II, were opened to 6082-T6 aluminum alloy and MIG welding was made to this alloy by using different current intensities and filler wires in different alloys. It is aimed to investigate the effect of this welding process on the mechanical properties of aluminum alloy. The effect of the alloy, which is welded with different current intensities and filler wires in different alloys, on mechanical properties such as yielding and tensile strength, hardness and notch impact energy were investigated. It has been observed that the strength and mechanical properties of the alloy generally increase as the welding current strength increases (between 150-160 A) depending on the filler wires used and the welding bent.

KEYWORDS: Alloy 6082-T6, MIG Welding, Mechanical Properties, Filler Wires, Welding Bent

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMA	5
3. KAYNAK	9
3.1 Kaynak Tekniğine Genel Bakış.....	9
3.2 Metal Koruyucu Gaz Kaynağı (MSG)	10
3.3 Kaynakla Birleştirme İçin Kullanılan Gazlar	11
3.4 MIG Kaynak Yönteminin Kısa Tanıtımı.....	11
4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	14
4.1 Alüminyum Üretiminin Temel Esasları	14
4.2 Alüminyumun Genel Özellikleri ve Demire Göre Kıyaslanması.....	17
4.2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri.....	17
4.2.2 Alüminyumun Özelliklerinin Demir ile Kıyaslanması	18
4.3 Alüminyum Alaşımları.....	19
4.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Gösterimi.....	20
4.3.2 Alüminyum Alaşım Serileri ve Genel Kullanım Yerleri	22
4.3.2.1 Isıl İşleme Sertleştirilemeyen Alaşımlar.....	22
4.3.2.1.1 1000 Serisi Alüminyum	25
4.3.2.1.2 3000 Serisi Alüminyum	25
4.3.2.1.3 4000 Serisi Alüminyum	26
4.3.2.1.4 5000 Serisi Alüminyum	26
4.3.2.2 Isıl İşleme Sertleştirilebilen Alaşımlar.....	27
4.3.2.2.1 2000 Serisi Alüminyum	30
4.3.2.2.2 6000 Serisi Alüminyum	30

4.3.2.2.3	7000 Serisi Alüminyum	31
4.3.2.3	8000 Serisi Alüminyum	32
4.4	Alüminyum Malzemelerin MIG ile Kaynak Edilmesi	32
4.4.1	Alüminyum Malzemelerin Kaynağa Uygunluğu	33
4.4.2	Alüminyum Malzemelerin Dayancı	37
4.4.3	Alüminyum Malzemelerin Korozyon Direnci	37
4.4.4	Alüminyum Kaynağında Olası Kaynak Hataları	38
4.4.4.1	Ergime Noksanlığı	38
4.4.4.2	Dikiş Gözenekliliği	39
4.4.4.3	Sıcak Çatlak Riski	41
4.4.4.4	Mukavemet Düşüşü	42
4.4.5	Alüminyum Malzemelerde kullanılan Dolgu Malzemesi	42
4.4.6	Alüminyum Kaynağında Kaynak Dikişi Ağız Hazırlığı	43
4.4.7	Alüminyum Kaynağında Ön Isıtma	43
4.4.8	Alüminyum Kaynağında Koruyucu Gazlar	44
5.	MATERYAL VE METOT	47
5.1	ENAW-6082 Serisi Alüminyum	50
5.2	Deneylerde Kullanılan Kaynak Telleri	51
5.2.1	4043 Dolgu Teli Özellikleri	51
5.2.2	5183 Dolgu Teli Özellikleri	52
5.3	Deneylerde Kullanılan Cihazlar	53
5.3.1	MIG Kaynak Makinesi	53
5.3.2	Çekme Deneyi Cihazı	55
5.3.3	Vickers Sertlik Deneyi Cihazı	59
5.3.4	Çentik Darbe Deneyi Cihazı	62
6.	BULGULAR ve TARTIŞMA	66
6.1	Çekme Deneyi Bulguları	66
6.1.1	4043 Dolgu Teli ile Kaynatılmış Numunelerinin Çekme Deneyi Bulguları	66
6.1.2	5183 Dolgu Teli ile Kaynatılmış Numunelerinin Çekme Deneyi Bulguları	71
6.2	Çentik Darbe Deneyi Bulguları	76
6.3	Vickers Sertlik Deneyi Bulguları	79
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	86
8.	KAYNAKÇA	90
9.	ÖZGEÇMİŞ	94

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Alüminyum kullanımının sektörlere dağılımı	2
Şekil 3.1. Metal kaynak işlemlerinin genel olarak sınıflandırılması	9
Şekil 3.2. Metal koruyucu gaz kaynağı prensibi.....	10
Şekil 3.3. Kutuplaşmanın dikiş formu ve kaynak özelliklerine etkisi	12
Şekil 3.4. Bir MIG kaynak makinesinin yapısı.....	12
Şekil 4.1. Bayer prosesinin prensibi	14
Şekil 4.2. Alüminyum oksitin sıvı halde elektrolizinin prensibi	15
Şekil 4.3. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	20
Şekil 4.4. Doğal sertleşen malzemelerin dayancının artırılması.....	24
Şekil 4.5. Pekleşme (soğuk sertleşme) davranışı / pekleşme etkisinin giderilmesi ...	24
Şekil 4.6. 1000 serisi alüminyumun içecek saklama amaçlı kullanımı	25
Şekil 4.7. Otomotiv radyatörlerinde 3000 serisi alüminyumun kullanımı.....	25
Şekil 4.8. Buzdolabı soğutma çevriminde kullanılan 4000 serisi alaşım	26
Şekil 4.9. Teknesi, alt yapı, üst yapısı, mukavemet elemanları 5000 serisi alüminyum alaşımından üretilen yüksek hızlı tekne	27
Şekil 4.10. Al – Al ₂ Cu sisteminde çökeltilemlerle sertleştirme ısıl işlemi.....	28
Şekil 4.11. Çökeltilemlerle sertleşmenin sıcaklık ve zamana bağlı değişimi	29
Şekil 4.12. 2000 serisi alaşımlarının metro ve tramvayda yapı elemanı olarak kullanımı.....	30
Şekil 4.13. 6000 serisi alaşımların makine elemanı, motosiklet gövdesi ve otomobil gövdesi olarak kullanımı	31
Şekil 4.14. 7000 serisi alüminyumun levhaların uçak kanat yapı elemanı olarak kullanımı.....	31
Şekil 4.15. Alüminyum-lityum alaşımlı 8000 serisinin helikopter parçası olarak kullanımı.....	32
Şekil 4.16. Kaynak esnasında torcun pozisyonu.....	33
Şekil 4.17. MIG kaynak süreci	33
Şekil 4.18. Çeşitli iki bileşenli sistemler için nispi çatlak eğiliminin kimyasal birleşimle bağlantısı	34
Şekil 4.19. 6 mm kalınlığında TIG kaynaklı parçada gözenekler.....	39
Şekil 4.20. Saf alüminyumun hidrojen çözünürlüğü	40
Şekil 4.21. MIG kaynağında hidrojene sebep olan etkenler	41
Şekil 4.22. Katılma çatlağı; 4043 dolgu teli ile TIG ile kaynak yapılmış 6082 malzemesi.....	41
Şekil 4.23. Argon ve helyumun kaynak sırasında penetrasyona etkisi.....	45
Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan alüminyum alaşımı ve dolgu telleri.....	47
Şekil 5.2. Alüminyum deney numunelerinin MIG ile kaynak yapılması	47
Şekil 5.3. Kaynak sonrası alüminyum numuneleri	48
Şekil 5.4. Deney parçası boyutları	48
Şekil 5.5. Plakada alın kaynağı için deney numunelerinin yerleri.....	49
Şekil 5.6. Fronius TPS 400i MIG kaynak makinesi	54
Şekil 5.7. Çekme deneyi bulgusunun gösterimi	56
Şekil 5.8. Çekme deneyi numune boyutları	57
Şekil 5.9. TS EN ISO 6892-1'e göre deneylerde kullanılan çekme numunesi boyutları (boyutlar mm cinsindedir).....	58

Şekil 5.10. Çekme deneyi cihazı.....	59
Şekil 5.11. Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi ve formülü.....	60
Şekil 5.12. Vickers sertlik deneyi cihazı.....	61
Şekil 5.13. V çentikli deney parçasına Charpy darbe deneyi	62
Şekil 5.14. V çentikli charpy deney örneği.....	63
Şekil 5.15. Çentik darbe deneyi cihazı.....	65
Şekil 6.1. Kaynak numunesinin çekme deneyi yapılması sırasında bir fotoğraf.....	66
Şekil 6.2. Gerilme-gerinim grafiği – 4001	67
Şekil 6.3. Gerilme-gerinim grafiği – 4002.....	67
Şekil 6.4. Gerilme-gerinim grafiği – 4003.....	68
Şekil 6.5. Gerilme-gerinim grafiği – 4004.....	68
Şekil 6.6. Gerilme-gerinim grafiği – 4005.....	69
Şekil 6.7. Gerilme-gerinim grafiği – 4006.....	69
Şekil 6.8. 4000 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı akma ve çekme gerilmesi	70
Şekil 6.9. Gerilme-gerinim grafiği – 5101.....	72
Şekil 6.10. Gerilme-gerinim grafiği – 5102.....	72
Şekil 6.11. Gerilme-gerinim grafiği – 5103.....	73
Şekil 6.12. Gerilme-gerinim grafiği – 5104.....	73
Şekil 6.13. Gerilme-gerinim grafiği – 5105.....	74
Şekil 6.14. Gerilme-gerinim grafiği – 5106.....	74
Şekil 6.15. 5100 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı akma ve çekme gerilmesi	75
Şekil 6.16. Kaynak numunesinin çentik darbe deneyi yapılması sırasında bir fotoğraf	77
Şekil 6.17. 4000 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı çentik darbe enerjisi	78
Şekil 6.18. 5100 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı çentik darbe enerjisi	78
Şekil 6.19. Makro Vickers sertlik numuneleri a) deney öncesi, b) deney sonrası.....	79
Şekil 6.20. Isı tesiri altındaki bölgenin bölümleri.....	80
Şekil 6.21. Ana malzemenin makro sertlik fotoğrafı.....	80
Şekil 6.22. Isı tesiri altındaki bölgenin makro sertlik fotoğrafı	81
Şekil 6.23. Kaynak metalinin makro sertlik fotoğrafı.....	81
Şekil 6.24. 4000 serisi II kaynak ağzı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü. 83	
Şekil 6.25. 4000 serisi V kaynak ağzı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü. 83	
Şekil 6.26. 5100 serisi II kaynak ağzı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü. 84	
Şekil 6.27. 5100 serisi V kaynak ağzı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü. 85	

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Koruyucu gazların özellikleri	11
Çizelge 4.1. Saf alüminyum ve demirin özelliklerinin karşılaştırılması.....	18
Çizelge 4.2. Alüminyum alaşımlarının değişik standartlardaki gösterimi.....	20
Çizelge 4.3. Alüminyum alaşım gösterimi	21
Çizelge 4.4. Alüminyum alaşım grupları	22
Çizelge 4.5. Alaşım elementi ilave edilerek oluşturulan katı çözeltilerin alüminyumun dayancını arttırmadaki etkisi.....	23
Çizelge 4.6. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler	36
Çizelge 4.7. Şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağı için ana malzeme-dolgu malzemesi kombinasyonu	43
Çizelge 4.8. Şekillendirilebilir alüminyum malzemelerin kaynağı için ön ısıtma sıcaklığı ve ön ısıtma sürelerine ait kılavuz değerler.....	44
Çizelge 4.9. Argon koruyucu gazındaki helyum oranının artmasının etkileri.....	45
Çizelge 5.1. Deney numaralarına göre yapılacak işlemler	50
Çizelge 5.2. EN 573'e göre % kimyasal bileşim	51
Çizelge 5.3. TS EN 485-2'ye göre ENAW-6082 serisinin mekanik özellikleri.....	51
Çizelge 5.4. Analiz sonucuna göre elde edilen % kimyasal bileşim	51
Çizelge 5.5. Fronius TPS 400i kaynak makinesinin teknik özellikleri.....	54
Çizelge 6.1. 4000 serisi numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	70
Çizelge 6.2. 5100 serisi numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	75
Çizelge 6.3. 4000 ve 5100 serisi numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları.....	77
Çizelge 6.4. 4000 ve 5100 serisi numunelerin vickers sertlik deneyi sonuçları.....	82

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde
°	: Derece
°C	: Santigrat Derece
A	: Amper
AA	: Amerikan Alüminyum Birliği
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: Amerikan Malzeme Muayenesi ve Malzeme Standartları
CMT	: Soğuk Metal Transferi
Cr	: Krom
CSA	: Kanada Standartları
Cu	: Bakır
DIN	: Alman Standartları
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
EN	: Avrupa Standartları
EPMA	: Elektron Prob Mikro Analizi
Fe	: Demir
FSW	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
g/cm ³	: Gram/santimetreküp
GOST	: Rus Standartları
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
H ₂ O	: Su
HT	: Isıl İşleme Sertleştirilebilen
HV	: Vickers Sertlik Değeri
IEB	: Isıdan Etkilenen Bölge
ISO	: Uluslararası Standartlar Birliği
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
Kfz	: Yüzey Merkezli Kübik
Kg	: Kilogram
Kgf	: Kilogram Kuvvet
KM	: Kaynak Metali
kN	: Kilo Newton
krz	: Hacim Merkezli Kübik
kWh	: Kilowatt Saat
LOM	: Işık Optik Mikroskobu
lt/dk	: Litre / Dakika
MAG	: Metal Aktif Gaz Kaynağı
Mg	: Magnezyum
MIG	: Metal Inert Gaz Kaynağı
mm	: Milimetre
mm/dk	: Milimetre / Dakika
Mn	: Mangan
MPa	: Mega Pascal
MSG	: Metal Koruyucu Gaz Kaynağı
N ₂	: Azot
Na ₃ AlF ₆	: Sodyum Hekzafloroalüminat
Na ₂ O	: Sodyum Oksit

NaOH	: Sodyum Hidroksit
NHT	: Isıl İşleme Sertleştirilemeyen
Ni	: Nikel
NO	: Azot Oksit
O₂	: Oksijen
PWHT	: Kaynak Sonrası Isıl İşlem
R_{p0,2}	: Akma Mukavemeti
R_m	: Çekme Mukavemeti
RSW	: Direnç Nokta Kaynağı
SAE	: Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
Sc	: Skandiyum
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum
SiO₂	: Silisyum Oksit
TIG	: Tungsten Inert Gaz Kaynağı
Ti	: Titanyum
TS	: Türk Standartları
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
XRD	: X Işını Kırınımı

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanması, araştırılması ve tamamlanmasında çok sayıda katkısı bulunan, çalıőmalarım boyunca bilgi, tecrube ve değerli görüşlerinden yararlandığım danışmanım Sayın Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

TÜVASAŐ 'da yürüttüğüm tez çalıőmam boyunca tez numunelerinin elde edilmesi ve deney sonuçları için yardım ve imkanlarını esirgemeyen Kaynak Eğitim, Teknoloji ve Laboratuvarlar Şube Müdürü Yusuf KÜPRAY'a ve TÜVASAŐ Deney Laboratuvarı personeli Kadir KORKMAZ'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek Lisans eğitimimi tamamlamama vesile olan, bana her zaman inanan, değerli zamanını ayırarak bana sonsuz destek veren değerli eşim Yasemin OZAN'a ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Malzemeleri yarı mamul veya mamul durumuna getirebilmek için dökme, dövme, haddeleme, kaynak gibi talaşsız üretim teknikleri kullanılmaktadır. Kaynak, malzemeleri birbirleri ile birleştirmek için en çok kullanılan imalat yöntemidir.

Kaynaklı birleştirmeler son yüz elli yıl içerisinde büyük bir gelişme kaydetmiştir. Dünya’da değişik malzemelerin birleştirilmesi ile ilgili birçok çalışma ve buluş yapılmıştır.

Endüstriyel uygulamalarda, güvenliği arttırmaya, boyutları ve ağırlığı küçültmeye, aynı zamanda malzeme ve üretim maliyetlerini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bununla beraber kaynak teknolojisi gelişmesine rağmen ihtiyaç duyulan malzemelerin çok çeşitli ve farklı olması yeni problemleri ortaya çıkarmıştır. Ancak yeni problemlere çözümü, yine gelişen kaynak teknolojisi vermiştir.

Kaynaklı birleştirmeler kolay şekillendirme, hafiflik sağlama, döküme gerek kalmaması ve maliyetinin az olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Ancak kaynak sonrası ITAB’da yapısal değişiklikler, kaynaklı parçalarda çekme çarpılma yaşanması, farklı malzemelerin birleştirmenin zorluğu kaynaklı birleştirmelerin olumsuz yanlarıdır.

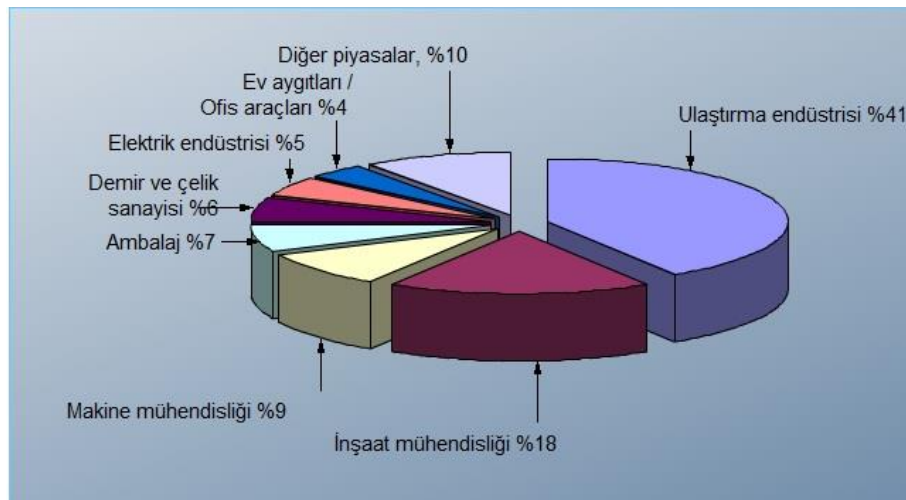
Son 20 yıl içerisinde geliştirilen kaynak yöntemleri sayesinde kaynağı olanaksız görülen alüminyum alaşımlarının kaynağı başarılı ve güvenli bir kaynak bağlantısı elde edilmiştir (Messler, 2004, s. 30-34).

Metaller, demir esaslı ve demir dışı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu tez çalışmasında kullanılan alüminyum alaşımı, demir dışı metaller kısmında yer almaktadır.

Alüminyum kullanımı Dünya’da her geçen zaman artmakta, alüminyumun ve alaşımlarının yüksek seviyedeki özelliklerinden dolayı çelikten sonra en çok üzerinde durulan malzeme olmuştur. Alüminyumun, Dünya’da en çok bulunan ikinci element, demir ve çelikten sonra en çok kullanılan üçüncü element olması, onun değerini arttırmaktadır.

Alüminyumun, ısı ve elektrik iletkenliği çok iyidir. Ayrıca alüminyum mat gri renginde ve hafif bir malzemedir. Korozyon dayanımı oldukça yüksek olup yeniden kullanılabilir yapıda sağlığa ve doğaya zararı olmayan bir malzemedir. Alüminyumun şekillendirilebilme kabiliyeti oldukça yüksektir ve talaşlı imalata çok uygundur. Alüminyum, bu özellikleri sayesinde birçok alanda kendine yer bulabilmektedir (Smith, 2001).

Alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$, çeliğin yoğunluğu ise $7,87 \text{ g/cm}^3$ ’tür. İki malzemenin yoğunlukları karşılaştırıldığında, alüminyumun yoğunluğu oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dayanım açısından ise alüminyum çeliklere göre zayıf olmasına karşın birtakım işlemlerle çeliği geçen bir dayanıma kavuşmaktadır. Birçok yerde alüminyum alaşımlarının kullanılması hafiflikten dolayı bir avantaj sağlar ancak alüminyumun elastik modülünün düşük olması sebebiyle aynı parça çeliğe nazaran 3 kat kalınlıkta çevrilebilir. Ancak elde edilen tasarım veya yapı çeliğe göre yarı yarıya hafiflik sağlayacaktır.



Şekil 1.1. Alüminyum kullanımının sektörlere dağılımı
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013)

2001 yılında dünya çapındaki alüminyum tüketimi 31 milyon tonu bulmuştur. Şekil 1.1’de alüminyumun kullanımının sektörlere dağılımı gösterilmiştir. Günümüzde alüminyum endüstrisi dünya çapındaki 1,2 milyon çalışanı ile yılda yaklaşık 100 milyar Euro ciro yapmaktadır. Dünyada alüminyum kullanım alanının %50’den fazlasını ulaştırma ve inşaat sektörü oluşturmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 1).

Alüminyum ve alaşımlarının en çok kullanıldığı alan ulaştırma sektörüdür. Ulaştırma sektörü dâhilinde otomobil alanı çok büyük bir paya sahiptir. Alüminyum ve alaşımlarından elde edilmiş ürünlerin çeyreği taşıtlarda kullanılmaktadır. Alüminyum kullanım nedeni başlıca hafiflik olup ayrıca aracın hafif olması da daha az enerji tüketmesine neden olmaktadır.

Alüminyum ve alaşımları dayanım ve güvenlikten ödün vermeden üretilebilecek otomobilde kullanılabilecek en önemli malzemedir. Alüminyum ve alaşımları, otomobillerde genellikle döküm alaşımı olarak motor ve şanzıman parçalarının imalatında kullanılırken, dövme esaslı olarak çubuk, levha ve profil gibi, yapısal elemanlar olarak kasa ve soğutma sistemi aksamlarında daha çok kullanılmaktadır (Zeytin, 2000).

Alüminyum alaşımlarının dayanıklı, hafif ve korozyon dayanımının yüksek olması nedeniyle hava ve deniz taşımacılığı sektöründe de yoğun olarak kullanılmaktadır. Bugün bir uçağın ağırlık olarak yarısı alüminyum ve alaşımlarından üretilmektedir.

Alüminyumun kullanıldığı diğer bir sektör demir çelik endüstrisidir. Çünkü alüminyum, deoksidasyon sağlar. Alüminyum anormal bir biçimde hızlı oksitlenir. Malzemenin üzerindeki alüminyum oksit tabakası korozyona koruma sağlar. Malzemenin oksijenle temasını kesip yoğun bir tabaka oluşturduğu için daha fazla oksitlenmeye engel olur. Bu tabaka, zımparalasa bile tekrar oluşur ve metalik değil seramiktir. Bu tabaka, elmadan sonraki doğadaki en sert malzemedir ve Alümina oksit (Al_2O_3) olarak adlandırılıp kalınlığı 20-25 mikrondur.

Alüminyum ve alaşımlarından üretilmiş parçaların olduğu gibi kullanılmadığı durumlarda güçlü ve çözülemez bir bağlantı oluşturabilmek için kaynak işlemi kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımları üzerinde yapılan kaynak çalışmalarında alüminyum için en ideal kaynak türünün bir gaz altı kaynak işlemi olan MIG (Metal Inert Gaz) kaynağı olduğu görülmüştür. Alüminyumun MIG ile kaynak edilebilme kabiliyeti oldukça yüksektir (Askeland, 1998).



2. LİTERATÜR TARAMA

Alüminyum ve alaşımları ile yapılmış çalışmalar literatürden taranmış, elde edilen bilgiler bu bölümde tarih sırasına göre derlenmiştir.

Şık vd. (2014) yılında yapmış oldukları çalışmada, gemi inşaat sektöründe yüksek korozyon direnci nedeniyle kullanılan 5083-H111 ve 6082-T651 alüminyum alaşımları, darbeli robotik CMT (soğuk metal transferi) -MIG teknolojisi kullanılarak kaynak edilmiş ve deney sonundaki numunelere eğilme, çekme ve yorulma testleri uygulanmıştır. Yorulma testi uygulanan numunelerin kırılma yüzeyleri LOM (ışık optik mikroskobu) ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) ile incelenmiştir. Kaynak bölgelerinin mikro yapıları incelenmiş ve mikro sertlik profilleri oluşturulmuştur. Sonuçlara göre, CMT-MIG kaynak yöntemi ile yüksek kaynak hızlarında bile oldukça yüksek çekme ve yorulma performansı gözlemlenmiştir (Şık vd., 2014).

Cavaliere'nin (2013) yılında yaptığı çalışmada, FSW (sürtünme karıştırma kaynağı) kaynak yöntemi kullanılmıştır. Malzeme özelliklerinin ve işleme koşullarının, malzemenin mekanik davranışını ve mikro yapısını etkilediği ortaya çıkmıştır. FSW yöntemi ile kaynak edilen alüminyum alaşımının yorulma ve çatlak davranışı incelenmek suretiyle bir kaynak analizi yapılmıştır (Cavaliere, 2013).

F. Hayat (2012) yılında yaptığı çalışmada, 6061-T6 ve 7075-T651 alüminyum alaşımlarının RSW (direnc nokta kaynağı) kabiliyeti gözlemlenmiştir. Yaşlandırılmış numunelerin direnc nokta kaynaklanabilirliği incelenmiş olup mikro yapılar SEM, EDS (enerji dağılım spektroskopisi), XRD (X ışını kırınımı) ve EPMA (elektron prob mikro analizi) ile yapılmış ayrıca mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bununla beraber kesme gerilme testleri uygulanarak kaynak yapılmış yerin kırılma davranışı tespit edilmiştir. Yapılan testler sonucunda kaynak öncesi yaşlanmanın mekanik özellikleri arttırdığı sonucu gözlemlenmiştir (Hayat F., 2012).

Gong vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmada, MIG kaynağı kısmen SiO₂ akısı ile birlikte 6 mm kalınlığında 6082-T6 alüminyum alaşımı plakaya uygulanmıştır. Kaynaklı bağlantının mikro yapı özellikleri SEM ve EDS kullanılarak incelenmiş

olup ayrıca mekanik özellikler için mikro sertlik ve çekme testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre SiO₂ akısı olmadan yapılan kaynakların mikro yapısında belirgin bir fark olmayıp SiO₂ akısı ile yapılan kaynak işleminde ise ITAB'ın biraz daha geniş olduğu görülmüştür. SiO₂ akısı ile kaynak sonrası penetrasyonun SiO₂ akısı olmayana göre yaklaşık %26 daha derin olduğu gözlemlenmiştir. Bu derinliğin nedeni olarak da yüksek ark sıcaklığı ve arkın yapısı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmalarda SiO₂ akısının kaynak bölgesinde mikro sertlik ve dayanıklılık üzerinde çok fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Gong vd., 2012).

Pan vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmada, kaynak işleminde metalin mikro tane boyutu ve şekli ile bağlantıları araştırılmıştır. Bu çalışmada, dolgu metaline Skandiyum (Sc) elementi katılmış ve 6082 alaşımına TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynağı uygulanmıştır. Kaynak işlemi sonunda oluşan yapının mekanik özellikleri ve mikro yapısı incelenmiş olup tane boyutunu küçültmek için değişken miktarlarda Sc eriyik havuzunun içine koyulmuştur. İşlem sonucunda tane boyutunun artan Sc miktarı ile azaldığı görülmüştür. Tane boyutunun incelmesinin ana sebebinin, α -Al tanelerinin heterojen bir şekilde çekirdekleşme yapıp hareket halinde olmasından kaynaklandığı görülmüştür (Pan vd., 2012).

Ahmad ve Bakar'ın (2011) yılında yaptıkları çalışmada, 6061 numuneleri MIG-CMT yöntemi ile kaynaklanarak kaynak sonrası ısıl işlemin mekanik ve mikro yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. CMT yöntemiyle iyi boşluk doldurma, düşük ısı girdisi, yüksek esneklik derecesi ve sıçrantsız kaynak sağlanmıştır. Daha sonra ise numunelere PWHT (kaynak sonrası ısıl işlem) uygulanmış olup numunelerin gerilme testleri yapıldıktan sonra mikro yapılar SEM yöntemi ile incelenmiştir. Aynı zamanda kaynak bölgesinin Vickers sertliği ölçülmüştür. MIG-CMT ile kaynaklanan 6061'ye PWHT uygulanması mekanik ve mikro yapısal özelliklerin iyi yönde artacağını kanıtlamıştır (Bakar ve Ahmad, 2011).

Botana vd. (2009) yılında yaptıkları çalışmada, 5083-T0 ve 6082-T6 alüminyum alaşımlarını yüksek güç diyot lazer ile iletim rejimi altında kaynak yapılmıştır. Lazer gücü ve kaynak hızı gibi değişkenlerin, kaynatılan malzemenin tane boyutları ve özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tanelerin genişlikleri

ve derinlikleri ölçülmüş olup mikro sertlik profili, mikro yapı ve korozyon dirençleri karşılaştırılmıştır (Botana vd., 2009).

Santos vd. (2009) yılında yaptıkları çalışmada, 6082-T6 ve 6061-T6 alüminyum alaşımlarının FSW (sürtünme karıştırma kaynağı) ile alın birleştirilmesi ve sonrasında mekanik ve metalürjik açıdan değerlendirmesi yapılmıştır. Birleşim yerlerinin mikro yapı ve sertlik, çekme ve bükme testleri yapılarak iki alaşım karşılaştırılmıştır (Santos vd., 2009).

Filippis vd. (2007) yılında yaptıkları çalışmada, FSW (sürtünme karıştırma kaynağı) ile yapılan birleşimlerde farklı omuz geometrilerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkileri incelenmiş olup 1,5 mm kalınlıkta 6082-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Yapılan kaynak işlemi sonucu numunelerin 3 farklı yerinden mikro vickers sertlik alınmış, eğilme testleri ise çekme işlemi için kullanılan makine ile yapılmıştır (Filippis vd., 2007).

Birr vd. (2007) yılında yaptıkları çalışmada, MIG kaynak yöntemi ile yapılan T birleştirmelerinde 6 mm kalınlığındaki 6082-T5 alüminyum alaşımı kullanılmış ve çalışma sonunda malzemenin, mekanik ve yorulma özellikleri incelenmiştir. %100 argon gazı kullanılarak yapılan çalışma sonucunda malzemenin çekme ve sertlik değerleri incelendiğinde ITAB'da %40 oranında mukavemet düşüşü yaşandığı görülmüş olup daha dar bir ITAB elde edilmiştir. Yapılan yorulma ve çekme testleri sonucunda numunelerin çekme mukavemetinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu gözlemden yorulma değerlerinin oldukça kötü olmasını etkisi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Birr vd., 2007).

Ericsson ve Sandström (2003) yılında yaptıkları çalışmada, alüminyum alaşımlarının birleşiminde FSW, MIG ve TIG kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Deneysel amaçlanan, farklı kaynak hızlarının, farklı kaynak yöntemlerinde malzemenin yorulma dayanımına etkilerini araştırmaktır. T4 ve T6 temper koşullarında olan AlMgSi alaşımı ile numunelere kaynak sonrasında yaşlandırma prosesi yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda düşük ve yüksek kaynak hızları aralığında, FSW yöntemi ile yapılan birleşimlerde mekanik ve yorulma özellikleri büyük oranda değişmektedir. MIG ve TIG yöntemleri kullanılarak yapılan

numunelerde ise FSW kaynak yöntemine göre daha düşük statik ve dinamik dayanım ortaya çıkmıştır (Ericsson ve Sandström, 2003).

Yapılan bu çalışmada, vagon gövdesini oluşturacak 5 mm kalınlığındaki 6082-T6 alüminyum alaşımının, kaynaklı birleştirme yöntemlerinden biri olan MIG ile kaynaklanması sonucunda mekanik dayanımın durumu incelenmiştir. Farklı parametrelerde MIG ile kaynaklanmış parçalara, çekme deneyi, çentik darbe deneyi ve vickers sertlik taraması testleri yapılmıştır. Ayrıca deneylerde 4043 ve 5183 dolgu telleri kullanılmış olup değişken amper şiddetlerinde numuneler kaynaklanmıştır. Deney sonucu çizelge ve şekillerle desteklenip değerlendirme yapılmıştır.

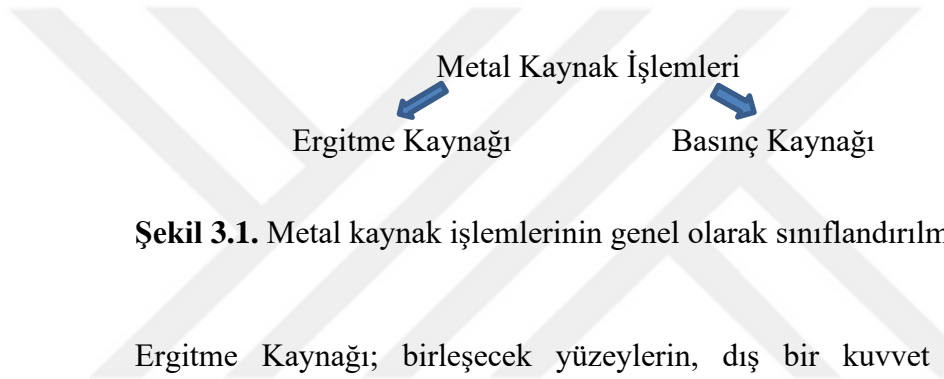


3. KAYNAK

3.1 Kaynak Tekniğine Genel Bakış

Kaynak; malzemelerin ısı enerjisi ve/veya basınç uygulaması altında, sürekli bir içyapıya sahip olacak şekilde birleştirilmesi işlemidir. Erime sıcaklığı, ana malzemelerinki ile eşdeğer seviyede olan bir dolgu malzemesi ilave edilebilir (Ders, Kaynak Tekniğine Genel Bakış, 2012, s. 1).

Metal kaynak işlemleri genel olarak ikiye ayrılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Metal kaynak işlemlerinin genel olarak sınıflandırılması

Ergitme Kaynağı; birleşecek yüzeylerin, dış bir kuvvet kullanılmadan genellikle eritilmiş dolgu malzemesi ilavesi ile beraber eritilerek kaynaklanması işlemidir (Ders, Kaynak Tekniğine Genel Bakış, 2012, s. 5).

Basınç Kaynağı ise birleşecek her iki yüzey üzerine yeterli kuvvet uygulayarak az veya çok plastik deformasyon oluşturup gerçekleştirilen kaynaklama işlemidir. Genellikle dolgu malzemesi kullanılmaz (Ders, Kaynak Tekniğine Genel Bakış, 2012, s. 5).

Bir kaynaklı birleştirmede çoğunlukla;

- ❖ Dayanç ve tokluk
- ❖ Yüksek ve çok düşük sıcaklıklara karşı direnç gösterme kabiliyeti
- ❖ Korozyon ve aşınmaya karşı direnç
- ❖ Gaz, buhar, basınç veya vakuma karşı sızdırmazlık gibi çok özel şartlar aranmaktadır.

Kaynak yönteminin seçiminde ise;

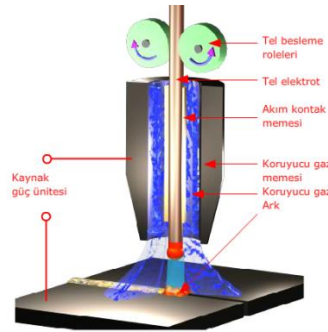
- ✚ Parça adedi
- ✚ Malzeme
- ✚ Parçaların geometrisi
- ✚ Ekonomik verimlilik
- ✚ Montaj
- ✚ Gereksinimler
- ✚ Ulaşılabilirlik (kaynak pozisyonu) etkilidir.

3.2 Metal Koruyucu Gaz Kaynağı (MSG)

Koruyucu gaz kaynağı (gaz altı kaynağı), eriyen kaynak ilave metali veya eritilmeyen bir elektrot kullanan ve kaynak banyosunu havadan korumak için koruyucu bir gazdan faydalanan bütün ark kaynak yöntemlerini içeren bir terimdir (Ders, Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş, 2009, s. 1).

Ark, aynı zamanda kaynak ilave malzemesi de olan eriyen bir elektrotla iş parçası arasında yanıyor bu kaynak prosesi metal koruyucu (gaz altı) gaz kaynağı olarak adlandırılmaktadır. Asal koruyucu gazlar (argon, helyum) kullanılıyorsa bu yöntem, metal inert gaz kaynağı (MIG) olarak adlandırılmaktadır (Ders, Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş, 2009, s. 1).

Metal koruyucu gaz kaynağı prensibi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Metal koruyucu gaz kaynağı prensibi
(Ders, Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş, 2009)

3.3 Kaynakla Birleştirme İçin Kullanılan Gazlar

Ark; kaynaklama işlemi için tekrarlanabilir özelliğe sahiptir, ayrıca yoğun ve çok yönlü ayarlanabilen bir ısı kaynağıdır. Yani özel bir gaz deşarjıdır (Ders, Ark, 2005, s. 1).

Koruyucu gazlar, ark plazması içerisindeki taşıyıcı gazlardır. Bu gazlar, arktaki olayları, malzeme geçişini, dikişin görüntüsünü, kaynağın iç ve dış şeklini, sıçrantı oluşumunu vb. etkilemektedir. Bu nedenle gaz altı kaynağında önemli bir faktör teşkil etmektedir (Ders, Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş, 2009, s. 4).

Koruyucu gazlar kokusuz, renksiz ve tatsızdır. Asal koruyucu gazlar ise kaynak sırasında kimyasal bir reaksiyona girmeyen gazlardır (Ders, Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş, 2009, s. 4-5).

Çizelge 3.1’de koruyucu gazların özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Koruyucu gazların özellikleri
(Ders, Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş, 2009)

Gaz tipi	Kimyasal sembol	15 °C ve 1 bar [kg/m ³ 'de yoğunluğu]	Havaya göre görece yoğunluğu (=1) 15 °C 1 bar	Kaynama sıcaklığı 1.013 bar'da [°C]	Kaynak sırasındaki tepkisi
Argon	Ar	1.669	1.37	-185.9	Asal
Helyum	He	0.167	0.14	-268.9	Asal
Karbondiyoksit	CO ₂	1.849	1.44	-78.5 ¹⁾	Oksitlenme
Oksijen	O ₂	1.337	1.04	-183.0	Oksitlenme
Nitrojen	N ₂	1.170	0.91	-195.8	Düşük aktivite
Hidrojen	H ₂	0.085	0.06	-252.9	İndirgenme ²⁾

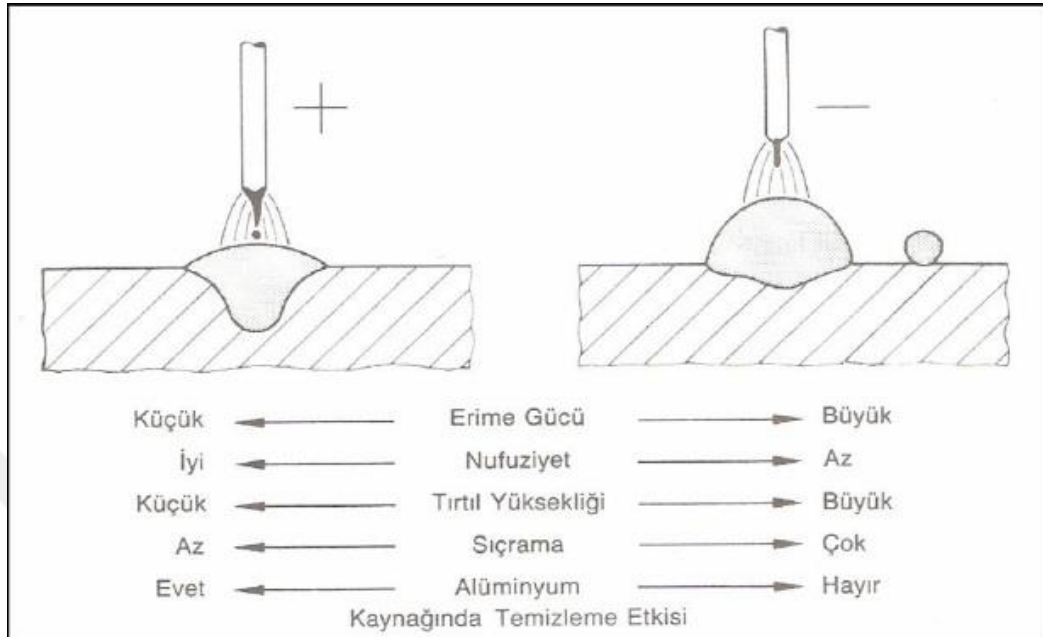
1) Süblimleşme sıcaklığı

2) % 10'dan daha fazla miktarda H₂ içeren karışım gazlar patlama sonucu yanabilir.

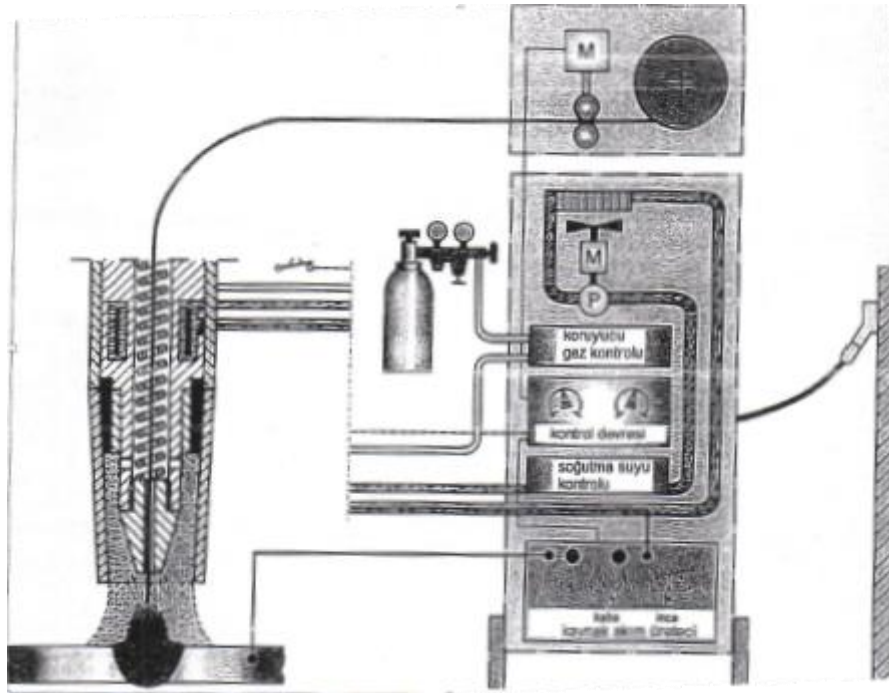
3.4 MIG Kaynak Yönteminin Kısa Tanıtımı

Metal koruyucu gaz kaynağı, sonsuz ve eriyen tel elektrotla koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilen bir ark kaynağı yöntemidir. MIG kaynak torçları, yarı veya tam mekanize olarak kullanılabilir. Genelde doğru akım kullanılır ve tel elektrot artı (+) kutuptadır (Ders, MIG/MAG Kaynağı, 2014).

Kutuplaşmanın dikiş formu ve kaynak özelliklerine etkisi Şekil 3.3’de belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Kutuplaşmanın dikiş formu ve kaynak özelliklerine etkisi (Tülbentçi, Gaz Altı Kaynağı MIG-MAG Kaynağı, 1993)



Şekil 3.4. Bir MIG kaynak makinesinin yapısı (Ders, MIG/MAG Kaynağı, 2014)

Şekil 3.4'e göre bir MIG kaynak makinesinin yapısında

- Güç ünitesi
- Tel sürme ünitesi
- Hortum paketi
- Kaynak torcu
- Soğutma ünitesi
- Koruyucu gaz donanımı
- Kullanma ve ayarlama elemanları bulunur.

MIG kaynağı, son 50 yıl içinde oldukça hızlı bir şekilde yayılmaktadır. MIG/MAG kaynağı metal endüstrisinde, çelik konstrüksiyon imalatında, gemi yapımında, konteynır imalatında ve taşıt imalatı gibi her yerde geniş parça kalınlığı aralığında kullanılmaktadır (Ders, MIG/MAG Kaynağı, 2014, s. 3).

Yüksek kaynak hızı, daha küçük ITAB oluşumu, kaynak esnasında oksit film kaldırması ve neredeyse tüm pozisyonlarda kaynak yeteneği avantajlarını sunmuştur. Bu nedenlerden ötürü MIG kaynağı alüminyum birleştirmeleri için en yaygın olarak kullanılan ark kaynak işlemidir (Mathers, 2002, s. 30-130).

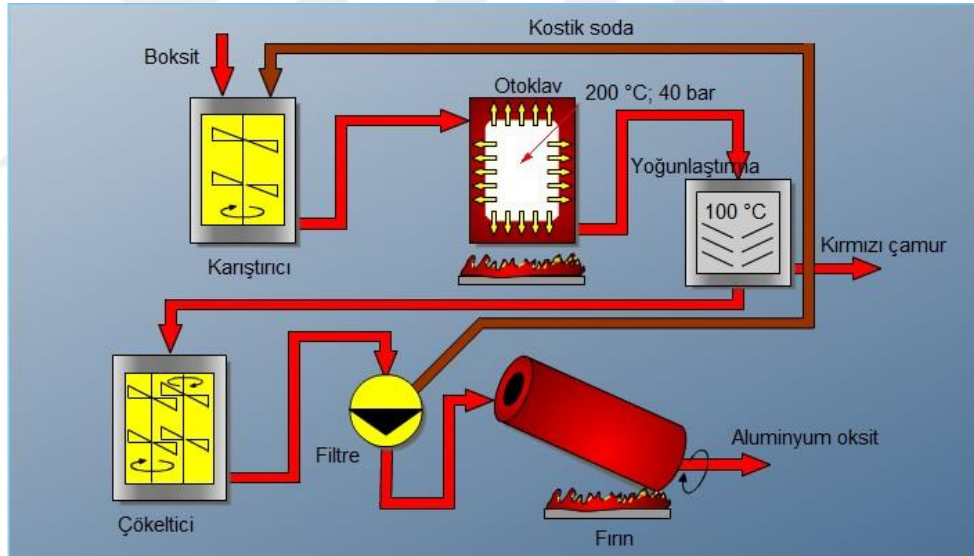
4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

4.1 Alüminyum Üretiminin Temel Esasları

Alüminyum, iki aşamalı bir işlemde üretilmektedir.

Alüminyum elde etmek için kullanılan en önemli ham madde boksit cevheridir. Birinci aşamada bu cevher, Bayer prosesine tabi tutularak Al_2O_3 (alüminyum oksit) olarak ayrılır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 3).

İkinci aşamada ise elektroliz işlemi ile birinci aşamada elde edilmiş alüminyum oksit, alüminyuma dönüştürülür.



Şekil 4.1. Bayer prosesinin prensibi
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013)

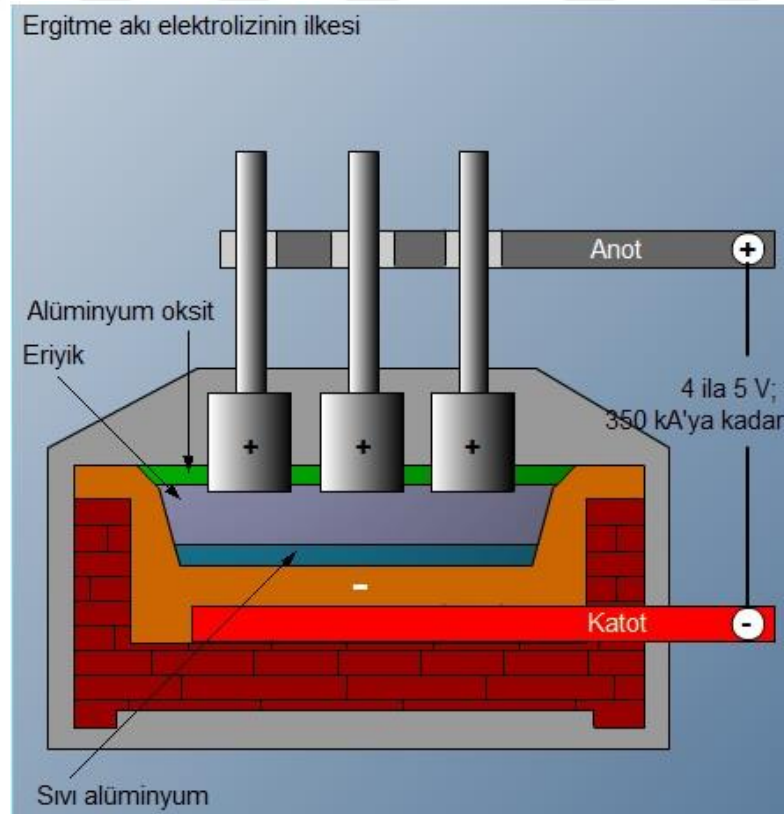
Bu dolaşım sisteminin prensibi şöyledir (Şekil 4.1). Alüminyum hidroksitini kostik soda (NaOH) çözeltisi ile yüksek sıcaklıkta boksitten kazanılması, çözeltinin soğumasından sonra kalan katı kalıntıların (kırmızı çamur) ayrılması, alüminat kostik çözeltisinden alüminyum hidroksitini kısmen çökeltmesi, daha sonra kalan kısmın aşırı doygun alüminat çözeltisinden aşılama yoluyla kristalleştirilmesi ve kristalleşen

hidroksitin ayrılmasından sonra kostik soda çözeltisinin geri beslenmesidir. Bu şekilde kazanılan alüminyum hidroksit, termik yolla dehidratize edilerek oksite (alümina) dönüştürülmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 3).

Yöntem, $Al_2O_3-Na_2O-H_2O$ sisteminin iki fiziksel kimyasal özelliğini kullanmaktadır. Bunlar, alüminyum hidroksit, kostik soda çözeltisi içerisindeki çözünürlüğünün sıcaklığa bağlı olması ve aşırı doygun alüminat çözeltisinin yarı kararlı olmasıdır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 3).

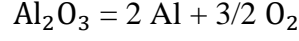
Burada 1 kg alüminyum elde etmek için gereken toplam enerji miktarı nispeten yüksek olup yaklaşık 14 kWh civarındadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 3).

Alüminyum oksitinin sıvı halde elektrolizinin prensibi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Alüminyum oksitinin sıvı halde elektrolizinin prensibi (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013)

Hall ve Heroult tarafından bulunan prensibin temeli, sıvı kriyolit Na_3AlF_6 içerisindeki alüminanın çözünürlüğüne dayanmaktadır. Buna göre, 950 ve 980 °C arasındaki sıcaklıklarda aşağıdaki reaksiyona göre oksidin ayrıştırılması mümkündür (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 4).



Bu teknolojinin sürekli geliştirilmesi, daha büyük hücrelerin yapılmasına ve daha yüksek akım şiddetlerinin kullanılmasına yol açmıştır. Bu sayede, üretim metalürjisinin ekonomikliği ve beraberinde enerji tüketimi daha da iyileştirilmiştir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 4).

Elektrolizden elde edilen ürün birincil alüminyum şeklinde adlandırılmakta olup genellikle %99,5-99,85 saflıklarda bulunmaktadır. Beraberinde içerdikleri ana elementler silisyum ve demirdir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 4).

4 ton boksit cevherinden yaklaşık olarak 2 ton alümina ve bundan da 1 ton birincil alüminyum elde edilmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 4).

İkincil alüminyum üretimi, alüminyum endüstrisinde yeni hurda olarak adlandırılan ve üretim işlemleri sırasında oluşan çok çeşitli atıklardan yeniden ergitme yöntemi ile ya da hurda olarak bilinen kullanım ömrünü yitirmiş alüminyum ürünlerinden elde edilmektedir (Askeland, 1998).

İkincil alüminyum, yani eski ve/veya geri dönüştürülen malzemelerin işlenmesi ile elde edilir. Burada, birincil imalat için harcanan enerjinin sadece %5'i gerekmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 4).

4.2 Alüminyumun Genel Özellikleri ve Demire Göre Kıyaslanması

4.2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri

Günümüzde alüminyum, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstrideki gelişmeler neticesinde hafif ve dayanımı yüksek malzemelere ihtiyaç duyulmuş ve bu da alüminyum kullanımını arttırmıştır.

Alüminyumun karakteristik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Kristal yapısı her zaman yüzey merkezli (YMK) kübiktir. Dolayısıyla şekillendirebilirliği çok iyi olup düşük sıcaklıkta tokluğunu muhafaza etmektedir.
- Nispeten yüksek bir dayanca sahip olmakla birlikte hafif bir metaldir.
- Aynı zamanda korozyona karşı büyük ölçüde dirençlidir.
- Çok çeşitli yöntemlerle imal edilebilir.
- Alüminyum malzemelerin çentik hassasiyeti çok yüksektir. Bu yüzden dinamik yüklerde çalışan malzemelerde çok dikkat etmek gerekir.
- Tekrar değerlendirilebilmekte ve yaygın kullanılan bütün birleştirme yöntemleriyle bağlanmaya izin vermektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 2).

Alüminyum ve alaşımları, özellikle 3000, 5000, 6000 serileri, düşük sıcaklıkta toklukları çok iyidir. Sıfırın altında hatta mutlak sıfıra kadar süneklik, tokluk, mukavemetleri oda sıcaklığına göre daha yüksektir (Kaufmann, 2000).

Saf alüminyumun sertliği, mukavemeti ve elastikliği oldukça düşüktür. Bu yüzden saf alüminyum ilk önce alaşımlandırılarak dayanımı artırılır. Alaşımlandırmadan sonra ise dayanımı arttırmak için birtakım işlemler uygulanır. Bu işlemler alaşım elementine göre değişmekte olup soğuk şekillendirme ve ısıtma işlemleridir. Alüminyum birçok metal ile alaşım yapabilmesine karşın en çok tercih edilenler bakır, mangan, magnezyum, çinko ve silisyumdur. Eklenen diğer

elementlerle (krom, vanadyum, zirkonyum) ince tane yapısı ve dayanımı arttırmak amaçlanmaktadır.

Alaşım elementlerinin eklenmesindeki temel amaç ise saf alüminyumun yüksek uzama kabiliyeti ve korozyon dağılımını etkilemeden, düşük olan akma dayanımı yükseltmektir. Alüminyuma ilave edilen element türü ve miktarı alaşımları tanımlamada kullanılan ilk kriterdir (Askeland, 1998).

4.2.2 Alüminyumun Özelliklerinin Demir ile Kıyaslanması

Çizelge 4.1’de saf alüminyumun demire göre özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir. Çizelgede belirtilen özellikler %99’un üstündeki saflıktaki alüminyum için geçerlidir. Aşağıda geçen özelliklerden bazıları, alüminyumun işlem görmesi ile değişiklik gösterebilir.

Çizelge 4.1. Saf alüminyum ve demirin özelliklerinin karşılaştırılması (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013)

Özellikler	Al	Fe
Atomik ağırlık [g/Mol]	26.98	55.84
Kristal kafes	kfz	krz
Yoğunluk [g/cm ³]	2.70	7.87
E-modülüsü [Mpa]	67 × 10 ³	210 × 10 ³
Genleşme katsayısı [1/K]	24 × 10 ⁻⁶	12 × 10 ⁻⁶
R _{p0.2} [Mpa]	≈ 10	≈ 100
R _m [Mpa]	≈ 50	≈ 200
Özgül ısı [J/kg×K]	≈ 890	≈ 460
Erime ısı [J/g]	≈ 390	≈ 272
Erime sıcaklığı [°C]	660	1536
Termik iletkenlik [W/m×K]	235	75
Elektriksek iletkenlik [m/Ω×mm ²]	38	≈ 10
Oksitler	Al ₂ O ₃	FeO / Fe ₂ O ₃ / Fe ₃ O ₄
→ Erime sıcaklığı [°C]	2050	1400 / 1455 / 1600

Alüminyumun demire kıyasla bazı karakteristik özellikleri çizelge 4.1'den yararlanılarak aşağıda sıralanmıştır:

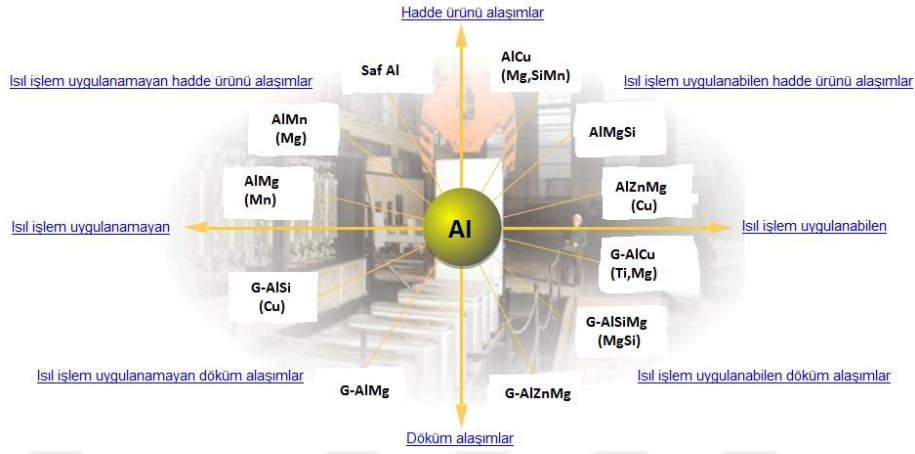
- ❖ Alüminyum çeliğe göre 3 kata yakın pahalıdır. Ama hafif, uzun ömürlü, kolay işlenebilir, enerji tasarrufu sağladığı için ekonomiktir.
- ❖ Aynı hacimdeki bir alüminyum bloğu çeliğe göre 3'te 1 ağırlığındadır.
- ❖ Alüminyumun elastisite modülü çeliğe göre 3 kat düşüktür. Yani çelik parça, aynı ölçülerde alüminyuma çevrilemez ve çevirdiğimiz zaman aynı elastik kabiliyeti sağlasın diye malzeme kalınlaştırılmak zorundadır.
- ❖ Genleşme katsayısı çeliğe göre 2 kat fazladır. Isıtıldığında çeliğe göre 2 kat fazla uzar ve çekme çarpılma 2 kat fazla olur.
- ❖ Isıl iletkenliği çeliğe göre 3 kat fazladır. Bu yüzden bir bölgeyi ısıtmak çeliğe göre daha zordur. Isıdan etkilenmiş bölge ise çeliğe göre daha geniştir.
- ❖ Elektriksel iletkenliği çeliğe göre 4 kat fazladır.
- ❖ Erime sıcaklığı çeliğe göre 3 kata yakın düşüktür ve yaklaşık 660°C'dir.

4.3 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları, şekillendirilebilir ve döküm alaşımları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Şekillendirilebilir alaşımlar soğuk veya sıcak durumda iyi biçimde şekil değiştirebilmelidirler. Bunların başlangıç mamulleri dökme ingotlar olup hadde veya ekstrüzyon işlemleriyle bant, levha, plaka veya profil olarak işlenmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 5).

Alüminyumda mukavemet ilk olarak alaşımlandırılarak verilir. Temel alaşım elementleri bakır (Cu), çinko (Zn), silisyum (Si), mangan (Mn), magnezyum (Mg) dur. Daha sonra ise ısıl işlem uygulanır ancak bazı alaşımlar ısıl işleme uygun değildir. Isıl işleme uygun olmayan alaşımlara ise soğuk şekillendirme ile mukavemet arttırılır. Ancak ısıl işlemle elde edilecek mukavemet, ısıl işlem olmadan yapılabildiği kadar genelde daha yüksektir. Buna göre alaşımlar, ısıl işleme

sertleştirilemeyen ve ısıt işleme sertleştirilebilen alaşımlar olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013)

4.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Gösterimi

Alüminyum alaşımlarının isimlendirilmesinde nümerik ve alfa nümerik sınıflandırma standartları kullanılır. Nümerik sınıflandırmada alaşım kompozisyonları anlamlı olarak ifade edilir. Alfa nümerik sınıflandırmada ise her alaşım kompozisyonu harf grupları ve rakamlardan oluşan bir kod ile tanımlanır (Çizelge 4.3).

Alüminyum alaşımlarının değişik standartlardaki gösterimi Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Alüminyum alaşımlarının değişik standartlardaki gösterimi
(Gündüz, 2017)

TS	DIN	AA	CSA	ASTM	ISO	GOST	SAE
AlCuSiMg1	AlCuMg1	2017A	CM41	Cm41A	AlCu4MgSi	1100	SAE26
Al-Si12	G_AlSi12	A413	S12N	S12N	Al-Si12	AK12	GAISi13

Günümüzde Amerikan Alüminyum Birliği'nin oluşturduğu notasyon sistemi en yaygın olarak kullanılan isimlendirme metodudur. Bu sistem, numerik sınıflandırma esasına dayanmaktadır (Askeland, 1998).

Çizelge 4.3. Alüminyum alaşım gösterimi
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013)

Numara esaslı	Kimyasal sembol esaslı	
EN AW-5456A	EN AW- ⁽⁶⁾ Al ⁽⁶⁾ Mg5Mn1(A)	(1) Standart kısaltması
(1) (2) (3) (4)	(1) (2) (5) (7) (4)	(2) Ana malzeme + teslim şekli
		(3) 1. Rakam: Seri gösterimi
		(4) Değişik biçim
		(5) Ana alaşım elementi
		(6) Nominal içerik
		(7) Diğer alaşım elementi

Numara esaslı sistem dört rakamdan meydana gelmekte olup Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kayda alınmış gösterime uygun olarak ifade edilmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1, 2013, s. 7).

Bir alüminyum malzemeyi tam olarak tanımlayabilmek için alaşım ve durum gösterimleri verilmelidir. Durum gösterimi, alaşım gösterimden sonra bir çizgi ile ayrılarak verilir.

- F: İmal edildiği halde
- O: Yumuşatma tavına tabi tutulmuş
- H: Pekleştirilmiş (soğuk deformasyonla sertleştirilmiş)
- H1x: Sadece pekleştirilmiş, ilave ısı işleme tabi tutulmamış
- H2x: Pekleştirilmiş ve geri tavlansın, şekillendirilme kabiliyeti biraz iyileştirilmiş
- H3x: Pekleştirilmiş ve stabilize edilmiş
- H4x: Pekleştirilmiş ve fırında kuruyan vernikle kaplanmış (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 2).

4.3.2 Alüminyum Alaşım Serileri ve Genel Kullanım Yerleri

Çizelge 4.4'te alüminyum alaşım grupları gösterilmiş olup burada NHT ısıtılma işlemle sertleştirilemeyen ve HT ısıtılma işlemle sertleştirilebilir alaşım grupları göstermektedir.

Çizelge 4.4. Alüminyum alaşım grupları
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşım Serileri 1, 2013)

1000 serisi:	Al \geq 99.0%	NHT
2000 serisi:	Ana alaşım elementi = Cu	HT
3000 serisi:	Ana alaşım elementi = Mn	NHT
4000 serisi:	Ana alaşım elementi = Si	NHT
5000 serisi:	Ana alaşım elementi = Mg	NHT
6000 serisi:	Ana alaşım elementi = Mg + Si	HT
7000 serisi:	Ana alaşım elementi = Zn	HT
8000 serisi:	Ana alaşım elementi = diğer elementler	NHT/HT

Malzeme özelliklerini kazandırmak amacıyla teknik olarak kullanılan yöntemler arasında, alaşım elementi ilavesi, soğuk şekillendirme ile dayanç artırma ve çok çeşitli ısıtılma işlemler ve bunların kombinasyonları yer almaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşım Serileri 2, 2013, s. 1).

Alüminyum alaşım grupları, ısıtılma işlem durumuna göre ısıtılma işlemle sertleştirilebilen ve ısıtılma işlemle sertleştirilemeyen alaşım grupları olmak üzere 2'ye ayrılır.

4.3.2.1 Isıtılma İşlemlerle Sertleştirilemeyen Alaşım Serileri

Isıtılma işlemle sertleştirilemeyen alaşım gruplarında dayanç, katı çözelti sertleşmesi, ikincil faz çökelmeleriyle sertleşme, soğuk işlemle sertleşme ve dayanç azaltma tavlama ile elde edilmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşım Serileri 2, 2013, s. 1).

Alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle beraber esasen kafes yapı içerisine yerleştirilen yabancı atomlar sayesinde sertlik, çekme dayancı ve uzama sınırı değerlerinde artış sağlanmaktadır. Çizelge 4.5'te belirli bir alaşım elementinin ağırlıkça %1 oranında ilave edilmesiyle elde edilen dayanç artışını, alaşım elementi ile alüminyum atom yarıçapları kıyaslamasıyla ilişkili olarak göstermektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 1).

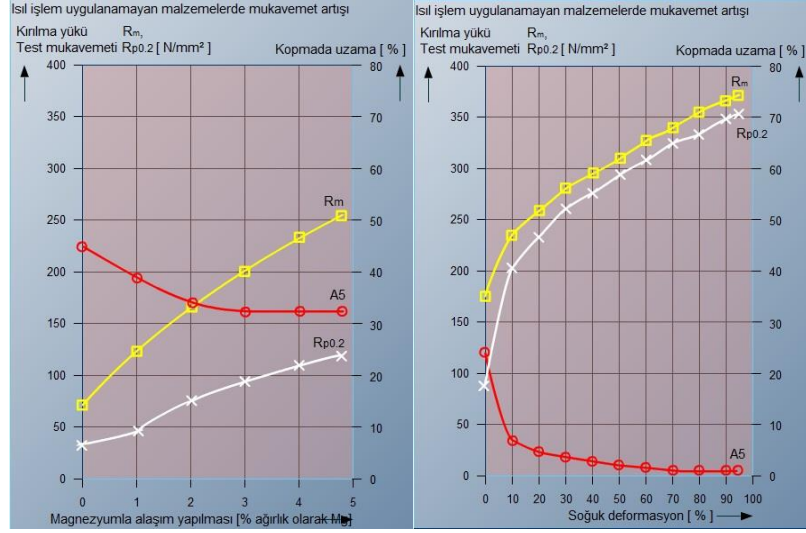
Bu beş ana element ile alüminyumun atomik yarıçapları farkı ne kadar yüksekse çekme mukavemeti o kadar yüksek olur.

Çizelge 4.5. Alaşım elementi ilave edilerek oluşturulan katı çözeltilerin alüminyumun dayanancını arttırmadaki etkisi (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013)

Δ Atomik yarıçap $r_x - r_{Al}$ (%)	$\Delta R_{P0.2}$ MPa/%ağırlık	ΔR_M MPa/%ağırlık
Si: - 3.8	+ 9.2	+ 39.6
Zn: - 6.0	+ 2.9	+ 15.2
Cu: - 10.7	+ 13.8	+ 43.1
Mn: - 11.3	+ 30.3	+ 53.8
Mg: + 11.8	+ 18.6	+ 50.3

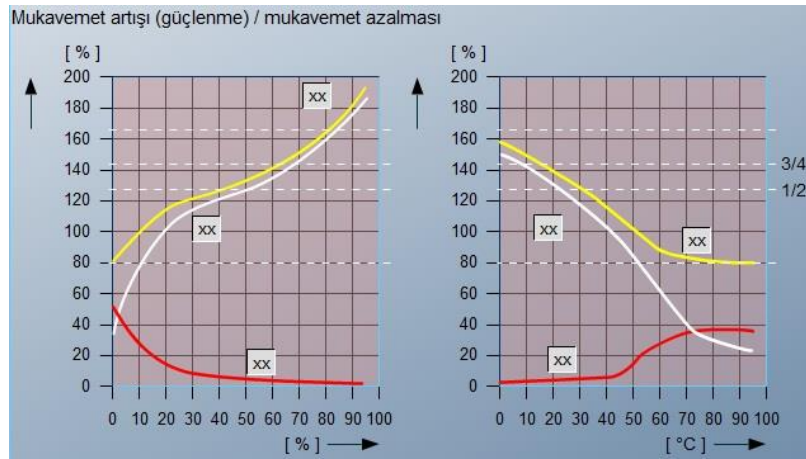
Fe, Ni, Ti, Cr elementleri ve de bunların kombinasyonları öncelikli olarak alüminyum içerisinde çözünürlüğü nispeten düşük ikincil faz çökeltileri oluşturmaktadırlar. Bu çökeltilerin içyapıdaki hacimsel oranı ne kadar yüksekse dayanç artışı etkisi o kadar yüksek olmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 1).

Soğuk şekillendirme, yeni dislokasyonların meydana gelmesine yani dislokasyon yoğunluğunun artarak şekillendirme direncinin yükselmesine ve direnç ve sertliğin artmasına yol açmaktadır (şekil 4.4) (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 1).



Şekil 4.4. Doğal sertleşen malzemelerin dayanıcının artırılması
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013)

Pekleşme (soğuk sertleşme) etkisini giderici dayanç azaltma tavlaması, malzemenin soğuk deformasyonla kazandığı dayanıcını tamamen veya kısmen düşürmek için kullanılır (Şekil 4.5). İlk durumda malzeme, tam rekristalizasyon veya toparlanma ile elde edilmektedir. İkinci durumda ise kısmi rekristalizasyon veya toparlanma ile elde edilmektedir. Geri tavlama adı verilen bu tür ısıl işlemlerle çekme dayanıcının aynı kalmasıyla beraber daha iyi bir şekillendirilebilirlik davranışı elde etmek hedeflenmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 2).



Şekil 4.5. Pekleşme (soğuk sertleşme) davranışı / pekleşme etkisinin giderilmesi
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013)

4.3.2.1.1 1000 Serisi Alüminyum

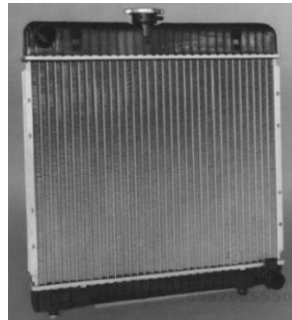
1000 serisi alüminyum, çok az alaşım elementi içerebilir (Şekil 4.6). Isıl işleme uygun değildir. Elektrik ve ısı iletkenliği iyidir. Kaynağa çok uygun, mukavemeti çok düşük, işlenebilirliği ve korozyon dayanımı en yüksek seridir. Alüminyum folyo, derin çekme kapları, korniş, kapı, pencere profil, eşanjör yapımında ve topraklamada kullanılmaktadır.



Şekil 4.6. 1000 serisi alüminyumun içecek saklama amaçlı kullanımı (Kaufmann, 2000)

4.3.2.1.2 3000 Serisi Alüminyum

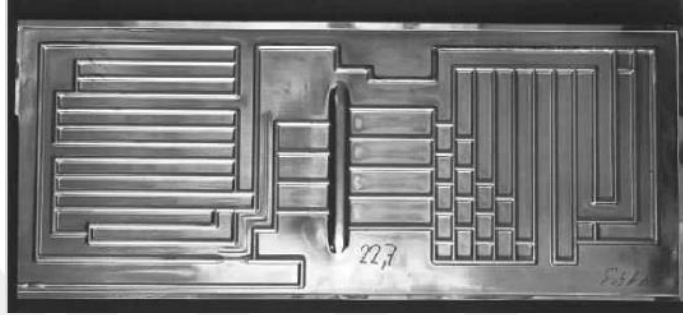
3000 serisi mangan ile alaşımlandırılmış seridir (Şekil 4.7). Mangan, alaşım içinde %1,5 ile sınırlandırılmıştır. Çok az miktarda demir ve silisyum elementi de içerir. Isıl işleme uygun değil ancak soğuk şekillendirme ile mukavemet artırılabilir. Kolay işlenebilir ve korozyona karşı mukavemeti yüksektir. Genel olarak ergitme kaynağına uygundur. Teneke içecek kutu, cephe kaplama, radyatör, tank yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 4.7. Otomotiv radyatörlerinde 3000 serisi alüminyumun kullanımı (Kaufmann, 2000)

4.3.2.1.3 4000 Serisi Alüminyum

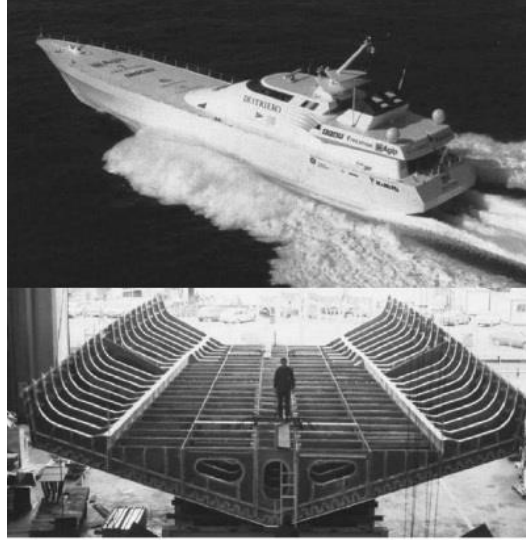
4000 serisi silisyum ile alaşımlandırılmış seridir (Şekil 4.8). Isıl işleme uygun değil ancak soğuk şekillendirme ile mukavemet artırılabilir. Bu serinin en önemli özelliği düşük ergime sıcaklığı ve esnekliktir. Genel olarak dolgu ve lehim teli olarak kullanılır. Ayrıca yüksek silisyum içeren döküm alaşımlar, içten yanmalı motorlarda, vites kutularında, silindir ve pistonlarda kullanılabilir.



Şekil 4.8. Buzdolabı soğutma çevriminde kullanılan 4000 serisi alaşım (Kaufmann, 2000)

4.3.2.1.4 5000 Serisi Alüminyum

5000 serisi magnezyum ile alaşımlandırılmış seridir (Şekil 4.9). Isıl işleme uygun değil ancak soğuk şekillendirme ile mukavemet artırılabilir. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci, ergitme kaynağına uygunluğu ve deniz suyuna dayanıklılığı en önemli özellikleridir. En çok kullanılan seridir. Bu seri, sertlik ve dayanım isteyen yerlerde özel olarak kullanılmaktadır. Basınçlı kap, konteyner, ticari araçlar, demiryolu, bina ve gıda sektörlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.9. Teknesi, alt yapı, üst yapısı, mukavemet elemanları 5000 serisi alüminyum alaşımından üretilen yüksek hızlı tekne (Kaufmann, 2000)

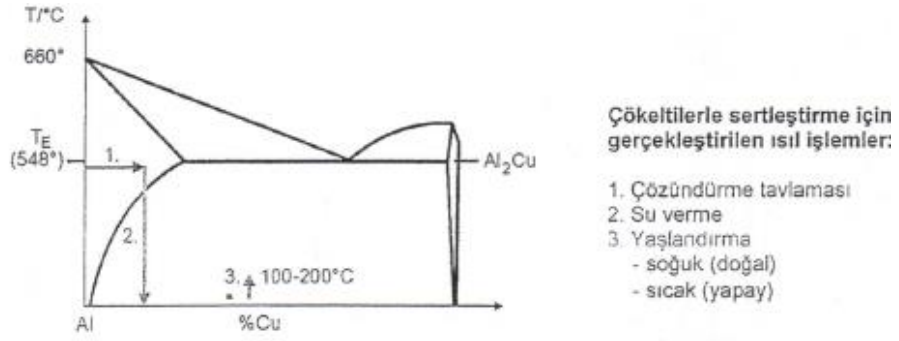
4.3.2.2 Isıl İşleme Sertleştirilebilen Alaşımlar

Isıl işleme sertleştirilebilen malzemelerin özellikleri, ağırlıklı olarak çökeltme sertleşmesi, su verme, yaşlandırma ısıl işlemleri tarafından belirlenmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 3).

2000 serisi incelendiğinde sertleştirme şu şekilde olur. Çökeltme sertleşmesi, alüminyum ve bakır ile yapılır. Malzeme önce 550°C civarına ısıtılır. Alüminyum içinde bakır çözünür ve daha sonra hızlı bir şekilde soğutulur. Bu alaşım daha sonra toparlanması için yaşlanmaya bırakılır (Şekil 4.10).

Bu yaşlanma ikiye ayrılır. Doğal yaşlanma malzemeye su verildikten sonra malzemenin kendi kendine yaşlanmasıdır. Yapay yaşlanma ise su verildikten sonra malzemenin fırına atılıp 150-200°C'de 3-4 saat beklenmesidir.

Çökeltme sertleşmesi, katı çözeltilerin çökelti sertleştirmesinde etkili olan alaşım bileşenlerince zenginleştirilmesine hizmet etmektedir. İlave alaşım elementleriyle zenginleştirilmiş katı çözelti, hızlı soğutma yoluyla aşırı doymun hale getirilir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 3).

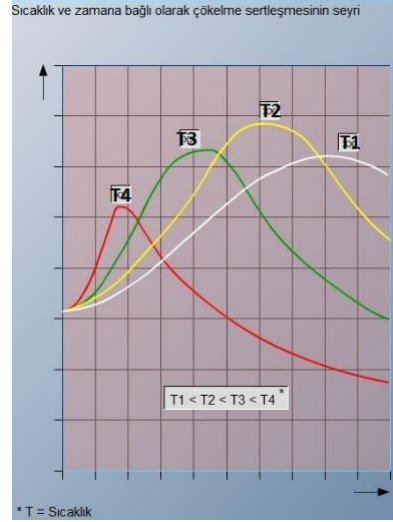


Şekil 4.10. Al – Al₂Cu sisteminde çökeltilerle sertleştirme ısı işlemi (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013)

Takiben oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilebilen yaşlandırma ile aşırı doymuş katı çökelti meydana gelir. Hem çözünmüş halde bulunan atomlar hem de çeşitli çökelti türleri dislokasyon hareketi ile engel teşkil ederek dayanımın artmasına sebep olmaktadır. Mekanik malzeme direnç büyüklüklerinin hangi ölçüde etkilenebileceği ilgili alaşım sistemine bağlıdır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 4).

Yaşlandırma süresinin artmasıyla beraber mevcut çökelti tipinin büyüklüğü ve aralarındaki ortalama mesafe artmaktadır. Böylelikle dislokasyon kayma hareketini engelleme mekanizması üzerinde değişiklik meydana gelmektedir. Yaşlandırma süresinin daha da arttırılması dayanımın azalmasına yol açmaktadır. Bu olay, aşırı yaşlandırma olarak tanımlanmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 4).

Şekil 4.11’de çökeltilerle sertleşmenin sıcaklık ve zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.11. Çökeltilelerle sertleşmenin sıcaklık ve zamana bağlı değişimi (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013)

Bununla beraber, çökeltilelerle sertleştirilebilen alaşımlarda çökelti sertleştirilmesi sonunda soğuk ve sıcak şekillendirme işlemleri büyük önem taşımaktadır. Bu işlemler sayesinde dayanç daha da arttırılmakta ve iç gerilmeler azaltılmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 6).

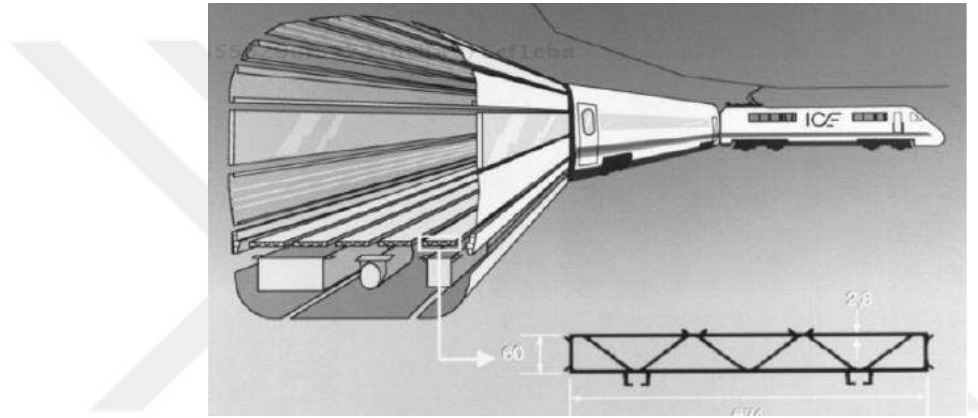
Çökelti sertleştirilebilir alaşımlara ait durumlar aşağıda verilmiştir.

- T1: Sıcak şekillendirme sıcaklığından su vererek soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
- T2: Sıcak şekillendirme sıcaklığından su vererek soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
- T3: Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
- T4: Çözündürülmüş ve doğal yaşlandırılmış
- T5: Sıcak şekillendirme sıcaklığından su vererek soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış
- T6: Çözündürülmüş ve yapay yaşlandırılmış
- T7: Çözündürülmüş ve stabilize edilmiş
- T8: Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış
- T9: Çözündürülmüş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş
- Tx51: Gerilim giderici gerdirmeye tabi tutulmuş
- Tx52: Gerilim giderici sıkıştırılmaya tabi tutulmuş

- W: Çözündürülmüş (kararsız durum) (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2, 2013, s. 6).

4.3.2.2.1 2000 Serisi Alüminyum

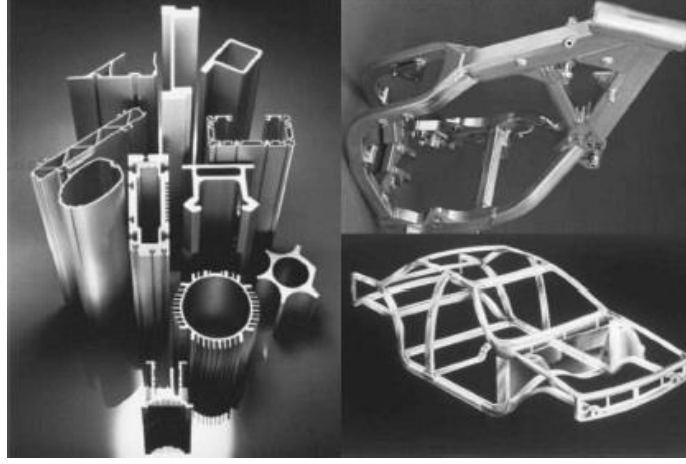
2000 serisi bakır ile alaşımlandırılmış seridir (Şekil 4.12). Isıl işlem ve soğuk şekillendirme yapılabilir. Bu seri, ergitme kaynağına sıcak çatlak tehlikesi nedeniyle uygun değildir. Bu serinin korozyon direnci oldukça azdır. Otomotiv, havacılık, vagon ve uzay sanayinde, dayanım ve hafiflik için kullanılmaktadır.



Şekil 4.12. 2000 serisi alaşımlarının metro ve tramvayda yapı elemanı olarak kullanımı
(Kaufmann, 2000)

4.3.2.2.2 6000 Serisi Alüminyum

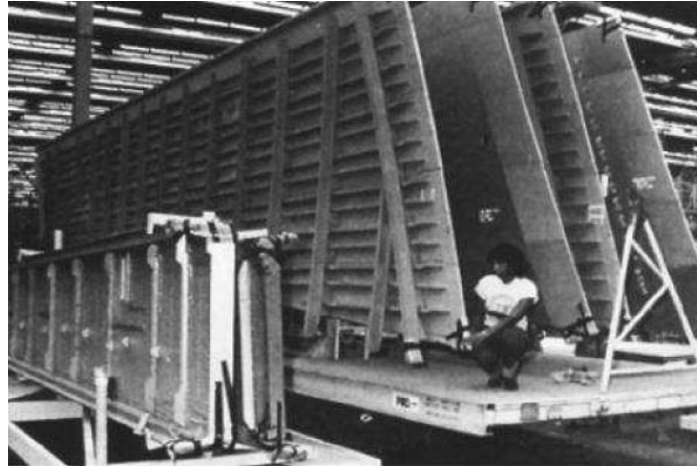
6000 serisi magnezyum ve silisyum ile alaşımlandırılmış seridir (Şekil 4.13). Isıl işlem ve soğuk şekillendirme yapılabilir. Bu alaşımlar, iyi ekstrüzyon edilebilme, yüksek korozyon dayanımı, iyi kaynak edilebilirlik, iyi dayanım ve temiz yüzeyleri ile bilinirler. 6000 serisi demiryolu sektöründe vagon yapımında, köprü, bisiklet, kazan, platform, gemi direkleri yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 4.13. 6000 serisi alaşımların makine elemanı, motosiklet gövdesi ve otomobil gövdesi olarak kullanımı (Kaufmann, 2000)

4.3.2.2.3 7000 Serisi Alüminyum

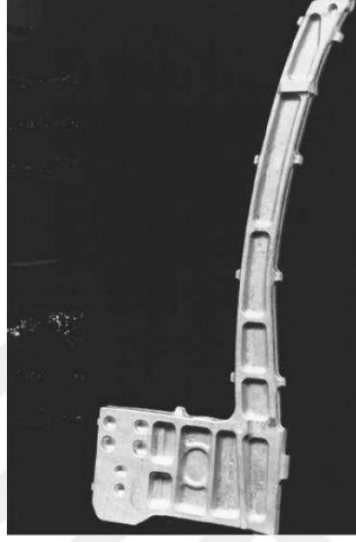
7000 serisi çinko ile alaşımlandırılmış seridir (Şekil 4.14). Isıl işlem ve soğuk şekillendirme yapılabilir. Bu alaşım serisinde sıcak çatlak ve soğuma çekmesi görülebilir. En yüksek mukavemetli seridir. Ergitme kaynağına genel olarak uygun değildir. Havacılık ve uzay sanayinde çok kullanılır. Bu seri, vinç, kamyon kasası, makine parça yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 4.14. 7000 serisi alüminyumun levhaların uçak kanat yapı elemanı olarak kullanımı (Kaufmann, 2000)

4.3.2.3 8000 Serisi Alüminyum

Alüminyuma diğer alaşım elementleri ilavesi ile 8000 serisi alüminyum elde edilir (Şekil 4.15). %2 lityum içeren alaşımlarda hafiflik, yüksek çekme ve akma dayanımı özellikleri içermektedir.

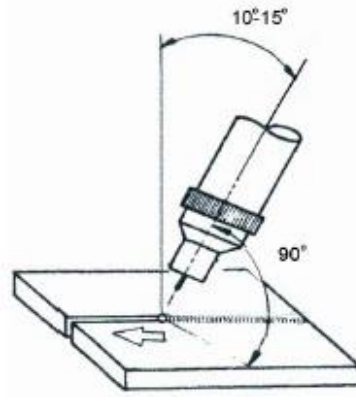


Şekil 4.15. Alüminyum-lityum alaşımlı 8000 serisinin helikopter parçası olarak kullanımı (Kaufmann, 2000)

4.4 Alüminyum Malzemelerin MIG ile Kaynak Edilmesi

Alüminyum malzemelerin MIG ile kaynak edilmesinde, malzemenin alaşım yapısı ve levha kalınlığı dikkate alınması gereken başlıca faktörlerdir. Alüminyum malzemelerde daha çok spreycik ark tercih edilmektedir. Kalın parçalarda duruma göre 200°C'yi aşmayan bir ön ısıtma uygulanıp torç, 75°-80°'lik eğimle tutulmalıdır (Şekil 4.16). Kaynak yapılırken mümkün olduğu kadar çizgisel paso tekniği uygulanmalı ve zikzak hareketlerinden kaçınılmalıdır.

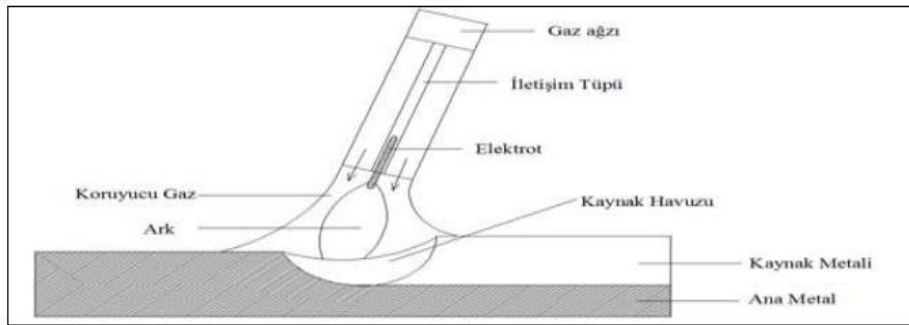
Düz pozisyondan başka pozisyonlarda kaynak yaparken düşük akım ve ısı girdisi ince plakaları delmemek adına daha iyi olacaktır (Mathers, 2002, s. 30-130).



Şekil 4.16. Kaynak esnasında torcun pozisyonu
(Gündüz, 2017)

MIG kaynağı işleminde güç kaynağının pozitif kutbuna bağlanan elektrot ile doğru akım kullanılır. Bu da çok iyi bir oksit film kaldırması ile sonuçlanır (Mathers, 2002, s. 30-130). Kullanılacak teller ise ana malzemenin alaşımın elementlerine benzer şekilde seçilmelidir.

Şekil 4.17’de MIG kaynak süreci gösterilmiştir.



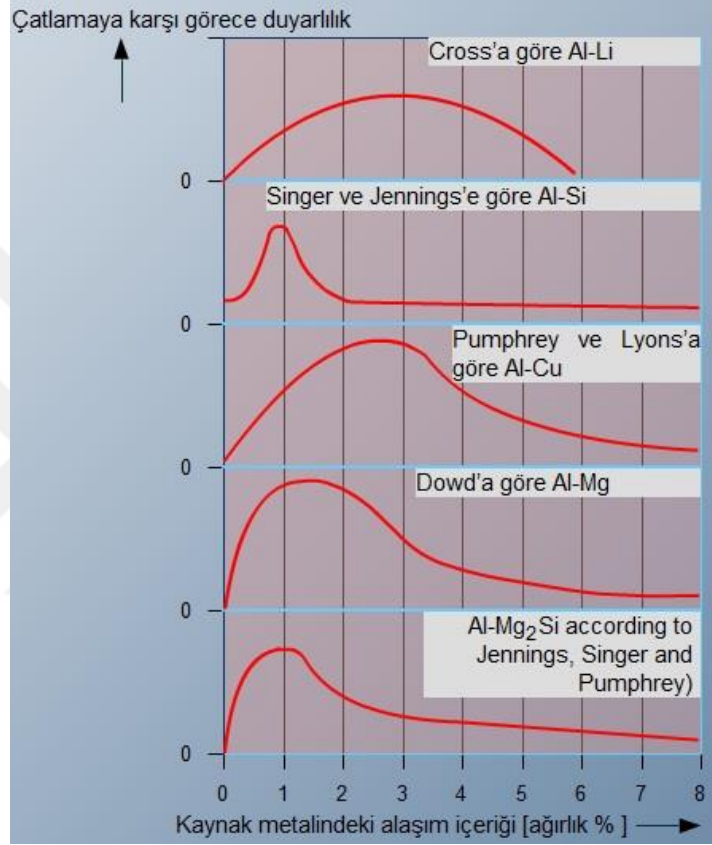
Şekil 4.17. MIG kaynak süreci
(Uzun, 2014)

4.4.1 Alüminyum Malzemelerin Kaynağa Uygunluğu

Alüminyum alaşımlarında kaynağa uygunluk, malzemenin sıcak çatlak oluşturma eğilimi ile belirlenmektedir. Çünkü alüminyum YMK yapıda olduğu için soğuk çatlak ve sertleşme çatlakları beklenmez ama sıcak çatlak olabilir. Bu bakımdan alüminyumda, katılaşma çatlakları ve erime çatlakları olmak üzere iki

çatlak türü görülmektedir. Bunlardan birincisi, kaynak metali içerisinde meydana gelmekte olup malzemenin katılma karakteristiği yani kimyasal bileşimiyle bağlantılıdır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 2).

Çeşitli iki bileşenli sistemler için nispi çatlak eğiliminin kimyasal birleşimle bağlantısı Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Çeşitli iki bileşenli sistemler için nispi çatlak eğiliminin kimyasal birleşimle bağlantısı
(Parantez içindeki isimler diyagramı ortaya koyan araştırmacılara aittir.)
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013)

Erime çatlakları, başlıca ısıdan etkilenmiş bölge içerisinde meydana gelmekte olup erime sıcaklığı düşük olan ötektik fazların erimesi ve aynı zamanda ortaya çıkan ısı gerilimleri sebebiyle oluşmaktadır. Metalürjik etki büyüklükleri her şeyden önce ana malzemenin kimyasal birleşimi ve içyapı oluşumudur (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 4).

Bir malzemenin nispi çatlak eğilimi, dolgu malzemesi tarafından etkilenmektedir. Uygun ana malzeme ve dolgu malzemesi kombinasyonu yardımıyla çatlak eğilimi azaltılabilmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 4).

Kaynağa uygunluk açısından alüminyum demirle kıyaslandığında, aşağıdaki özellikleri göstermektedir.

- ❖ Alüminyumun oksijene karşı ilgisi yüksektir. Bu durum, az ya da çok belirgin bir oksit tabakasının oluşması ile sonuçlanmakta veya oksit kalıntılarına yol açmaktadır.
- ❖ Alüminyum, demire kıyasla daha yüksek bir ısı iletkenliğe ve ısı ıslanma genleşmeye sahip olup yüksek büzülme gerilmeleri göstermektedir.
- ❖ Alüminyum, sıvı halde yüksek bir hidrojen çözünürlüğüne sahipken katılaşıma esnasında bu ani biçimde azalmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 1).

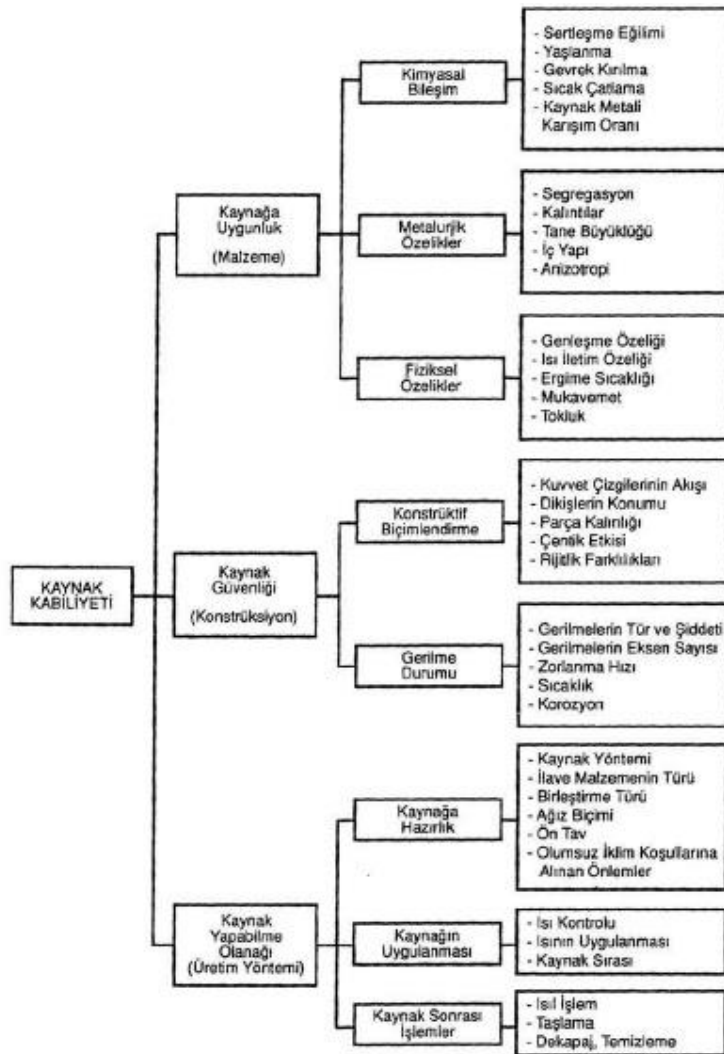
Metalürjik bakış yönünden değerlendirildiğinde, Alüminyum malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde aşağıdaki şartlara uyulması gerekmektedir.

- ✚ Alüminyumda mukavemet kaybı genelde geri döndürülemez. Bu yüzden tasarımda %25-30 mukavemet kaybını hesaba katmak gerekir. Dolayısıyla ısı girdisine dikkat edip çizgisel pasalarda kaynak yapılmalıdır.
- ✚ Malzeme kaynağa uygun olmak zorundadır, yani malzemenin çatlak oluşturmaya eğilimi bulunamaz. Bunun dışında, gereken dayanç değerine ulaşılmalı zorundadır. Gereken miktarda şekillendirme kabiliyeti sergileyebilmeli ve yeterli seviyede bir korozyon direnci sağlayabilmelidir. Gözenek ve kalıntılar, verilen şarta göre sadece sınırlı çerçevede ortaya çıkabilmelidir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 1).
- ✚ Kaynaklama ile verilen ısı, malzemeye ve enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak bir çözündürme tavı, rekristalizasyon, yaşlandırma veya toparlanmaya yol açmaktadır. Bununla bağlantılı olarak malzemenin

pekleşme etkisinin giderilerek dayancının azalması da söz konusudur (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 1).

Ayrıca malzemelerin kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler, Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler
(Tülbentçi, Kaluç, & Anık, Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı, 1991)



4.4.2 Alüminyum Malzemelerin Dayancı

Isıl işleme sertleştirilemeyen ve soğuk haddelenmiş malzemelerde kaynak esnasındaki ısı girdisi sebebiyle meydana gelen rekristalizasyon ve toparlanma ile beraber çeşitli seviyelerde dayanç azalması ortaya çıkmaktadır. Bunun haricinde iri tane oluşumu da görülmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 5).

Isıl işleme sertleştirilebilen alaşımlar ise dayançlarını başlıca faz çökeltilerinin irileşmesi veya çözünmesi sebebiyle kaybetmektedir. Bunun haricinde malzemenin hızlı soğumaya karşı hassasiyeti de dayanç kaybı ölçüsü üzerinde önem taşımaktadır. Kendiliğinden sertleşen AlZnMg tipi alaşımlar, hızlı soğumaya karşı hassasiyet bakımından istisna teşkil ederler. Bu alaşımların hızlı soğumaya karşı hassasiyeti düşüktür (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 5-6).

Kaynağa uygunlukta olduğu gibi kaynak dikişinin dayancı da dolgu malzemesi seçiminden etkilenmektedir. Burada kural olarak çatlama eğilimi ve dayanç birbirine zıt biçimde davranmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 7).

4.4.3 Alüminyum Malzemelerin Korozyon Direnci

Saf alüminyum ve ısıl işleme sertleştirilebilen alaşımlardaki kaynak dikişinin korozyon direnci, nadiren azalma gösterir. Fakat Mg oranı yüksek olan malzemelerde ($\%Mg > 3,5$), kaynak ısısı sebebiyle korozyon direncini düşüren içyapı değişimlerinin meydana gelmemesine dikkat edilmelidir. Bu durumda 100-230°C sıcaklık aralığında tane sınırlarında (Al_8Mg_5 fazı) anodik çökeltileri oluşmakta ve bunlar da gerilmeli korozyon çatlama ve taneler arası korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Fakat bu alaşımın gerçekleşebilmesi için kritik sıcaklık aralığında nispeten uzun bekleme süreleri gerektiğinden konvansiyonel kaynak prosesleri sebebiyle bu tür değişimlerin gerçekleşmesi beklenmemektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 7).

Alüminyum ile farklı malzemeler yani siyah ve beyaz malzemeler, birbirlerinden etkilenip korozyona uğramaması için farklı yerlerde depolanmalıdır. Alüminyumun farklı malzemeler ile temasında temas korozyonu meydana gelebilir. Korozyonda zaman, ısı ve sıcaklık farklılıkları etkindir.

Isıl işleme sertleştirilebilen birçok alüminyum alaşımında gerilmeli korozyon çatlama direnci sıcak yaşlandırma ve hatta aşırı yaşlandırma ile elde edilmektedir. Buna bağlı olarak kaynak ısısından dolayı bu alaşımların ısıdan etkilenmiş bölgeleri korozyon direnci bakımından olumsuz yönde etkilenmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 7).

Bundan başka ana malzeme ve dolgu malzemesi arasında bir potansiyel farkın bulunması da korozyon direncinin kötüleşmesine neden olmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 7).

4.4.4 Alüminyum Kaynağında Olası Kaynak Hataları

Alüminyumda iki tip kaynak hatası vardır. Bunlar, ergime noksanlığı ve gözenektir.

Bunlar dışında oksit kalıntıları, sıcak çatlak, kaynak metali ve ITAB'da mukavemet düşüşü, korozyon direncinde azalma görülebilir (Mathers, 2002, s. 30-130).

4.4.4.1 Ergime Noksanlığı

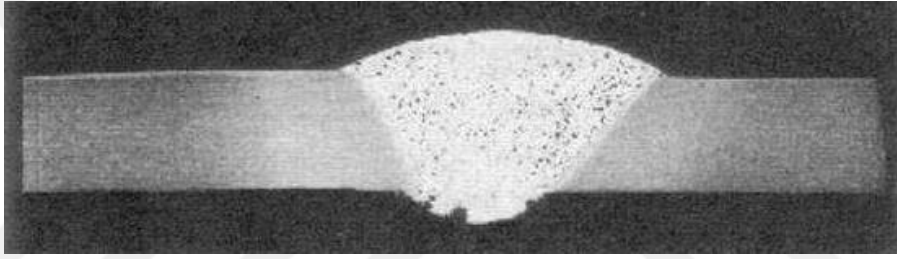
Ergime noksanlığının sebebi, alüminyumun ısı iletkenliğinin çok fazla olmasıdır. Bunun önlemi de ön ısıtma yapmaktır. Ön ısıtma ısı iletimini düşürmek için yapılır. Ön ısıtmada ise 100°C genelde yeterlidir.

Helyumun ısı iletkenliği çok yüksek olduğu için ergime noksanlığının önüne helyum gazı kullanarak da geçilebilmektedir.

4.4.4.2 Dikiş Gözenekliliği

Gözeneklerin sebebi, kaynaklı alüminyum malzemelerin katılaşıma davranışı ile ilişki içerisinde bulunması veya çoğu durumda da hapis kalan gaz kabarcıkları olmasıdır. Metalürjik gözeneklerin ağırlıklı olarak görüldüğü malzeme, sıvı katı geçişi çok hızlı gerçekleşen saf alüminyumdur (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 8).

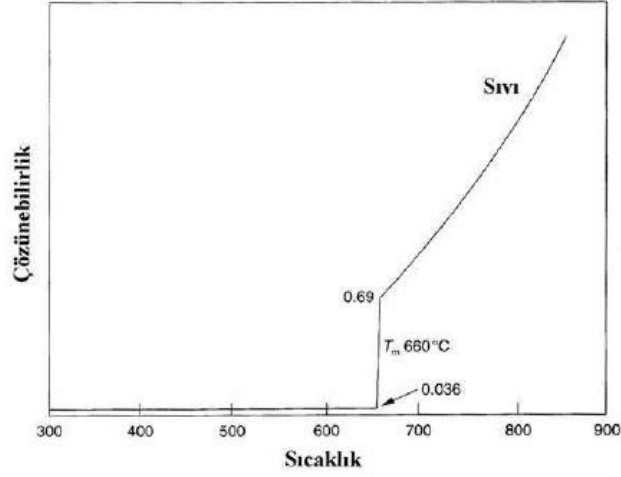
Gaz boşlukları, sıvı metal katılaşımadan önce dışarı kaçamayan gazlar sebebiyle oluşmaktadır. Bu gazlar koruyucu gazdan veya havadan gelmekte olup kaynak banyosu hareketlerine bağlı biçimde banyo türbülansı ile beraber hareket etmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 8).



Şekil 4.19. 6 mm kalınlığında TIG kaynaklı parçada gözenekler (Mathers, 2002)

6 mm kalınlığında TIG kaynaklı parçada gözeneklerin durumu Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Alüminyumdaki gaz gözeneklerinin ana sebebini sıvı metal içerisinde çözünen hidrojen teşkil etmektedir. Metalin oksijene karşı ilgisinin yüksek olması sebebiyle mevcut su indirgenmekte ve hidrojen sıvı içerisinde çözünmektedir (Şekil 4.20). Alüminyumun hidrojen çözünürlüğü sıcaklık beraber azaldığı ve katılaşıma anında birdenbire düştüğü için eşit miktarda dağılmış gözenekler oluşabilmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 8).



Şekil 4.20. Saf alüminyumun hidrojen çözünürlüğü (Mathers, 2002)

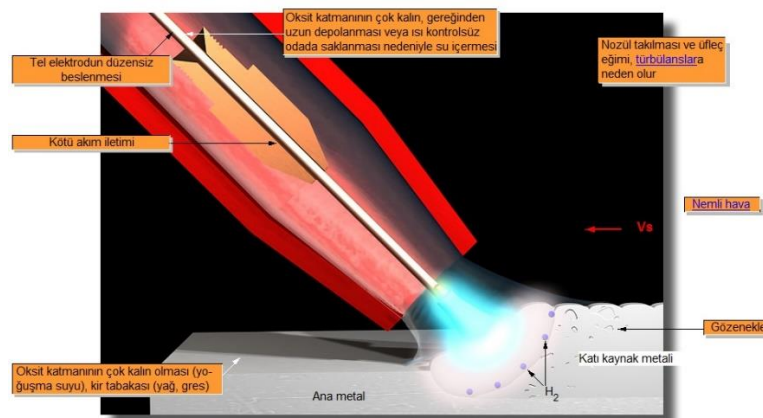
Alüminyum oksitin erime sıcaklığı 2050°C'dir. Alüminyumu kaynak yaparken oksiti eritmiyoruz, parçalıyoruz. Parçalandığında üzerinde veya içinde bir takım hidrojen varsa bu kaynak metaline geçer. O yüzden alüminyum üzerindeki oksit tabakası hidrojen olmasın diye kaynak yapılmadan önce temizlenmelidir.

Hidrojen havadan hafif olduğu için kaynaktan çıkmak ister ama alüminyumun ısıl iletkenliği çok yüksek yani çabuk katılaştığı için hidrojen içerde hapis kalır. Bu yüzden alüminyumda kaynak ağızları geniş açılır. Bunun dezavantajı daha çok çekme çarpılmaya neden olmasıdır.

Kaynak öncesinde mutlaka kaynak yüzeyinden yağ alma işlemi yapılmak zorundadır. Malzeme mutlaka paslanmaz bir tel fırça ile zımparalanıp temizlenmelidir. Ayrıca gözenekten kaçınmak için tavan pozisyonu ve aşağıdan yukarı pozisyonlardan kaçınmak gerekir.

Ana malzeme ve dolgu malzemesi beraberinde hidrojen barındırmamalı ve koruyucu gaz benzer şekilde temiz olmalıdır. Muhtemel yağ ve oksit tabakası kaynaktan önce giderilmeli ve prensipte nemden uzak durulmalıdır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 8).

Şekil 4.21’de MIG kaynağında hidrojene sebep olan etkenler gösterilmiştir.

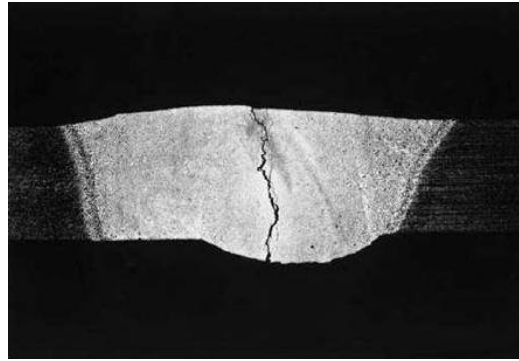


Şekil 4.21. MIG kaynağında hidrojene sebep olan etkenler (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013)

4.4.4.3 Sıcak Çatlak Riski

Sıcak çatlak, YMK yapıdaki alüminyum, çelik, bakır gibi malzemelerde ve HMK yapıdaki çeliklerde görülebilmektedir. Sıcak çatlak, kaynak metalinde katılma esnasında ortaya çıkan bir problem olup ergime sıcaklığı düşük olan fazların kaynak ortasında birikmesi sonucu oluşur. Aynı kayısı kıvamlı yumurta olarak hayal edilebilir.

4043 dolgu teli ile TIG ile kaynak yapılmış 6082 malzemesindeki katılma çatlağı Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Katılma çatlağı; 4043 dolgu teli ile TIG ile kaynak yapılmış 6082 malzemesi (Mathers, 2002)

4.4.4.4 Mukavemet Düşüşü

Kaynak sırasında alaşım elementlerinin yanması yani oksijen ile reaksiyona girip azalması sonucu kaynak bölgesinde mukavemet düşüşü gerçekleşir.

Örnek olarak lityumun oksijen ile yanması veya magnezyumun düşük kaynama sıcaklığı, magnezyum kaybına ve bazı alaşımlarda lityum kaybına neden olmaktadır. Bu durumda ITAB'da mukavemet düşüşü görülecektir. Bu sorun, koruyucu gazın dikkatli bir şekilde seçilmesi ile aşılabılır (Mathers, 2002).

4.4.5 Alüminyum Malzemelerde kullanılan Dolgu Malzemesi

Alüminyum malzemelerin kaynağında daha yüksek alaşımlı dolgu malzemesi kullanılarak çatlaklara karşı güvence sağlanmaktadır. Kaynakla birleştirilecek malzemelerden birisi Mg alaşımlı olduğunda dolgu malzemesi bu malzemeye göre belirlenmelidir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 9). Ayrıca alüminyumda mukavemet kaybını azaltmak için dolgu tellerinde magnezyum oranının yüksek olması gerekmektedir.

AlMgSi alaşımları için kaynağa uygunluk bakımından avantajlı AlSi₅ dolgu malzemesi, AlMg₅Mn 'den daha düşük dayanç sağlamakta ve de bu malzemeye kıyasla ozon yüklemesi de daha fazla olmaktadır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 9).

AlMg tipi kaynak dolgu malzemeleri önemli miktarda Zirkonyum (Zr) içermektedir. Bunlar sıcak çatlak eğilimi bulunan durumlarda kullanılabilir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 9).

Şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağı için ana malzeme-dolgu malzemesi kombinasyonu Çizelge 4.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağı için ana malzeme-dolgu malzemesi kombinasyonu (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013)

Ana Metal A	Al99.90 Al99.8(A) Al99.7	Al99.5 Al99.0	AlMn1	AlMg1(B) AlMg2 AlMg3	AlMg4.5Mn0.7 AlMg5	AlMg2Mn0.8	AlMgSi AlSiMg(A) AlSi1MgMn	AlZn4.5Mn1	Ana metal B
Dolgu metalleri:	Al998(A)	Al9.5Ti	Al99.5Ti AlMn1	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlSi5	AlSi5	Al99.90 Al99.80(A) Al99.7
		Al99.5Ti	Al99.5Ti AlMn1	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlSi5	AlSi5	Al99.5 Al99.0
			AlMn1 AlSi5	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlSi5	AlSi5	AlMn1
				AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg3	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg3	AlMg3 AlMg5Mn	AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn	AlMg1(B) AlMg2 AlMg3
					AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn	AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn
						AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn AlMg3	AlMg5Mn AlMg4.5Mn0.7(A)	AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn	AlMg2Mn0.8
							AlSi5 AlMg3 AlMg5Mn	AlSi5 AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn	AlMgSi AlSiMg AlSi1MgMn
								AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg5Mn	AlZn4.5Mg1

4.4.6 Alüminyum Kaynağında Kaynak Dikişi Ağız Hazırlığı

MIG kaynak işlemi için II dikişlerinin tek pasoda kaynaklanmasında kök kısmının daha muntazam oluşabilmesi için kök kısmındaki plaka kenarlarının kırılması (pah kırılması) tavsiye edilmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 12).

Ayrıca kaynak ağızları ve komşu bölgeler yağsız ve kuru bir durumda bulunmak zorundadır. Yağdan arındırma işleminden sonra oksit tabakası kaynaktan hemen önce beyaz bir malzemedenden(paslanmaz) yapılmış tel fırçayla giderilmelidir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 12).

4.4.7 Alüminyum Kaynağında Ön Isıtma

Ön ısıtma, alüminyumun yüksek ısı iletkenliği sebebiyle yeterli nüfuziyetin elde edilemediği durumlarda gerekmektedir. Burada ön ısıtma süresinin uzun tutulması veya alevde O₂ fazlalığı sebebiyle kaynak ağızı yüzeylerinde oksit tabakası kalınlığının aşırı arttırılmamasına dikkat edilmelidir. Özellikle ısıl işleme

sertleştirilebilen alaşımlar ve soğuk şekillendirilmiş ve de yüksek oranda Mg içeren malzemelerde dikkat edilmelidir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 12).

Şekillendirilebilir alüminyum malzemelerin kaynağı için ön ısıtma sıcaklığı ve ön ısıtma sürelerine ait kılavuz değerler Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Şekillendirilebilir alüminyum malzemelerin kaynağı için ön ısıtma sıcaklığı ve ön ısıtma sürelerine ait kılavuz değerler (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013)

Alaşım	Kalınlık [mm]		Maksimum ön ısıtma sıcaklığı [°C]	Maksimum ön ısıtma süresi [dk]
	TIG	MIG		
AlMgSi AlSi1MgMn AlSiMg(A)	≥ 5 - 12 (> 12)	> 20	180 200 220 250	60 30 20 10
AlZn4.5Mg1 ¹⁾	≥ 4 - 12 (> 12)	> 16	140 160	30 20
AlMg4.5Mn0.7 ²⁾ AlMg3	≥ 6 - 12 (> 12)	> 16	150 - 200	10
1) 200 ile 300°C arası uzatılmış beklemler, kendinden yaşlanma kabiliyetini azaltır.				
2) Taneler arası korozyona duyarlılığa dikkat ediniz!				

4.4.8 Alüminyum Kaynağında Koruyucu Gazlar

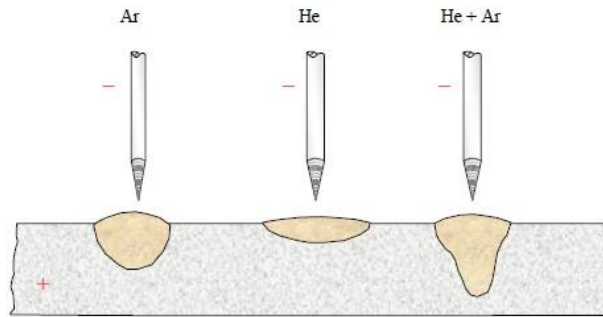
Alüminyumun gaz altında kaynağında, argonun yanı sıra argon-helyum karışımları da kullanılabilir. Fakat en sık kullanılan koruyucu gaz argondur. Helyum katkısı saf argona kıyasla daha yüksek ark gücü sağladığından dikiş yüksekliği, genişliği, derinliği ve nüfuziyet formu bakımından daha iyi bir dikiş oluşumuna yol açmaktadır. Aynı nüfuziyet derinliğinde kaynak hızı arttırılabilmekte ve gözenek ile birleşme hatası oluşma riski azalmaktadır (Çizelge 4.9).

Argonun elektriksel iletkenliği iyi, ısıl iletkenliği kötü, tutuşturmak kolaydır. Helyumun ise ısıl iletkenliği çok iyidir. Ancak tutuşturmak zordur.

Çizelge 4.9. Argon koruyucu gazındaki helyum oranının artmasının etkileri
(Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013)

Koruma gazının bileşimi	%100 Ar → %100 He
Arkin davranışı	MIG: daha az kararlı TIG: Daha dağınık
Dikiş genişliği	Artar, dikiş daha düzleşir
Nüfuziyet	Daha derin ve daha yuvarlak olur
Kaynak hızı	Arttırılabilir
Ergitme eksikliğine duyarlılık	Azalır
Gözeneklere duyarlılık	Azalır
Ön ısıtma	Azaltılabilir veya iptal edilebilir
Sıcaklık	Parça daha sıcak olur >> daha yüksek kaynak hızıyla telafi edilir
Koruma gazı maliyeti	Artar (Toplam bakiyeye bakınız!)

Dikkat edilmesi gereken husus, helyumun iyonizasyon potansiyelinin daha yüksek olması sebebiyle arkta düzensizliklere yol açabilmesidir. Bu nedenle koruyucu gaz olarak %100 helyum kullanılması nadir olup sadece tam mekanize proseslerle sınırlıdır. Bundan başka, helyumun yoğunluğunun az olması sebebiyle argon ile aynı koruma etkisini sağlayabilmek için 3 kat daha büyük gaz hacmi gerekmektedir (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 13).



Şekil 4.23. Argon ve helyumun kaynak sırasında penetrasyona etkisi
(Eryürek, 2006)

Koruyucu gaz olarak argon yanında helyum gazı da kullanıldığında nüfuziyet ve kaynak hızları artar (Şekil 4.23). Daha geniş ve derin kaynak yapılabilir. Helyum, argona göre pahalı olmasına rağmen avantajlı durumları da mevcuttur. Helyum gazı kullanılarak ön ısıtma yapmaya ihtiyaç bile olmayabilir ve aynı zamanda daha geniş bir kaynak banyosu elde edildiği için gözenek sorunu bile çözülebilir. Ancak helyum gazının sıkıntısı da düşük akım şiddetlerinde kararsız ark oluşturabilmesidir.

Koruyucu gazın kullanımına dair verilecek karar, her şeyden önce malzeme kalınlığına, dikiş hazırlığına ve aynı zamanda ekonomikliğe bağlıdır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 13).

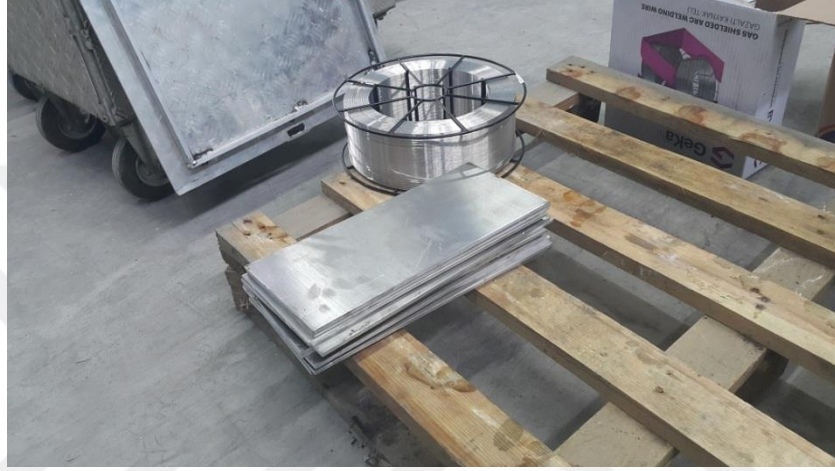
Bu koruyucu gazlara belirli uygulamalarda katkı maddeleri de konulmaktadır. Katkı maddeleri oksijen (O_2), Azot (N_2), azot oksit (NO) veya bunların kombinasyonlarıdır. Katkı maddelerinin amacı arkı kararlı hale getirmek, dikiş yüzeyini ideal hale getirmek ve sıçrantıları önlemektir. Katkı maddelerinin etkisi dolgu malzemesinin alaşım tipine ve ark bölgesindeki malzeme yüzeyine bağlıdır (Ders, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3, 2013, s. 14).



5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan malzeme 5 mm kalınlığındaki 6082-T6 alaşımıdır. 6082 serisi alüminyum numuneleri, deneylerde kullanılmak üzere TS EN ISO 15614-2 standardına uygun olarak hazırlanmıştır.

6082-T6 serisi alüminyum deney numuneleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan alüminyum alaşımı ve dolgu telleri

Alüminyum deney numunelerinin MIG ile kaynak yapılması Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

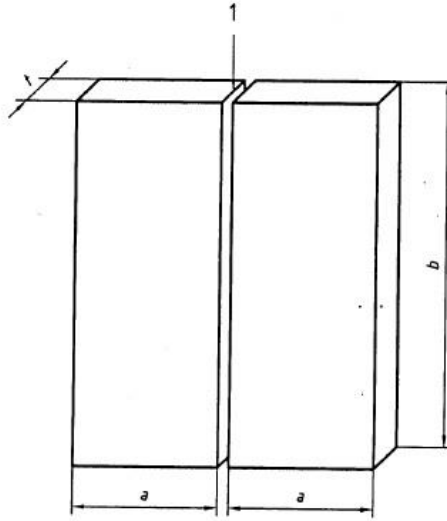


Şekil 5.2. Alüminyum deney numunelerinin MIG ile kaynak yapılması

Şekil 5.3'te ise MIG ile kaynak yapılan 6082 alüminyum numuneleri görülmektedir.

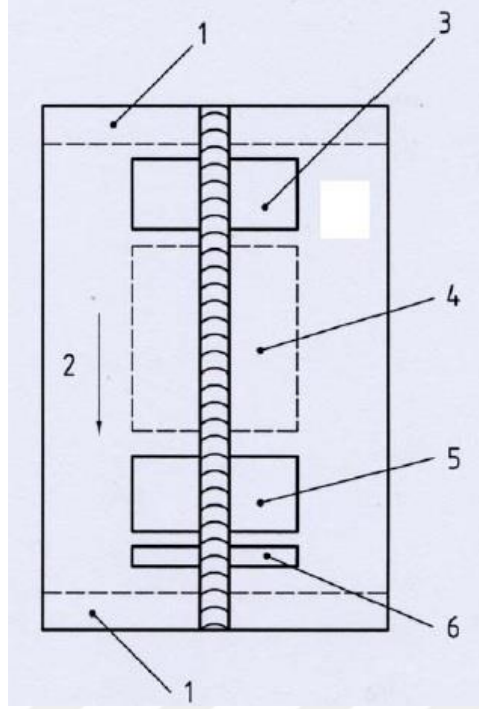


Şekil 5.3. Kaynak sonrası alüminyum numuneleri



Şekil 5.4. Deney parçası boyutları
(TS EN ISO 15614-2, 2007)

Deneylerde kullanılan alüminyum numuneler, TS EN ISO 15614-2 standardında $a_{min}=150$ mm ve $b_{min}=300$ mm ölçülerinde istenmiş, ancak başlangıç ve bitiş hatalarını göz ardı etmek için $a=150$ mm ve $b=350$ mm seçilmiştir. Deney parçasının boyutları Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Plakada alın kaynağı için deney numunelerinin yerleri
(TS EN ISO 15614-2, 2007)

Şekil 5.5’de TS EN ISO 15614-2’ye göre deney numunelerinin yerleri gösterilmiştir. Bu çalışmada yapılacak olan deneylerden 3 ve 5 numaralı bölgelerden çekme numuneleri, 4 numaralı bölgeden çentik darbe ve sertlik numuneleri çıkarılıp 1 numaralı bölgeler (toplam 50 mm) başlangıç ve bitiş hataları içerebileceğinden atılmıştır. Şekilde görülen bölgeler ölçekli çizilmemiştir.

Deneylerde kullanılacak plakalar, Çizelge 5.1’e göre kaynaklanmıştır. Deneylerde 4043 ve 5183 olmak üzere 1,2 mm kalınlığında iki ayrı dolgu teli kullanılmış olup akım parametresi ayarları 150, 155, 160 A uygulanmıştır. %100 argon koruyucu gazı ile birlikte 14-20 lt/dk gaz akışı sağlanmıştır. Ayrıca plakaların kaynak ağızları II ve V şeklinde açılmış olup V kaynak ağzının ölçüsü 60° ‘dir.

Çizelge 5.1. Deney numaralarına göre yapılacak işlemler

Deney No	Dolgu Teli (1,2 mm)	Akım (A)	Kaynak Ağzı
4001	4043	150	II
4002	4043	155	II
4003	4043	160	II
4004	4043	150	V
4005	4043	155	V
4006	4043	160	V
5101	5183	150	II
5102	5183	155	II
5103	5183	160	II
5104	5183	150	V
5105	5183	155	V
5106	5183	160	V

5.1 ENAW-6082 Serisi Alüminyum

Bu çalışmada kimyasal sembolü AlSi1MgMn olan 6082-T6 alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan bu alaşımın kaynak edilebilmesi çok iyi olup ayrıca korozyon dayanımı yüksek olan bir malzemedir. Bu alaşıma ısıl işlem ve soğuk şekillendirme yapılabilir. Bu alaşımlar, iyi ekstrüzyon edilebilme, iyi dayanım ve temiz yüzeyleri ile bilinirler. 6000 serisi, demiryolu sektöründe vagon yapımında, köprü, bisiklet, kazan, platform, gemi direkleri yapımında kullanılmaktadır.

Deney malzemesi olan 6082-T6 serisinin kimyasal bileşimi TS EN 573-3'e göre Çizelge 5.2'de ve mekanik özellikleri TS EN 485-2'ye göre Çizelge 5.3'te açıklanmıştır.

Çizelge 5.2. TS EN 573'e göre % kimyasal bileşim
(TS EN 573-3, 2014)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Ni	Al
Max 0,5	0,7- 1,3	0,4- 1	Max 0,25	Max 0,1	Max 0,1	0,6- 1,2	Max 0,2	-	Kalan

Çizelge 5.3. TS EN 485-2'ye göre ENAW-6082 serisinin mekanik özellikleri
(TS EN 485-2, 2016)

Akma Mukavemeti $R_{p0,2}$ MPa	Çekme Mukavemeti R_m MPa	Min % Uzama	Vickers Sertlik Değeri HV
200-260	270-310	8-10	90-100

6082-T6 alüminyum numunelerinin analiz sonucuna göre % kimyasal birleşimi Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Analiz sonucuna göre elde edilen % kimyasal bileşim

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Ni	Al
0,213	1,08	0,568	0,0128	0,0236	0,0523	0,629	0,0185	0,0021	97,4

5.2 Deneylerde Kullanılan Kaynak Telleri

5.2.1 4043 Dolgu Teli Özellikleri

%5 Si alaşımlı alüminyum (MIG) gaz altı telidir. Alüminyum kaynağında kullanılacak alaşımları, en fazla %2 Mg ve Si içermesi gerekmektedir. Ayrıca dökme alüminyum alaşımları ise %7'den az Si içermelidir (Magmaweld, MAL 4043, 2019).

4043 dolgu telinin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Akma Dayanımı: 110 MPa
- Çekme Dayanımı: 150 MPa
- Uzama (L=5d): %15
- Ergime Sıcaklığı:575-633°C (Gedik, GeKa ALSi 5 Aluminium Alloyed MIG Weling Wire, 2019)

4043 dolgu telinin genel özellikleri ise şöyledir:

- Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan bir kaynak telidir.
- Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının kaynağı için uygundur.
- 5000 serisi dolgu alaşımlarına göre daha düşük ergime sıcaklığına ve daha yüksek akıcılık özelliklerini içerir.
- 6000 serisi alaşımların kaynağında kaynak bölgelerindeki çatlamalara karşı hassasiyeti düşüktür.
- Görünüş açısından mükemmel şekilde kaynak dikişleri elde edilir.
- Anotlanmış malzemelerin kaynağında önerilmez.
- MIG telleri, zorunlu olmayan pozisyonlar dahil tüm kaynak pozisyonlarında kullanılmaya uygundur.
- Tel besleme kabiliyeti çok iyidir. Ayrıca mükemmel ark için gerekli pürüzsüz bir tel yüzeyine sahiptir.
- Kaynak teli kimyasal kompozisyonunun toleranslar dahilinde olması için ideal üretim prosesleri uygulanmıştır.
- Sorunsuz bir kaynak performansının sağlanması amacıyla test aşamasında günümüzün en gelişmiş teknolojik ekipmanları kullanılmıştır.
- ISO 9001 kalite standardında üretilmiştir (askaynak, SuperGlaze 4043, 2019).

5.2.2 5183 Dolgu Teli Özellikleri

%5 Mg ve Mn alaşımlı alüminyum gaz altı (MIG) kaynak telidir. Yüksek çekme dayanımı istenen Al-Mg ve Al-Mg-Mn alaşımlarının kaynağına uygundur (Magmaweld, MAL 5183, 2019).

5183 dolgu telinin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Akma Dayanımı: 170 MPa

- Çekme Dayanımı: 250 MPa
- Uzama (L=5d): %20
- Ergime Sıcaklığı:574-638°C (Gedik, GeKa AlMg 4.5 Mn Aluminium Alloyed MIG Welding Wire, 2019)

5183 dolgu telinin genel özellikleri ise şöyledir:

- Magnezyum oranı yüksek olan alüminyum alaşımların mekanik özelliklerini karşılamak amacıyla üretilmiştir.
- Genelde 5083 ve 5654 alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır.
- Ayrıca 6000 serisi alüminyum alaşımların kaynağında veya 5000 serisi alaşımların, 6000 serisi alaşımlarla kaynaklanmasında kullanılır.
- MIG telleri, zorunlu olmayan pozisyonlar dahil tüm kaynak pozisyonlarında kullanılmaya uygundur.
- Tel besleme kabiliyeti çok iyidir. Ayrıca mükemmel ark için gerekli pürüzsüz bir tel yüzeyine sahiptir (askaynak, SuperGlaze 5183, 2019).

5.3 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

5.3.1 MIG Kaynak Makinesi

Alüminyum numunelere kaynak işlemi, Fronius TPS 400i marka MIG kaynak makinesiyle yapılmıştır. Kaynak makinesi ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Deneylerde 4043 ve 5183 olmak üzere 1,2 mm kalınlığında iki ayrı dolgu teli kullanılmış olup akım parametresi ayarları 150, 155, 160 A uygulanmıştır. %100 argon koruyucu gazı ile birlikte 14-20 lt/dk gaz akışı sağlanmıştır. Ayrıca plakaların kaynak ağızları II ve V şeklinde açılmış olup V kaynak ağızı ölçüsü 60° 'dir.



Şekil 5.6. Fronius TPS 400i MIG kaynak makinesi

Bu kaynak makinesinin başlıca özellikleri Çizelge 5.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.5. Fronius TPS 400i kaynak makinesinin teknik özellikleri
(Fronius, 2019)

Minimum kaynak akımı	3,0 A
Kaynak akımı / Devrede Kalma Oranı [10dak/40°C]	400A / 40%
Kaynak akımı / Devrede Kalma Oranı [10dak/40°C]	360A / 60%
Kaynak akımı / Devrede Kalma Oranı [10dak/40°C]	320A / 100%
Çalışma gerilimi alanı	14,2-34,0V
Boşta çalışma gerilimi	73,0 V
Şebeke frekansı	50-60Hz
Şebeke gerilimi [+/-%15]	3 x 400V
Şebeke sigortası	35A
Boyut / Genişlik	300,0 mm

Boyut / Uzunluk	706,0 mm
Ağırlık	36,45 kg
Koruma derecesi	IP23

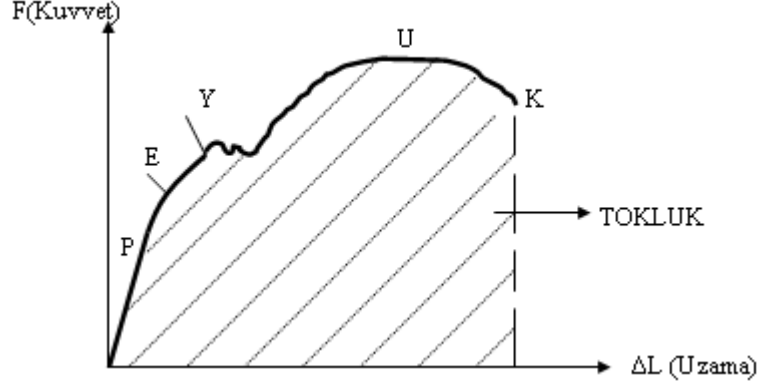
5.3.2 Çekme Deneyi Cihazı

Mühendislik malzemeleri genelde rijit değildirler, bu yüzden malzemelere kuvvet uygulandığında şekil ve boyut olarak değişiklik göstermektedirler. Bu şekil ve boyut gibi malzeme özelliklerinin değişimini incelemek için mekanik testler yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi çekme deneyidir (Harran Üniversitesi, 2017).

Çekme deneyinin amacı; statik yük uygulanan malzemelerin elastik ve plastik özelliklerini belirlemektir. Bu deney için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası kullanılır. Bu deney parçası, çekme cihazına sabitlenerek aksel yönde ve değişken kuvvetler tatbik edilir. (Harran Üniversitesi, 2017).

Çekme cihazı, birbirlerine göre aşağı ve yukarı olarak hareket edebilen deney parçasının bağlandığı iki çene, bunlara kuvvet uygulayan ve aynı zamanda bu kuvvete göre deney parçasının boyutlarındaki değişimi ölçen ünitelerden oluşur. Değişken miktarlarda kuvvet uygulanarak bu çenelerden birisine sabit hızda hareket verilir ve deney parçasındaki değişimler incelenir. Bu uygulanan kuvvete çekme kuvveti denir ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir (Harran Üniversitesi, 2017).

Şekil 5.7’de çekme deneyi bulgusu gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Çekme deneyi bulgusunun gösterimi
(Harran Üniversitesi, 2017)

Düşük kuvvetlerde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Şekil 5.7 incelendiğinde P noktasına kadar malzemenin elastik davranış içinde olduğu görülür; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. P noktasından sonra lineer fonksiyon eğimi değişir. Ancak E (Elastik Limiti) noktasına kadar elastik davranış devam eder. E noktasından itibaren kalıcı; yani plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet sıfırlandığı halde deformasyon da sıfırlanmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır (Harran Üniversitesi, 2017).

Malzemeye kuvvet uygulanmaya devam edilir ve sonunda malzeme Y noktasında akar. Bu akma noktasında uygulanan kuvvet değişmezken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme sertleşir ve daha dayanıklı hale gelip daha fazla kuvvet uygulanabilir (Harran Üniversitesi, 2017).

Malzemeye uygulanan kuvvet daha da yükseltilerek en sonunda U noktasına gelinir. U noktası “maksimum gerilme” noktasıdır, bu noktadan itibaren malzeme kesitinde daralmalar oluşur. Bu daralmalara ise malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme de malzemenin sertleşmesine neden olur ve malzeme daha fazla kuvvet alabilir; ancak boyunda kesit alanı azaldığı için taşıdığı net kuvvet azalır. Malzeme, artık kararsız hale gelir, K noktasına ilerler ve kopma meydana gelir (Harran Üniversitesi, 2017).

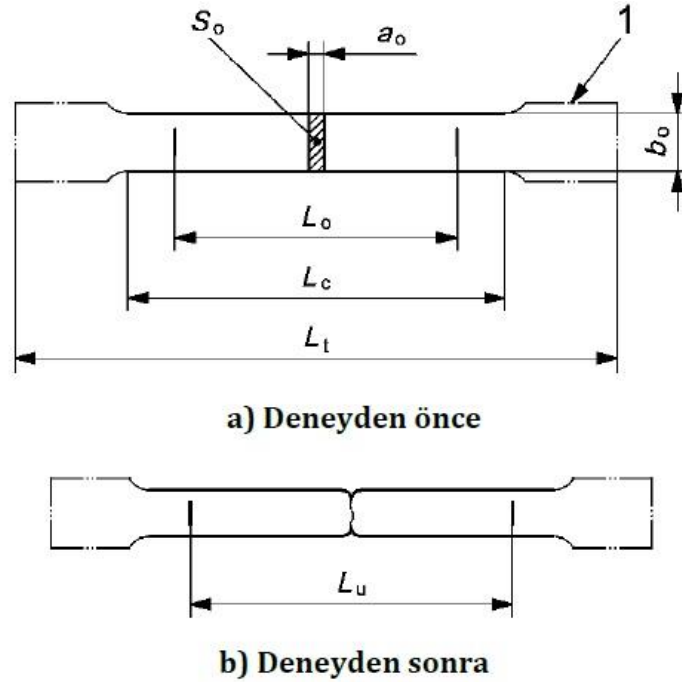
Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan, malzemenin kopana dek absorbe ettiği toplam enerjiye eşit olup; bu enerjiye tokluk adı verilir (Harran Üniversitesi, 2017).

Malzeme, kopma noktasına kadar çok deforme olmuşsa “sünek”, az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir (Harran Üniversitesi, 2017).

Çekme deneyinden aşağıdaki değerler bulunur:

- Akma gerilmesi (N/mm^2)
- Çekme gerilmesi (N/mm^2)
- Kopma gerilmesi (N/mm^2)
- Maksimum yük (N)
- Toplam yüzde uzama (%)
- Yüzde alan daralması (%)
- Elastisite modülü (E)

Alüminyum numunelere çekme deneyi TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 5.8. Çekme deneyi numune boyutları
(TS EN ISO 6892-1, 2016)

Şekil 5.8’de TS EN ISO 6892-1’e göre çekme deneyi numune boyutları gösterilmiştir. Şekil 5.9’da ise deneylerde kullanılan numunenin boyutları gösterilmiştir. Burada;

a_o : Yassı deney parçasının ilk kalınlığı

b_o : Yassı deney parçasının gövde ilk genişliği

L_c : Gövde uzunluğu

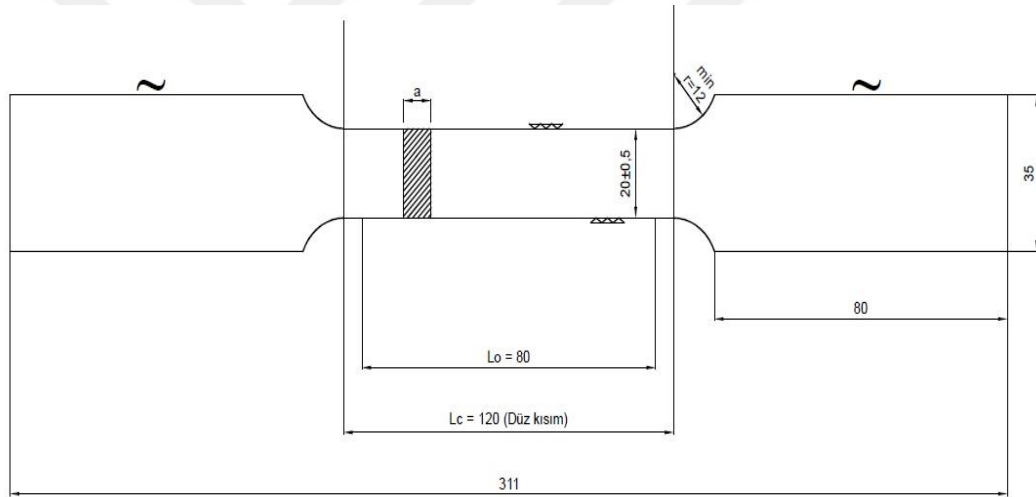
L_o : İlk ölçü uzunluğu

L_t : Deney parçasının toplam uzunluğu

L_u : Kopmadan sonraki son ölçü uzunluğu

S_o : Gövdenin ilk kesit alanıdır

1: Kavranan uçlardır (TS EN ISO 6892-1, 2016).



Şekil 5.9. TS EN ISO 6892-1’e göre deneylerde kullanılan çekme numunesi boyutları
(Boyutlar mm cinsindedir)

Bu çalışmada çekme deneyi, 300 kN kapasiteli INSTRON 300DX marka cihazda yapılmış ve çekme hızı 2 mm/dk ayarlanmıştır. Çekme deneyinin yapıldığı cihaz Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Çekme deneyi cihazı

5.3.3 Vickers Sertlik Deneyi Cihazı

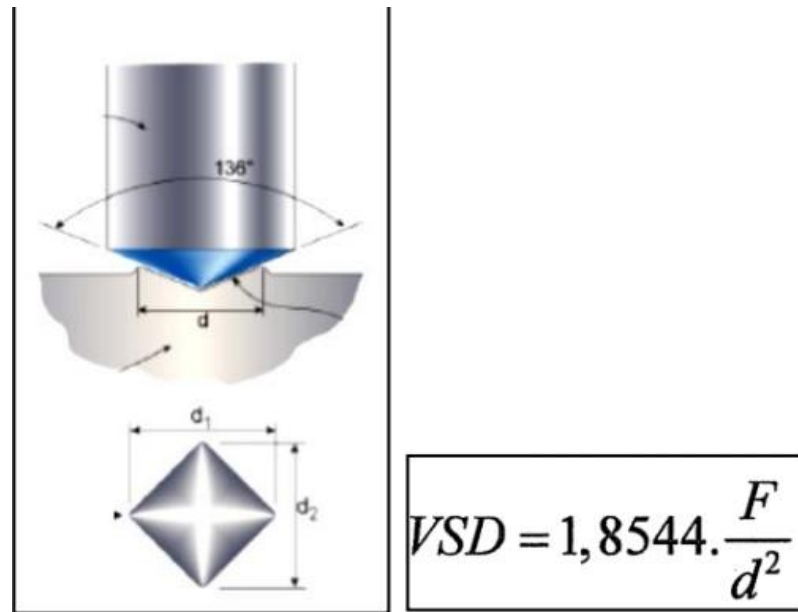
Malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Sertliğinin ölçülmesi, malzemelere yapılan en bilindik deneydir. Bunun başlıca sebepleri, deneyin basit oluşu ve diğer deneylere oranla numuneye daha az zarar vermesidir. Sertlik göreceli bir ölçü olup değeri, laboratuvarlarda özel cihazlarla ölçülür. Bu sertlik değeri, malzemelerin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sertlik Deneyi, 2017).

Sertlik değeri, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılması esnasında malzemenin göstermiş olduğu direncin ölçülmesi ile tespit edilir. Malzemeye uygun olarak seçilen sert uç, belirli bir yükte malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz oluşturacaktır. Malzemenin sertliği, oluşturulan bu izin büyüklüğü ile ters orantılı olarak değişmektedir (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sertlik Deneyi, 2017).

Bu deney metodunda tepe açısı 136° olan elmas kare piramit, malzemeye batırılan sert uç olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.11’de görüldüğü üzere belirli bir yük (F) ile malzemeye batırılan piramit uç, malzeme üzerinde dörtgen bir iz bırakmaktadır. Bu izin köşegenlerinin ölçülmesi ile de ortalama köşegen uzunluğu hesaplanmaktadır. Deneyde uygulanan bu F yükünün, hesaplanan ortalama köşegen uzunluğuna bölünmesi ile sertlik değeri bulunur. Vickers sertliği, aslında yüke bağlı değildir. Farklı malzemelerde yani heterojen yapılarda ortalama bir değer elde etmek ve ölçme hatalarını minimuma indirmek için yükü ve izi büyötmek faydalı olacaktır. Yüük ortalama 1-100 kgf arasında değışebilmektedir. Kullanılan yükün malzemeye uygulanma süresi 2 ile 20 saniyedir. Bu sürenin sonunda batırılan uç, malzeme üzerinden kaldırılır ve deney sonlandırılır (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sertlik Deneyi, 2017).

Vickers sertliğinin avantajı, tüm metal malzemeler için sadece bir tip uç kullanılması ve aynı zamanda hata payının minimum olmasıdır (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sertlik Deneyi, 2017).

Şekil 5.11’de vickers sertlik değerinun şematik gösterimi ve formülü sunulmuştur.



Şekil 5.11. Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi ve formülü (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sertlik Deneyi, 2017)

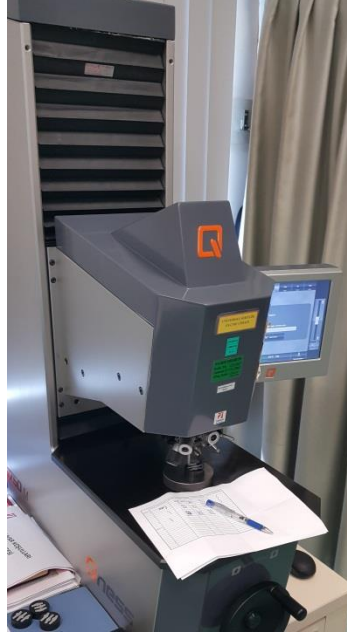
Vickers sertlik deneyinden aşağıdaki ifadeler bulunur:

- Malzemenin özellikleri hakkında bilgi verir. Sertlik değeri, malzemenin işlenebilirliği ile ters orantılıdır. Sonuç olarak sert malzemelerin işlenebilirliği daha zordur.
- Sertlik deneyi ile malzemeyi tahrip etmeden malzemenin sertlik değeri ölçülebilir. Daha sonra malzeme üzerinde farklı deneyler de yapılabilir. Ayrıca sertlik deneyi, basit ve kolay uygulanabilir bir deneydir. (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sertlik Deneyi, 2017).

Bu çalışmada vickers sertlik deneyleri ise Qness Q750 M marka cihazda yapılmış olup ana malzeme, erime çizgisi (ya da ısıdan etkilenen bölge) ve kaynak metali olmak üzere üç farklı noktadan HV 3 ile 3 kgf yük uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

Alüminyum numunelere vickers sertlik deneyi TS EN ISO 6507-1 standardına göre yapılmıştır.

Vickers sertlik deneylerinin yapıldığı cihaz ise Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

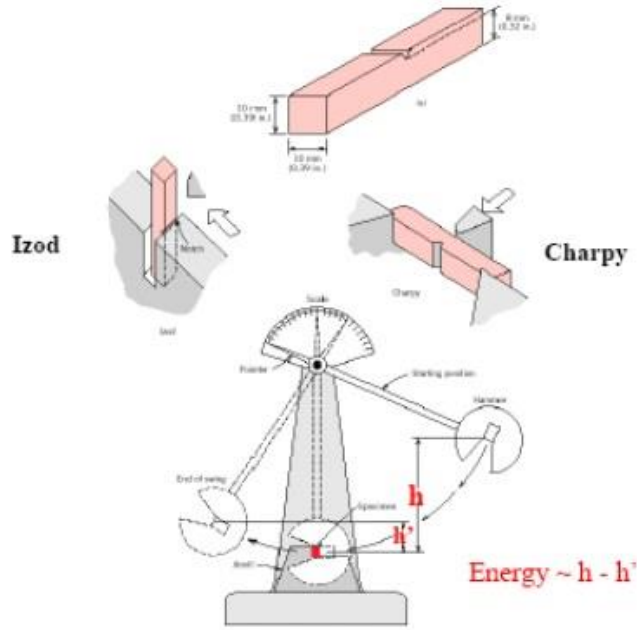


Şekil 5.12. Vickers sertlik deneyi cihazı

5.3.4 Çentik Darbe Deneyi Cihazı

Çentik darbe deneyi, gevrek kırılma yaşanması ihtimali yüksek olan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Darbe deneyinin amacı, değişken kuvvetler altında çalışan metalik malzemelerin kırılma noktasındaki enerji miktarını ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını belirlemektir. Deney sonunda elde edilen değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak belirtilir. Ayrıca deneyden çıkarılabilecek sonuç, kırılma enerjileri ile kırılma tokluklarının birbiriyle doğru orantılı olarak değiştiğidir. (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, 2017).

Charpy çentik darbe deneyinde, numune yatay olarak konumlandırılır ve numunenin ortasına çentik açılır. Test cihazındaki numune kırma çekici, numunenin arka kısmından ve çentik hizasından çarparak numuneyi kırar. Bu deney, Charpy çentik darbe deneyi tekniğine göre yapılmıştır (Şekil 5.13).

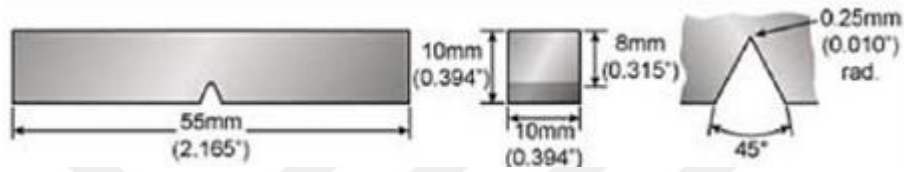


Şekil 5.13. V çentikli deney parçasına Charpy darbe deneyi

Alüminyum numunelere çentik darbe deneyi TS EN ISO 148-1 standardına göre yapılmıştır.

Çentik darbe numuneleri standartta tarif edilen şekilde 5x10x55 mm boyutlarında kesilmiş olup numunelere 2 mm derinliğinde V çentik açılmıştır. Genel olarak malzemelerin çentik darbe dayanımı sıcaklığa bağlı olarak değişir. Çentik darbe deneyi esnasında numune sıcaklığı ile deney öncesi ölçülen sıcaklık değeri arasında ± 2 °C'den fazla fark olmaması gerekmektedir. Bu çalışmada çentik darbe deneyi, oda sıcaklığında yapılmıştır.

Şekil 5.14'de V çentikli charpy deney örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.14. V çentikli charpy deney örneği
(TS EN ISO 148-1, 2017)

Çentik darbe sonucu aşağıdaki parametreler bağlıdır:

➤ Çentik etkisi

Çentikli malzeme zorlandığında, çentiğin tabanında dik bir gerilme meydana getirir. Malzemede kırılmanın başlangıcı, bu gerilmelerin etkisiyle oluşur. Malzemede açılan çentiğin açısı azaldıkça darbe direnci azalmakta ve aynı zamanda malzeme daha kırılğan hale gelmektedir.

➤ Sıcaklık etkisi

Genelde deney sıcaklığı düştükçe malzemelerin darbe direnci de azalmaktadır. Sıcaklık düştükçe, malzeme süneklikten gevrekliğe geçer. Malzemede gevrek kırılmanın yaşandığı sıcaklığa ise sünek-gevrek geçiş sıcaklığı denir.

Malzemelerin darbe direncindeki düşme, sıcaklıkla orantılı olarak aniden olabilir ya da belirli bir sıcaklık aralığında meydana gelebilir.

➤ Bileşimin (kafes yapısı) etkisi

Sadece HMK yapıdaki malzemelerde gevrek-sünek geçiş sıcaklığı görülür. Bu durumun nedeni, HMK yapının düşük sıcaklıklarda sınırlı sayıda aktif kayma sistemine sahip olmasıdır. Bu ise plastik deformasyonu sınırlayan bir durumdur. YMK yapıya sahip metallerde ise gevrek-sünek geçiş sıcaklığı görülmez, sıcaklık değişimlerinden de çentik darbe dayanımı çok etkilenmez.

➤ Haddelene yönünün etkisi

Haddelenmiş malzemelerde, çentik darbe direnci levhanın farklı yönlerinde farklı değerlerde olur. Eğer çentikli numune, levhanın haddelene yönüne dik alınırsa sıcaklık arttıkça darbe direnci daha az, levhanın haddelene yönüne paralel alınırsa darbe direnci daha fazla olur.

➤ Üretim yöntemi

Üretim yöntemi söndürülmemiş olan çeliğin geçiş sıcaklığı, Al ile söndürülmüş çeliğin geçiş sıcaklığından daha yüksek olmaktadır.

➤ Isıl işlem

Isıl işlem görmüş bir çelik normalize işlemine tabi olduğunda, çentik darbe tokluğu da artmaktadır. Malzemenin temperleme sıcaklığı arttıkça, enerji absorbe etme yeteneği de orantılı bir şekilde artmaktadır.

➤ Yüzey durumu

Çeliklerin yüzeyleri, karbürleme ve nitrürleme işlemleriyle sertleştirilmiş ise çentik darbe dirençleri azalmaktadır.

➤ Tane büyüklüğü

Genelde ince taneli malzemeler, kalın taneli malzemelerden daha düşük bir sünek-gevrek geçiş sıcaklığına sahiptirler (Manisa Celal Bayar Üniversitesi, 2017).

Çentik darbe deneyinin sonucunda aşağıdaki sonuçlar bulunur:

- Sünek – gevrek geçiş sıcaklığı
- Çentik duyarlılığı, yorulma ömrü, tokluk değeri

Bu çalışmada, çentik darbe deneyleri INSTRON SI-1K3 marka cihazda yapılmış olup numuneler, oda sıcaklığında hazırlanmıştır.

entik darbe deneyinin yapıldığı cihaz şekil 5.15'te gösterilmiştir.



şekil 5.15. entik darbe deneyi cihazı

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

6.1 Çekme Deneyi Bulguları

6.1.1 4043 Dolgu Teli ile Kaynatılmış Numunelerinin Çekme Deneyi Bulguları

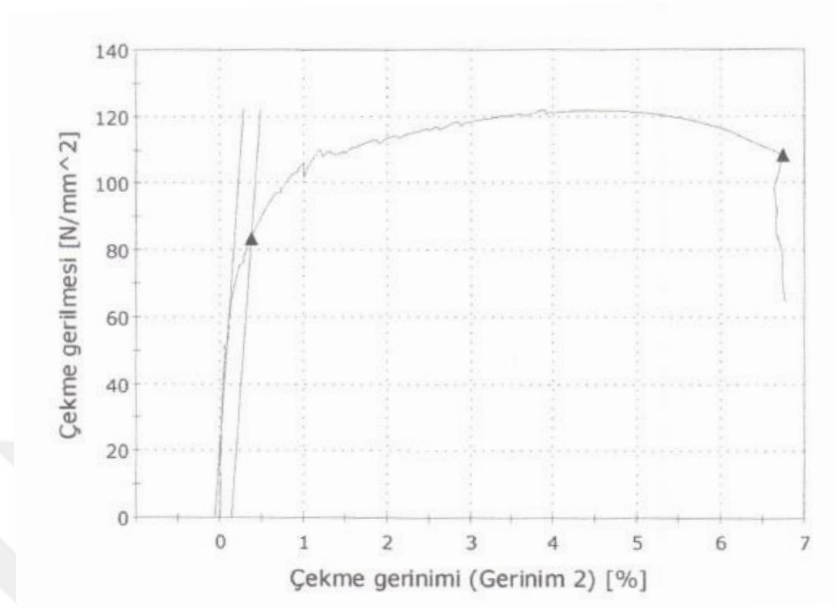
6082 serisi alüminyum parçaları, II ve V kaynak ağzı açılıp 4043 dolgu teli kullanılarak kaynaklanmış olup akım şiddeti 150, 155, 160 amper seçilmiştir. Kaynak yapılan parçalar uygun yerlerden kesilerek çekme numuneleri çıkarılmıştır.

Alüminyum deney numunelerinin çekme deneyinin yapılması Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



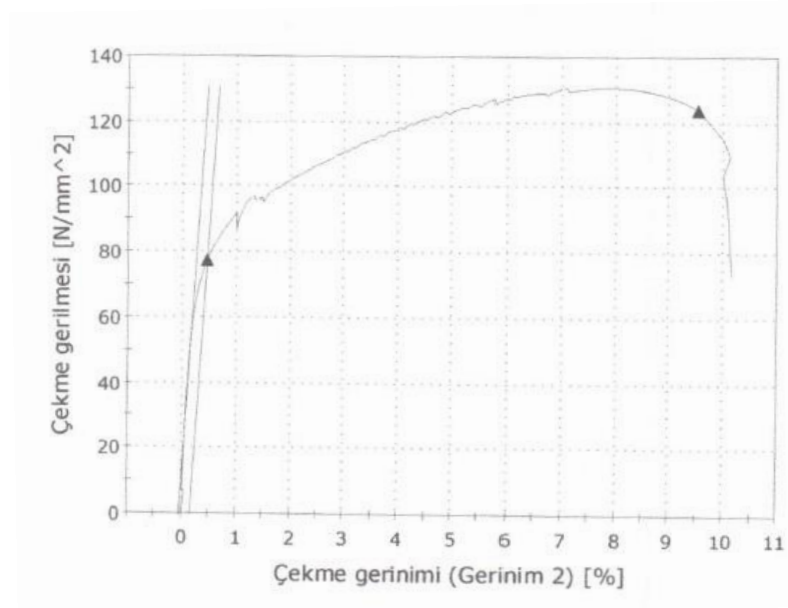
Şekil 6.1. Kaynak numunesinin çekme deneyi yapılması sırasında bir fotoğraf

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 4001 numaralı numune için Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



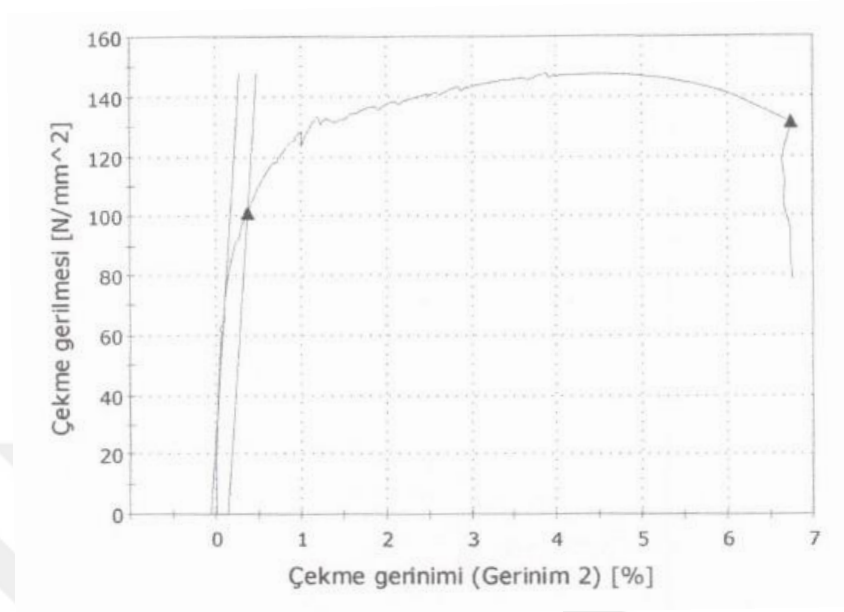
Şekil 6.2. Gerilme-gerinim grafiği – 4001

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 4002 numaralı numune için şekil 6.3’te gösterilmiştir.



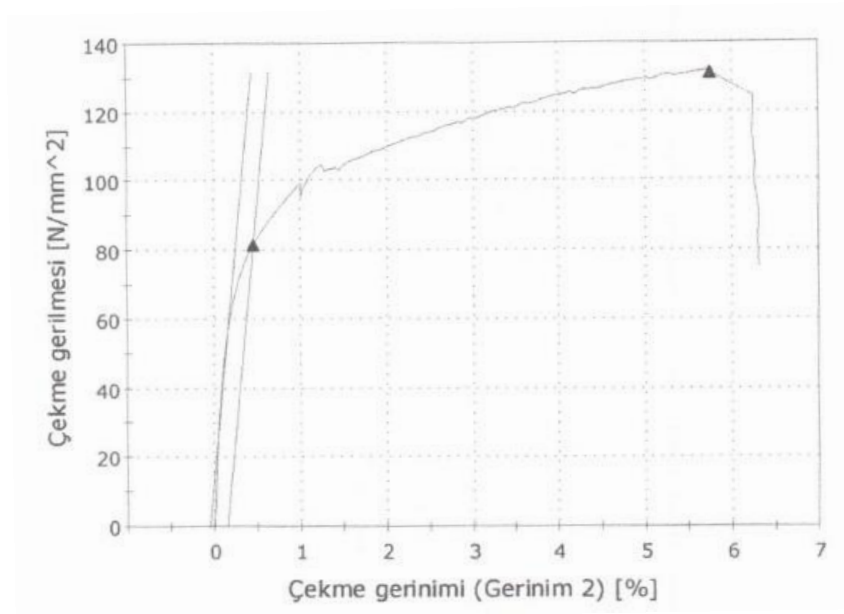
Şekil 6.3. Gerilme-gerinim grafiği – 4002

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 4003 numaralı numune için şekil 6.4'de gösterilmiştir.



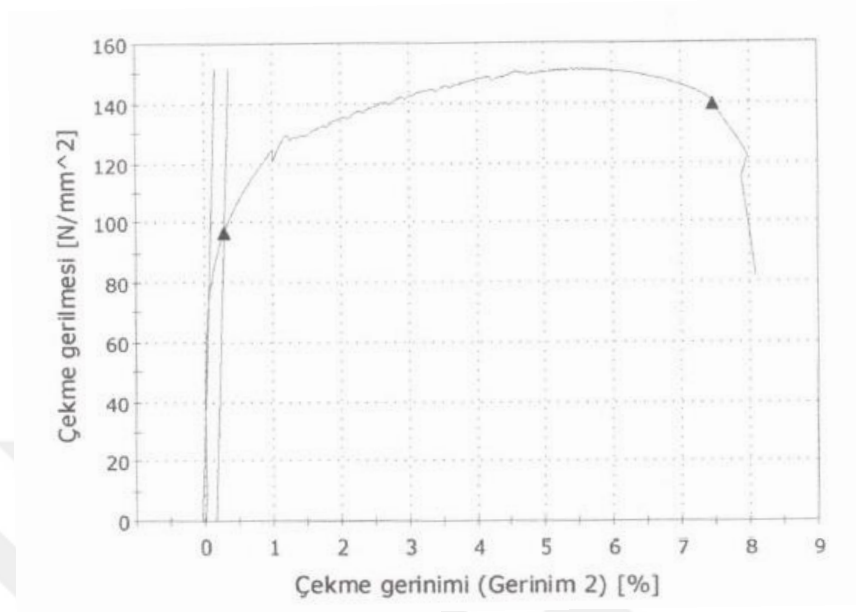
Şekil 6.4. Gerilme-gerinim grafiği – 4003

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 4004 numaralı numune için şekil 6.5'de gösterilmiştir.



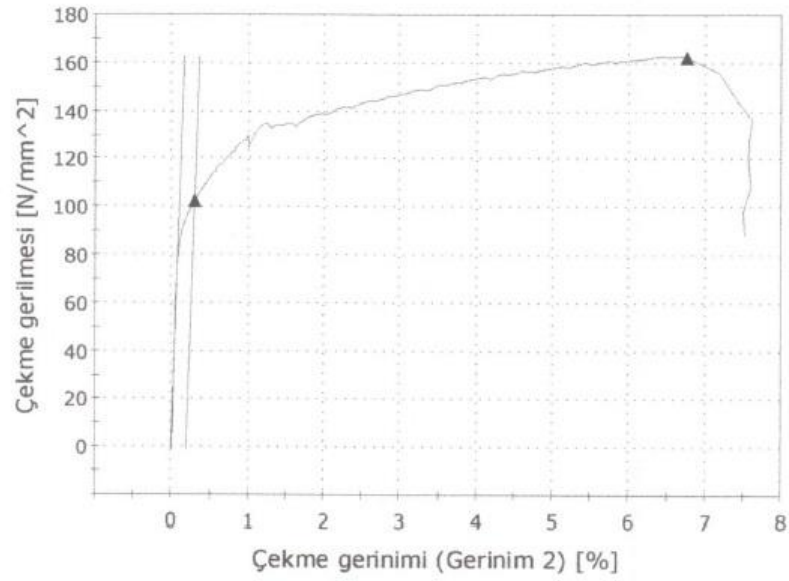
Şekil 6.5. Gerilme-gerinim grafiği – 4004

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 4005 numaralı numune için şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Gerilme-gerinim grafiği – 4005

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 4006 numaralı numune için şekil 6.7'de gösterilmiştir.

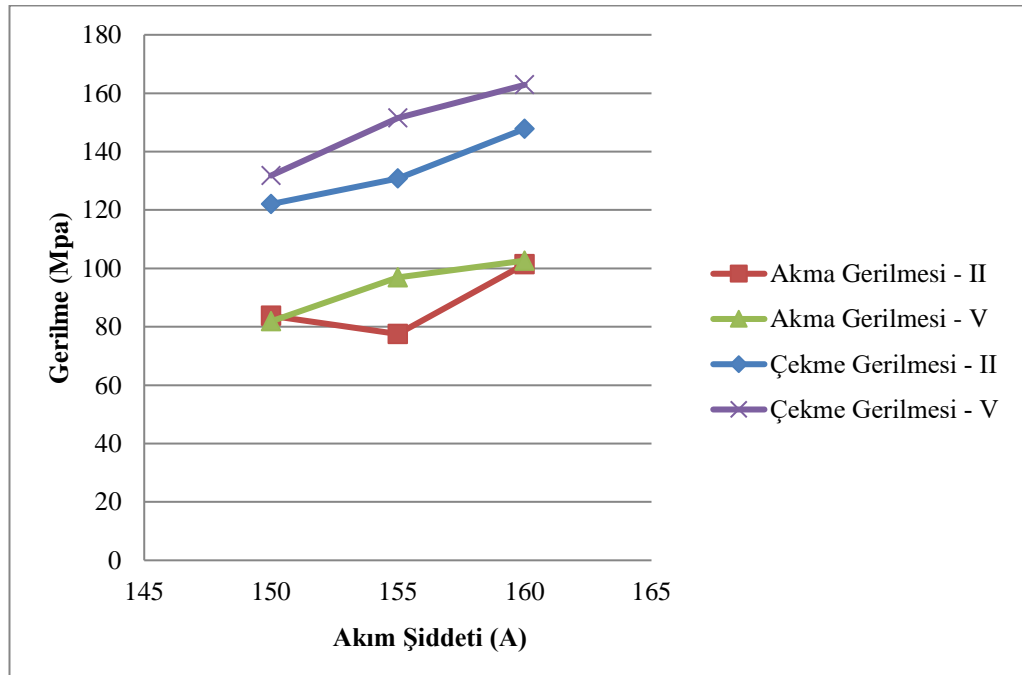


Şekil 6.7. Gerilme-gerinim grafiği – 4006

Alüminyum numuneler için çekme deneyi, 300 kN kapasiteli INTRON 300DX marka cihazda yapılmış olup çekme hızı 2 mm/dk'dır. Çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. 4000 numaralı V ve II kaynak ağzı açılmış numuneler için akma ve çekme gerilmeleri, akım şiddetine bağlı gerilme grafiği olarak Şekil 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. 4000 serisi numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numune	Kaynak Ağzı	Akım Şiddeti (A)	Akma Gerilmesi (N/mm^2)	Çekme Gerilmesi (N/mm^2)	% Uzama
4001	II	150	83,74	122,03	6,72
4002	II	155	77,52	130,78	9,51
4003	II	160	101,42	147,79	6,72
4004	V	150	81,85	131,79	5,73
4005	V	155	96,93	151,53	7,45
4006	V	160	102,66	162,86	6,75



Şekil 6.8. 4000 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı akma ve çekme gerilmesi

Şekil 6.8 akma gerilmesi değerleri açısından incelendiğinde 4000 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddeti arttıkça akma gerilmesi de artış göstermektedir. Burada V kaynak ağzı açılmış numunelerin, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre benzer akma gerilmesi sonucu verdiği görülmüş olup yalnız 4002 numaralı numunede bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüşün, ise sertleşme etkisiyle olduğu düşünülmektedir.

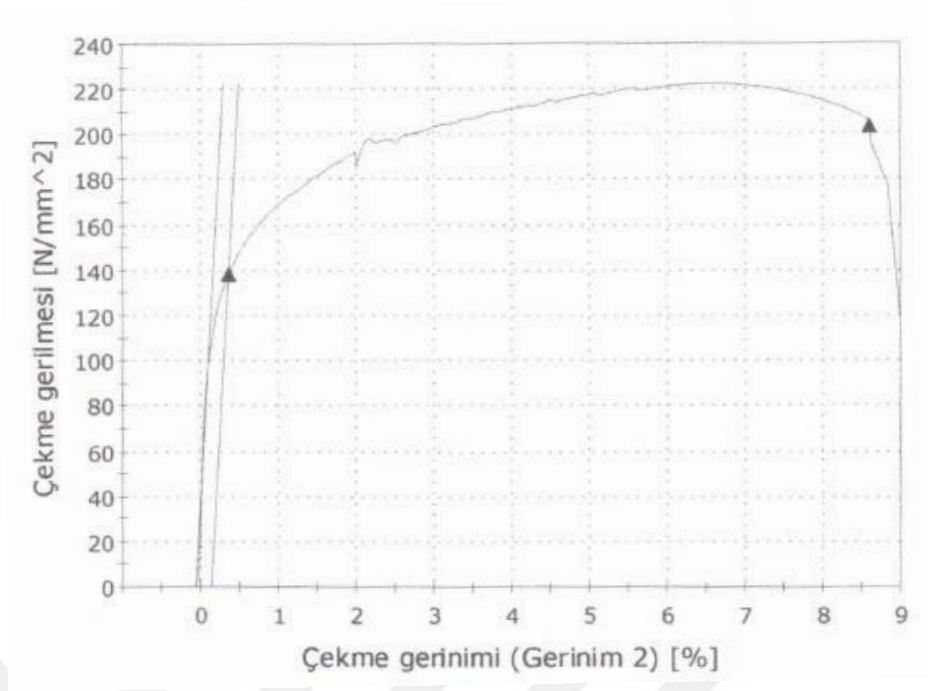
Çekme gerilmesi değerleri açısından incelendiğinde ise 4000 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddeti artarken çekme gerilmesi artmış olup en yüksek çekme dayanımı değerlerine V kaynak ağzı açılmış numunelerde görüldüğü gözlemlenmiştir.

% uzama açısından incelendiği 4000 serisi numunelerde akım şiddetinin genel olarak % uzamayı etkilemediği görülmüştür. Ayrıca V kaynak ağzı açılmış numunelerin, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre % uzamasının genel olarak daha az olduğu görülmüştür. Bu da V kaynak ağzılı numunelerin kaynak metallerinin daha sert olduğunu göstermektedir.

6.1.2 5183 Dolgu Teli ile Kaynatılmış Numunelerinin Çekme Deneyi Bulguları

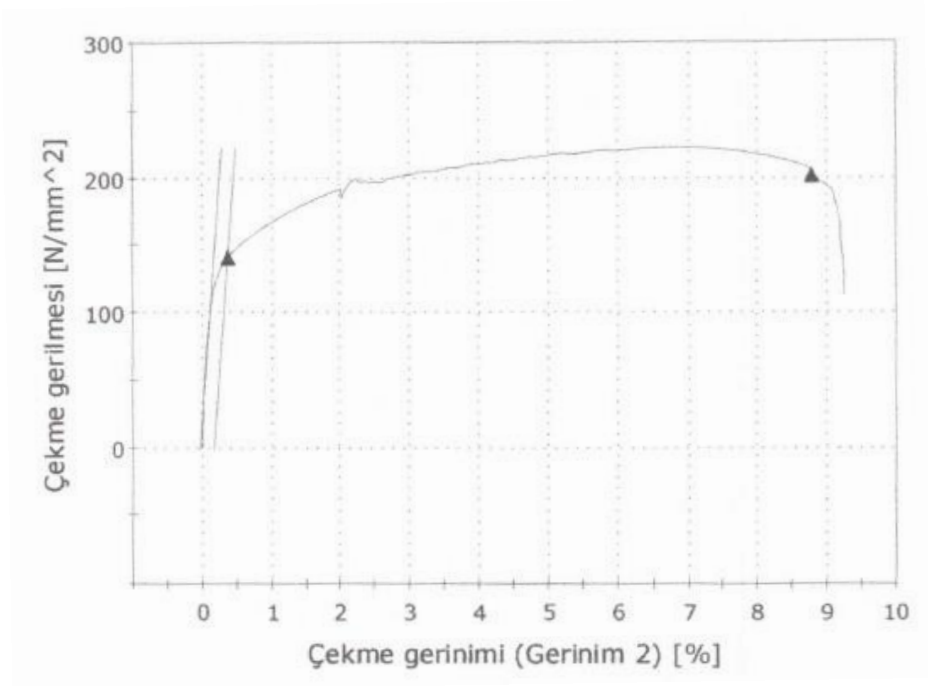
6082 serisi alüminyum parçaları, II ve V kaynak ağzı açılıp 5183 dolgu teli kullanılarak kaynaklanmış olup akım şiddeti 150, 155, 160 amper seçilmiştir. Kaynak yapılan parçalar uygun yerlerden kesilerek çekme numuneleri çıkarılmıştır.

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 5101 numaralı numune için Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



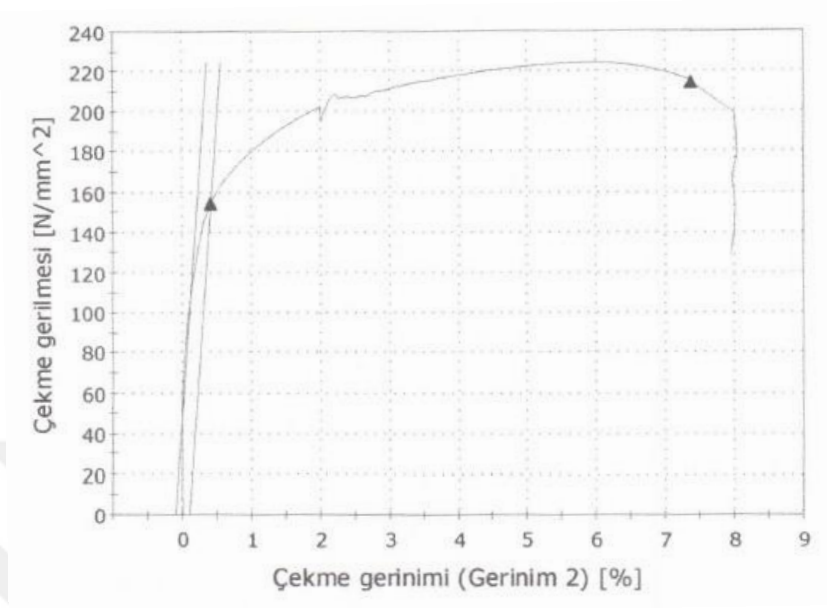
Şekil 6.9. Gerilme-gerinim grafiği – 5101

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 5102 numaralı numune için Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



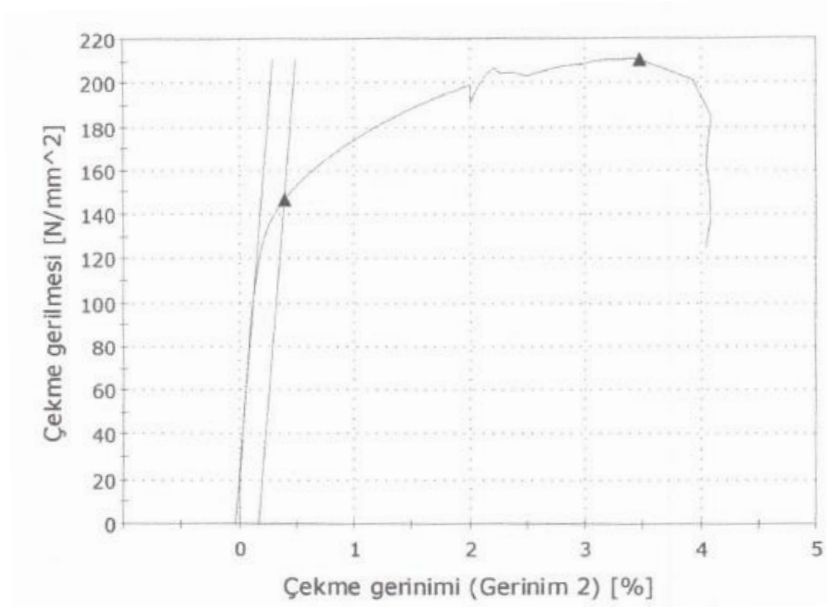
Şekil 6.10. Gerilme-gerinim grafiği – 5102

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 5103 numaralı numune için Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



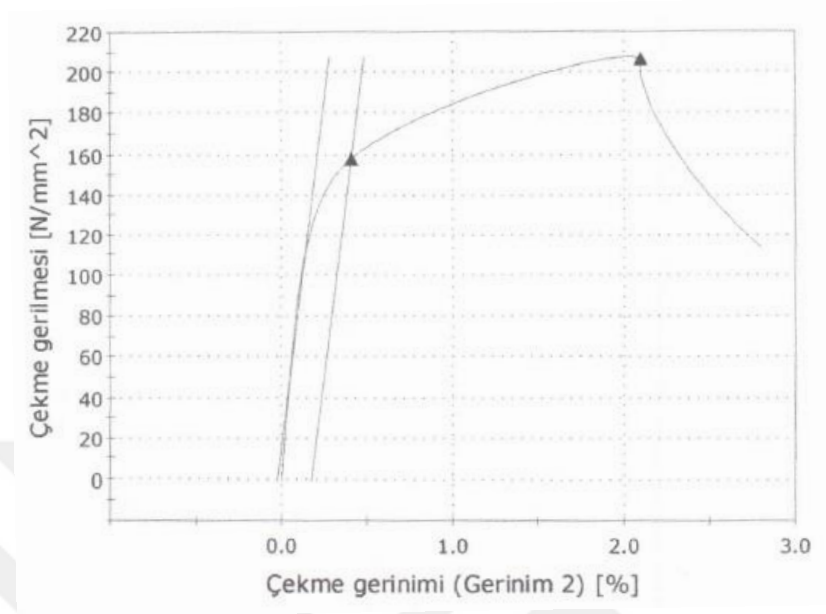
Şekil 6.11. Gerilme-gerinim grafiği – 5103

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 5104 numaralı numune için Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



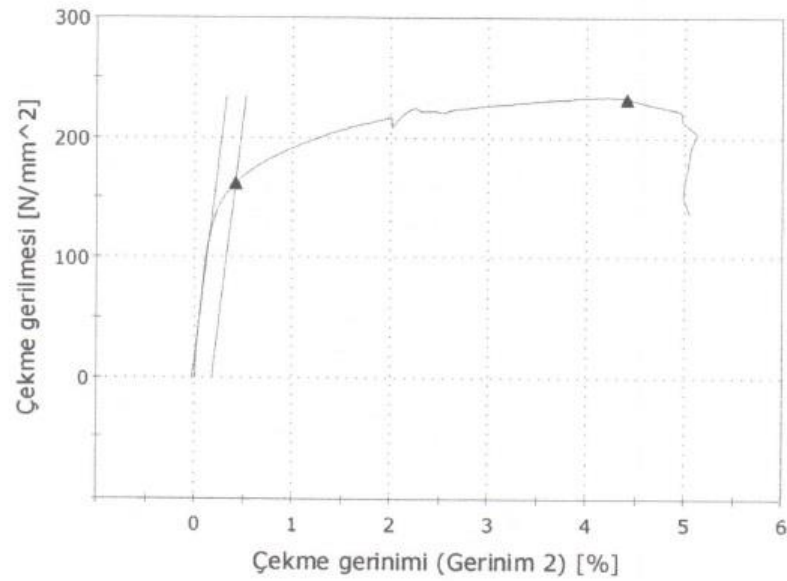
Şekil 6.12. Gerilme-gerinim grafiği – 5104

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 5105 numaralı numune için Şekil 6.13’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Gerilme-gerinim grafiği – 5105

Çekme deneyi sonucu ortaya çıkan gerilme-gerinim grafiği, 5106 numaralı numune için Şekil 6.14’te gösterilmiştir.

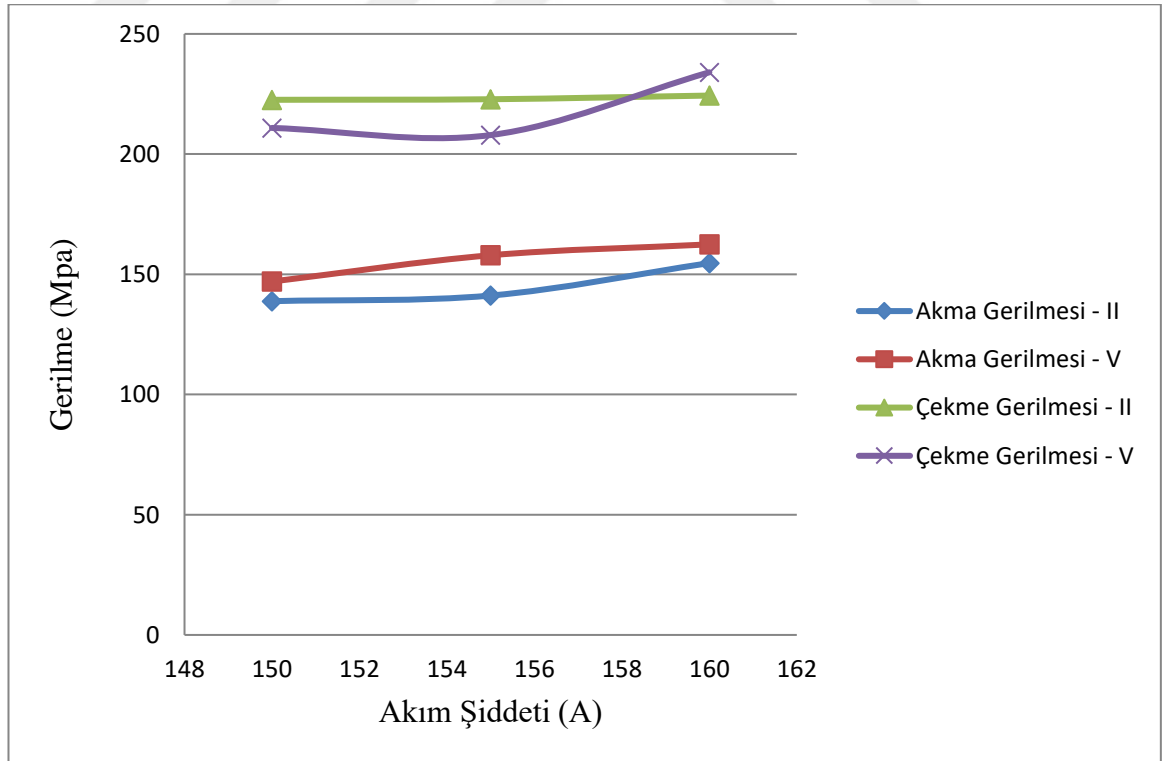


Şekil 6.14. Gerilme-gerinim grafiği – 5106

Alüminyum numuneler için çekme deneyi, 300 kN kapasiteli INTRON 300DX marka cihazda yapılmış olup sonuçlar çizelge 6.2’de gösterilmiştir. 5100 numaralı V ve II kaynak ağzı açılmış numuneler için akma ve çekme gerilmeleri, akım şiddetine bağlı gerilme grafiği olarak şekil 6.15’te verilmiştir.

Çizelge 6.2. 5100 serisi numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numune	Kaynak Ağzı	Akım Şiddeti (A)	Akma Gerilmesi (N/mm^2)	Çekme Gerilmesi (N/mm^2)	% Uzama
5101	II	150	138,83	222,59	8,58
5102	II	155	141,17	222,83	8,76
5103	II	160	154,67	224,36	7,35
5104	V	150	147	210,9	3,47
5105	V	155	157,94	207,92	2,1
5106	V	160	162,45	234,03	4,4



Şekil 6.15. 5100 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı akma ve çekme gerilmesi

Şekil 6.15 akma gerilmesi değerleri açısından incelendiğinde 5100 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numuneler incelendiğinde akım şiddeti artarken akma gerilmesi de artmıştır. Ayrıca V kaynak ağzı açılmış numunelerin, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre akma gerilmesinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Buradan çıkan sonuç şudur ki, akım şiddeti arttırıldığında (150-160 A arası) akma gerilmesinin de genel olarak arttığı yönündedir.

Çekme gerilmesi değerleri açısından incelendiğinde ise 5100 serisi II ve V kaynak ağzı açılmış numunelerde ise 4000 serisi numunelerden farklı olarak akım şiddeti arttıkça çekme gerilmesi genel olarak çok fazla bir değişkenlik göstermemiştir. Burada en fazla çekme dayanımına sahip numune 5106 numaralı numune olduğu gözlemlenmiştir.

% uzama açısından incelendiği 5100 serisi numunelerde ise % uzamanın V kaynak ağzı açılmış numunelerde, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre çok azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak da numunelerde bir sertleşme olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır.

6.2 Çentik Darbe Deneyi Bulguları

6082 serisi alüminyum parçaları, II ve V kaynak ağzı açılıp 4043 ve 5183 dolgu telleri kullanılarak kaynaklanmış olup akım şiddeti 150, 155, 160 amper seçilmiştir. Kaynak yapılan parçalar uygun yerlerden kesilerek çentik darbe numuneleri çıkarılmıştır.

Çentik darbe numuneleri 5x10x55 mm boyutlarında kesilmiş olup numunelere 2 mm derinliğinde V çentik açılmıştır. Çentik darbe deneyi, oda sıcaklığında yapılmıştır.

Alüminyum deney numunelerinin çentik darbe deneyinin yapılması Şekil 6.16'da gösterilmiştir.

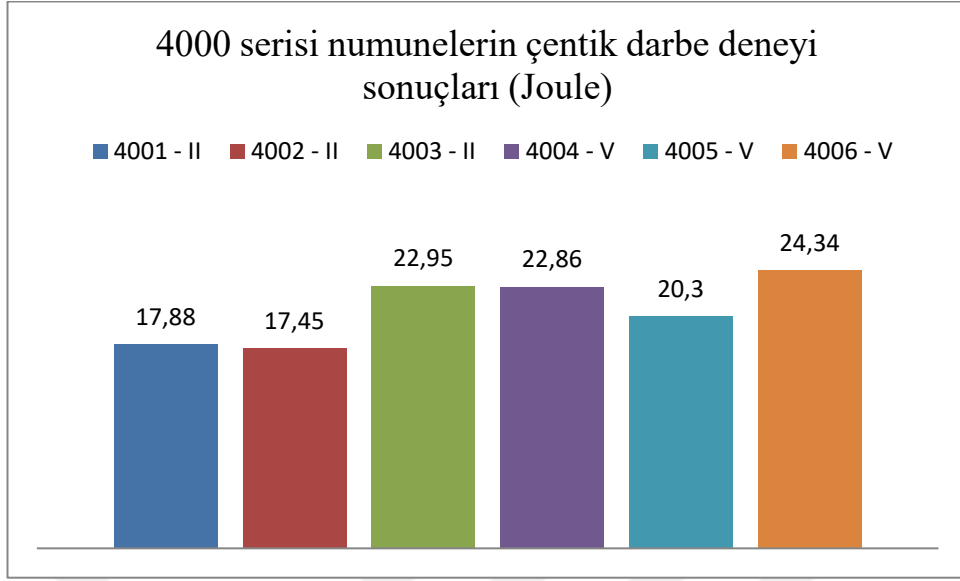


Şekil 6.16. Kaynak numunesinin çentik darbe deneyi yapılması sırasında bir fotoğraf

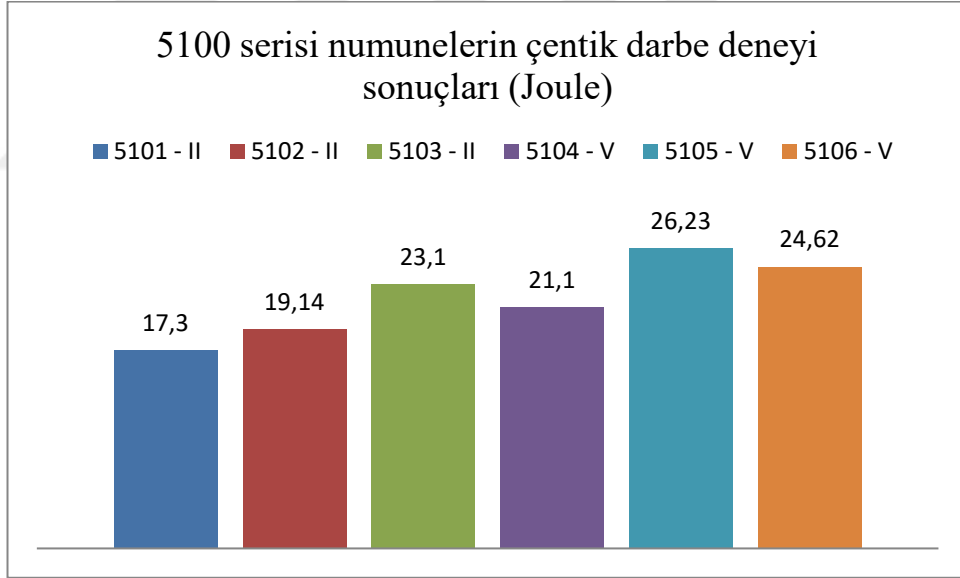
Alüminyum numuneler için çentik darbe deneyi, INTRON SI-1K3 marka cihazda yapılmış olup sonuçlar Çizelge 6.3'te gösterilmiştir. 4000 ve 5100 numaralı V ve II kaynak ağzı açılmış numuneler için çentik darbe enerjisi, akım şiddetine bağlı grafiği olarak şekil 6.17 ve 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. 4000 ve 5100 serisi numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları

Numune	Kaynak Ağzı	Akım Şiddeti (A)	Çentik Darbe Enerjisi (Joule)
4001	II	150	17,88
4002	II	155	17,45
4003	II	160	22,95
4004	V	150	22,86
4005	V	155	20,3
4006	V	160	24,34
5101	II	150	17,3
5102	II	155	19,14
5103	II	160	23,1
5104	V	150	21,1
5105	V	155	26,23
5106	V	160	24,62



Şekil 6.17. 4000 serisi II ve V kaynak ağızı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı çentik darbe enerjisi



Şekil 6.18. 5100 serisi II ve V kaynak ağızı açılmış numunelerde akım şiddetine bağlı çentik darbe enerjisi

Şekil 6.17 ve 6.18 çentik darbe enerjisi açısından incelendiğinde 4000 ve 5100 serisi numunelerde benzer olarak değiştiği görülmüştür. Çentik darbe enerjisinin genel olarak tüm numunelerde akım şiddetiyle doğru orantılı olmadığı ortaya çıkmıştır. Burada belirleyici etken, kaynak ağızları olmuştur. Çentik darbe

enerjisinin, V kaynak ağızı açılmış numunelerde, II kaynak ağızı açılmış numunelere göre daha fazla olduğu sonucu gözlemlenmiştir.

6.3 Vickers Sertlik Deneyi Bulguları

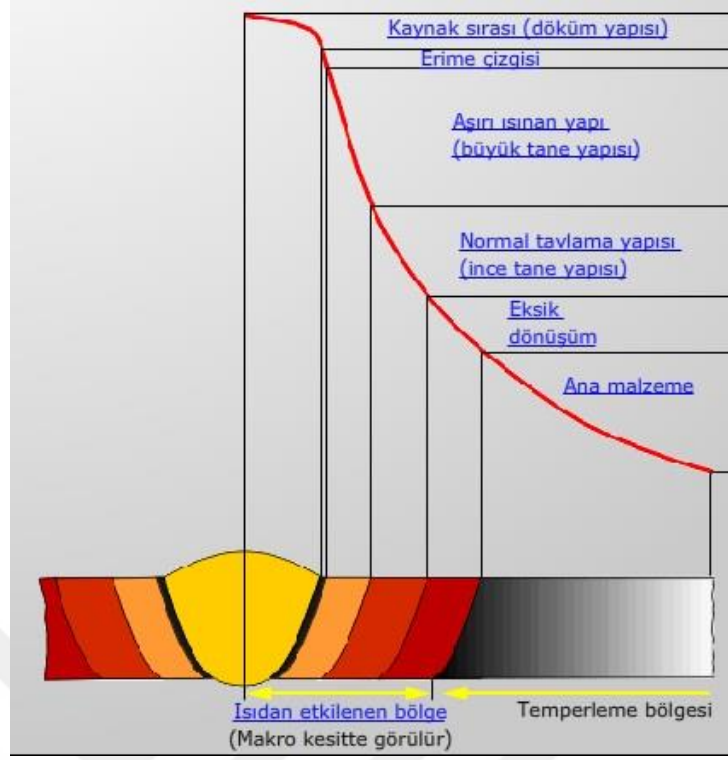
Alüminyum malzemelerin kaynaklanması esnasındaki ısı girdisinden dolayı tane yapısında, mukavemet ve sertliklerinde birtakım değişiklikler olmaktadır. Isı girdisinden kaynaklanan bu değişiklikler, kaynak parametrelerine bağlıdır. Bunların tespiti açısından da vickers sertlik deneyi yapılmıştır.

MIG yöntemi uygulanmış plakalardan alınan sertlik inceleme numuneleri üzerinde, ana malzemeden kaynak metaline ve kaynak metalinden ana malzemeye doğru bir sıra boyunca sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 3 kgf deney yükü ile (HV3) yapılan vickers sertlik tarama sonuçları verilmiştir (bkz. Çizelge 6.4). Bütün numunelerin sertlik eğrileri incelendiğinde, literatüre uygun üç bölgede sertlik dağılımının değiştiği görülmektedir.

Vickers sertlik numunelerinin deney öncesi durumları Şekil 6.19a'da, deney sonrası durumları ise Şekil 6.19b'de verilmiştir.



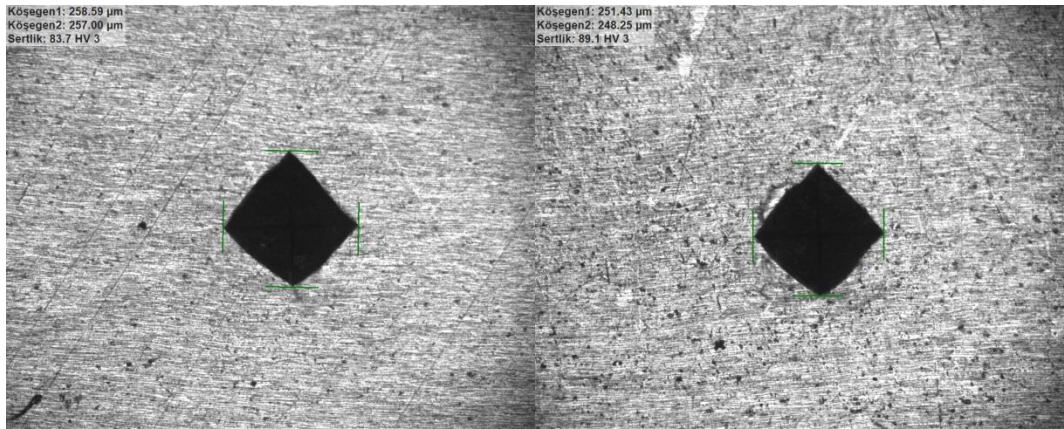
Şekil 6.19. Makro Vickers sertlik numuneleri a) deney öncesi, b) deney sonrası



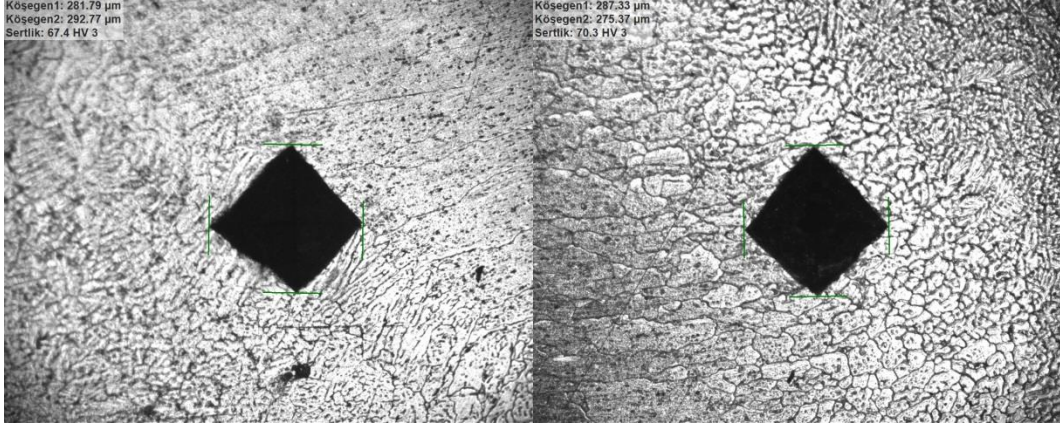
Şekil 6.20. Isı tesiri altındaki bölgenin bölümleri

Şekil 6.20’de kaynağın, ısı tesiri altındaki bölgenin bölümlerine ve ana malzemeye etkisi görülmektedir.

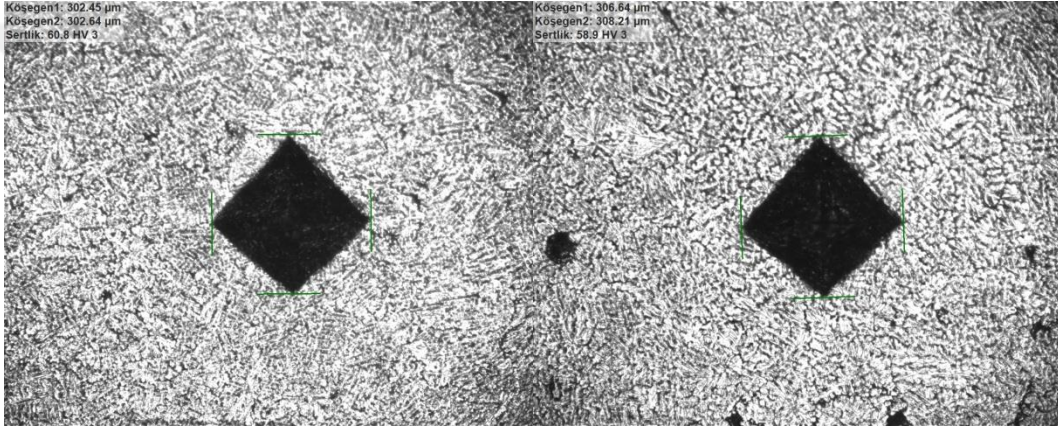
Ayrıca alüminyum malzeme numunelerin ana malzeme, erime çizgisi (veya ısıdan etkilenen bölge) ve kaynak metali bölgelerine sertlik taraması yapılmış ve bu bölgelerin makro fotoğrafları Şekil 6.21, 6.22 ve 6.23’te gösterilmiştir.



Şekil 6.21. Ana malzemenin sertlik fotoğrafı



Şekil 6.22. Isı tesiri altındaki bölgenin sertlik fotoğrafı



Şekil 6.23. Kaynak metalinin sertlik fotoğrafı

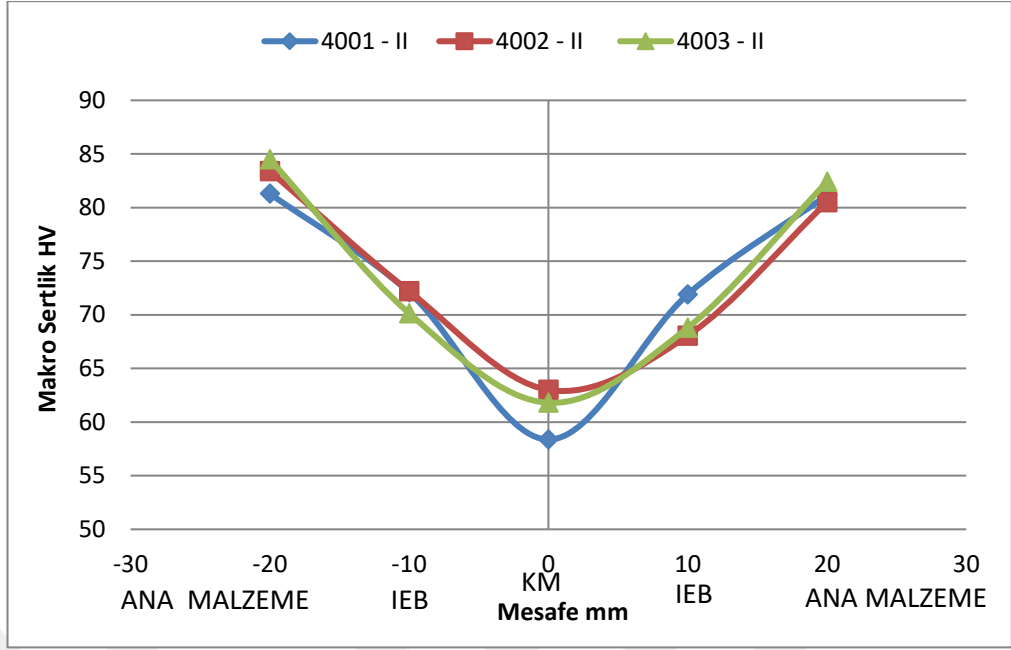
Alüminyum numuneler için vickers sertlik deneyi, Qness Q750 M marka cihazda ana malzeme, erime çizgisi (veya ısıdan etkilenen bölge) ve kaynak metal olmak üzere üç farklı bölgeden HV3 ile ölçümler yapılmış olup her bölgeden alınan üç farklı sertlik ölçümünün ortalaması alınarak sonuçlar Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. 4000 ve 5100 serisi numunelerin vickers sertlik deneyi sonuçları

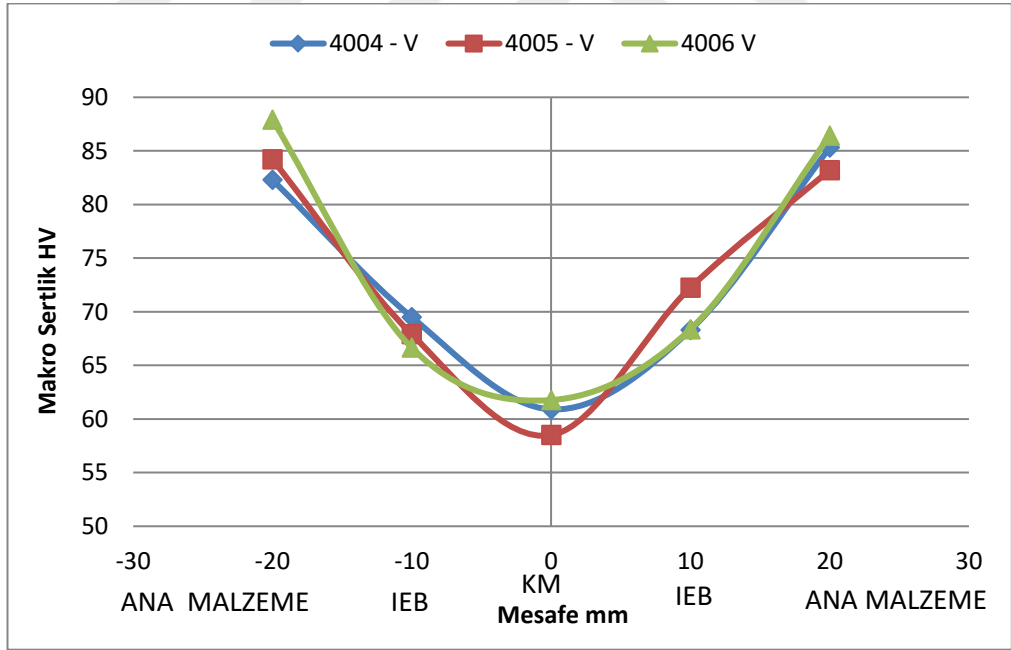
Numune	Ana Malzeme (HV)	IEB (Isıdan etkilenen bölge) (HV)	KM (Kaynak Metali) (HV)	IEB (Isıdan etkilenen bölge) (HV)	Ana Malzeme (HV)
4001	81,3	72,1	59,37	71,9	81,15
4002	83,4	72,2	63	68,05	80,5
4003	84,5	70,15	61,8	68,8	82,4
4004	82,3	69,5	60,9	68,3	85,3
4005	84,2	67,9	58,5	72,25	83,2
4006	87,9	66,64	61,77	68,37	86,4
5101	88,65	68	60,6	71,33	81,75
5102	80,4	70,54	61,15	78,34	86,25
5103	86,05	72,8	66,97	74,37	78,88
5104	81,75	65,6	57,4	66,05	83,7
5105	81,8	73,2	62,6	73,7	84,3
5106	81,85	72,15	63,96	76,24	82

Tüm numunelerde ana metalden alınan sertlik değerlerinin aynı olmaması nedeni değişken kaynak parametrelerinin meydana getirdiği ısı etkisinin farklı olmasıdır.

4000 numaralı V ve II kaynak ağzı açılmış numuneler için sertlik deneylerinin ölçüm sonucu şekil 6.24 ve 6.25’de verilmiştir. 5100 numaralı V ve II kaynak ağzı açılmış numuneler için sertlik deneylerinin ölçüm sonucu şekil 6.26 ve 6.27’de verilmiştir.



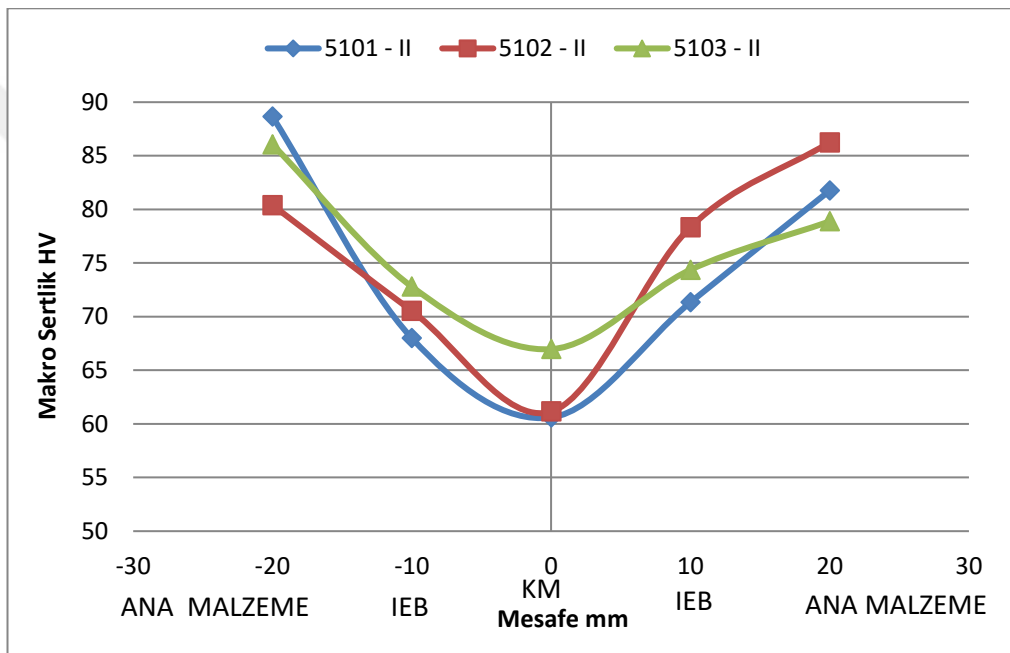
Şekil 6.24. 4000 serisi II kaynak ağızı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü



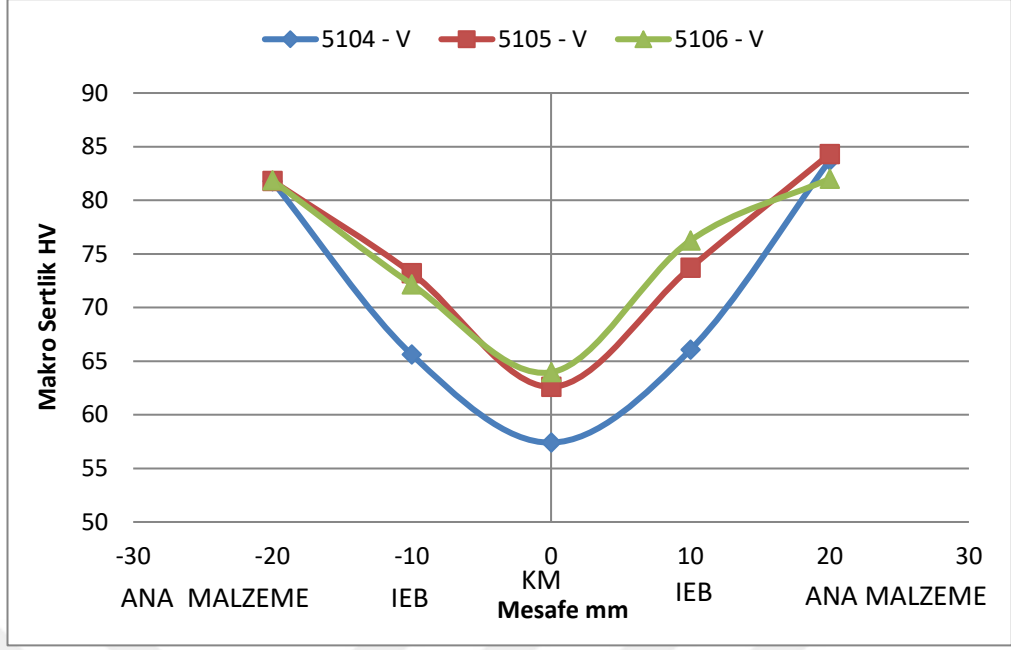
Şekil 6.25. 4000 serisi V kaynak ağızı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü

Şekil 6.24 ve şekil 6.25 vickers sertlik değeri açısından incelendiğinde, 4000 serisi numuneler için ana malzemeden IEB'ye ve IEB'den KM'ye doğru gidildikçe sertlik değerinin düştüğü görülmüştür. Bu sertlik düşüşü, KM'de iri tane yapısından kaynaklanmaktadır. Kaynak tellerinin özellikleri incelendiğinde 6082-T6 alüminyum malzeme açısından burada sertliğin ana malzemeye göre düşük olması literatüre uygundur.

Genel olarak 4000 serisi numunelerde II ve V kaynak ağızları açısından incelendiğinde, akım şiddetinin arttıkça sertliğin de kısmen arttığı görülmektedir.



Şekil 6.26. 5100 serisi II kaynak ağızı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü



Şekil 6.27. 5100 serisi V kaynak ağızı açılmış numunelerde vickers sertlik ölçümü

Şekil 6.26 ve şekil 6.27 vickers sertlik değeri açısından incelendiğinde, 5100 serisi numuneler için ana malzemeden IEB'ye ve IEB'den KM'ye doğru gidildikçe sertlik değerinin düştüğü görülmüştür. Kaynak tellerinin özellikleri incelendiğinde 6082-T6 alüminyum malzeme açısından burada sertliğin ana malzemeye göre düşük olması literatüre uygundur.

Genel olarak 5100 serisi numunelerde II ve V kaynak ağızları incelendiğinde, akım şiddetinin arttıkça sertliğin de arttığı görülmektedir. Bunun nedeni artan akım şiddeti ile ısı girdisinin artması ve soğuma hızının azalmasına ve tanelerin incelmesidir.

4000 ve 5100 numaralı malzemeler karşılaştırıldığında ise kaynak metalinin farklı olmasının, sertlik değerine pek bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak II ve V kaynak ağızları karşılaştırıldığında en düşük sertliğin her iki dolgu telinde de V kaynak ağızlı numunelerde ölçüldüğü görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, vagon gövdesini oluşturacak olan 6082-T6 5mm kalınlıktaki alüminyum malzemesi, farklı akım şiddetleri, kaynak metalleri ve kaynak ağızları ile MIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesi sonrası mekanik olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan birleştirmelerin çekme, çentik darbe ve sertlik incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre ilave metaller ve kaynak ağızları karşılaştırılmıştır.

Akma gerilmesi değerleri açısından incelendiğinde 4000 serisi II ve V kaynak ağızı açılmış numunelerde akım şiddeti arttıkça akma gerilmesi de artış göstermektedir. Burada V kaynak ağızı açılmış numunelerin, II kaynak ağızı açılmış numunelere göre benzer akma gerilmesi verdiği görülmüş olup yalnız 4002 numaralı numunede bir düşüş gözlemlenmiştir. 5100 serisi II ve V kaynak ağızı açılmış numuneler incelendiğinde ise akım şiddeti artarken akma gerilmesi de artmıştır. Ayrıca V kaynak ağızı açılmış numunelerin, II kaynak ağızı açılmış numunelere göre akma gerilmesinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Buradan çıkan sonuç şudur ki, akım şiddeti arttırıldığında (150-160 A arası) akma gerilmesinin de genel olarak arttığı yönündedir.

Çekme gerilmesi değerleri açısından incelendiğinde ise 4000 serisi II ve V kaynak ağızı açılmış numunelerde akım şiddeti artarken çekme gerilmesi artmış olup en yüksek çekme dayanımı değerlerine V kaynak ağızı açılmış numunelerde görüldüğü gözlemlenmiştir. 5100 serisi II ve V kaynak ağızı açılmış numunelerde ise 4000 serisi numunelerden farklı olarak akım şiddeti arttıkça çekme gerilmesi genel olarak çok fazla bir değişkenlik göstermemiştir. Burada en fazla çekme dayanımına sahip numune 5106 numaralı numune olduğu gözlemlenmiştir.

4000 ve 5100 serisi numuneler akma ve çekme gerilmeleri açısından bakıldığında literatüre ve dolgu tellerinin özelliklerine uygun sonuçlar çıktığı görülmüştür. Burada 5100 serisi numunelerin akma ve çekme gerilmeleri, 4000 serisi numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.

% uzama açısından incelendiği 4000 serisi numunelerde akım şiddetinin genel olarak % uzamayı etkilemediği görülmüştür. Ayrıca V kaynak ağzı açılmış numunelerin, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre % uzamasının genel olarak daha az olduğu görülmüştür. Bu da V kaynak ağzılı numunelerin kaynak metallere daha sert olduğunu göstermektedir. 5100 serisi numunelerde ise % uzamanın V kaynak ağzı açılmış numunelerde, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre çok azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak da numunelerde bir sertleşme olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır.

Çentik darbe enerjisi açısından incelendiğinde 4000 ve 5100 serisi numunelerde benzer olarak değiştiği görülmüştür. Çentik darbe enerjisinin genel olarak tüm numunelerde akım şiddetiyle doğru orantılı olmadığı ortaya çıkmıştır. Burada belirleyici etken, kaynak ağzları olmuştur. Çentik darbe enerjisinin, V kaynak ağzı açılmış numunelerde, II kaynak ağzı açılmış numunelere göre daha fazla olduğu sonucu gözlemlenmiştir.

Vickers sertlik değeri açısından incelendiğinde, 4000 ve 5100 serisi numuneler için ana malzemedan IEB'ye ve IEB'den KM'ye doğru gidildikçe sertlik değerinin düştüğü görülmüştür. Bu durum iri tane yapısından kaynaklanmaktadır. Kaynak tellerinin özellikleri incelendiğinde 6082-T6 alüminyum malzeme açısından burada sertliğin ana malzemeye göre düşük olması literatüre uygundur. Genel olarak 4000 ve 5100 serisi numunelerde II ve V kaynak ağzları incelendiğinde, akım şiddetinin arttıkça sertliğin de kısmen arttığı görülmektedir. Bunun nedeni artan akım şiddeti ile ısı girdisinin artması ve soğuma hızının azalmasına ve tanelerin incelmesidir. 4000 ve 5100 numaralı malzemeler karşılaştırıldığında ise kaynak metalinin farklı olmasının, sertlik değerine pek bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak II ve V kaynak ağzları karşılaştırıldığında en düşük sertliğin her iki dolgu telinde de V kaynak ağzılı numunelerde ölçüldüğü görülmüştür.

Bütün bu sonuçlar göz önüne alındığında; vagon gövdesinde kullanılacak 5 mm kalınlıktaki 6082-T6 alüminyum malzemesinin 5183 dolgu teli kullanılarak üretilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca testler ve verilerin değerlendirilmesi sonucu 5103 seri numaralı II kaynak ağzılı numune ile 5106 seri numaralı V kaynak

ağızlı numunenin değerleri en kullanılabilir ölçekte çıkmıştır. Burada çıkan sonuca göre en uygun değer 160 A olduğu gözlemlenmiştir.

5103 seri numaralı II kaynak ağızlı numune incelendiğinde akma gerilmesinin 154,67 N/mm², çekme gerilmesinin 224,36 N/mm² ve % uzamasının 7,35 olduğu ayrıca çentik darbe enerjisinin 23,1 J ve vickers sertlik değerinin de KM'de 66,97 HV ölçüldüğü görülmüştür.

Aynı şekilde 5106 seri numaralı V kaynak ağızlı numune incelendiğinde akma gerilmesinin 162,45 N/mm², çekme gerilmesinin 234,03 N/mm² ve % uzamasının 4,4 olduğu ayrıca çentik darbe enerjisinin 24,62 J ve vickers sertlik değerinin de KM'de 63,96 HV ölçüldüğü görülmüştür.

Bu numunelerin akma ve çekme gerilmelerinin yeterli seviyede oldukları görülmüştür. % uzama açısından bakıldığında 5106 seri numaralı numunenin daha düşük olduğu gözlemlenmiş, bu da deney esnasında numunede sertleşme olduğunu göstermektedir. Çentik darbe ve vickers sertlik değeri açısından da benzer değerleri verdiği görülmüştür. Çentik darbe enerjilerinin, diğer numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu ve vickers sertlik değerinin KM'de diğer numunelerden daha yüksek ve ana metale daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Burada 5103 ve 5106 seri numaralı numunelerin, diğer numunelere göre yeterli sertlikte, daha tok ve daha mukavemetli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Yukarıdaki bütün bu sonuçlar göz önüne alındığında vagon gövdesinde kullanılacak 5 mm kalınlıktaki 6082-T6 alüminyum malzemesinin II ve V kaynak ağızı açısından bakıldığında (5103 seri numaralı numune) akım şiddeti 160 A, 5183 dolgu teli ve II kaynak ağızı kullanılması önerilmektedir. Bunun nedeni olarak da bütün verilerin benzer olmasına karşın 5106 seri numaralı numunenin % uzama değerindeki düşüklüktür.

Günümüzde farklı özellikteki malzemelerin, farklı kaynak yöntemleri ile kaynaklanıp mühendislik uygulamalarında kullanılabilir. Bu aşamada ileride yapılacak çalışmalara yol göstermesi açısından aşağıdaki önerilerin göz önünde bulundurulması önemlidir.

- ✓ Alüminyumun yüksek ısı iletkenliği nedeniyle çeliklere göre kaynatılması daha zordur. Bu nedenle alüminyum kaynağında uygun parametreler belirlemek çok önemlidir.
- ✓ Kaynak sonrası hatalarla karşılaşmamak için malzemenin yüzeyi nem, yağ, kir vb. temizlenmelidir. Ayrıca alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası da mutlaka temizlenmelidir.
- ✓ Çalışmada 5mm kalınlığında alüminyum malzeme kullanılmıştır. Farklı kalınlıklarda çalışmalar yapılarak deneyin örneklem alanı genişletilebilir.
- ✓ Malzemelerin kaynatılması sonrası deney sonuçlarının daha iyi okunabilmesi için tahribatsız muayeneler yapılabilir. Ayrıca numunelerin deney sonrası makro ve mikro yapıları incelenebilir.
- ✓ Mühendislik uygulamalarında çok fazla kullanılan malzemelerin farklı kaynak metotlarında ve parametrelerindeki davranışını incelenebilir.

8. KAYNAKÇA

askaynak (2019) *SuperGlaze 4043*. 03 12, 2019 tarihinde https://www.askaynak.com.tr/contents/1569/20151228164931_superglaze-4043.pdf adresinden alındı

askaynak (2019) *SuperGlaze 5183*. 03 12, 2019 tarihinde https://www.askaynak.com.tr/contents/1570/20151228171429_superglaze-5183.pdf adresinden alındı

Askeland DR (1998) *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*. Nobel Yayın Dağıtım.

Bakar MA and Ahmad R (2011, Aralık) Effect of a Post Weld Heat Treatment on the Mechanical and Microstructure Properties of AA 6061 Joints Welded by the Gas Metal Arc Welding Cold Metal Transfer Method. *Materials and Design*, 32(10), 5120-5126.

Birr A, Mestral FD, Martin JM, Geoffroy N and Vittecoq E (2007, Ağustos) Fatigue Behavior of an Arc Welded Al-Si-Mg Alloy. *Scripta Materialia*, 57(4), 349-352.

Botana J, Rovira LG, Perez TD and Amaya JMS (2009, Eylül 15) Laser Welding of Aluminium Alloys 5083 and 6082 under Conduction Regime. *Applied Surface Science*, 255(23), 9512-9521.

Cavaliere P (2013) Friction Stir Welding of Al Alloys: Analysis of Processing Parameters Affecting Mechanical Behavior. *2nd International Through Life Engineering Services Conference, 11*, s. 139-144.

Ders N (2005) Ark. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.

Ders N (2009) Koruyucu Gaz Kaynağına Giriş. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.

Ders N (2012) Kaynak Tekniğine Genel Bakış. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.

- Ders N (2013) Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 1. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.
- Ders N (2013) Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 2. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.
- Ders N (2013) Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları 3. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.
- Ders N (2014) MIG/MAG Kaynağı. S. München, and M. ODTÜ Kaynak Teknolojisi içinde, *SLV München; ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi*. Ankara.
- Ericsson M and Sandström R (2003) Influence of Welding Speed on the Fatigue of Friction Stir Welds and Comparison with MIG and TIG. *International Journal of Fatigue*, 25(12), 1379-1387.
- Eryürek B (2006) *Kaynak Teknolojisi*. İstanbul: AsKaynak Veritas Basım Merkezi.
- Filippis LACD, Scialpi A and Cavaliere P (2007) Influence of Shoulder Geometry on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded 6082 Aluminium Alloy. *Materials and Design*, 28(4), 1124-1129.
- Fronius (2019) Mayıs 05, 2019 tarihinde fronius Web Sitesi: <https://www.fronius.com/tr-tr/turkey/kaynak-teknolojisi/ueruenler/manuel-kaynak/migmag/tpsi/tpsi/tps-400i> adresinden alındı
- Gedik (2019) *GeKa AlMg 4.5 Mn Aluminium Alloyed MIG Welding Wire*. 03 15, 2019 tarihinde <http://www.gedikwelding.com/product/almg-4-5-mn-aluminium-alloyed-mig-welding-wire> adresinden alındı
- Gedik (2019) *GeKa AlSi 5 Aluminium Alloyed MIG Weling Wire*. 03 15, 2019 tarihinde <http://www.gedikwelding.com/product/alsi-5-aluminium-alloyed-mig-weling-wire> adresinden alındı
- Gong WM, Ruan Y, Oiu XM, Sun DQ and Li YP (2012, Mart) Mechanical Properties and Microstructures of 6082-T6 Joint Welded by Twin Wire Metal Inert Gas Arc Welding with the SiO₂ Flux. *Materials and Design*, 35, 20-24.

Gündüz BB (2017, Kasım) 6082-T6 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, s. 11.

Harran Üniversitesi (2017) *Çekme Deneyi*. Mayıs 26, 2019 tarihinde http://web.harran.edu.tr/assets/uploads/other/files/MekanikDeneyFoyu_1.pdf adresinden alındı

Hayat F (2012, Ekim 30) Effect of Aging Treatment on the microstructure and Mechanical Properties of the Similer and Dissimiler 6061-T6 and 7075-T651 RSW Joints. *Materials Science and Engineering Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 556, 834-843.

Kaufmann JG (2000) *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. USA: ASM International

Magmaweld (2019) *MAL 4043*. 03 12, 2019 tarihinde <https://www.magmaweld.com.tr/urunoerlikon/da27de97-b489-441d-a636-6bc9bf88507b/mal-4043> adresinden alındı

Magmaweld (2019) *MAL 5183*. 03 12, 2019 tarihinde <https://www.magmaweld.com.tr/urunoerlikon/4d6e7150-5737-4bb2-832f-6374b208dac1/mal-5183> adresinden alındı

Manisa Celal Bayar Üniversitesi (2017) *Darbe Deneyi*. Mayıs 26, 2019 tarihinde http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/darbe.pdf adresinden alındı

Manisa Celal Bayar Üniversitesi (2017) *Sertlik Deneyi*. Mayıs 26, 2019 tarihinde http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/sertlik.pdf adresinden alındı

Mathers G (2002) *Welding of Aluminium and Its Alloys*. CRC Press.

Messler RW (2004, Mart) What's Next for Hybrid Welding? *Welding Journal*, 83(3), 30-34.

Pan D, Babu NK, Talari MK, Sun Z, Wei J and Sivaprasad K (2012, Aralık 14) Microstructural Characterization and Grain Refinement of AA 6082 Gas Tunsten Arc Welds by Scandium Modified Fillers. *Materials Chemistry and Physics*, 137(2), 543-551.

Santos T, Moreira PMGP, Tavares SMO, Trummer VR, Vilaça P and Castro PMSTD (2009, Ocak) Mechanical and Metallurgical Characterization of Friction Stir Welding Joints of AA6061-T6 with AA6082-T6. *Materials and Design*, 30(1), 180-187.

Smith WF (2001) *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*. Literatür Yayınları.

Şık A, Güngör B, Kaluç E and Taban E (2014, Şubat) Mechanical and Microstructural Properties of Robotic Cold Metal Transfer(CMT) Welded 5083-H111 and 6082-T651 Aluminum Alloys. *Materials and Design*, 54, 207-211.

TS EN 485-2 Standardı (2016, Aralık) Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları - Sac, Şerit ve Plaka - Bölüm 2: Mekanik Özellikler. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 573-3 Standardı (2014, Nisan) Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları - Kimyasal Bileşim ve Dövme Ürünlerinin Formu - Bölüm 3: Kimyasal Bileşimi ve Ürünlerin Formu. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN ISO 148-1 Standardı (2017, Ocak) Metalik malzemeler-Charpy vurma deneyi- Bölüm 1: Deney metodu. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN ISO 15614-2 Standardı (2007, Mart) Metalik Malzemeler için Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması- Kaynak Prosedürü Deneyi- Alüminyum ve Alaşımlarının Ark Kaynağı. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN ISO 6892-1 Standardı (2016, Aralık) Metalik malzemeler - Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu. Türk Standartları Enstitüsü.

Tülbentçi K (1993) Gaz Altı Kaynağı MIG-MAG Kaynağı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Tülbentçi K, Kaluç E and Anık S (1991) *Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı*. İstanbul: Gedik Holding Yayınevi.

Uzun M (2014, Haziran) MIG Kaynağı ile Birleştirilen 5000 Serisi Malzemenin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, s. 23.

Zeytin HK (2000) *Alüminyum Alaşımları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği*. MAM MKTAE Proje 50H5602.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Caner OZAN
Doğum Yeri ve Tarihi	: Bolu, 08.01.1987
Lisans Üniversite	: İstanbul Üniversitesi
Elektronik posta	: canerozan14@gmail.com
İletişim Adresi	: Bahçelievler Mahallesi Serdivan / Sakarya

