

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

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ TIG
KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Arif KARADAĞ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ

Mayıs 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

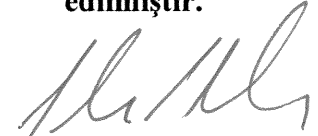
**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ TIG
KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Teknik Öğrt. Arif KARADAĞ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 21 / 06 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr. Erdiñç İLHAN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında gösterdikleri yardımlardan ötürü saygıdeğer danışmanım Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında yönlendirmeleri ve değerli bilgileri ile bana ışık tutan hocam, sayın Doç. Dr. Salim ASLANLAR' a, deneysel çalışmalarım sırasında ki yardımlarından ötürü Direnç Makine ve END. Denetim Şirketine, Damla Metalden Ömer TUNA' ya, Arş. Gör. Nuri ERGİN' e, Arş. Gör. Murat ÇOLAK' a ve arkadaşlarım Selim KIRLI, Fatih ÇELİK, Volkan KESKİN, Hakkı SÖNMEZ ile Elif ALTUNAY' a teşekkür ederim.

Ve yetiştirilip bugünlere gelmemde ki eşsiz fedakârlıkları ile bana her zaman destek olan çok kıymetli aileme yani babam Yusuf KARADAĞ' a, ablam Selma KARADAĞ GÖKÇE ve eşi Altay GÖKÇE' ye, ablam Nejla KARADAĞ' a, kardeşim Mirza KARADAĞ' a ve özellikle manevi desteğini hayatımın her anında yanımda hissedeceğim annem Zeynep Güllü KARADAĞ' a minnettarım. Yine, bana ailem kadar yakın olan Nurcan AKKAR ve Osman AKKAR' a da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
FORMÜLLER LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xx
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri.....	3
2.2. Alüminyumun Safiyet Dereceleri	4
2.3. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri	4
2.3.1. Atom yapısı ve kristal kafesi.....	5
2.3.2. Yoğunluk.....	6
2.3.3. Isıl iletkenlik	7
2.3.4. Isıl genleşme	7
2.3.5. Yüzey gerilimi ve viskozite	8
2.3.6. Elektriksel iletkenlik	8
2.4. Alüminyumun Mekanik Özellikleri	8
2.4.1. Elastisite modülü.....	9
2.4.2. Brinell sertliği	9
2.4.3. Çekme dayanımı	10

2.5. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri.....	10
2.5.1. Alüminyumun oksidasyonu	10
2.5.2. Sulu çözeltilerle reaksiyonlar.....	11
2.5.3. Gazlar ve Alüminyum.....	11
2.5.4. Korozyon.....	12
2.5.5. Soğuk şekil değiştirme	13
2.5.6. Sıcak şekil değiştirme	13
BÖLÜM 3. ALÜMİNYUMUN KULLANIM ALANLARI	15
3.1. Ulaşımında Alüminyum.....	16
3.2. Alüminyum ve İletkenler	17
3.3. Alüminyum ve Ambalaj.....	18
3.4. Alüminyum ve İnşaat	18
3.5. Elektriksel Uygulamalarda.....	19
3.6. İlaç Endüstrisinde Alüminyum	20
3.7. Alüminyum ve Diğer Mühendislik Uygulamalara.....	20
BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	21
4.1. Alaşıma Elementlerinin Etkisi	22
4.1.1. Bakırın etkisi	23
4.1.2. Magnezyumun etkisi	23
4.1.3. Silisyumun Etkisi	23
4.1.4. Demir	24
4.1.5. Mangan.....	24
4.1.6. Nikel.....	25
4.1.7. Çinko.....	25
4.1.8. Kurşun.....	26
4.1.9. Kalay	26
4.1.10. Lityum.....	26
4.1.11. Krom	26
4.1.12. Titanyum	27

4.1.13. Zirkonyum.....	27
4.1.14.Fosfor	27
4.1.15.Sodyum	27
4.2. Alaşım Türleri.....	28
4.2.1. Dövme alüminyum alaşımları.....	28
4.2.1.1. Dövme alaşımlarının kaynak sırasındaki dayanım özellikleri.....	35
4.2.2. Döküm alaşımları.....	36
4.2.2.1. Başlıca döküm alaşımları.....	39
BÖLÜM 5. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI..	42
5.1. Kaynak Karakteristikleri.....	44
5.1.1. Dolgu çubuğu (elektrod)	44
5.1.2. Kaynak tozu (dekapan)	45
5.1.3. Kaynak telinin seçimi.....	47
5.1.4. Kaynak hızının seçimi.....	47
5.1.5. Ön ısıtma uygulanması.....	47
5.1.6. Kaynak öncesi temizlik.....	47
5.2. Ergimeyen Elektrot ile Gazaltı Kaynak Yöntemi (TIG).....	48
5.2.1. TIG kaynak donanım	50
5.2.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar.....	51
5.2.3. TIG kaynak elektrotları.....	53
5.2.4. Kaynak torçları.....	56
5.2.5. TIG kaynak yöntemimde kullanılan akım üreteçleri	57
5.2.6. Kaynak ağızlarının hazırlanması.....	60
5.2.7. TIG kaynak yöntemi için kaynak dolgu metali.....	62
5.2.8. Kaynak parametreleri.....	62
5.2.9. Kaynağın uygulanması.....	63
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	68
6.1. Deneylerde kullanılan malzemeler.....	68

6.2. Kaynak Parametreleri.....	68
6.3. DeneY Numunelerinin Alınması:	72
6.3.1. Çekme DeneYi Numunelerinin Hazırlanması.	72
6.3.2. Eğme DeneYi Numunelerinin Hazırlanması	73
6.3.3. Makro Yapı Numunelerinin Hazırlanması.....	75
6.3.4. Mikro Yapı Numunelerinin Hazırlanması	76
6.3.5. Mikro Sertlik DeneY Numunelerinin Hazırlanması	78
BÖLÜM 7 DENEYSEL SONUÇLAR	81
7.1. Çekme DeneYi Sonuçları	81
7.1.1. Elastik Modül Hesap Sonuçları.....	102
7.1.2. Rezilyans Modül Hesap Sonuçları.....	106
7.1.3. Tokluk Hesabı Sonuçları.....	110
7.2. Eğme DeneYi Sonuçları	114
7.3. Mikro Yapı İncelemeleri ve Sonuçları.....	117
7.4. Makro Yapı İncelemeleri ve Sonuçları	132
7.5. Numunelerin Damla Geometrileri ve Damla Alanları	141
7.6. Dikiş Formları (Nüfüziyet) Hesaplamaları	152
7.7. Numunelerin Isı Girdisi Hesaplamaları	156
7.8. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma.....	158
BÖLÜM 8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	175
8.1. Genel Sonuçlar.....	175
8.2. Öneriler	176
KAYNAKLAR	178
ÖZGEÇMİŞ	181

SİMGELER VE KISALTMALAR

ITAB	: Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
MIG	: Metal Inert Gaz
TIG	: Tungsten Inert Gaz
PA	: Yatay Kaynak Pozisyonu
A_{kep}	: Kep Bölgesinin Damla Alanı
$A_{kök}$: Kök Bölgesinin Damla Alanı
$A_{dikiş}$: Dikiş Bölgesinin Alanı
h_{kep}	: Kep Yüksekliği
b_{kep}	: Kep Genişliği
$h_{kök}$: Kök Yüksekliği
$b_{kök}$: Kök Genişliği
σ_{akma}	: Akma Mukavemeti
$\sigma_{çekme}$: Çekme Mukavemeti

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Alüminyum kullanımının sektör bazında dağılımı	15
Şekil 4.1.	Isıl işlem neticesinde sertleşmeyen alüminyum alaşımlarının dayanımlarının kaynakla değişmesi	36
Şekil 4.2.	Isıl işlem neticesinde sertleşen alüminyum alaşımlarının dayanımlarının kaynakla değişmesi	36
Şekil 5.1.	TIG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	49
Şekil 5.2.	TIG kaynak donanımı prensip şeması.....	51
Şekil 5.3.	TIG yöntemi kaynak torcu 1. Torç gövdesi, 2. Tungsten elektrot, 3. Ark, 4. Argon gazı, 5. İlave çubuk, 6. Parça, 7. Kaynak akımı besleme, 8. Koruyucu gaz besleme, 9-10. Soğutma suyu giriş ve dönüş.	56
Şekil 5. 4.	Alüminyum ve alaşımlarının TIG kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri.....	61
Şekil 5.5.a.	TIG kaynağında, kaynak dikiş şekline göre torç'un pozisyonu	64
Şekil 5.5.b.	TIG kaynağında, kaynak dikiş şekline göre torç'un pozisyonu.....	65
Şekil 6.1.	Kaynak makinesi resimleri	70
Şekil 6.2.	Çekme deneyi cihazı ve çekilen numune	72
Şekil 6.3.	EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekmeye deney parçası boyutları.	73
Şekil 6.4.	EN 910'a uygun olarak hazırlanmış eğme deney parçası boyutları	73
Şekil 6.5.	Eğme deney makinesi ve eğilen numune	74
Şekil 6.6.	Kaynak dikişleri eğme deneyi uygulama prensibi.....	74
Şekil 6.7.	Makro yapı numunelerinin alınmış yönü ve numune örneği	75
Şekil 6.8.	Makro görüntü alma cihazı.....	76
Şekil 6.9.	Mikro yapı numunelerinin alınmış yönü ve numune örneği	77
Şekil 6.10.	Mikro yapı görüntüsü alma cihazı	78

Şekil 6. 11.	Mikro sertlik numune örneği.....	79
Şekil 6.12.	HMV Shimadzu mikro sertlik cihazı.....	79
Şekil 6.13.	Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi.....	80
Şekil 7.1.	5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği.....	83
Şekil 7.2.	Referans numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	84
Şekil 7.3.	1 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 4,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	85
Şekil 7.4.	2 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 5,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	86
Şekil 7.5.	3 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 5,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	87
Şekil 7.6.	4 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 3,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	88
Şekil 7.7.	5 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 3,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	89
Şekil 7.8.	6 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 2,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	90
Şekil 7.9.	7 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 2,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	91
Şekil 7.10.	8 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 105 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	92

Şekil 7.11.	9 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 110 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	93
Şekil 7.12.	10 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 115 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	94
Şekil 7.13.	11 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 95 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	95
Şekil 7.14.	12 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 90 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	96
Şekil 7.15.	13 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 85 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği	97
Şekil 7.16.	Numunelerin akma dayanımları	99
Şekil 7.17.	Numunelerin çekme dayanımları.....	99
Şekil 7.18.	Numunelerin % uzamaları.....	100
Şekil 7.19.	Kopan numuneler.....	101
Şekil 7.20.	Elastik modül değerleri grafiği.....	105
Şekil 7.21.	Rezilyans modül değerleri grafiği.....	109
Şekil 7.22.	Tokluk değerleri grafiği	113
Şekil 7.23.	Eğme deneyine tabi tutulacak numuneler	114
Şekil 7.24.	Kep eğme dayanımları grafiği	115
Şekil 7.25.	Kök eğme dayanımları grafiği.....	116
Şekil 7.26.	Eğme deneyine tabi tutulmuş numuneler	117
Şekil 7.27.	Referans numunenin mikro yapı fotoğrafları	118
Şekil 7.28.	1 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	119
Şekil 7.29.	2 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	120
Şekil 7.30.	3 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	121
Şekil 7.31.	4 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	122

Şekil 7.32.	5 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	123
Şekil 7.33.	6 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	124
Şekil 7.34.	7 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	125
Şekil 7.35.	8 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	126
Şekil 7.36.	9 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	127
Şekil 7. 37.	10 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	128
Şekil 7. 38.	11 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	129
Şekil 7.39.	12 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	130
Şekil 7.40.	13 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları	131
Şekil 7 41.	Referans numunenin makro görüntüsü	133
Şekil 7.42.	1 numaralı numunenin makro görüntüsü	133
Şekil 7.43.	2 numaralı numunenin makro görüntüsü	134
Şekil 7.44.	3 numaralı numunenin makro görüntüsü	134
Şekil 7.45.	4 numaralı numunenin makro görüntüsü	135
Şekil 7.46.	5 numaralı numunenin makro görüntüsü	135
Şekil 7.47.	6 numaralı numunenin makro görüntüsü	136
Şekil 7.48.	7 numaralı numunenin makro görüntüsü	136
Şekil 7.49.	8 numaralı numunenin makro görüntüsü	137
Şekil 7.50.	9 numaralı numunenin makro görüntüsü	137
Şekil 7.51.	10 numaralı numunenin makro görüntüsü	138
Şekil 7.52.	11 numaralı numunenin makro görüntüsü	138
Şekil 7.53.	12 numaralı numunenin makro görüntüsü	139
Şekil 7.54.	13 numaralı numunenin makro görüntüsü	139
Şekil 7.55.	Kaynak damla geometrisi.....	141
Şekil 7.56.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – gaz basıncı grafiği.....	142
Şekil 7.57.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – gaz basıncı grafiği.....	143
Şekil 7.58.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin nüfuziyet – gaz basıncı grafiği	143

Şekil 7.59.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – gaz basıncı grafiği	144
Şekil 7.60.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – gaz basıncı grafiği	144
Şekil 7.61.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin dikiş damla alanı – gaz basıncı grafiği	145
Şekil 7. 62.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep damla alanı – gaz basıncı grafiği	145
Şekil 7.63.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök damla alanı – gaz basıncı grafiği	146
Şekil 7.64.	100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – gaz basıncı grafiği	146
Şekil 7.65.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği	147
Şekil 7.66.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği	147
Şekil 7.67.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin nüfuziyet – kaynak akım şiddeti grafiği	148
Şekil 7.68.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği	148
Şekil 7.69.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği	149
Şekil 7.70.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin dikiş damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği	149
Şekil 7.71.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kep damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği	150
Şekil 7.72.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği	150
Şekil 7.73.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği	151

Şekil 7.74.	100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin kök dikiş – gaz basıncı grafiği	153
Şekil 7.75.	100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin dış dikiş – gaz basıncı grafiği	153
Şekil 7.76.	100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin iç dikiş – gaz basıncı grafiği	154
Şekil 7.77.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği.....	154
Şekil 7.78.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin dış dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği.....	155
Şekil 7.79.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin iç dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği.....	155
Şekil 7.80.	100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin ısı girdisi – gaz basıncı grafiği	157
Şekil 7.81.	4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin ısı girdisi – kaynak akım şiddeti grafiği.....	157
Şekil 7.82.	Mikro sertlik ölçülen yerler	158
Şekil 7.83.	Referans numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği.....	160
Şekil 7.84.	Referans numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği.....	160
Şekil 7.85.	1 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	161
Şekil 7.86.	1 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	161
Şekil 7.87.	2 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	162
Şekil 7.88.	2 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	162
Şekil 7.89.	3 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	163
Şekil 7.90.	3 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği.....	163
Şekil 7.91.	4 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	164
Şekil 7.92.	4 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği.....	164
Şekil 7.93.	5 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	165
Şekil 7.94.	5 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği.....	165
Şekil 7.95.	6 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	166
Şekil 7.96.	6 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği.....	166

Şekil 7.97.	7 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	167
Şekil 7.98.	7 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	167
Şekil 7.99.	8 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	168
Şekil 7.100.	8 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	168
Şekil 7.101.	9 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	169
Şekil 7.102.	9 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	169
Şekil 7.103.	10 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	170
Şekil 7.104.	10 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	170
Şekil 7.105.	11 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	171
Şekil 7.106.	11 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	171
Şekil 7.107.	12 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	172
Şekil 7.108.	12 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	172
Şekil 7.109.	13 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	173
Şekil 7.110.	13 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	173

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Alüminyumun fiziksel özellikleri	5
Tablo 2.2.	Artan saflık derecesi ile alüminyumun yoğunluğundaki değişim. (20 °C'deki metal için)	6
Tablo 2.3.	Artan sıcaklık derecesi ile alüminyumun yoğunluğundaki değişim. (%99,75 Al içeren metal için)	6
Tablo 2.4.	Artan sıcaklık ile ısı iletkenlikteki değişim.....	7
Tablo 2.5.	Artan sıcaklık dereceleriyle α katsayısının değişimi (değerler saf alüminyum için verilmiştir).....	7
Tablo 2.6.	Artan sıcaklık dereceleriyle elektriksel direncin değişimi	8
Tablo 2.7.	Değişen alüminyum yüzdesi ile sertlik arasındaki ilişki.....	9
Tablo 3.1.	Alüminyumun önemli kullanım yerleri ve alternatif olduğu malzemeler.	16
Tablo 4.1.	Alaşım elementlerinin alüminyum özelliklerine etkisi	21
Tablo 4.2.	Dövme alüminyum ve alaşımları ANSI 35.1 standardına göre ana grupları	29
Tablo 4.3.	Bazı dövme alaşımlarının kimyasal bileşimi.....	30
Tablo 4.4.	ANSI standartlarında belirtilen bazı dövme alüminyum alaşımlarının ISO karşılığı.....	31
Tablo 4.5.	Döküm alüminyum alaşımları	37
Tablo 4.6.	Döküm alüminyum alaşımlarının ANSI 35.1 standartlarına göre ana grupları	38
Tablo 4.7.	Bazı döküm alaşımlarının tanımı.....	38
Tablo 4.8.	Bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimi	39
Tablo 5.1.	Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan dolgu çubuklarının (elektrotların) birleşimleri (AWS).....	45

Tablo 5.2.	Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleri.....	54
Tablo 5.3.	TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi....	59
Tablo 5.4.	TIG kaynak yönteminde çeşitli metal ve alaşımlar için kullanılan kaynak tellerine ait AWS standartları	62
Tablo 6.1.	Ana malzemeye ait kimyasal özellikler:	68
Tablo 6.2.	Ana malzemeye ait mekanik özellikler:.....	68
Tablo 6.3.	3,2 mm kalınlığa sahip alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal özellikler:.....	68
Tablo 6.4.	3,2 mm kalınlığa sahip alüminyum alaşımlı tele ait mekanik özellikler:.....	69
Tablo 6.5.	Kaynak parametreleri.....	70
Tablo 6.6.	Keller bileşimi (a)	76
Tablo 6.7.	Keller bileşimi (b).....	77
Tablo 7.1.	Numunelerin çekme deney sonuçları	82
Tablo 7.2.	Kep eğme dayanımları	115
Tablo 7.3.	Kök eğme dayanımları	116
Tablo 7.4.	Numunelerin kaynak geometrileri	142
Tablo 7.5.	Numunelerin damla alanları dikiş formları	152
Tablo 7.6.	Numunelerin Isı Girdileri.....	156
Tablo 7.7.	Numunelerin yatay eksen sertlik değerleri.....	159
Tablo 7.8.	Numunelerin dikey eksen sertlik değerleri.....	159

FORMÜLLER LİSTESİ

Formül 7.1.	Referans numune için elastik modül formülü	102
Formül 7.2.	1. numune için elastik modül formülü	102
Formül 7.3.	2. numune için elastik modül formülü	102
Formül 7.4.	3. numune için elastik modül formülü	102
Formül 7.5.	4. numune için elastik modül formülü	103
Formül 7.6.	5. numune için elastik modül formülü	103
Formül 7.7.	6. numune için elastik modül formülü	103
Formül 7.8.	7. numune için elastik modül formülü	103
Formül 7.9.	8. numune için elastik modül formülü	104
Formül 7.10.	9. numune için elastik modül formülü	104
Formül 7.11.	10. numune için elastik modül formülü	104
Formül 7.12.	11. numune için elastik modül formülü	104
Formül 7.13.	12. numune için elastik modül formülü	105
Formül 7.14.	13. numune için elastik modül formülü	105
Formül 7.15.	Referans numune için rezilyans modül formülü	106
Formül 7.16.	1. numune için rezilyans modül formülü	106
Formül 7.17.	2. numune için rezilyans modül formülü	106
Formül 7.18.	3. numune için rezilyans modül formülü	106
Formül 7.19.	4. numune için rezilyans modül formülü	107
Formül 7.20.	5. numune için rezilyans modül formülü	107
Formül 7.21.	6. numune için rezilyans modül formülü	107
Formül 7.22.	7. numune için rezilyans modül formülü	107
Formül 7.23.	8. numune için rezilyans modül formülü	108
Formül 7.24.	9. numune için rezilyans modül formülü	108
Formül 7.25.	10. numune için rezilyans modül formülü	108

Formül 7.26.	11. numune için rezilyans modül formülü	108
Formül 7.27.	12. numune için rezilyans modül formülü	109
Formül 7.28.	13. numune için rezilyans modül formülü	109
Formül 7.29.	Referans numune için tokluk formülü	110
Formül 7.30.	1. numune için tokluk formülü	110
Formül 7.31.	2. numune için tokluk formülü	110
Formül 7.32.	3. numune için tokluk formülü	110
Formül 7.33.	4. numune için tokluk formülü	111
Formül 7.34.	5. numune için tokluk formülü	111
Formül 7.35.	6. numune için tokluk formülü	111
Formül 7.36.	7. numune için tokluk formülü	111
Formül 7.37.	8. numune için tokluk formülü	112
Formül 7.38.	9. numune için tokluk formülü	112
Formül 7.39.	10. numune için tokluk formülü	112
Formül 7.40.	11. numune için tokluk formülü	112
Formül 7.41.	12. numune için tokluk formülü	113
Formül 7.42.	13. numune için tokluk formülü	113
Formül 7.43.	Numunelerin ısı girdisi formülü	156

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Al5754, TIG, Gaz altı,

Bu çalışmanın amacı alüminyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi esnasında değiştirilen kaynak parametrelerinin kaynak damla geometrisine, ısı girdilerine, mekanik özelliklere ve makro yapı özelliklerine etkisini araştırmaktır. Çalışmada AlMg alaşımı 5754 serisi alüminyum malzeme yine AlMg5356 alaşımı alüminyum telle alın altına, değişik kaynak voltajı, kaynak amperi ve gaz basıncı değerleri ile argon koruyucu gaz altında kaynak yapılmıştır. Birleştirilen parçaların çekme, eğme ve mikro sertlik mekanik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca makro yapı fotoğrafları da çekilmiş olup, dikiş nüfuziyetleri, damla alanları ve ısı girdileri hesaplanarak en uygun kaynak parametreleri belirlenmiştir. Değiştirilen kaynak parametrelerinin mekanik özellikleri, nüfuziyetleri ve damla alanlarını etkilediği belirtilmiştir.

EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON WELD BEAM GEOMETRY AND MECHANICAL PROPERTIES IN TUNGSTEN GMAW OF ALUMINUM ALLOYS

SUMMARY

Keywords: Aluminum, Al5754, Gas Metal Arc Welding

The aim of this study is to investigate the effects of variable welding parameters on weld beam geometry, heat input, the mechanical properties and microstructure in Tungsten Gas Metal Arc Welding of aluminum alloys. The aluminum based 5754 alloy was used as base material, and AlMg 5356 alloy wire was selected as filler material in all welding operations. The butt joint position was performed by various weld current and voltages and gas pressures during preparation of specimens. The Argon was selected as protective gas in experiments. The butt joint specimens were exposed to tensile and 3-point bending tests and their micro and macro hardness values were measured. The microstructure of specimens was investigated by optical microscope in order to detect the weld beam geometry and penetration which show the efficiency of welding operation. In the light of these findings, the optimum welding parameters were tried to determine and related recommendations were given to users.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada en fazla mevcut metaller sıralamasında alüminyum ikinci sırayı alır. Alüminyum metalinden muhtelif alaşımlama ve farklı ısıl işlem şartı ile çok farklı amaç için dört yüze yakın sayıda alüminyum alaşımı geliştirilmiştir [1].

Alüminyumun yoğunluğu yaklaşık $2,7 \text{ g/cm}^3$ olup çelik ($7,83 \text{ g/cm}^3$) ve bakır ($8,93 \text{ g/cm}^3$) yoğunluğunun yaklaşık üçte biri kadardır. Mukavemeti çelikten düşük olsa da, kesit artırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanmaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımlarının kullanılması ağırlıkta düşme yaptığı için avantaj sağlamaktadır [2].

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafiflikleri, iyi ısıl ve elektrik iletkenlikleri, artırılmış mukavemet özellikleri ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda endüstrisi, kimya endüstrisi, otomotiv ve gemi yapım endüstrisi, taşıt yapım, uçak yapım endüstrisi, makine ve cihaz yapımı ile mimari alanda ve inşaat sektöründe geniş kullanım alanına sahiptirler ve birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen malzemeler konumuna gelmişlerdir [3].

Alüminyumun önemli diğer bir özelliği de mükemmel bir ısı ve ışık yansıtıcısı olmasıdır. Bu özelliği sayesinde aydınlatma aksamalarında ve ısı yataklarında yaygın olarak alüminyum kullanılmaktadır. Bu açıdan mühendislik malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler. Alüminyum, endüstriyel malzemeler içinde en son keşfedilen metallere biridir ve bu alaşımların kullanım alanının yaygınlaşmasında savunma, otomotiv ve havacılık endüstrisinin büyük bir katkısı olmuştur.

Diğer metallere göre neredeyse %100 geri dönüşümlü olan alüminyumun geleceğin metali olmasını sağlayacak en önemli ana unsurlardan birisi de ekolojik özelliğidir. Dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde, kamuoylarının 1980'lerde doruğa ulaşan çevre korumacılığı baskısıyla ve 1973 ile 1979 yıllarındaki petrol krizleriyle hızlanan

sınırlı kaynakların en ekonomik, çevreyi en az kirletecek ve daha az enerji tüketecek şekilde kullanımı gibi kriterler, alüminyum alternatif malzemelere göre avantajlı hale getirmektedir. Sahip olduğu birçok özellikler nedeniyle sanayideki bu gelişmelere uygun bir ortam sağlamaktadır [4].

Alüminyumun özgül ağırlığı; çeliğin yaklaşık 1/3'ü kadardır. Ayrıca alüminyum ve alaşımları; havada, su içinde, yağlarla temas halinde ve birçok kimyasal maddeye karşı oldukça iyi korozyon direncine sahiptir. Atmosfer ile temas sonucunda yüzeyde oluşan ince, ancak yoğun refrakter karakterli oksit tabakası korozif etkilere karşı direnç sağlar. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağının çelikten farklı olmasını sağlayan bir dizi özellik vardır. Bunlar;

- a. Yüzeyde bulunan alüminyum oksit tabakası,
- b. Yüksek ısı iletkenlik,
- c. Yüksek ısı genleşme katsayısı,
- d. Ergime sıcaklığına yaklaştıkça renk değişimi göstermemesi olarak sıralanabilir.

Bu özellikler; alüminyumun kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Alüminyum ve alaşımlarının geliştirilmeye başlanıldığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri olarak bilinen TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamış; kalın kesitli alüminyum alaşımlarının kesilebilmesi için plazma arkı ile kesmenin geliştirilmesi gerekmiş, uzay roketlerinin alüminyum parçalarının kaynağında, plazma ark kaynağı kullanılmış ve bu arayış diğer ileri kaynak yöntemlerinin de alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanımını teşvik etmiştir [1].

Aslında alüminyum ve alüminyum alaşımları, ergitme kaynak yöntemlerinden olan gaz ergitme kaynağı ve örtülü elektrot ile ark kaynağı yöntemleri kullanıldığında sınırlı olarak kaynak edilebilirken, gaz altı kaynak yöntemlerinin ortaya çıkması daha kaliteli bağlantıları oluşturulmasına imkân tanımıştır [5].

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri

- a. Hafiflik: Demirin özgül ağırlığı 7.87 gr/cm^3 balamı özgül ağırlığı 8.93 gr/cm^3 ve çinkonun özgül ağırlığı 7.14 gr/cm^3 iken özgül ağırlığı 2.69 gr/cm^3 dür.
- b. Mekanik dayanım: Alaşımlandırılarak değişik mekanik dayanım değerlerine ulaşmak olanaklıdır.
- c. Dayanım/ağırlık oranı: Yüksek mekanik dayanımına karşın hafif olması, başta uzay ve uçak endüstrisi olmak üzere bir çok endüstri kolunda tercih edilmesine neden olur.
- d. Korozyon direnci: Yüzeyinde oluşan oksit filmi nedeni ile korozyon dayanımı yüksektir.
- e. Isıl iletkenlik: Maliyet ve ağırlık değerleri ile birlikte ele alındığında diğer metallerden daha yüksek ısıl iletkenlik değerine sahiptir.
- f. Yansıtıcılık: Işık, radyo dalgaları ve kızılötesi ışınımına karşı koruyucu olarak kullanılabilir.
- g. Elektriksel iletkenlik: Elektriksel iletkenlik değeri aynı miktardaki bakırın %63'ü kadar'dır.
- h. Kıvılcımsızlık: Kıvılcım oluşturmadığı için yakıcı atmosfer ve patlayıcı maddelerle güven içinde kullanılabilir.
- i. Estetik görünüm: Doğal rengi ve parlaklığının yanı sıra çeşitli yüzey ve yüzey işlemleri uygulanarak değişik renk ve görünümde malzemeler elde edilebilir.
- j. Döküm kolaylığı: Çeşitli döküm yöntemleri karmaşık parçalar bile kolaylıkla dökülebilir.
- k. Eloksal özelliği: Gıda sektöründen ilaç sektörüne kadar bir çok sektörde ambalaj malzemesi olarak kullanılabilir.
- l. Maliyet: Birincil üretimdeki yüksek enerji girdisinden ötürü pahalı bir metaldir.

- m. Yeniden değerlendirilebilirlik (recyclable): Ekonomik ömrünü doldurmuş ve yöntem sürecinde hurdaya çıkmış malzemeler başlangıçtaki metalurjik özelliklerini büyük ölçüde yitirmeden, birinci üretimin %5'i kadar bir maliyetle yeniden kullanılabilir [1].

2.2. Alüminyumun Safiyet Dereceleri

Alüminyum saflık derecesine göre sınıflandırılır. Gıda ve elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyum % 90.99 safiyet derecesindedir. Alüminyum borular ve levhalar % 99.5 ile 99.8 bazen de % 99-98 mertebesinde saftır [6].

Günümüzde alüminyum % 99-99.5-99.8-99.99 safiyet derecelerinde üretilir. % 99.99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikte saf alüminyum olarak tanımlanır ve burada fiziksel ve mekanik özellikleri belirli bir şekilde kendini gösterir. Bu alüminyum yumuşaktır ve kolay işlenebilir, ısı ve elektriği iyi iletir, ışığı yansıtır ve korozyona karşı çok dirençlidir [7].

Saf alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2.7g/cm^3 'tür. Kütlesi demirin % 35'i bakırın ise % 9'u kadardır. Bu düşük ağırlık özelliği başta uçak ve otomobil endüstrisinde olmak üzere, tüm taşımacılık endüstrisinde önemli bir konudur [8].

2.3. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri

Alüminyumun fiziksel özellikleri çok düşük miktarlarda dahi olsa kalıntıların bulunmasından önemli ölçüde etkilenir. Saf alüminyum galvanik seride çok aktif bir metal olmasına karşın ve aynı zamanda da alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisi nedeniyle yüzeyde havanın teması sonucu ince fakat yoğun bir oksit tabakası taşır.

Bugün alüminyum ve alaşımları sahip oldukları özellikleri itibariyle endüstride kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden biri halini almıştır. Saf haldeyken yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere

sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir spektrum yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur [9].

Alüminyumun fiziksel özellikleri büyük ölçüde alüminyumun saflığına ve sıcaklığına bağlıdır. Alüminyumun fiziksel özelliklerinden bahsedilecekse, atom yapısı ve kristal kafes özelliklerine, ergime noktasına, ısıl genişlemesine, ısıl iletkenliğine, viskozitesine ve elektrik iletkenliğine değinmek yararlı olacaktır.

Tablo 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Atom ağırlığı	26.97
Yoğunluk (20 °C'de)	2.70 g/cm ³
Metalin sıvı haldeki yoğunluğu (700 °C'de)	2.37 g/cm ³
Elastisite modülü	72200 N/mm ²
Poisson oranı	0.34
Isıl genişleme katsayısı	23.5x10 ⁶ (20-100°C)
Özgül ısı	0.214 cal/g (0-100°C)
Ergime sıcaklığı	660 °C
Kaynama sıcaklığı	1800 °C
Isı iletkenliği	0.55 cal/°C.s.cm
Ergime gizli ısı	93 cal/g
Elektrik direnç	2.65-2.95 Ω/cm ³
Isıya karşı mukavemet (20 °C'de)	0.0042
Katılma halinde çekme	%6.7
Yansıtma (Beyaz ışık için % olarak)	75-85
Elektro kimyasal eşdeğer	0.3354 g/A saat

2.3.1. Atom yapısı ve kristal kafesi

Alüminyum periyodik cetvelin 3A grubunda bulunur. Atom numarası 13, atom ağırlığı ise 26.981538'dür. İyon çapı 0,86 Å olan alüminyumun, atom çapı ise 1,43 Å'dur [10].

Alüminyum kübik yüzey merkezli kristal kafeslerinden oluşmuştur. Sıcaklıktaki değişimle ve safsızlıkla kafes parametreleri değişebilir. Alüminyum ne kadar saf ise, kristalleri de o derece büyür [10].

2.3.2. Yoğunluk

Ticari yapıdaki alüminyumun özgül ağırlığı $270\text{gr}/\text{cm}^3$ dür. Eşit hacimler mukayese edildiğinde alüminyumun, demir ve bakır ve çinko ağırlığının yaklaşık olarak üçte birine sahip olduğu görülür.

Hem sıvı, hem de katı alüminyum'un yoğunluğu, artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. Tablo 2.2'de tavlanmış katı metalin 20°C 'deki yoğunluğu için birkaç değer verilmiştir [9].

Tablo 2.2. Artan saflık derecesi ile alüminyumun yoğunluğundaki değişim. (20°C 'deki metal için)

Al %	99,25	99,40	99,75
Yoğunluk g/cm^3	2,727	2,706	2,703

% 99,75 alüminyum içeren bir metalin yoğunluğunu ergime noktası üzerindeki sıcaklıkla bağıntısı ise Tablo 2.3' de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Artan sıcaklık derecesi ile alüminyumun yoğunluğundaki değişim. (%99,75 Al içeren metal için)

Sıcaklık $^\circ\text{C}$	658,7	700	800	900	1000	1100
Yoğunluk g/cm^3	2,382	2,371	2,343	2,316	2,289	2,262

2.3.3. Isıl iletkenlik

Alüminyumun saflık derecesi büyüdükçe, ısıl iletkenliği de buna paralel olarak büyür. Örnek olarak % 99.498 alüminyum içeren bir metal için 200°C'de 0.5 cal/cm.s.°C, % 99.70 alüminyumlu bir metal içinse 0.531 cal/cm.s.°C'dir.

Fakat alüminyumun sıcaklığının artışıyla ısıl iletkenliği arasında kesin bir şey söylememiz zordur. Çünkü belli bir sıcaklığa kadar ısıl iletkenlik katsayısı artış gösterirken, diğer sıcaklıklarda iniş çıkışlar göstermektedir [11].

Tablo 2.4. Artan sıcaklık ile ısıl iletkenlikteki değişim.

Sıcaklık °C	-270	-263	-173	0	200	600	727	1227
Isıl İletkenlik W/m. °K	12100	23500	302	236	238	214	93	107

2.3.4. Isıl genleşme

Saf alüminyumun ısıl genleşme katsayıları, artan sıcaklıklarla birlikte yükselme gösterirler. Isıl genleşme katsayıları izotropik, yani yönden bağımsız verilmiş katsayılardır [10].

Tablo 2.5. Artan sıcaklık dereceleriyle α katsayısının değişimi (değerler saf alüminyum için verilmiştir)

Sıcaklık °C	0-100	100	200	300	400	600	800
$\alpha 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$	23,5	23,9	24,3	25,3	26,49	-	-

2.3.5. Yüzey gerilimi ve viskozite

930 ile 950 °C aralığında, yani elektroliz sıcaklığında alüminyum yeterince akışkan haldedir. Bu sebeple metalin karışması ve difuzyonu için yeterli şartlar sağlanmıştır. Metalin sıcaklığı arttıkça viskozitesi azalmaktadır.

Buna karşılık metalin saflığı arttıkça, viskozitesi de buna paralel olarak artmaktadır. Yüzey gerilimi ifadesi artan sıcaklıkla düşüş gösterme eğilimindedir [10].

2.3.6. Elektriksel iletkenlik

Saf alüminyumun oda sıcaklığındaki iletkenliği, aynı sıcaklıktaki bakırın iletkenliğinin % 64,94'üne eşittir. -223 °C'nin altındaki sıcaklıklarda alüminyumun elektriksel direnci, yine aynı sıcaklıklardaki saf bakır ve gümüşün direncinden çok daha düşüktür. -270 °C'ler civarında ise alüminyum süper iletken haline gelir [10].

Tablo 2.6. Artan sıcaklık dereceleriyle elektriksel direncin değişimi.

Sıcaklık °C	20	100	200	300	400	600	800
Elektriksel direnç $\mu\Omega$	2,67	3,55	4,78	5,99	7,30	-	-

2.4. Alüminyumun Mekanik Özellikleri

Mekanik özellikler büyük ölçüde saflık derecesine bağlıdır [12].

Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısıtma işlemleri sonucu, istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Özellikle, küçük miktarlarda Mg, Si, Cu, Zn eklenmesiyle mukavemeti daha da arttırılan alüminyum alaşımlarında ısıtma işlemi ile bugün çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine

ulaşmıştır. Mekanik özelliklerin böyle değiştirilebilir olması büyük üstünlük sağlayarak, kullanım alanlarını genişletmektedir [12].

2.4.1. Elastisite modülü

% 99.25 alüminyum içeren bir metalin elastisite modülü 7100 kg/mm^2 iken çok saf alüminyumun elastisite modülü ancak 6700 kg/mm^2 'dir.

Diğer metallerle karşılaştırmak gerekirse (örneğin çelik), alüminyumun elastisite modülü çeliğinkinin sadece 1/3'ü kadardır. Yani çelik, ağır yükler altında çalışmaya alüminyumdan 3 kat daha dayanıklıdır diyebiliriz.

2.4.2. Brinell sertliği

Alüminyumun saflığı arttıkça, alaşımın sertliği düşer. Aşağıdaki tabloda alüminyumun farklı yüzdeleri için Brinell sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 2.7. Değişen alüminyum yüzdesi ile sertlik arasındaki ilişki.

Alüminyum %	99,2	99,5	99,8	99,99
Britnell sertliği kg/mm^2	24-54	21-48	19-41	15-28

Tablo 2.7'den de görülebileceği gibi Brinell sertliği çok geniş aralıklarla değişebilir. Bunun nedeni, farklı ısıl işlemlerle metalin sertlik derecesinin değiştirilebilmesidir.

2.4.3. Çekme dayanımı

Yapılan deneyler, alüminyumun çekme mukavemetinin artan saflık derecesi ile azaldığını bizlere göstermiştir. Kopma anındaki kesit yüzeyi küçülmesi ise yüksek saflıktaki alüminyumda (% 99.9), en fazladır. Yani alüminyumun saflık yüzdesi arttıkça, malzeme daha sünek hale gelmektedir.

2.5. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri

Alüminyum atomundaki 13 elektronun dizilişi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ şeklindedir. Genel olarak alüminyumun kimyasal bileşiklerindeki değeri $+3$ 'tür. Fakat iki veya bir değerli alüminyum alaşımları da olabilmektedir.

2.5.1. Alüminyumun oksidasyonu

Alüminyum ticari metaller içinde en reaktif metal olmasına karşın, oksitleyen çevrede kararlıdır. Bu kararlılığın, oksijen, su ve diğer oksitleyicilere maruz bırakılan alüminyumun yüzeyinde oluşan alüminyum oksit tabakasına borçludur. Oksidin moleküler hacmi oksidasyon reaksiyonunda yakılan alüminyumdan 1.3 kat daha büyüktür. Bu yüzden yüzey tabakası basınç gerilimi altındadır ve zarar gördüğünde hızla eski haline geri döner.

Kuru oksijende yüzey tabakası, sıcaklığın bir fonksiyonu olan bir limit kalınlığa ulaşır. Oda sıcaklığında bu kalınlık 2.5-3 mm'dir.

Film tabakasının kalınlığı mevcut su buharının da bir fonksiyonudur. Oda sıcaklığında ve % 100'lük bir bağıl bir nem de kuru oksijen içinde iki kat daha fazla oksit bulunur. İki durumda da aynı oran kuralları uygulanır. İlk film tabakası genellikle ıslak çevrede oluşur. Metal yüzeyine yakın, sürekli oksit tabakası, katı-gaz ara fazında hidroksitleşmiş film tabakasına dönüşür. Daha yüksek sıcaklıklarda ve alüminyum alaşımlarında (özellikle magnezyum ve bakır içerenlerde), daha karmaşık film yapıları gelişir. Ayrıca oksit oluşumu basit zaman kanunlarıyla açıklanabilecek kadar uzun süreli değildir.

2.5.2. Sulu çözeltilerle reaksiyonlar

% 99.95'ten daha büyük saflığa sahip alüminyum parçaları bir çok aside karşı dirençlidirler ve ancak sulu ortamlarda çözülürler.

Bu yüzden alüminyum; nitrik asit, yoğun sülfürik asit, organik asitler ve birçok başka ayırıcı depolamakta kullanılır. Diğer taraftan oksit film tabakası alkali çözeltilerde çözünür, korozyon hızlıdır ve sonuç olarak çözülebilir alkali metal alümina ve hidrojen üretir.

Ergimiş alüminyumun su ile temas etmesi patlayıcı reaksiyonlara neden olabilir. Reaksiyonun işleyiş mekanizması tam olarak anlaşılmamaktadır. Ergimiş alüminyumun nemli araçlar veya nemli konteynerlerle temasından kaçınılmalıdır.

2.5.3. Gazlar ve Alüminyum

Hidrojenin katı ve ergimiş alüminyumdaki çözünürlüğü oldukça fazladır. Ergimiş alüminyum, karbonmonoksit ve karbondioksit ile çabuk reaksiyona girer. Ayrıca atmosferdeki su buharıyla, absorbe edilen suyla ve hidroksit tabakasındaki suyla da reaksiyona girer. Katı alüminyum atmosferdeki nemle reaksiyona girerek oksitleri ve hidrojeni oluşturur. Hidrojen; ergimiş alüminyumda katı alüminyumdakine oranla

daha iyi çözünür. Gaz, sıcaklıkla, belirlenen bir oranda metalden dışarı yayılır. Diğer taranan alüminyumun su buharıyla olan reaksiyonu katı gaz ara fazında yüksek bir aktiviteye yol açtığında konsantrasyon gradyeni tersine döndürülebilir.

Sonuç olarak gaz çıkışı oranı arttırılır ve hidrojenin yüksek bir bölümü metalde alıkonulur, katı alüminyumda çözelti limitinin üzerindeki hidrojen, H_2 zerreleri halinde çökeler ve böylece hidrojen iyonu konsantrasyonu azalır. Bu da ara fazdan metale hidrojen iyonu difüzyonunun artmasına neden olur [12].

2.5.4. Korozyon

Alüminyum, standart potansiyeline (-1.07 ev) göre, soy olmayan bir metaldir. Kısa zamanda oksijen ile birleşerek alümin (Al_2O_3) teşkil eder. Hava ile temas eden alüminyum yüzeyi üzerinde oluşan sabit bir oksijen tabakası nedeniyle alüminyum alaşımları genellikle atmosfer etkilerine karşı büyük bir mukavemet gösterirler [13].

Atmosferde oluşan bu tabaka ince, renksiz, amorf, su ve su buharı içerisinde daha çok kristalin yapısındadır. Tabaka ne kadar sıkı ve homojen ise, aynı koşullarda korozyon direnci o kadar iyidir. Saf olmayan metallerin ve alaşım yapıcı elementlerin varlığı ile etkilenir ve bu nedenden ötürü alüminyumun direnci bir dereceye kadar bileşimi ile değişir. Çözünmemiş halde bulunan arıtılmayan elemanlar, sürekli tabakanın oluşumunu bozarlar ve böylece daha sonra yerel elementlerin çözülmesine neden olurlar. Özellikle en olumsuz etkiyi alüminyumun içerisinde bulunan bakır ve demir katıkları yapar [14].

Demir, alüminyumun içerisinde oda sıcaklığında en fazla % 0,003 kadar (çözülmez sayılır) çözülebilir. Bu bağlantının, homojenleştirme tavlamaıyla bertaraf edilmesi de olanaksızdır. Bakır, alüminyuma nazaran önemli ölçüde potansiyel farka sahiptir, fakat özellikle çözülmez halde bulunur ve korozyonun devam etmesine neden olur.

Silisyum çözelti içerisinde bulunduğu sürece, alüminyumun korozyon direnci çok az etkiler. Çinko da, alüminyum içerisinde emniyetli güvenli sınırı aşmadığında daha az etkiler. Magnezyum, alkalik ve mutfak tuzu içeren çözeltilere (deniz suyu) karşı

direnci oksit oluşumuna katıldığından dolayı iyileştirir. Titan, tuz asidine karşı dayanımı yükseltir, fakat soda çözeltisine karşı kötüleştirir [14].

2.5.5. Soğuk şekil değiştirme

Alüminyum oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirdiği takdirde, çekme ve akma mukavemeti yükselir. Buna karşın uzama miktarı, şekil değiştirme kabiliyeti ve korozyon direnci azalır. Bu artma ve azalma, şekil değiştirme (haddeleme) derecesine göre de; alüminyum yumuşak, 1/16 sert, 1/8 sert, 1/2 sert ve 1/1 sert olmak üzere kısımlara ayrılır. Sert (yani şekil değiştirmiş) alüminyum yumuşak alüminyumdan daha az bir korozyon direncine sahiptir. Örneğin, % 99.5 saflık derecesinde bulunan bir alüminyum, 7 kg/mm² çekme mukavemetine ve % 35 de uzama miktarına sahip olmasına karşın; % 20 derecesinde bir soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulursa, çekme mukavemeti 10 kg/mm²'ye yükseldiği gibi uzama miktarı da % 15'e düşer. Şekil değiştirme derecesi % 40'a yükselirse, mukavemet 12 kg/mm² ve uzama da % 12 değerini alır [9].

2.5.6. Sıcak şekil değiştirme

Alüminyumun sıcak şekil değiştirmesi (boruların, profillerin ve sacların sıcak olarak bükülmesi gibi.) her zaman mümkündür. Daha önce soğuk şekil değiştirmiş bir alüminyum parça, sıcak şekil değiştirebilir. Ancak, kaynak işleminde olduğu gibi mukavemet düşer. Sıcak şekil değiştirme sıcaklığı 300-450 °C arasındadır. Soğuk şekil değiştirmeden sonra taneler bozulmuş ve deforme olmuş olarak kalır, sıcak şekil değiştirmeden sonra ise taneler tekrar düzgün hale geçerler [9].

Alüminyum oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirdiği takdirde, çekme ve akma mukavemeti yükselir ve elektrik iletkenliği bir miktar azalır; bu azalma ve artma şekil değiştirme derecesine bağlıdır.

Soğuk şekil değiştirmiş alüminyum bir malzeme tekrar sıcak şekil değiştirebilir, fakat bu halde, kaynak işleminde olduğu gibi mukavemet azalır; alüminyumun sıcak şekil değiştirme sıcaklığı 300 ile 450 °C arasındadır [6].

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUMUN KULLANIM ALANLARI

Hafifliği, korozyona karşı direnci, doğada kolay bulunması gibi sağladığı üstün özellikler onu çağımızın stratejik bir metali haline getirirken, demirden sonra en çok tüketilen metal olmasına neden olmuştur [15].



Şekil 3.1. Alüminyum kullanımının sektör bazında dağılımı.

Bu özellikler gözönüne alındığında, alüminyum kullanım yerleri, alternatif olduğu malzemeler Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Alüminyumun önemli kullanım yerleri ve alternatif olduğu malzemeler.

Sektör	Önemli kullanım yerleri	Alternatif olduğu malzeme
İnşaat	Duvar kaplama Çatı kaplama	Ağaç/çelik/plastik Ağaç/galvanizli çelik/Pb plaka
Ambalaj	Meşrubat kutuları Konserve Kutuları Aerosol kutuları Folyo Kapaklar	Teneke/plastik/cam/kompozitler Teneke/cam Teneke Plastik/kağıt Plastik/teneke
Elektrik	İletkenler Borular Transformatör ve jeneratör Telefon kablosu	Bakır Bakır Bakır Bakır
Makine	Yataklar Isı eşanjörleri Hidrolik sistemler	Döküm malzemeler Bakır/paslanmaz çelik
Dayanıklı Tüketim Malları	Buzdolabı Klimalar Pişirme araç ve gereçleri	Özel çelikler demir/çelik/plastik Özel çelikler/plastik/bakır
Diğer Uygulama	Sulama boruları Ziraat aletleri Kimyasal tesisler	Dökme demir/çelik plastik Çelik Paslanmaz çelik

3.1. Ulaşımında Alüminyum

Hafiflik, dayanım ve şekillendirilebilir Özelliği olan alüminyum, ulaşım sektöründe de önem kazanmış bir malzemedir [16].

Yüksek dayanım özelliği ile engebeli yerlerde kullanılan araçlarda, araçların motor kısımlarında, pistonlarda ve otomobil gövde ve jantlarında kullanımı hızla artmaktadır [16].

Günümüzde tüketilen her ton alüminyumun yaklaşık 250 kilogramı taşıt araçlarının üretiminde kullanılır. Diğer kullanılabilir metallere göre yoğunluğunun az olması, alüminyuma bu konuda önemli üstünlükler sağlamıştır. Taşıt araçları ne kadar hafif olursa, hareket etmeleri için daha az enerjiye gerek duyulur.

Günümüzde tipik bir otomobilde yaklaşık 80 kg alüminyum kullanılmaktadır. Çelik madde dayanıklılık açısından "iyi" olarak değerlendirilirken, son on yılda kaza

testlerinde ağırlıklı olarak kullanılmaya başlayan alüminyum "çok iyi" olarak nitelenmektedir. Bilgisayarların kullanımı da, alüminyum arabaların tasarımını kolaylaştırarak hafiflik ve can güvenliğinin optimum düzeye ulaşmasını sağlayan önemli etkidir.

Audi'nin geliştirdiği ASF teknolojisi lüks otomobillerin gelişmelerinde son yıllarda görülen durgunluğa yepyeni bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Alüminyumun şu ana kadar otomobil üreticileri tarafından seri üretim bakımından benimsenmemiş olması da en büyük etken olarak alüminyum üretiminin seri üretim boyutlarında hâlâ pahalı olması gösterilebilir. Bununla birlikte lüks otomobil piyasasındaki bu gelişmenin alüminyum üretim fiyatlarının aşağı çekilmesiyle diğer araba piyasalarına da girmesi, pek uzak bir olasılık gibi görünmemektedir [15].

Ulaşım sektöründe otomotivden sonra, ancak daha yüksek oranlarda alüminyum kullanımı uçak sanayindedir. Bir uçağın ağırlıkça % 70'i bu metalden oluşmaktadır. Uçak yapımında alüminyum ve alaşımlarının tercih edilme nedenlerinden en önemlisi alüminyum alaşımlarının özgül dayanımlarının diğer uygulanabilir metal alaşımlarına göre yüksek olmasıdır. Bu alanda yaygın olarak kullanılan alüminyum-bakır alaşımı duralüminyumun yerini gelecekte alüminyum-lityum alaşımlarının alması beklenmektedir. Böylelikle uçakların % 15 hafiflemesi sağlanacaktır. Bunların dışında kamyon kasaları, deniz veya hava taşımacılığında hafiflikleri nedeni ile tercih edilen konteynırlar ve çağdaş ulaşım araçları hızlı trenler bu sektörde yaygın olarak kullanıldığı vurgulamak için yeterlidir [17].

3.2. Alüminyum ve İletkenler

Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Bu nedenle, tüm alüminyum kullanımının Avrupa'da % 10'u, ABD'de % 9'u, Japonya'da % 7'si elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır. Alüminyumun bu alanda en çok kullanıldığı yer, elektrik nakil hatlarıdır. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilen tek malzeme olmuştur.

Alüminyum, yer altı kablolarında, elektrik borularında ve motor bobin sarımında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Elektronikte, alüminyum kullanım yerleri arasında,

şaseler, yongalar, transistor soğutucuları, data kayıt diskleri ve elektronik cihazların kasaları bulunmaktadır [15].

3.3. Alüminyum ve Ambalaj

Alüminyum için diğer bir kullanım alanı da ambalaj endüstrisidir. Alüminyum, konteyner üretiminden ilaç kutularına kadar çok çeşitli ambalaj uygulamalarına çok iyi cevap verir [17].

Banyoda dış macunu tüpünden, marketlerdeki sayısız ürünler, mutfakta folyoya sarılı fırın yemekleri ve buzdolabındaki soğuk meşrubatlara kadar, alüminyum pek çok ürünü sarar. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklinde üretilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi birçok elastisite ve rijit malzemeye göre onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar [16].

Alüminyum folyo, hava ile teması önlediği ve mor ötesi ışıkların ulaşması engellendiği için vakumlu ambalajlarda gıda maddeleri uzun süre saklanabilir. Ayrıca, çok iyi ısı kabiliyeti ile soğuk ve sıcak yiyecek saklanmasında yüksek verim sağlar. Esnek ve dayanıklı olan alüminyum folyo sadece 100 µm'lik bir kalınlıkta bile tamamen suya ve havaya karşı geçirimsizdir. Buhara , sıvılara karşı da dayanım gösterir. Toksik içermez ve elektriksel iletkenliği de çok iyidir [16].

Alüminyumun ambalaj sektöründe kullanımında en büyük pay, son yıllarda ülkemizde de yaygınlaşan bira ve meşrubat kutularındadır.

3.4. Alüminyum ve İnşaat

Alüminyumun dayanımı, hafifliği ve çok yönlü kullanıma uygunluğu onu inşaat sektöründe de ideal bir kaplama malzemesi durumuna getirmiştir [16].

İnşaat sektörü Avrupa'da yılda 1.2 milyon ton, ABD'de 10.5 milyon ton, Japonya'da 915.000 ton alüminyum kullanmaktadır. Alüminyum, binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskeletlerinde ve sera yapımında büyük miktarda kullanılır.

Alüminyumun sağlamlığı yanında sahip olduğu dekoratif görünüm, eloksal (anodik oksidasyon) kaplama ile bir bakıma ölümsüzleşir. Gerek natürel veya renkli eloksal kaplama, gerekse lake (elektrostatik toz veya sıvı) boyama ile alüminyum, mimar ve mühendislere inşaat sektöründe zengin seçenekler sunar.

İnşaat sektöründe; alüminyum ekstrüzyon, yassı ürünler ve döküm ürünleri kapı/pencere doğramaları, cephe/çatı kaplamaları ve aksesuarların yapımında kullanılır. Bugün için tarihten gelen ahşap, topraktan gelen alüminyum, petrolden gelen plastik farklı özellikleri ile inşaatlarda kullanılan doğrama ürünlerinin belli başlı elemanlarıdır. Çok yağışlı ortamlar için ahşap, çok güneşli, gece ve gündüz ile mevsimler arası sıcaklık farkının fazla olduğu bölgeler içinse plastik uygun malzemeler değildir. Buna karşın her iklim koşullarında doğa koşullarına en dayanıklı malzeme alüminyumdur. Alüminyumdan oluşmuş gelmiş yapılar yazın ve kışın sıcaklığın dengede tutulmasını sağlarlar ve izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır [16].

3.5. Elektriksel Uygulamalarda

Alüminyum ve alaşımlarından yapılmış elektrik iletkenleri günümüzde geniş çapta elektrik tellerinde, kablolarda, endüstride kullanılan enerji kablolarında kullanılmaktadır.

Alüminyumun elektriksel iletkenliği yüksektir bu da onun dünyanın birçok yerinde yüksek voltaj hatları, transmisyon hatları, birçok yeraltı hatlarında kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Alüminyum aynı zamanda elektriğin yerel dağıtımını için düşük voltajlara kadar düşürüldüğü şalterlerde ve dağıtım hatlarında da kullanılır. 1950' lerden bu yana alüminyum özellikle elektrik ampullerinin yapımında pirincin yerini almıştır [16].

Her yıl Amerika'da 4 milyardan fazla elektrik ampulünde, florasanlarda ve diğer elektrik lambalarında % 95 oranında alüminyum kullanılmaktadır.

3.6. İlaç Endüstrisinde Alüminyum

Eczacılık alanında alüminyum hidroksit peptik ülserin tedavisinde ve gastritin yok edilmesinde geniş çapta kullanılmaktadır [16].

3.7. Alüminyum ve Diğer Mühendislik Uygulamaları

Makina elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona direnci ve işleme kolaylığı alüminyumun üstün özellikleridir. Hafifliği nedeniyle, büyük ve tek parçaların yer değiştirebilmesi mümkün olur. Hassas toleranslarda işleme kolaylığı sayesinde, standart birimlerden büyük parçaların yapılması olanağı vardır. Karmaşık kesitli parçaların üretiminde, alüminyumun ekstrüzyonu büyük üstünlük sağlar [16].

Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum döküm ile yapılır. Son uygulamalarda krank mili yataklarında alüminyum kullanılması, bu parçaların uzun ömürlü olmasını sağlamıştır. Son yıllarda otomotiv piyasasında yanlışlıkla "çelik jant" denilen ve kullanılan gösterişli, parlak, boya ve bakım gerektirmeyen "hafif alaşım" jantlar alüminyumdur.

Ayrıca alüminyum doğrama malzemesi olarak da önem kazanmaktadır. Alüminyum doğrama malzemesinin paslanmaz oluşu, dekoratif görünümü, çevreye duyarlı, geri dönüşümlü olması ve malzemenin kendi boyası ile uzun süre kullanılması vb. özellikleri, yapılarda cephe kaplama, doğrama gibi biçimlerde ve çeşitli konstrüksiyon işlerinde tercih edilen bir malzeme olmasını sağlamaktadır [16].

BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci gibi üstünlüklerinden makina, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş oranda yararlanılması, ancak dayanım özelliklerinin alaşımlama yoluyla iyileştirilmesinden sonra gerçekleşebilmiştir. Saf alüminyum Tablo 4.1'de görüldüğü gibi mekanik özelliklerini ve dökülebilirliğini geliştirmek için çeşitli elementlerle alaşımlandırılır. Alüminyuma katılan başlıca alaşım elementleri Mg, Mn, Si, Cu, Zn ve bazı hallerde de Ni ve Ti 'dur [6].

Tablo 4.1. Alaşım elementlerinin alüminyum özelliklerine etkisi.

Elementler	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Ti	Cr	Ni	Li	Sn	Pb
Yoğunluk	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Akışkanlık	↓	↑	↑	↓	↓	≈	↓	-	-	-	-	-
Sertleşme	↑	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↑	-	-	↓	↓
Mukavemet Sürt.Muk.	↑	↑	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	↑	-	↑	-
Elektrik İletkenliği	↓	↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓	↓↓	↓↓	↓	↓↓	≈	-
Korozyon Mukavemeti	-	↑	↑↑	↑↑	↓	↓	-	-	↓	-	↓	↓
Isıl Genleşme Katsayısı	-	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	-	-	-

Alaşım elementleri alüminyum içinde üç farklı halde bulunabilirler.

- 1) Alüminyum içinde katı halde çözünebilirler.
- 2) Katı halde alüminyum içinde çözünmeyip veya sınırlı miktarda çözünerek, mekanik bir karışım oluşturabilirler.
- 3) Al ile veya kendi aralarında metallere arası bileşik veya kimyasal bileşik oluşturabilirler [6].

Alüminyuma katılan alaşım elementlerinden genellikle malzemenin şekil değiştirme kabiliyetini ve korozyon direncini etkilemeden mukavemet özelliklerini geliştirmesi beklenir. Alüminyuma çok az miktarda katılan Mn, Mg, Si, Cu ve Zn alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısında yer alarak katı ergiyik oluştururlar ve kristal kafesin kaymaya karşı direncini yükseltirler. Bu şekilde şekil değiştirme kabiliyeti fazla etkilenmeden akma mukavemeti yükseltilmiş olur [6].

Alaşım elementlerinin miktarlarının artması ile bunların alüminyum içinde çözülemeyen kısmı sert kırılğan metaller arası bileşikler ve arafazlar oluşturur ve böylece mukavemet daha da artar ama şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Alüminyum karışım kristalleri yüksek sıcaklıklarda oda sıcaklığına göre daha fazla element çözüdürürler. Bu nedenle soğuma sırasında sekonder ayrışmalar oluşur. (Demir karbon diyagramındaki sekonder segmentinin ayrışmasına benzer). Böylelikle birçok alüminyum alaşım sertleşme kabiliyetine sahip olur ve alaşımsız çeliklerin sertliğine erişecek hafif inşaat konstrüksiyonlarında kullanılabilirler [12].

4.1. Alaşım Elementlerin Etkisi

Alüminyum birçok metal ile sıvı halde kolayca karışabilir. Birçok alaşımda metaller arası bileşikler oluşur ve alaşımın mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileşir. Alüminyum; bakır, magnezyum, mangan, silisyum, çinko gibi elementlerle yüksek sıcaklıklarda yüksek katı çözünürlüğü, oda sıcaklığında ise düşük katı çözünürlüğü gösterir [13].

4.1.1. Bakırın etkisi

Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementlerinden biridir. Alaşımlara sertlik kazandıran başlıca elemandır. Bakır düşük sıcaklıklarda ısıl işleme, yüksek sıcaklıklarda ise diğer alaşım elementleri ile meydana getirdiği arafazlar dolayısıyla malzemenin mukavemetini artırır. Bakır kopma mukavemeti, elastisite sınırı ve özellikle sertlik gibi mekanik özellikleri önemli ölçüde artırır. Buna karşılık deformasyon kabiliyeti ve süneklik bakır yüzdesinin artması ile azalır [13].

4.1.2. Magnezyumun etkisi

Magnezyum elementi alüminyuma yüksek mukavemet, iyi süneklik, iyi korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti sağlamaktadır. Mg_2Si yapacak miktarda magnezyum ve silisyum içeren alaşımlar ısıl işleme tabi tutulabilen ve kolay işlenebilen alaşımlardır. Al-Mg alaşımının döküm özellikleri iyi değildir, % 10'a kadar Mg içeren döküm alaşımı yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip olmakla birlikte, erime ve dökmedeki teknolojik zorluklar bu alaşımın karmaşık parçalarda kullanılmasını engeller. Magnezyum % 2'den fazla eklendiği zaman gevreklik sorunu ortaya çıkar. Alüminyum-silisyum-bakır alaşımlarında belli bir miktarda magnezyum eklenmesiyle alaşım sertlik ve sağlamlık kazanır [13].

4.1.3. Silisyumun Etkisi

Silisyum, bakırdan sonra alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementidir. Alüminyum alaşımlarına akışkanlık, mukavemet ve kaynak kabiliyeti kazandırır. Silisyum içeren alaşımlar, yüksek akışkanlıkları nedeniyle, iyi döküm özelliklerine sahiptirler ve bu nedenden ötürü tasarım bakımından karışık olan parçaların dökümünde kullanılabilirler [13].

4.1.4. Demir

Alüminyum alaşımına demir eklenmesiyle, alaşımın metalik kalıba yapışma eğilimi azaltılmış olur. Al-Fe alaşımlarının plastik şekil alma kabiliyeti ara kimyasal bileşiklerinden boyut ve dağılımına bağlıdır.

Demirli, sıvı alüminyum-silisyum ve magnezyum alaşımı yavaş yavaş soğutulduğu zaman geri kalan sıvı kısmı alaşımın halini korurken demirin bu alaşımın metalleriyle bağlı olan kısmı bileşimi katılaşıp fırın veya potanın dibine çöker. Eğer sıcaklık tekrar arttırılırsa dahi, bu katı sıvı kısım sıvılaşmaz. İyi bir katılaşma sağlanmadıkça tabanda kalır. Bu katı bileşimler, sıvı metal ile birlikte döküm kalıbına girdiği zaman, ileride işleme sırasında sert noktaların meydana gelmesine neden olur. Bunu önlemek için sıvı metal sıcaklığının 700 °C' nin altına düşürülmesi, metalin iyi karışması ve her bir katı alaşım maddesi eklenmesinden sonra iyi bir karışma işleminin yapılması gerekir [13].

4.1.5. Mangan

Mangan dövme alüminyum alaşımlarında en fazla kullanılan alaşım elementlerindendir. Döküm alaşımlarında ise daha limitli olarak kullanılmaktadır. Mangan elementi sertleştirici etkisinin yanında demirin kötü etkisini engelleyici bir rol oynamaktadır.

% 75'e kadar Mn eklenmesi, döküm alaşımlarında sertliği artırır, sünekliği azaltır. Dövme alaşımlarında Mn, yüksek mukavemet, korozyona karşı direniç ve iyi kaynak kabiliyeti verir. Fazla miktarda Mn ve Mg veya her iki elementin fazlaca birarada olması haddeleme sırasında çatlak oluşumuna yol açar.

Al-Si demirden meydana gelen iğne şekilli yapı, mangan eklenmesiyle daha az zararlı duruma gelmektedir. Mangan, genellikle kum ve metal kalıpta döküm uygulamalarında arzu edilen bir alaşım elementi olarak tanımlanmaktadır.

Manganın bulunması, belli miktarda demir eklenmesine de olanak sağlamaktadır. Kum metal kalıba dökümde, pres dökümde ki kadar hızlı bir soğuma olmadığı için manganeze ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat pres dökümde, mangan eklenmesi gereklidir [13].

4.1.6. Nikel

Nikel yüksek sıcaklıkta malzemeye dayanım kazandırmak amacıyla eklenir. Nikel içeren alüminyum alaşımlarında ısıl genleşme katsayısı oldukça düşüktür.

Pres döküm alaşımlarında istenerek nikel eklenmektedir. Fakat hurdaların kullanılmaları sonucu, yapılan alaşıma nikel karışabilmektedir, sertliği ve sağlamlığı arttırır, ancak oluşan fark pek önemli ölçüde olmamaktadır.

Hava soğutmalı motorların silindir kafaları ile içten yanmalı motorların pistonları nikelli alüminyum alaşımlarından imal edilir [13].

4.1.7. Çinko

Al-Zn alaşımları çok yüksek mukavemetli alaşımlardır. Alüminyum alaşımlandırılmasında genellikle magnezyum elementi ile birlikte kullanılır. Alüminyum yüksek değerlerde çinko ile alaşımlandırılırsa süper plastik özellik gösterir [13].

Çinko eklenmesinin, alaşımın sıcak şekil almada gevreklik meydana getirmesi ve korozyona dirençli olmayışı görüşü uzun yıllar yoğunluk kazanmıştır. Ancak, yakın zamanda yapılan çalışmalar, % 2.5'e kadar çinko eklenmesiyle mekanik özelliklerin hiç değişmediği ve korozyona karşı dirençte de bir fark olmadığını ortaya koymuştur. Çinko eklenmesi, işlenme özelliğini daha da iyileştirmektedir [13].

4.1.8. Kurşun

Özgül ağırlığının fazla olmasından ve alüminyum içinde sıvı halde iken bile eriyebilme oranının az olmasından dolayı, alaşıma karıştırılması çok güçtür. 0.05'den daha az katılır. Kalay ile birlikte bulunduğu alaşımın işlenebilme kabiliyetini artırır [13].

4.1.9. Kalay

Metal sıvı hale gelince eklenmesi oldukça kolaydır. Eklendikten sonra dibe çökmemesi için ergiyik iyice karıştırılmalıdır [13].

4.1.10. Lityum

Lityumun yoğunluğu, alüminyumun yoğunluğunun ancak 1/5'i kadardır. Sadece hafifliğin birinci gereksinim olduğu yerlerde kullanılması uygundur. Çünkü gerektirdiği özel ekipmanlar nedeniyle maliyeti, diğer karışım elemanlarına göre 3-5 kez daha pahalıdır [9].

4.1.11. Krom

Krom, katı halde çok düşük çözünürlüğü olan $CrAl_7$ ara kimyasal bileşiği oluşturur. $CrAl_7$ kaba bir ara kimyasal bileşim olmasın Fe, Mn veya Ti eklenmesi ile bu kaba metallere kimyasal bileşik ortadan kaldırılabilir.

Krom anodizasyon işleminde altın sarısı renk vermesi için kullanılır. %0.15-0.25 oranındaki krom, Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarında korozyona karşı direnci artırır ve gerilmeli korozyon olasılığını azaltır. Krom, alaşıma %2 Cr-Al ana alaşımı halinde eklenir.

4.1.12. Titanyum

Titanyum genellikle, boksitte çok az miktarda bulunan TiO_2 'den gelen bir katışıktır. Bunun haricinde döküm alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılır. Pres dökümde istenmez ve en fazla % 0.2 oranında katılır. Boron ile birlikte bulunduğu zaman etkisini daha fazla gösterir.

Titanyum, alaşıma % 4-10 Ti-Al alaşımı halinde eklenir [9].

4.1.13. Zirkonyum

Döküm alaşımlarında tane küçültücü alaşım elementi olarak kullanılır. Alüminyum alaşımlarında korozyon direncini arttırıcı rolü vardır ve yüksek sıcaklıklarda sürünme direncini arttırır.

Zirkonyum alaşıma % 5.5 Zr-Al ana alaşım olarak eklenir [13].

4.1.14. Fosfor

Fosfor, genellikle boksitte bulunan fosfatlardan gelen tali bir empürite elemanıdır. Ötektik üstü alüminyum-silisyum alaşımlarına silisyumlu primer fazın daha küçük ve daha düzgün dağılmış olarak bulunması için eklenir. Fosforun alüminyumdaki çözünürlüğü milyonda birkaç (ppm) mertebesindedir. Fosfor, alaşıma Cu-P alaşımı halinde ilave edilir.

4.1.15. Sodyum

Sodyum, alüminyum-silisyum alaşımlarını modifiye etmek için kullanılır. Sodyum içeren Al alaşımlarında mekanik özelliklerde, süneklik ve darbe dayanımında çok

düşme, sertlikte de çok az artma oluşturmakla beraber % 0.01 mertebesindeki Na sıcak yırtılmaya yol açabileceği gibi korozyon direncini de düşürür.

4.2. Alaşım Türleri

Alüminyum alaşımları teknolojik özelliklerine ve kullanma şartlarına bağlı olarak genellikle dövme ve dökme türü olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Bu iki grup içinde dövme alüminyum alaşımları dövme ve plastik şekil verme usulleri ile şekillendirilirken, dökme alüminyum alaşımları sadece döküm yoluyla şekillendirilebilir. Bu iki grup kendi içinde; ısıt işlem uygulanabilen ve ısıt işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları olmak üzere alt bölümlere ayrılır. Isıt işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri soğuk şekil verme ve ısıt işlem vasıtasıyla gerçekleştirilirken, ısıt işlem uygulanamayan alaşımlarda sadece soğuk şekil verme ile mukavemet artışı sağlanabilir.

Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki grupta toplanabilir. Dövme alüminyum alaşımları kütük halde ingotlardan alınarak haddeleme dövme ve ekstrüzyon gibi plastik şekil verme yöntemleri ile üretilir. Dökme alüminyum alaşımları ise, döküm yöntemi ile üretiminde parçaların imalatında kullanılırlar [1].

4.2.1. Dövme alüminyum alaşımları

Bu gruba giren alüminyum alaşımları Cu, Mg, Mn, Si ve Ni gibi elementler içerirler; çoğu kez önce sürekli döküm yöntemi ile blok halinde elde edildikten sonra, homojenleştirme tavına tabi tutulurlar ve haddeleme veya ekstrüzyon ile şekillendirilirler.

Döküm yapısında iken tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazlar, şekil değiştirme sırasında parçalanır ve ana kütleye dağılır ve böylece alaşım soğuk şekil vermeğe uygun hale geçer [7].

Dövme alüminyum alaşımları dört basamaklı bir sayı ile tanımlanırlar. Dünyada en yaygın olarak kullanılmakta olan ve Amerikan Standartları Birliği tarafından belirlenmiş olan bu simgeleme şeklinde ilk rakam ana alaşım elementinin cinsini gösterir. Saf alüminyum için son iki rakam alüminyumun saflık değerini gösterir. İkinci rakam ise özellikle denetlenen katkı elementlerinin sayısını verir. 2XXX'den 8XXX'e kadar olan dizilerde ilk rakam ana alaşım elementinin cinsini, ikinci rakam ise değişimleri simgeler. Son iki rakamın özel bir anlamı yoktur, yalnızca alaşımı o dizide yer alan diğer alaşımlardan ayıran sıra sayısı olarak kullanılır.

Tablo 4.2. Dövme alüminyum ve alaşımları ANSI 35.1 standardına göre ana grupları.

Alüminyum>%99.00	1 xxx
Bakır	2 xxx
Mangan	3 xxx
Silisyum	4 xxx
Magnezyum	5 xxx
Magnezyum ve silisyum	6 xxx
Çinko	7 xxx
Diğer elementler	8 xxx
Kullanılmayan seri	9 xxx

Günümüz endüstrisinde en çok kullanılan dövme alüminyum alaşımları ve bunların kimyasal bileşimi Tablo 4.3'de ve Tablo 4.4'de de ANSI standartlarında belirtilen dövme alaşımları görülmektedir [6].

Tablo 4.3. Bazı dövme alaşımlarının kimyasal bileşimi.

Alaşım no. ANSI	%Si	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	% diğerleri	%Al, min.
1060	-	-	-	-	-	-	-	99.60
1350	-	-	-	-	-	-	-	99.50
1100		0.12	-	-	-	-	-	99.00
2014	0.8	4.4	0.8	0.5	-	-	-	Gerisi
2017	0.5	4.0	0.7	0.6	-	-	-	Gerisi
2117	-	2.6	-	0.35	-	-	-	Gerisi
2219	-	6.3	0.30	-	-	-	1.1Fe,1.0Ni,0.07Ti	Gerisi
2024	-	4.4	0.6	1.5	-	-	1.2V,0.18Zr,0.06Ti	Gerisi
3003	-	0.12	1.20	-	-	-	-	Gerisi
3105	-	-	0.6	0.5	-	-	-	Gerisi
4043	5.2	-	-	-	-	-	-	Gerisi
4047	12.0	-	-	-	-	-	-	Gerisi
5005	-	-	-	0.8	-	-	-	Gerisi
5050	-	-	-	1.4	-	-	-	Gerisi
5154	-	-	-	3.5	0.25	-	-	Gerisi
5454	-	-	0.8	2.7	0.12	-	-	Gerisi
5056	-	-	0.12	5.0	0.12	-	-	Gerisi
5086	-	-	0.45	4.0	0.15	-	-	Gerisi
6061	0.6	-	0.28	1.0	0.20	-	-	Gerisi
6262	0.6	0.28	-	1.0	0.09	-	0.6Bi,0.6Pb	Gerisi
6063	0.4	-	-	0.7	-	-	-	Gerisi
6101	0.50	-	-	0.60	-	-	-	Gerisi
6351	1.0	-	0.6	0.6	-	-	-	Gerisi
7005	-	-	0.45	1.4	0.13	4.5	0.14Zr,0.03Ti	Gerisi
7049	-	1.6	-	2.4	0.16	7.7	-	Gerisi
7050	-	2.3	-	2.2	-	6.2	0.12Zr	Gerisi
7075	-	1.6	-	2.5	0.23	5.6	-	Gerisi
7475	-	1.6	-	2.2	0.22	5.7	-	Gerisi
7178	-	2.0	-	1.6	-	7.5	-	Gerisi

Tablo 4.4. ANSI standartlarında belirtilen bazı dövme alüminyum alaşımlarının ISO karşılığı
(International Organization For Standardization)

ANSI	ISO		ANSI	ISO
1060	Al 99.6	X	5154	Al Mg 3.5
1350	E-Al 99.5	X	5454	Al Mg 3 Mn
1100	Al 99.0 Cu			
		X	6061	Al Mg 1 Si Cu
		X	6063	Al Mg 0.7 Si
2014	Al Cu 4 Si Mg	X	6101	E-Al Mg Si
2017	Al Cu 4 Si Mg	X	6262	Al Mg 1 Si Pb
2117	Al Cu 2.5 Mg	X	6351	Al Si 1 Mg 0.5 Mn
ANSI	ISO		ANSI	ISO
2219	Al Cu 6 Mg			
2024	Al Cu 4 Mg 1			
		X	7005	Al Zn 4.5 Mg 1.5 Mn
3003	Al Mn 1 Cu	X	7049	Al Zn 6 Cu Mg Zr
3105	Al Mn 0.5 Mg 0.5	X	7050	Al Zn 4.5 Mg 1.5 Mn
		X	7075	Al Zn 5.5 Mg Cu
4043	Al Si 5	X	7475	Al Zn 5.5 Mg Cu
4047	Al Si 12	X	7178	Al Zn 7 Mg Cu
5005	Al Mg 1			
5050	Al Mg 1.5			
5056	Al Mg 5 Cr			
5083	Al Mg 4.5 Mn 0.7			
5086	Al Mg 4			

1xxx serileri; Bu gruba ticari olarak saf alüminyum da denir. %99 yüksek saflığa sahiptir. Bunlar elektrik ve kimyasal endüstri alanlarında kullanılmaktadır.

2xxx serileri; Al-Cu dövme alaşımları olarak da adlandırılırlar. % 2'den 6.3'e kadar Cu içerirler. Aynı zamanda az miktarda Mg, Mn ve Fe, Ni, Ti, Vn, Zr, Zn gibi diğer elementler de içermektedir. Tavlama işlemiyle dayanımlarında artma olmakta ve bazen ısı tavlama ile çözündürme ve suni yaşlandırma işlemleri uygulanmaktadır.

Daha çok uzay endüstrisinde (uçak yapımında) 2014, 2024, 2219 gibi tavlama ile çekme dayanımı 276 MPa'dan 2.14 MPa'ya çıkabilen alaşımlar kullanılır. 2xxx

serileri saf alüminyum ve ince tabaka ile kaplanmış alüminyum alaşımları kadar bir korozyon direncine sahip değildir.

3xxx serileri; % 0.5'den 1.2'ye kadar Mn içermektedir. 3003 alaşımı ayrıca % 0.12 bakır bulundurur. 3xxx alaşımları 186 MPa'dan 248 MPa'ya kadar maksimum bir çekme dayanımı sağlar. Kimyasal ekipmanlarda, depolama tanklarında, pişirme kaplarında kullanılırlar.

4xxx serileri; Yaklaşık % 12'lik Si eklenmesi ile karakterize edilir. Lehimlemede kullanılabilirler.

5xxx serileri; Temel alaşım elementi %1'den % 5'e kadar varan Magnezyumdur. Kaynaklanabilirlik ve korozyon dirençleri çok iyidir. Fakat soğuk işleme miktarı sınırlıdır. 5083, 5154, 5454 ve 5456 gibi alaşımlar yaygın olarak kaynaklı yapılarda basınçlı kazanlarda, tanklarda, uçak panelleri, hidrolik tüpler gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılır.

6xxx serileri; % 0.4'den % 1.4'e kadar Silisyum ve Magnezyum ile karakterize edilir. 6009 ve 6010 alüminyum alaşımları suni yapılandırma ve sıcak çözünme ile kuvvetlendirilmektedir.

6061 alaşımı deniz, tren gibi ulaşım endüstrisinde 6063 alaşımı mobilya ve mimari yapılarda kullanılmaktadır.

7xxx serileri; Çinko temel alaşım elementidir. Ayrıca Magnezyum ile de bu alaşımlar kuvvetlendirilmişlerdir.

7005, 7049, 7050, 7072, 7075, 7175, 7178 ve 7475 gibi alaşımlar % 4.5'dan % 7.6'ya, % 1.4'den % 2.7'ye kadar Mg, Zn ve bazı durumlarda Cu, Mn, Si, Ti, Zr içerir. Bu alaşımlar 483 MPa'ı aşan çekme dirençleri ile en mukavemetli alaşımlardır.

Bunlar yaygın olarak yüksek mukavemet isteyen yapılarda ve özellikle uçaklarda kullanılmaktadır.

Temperlenmiş Sistem:

Alüminyum Association ve ASM dövme ve döküm alüminyum alaşımları için bir temper dizayn sistemi sağlar.

Temel temper kodları aşağıdaki gibidir;

F: İşlenmiş

O: Tavlanmış, Rekristalizasyon yapılmış. (dövme için) H: Gerilme sertleşmesine uğramış

H'ı daima 2 veya daha fazla sayı izler. İlk rakam özel bileşimi gösterir.

H-1 : Sadece gerilim-sertleşmesi

H-2: Gerilim sertleşmesi ve kısmi tavlama

H-3 : Gerilim sertleşmesi ve stabilize işlemi

W: Çözünme ısıl işlemi yapılmış

T: Sıcak dengeli temperler oluşturmak için yapılan işlem

T1: Doğal yaşlandırılmış

T2: Tavlanmış

T3: Isıl işlem görmüş ve sonradan soğuk işlenmiş

T4: Isıl işlemle çözünmüş ve doğal olarak yaşlandırılmış

T5: Suni yaşlandırılmış

T6: Isıl işlemle çözünmüş ve sonradan suni yaşlandırılmış

T7: Isıl işlemle çözünmüş ve stabilize edilmiş

T8: Isıl işlemle çözünmüş ve sıcak işlenmiş, sonradan suni yaşlandırılmış

T9: Çözünmüş, suni yaşlandırılmış ve sonradan soğuk işlenmiş

T10: Doğal olarak yaşlandırılmış ve sonradan soğuk işlenmiş [1]

Dövme alüminyum alaşımları ısıl işlem neticesinde sertleşmeyen alaşımlar ve ısıl işlemle sertleşen olmak üzere iki kısımda incelenir [13].

Isıl işlem neticesinde sertleşen alaşımlar:

Bu alaşımların başlıcaları şunlardır.

Al Mg Si Al

Cu Mg Al Zn

Mg Al Cu Ni

AlCu

Al Mg Si: Yapısında % 0.3-1.5 Mg, % 0.2-1.5 Si ve % 0-1.5 Mn bulunur. Özgül ağırlığı 2.7 Kg/cm³'tür. Dayanımları 320 N/mm²'dir. Şekil değiştirme ve polisaj kabiliyeti iyi, mukavemeti orta ve korozyona karşı da dayanıklıdır. Uçak inşaatında, dekorasyon işlerinde, yangın söndürme aletlerinin ve elektrik iletkenlerinin imalinde kullanılır. Isıl işlemle mukavemeti yükselir [9].

Al Cu Mg: Yapısında 2.5-5 % Cu, 0.2-2.5 % Mg, 0.3-1.5 % Mn ve 0.2-1.5 % Si bulunur. Ayrıca 0.5 % Fe 0.1 % Zn ihtiva eder. Özgül ağırlığı 2.3'dür.

Bunlar, bütün alüminyum alaşımları içinde en mukavemetli olanlardır ve ikinci dünya savaşı sırasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Sertleşme durumunda mukavemeti St 52 çeliğinin mukavemetine erişir. Çekme dayanımları 440 N/mm²'dir [19].

Kullanma alanları, kaynak konstrüksiyonlan (taşıt imalatında), transport tekniğinde kullanılır [9].

Al-Cu Ni: bileşiminde 3.5-4.5 % Cu, 1.8-2.2 % Ni, 1.3-1.8 % Mg ve bunlardan başka 0.5 % Si, 0.5 % Fe ve 0.1 % Zn bulunur. Isıl işlem neticesinde oda sıcaklığında sertleşir. Sıcakta mukavemetini kaybetmez. Patlamalı motorların silindir kafaları ve pistonlarının imalinde kullanılır [9].

Al-Cu: Yapısında 4.5-6 % Cu, 0.4-0.6 % Mn, 0.2-0.5 % Si bulunur. Özgül ağırlığı 2.8'dir. Mukavemeti iyi olduğundan çok zorlanan parçaların imalinde kullanılır.

Al-Zn Mg: Bütün alüminyum alaşımlarından daha yüksek bir mukavemete sahiptir. Bundan ötürü de uçak inşaatında çok kullanılır. Özgül ağırlığı 2.8'dir [9].

Isıl işlem sonucunda sertleşmeyen alaşımlar aşağıdaki gibidir.

Bu alaşımların başlıcaları şunlardır: Al Mg, Al Mg Mn, Al Si, Al Mn.

Al Mg: Yapısında 2.5-12 % Mg ve 0.0-1.5 % Mn bulunur. Özgül ağırlığı 2.6 ile 2.7'dir. Magnezyum alüminyuma ilavesi, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek mukavemet, çekme ve yorulma mukavemetlerinin iyileştirilmesi de ilave olmak üzere arzu edilen bir çok özellikleri kazandırılır. Alüminyum-magnezyum alaşımları içine 4 tanesi en fazla kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla % 2, % 3.5, % 5 ve % 7 miktarında magnezyum ile birlikte az miktarda manganez ve krom ihtiva eden alaşımlardır. Bu alaşımlar işlem sırasında oldukça çabuk sertleşirler bu sebepten ötürü yüksek magnezyumlu alaşımlar sıcak veya soğuk olarak işlemek nispeten güçtür [12].

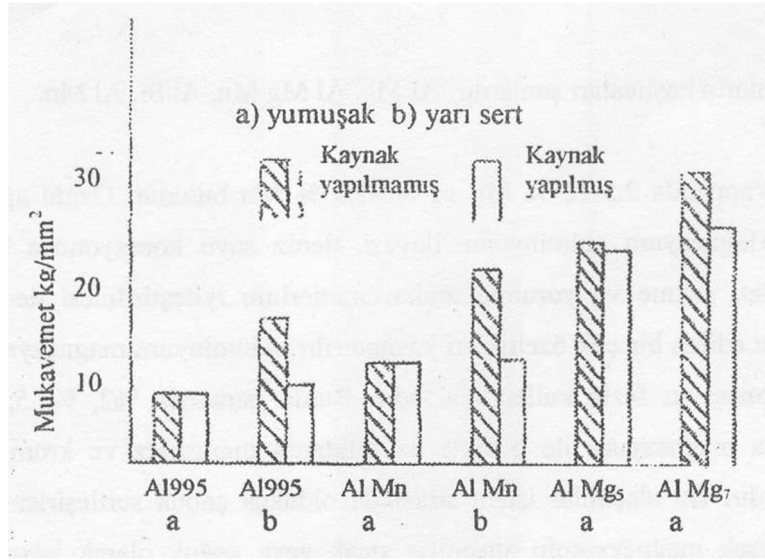
Al Mg Mn: Yapısında 2-2.5 % Mg, 1-2 % Mn, 0.0-0.2 % Sb ayrıca 0.8 % Fe+Si, 0.05 % Cu ve 0.05 Zn bulunur. Özgül ağırlığı 2.7'dir. Deniz suyuna karşı dayanıklıdır. Dolayısıyla deniz vasıtalarının inşa ve kaplamasıyla, kimya ve gıda sanayinde çok kullanılır [9].

Al-Si : 12-13.5 % Si içerir. Özgül ağırlığı 2.7'dir. Mukavemeti saf alüminyumdan yüksek ve korozyona karşı dayanıklıdır. Bu alaşıma silümin adı da verilir.

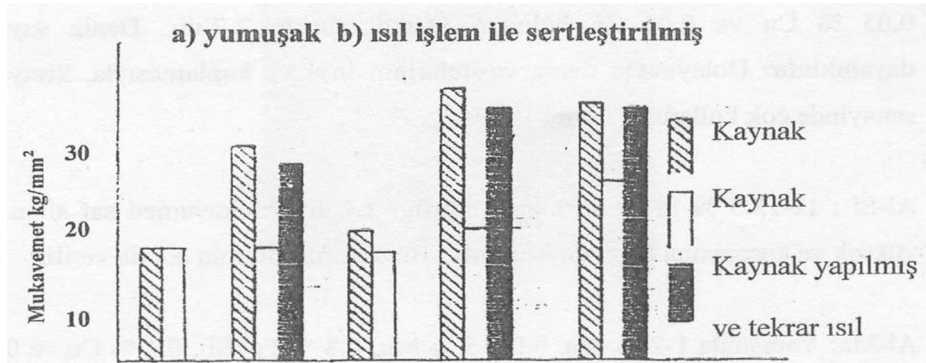
Al-Mn: Yapısında 1-2 % Mn, 0.0-0.5 % Mg, 0.8 % Fe+Si , 0.1 % Cu ve 0.05 % Zn bulunur. Özgül ağırlığı 2.7'dir. Saf alüminyumdan daha yüksek bir mukavemete sahiptir. Korozyona karşı direnci dolayısıyla kimya ve gıda endüstrisinde kap üretiminde kullanılır [9].

4.2.1.1. Dövme alaşımlarının kaynak sırasındaki dayanım özellikleri

Saf ve hafif alaşımlı alüminyumun yumuşak cinslerinin dayanımları, kaynak işleminden sonra değişmez hatta kaynaktan sonra yüksektir. Şekil de bu durum açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.1. Isıl işlem neticesinde sertleşmeyen alüminyum alaşımlarının dayanımlarının kaynakla değişmesi.



Şekil 4.2. Isıl işlem neticesinde sertleşen alüminyum alaşımlarının dayanımlarının kaynakla değişmesi.

4.2.2. Döküm alaşımları

Dökme alaşımlar genellikle kum döküm, pres döküm ve sabit kalıp yöntemleri kullanılarak dökülürler. Bu alaşımlar son derece yüksek fiziksel özellikler gösterirler, kaynak edilebilirler. Döküm alaşımlarının çoğu silisyum içerir. Döküm alüminyum alaşımlarına bir miktar bakır eklenmesi, talaş kaldırma özelliklerini geliştirir, buna karşın, korozyon dayanımında azalmaya neden olur.

Döküm alüminyum alaşımlarına silisyumdan başka magnezyum katarak çökeltme yoluyla sertleştirilebilen ve deniz suyunun korozif etkilerine dirençli alaşımlar elde edilir [6].

Günümüz endüstrisinde en fazla kullanılan döküm alüminyum alaşımları Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Döküm alüminyum alaşımları.[6]

Kısa gösteriliş	Bileşim (kalan Al)				$\sigma_{maks.}$ kgf / mm ²	$\sigma_{0.2}$ kgf / mm ²	δ_5 %	BS kgf/mm ²
	Si %	Mg %	Mn %	Cu %				
D-AlSi12	11.0	-	<0.5	-	17-22	8-9	4-8	55
DK-Al-Si12	13.5	-	<0.5	-	20-26	9-11	3-7	60
D-AlSi12(Cu)	11.0	-	<0.5	<1.0	15-22	8-10	1-4	60
DK-AlSi12 (Cu)	13.0	-	<0.5	<1.0	18-26	9-12	2-4	65
D-AlSi10Mg	9.0	0.2	<0.5	-	18-24	9-11	2-5	60
D-AlSi5Mg,ya	11.0	0.4	<0.5	-	22-30	17-26	1-4	95
DK-AlSi5Mg,ya					24-32	20-28	1-4	100
D-AlSi5Mg	4.5	0.5	<0.5	-	14-18	10-13	1-3	60
D-AlSi5Mg, do	6.0	0.8	<0.5	-	18-25	15-18	2-5	75
DK-AlSi5Mg, ya					26-30	24-29	1-3	100
D-AlSi5Cu1	5.0	0.3	<0.5	1.0	26-22	10-14	1-3	70
D-AlSi5Cu1, do	6.0	0.6	<0.5	1.5	20-27	16-20	1-3	85
DK-AlSi5Cu1,ya					23-30	20-26	1-2	100
D-AlSi9(Cu)	7.0	-	<0.5	<1.6	15-20	10-14	1-3	75
DK-AlSi9(Cu)	11.0	-	<0.5	<1.6	17-22	11-15	1-2	80
D-AlMg3	<1.3	2.0	<0.5	-	14-19	8-10	3-8	55
D-AlMg3, ya		4.0	<0.5	-	21-28	13-16	2-8	80
DK-AlMg3, ya					22-33	15-18	4-15	80
D-AlSi6Cu4	5.0	0.1	0.3	3.0	16-20	10-15	1-3	70
DK-AlSi6Cu4	7.0	0.3	0.6	5.0	17-22	14-16	1-3	85
D-AlSi7Cu3	6.0	0.1	0.3	2.0	16-20	10-15	1-3	70
DK-AlSi7Cu3	8.5	0.3	0.5	4.0	17-22	11-16	1-3	85
DB-AlSi12	11.0	-	<0.5	-	20-28	12-18	1-3	80
	13.5	-	<0.5	-				
DB-AlSi10(Cu)	8.0	<0.5	<0.5	<0.4	18-26	12-16	1-3	70
	12.0	<0.5	<0.5	<0.4				
DB-AlSi6Cu3	5.0		0.2	0.2	20-28	14-18	1-3	80
	8.0		0.6	4.0				

D : Kum kalıba döküm
DK: Kokil döküm
DB: Basınçlı döküm

do: Doğal yaşlandırma
ya: Yapay yaşlandırma

Dökme alüminyum alaşımlarının simgeleme şekli de dövme alüminyum alaşımlarınkine benzer. Dört rakamlı simgelemede tek fark dördüncü rakamın üçüncüden bir nokta ile ayrılmasıdır. İlk hane dövme alaşımlarında olduğu gibi alaşım element gurubunu ifade etmektedir. lxx.x serisi minimum % 99,0 alüminyum

içeren alaşımlardır, 3xx.x serisinde ise silisyum ana alaşım elementidir. Ayrıca bakır ve magnezyum gibi alaşım elementleri de alaşımda yer almaktadır. Noktayı takip eden sayı parçanın döküm mü ingot mu olduğunu gösterir. O rakamı dökümü 1 ve 2 ise ingotu ifade eder. Mesela 356,0 kum veya kokille dökülmüş parçayı ifade ederken 356,1 ve 356,2 ingotları ifade eder.

Bu döküm alaşımlarından bazılarında yaşlandırma sertleştirme uygulanarak mekanik özellikleri değiştirilir. Bazı alaşımlar ise sadece tavlanarak sünekliği artırılır [1].

Tablo 4.6. Döküm alüminyum alaşımlarının ANSI 35.1 standartlarına göre ana grupları.

Seri	Alaşım Ailesi
1xx.x	Saf Alüminyum (%99'dan daha fazla)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silisyum + Bakır ve/veya Magnezyum
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seriler
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

Tablo 4.7. Bazı döküm alaşımlarının tanımı.

No	Form	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Zn	%Ti
356.0	Döküm	6.5-7.5	0.601	0.25	0.35	0.20-0.45	0.35	0.25
356.1	İngot	6.5-7.5	0.50	0.25	0.35	0.25-0.45	0.35	0.25
356.2	İngot	6.5-7.5	0.20	0.10	0.05	0.30-0.45	0.35	0.20

Tablo 4.8. Bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimi.

Bileşim	%Si	%Fe	%Cu	%Mg	%Zn	Diğerleri %
201.0	<0.10	<0.15	4.6	0.35	-	0.7 Ag, 0.35 Mn
208.0	3.0	<1.2	4.0	<0.10	<1.0	-
222.0	<2.0	<1.5	10.0	0.25	<0.8	-
242.0	<0.7	<1.0	4.0	1.5	<0.35	2.0 Ni
319.0	6.0	<1.0	3.5	<0.10	<1.0	-
355.0	5.0	<0.6	1.25	0.5	<0.35	-
356.0	7.0	<0.6	<0.25	0.35	<0.35	-
357.0	7.0	<0.15	<0.05	<0.55	<0.05	-
444.0	7.0	<0.6	<0.25	<0.10	<0.35	-
512.0	1.8	<0.6	<0.35	4.0	<0.36	-
713.0	<0.25	<1.1	0.7	0.35	7.5	-
851.0	2.5	<0.7	1.0	<0.10	-	6.25 S, 0.5, Ni

4.2.2.1. Başlıca döküm alaşımları

Al-Cu: Yapısında % 7-9 Cu bulunur. Kuma ve kokile dönülerek şekil verilir. Özgül ağırlığı 2.85-2.9'dur. Döküm kabiliyeti iyi olup; kum dökümünde de 12-20 Kg/mm²'lik bir direnç elde edilir.

Al Zn Cu: Yapısında % 8-12 Zn ve % 2-5 Cu bulunur. İyi bir döküm kabiliyetine sahiptir. Özgül ağırlığı 2.9-2.95'dir. Dayanımı alüminyumdan yüksektir. (Kum dökümünde 12-18, kokil dökümünde 12-30 kg/mm²) [6].

Al Cu Ni: Yapısında % 3.8-4.2 Cu, % 1.7-2.2 Ni ve % 1.2-1.7 Mg bulunur. Isıl işlem neticesinde sertleşir. Dayanımı kuma dökümde 18-20 ve kokile dökümde de 19-21 Kg/mm²'dir.

Al Si: Bu alaşım % 11-13.5 Si ihtiva eder. Özgül ağırlığı 2.65'dir. Gayet mükemmel döküm özelliklerine sahiptir (ötektik alaşımı olması dolayısıyla). Al- Si alaşımına

silümin adı da verilir. Alüminyum alaşımları içerisinde en düşük ergime sıcaklığına sahip bir alaşımdır (575°C). Kuma dökülen parçalarda 17-32 ve kokile dökülen parçalarda da 18-26 Kg/mm²'lik bir mukavemete sahiptir. Kaynak kabiliyeti iyidir.

Al Si Cu : Bileşiminde 11-13.5 % Si, 0.7-0.9 % Cu ve 0.2-0.4 % Mn bulunur. Özgül ağırlığı 2,65 olup, oldukça iyi döküm özelliklerini sahiptir. Bu alaşıma bakirli silisyum ismi de verilir. Mukavemeti kum dökümünde 17-22 ve kokil dökümünde de 18-22 Kg/mm²'dir [9].

Al Si Mg: Bu alaşım % 11-13.5 Si, % 0.4-0.6 Mg, % 0.3-0.5 Mn içerir. Bir ötektik alaşım olup, döküm şartları iyi ve özgül ağırlığı 2.65'dir. Isıl işlem sonucunda sertleştirilebilir. Sertleştirilmiş alaşımların mukavemeti kuma dökülen parçalarda 25-29 ve kokile dökülen parçalarda da 26-32 kg/mm²'dir. Diesel motorlarının gövdesi ve dişli çark kutusu gibi yüksek mekanik zorlamalara maruz kalan parçaların üretiminde kullanılır. Bu alaşım ayrıca "Silümin-Gamma" adını da alır [9].

Al Mg: Yapısında % 4-12 Mg, % 0-1 Mn, % 0.1-1.5 Si ve % 0-1 Sb bulunur. Özgül ağırlığı 2.6-2.7 olup, deniz suyuna karşı dayanıklıdır. Kokile dökülen parçalarda 22-26 ve kuma dökülen parçalarda da 10-16 kg/mm²'lik bir mukavemet elde edilir. AlMg alaşımlarının en fazla kullanılanı Al Mg₃, Al Mg₅, ve Al Mg₇'dir.

AlMg₃ alaşımı: 1.8-3.5 % Mg, 0.3-1.3% Mn, 0-1.3 % Si ihtiva eder. Özgül ağırlığı 2.7'dir. Deniz suyuna, kimyasal maddelere ve hafif alkali çökeltilere karşı alüminyum ve diğer alaşımlarından daha fazla dayanıklıdır, polisaj kabiliyeti iyidir. İhtiva ettiği silisyum miktarına göre ısıl işlem sonucunda sertleşir. Gemi ve gemi makinelerinin bazı kısımları, yangın söndürme aletleri, uçak inşaatı ve kimya endüstrisindeki döküm parçalarının üretiminde kullanılır.

Al Mg₅ alaşımı: Yapısında 4.5-5.5 % Mg 0.1-0.5 Mn ve 0.6-1.5 % Si bulunur. Özgül ağırlığı 2.6'dır. Al Mg₃ alaşımı için söylenen özellikler, AlMg₅ alaşımı için de geçerlidir. Oldukça iyi bir döküm özelliğine sahiptir.

Al Mg₇ alaşımı: Birleşiminde 6-7.5 % Mg, 0.1-0.5 % Mn ve 0.6-1,5 % Si bulunur. Özgül ağırlığı 2.6'dır. Bu da oldukça iyi döküm özelliklerine sahip bir alaşımdır. Kimyasal maddelere ve deniz suyuna karşı dirençli olup, akma sınırı yüksektir [9].

Al Mg Mn: Birleşimi 2-4 % Mg, 1.2-1.5 % Mn ve 0-0.2 % Sb dan ibarettir. Özgül ağırlığı 2.7 olup, dayanıklılığı kuma dökülen parçalar da 14-18 ve kokile dökülen parçalarda da 15-19 Kg/mm²'dir. Deniz suyuna karşı dirençlidir [9].

Al Mg Si: 2.5-5 % Si, 0.3-2 % Mg ve 0-1 % Mn içeren bir alaşımdır. Özgül ağırlığı 2.7 ve ısı ile sertleşen ötektik altı bir alaşımdır. Döküm kabiliyeti iyidir. Isıl işlemle sertleştirildikten sonra, kuma dökülen parçalar da mukavemet 17-28 ve kokile dökülen parçalarda da 20-30 Kg/mm²'ye yükselir [9].

BÖLÜM 5. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

Endüstrinin birçok üretim kolunda alüminyum kaynağı uygulanmaktadır. Bunlara; basınç tankları, yakıt depoları, variller, konteynerler, sıvılaştırılmış gaz bidonları, su tankları vb. örnek olarak verilebilir. Alüminyum boru endüstrisi ve denizciliğin birçok özel dallarında çeşitli yöntemlerle kaynak işlemi yaygın olarak uygulanmaktadır.

Al ve alaşımlarının kaynağı, az karbonlu çelikler ile karşılaştırıldığında bazı zorluklar göstermesine karşın gerekli önlemler alınarak, uygun bir kaynak bağlantısı elde etmek olanağı vardır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynaklanabilirliğini sınırlayan hususlar vardır;

- i. Alüminyum ve alaşımlarının yüzeyi çok yüksek sıcaklıkta (2050 °C) ergiyen refrakter karakterli bir oksit tabakası ile kaplıdır. Bu oksit tabakası çok sıkı bir şekilde yüzeyi sarar ve oksitlenmenin iç kısımlara doğru ilerlemesini önler.

Kaynak sıcaklığında ergimeyen bu oksitin varlığı, kaynak dikişine elektrodun ergimesi ile geçer ve bağlantının sürekliliğini sağlayan damlacıkların bağ oluşturmaya engel olur; bunun yanı sıra kaynak banyosu içinde kalıp katılan oksit tabakası, bağlantının dayanımını azaltır.

Bu oksitin etkisini ortadan kaldırmak için alüminyum ve alaşımlarının kaynağında özel yöntemler veya bu oksiti çözüp curufa geçiren Özel dekapanlar kullanmak gereklidir.

Şiddetli bir şekilde korozif olan bu kaynak dekapanının kalıntıları, kaynak işleminden soruna, korozyonu önlemek açısından dikkatli bir temizlemeyi gerektirmektedir ve bu da hem külfetli olmakta ve hem de maliyeti arttırmaktadır.

Bazı alüminyum alaşımlarında; kaynak sırasında uygulanan ısı çevrim, ana katı çözeltili içinde bulunan alaşım elementlerinin, ergimiş bölge veya esas metalde çökmesine neden olur ve bu olay da bağlantının mekanik ve kimyasal özelliklerinin esas metalden farklı olmasına yol açar.

- a. Alüminyumun düşük sıcaklıkta ergimesi ve ergiyen metalin tav rengi göstermemesi kaynak işlemini güçleştirmektedir; kaynak bölgesinin kaynak sıcaklığına erişip erişmediği ancak çok deneyimli kaynakçılar tarafından farkına varılabilmektedir.
- b. Alüminyum ısı iletkenliğinin yüksek olması, kaynak bölgesinde yerel sıcaklık yoğunlaştırılmasını zorlaştırmakta ve birçok hallerde ön tavlama gerekli kılmaktadır.
- c. Alüminyumun ısı genleşme katsayısının yüksek olması, kaynak bölgesinde şiddetli şekil değişimlerine yol açmakta ve çarpılmaları arttırmaktadır [20].

Yukarıda bahsedilen bu konular alüminyum ve alaşımlarının kaynak olanaklarını sınırlamakta ve kaynak işlemini zorlaştırmakta ise de, gerekli önlemler alınarak uygun bir teknik uygulandığında güvenilir kaynak bağlantıları elde etme olanağı bulunmaktadır [20].

Alüminyum ve alaşımlarına en uygun kaynak yöntemini ve bununla beraber tek kaynak metalinin seçiminde dikkate alınması gereken özellikleri ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [21].

- a. Ana metalin içeriği
- b. Malzeme kalınlığı ve birleştirilecek malzemeler arası kalınlık farkları
- c. Çalışma koşulları
- d. Mevcut donanım
- e. Estetik özellikler
- f. Kaynak sonrası işlemler

Başarılı bir kaynağın öbür metallerde de olduğu gibi en önemli ve kaçınılmaz koşulu, ana metalin bileşiminin bilinmesidir. Alüminyum alaşımları için başlıca seri imalatta MIG ve TIG kaynakları diğer kaynak yöntemlerinin yerini almışlardır. Bunlar optimum kaynak kalitesi sağlarlar ve dekapan gerektirmezler. Alüminyum alaşımlarının çoğunluğu hem MIG hem de TIG yöntemleriyle kaynak edilip kaynak kabiliyetleri, bu her iki yöntem karşısında esas itibarıyla aynıdır.

5.1. Kaynak Karakteristikleri

5.1.1. Dolgu çubuğu(elektrot)

Amerikan standartlarına göre ticari saf alüminyum levhanın kaynağı için AWS-ASTM'e sınıfı ER1100 elektrodu önerilir.

Alüminyum dolgu çubuklarının 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4 inç (1.6, 2.0, 3.2, 4.0 5.0, 6.5 mm) çapında olanları çok kullanılır. Dolgu çubuğunun çapının yapılacak olan parçanın kalınlığına eşit veya dengeli olması da bir ölçüdür.

Bir çubuk yavaş ve iri damlalar halinde ergirse, kaynak banyosunun akıcı etkisi gecikir ve eksik birleştirmeye neden olur. Diğer bir deyimle, bir çubuk hızlı, azergimeli ve yanmamalıdır. Burada aynı zamanda kaynak banyosu için yeterli dolgu metali yoktur. Bu durum ise tavan kaynağında yanmaya sebep olur [7].

Tablo 5.1. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan dolgu çubuklarının (elektrotların) birleşimleri

AWS sınıfı	Bileşimi (%)
ER1100	1.0 Si + Fe, 0.05-0.20 Cu, 0.05 Mn, 0.10 Zn, 99.00 Al (min)
ER1260	0.40 Si + Fe, 0.04 Cu, 0.01 Mn, 99.60 Al (min)
ER2319	0.20 Si, 0.30 Fe, 5.8-6.8 Cu, 0.20-0.40 Mn, 0.02 Mg, 0.10 Zn, 0.10-0.20 Ti
ER4043	4.5-6.0 Si, 0.8 Fe, 0.30 Cu, 0.05 Mn, 0.05 Mg, 0.10 Zn, 0.20 Ti
ER4047	11.0-13.0 Si, 0.8 Fe, 0.30 Cu, 0.15 Mn, 0.10 Mg, 0.20 Zn
ER4145	9.3-10.7 Si, 0.8 Fe, 3.3-4.7 Cu, 0.15 Mn, 0.15 Mg, 0.15 Cr, 0.20 Zn
ER5039	0.10 Si, 0.40 Fe, 0.03 Cu, 0.30-0.50 Mn, 3.3-4.3 Mg, 0.10-0.20 Cr, 2.4-3.2 Zn, 0.10 Ti
ER5183	0.40 Si, 0.40 Fe, 0.10 Cu, 0.50-1.0 Mn, 4.3-5.2 Mg, 0.05-0.25 Cr, 0.25 Zn, 0.15 Ti
ER5356	0.50 Si+Fe, 0.10 Cu, 0.05-0.20 Mn, 4.5-5.5 Mg, 0.05-0.20 Cr, 0.10 Zn, 0.06-0.20 Ti
ER5554	0.40 Si+Fe, 0.10 Cu, 0.50-1.0 Mn, 2.4-3.0 Mg, 0.05-0.20 Cr, 0.25 Zn, 0.05-0.20 Ti
AWS Sınıfı	Bileşimi %
ER5556	0.40 Si+Fe, 0.10 Cu, 0.50-1.0 Mn, 4.7-5.5 Mg, 0.05-0.20 MCr, 0.25 Zn, 0.05-0.20 Ti
ER5654	0.45 Si+Fe, 0.05 Cu, 0.01 Mn, 3.1-3.9 Mg, 0.15-0.35 Cr, 0.20 Zn, 0.05-0.15 Ti
R-C4A	1.5 Si, 1.0 Fe, 4.0-5.0 Cu, 0.35 Mn, 0.03 Mg, 0.35 Zn, 0.25 Ti
R-CN42A	0.7 Si, 1.0 Fe, 3.5-4.5 Cu, 0.35 Mn, 1.2-1.8 Mg, 0.25 Cr, 1.7-2.3 Ni, 0.35 Zn, 0.25 Ti
R-SC51A	4.5-5.5 Si, 0.8 Fe, 1.0-1.5 Cu, 0.05 Mn, 0.40-0.60 Mg, 0.25 Cr, 0.35 Zn, 0.25 Ti
R-SG70A	6.5-7.6 Si, 0.6 Fe, 0.25 Cu, 0.35 Mn, 0.20-0.40 Mg, 0.35 Zn, 0.25 Ti

5.1.2. Kaynak tozu (dekapan)

Kaynak esnasında oluşan alümin, dikişin içerisinde kalırsa, dayanımı ve korozyona karşı direnci düşürür. Bunları önlemek için kaynak yaparken oksiti çözen bir toza (dekapan) gerek vardır. Dekapan kaynak sıcaklığından önce ergiyerek, oksit tabakasını çözer ve dikişin yüzeyini oksidasyondan korur. Dekapan, klorür ve florürlerinin bir karışımından ibarettir.

İyi bir dekapan aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [7].

- 1- Oksit tabakasını oldukça kolay çözebilmelidir.
- 2- Ergime derecesi, kaynak yapılacak malzemenin ergime noktasından 50-100°C aşağıda olmalıdır.
- 3- Ergidiği zaman ergimiş banyonun yüzeyini örtebilmesi için özgül ağırlığının alüminyum ve alaşımlarının özgül ağırlığından daha küçük olması gerekir.
- 4- Kaynak ısısının etkisiyle dekapanın kaynak yerinden kolayca kalkmaması için iyi bir yapışma kabiliyetine sahip olmalıdır.
- 5- Kaynak sırasında kısmen buharlaşan ve gaz haline geçen dekapanın buharları zehirli olmamalıdır.
- 6- Aynı dekapan olabildiği kadar birbirine yakın alaşımlar için kullanılabilenlidir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan dekapanlar genellikle ya toz veya pasta halinde bulunur. Bütün dekapanlar cilde tesir eden bazı zararlı maddeleri içerdiğinden, kaynaktan sonra özellikle yemeklerden önce ellerin iyice yıkanıp temizlenmesi gerekir.

Dekapan tozlar, biraz higroskopiktir. Uzun müddet nem çeken tozlar etki kabiliyetlerini kaybeder. Bunun için tozların hava almayan kaplarda muhafaza edilmesi gerekir. Tozlar genellikle seramik veya porselen kaplarda saklanır.

Toz halindeki dekapan kullanılmadan önce istenilen kadar alınır ve kireçsiz en iyisi saf su ile karıştırılarak pasta haline getirilir. Kireçli su dekapanın etki kabiliyetini azaltır. Bu şekilde hazırlanan pasta, daha önce iyice temizlenmiş olan kaynak ağızlarına ve kaynak çubuğuna bir kıl fırça ile sürülür. Kaynaktan önce parçalar bağlanırken, sadece kaynak çubuğuna sürmek yeterlidir. 1 mm'den ince parçaların kaynağında, birleştirilecek ağızlara fazla miktarda pastanın sürülmesi, kaynak işlemini zorlaştırır [7].

5.1.3. Kaynak telinin seçimi

Alüminyum alaşımlarının kaynağında ilave metal seçimi, dikiş çatlamasını yok etmede önemli bir etken olmaktadır. Çatlama genellikle ana metalden yüksek alaşımlı ilave metal kullanmakla en aza indirgenebilir [6].

5.1.4. Kaynak hızının seçimi

Kaynak hızının yüksek seçilmesi, kaynak bölgesine ısı girişinin azalmasına neden olacaktır ve bu da sıcak metalle oda sıcaklığında olan metal arasındaki sıcaklık farkından meydana gelen gerilmelerin daha az şiddetli olmasına neden olacaktır [6].

5.1.5. Ön ısıtma uygulanması

Ön ısıtma uygulamak sıcaklık gradyenini azaltarak ve daha hızlı kaynağa olanak sağlayarak kaynak bölgesindeki katılma sırasında meydana gelen gerilmeleri azaltır [6].

5.1.6. Kaynak öncesi temizlik

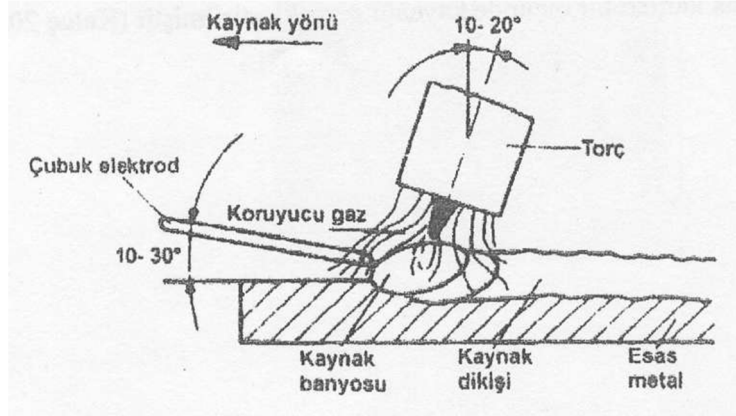
Gres, petrol yağları ve kir kaynak dikişine geçerek boşlukların oluşmasına neden olur. Bunlar kaynak yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır. Tel fırça ve eğeyle kaynak ağızlarının oksit tabakası giderilmelidir. Temizlenen kaynak ağızları, kaynaktan önce yağlı ve kirli ellerle tutulmalıdır [7].

5.2. Ergimeyen Elektrot ile Gazaltı Kaynak Yöntemi (TIG)

Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile anılan yöntem ilk olarak 1930'lu yılların ortalarında denenmiş ve ABD'de II. Dünya savaşı sırasında özellikle alüminyum alaşımlarının ve paslanmaz çeliklerin kaynağında yoğun bir biçimde uygulanmıştır. Bu yöntemde, kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile merkezlenmiş konumda bulunan bir lüleden (nozül) gönderilen bir koruyucu gaz (helyum, argon veya bunların karışımı) ile korunmaktadır. ABD'de doğal gazdan bol miktarda helyum elde edilebildiğinden koruyucu gaz olarak helyum kullanılmış ve bu neden ile yöntem Heliark adı ile anılmıştır. Avrupa' da helyumun bulunmayışı, yöntemin havadan ayrıştırılan argon ile uygulanmasına neden olmuş ve bu bakımdan da yöntem Argonark adı ile anılmıştır.

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, kaynakçı tarafından kullanılması kolaydır, prensip olarak gaz ertitme kaynağını andırır, yalnız torç biraz değışiktir, yakıcı ve yanıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır.

Bu yöntemde, ergimeyen bir elektrot kullanıldığı için ince parçalar, ek kaynak metaline gereksinim göstermeden birleştirilebilir; gerektiğinde esas metalin ertitilerek, ek kaynak metaline olan gereksinimi ortadan kaldırması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir. Kaynak bağlantısı için ek metal gerektiğinde, bir tel çubuk biçimindeki kaynak metali kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır [22].



Şekil 5.1. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi.

TIG kaynak yönteminin diğer bilinen ve endüstride yaygın olarak uygulanan ergitme kaynağı yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, ısı girdisinin ve eriyen ek kaynak metali miktarının birbirlerinden bağımsız oluşudur. Bu önemli özellik, yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır.

TIG kaynak yöntemi her pozisyonda ve prensip olarak ta her kalınlıktaki parçalara uygulanabilir ise de, çok kalın parçalar için işlem süresinin uzaması bir dezavantaj olmakta ve 7 mm'den kalın parçalar için önerilmemektedir. Akım şiddeti azaltılarak diğer ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi olanaksız olan 0,1 mm kalınlığa kadar ince saçlar bu yöntem ile çok sağlıklı bir şekilde birleştirilebilmektedir.

Yarı otomatik TIG yönteminin geniş bir uygulama alanı bulmamasına karşın otomatik TIG yöntemi oldukça yaygındır. Bu yöntemde, sisteme artık kaynakçının etkisi söz konusu değildir, tüm işlem sistem tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bu yöntemin ilk uygulamalarında elektrot pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılmış ve aşırı ısınan elektrodun tungsten damlacıklarının kaynak dikişine geçtiği görülmüş ve elektrot negatif kutba bağlanarak bu engel ortadan kaldırılmıştır; bu durumda paslanmaz çeliklerin kaynağında başarı sağlanmasına karşın, alüminyum ve magnezyum gibi refrakter bir oksit tabakası ile kaplı metallerin kaynağı problemi ile karşılaşmıştır.

Alternatif arkımın sürekliliğini sağlayan, yüksek frekans üreten generatör ve devrelerin keşfi sonucu, alternatif akım yardımı ile bu tür metal ve alaşımlanmış çok kaliteli bir biçimde kaynağı gerçekleştirilmiştir [22].

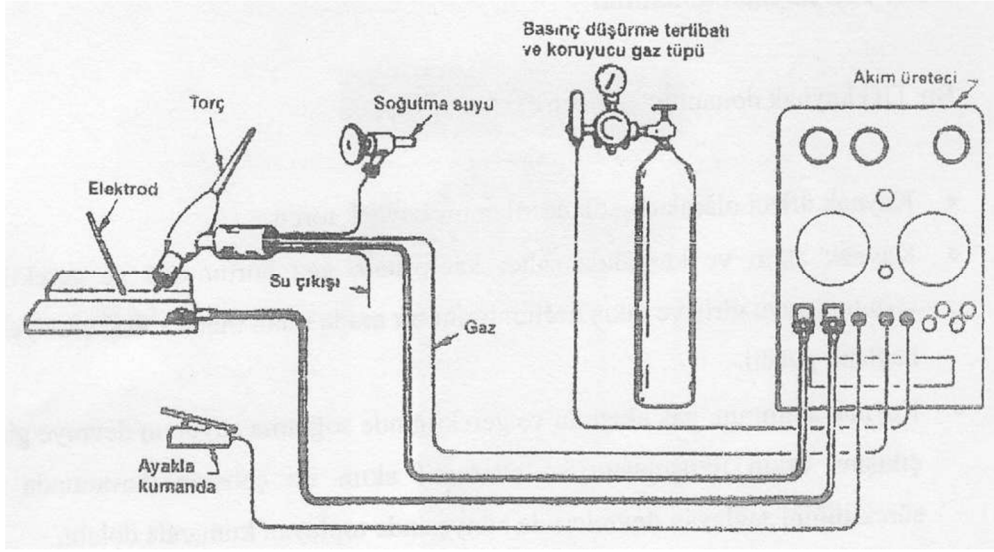
5.2.1. TIG kaynak donanımı

Bir TIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

- a. Kaynak üfleci olarak da adlandırılan bir kaynak torcu.
- b. Kaynak akım ve kumanda şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli torç bağlantı paketi.
- c. Kaynak akımının, gaz akışının ve gerektiğinde soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışını, arkın tutuşmasını ve alternatif akım ile çalışma durumunda arkın sürekliliğini sağlayan devreleri de bünyesinde toplayan kumanda dolabı,
- d. Kaynak akım üretici.
- e. Üzerinde basınç düşürme vanası ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan karuyucu gaz tüpü.

TIG kaynak yönteminde bu donanımların yanında gerek duyulduğunda veya sistemin otomatik olarak çalışması arzu edildiğinde ek donanımlara gereksinim vardır. Bunlar;

- a. Yüksek akım şiddetleri ile çalışıldığında, ısınan torcu soğutmak için soğutmasını sirkülasyon sistemi,
- b. Akım kontrol ve ayarı için ayak pedalı.
- c. Otomatik kaynak uygulamalarında gerektiğinde torca salınım hareketleri yaptıracak bir osilatör.
- d. Otomatik kaynak uygulamalarında kullanılmak üzere tel besleme tertibatı,
- e. Otomatik kaynak uygulamaları için torç veya iş parçasını ilerletme tertibatı.



Şekil 5.2. TIG kaynak donanımı prensip şeması.

5.2.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz kullanmanın amacı kaynak sırasında, kaynak banyosunu ve ergimeyen tungsten elektrodu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. Yöntemde koruyucu gaz olarak helyum veya argon ya da bunların karışımı gibi asal gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlar kaynak sırasında kızgın durumda bulunan tungsten elektrod ve ergimiş kaynak banyosu ile bir reaksiyon oluşturmazlar, kaynak metalinin kalitesine olumsuz bir etkide bulunmamalarına karşın, kaynak hızına ve kaynaklı bağlantının kalitesine önemli etkide bulunurlar.

Argon ve helyumun kaynak karakteristiklerinin farklı oluşu bu gazlar ile yapılan uygulamalarda, bazı metal ve alaşımları için biri diğerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir [22].

Argon bir soy gazdır, sıvı metaller içinde çözülmez ve yoğunluğunun havadan daha yüksek olması nedeni ile özellikle kaynak sırasında çok etkin bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi biçimde korur.

Argon atmosferinde oluşturulan kaynak arkı, helyuma nazaran daha yumuşak ve daha sakinidir, arkın sakinliği ve ısı girdisinin de kaynakçıyı rahatsız etmeyecek seviyede olmasından ötürü el ile kaynak uygulamalarında argon gazı tercih edilir.

Helyum doğada hidrojenden sonra en hafif gazdır, aynı akım şiddetlerinde helyum atmosferi içinde oluşan ark, argon atmosferi içinde oluşandan daha yüksek bir ark gerilimine sahiptir, bu da kaynak ısı girdisini ve dolayısı ile de nüfuziyeti arttırmaktadır. Bu olay, özellikle ince kesitli parçalarda argonun, kalın kesitli ve ısı iletkenliği yüksek olan malzemelerin kaynağı ile otomatik kaynak uygulamalarında helyumun tercih edilmesine neden olmaktadır [22].

Karbondioksitin yüksek oksitleyici özelliği, paslı ve boyalı yüzeylere sahip parçaların kaynağında iyi sonuç verir. Bununla birlikte, bu yüksek oksitleme kapasitesi, ilave telden kaynak boyunca banyoya geçen alaşım elementlerinin kaybını da beraberinde getirir, bu nedenle dolgu teli seçiminin iyi yapılması gerekir. Karbondioksit daha yuvarlak bir kaynak dikişi verir [23].

Oksijen, arkı stabilize edici etkisi nedeniyle koruyucu gazlarda kullanılan bir bileşendir. Aynı zamanda kaynak banyosunun ve damlacıklarının yüzey gerilimini düşürücü etki yaparak tepe oluşumunu önler [23].

Hidrojen, renksiz, kokusuz olmayan bir gazdır. Havadan daha hafiftir. Genellikle argon ile bazen de helyum ile karışım olarak kullanılabilir. Koruyucu gaz içinde hidrojenin varlığı kaynak banyosunu daha akıcı yapmakta ve sıvı kaynak metalinin ıslatma kabiliyetini yükseltmektedir.

Alüminyum ve alaşımlarının TIG kaynağı için yaygın olarak genellikle argon-helyum karışım gazları tercih edilmektedir. Argon ve helyum gaz karışımları hem argon hem de helyumun en üstün özelliklerini bir arada toplamakta ve bu sayede

daha etkili bir ark kararlılığı sağlanmaktadır. Helyuma % 25 argon eklenmesi ile saf argon haline göre daha derin bir etki elde edilebilmektedir [22].

5.2.3. TIG kaynak elektrotları

TIG kaynak yöntemi ile diğer elektrik ark kaynak yöntemleri arasındaki en önemli fark, ek kaynak metalinin elektrod tarafından sağlanmaması ve elektrodun sadece ark oluşturma görevini üstlenmiş olmasıdır. TIG yönteminde kullanılan elektrodlardan başlıca şu özellikler beklenir:

- a. Akımı iyi iletmesi ve soğutulması,
- b. Kararlı bir ark oluşumu için yeterli elektron emisyonu yapabilme özelliğine sahip bulunması,
- c. Doğru ve dalgalı akımda kullanılabilmesi,
- d. yüksek çalışma sıcaklıklarında özelliklerini koruyabilmesi, kısa devre durumunda dikişte kalıntı bırakması [24].

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında saf tungsten elektrotların kullanılması tavsiye edilir. Yüksek ergime sıcaklığının yanı sıra tungsten çok kuvvetli bir elektron yayıcıdır ve yayman elektronlar ark sütunu içinde kuvvetli bir elektron akımı oluşturur ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek, arkın kararlılığını sağlar. Günümüz endüstrisinde ticari saflıktaki tungsten (%99.5 W) ile toryum, zirkonyum ve lantanyum ile alaşımlandırılmış elektrodlar kullanılmaktadır.

TIG kaynak elektrotları, AWS A5.12 ile EN 26848 'de bileşimlerine göre sınıflandırılmış ve bunları birbirinden kolaylıkla ayırt edebilmek için de renk kodları kullanılmıştır.

EN 26848 'de TIG kaynak elektrotlarının çapları 0.5, 1.0, 1.6, 2.0, 2.4, 3.0, 3.2, 4.0, 5.0, 6.0, 6.4 ve 8.0 mm boylan ise 50, 75, 150, 175 mm olarak belirlenmiştir. AWS A 5.12 de ise elektrodun çapları 0.01, 0.02, 0.04, 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4 inç boylan ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 34 inç olarak saptanmıştır.

Uygulamada elektrot çapı, elektrodun maksimum akım yüklenebilme kapasitesi göz önüne alınarak seçilmelidir.

TIG kaynak yönteminde kullanılan elektrotların akım yüklenebilme kapasitesi çok sayıdaki etkene bağlıdır:

- Elektrod bileşimi,
- Koruyucu gazın türü,
- Elektrodun elektrod tutucusunun dışında kalan boyu,
- Elektroda uygulanan soğutma sisteminin etkinliği,
- Akım türü ve kutuplama,
- Kaynak pozisyonu,

Tablo 5.2. Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleri [22].

Elektrod Çapı mm	Alternatif Akım A		Doğru Akım A	
	W Elektrod	WT Elektrod	W ve WT Elektrod	W ve WT Elektrod
0.5	5...15	5...20	5...20	-
1.0	10...60	15...80	15...80	-
1.6	50...100	70...150	70...150	10...20
2.4	100...160	140...235	150...250	15...30
3.2	150...210	225...325	250...400	25...40
4.0	200...275	300...425	400...500	40...55
4.8	250...350	300...525	500...800	55...80
6.4	325...425	500...700	800...1100	80...125

Arkın oluşturduğu ısı enerjisinin üçte ikisi pozitif ve üçte biri negatif kutupta olduğundan elektrodun doğru akımda negatif kutba bağlanması durumunda, aşırı ısınma oluşmadan elektrodun pozitif kutupta olması durumuna karşın daha fazla akım yüklemek olanağı vardır, bu duruma göre elektrot doğru akım negatif kutupta iken alternatif akımda kullanımına göre daha yüksek akım ile yüklenebilir.

Alüminyum kaynağında saf tungsten elektrotlar alternatif akımda tercih edilirler. Saf tungsten elektrot kullanılması durumunda, en kararlı ark akım şiddetinin izin verdiği en küçük çaplı elektrot ucunda yarım küre şeklinde ergimiş tungsten damlacığı oluştuğu anda görülür.

Tungsten elektrod düşük bir akım şiddeti ile yüklendiğinde ark elektrot ucunda gezinmeye başlar, ergiyerek kaynak metaline geçer.

Bileşiminde % 1-2 toryum oksit (ThO_2) içeren tungsten elektrotlar saf tungsten elektrotlara göre daha yüksek bir akım yüklenme kapasitesine, iyi bir elektron yayınımına, daha uzun bir ömre, daha kolay bir tutuşmaya ve daha kararlı bir ark oluşturma özelliğine sahiptir. % 25 daha yüksek akım şiddetlerine ulaşılabilir [22].

Düşük akım şiddeti ile otomatik kaynak uygulamalarında saf tungsten elektrotlar toryum oksitli elektrotlara tercih edilir.

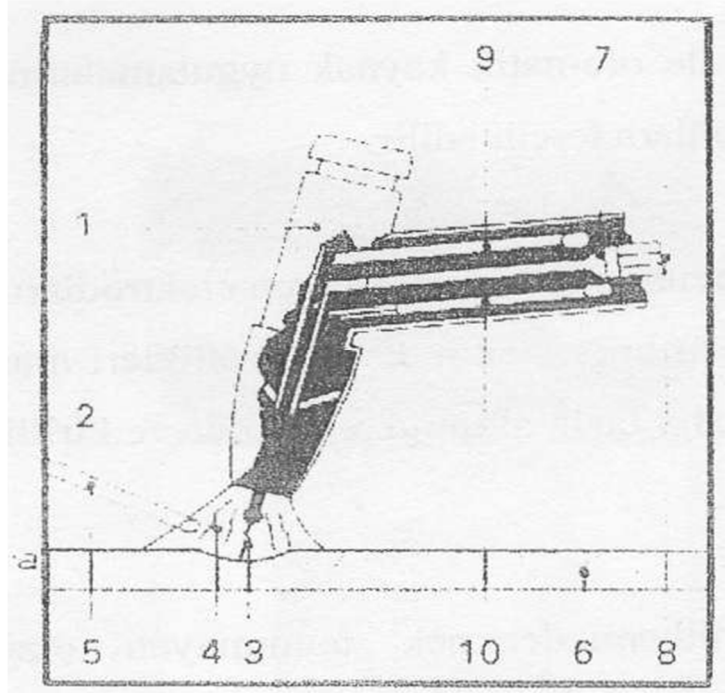
Bileşimlerinde zirkonyum oksit (ZrO_2) içeren elektrotların özellikleri saf tungsten ile toryum ile alaşımlandırılmış elektrotların özellikleri arasındadır. Alternatif akımda tercih edilebilirler. Daha fazla akım gerektirirler ve kirlilik oluşumuna karşı daha az meyillilik gösterirler.

Son yıllarda ise ülkemizde pek tanınmayan çizgili tungsten elektrodlar geliştirilmiştir. Gövdeleri saf tungstenden yapılmış ve gövde üzerinde bulunan çizgi şeklindeki kanalcıklar ise toryum oksit ile doldurularak saf tungsten elektrodun alternatif akım ile kullanma durumundaki ark karalılığı ile toryum oksit alaşımlı elektrotların akım yüklenme kapasitesi ve arkın kolay tutuşma özelliği bir arada sağlanmıştır [22].

5.2.4. Kaynak torçları

TIG kaynak yönteminde torç, iş parçası ile ucundaki tungsten elektrot arasında kaynak için gerekli olan elektrik arkını oluşturabilmek için, akım kablosundan aldığı akımı elektroda iletmek, koruyucu gazı kaynak banyosunun üzerini örtecek biçimde göndermek gibi görevleri yerine getirmek için geliştirilmiş bir elemandır.

TIG yönteminde kullanılan kaynak üfleçleri, birleştirilecek parça kalınlıkları ile uygulanacak akım şiddetlerine göre seçilirler. El ile yapılan TIG kaynağında kullanılan torçlar hafif, küçük ve elektrik akımı kaçaklarına karşı etkin bir biçimde yalıtımlı olarak tasarlanmış ve üretilmişlerdir [22].



Şekil 5.3. TIG yöntemi kaynak torcu 1. Torç gövdesi, 2. Tungsten elektrot, 3. Ark, 4. Argon gazı, 5. İlave çubuk, 6. Parça, 7. Kaynak akımı besleme, 8. Koruyucu gaz besleme, 9-10. Soğutma suyu giriş ve dönüş.

Torçları sınıflandırmada en önemli kriter yüklenebilecekleri maksimum akım şiddeti olduğundan ve konu da torcun soğutma sistemini belirlediğinden, genelde torçlar hava ve su soğutmalı olarak iki ana gruba ayrılır.

Hava soğutmalı torçlarda soğutma, torcun dış kısmındaki hava yardımı ile iç kısmından ise akan koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir, bu nedenle bunlar gaz soğutmalı torçlar adı ile anılırlar. Akım kapasitelerinin sınırlılığı nedeni ile ancak ince parçaların kaynağı için uygundur.

Su soğutmalı torçlar ile daha yüksek akım kapasitelerinde çalışabildiğinde büyük daha ağır ve daha pahalıdır. Bunlar yüksek akım şiddetlerindeki su soğutmalı metelsel gaz nozulları ile kullanılmak koşulu ile standart olarak 1000 amper akım kapasitesine kadar üretilirler; otomatik TIG kaynak sistemlerinde sadece bu tür torçlar kullanılır [22].

5.2.5. TIG kaynak yöntemimde kullanılan akım üreteçleri

Tüm ark kaynak yöntemlerinde, kaliteli bir kaynak dikişi eldesi ancak kararlı bir ark ile gerçekleşebildiğinden, akım üreticinin seçimine özen göstermek gereklidir. Genel olarak TIG kaynağında hem doğru akım hem de alternatif akım kullanılır. Doğru akımda, elektrod negatif kutba bağlanarak yapılan kaynak halinde, elektron akımı, elektrotdan parçaya doğrudur. En yüksek sıcaklık parçada oluşur ve bu şekilde derin bir nüfuziyete sahip kaynak dikişi elde edilir. Böyle bir kutuplama halinde, elektron akımı banyo yüzeyinde oluşmuş olan oksit tabakasını parçalayıcı yönde etki yapmaz ve dolayısı ile alüminyum ve alaşımlarının kaynağı için bu açıdan önerilmez ise de son yıllarda, özellikle koruyucu gaz olarak helyumun kullanılması ile oldukça tatminkar kaynak bağlantıları elde edildiği görülmüştür. Esas metalin hızla erimesi özellikle alın kaynaklarında derin bir nüfuziyete sahip dar düzgün kenarlı dikişlerin ulaşmasını sağladığı gibi ilave kaynak metali sarfiyatını da azaltıcı yönde etkilemektedir. Isının yoğun bir şekilde etkimesi, kalın parçalarda dahi ön ısınma gereksinimini ortadan kaldırmakta ve ITAB daha dar oluşmaktadır.

Enteresan bir olay da, kaynak sonrası uygulanan bir ısıl işlem ile ITAB'a daha kolayca esas malzemenin özellikleri kazandırılabilir [25].

Bu yöntem özellikle TIG kaynağının mekanize donanımlar ile uygulanması (otomatik tel besleme ve torç hareketi) halinde çok iyi sonuçlar vermektedir.

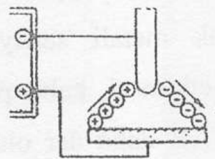
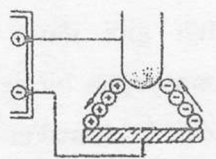
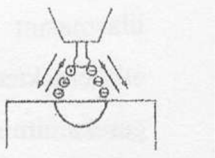



Burada unutulmaması gereken en önemli konu, yöntemin oksit tabakasını parçalama özelliği olmadığından, dikişte oksit kalıntısını azaltmak için kaynak ağızlarına işlem öncesi iyi bir oksit temizleme uygulanması gereğidir.

Bu uygulamada kaynaklı bağlantının sağlıklı olabilmesi için el kaynağında kaynakçı ark boyunu sabit tutmaya özen gösterilmelidir. Koruyucu gaz olarak kullanılan Helyumda çok az bir safsızlık da, özellikle rutubet, dikişte gözenek oluşumuna neden olur.

Elektrodun pozitif kutba bağlanması halinde, elektron akımı parçadan elektroda doğrudur ve banyo yüzeyinde oluşmuş olan oksit tabakasını parçalayıcı yönde etki yapar, yalnız bu durumda elektrot çok fazla ısınır ve elde edilen kaynak dikişinin nufuziyeti azdır.

Alternatif akım halinde ise, bu her iki halin ara çözümü vardır. Kaynak banyosu üzerinde refrakter karakterli bir oksitin bulunduğu alüminyum ve alaşımlarının kaynağı için bu bakımdan alternatif akım en uygun neticeyi vermektedir. Doğru akım ile, elektrot pozitif kutuba bağlı olarak da ince alüminyum folioların kaynağı yapılabilir [25].

Tablo 5.3. TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi.

Akım türü ve kutuplama	D.A.E.N.	D.A.E.P.	A.A.
Elektronların ve iyonların akış yönü			
Dikişin nüfuziyet biçimi			
Oksit temizleme etkisi	Yok	Var Kuvvetli	%50 iş parçasına %50 elektrod ucuna
Nüfuziyet	Derin ve dar	Az ve geniş	Orta
Elektrod akım kapasitesi	Çok iyi 3.2 mm çapta 400A	Kötü 6.4 mm çapta 120A	İyi 3.2 mm çapta 225A
Isı dağılımı	%70 iş parçasına %30 elektrod ucuna	%30 iş parçasına %70 elektrod ucuna	%50 iş parçasına %50 elektrod ucuna

TIG yönteminde kullanılan akım üreteçleri sabit akımlı kaynak akım üreteçleridir. Sabit akımlı kaynak akım üreteçleri düşen karakteristiklidir ve bu sayede, ark boyu değiştiği zaman akım sabit kalabilmektedir. TIG kaynak yönteminde, kaynak edilen malzemenin türüne göre hem alternatif akım hem de doğru akım kullanıldığından, modern akım üreteçleri her iki tür akımı da karşılayabilecek türde tasarlanmıştır.

Günümüzde kaynak akım üretici olarak TIG kaynak yönteminde transformatör ve redresör türleri generatör ve alternatörlere göre çok daha yaygın bir kullanıma alanına sahiptir. Redresörler, akımı kaynak gerilimine ayarlayan bir transformatör ve bu akımı doğrultan bir redresörden oluşmuşlardır, bu nedenle hem doğru hem de alternatif akım üreten bu tür üreteçler ile her tür metal ve alaşımın kaynağını yapmak olanağı olabilmektedir [22].

TIG kaynak yönteminde kaynağa başlar iken arkın tutuşturulması önemli konulardan biridir, bu konuda uygulanan yöntemler şunlardır;

Elektrodu değdirerek tutuşturma; yalnız doğru akım ile çalışmada uygulanan bu tutuşturma yönteminde kaynak makinesi çalıştırılıp koruyucu gaz akımı başladıktan

sonra elektrot iş parçasına değinceye kadar yaklaştırılır ve değmeden hemen sonra hafifçe geri çekilerek ark oluşturulur.

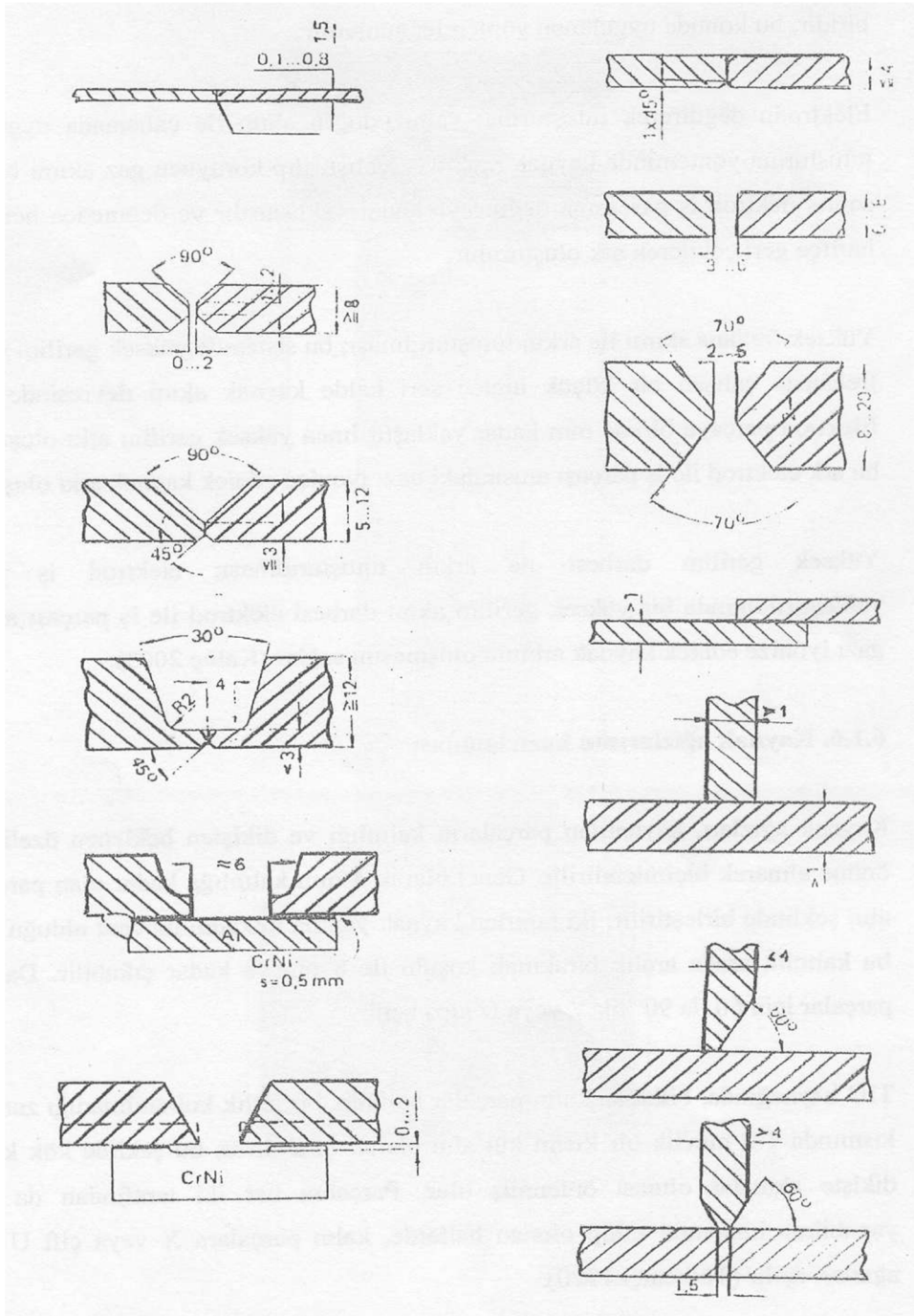
Yüksek frekans akımı ile arkın tutuşturulması; bu sistemde yüksek gerilim ve yüksek frekansta çalışan bir küçük üreteç seri halde kaynak akım devresinde yer alır. Elektrot parçaya birkaç mm kadar yaklaştırılınca yüksek gerilim arkı oluşturulur ve bu ark elektrod ile iş parçası arasındaki gazı iyonize ederek kaynak arkı oluşturur.

Yüksek gerilim darbesi ile arkın tutuşturulması; elektrod iş parçasına yaklaştırıldığında bir yüksek gerilim akım darbesi elektrod ile iş parçası arasındaki gazı iyonize ederek kaynak arkının oluşmasını sağlar [22].

5.2.6. Kaynak ağızlarının hazırlanması

Kaynak ağızları, kaynatılan parçaların kalınlığı ve dikişten beklenen özellikler göz önüne alınarak biçimlendirilir. Genel olarak 4 mm kalınlığa kadar olan parçalar küt alın şeklinde birleştirilir, iki taraftan kaynak yapma imkanın mevcut olduğu hallerde bu kalınlık arada aralık bırakmak koşulu ile 8 mm'ye kadar çıkabilir. Daha kalın parçalar için 60 ila 90°'lik V veya U ağızı açılır.

TIG kaynağında, bilhassa kalın parçalar halinde, bir altlık kullanılmadığı zaman kök kısmında 1-2 mm'lik bir kısım küt alın olarak bırakılırsa, bu şekilde kök kısmında dikişte akmalar olması önlenmiş olur. Parçanın her iki tarafından da kaynak yapabilme imkanına sahip olunan hallerde, kalın parçalara X veya çift U kaynak ağızları açılır [6].



Şekil 5.4. Alüminyum ve alaşımlarının TIG kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri.

5.2.7. TIG kaynak yöntemi için kaynak dolgu metali

TIG kaynak yönteminde gerekli olan kaynak dolgu metali, el ile yapılan kaynakta tel çubuk olarak kaynakçı tarafından, otomatik tel besleyici sistemlerde ise tel olarak sistemin tel sürme tertibatı tarafından kaynak bölgesine sokulur. Dolgu metali genellikle 36 inç (914mm) uzunluğunda, 1/16 inç'den 1/4 inç'e kadardır.

TIG yönteminde kullanılan kaynak alaşımlarından döküm ile elde edilmiş sert dolgu metalleri dışındakiler çekilerek üretilmiş 1 metre boyunda çeşitli çaplarda tellerdir. Bunların çapları EN 440'a göre 1.0, 1.2, 1.6, 2, 2.4, 3, 3.2, 4.0 ve 5.0 mm'dir. Tel çubuk olan ek kaynak metallerinin kalın çaplı olanlarının üzerine damgalama yöntemi ile, ince çaplılara ise özel bir etiket yapıştırılarak, telin standart işareti belirtilir [22].

Tablo 5.4. TIG kaynak yönteminde çeşitli metal ve alaşımlar için kullanılan kaynak tellerine ait AWS standartları.

Alaşım türü	AWS
Yalın C'lu ve az alaşımlı çelikler	A5.18-A5.28
Sıcağa dayanıklı çelikler	A5.28
Paslanmaz çelikler	A5.9
Alüminyum & alaşımları	A5.10
Bakır & alaşımları	A5.7
Nikel & alaşımları	A5.14
Titanyum & alaşımları	A5.16
Magnezyum alaşımları	A5.19
Zirkonyum & alaşımları	A5.24
Sert dolgu alaşımları	A5.21

5.2.8. Kaynak parametreleri

Kaynağın uygulanmasında kaynak parametrelerinin seçimi önemli rol oynar. Kaynak parametreleri kaynak işleminin ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini

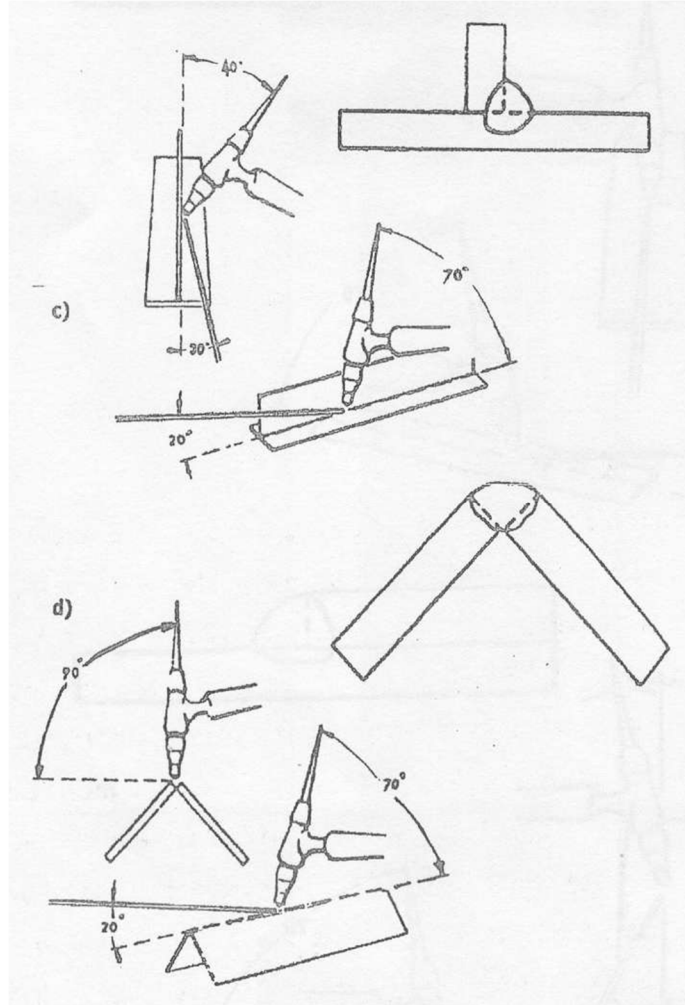
belirleyen en önemli etmenlerdir. Bunların saptanmasında kaynak edilecek parçanın malzemesi, kaynak ağız ve parça geometrisi göz önünde bulundurulur.

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak sürecince değiştirilemeyen kaynak parametreleri, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir kaynak parametreleri olmak üzere üç grupta incelenebilir. Kaynak öncesi saptanan parametreler ergimeyen elektrodun çapı, uç biçimi, malzemesi, koruyucu gaz türü ve akım türüdür. Birinci derecede ayarlanabilir diye adlandırılan ve ikinci gruba giren parametreler kaynak işlemini kontrol altında tutabilen değişkenlerdir. Bunlar kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızıdır. Üçüncü gruba giren parametreler ise torç açısı, serbest elektron uzunluğu ve parçanın yatay düzlem ile olan eğimidir.

Bütün bunların yanı sıra kaynak öncesi temizlik de önemli bir faktördür. Bu özellikle alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplı olan malzemelerde daha da önem kazanmaktadır [22].

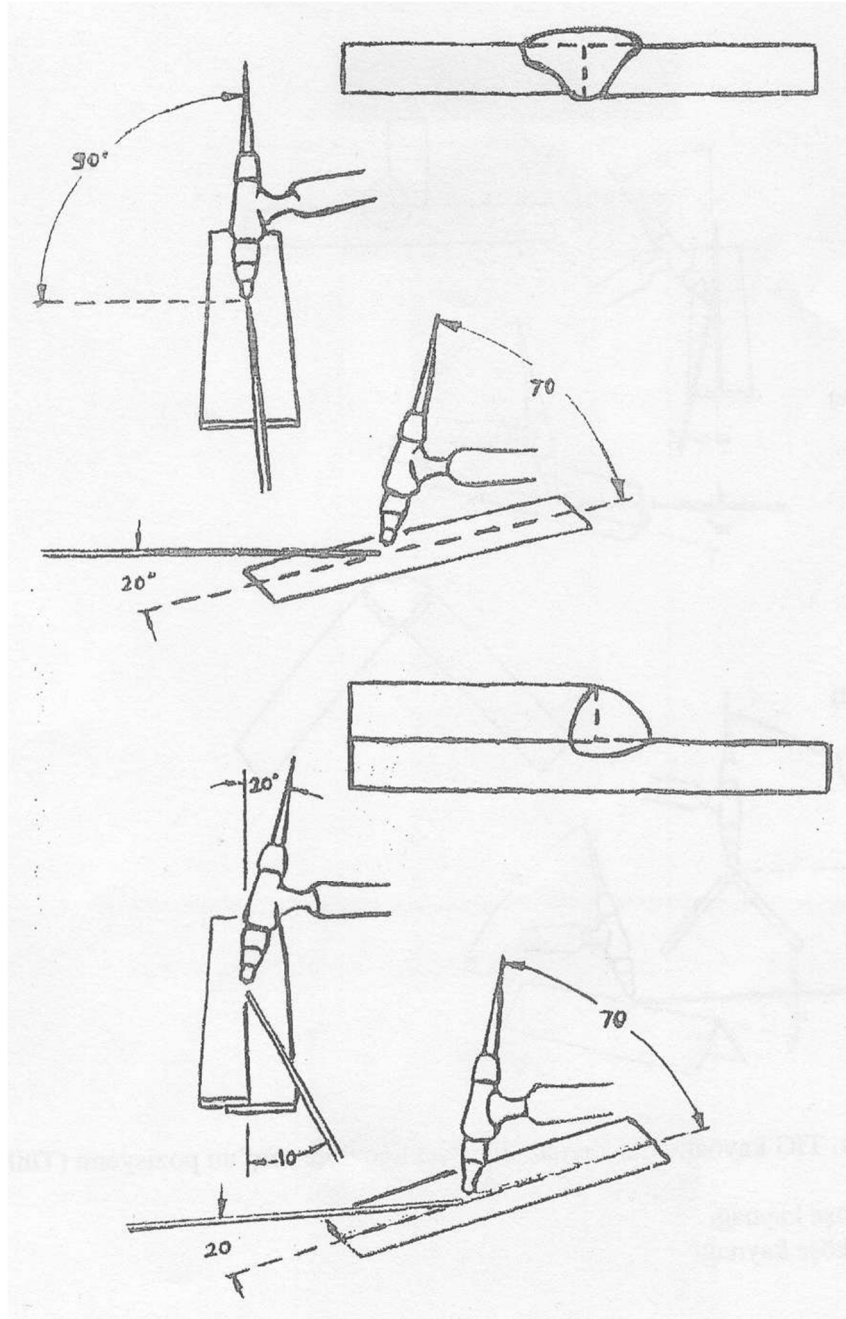
5.2.9. Kaynağın uygulanması

Kaynak başlangıcında gerekli kaynak parametrelerinin hazırlanması gerçekleştirilir. TIG kaynak yönteminde, kaynak hamlacı (torç), parçaya 70-75°'lik bir açı ile tutulur ve sağdan sola doğru kaynak yapılır. Hamlaç, kaynak için nüfuziyetli bir banyo verecek tarzda hafif dairesel hareketler yapar. Kaynak hızı parçanın kalınlığına, akım şiddetine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişir, uygulanan kaynak hızı iyi bir kök nüfuziyeti sağlayacak şekilde yavaş olmalıdır [27].



Şekil 5.5.a. TIG kaynağında, kaynak dikiş şekline göre torç'un pozisyonu.

Üstte: İç köşe kaynağı
 Altta: Dış köşe kaynağı



Şekil 5.5.b. TIG kaynağında, kaynak dikiş şekline göre torç'un pozisyonu.

Üstte: Düz aln dikişi

Altta: Bindirme kaynak dikişi

Kaynak süresince, hamlaç ve telin hareketi, aynen oksii-asetilen kaynağında olduğu gibidir, kaynak teli ark bölgesine girmeden evvel banyo üzerinde hafif hareketler yapar; çalışmaya başlarken ark önce tutuşturulur ve boyu mümkün mertebe kısa tutulur, kaynak ağzı erimeye başlayınca kaynak çubuğu ark bölgesine sokulur. TIG kaynak yöntemi ile yatay, dik, tavan pozisyonlarında kaynak yapılabilir. İnce parçaların kaynatılmasında kıvrık alın kaynak ağzı kullanıldığında ilave kaynak metaline ihtiyaç yoktur [28].

8 mm'den kalın parçalar, mümkün olduğu kadar iki taraflı kaynak yapılmalıdır. 12 mm'den kalın parçalarda kaynak ağzının hazırlanma şekline göre paso verilir.

TIG kaynak yönteminin el ile ve otomatik olmak üzere ilci tür uygulama şekli mevcuttur.

El ile yapılan TIG kaynağı;

El ile yapılan TIG kaynağında bir elde torç ve diğer elde ilave edilen dolgu metali (gerekli ise) tutulmaktadır. İş parçasına elektrot tamamen dokunmaz iken bir kibrit ateşlemesine benzer ateşleme etkisi ile ark tutuşturulur. Elektrod, kaynak banyosuna ya da dolgu çubuğuna asla dokundurulmaz. Bağlantı biçimine ve durumuna göre ark uzunluğu 3,2-9,5 mm olabilir. Torç bağlantının yüzeyine dik fakat öne eğimli açı ile tutulur. Farklı kalınlıktaki parçaların kaynağı yapılacağı zaman her iki kenarda da eşit erime ve nüfuziyet elde edebilmek için bağlantının daha çok kalın tarafına doğru yönlendirilir. İlave edilecek dolgu metali kaynak banyosunun ön tarafında bulundurulur. Bağlantı yüzeyine 20-30 derece açıda tutulur ve kaynak banyosuna çok az hareket ile ilave edilir. Kaynak banyosuna ilave edilen dolgu metalinin kaynak hızı ve frekansı, kaynakçının ustalığına ve de çubuğun boyutuna göre değişir. Metal kalınlığı için ayarlanmış akım ile kaynak hızı, esas metalde minimum hasara neden olacak şekilde yeteri kadar yüksek seçilmelidir. Kratersiz bir kaynak sonu için katılaşmaya başlayan kaynak banyosuna dolgu çubuğu ilavesi sürekli yapılırken ark uzunluğu ve akım şiddeti düşürülmelidir. Akım kontrolü, ya el ile ya da ayak ile yapılmalıdır [29].

El ile TIG kaynağı alternatif akım ve doğru akımla yapılabilir. Saf Argonun kullanıldığı el ile TIG kaynağında 1 ile 13 mm kalınlıkları arasında alüminyum

kaynağında 10-30 cm/dak. hızlarında uygulama hızlarına sahiptir. Yöntem MIG kaynağı ile karşılaştırıldığında düşük üretim hızına sahiptir.

Nüfuziyetin kontrolü arzu edilen haller için önerilir. Bu özellikle 3 mm'in altındaki et kalınlıklarındaki boruların tek taraftan alın kaynaklarında önemlidir. Yöntemin geliştirilmesinde kısmen veya tam kare dalgalı alternatif akım üreten transtörlü güç üreteçleri ortaya çıkmıştır. Bu oluşum daha kararlı ve daha verimli ark oluşumunu sağlamıştır.

Doğru akım ile yapılan el ile TIG kaynağında yüksek frekans arkı başlatmak için kullanılabilir. Ancak kaynak sırasında sürekli değildir. Torç manipülasyonu ve dolgu ilavesi farklıdır. Torç, sabit bir oranda ileri hareket etmektedir ve dolgu kaynak banyosunun ön kenarından sürekli beslenir. Bu proses, tamir kaynaklarında uygulanabilir. Esas metali besleyen arkın şiddetli etkisinden dolayı bile kalın kesitlerde ön ısıtma gereksizdir. Alternatif akımla yapılan kaynaktan daha dar ısıdan etkilenen bölge oluşur. Alternatif akımlı kaynakta çok yüksek ark nüfuziyetinden dolayı kaynakçının daha iyi ustalığı gereklidir [29].

Otomatik TIG kaynağı;

Yarı otomatik TIG kaynak yönteminde, aynen MIG kaynağında olduğu gibi, kaynak dolgu metalini kaynak bölgesine ileten ve ek kaynak metali miktarını kontrol eden bir tertibat vardır. Bu tertibat, tel halindeki ek kaynak metalini kangalından sağarak, ayarlanmış bir hız ile eğilip bükülebilir bir kılavuz içinde torcun uç kısmına dıştan takılmış bulunan bir meme ile ark bölgesine gönderir ve tel orada ergiyip esas metal ile karışıp kaynak metalini oluşturur. Torç üzerine yerleştirilmiş bir düğme veya tetik yardımı ile ilerlemesi durdurulup yeniden başlatılabilir. Doğru akımlı TIG kaynak yöntemi genellikle otomatik uygulamalarda kullanılır. Maksimum ısı girdisi ile daha derin nüfuziyet gerçekleştirilir. Kaynak banyosuna dolgu teli besleme tertibatı ve torç için bir otomatik voltaj - kontrol tertibatı mevcuttur [29].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneylerde kullanılan malzemeler

Çalışmalarda alüminyum levha olarak 3 mm kalınlığında 5xxxx serisi olan 5754 alaşımı kullanılmıştır. İlave tel de malzemeye uygun olan AlMg 5356 bileşimine sahip alüminyum tel kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda malzeme ve alüminyum tele ait kimyasal bileşimler ve mekanik özellikler verilmiştir.

6.2. Kaynak Parametreleri

Tablo 6.1. Ana malzemeye ait kimyasal özellikler:

Kimyasal Bileşim (%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Mg	Al
0,26	0,34	0,08	0,4	0,02	0,02	2,69	96,1

Tablo 6.2. Ana malzemeye ait mekanik özellikler:

Mekanik özellikler		
Çekme Dayanımı Mpa	Akma Dayanımı Mpa	% Uzama
245	110	15

Tablo 6.3. 3,2 mm kalınlığa sahip alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal özellikler:

Kimyasal Bileşim			
Mg	Mn	Si	Fe
5	0,3	0,25	0,4

Tablo 6.4. 3,2 mm kalınlıĝa sahip alüminyum alaşımlı tele ait mekanik özellikler:

Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	% Uzama	Erime Aralığı
260	180	%20	575-633

Kaynak Makinesi Ve Diğer Kaynak Özellikleri:

- a. Akım türü: Alternatif akım (AC)
- b. Elektrot türü: Tungsten % 2 Thor. Elektrot (EN 26848)
- c. Elektrot çapı: 2,4 mm (2,4x175)
- d. Gaz memesi büyüklüğü: 7 mm
- e. İlave tel çapı: 3,2 mm (AlMg 5356)
- f. Koruyucu gaz: Argon %99,996
- g. Parçalar arası mesafe: 2 mm
- h. Altlık malzeme: yok
- i. Kaynak Makinesi: ESAB 4300 İ AC/DC
- j. Ortam sıcaklığı: 20 C



Şekil 6.1. Kaynak makinesi resimleri

Tablo 6.5. Kaynak parametreleri

Numuneler	Amper	Gaz Basıncı	Volt	Süre	Koruyucu Gaz	Akım Tipi	Parçalar Arası Mesafe
Referans	100	4,0	56	44	Ar	AC	2 mm
1	100	4,5	56	45	Ar	AC	2 mm
2	100	5,0	56	42	Ar	AC	2 mm
3	100	5,5	56	41	Ar	AC	2 mm
4	100	3,5	56	46	Ar	AC	2 mm
5	100	3,0	56	43	Ar	AC	2 mm
6	100	2,5	56	41	Ar	AC	2 mm
7	100	2,0	56	43	Ar	AC	2 mm
8	105	4,0	62	51	Ar	AC	2 mm
9	110	4,0	67	58	Ar	AC	2 mm
10	115	4,0	72	42	Ar	AC	2 mm
11	95	4,0	47	52	Ar	AC	2 mm
12	90	4,0	44	68	Ar	AC	2 mm
13	85	4,0	42	77	Ar	AC	2 mm

Malzeme, ergimeyen elektrot ve ilave tel özellikleri seçilerek kaynak parametreleri de ayarlanarak orijinal parça da dâhil olmak üzere toplam 14 tane farklı kaynak yapıldı.

Özet olarak referans numune ve 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. numunelerde kaynak akımı ve voltaj sabit tutuldu, gaz basıncı değiştirildi. Kaynak metodu, koruyucu gaz ve parçalar arası mesafe sabit tutuldu. Her numune için kaynak hızı tespit edildi.

8. 9. 10. 11. 12. ve 13. numuneler için ise gaz basıncı sabit tutulup kaynak akımı ve voltaj değiştirildi. Kaynak metodu, koruyucu gaz ve parçalar arası mesafe sabit tutuldu. Her numune için kaynak hızı tespit edildi.

Kaynatılacak malzemelerin her birinin boyutu 160 mm x 180mm olacak şekilde kesildi. Malzemeler kaynak yapılmadan önce kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak işlemi girilen değerlerde kaynak hızı kaydedilmek suretiyle argon koruyucu gazı altında gerçekleştirildi. Kaynak sonrası malzeme havada soğutularak temizlenme işlemi yapıldı.

Kaynak malzemesi : 5754 alaşımı (Al Mg alaşımı)

Kaynak teli : AlMg kaynak teli(5356 alaşımı)

Kaynak işlemi : AC TIG

Birleştirme tipi : PA (Küt Alın Birleştirme)

Teknik resimde gösterilişi : ||

6.3. Deney Numunelerinin Alınması:

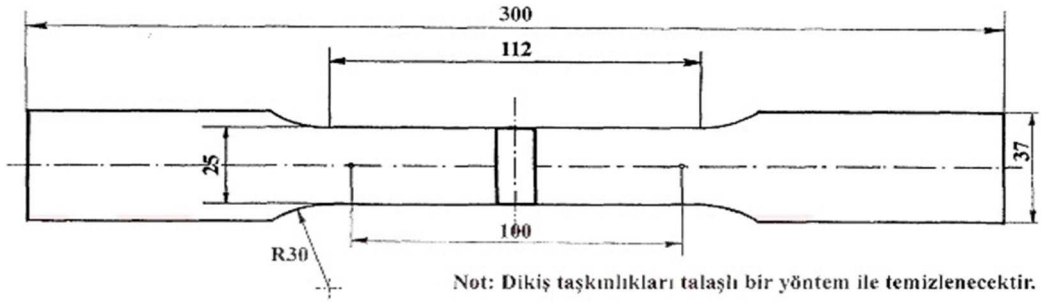
Yapılan çalışmada çekme dayanımı, eğme dayanımı, mikro sertlik, mikro yapı ve makro yapı olmak üzere 5 farklı özellik araştırılmıştır. Deney numuneleri standartlara ve literatüre uygun ölçülerde çekme deneyi, eğme deneyi, mikro sertlik ve makro yapı için 2 şer tane ana malzemedan numune çıkarılmıştır.

6.3.1. Çekme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması.

Kaynaklı numuneler çekme deneyi için, de verilen ölçülere uygun olarak her kaynaklı parçadan 2 şer tane kesildi. Deney için ALŞA marka deney cihazı kullanılmış olup çekme hızı 0,5 mm/s seçilmiştir.



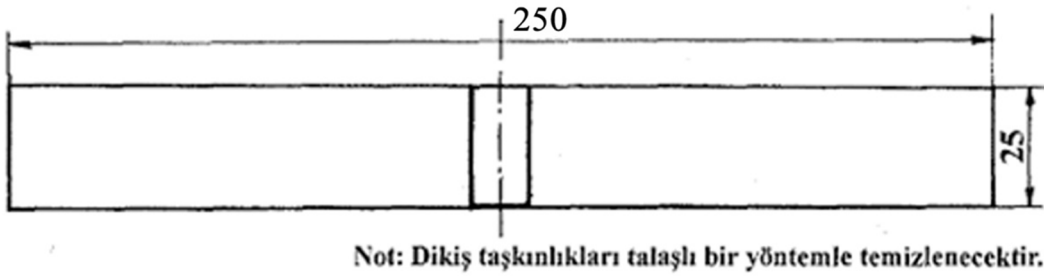
Şekil 6.2. Çekme deneyi cihazı ve çekilen numune



Şekil 6.3. EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekmeye deney parçası boyutları.

6.3.2.Eğme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması

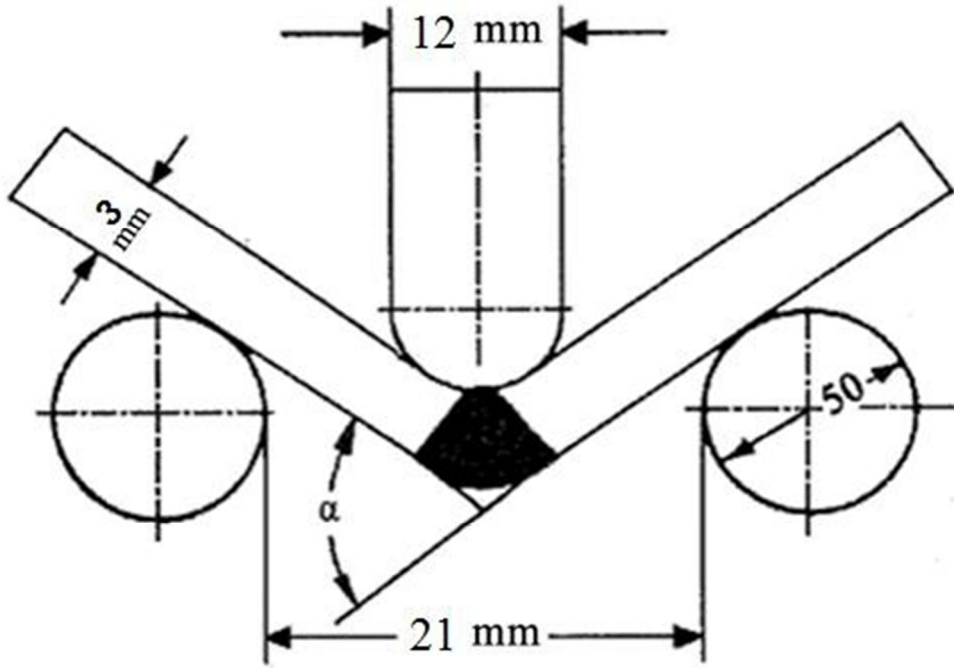
Kaynaklı numuneler eğme deneyi için, de verilen ölçülere uygun olarak her kaynaklı parçadan 2 şer tane kesildi. Deney için kep eğme ve kök eğme olmak üzere iki yönden eğme yapıldı. ALŞA marka deney cihazı kullanılmış olup basma hızı 0,5 mm/s seçilmiştir.



Şekil 6.4. EN 910'a uygun olarak hazırlanmış eğme deney parçası boyutları.



Şekil 6.5. Eğme deney makinesi ve eğilen numune

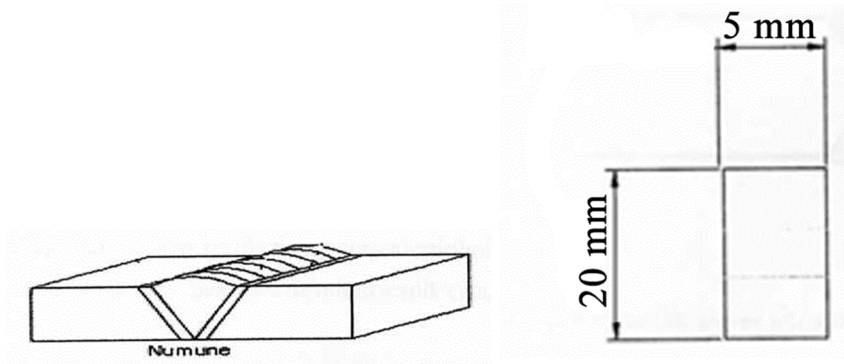


Şekil 6.6. Kaynak dikişleri eğme deneyi uygulama prensibi.

$t= 3\text{mm}$ (et kalınlığı); Mandrel çapı $4t=12\text{ mm}$; Mesnetler arası mesafe $3t+12=21\text{mm}$

6.3.3. Makro Yapı Numunelerinin Hazırlanması

Makro yapı incelemeleri için her numuneden 2 şer tane olmak üzere kaynak yüzeyinin görülebildiği yerlerden numuneler alınmıştır. Numune ölçüleri Şekil 6.7’de gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Makro yapı numunelerinin alınmış yönü ve numune örneği

Makro yapı görüntüsü almak için sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri gerçekleştirildi. Zımparalama işlemi 60, 80, 120, 180, 320, 400, 500, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımpara kâğıtları makinenin disklerine takılarak otomatik olarak bol su ile yapıldı. Ardından parlatma işlemine geçildi. Parlatma işlemi için çuha adı verilen bez kumaş makinenin disklerine takıldı. Kumaş diske takıldıktan sonra bez nemlenecek kadar ıslatıldı ardından $1\ \mu$ 'luk alümina pasta ile sırayla tek tek yüzeyde zımpara partikülü çizik vb kalmayınca kadar parlatıldı. Parlatılmış numunelerin mikroskopta makro görüntülerinin alınabilmesi için alüminyum malzemeye özel olan keller dağlayıcı ile malzeme yüzeyleri dağlandı. Kellere bileşimi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Keller bileşimi (a)

Yüzde	Bileşim
%3	HNO ₃
%2	HCL
%1	HF
%94	H ₂ O

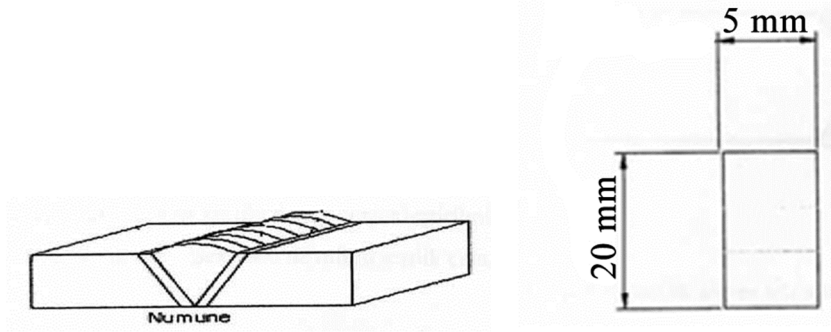
Dağlanan malzemelerin makro yapı fotoğrafları NIKON SMZ800 marka cihazla çekilmiştir.



Şekil 6.8. Makro görüntü alma cihazı

6.3.4. Mikro Yapı Numunelerinin Hazırlanması

Mikro yapı incelemeleri için her numuneden 2 şer tane olmak üzere kaynak yüzeyinin görülebildiği yerlerden numuneler alınmıştır. Numune ölçüleri şekil 6.9'da gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Mikro yapı numunelerinin alınmış yönü ve numune örneği

Mikro yapı görüntüsü almak için uygun şekilde kesilen parçalar plastik kalıba alındıktan sonra sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri gerçekleştirildi. Zımparalama işlemi 60, 80, 120, 180, 320, 400, 500, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımpara kâğıtları makinenin disklerine takılarak otomatik olarak bol su ile yapıldı. Ardından parlatma işlemine geçildi. Parlatma işlemi için çuha(keçe) adı verilen kumaş makinenin disklerine takıldı. Kumaş diske takıldıktan sonra bez nemlenecek kadar ıslatıldı ardından 0,3 μ 'luk alümina pasta ile sırayla tek tek yüzeyde zımpara partikülü çizik vb. kalmayınca kadar parlatıldı. Parlatılmış numunelerin mikroskopta mikro görüntülerinin alınabilmesi için alüminyum malzemeye özel olan keller dağlayıcı ile malzeme yüzeyleri dağlandı. Keller bileşimi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Keller bileşimi (b)

Yüzde	Bileşim
%25	HNO ₃
%15	HCL
%10	HF
%50	H ₂ O

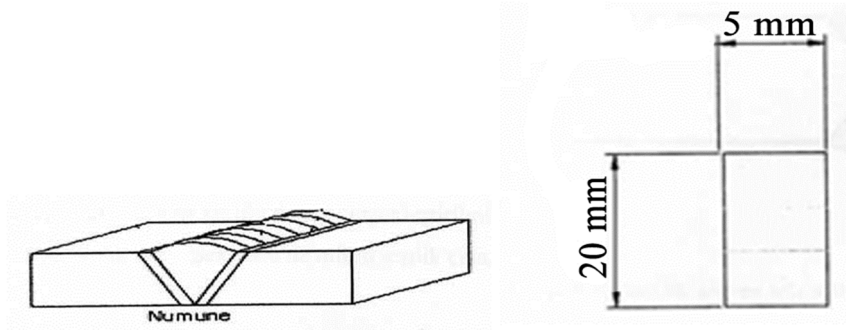
Numuneler uygun şekilde parlatıldıktan ve iyice kurutulduktan sonra keller bileşiminde daldırma yöntemiyle 75 sn. de dağlanarak mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 6.10. Mikro yapı görüntüsü alma cihazı

6.3.5. Mikro Sertlik Deney Numunelerinin Hazırlanması

Mikro sertlik deneyi için her numuneden 2 şer tane olmak üzere numune alınmıştır. Numune ölçüleri şekil 11’de gösterilmektedir.



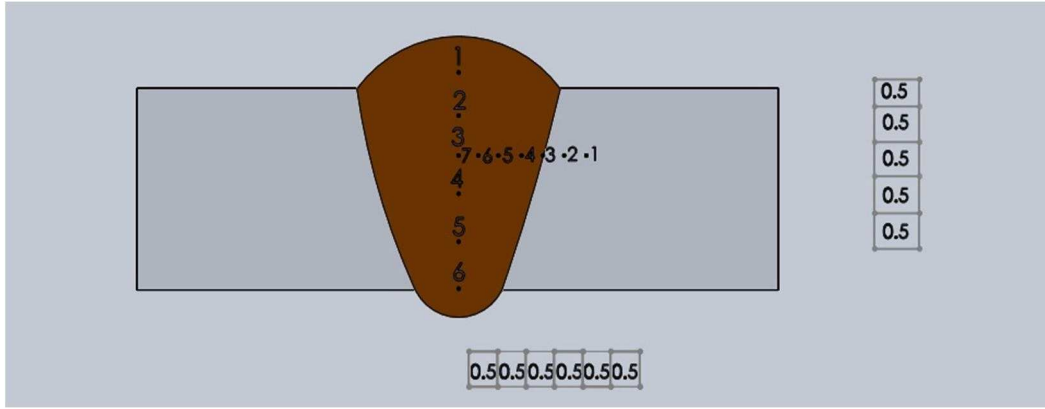
Şekil 6.11. Mikro sertlik numune örneği

Aşağıda mikro sertlik cihazının resimleri görülmektedir.



Şekil 6.12. HMV Shimadzu mikro sertlik cihazı

Deney numuneleri sertlik ölçümü için hazır hale getirildikten sonra 10 saniyede 100 gr ön yük kullanılarak HMV Shimadzu marka mikro sertlik cihazıyla şekilde 6.13'de gösterilen yerlerden sertlik deneyi yapılarak malzemelerin sertlikleri alınmıştır.



Şekil 6.13. Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Çekme Deneyi Sonuçları

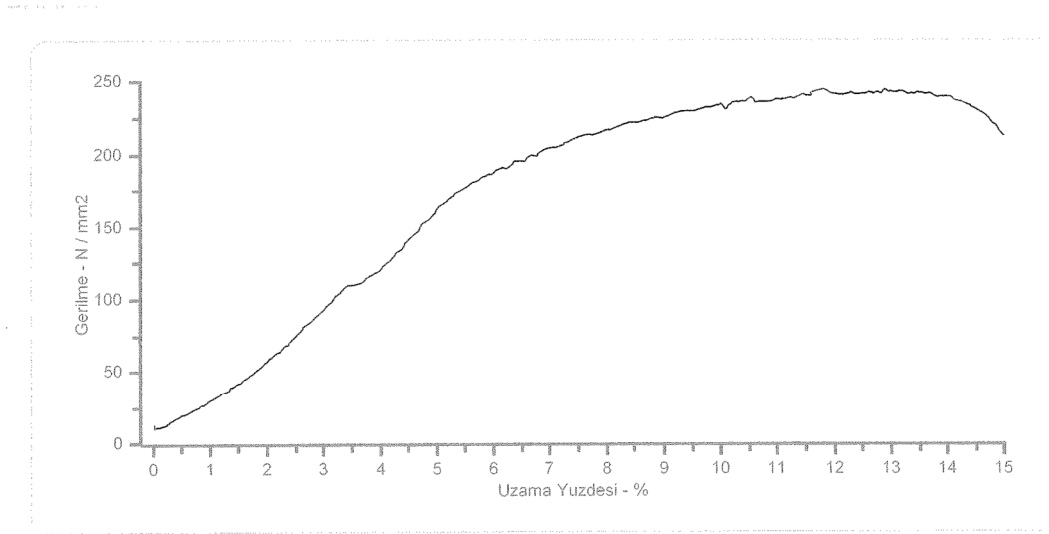
Çekme deneyi tek ekseninde belirli bir hızda ve sabit sıcaklıkta malzemenin kopuncaya kadar çekilmesidir [11]. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden biridir. Çekme kuvveti uygulandığında aynı zamanda numunenin uzaması da kaydedilir.

Kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme numunelerine uygulanan çekme deneyi sonucu elde edilen akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama miktarı ve kopmanın olduğu yeri belirten sonuçlar Tablo 7.1' de özetlenmiştir.

Tablo 7.1. Numunelerin çekme deney sonuçları.

Numune	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama	Kopmanın Yeri
Ref	99	226	201	10,0	ITAB
1	102	227	200	7,10	ITAB
2	107	225	190	14,6	ITAB
3	105	220	200	10,0	ITAB
4	103	220	200	10,0	ITAB
5	93	224	210	8,60	ITAB
6	91	232	215	8,80	ITAB
7	108	223	198	10,0	ITAB
8	106	222	208	8,60	ITAB
9	103	216	180	10,0	ITAB
10	82	224	203	11,4	ITAB
11	110	228	213	8,60	ITAB
12	102	220	190	10,0	ITAB
13	104	223	200	10,0	ITAB

5754 Malzemenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	47.7	40	46	222.68	1.1	244.45
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
222.68	222.68	224.19	224.19	224.19	11.66	15

Şekil 7.1. 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

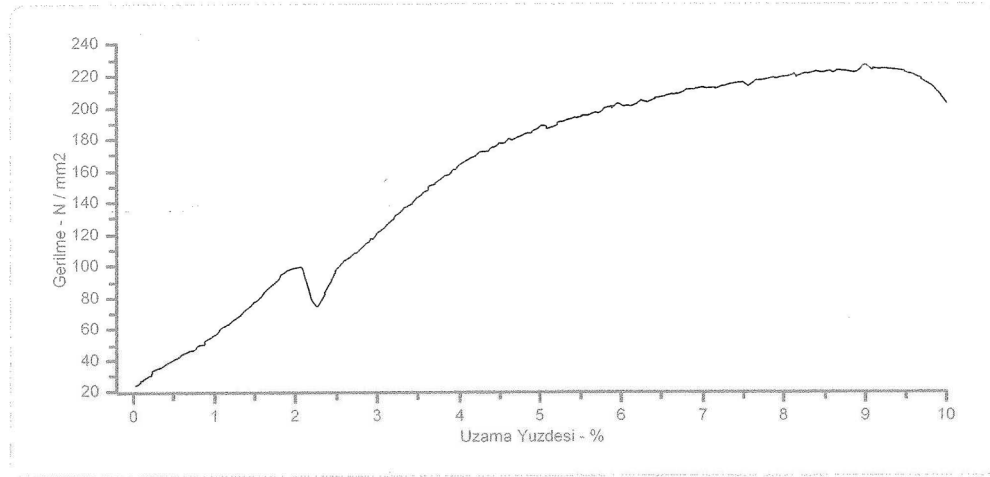
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

Referans Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	75	70	77	99	3.05	226
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
79.41	74.18	81.89	88.67	96.09	16.97	10

Şekil 7.2. Referans numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

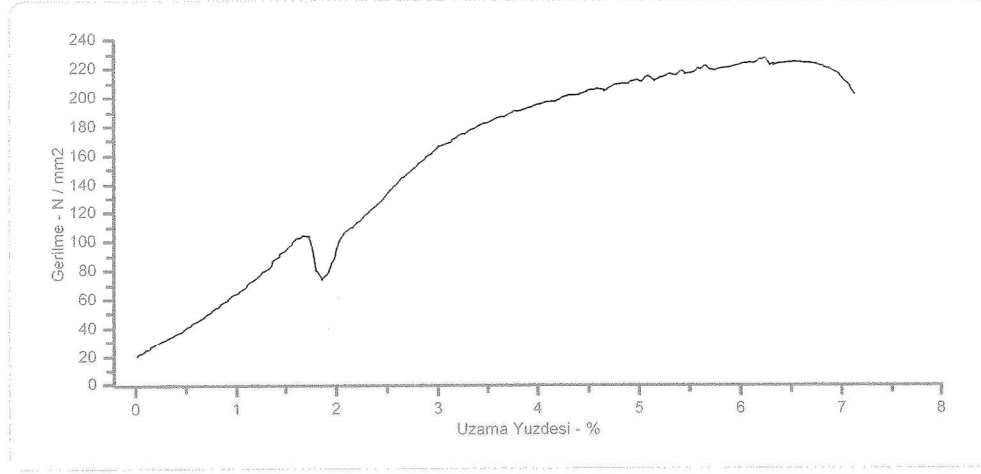
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

1 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SÖNÜCLER

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	75.3	70	75	102	1.09	227
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
205.41	208.11	209.35	209.35	209.15	17.09	7.1

Şekil 7.3. 1 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 4,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

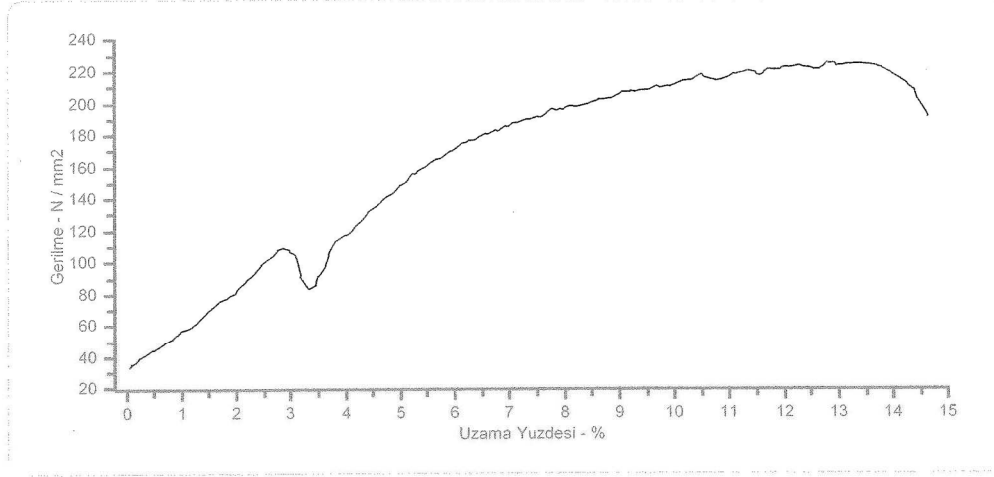
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

2 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	73.2	70	80.24	107	2.71	225
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
84.72	83.12	85.21	91.55	97.31	16.51	14.6

Şekil 7.4. 2 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 5,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

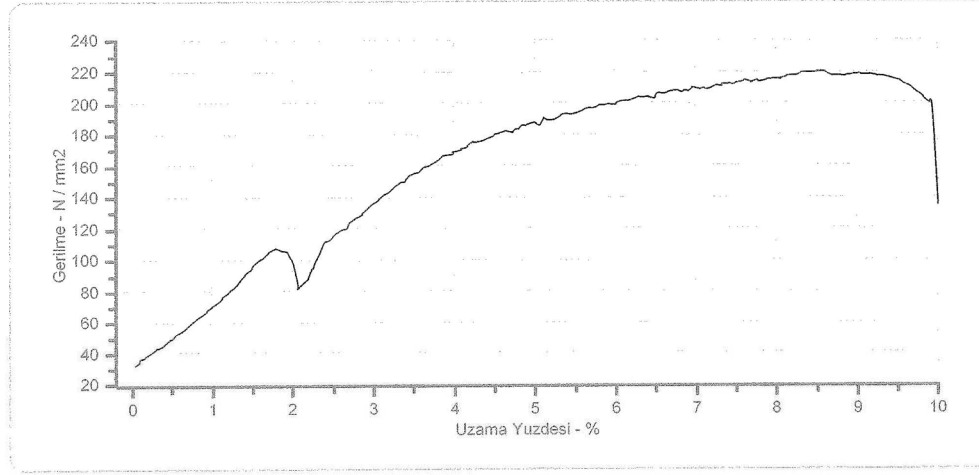
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

3 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	73.2	70	77	105	1.97	220
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
104.63	111.66	113.87	116.98	119.31	16.11	10

Şekil 7.5. 3 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 5,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

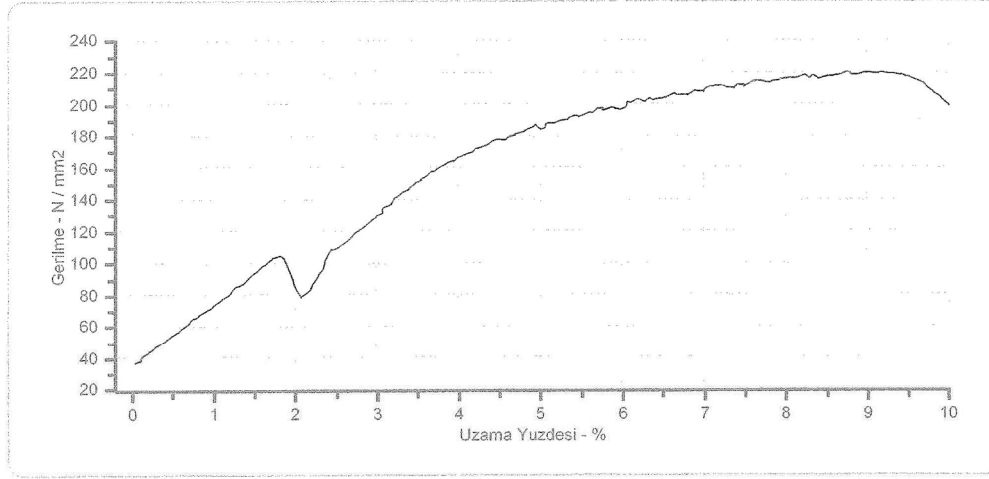
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

4 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	73.8	70	77	103	1.09	220
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
198.23	201.27	201.68	203.06	201.52	16.25	10

Şekil 7.6. 4 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 3,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

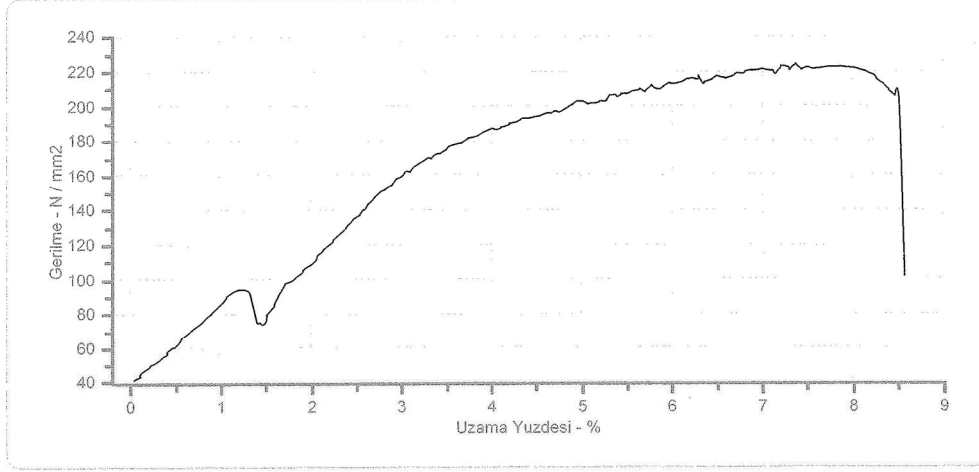
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

5 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	75	70	76	93	1.11	224
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
199.05	201.16	202.88	202.92	201.44	16.82	8.6

Şekil 7.7. 5 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 3,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

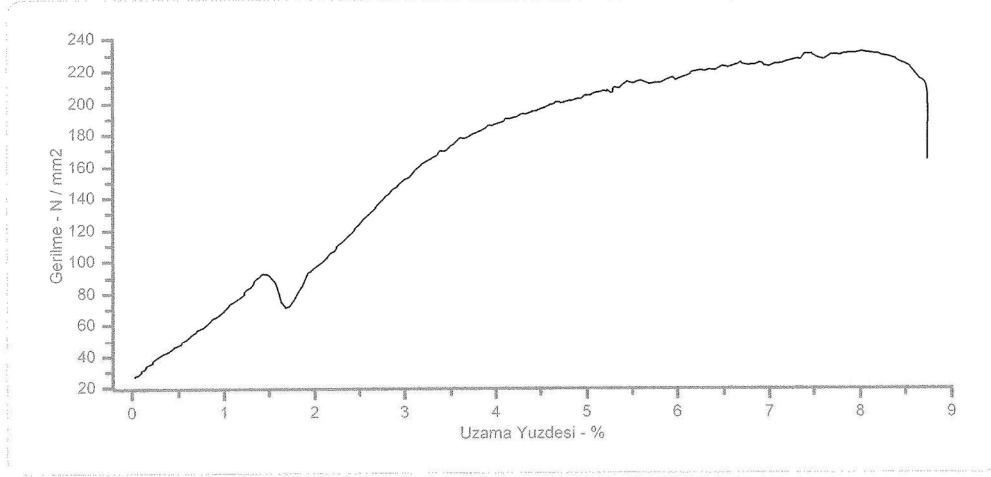
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

6 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm ²	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm ²	Rm / Rp02	Rm N/mm ²
	76.5	80	87	91	1.14	232
Rp0.1 N/mm ²	Rp0.2 N/mm ²	Rp0.3 N/mm ²	Rp0.4 N/mm ²	Rp0.5 N/mm ²	Fm KN	Uzama %
202.23	203.95	204.46	206.06	206.73	17.75	8.8

Şekil 7.8. 6 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 2,5 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

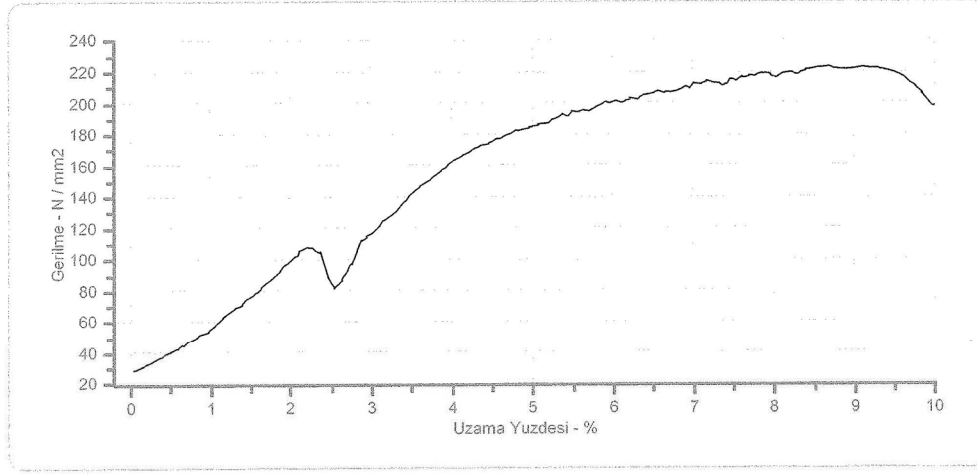
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

7 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm ²	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm ²	Rm / Rp02	Rm N/mm ²
	74.1	70	77	108	1.99	223
Rp0.1 N/mm ²	Rp0.2 N/mm ²	Rp0.3 N/mm ²	Rp0.4 N/mm ²	Rp0.5 N/mm ²	Fm KN	Uzama %
103.72	112.04	113.86	116.89	121.33	16.54	10

Şekil 7.9. 7 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 100 amperde 2,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

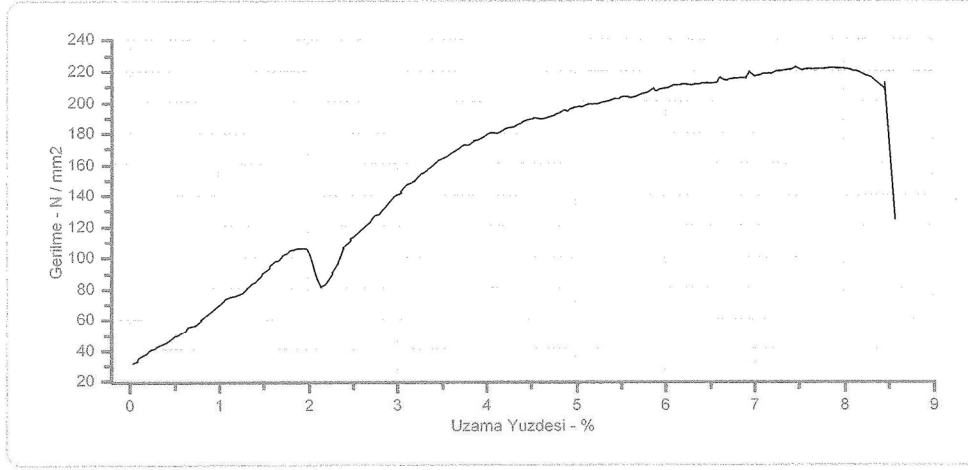
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

8 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm ²	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm ²	Rm / Rp02	Rm N/mm ²
	74.7	70	76	106	2.01	222
Rp0.1 N/mm ²	Rp0.2 N/mm ²	Rp0.3 N/mm ²	Rp0.4 N/mm ²	Rp0.5 N/mm ²	Fm KN	Uzama %
110.5	110.5	114.87	119.72	122.64	16.6	8.6

Şekil 7.10. 8 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 105 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

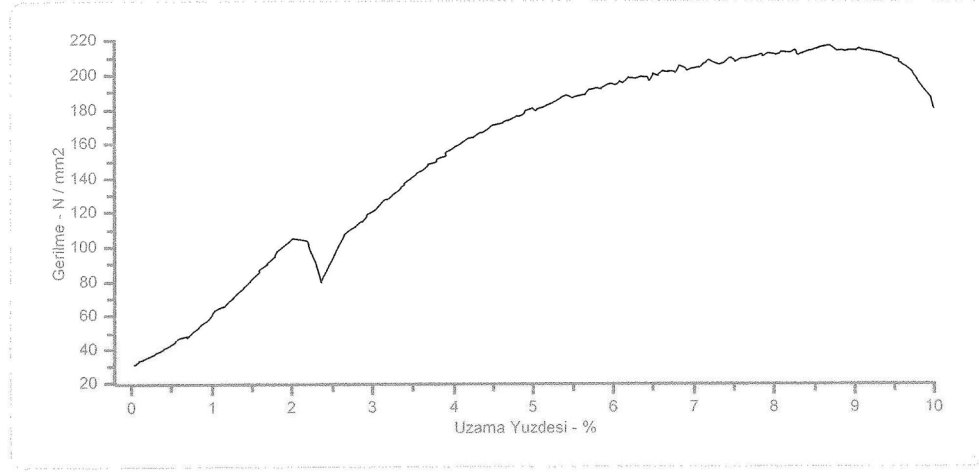
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

9 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	74.1	70	77	103	1.08	216
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
198.24	199.89	201.87	201.27	201.27	16.04	10

Şekil 7.11. 9 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 110 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

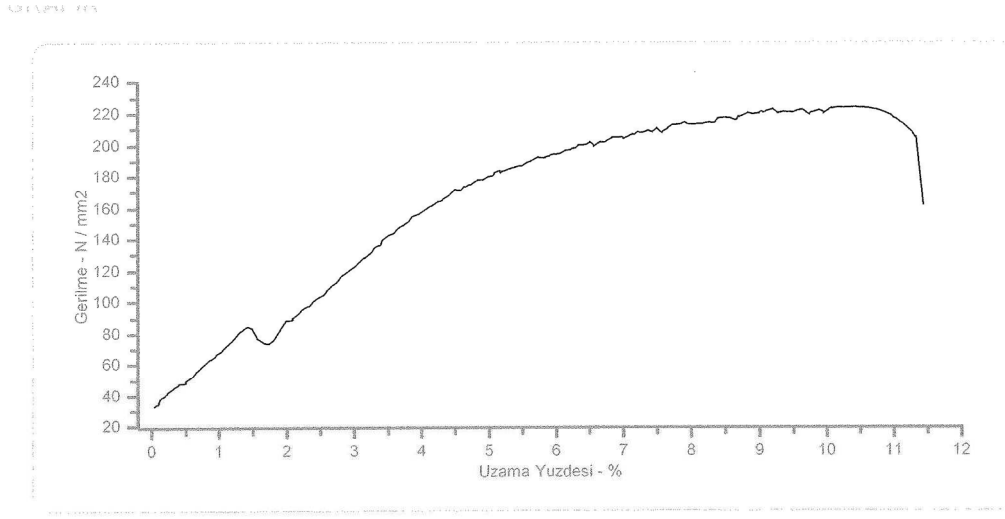
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

10 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm ²	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm ²	Rm / Rp0.2	Rm N/mm ²
	73.8	70	78	82	3.05	224
Rp0.1 N/mm ²	Rp0.2 N/mm ²	Rp0.3 N/mm ²	Rp0.4 N/mm ²	Rp0.5 N/mm ²	Fm KN	Uzama %
73.73	73.32	75.31	81.64	87.72	16.51	11.4

Şekil 7.12. 10 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 115 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

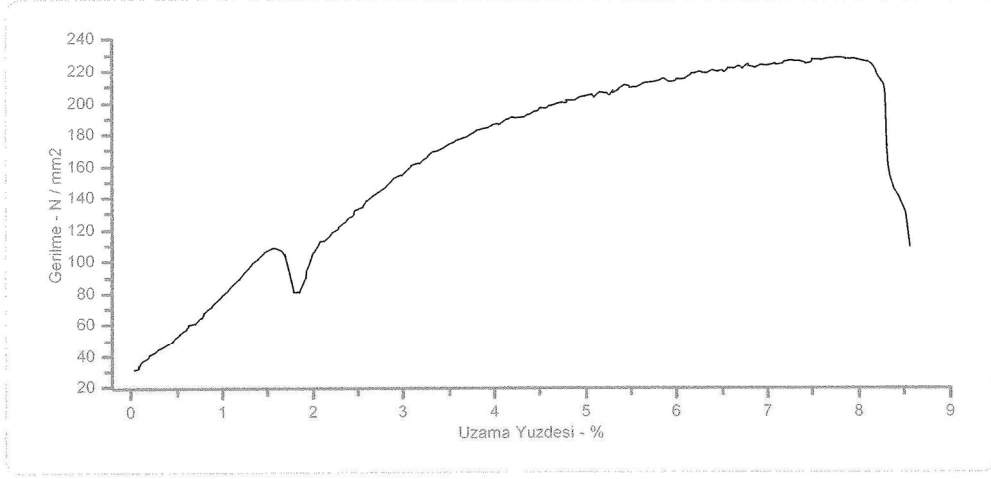
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

11 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	73.2	70	76	110	2.84	228
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
81.9	80.26	89.5	89.5	104.51	16.68	8.6

Şekil 7.13. 11 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 95 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

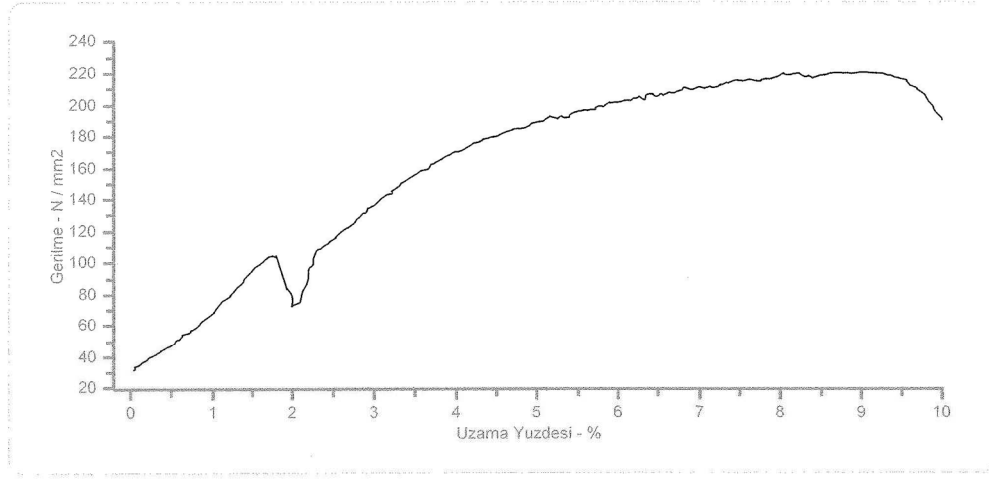
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

12 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm ²	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm ²	Rm / Rp02	Rm N/mm ²
	75.3	70	77	102	2.05	220
Rp0.1 N/mm ²	Rp0.2 N/mm ²	Rp0.3 N/mm ²	Rp0.4 N/mm ²	Rp0.5 N/mm ²	Fm KN	Uzama %
98.57	107.59	110.42	112.36	115.31	16.59	10

Şekil 7.14. 12 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 90 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

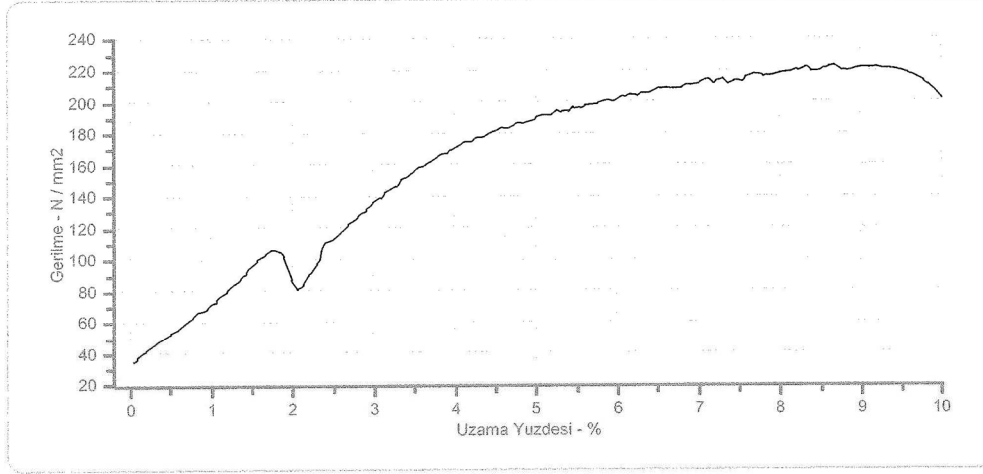
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

13 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	75	70	77	104	2.74	223
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
88.27	81.25	83.2	90.67	91.66	16.72	10

Şekil 7.15. 13 Numaralı numune: TIG kaynak yöntemiyle 85 amperde 4,0 gaz basıncında argon koruyucu gaz altında AlMg5356 telle kaynak yapılan 5754 malzemenin gerilme-genleme grafiği

$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

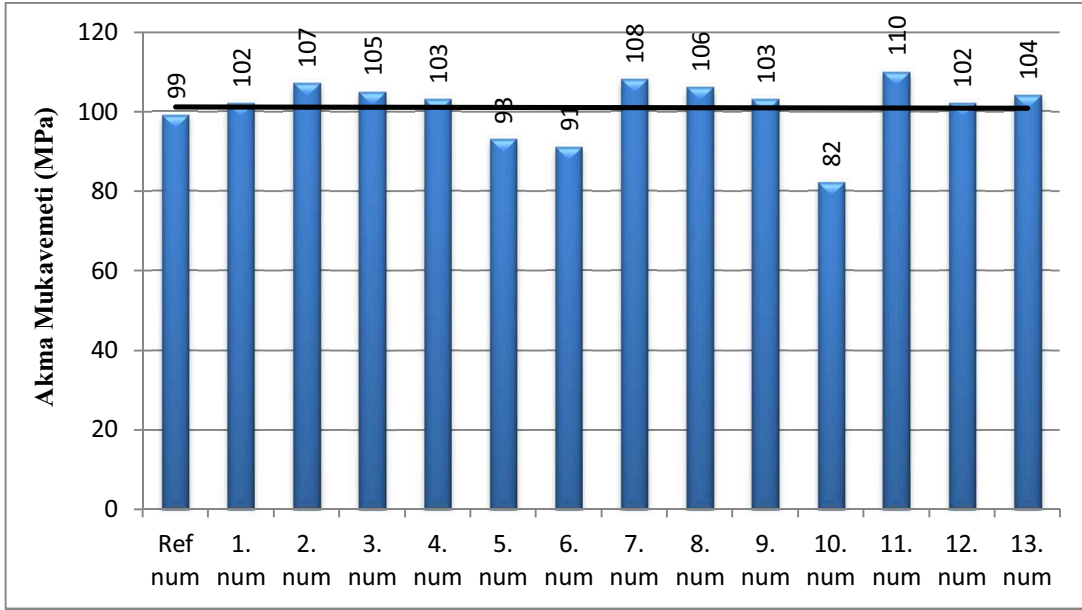
$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

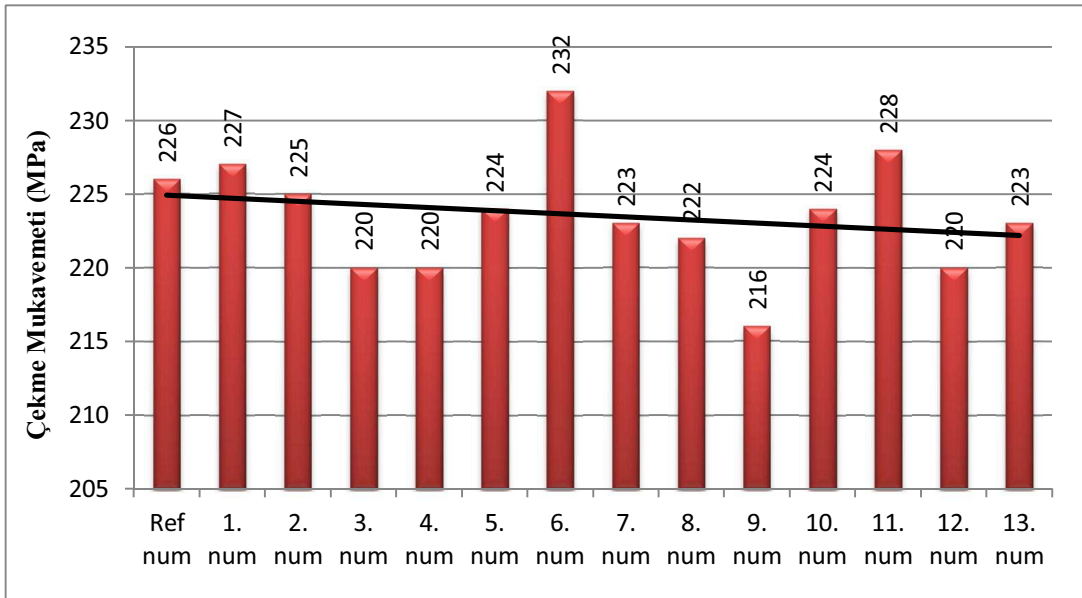
$L_1 = \text{Son Boy}$

Akma mukavemetindeki sonuçlara bakıldığında optimum akma değerine göre değerlerde bir değişme söz konusudur. Bu değişme kaynak parametrelerinden gaz basıncının değiştirilmesiyle artmış ya da azalmıştır. Buna göre gaz basıncının artmasıyla malzemenin akma mukavemeti artmış, gaz basıncının azalmasıyla da akma mukavemetinde düşüş gözlenmiştir.

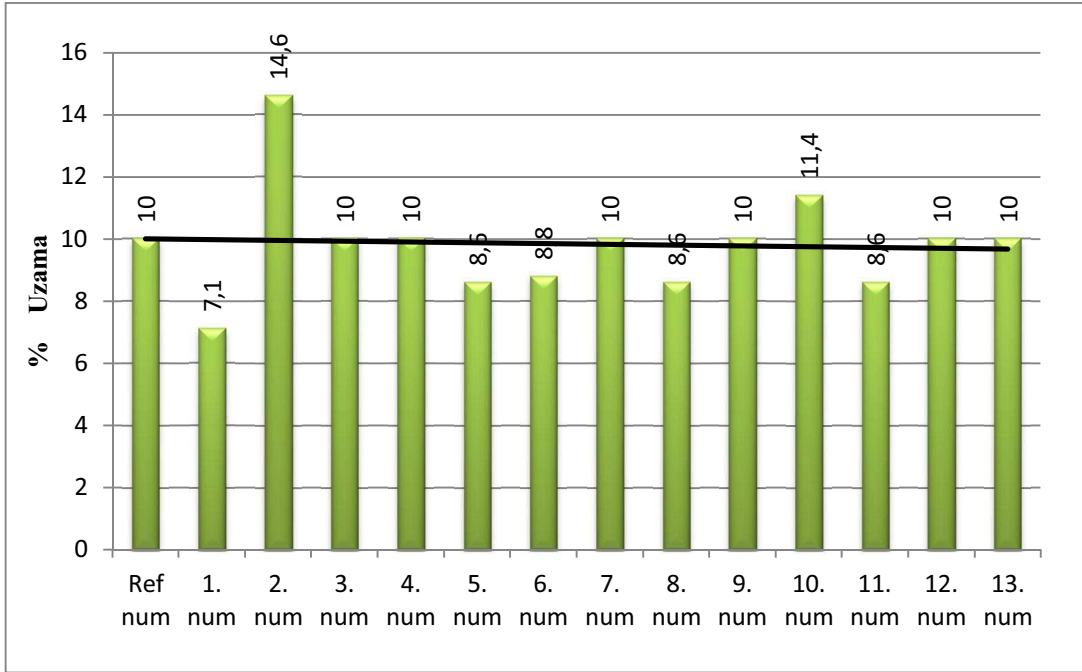
Çekme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında kaynak geriliminin belirli bir değerlerde değiştirilmesiyle çekme mukavemetlerinde artma ya da azalma gözlenmiştir. Kaynak geriliminin yanında gaz basıncının da çekme mukavemetine etkisi olmasına karşı genel olarak kaynak gerilimi arttığında çekme mukavemeti düşmüş kaynak gerilimi azaltıldığında çekme mukavemetinde artış saptanmıştır. Bunun nedeni olarak yüksek ısı girdisinin malzemenin dayanım özelliklerine olumsuz etkisi olduğu söylenebilir. Bununla beraber kaynak gerilimi düşük olmasına rağmen gaz basıncı yüksek olduğu takdirde yine çekme mukavemetinde düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak düşük akımda arkın içinden iri metal tanecik geçişinden dolayı yüksek akımda ise şiddetli arktan dolayı kaynak bölgesindeki gaz, kaynak banyosundan çıkamayıp sıkışıp kalmıştır. Sonuçta gözenekli bir yapı oluşmuştur. Bununda çekme mukavemetini düşürücü bir etkisi olmuştur. Dolayısıyla kaynak akım değerlerindeki değişim ve gaz basıncındaki aşırı uç değişimlerin çekme mukavemetine negatif bir etkisi olduğu söylenebilir. Bunun da nedeni gözenekli yapıdır. Bu yüzden kaynak gerilimi ve gaz basıncı için optimum değerler tercih edilmelidir.



Şekil 7.16. Numunelerin akma dayanımları



Şekil 7.17. Numunelerin çekme dayanımları



Şekil 7.18. Numunelerin % uzamaları

Yüzde uzama sonuçlarına baktığımızda kaynak gerilimi sabit olup gaz basıncına bağlı olarak yüzde uzamalarda da değişimler olduğu görülmüştür. Gaz basıncı arttığında genel olarak % uzama artarken gaz basıncı düştüğünde % uzama da azalmıştır. Yani genel olarak gaz basıncıyla % uzama arasında doğru orantı tespit edilmiştir. Gaz basıncı sabit olup kaynak akımı arttığında ise yine genel olarak aynı şekilde doğru orantı görülmüştür. Yani kaynak akımı arttığında % uzama da artmış, kaynak akımı azaldığında ise % uzamada düşüş tespit edilmiştir.



Şekil 7.19. Kopan numuneler

7.1.1. Elastik Modül Hesap Sonuçları

Referans Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{99}{\frac{77-70}{70}} = 990 \text{ N/mm}^2 \quad (7.1)$$

1. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{102}{\frac{75-70}{70}} = 1428 \text{ N/mm}^2 \quad (7.2)$$

2. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{107}{\frac{80-70}{70}} = 749 \text{ N/mm}^2 \quad (7.3)$$

3. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{105}{\frac{77-70}{70}} = 1050 \text{ N/mm}^2 \quad (7.4)$$

4. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{103}{\frac{77-70}{70}} = 1030 \text{ N/mm}^2 \quad (7.5)$$

5. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{93}{\frac{76-70}{70}} = 1085 \text{ N/mm}^2 \quad (7.6)$$

6. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{91}{\frac{87-80}{80}} = 1040 \text{ N/mm}^2 \quad (7.7)$$

7. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{108}{\frac{77-70}{70}} = 1080 \text{ N/mm}^2 \quad (7.8)$$

8. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{106}{\frac{76-70}{70}} = 1236 \text{ N/mm}^2 \quad (7.9)$$

9. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{103}{\frac{77-70}{70}} = 1030 \text{ N/mm}^2 \quad (7.10)$$

10. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{82}{\frac{78-70}{70}} = 717 \text{ N/mm}^2 \quad (7.11)$$

11. Numune İçin

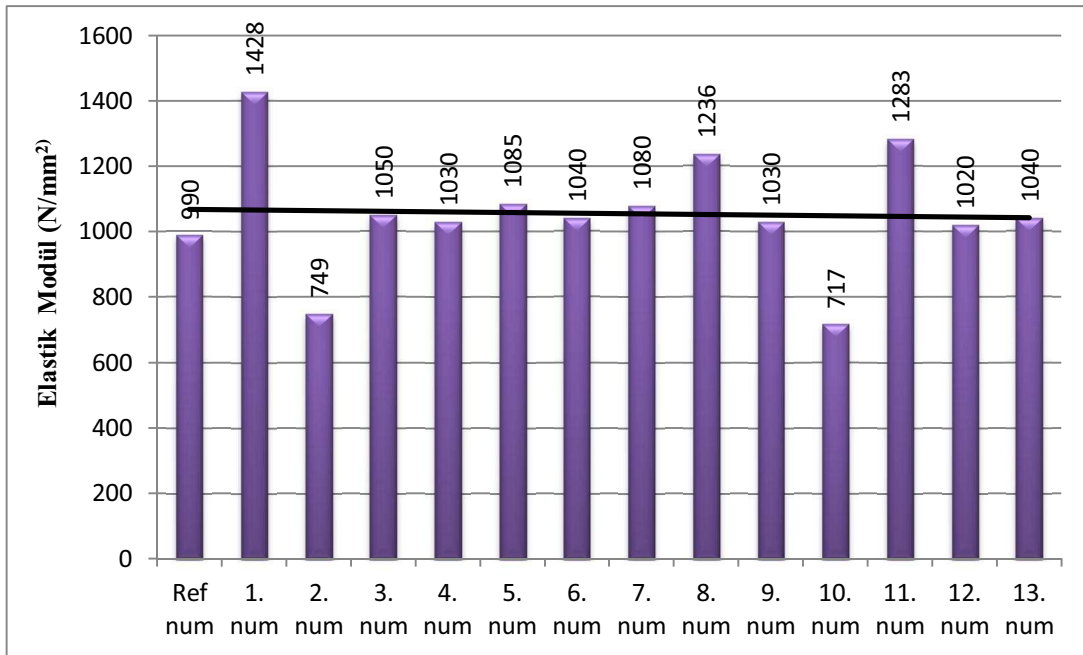
$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{110}{\frac{76-70}{70}} = 1283 \text{ N/mm}^2 \quad (7.12)$$

12. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{102}{\frac{77-70}{70}} = 1020 \text{ N/mm}^2 \quad (7.13)$$

13. Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{104}{\frac{77-70}{70}} = 1040 \text{ N/mm}^2 \quad (7.14)$$



Şekil 7.20. Elastik modül değerleri grafiği

7.1.2. Rezilyans Modül Hesap Sonuçları

Referans Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(99)^2}{2 \times 990} = 4,851 \text{ N/mm}^2 \quad (7.15)$$

1. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(102)^2}{2 \times 1428} = 7,428 \text{ N/mm}^2 \quad (7.16)$$

2. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(107)^2}{2 \times 749} = 4,287 \text{ N/mm}^2 \quad (7.17)$$

3. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(105)^2}{2 \times 1050} = 5,788 \text{ N/mm}^2 \quad (7.18)$$

4. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(103)^2}{2 \times 1030} = 5,463 \text{ N/mm}^2 \quad (7.19)$$

5. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(93)^2}{2 \times 1085} = 4,692 \text{ N/mm}^2 \quad (7.20)$$

6. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(91)^2}{2 \times 1040} = 4,306 \text{ N/mm}^2 \quad (7.21)$$

7. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(108)^2}{2 \times 1080} = 6,298 \text{ N/mm}^2 \quad (7.22)$$

8. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(106)^2}{2 \times 1236} = 6,943 \text{ N/mm}^2 \quad (7.23)$$

9. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(103)^2}{2 \times 1030} = 5,463 \text{ N/mm}^2 \quad (7.24)$$

10. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(82)^2}{2 \times 717} = 2,410 \text{ N/mm}^2 \quad (7.25)$$

11. Numune İçin

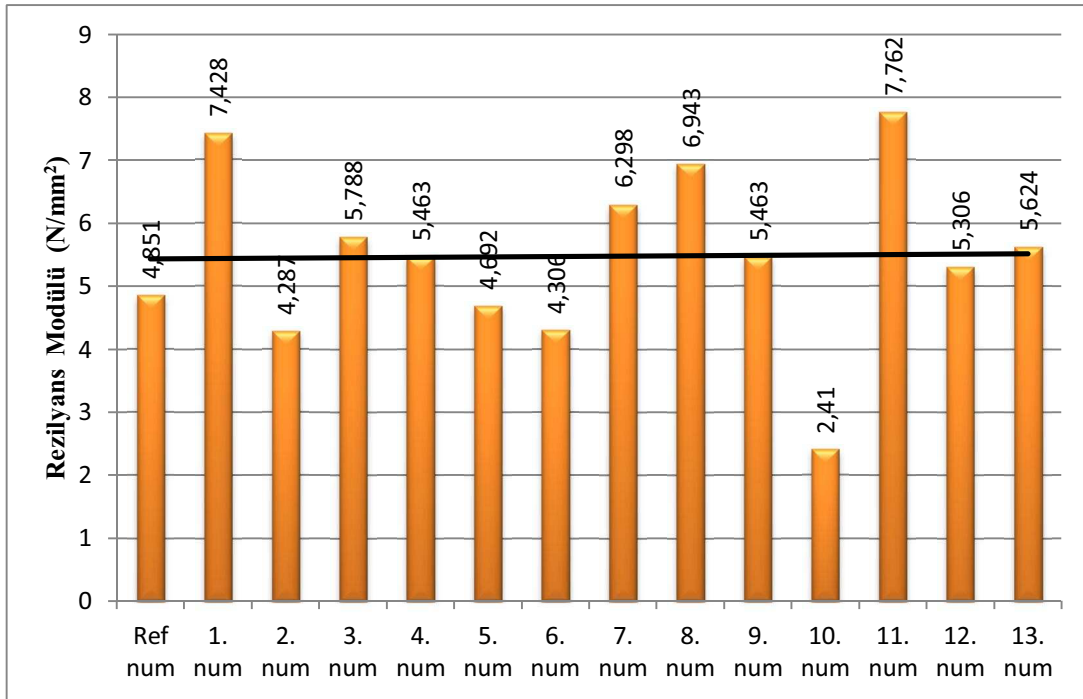
$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(110)^2}{2 \times 1283} = 7,762 \text{ N/mm}^2 \quad (7.26)$$

12. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(102)^2}{2 \times 1020} = 5,306 \text{ N/mm}^2 \quad (7.27)$$

13. Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(104)^2}{2 \times 1040} = 5,624 \text{ N/mm}^2 \quad (7.28)$$



Şekil 7.21. Rezilyans modül değerleri grafiği

7.1.3. Tokluk Hesabı Sonuçları

Referans Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 201 \cdot de = 20,1 \text{ N/mm}^2 \quad (7.29)$$

1. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,071} 200 \cdot de = 14,2 \text{ N/mm}^2 \quad (7.30)$$

2. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,14} 190 \cdot de = 26,6 \text{ N/mm}^2 \quad (7.31)$$

3. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 200 \cdot de = 20 \text{ N/mm}^2 \quad (7.32)$$

4. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 200 \cdot de = 20 \text{ N/mm}^2 \quad (7.33)$$

5. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 210 \cdot de = 16,8 \text{ N/mm}^2 \quad (7.34)$$

6. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 215 \cdot de = 17,2 \text{ N/mm}^2 \quad (7.35)$$

7. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 198 \cdot de = 19,8 \text{ N/mm}^2 \quad (7.36)$$

8. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 208 \cdot de = 16,6 \text{ N/mm}^2 \quad (7.37)$$

9. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 180 \cdot de = 18 \text{ N/mm}^2 \quad (7.38)$$

10. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 203 \cdot de = 20,3 \text{ N/mm}^2 \quad (7.39)$$

11. Numune İçin

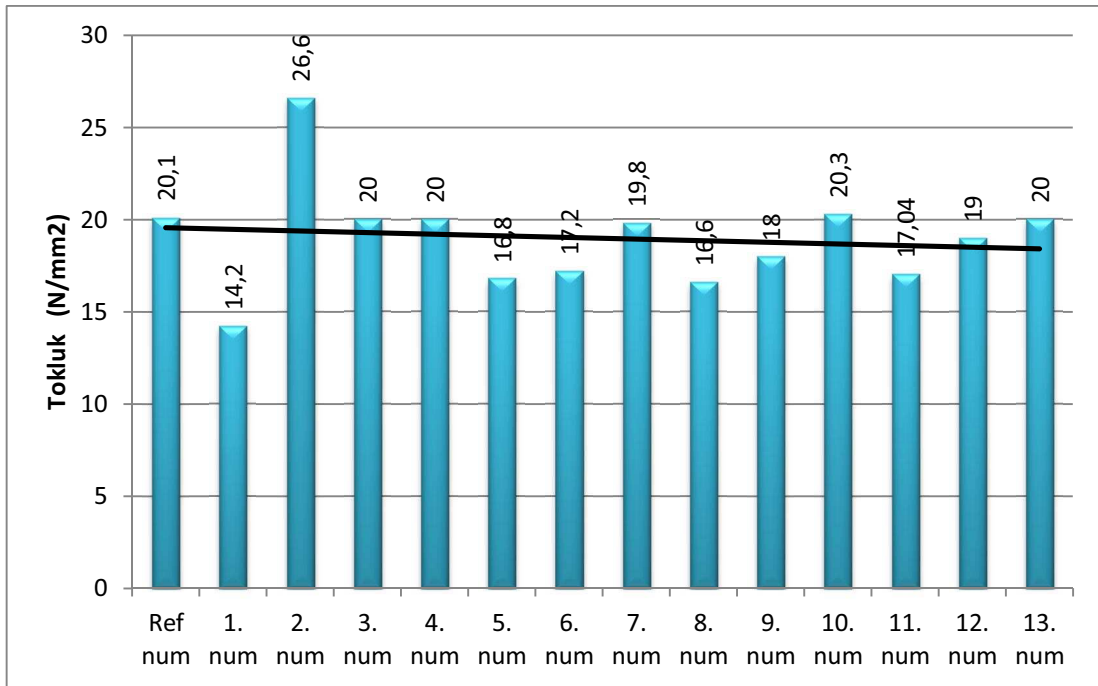
$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 213 \cdot de = 17,04 \text{ N/mm}^2 \quad (7.40)$$

12. Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 190 \cdot de = 19 \text{ N/mm}^2 \quad (7.41)$$

13. Numune İçin

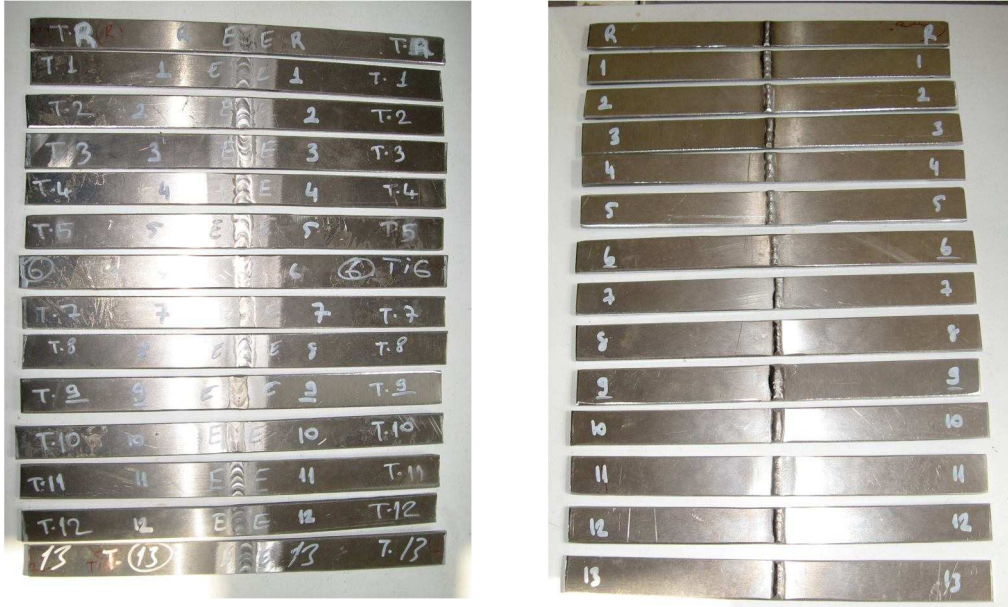
$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,1} 200 \cdot de = 20 \text{ N/mm}^2 \quad (7.42)$$



Şekil 7.22. Tokluk değerleri grafiği

7.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Eğme deneyi üç noktadan yükün binmesiyle belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta tek noktadan basılmasıdır [11]. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden biridir. Bu deney bize malzemenin eğmeye karşı gösterdiği davranış dayanımını verecektir. Numuneler kep (dikiş yüzeyi) ve kök (sakal kısmı) kısımlarından basma işlemi yapılarak her iki yüzeyinde eğmeye karşı gösterdiği davranış dayanımı tespit edilmiştir.

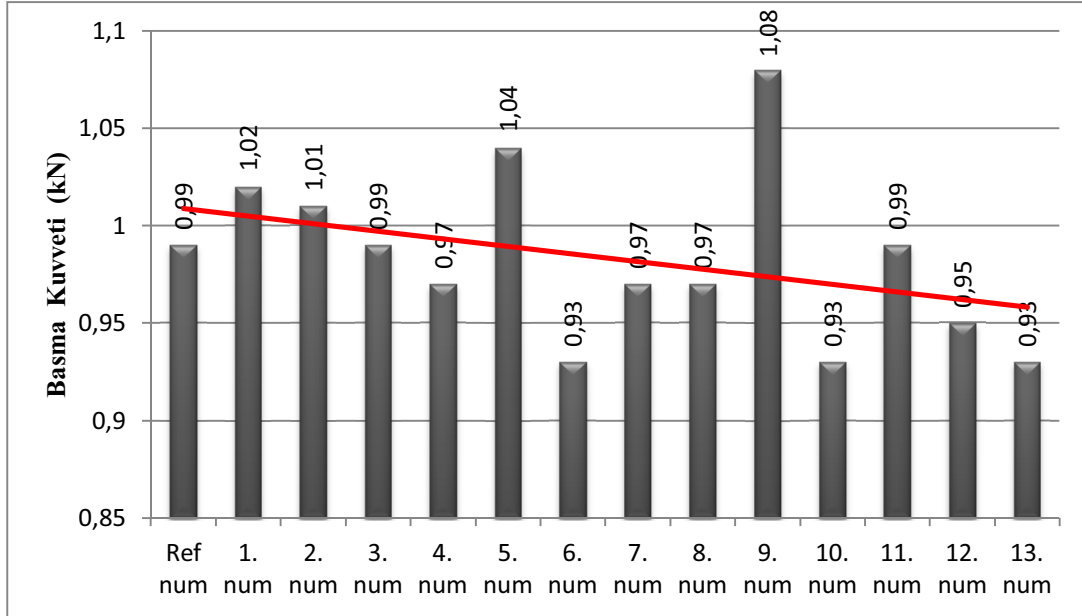


Şekil 7.23. Eğme deneyine tabi tutulacak numuneler

Yapılan deneylerin hiçbirinde çatlama görülmemiştir. Tablo 7.2'de eğme deneyi sonucunda numunelerin eğme dayanımları verilmiştir.

Tablo 7.2. Kep eğme dayanımları

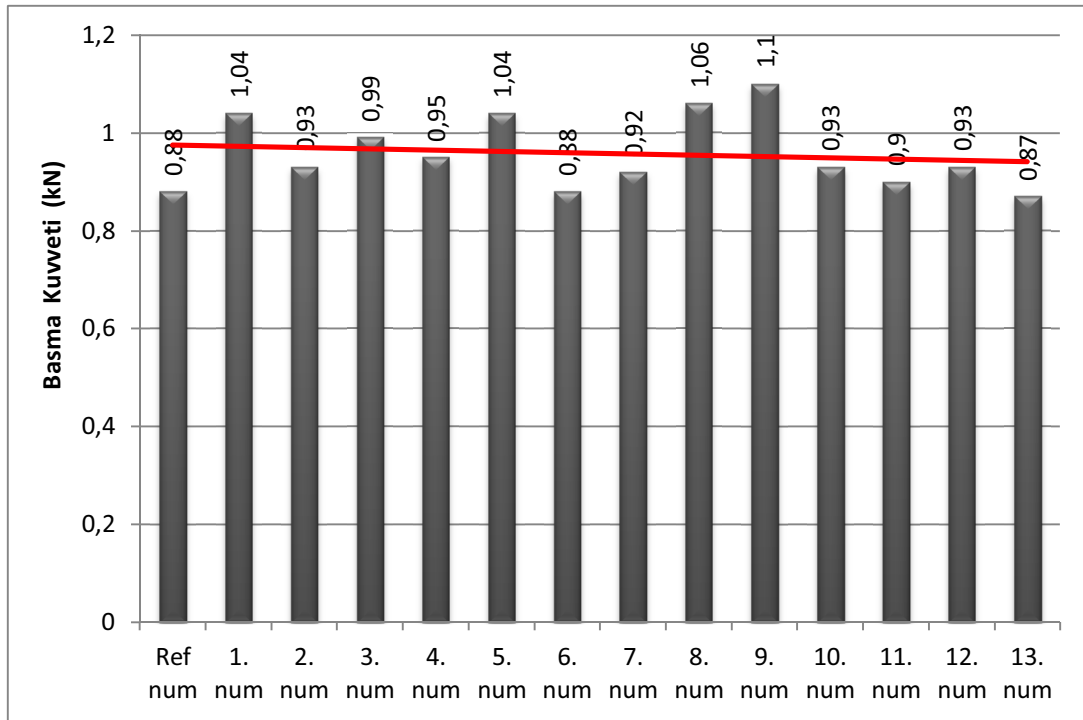
Ref. Num.	Kep Eğme (Yüzey)		
	Basma Kuv. (kN)	Max. Gerilme (kN)	% Uzama
Ref.	0,99	1,55	4,80
1	1,02	1,61	4,01
2	1,01	1,58	4,24
3	0,99	1,55	4,90
4	0,97	1,52	4,45
5	1,04	1,63	4,63
6	0,93	1,47	4,36
7	0,97	1,52	4,55
8	0,97	1,52	4,75
9	1,08	1,69	4,44
10	0,93	1,47	4,25
11	0,99	1,55	5,29
12	0,95	1,49	4,75
13	0,93	1,47	4,10



Şekil 7.24. Kep eğme dayanımları grafiği

Tablo 7.3. Kök eğme dayanımları

Ref. Num.	Kök Eğme (Sakal)		
	Basma Kuv. (kN)	Max. Gerilme (kN)	% Uzama
Ref. Num.	0,88	1,38	4,24
1	1,04	1,63	4,69
2	0,93	1,47	4,21
3	0,99	1,55	4,21
4	0,95	1,49	4,45
5	1,04	1,63	4,69
6	0,88	1,38	4,13
7	0,92	1,44	4,37
8	1,06	1,66	4,22
9	1,10	1,72	4,94
10	0,93	1,47	4,96
11	0,90	1,41	4,30
12	0,93	1,47	4,82
13	0,87	1,37	4,75



Şekil 7.25. Kök eğme dayanımları grafiği



Şekil 7.26. Eğme deneyine tabi tutulmuş numuneler

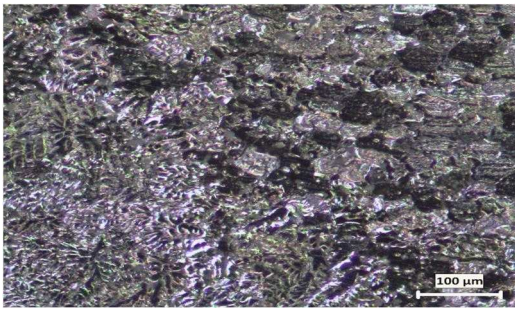
Eğme sonuçlarına bakıldığında toplam 14 numune incelendiğinde hem keş eğme, hem de kök eğme değerlerine amper değişiminin çok fazla bir etkisi olmamıştır. Ancak gaz basıncı değişimleri eğme sonuçları üzerinde etkili olmuştur. Optimum gaz basıncının biraz üstünde ve altında ki değerlerde basma kuvveti artarken yüksek gaz basıncı ve düşük gaz basınçlarında basma kuvveti düşmüştür. Yapılan eğme sonuçlarına göre eğilmeğe tabi tutulan numunelerin hiçbirinin yüzeyinde çatlama veya yırtılmalara rastlanmamıştır.

7.3. Mikro Yapı İncelemeleri ve Sonuçları

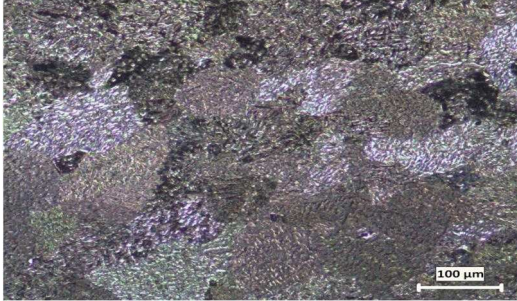
Numunelerin mikro yapı görüntüleri 100X büyütme ile yapılmış olup aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



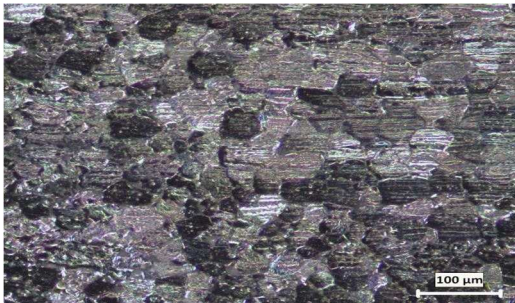
1.Kaynak metali (100X)



2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



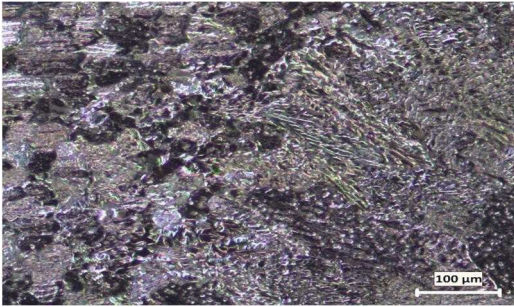
4.Ana metal (100X)



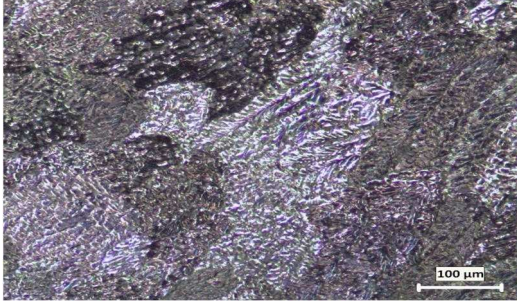
Şekil 7.27. Referans numunenin mikro yapı fotoğrafları



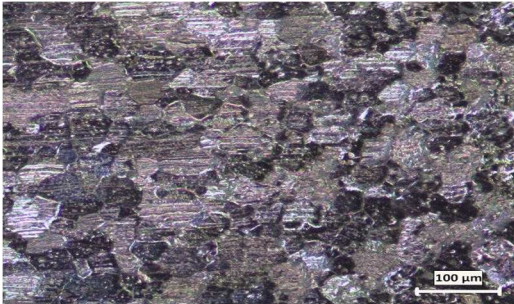
1.Kaynak metali (100X)



2.Geçiş bölgesi (100X)



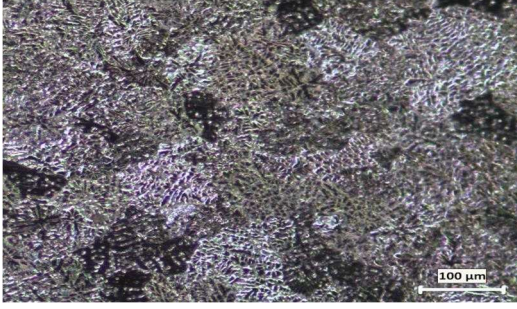
3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



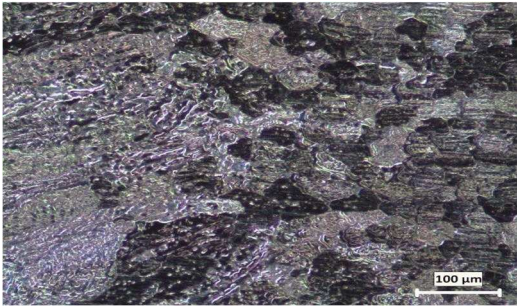
4.Ana metal (100X)



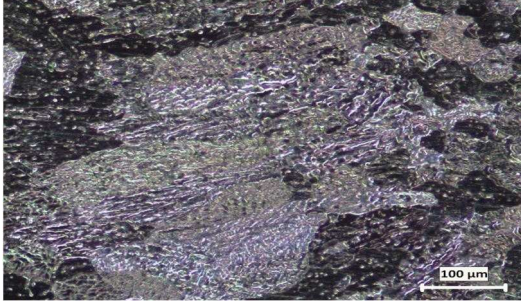
Şekil 7.28. 1 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



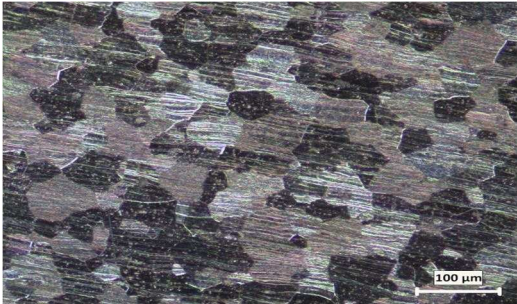
1.Kaynak metali (100X)



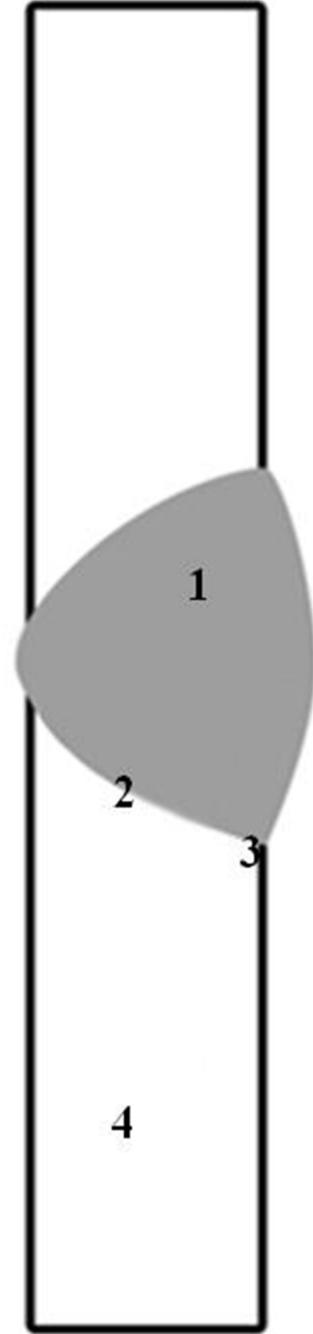
2.Geçiş bölgesi (100X)



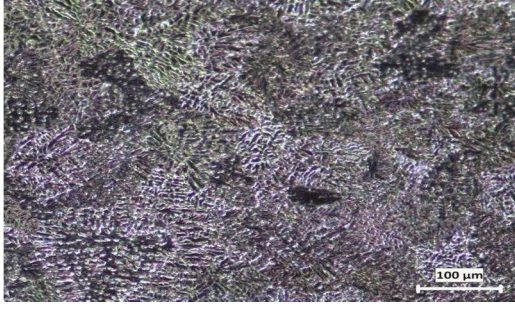
3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



4.Ana metal (100X)



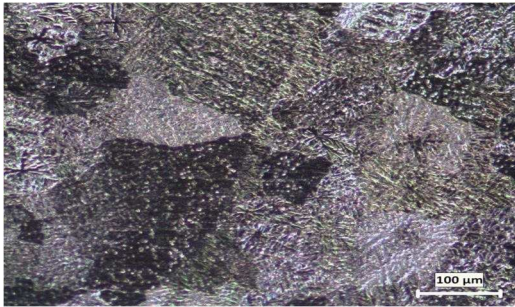
Şekil 7.29. 2 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



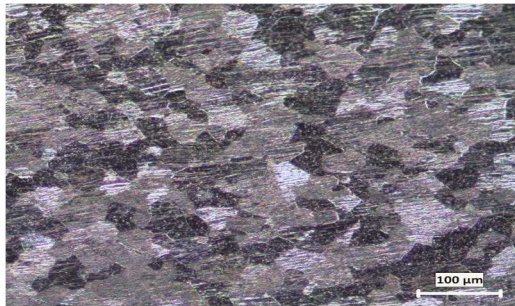
1.Kaynak metali (100X)



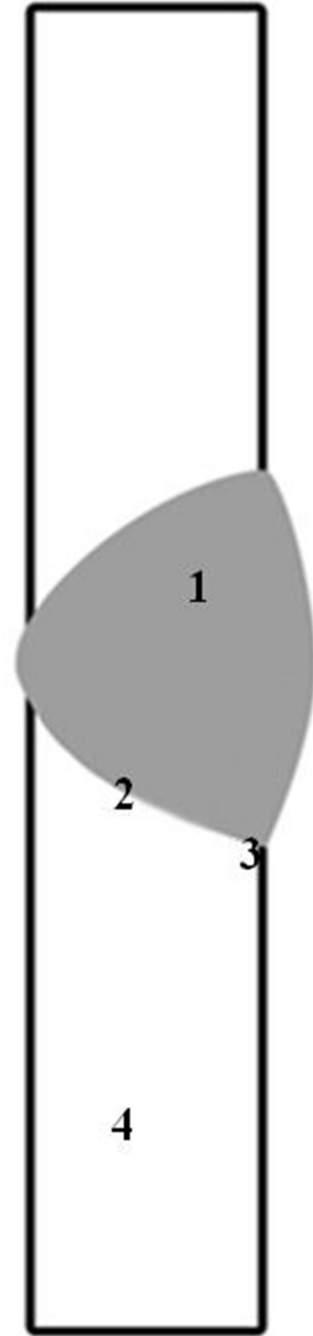
2.Geçiş bölgesi (100X)



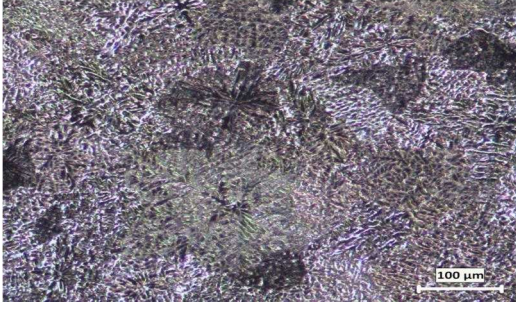
3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



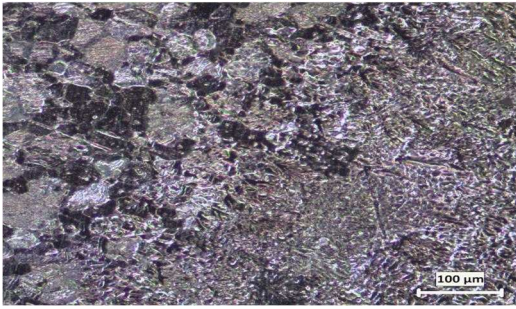
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.30. 3 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



1.Kaynak metali (100X)



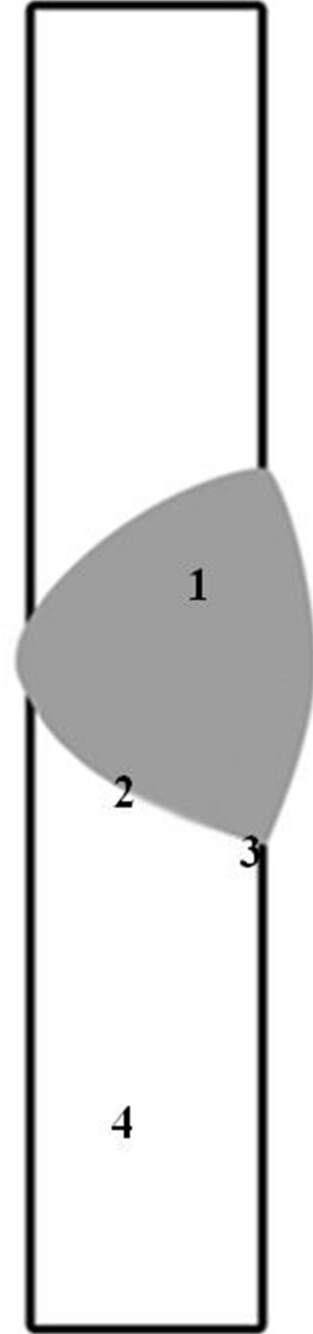
2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



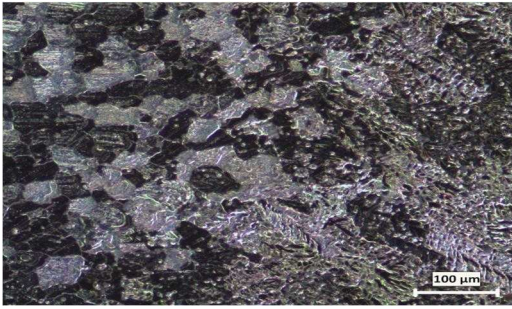
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.31. 4 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



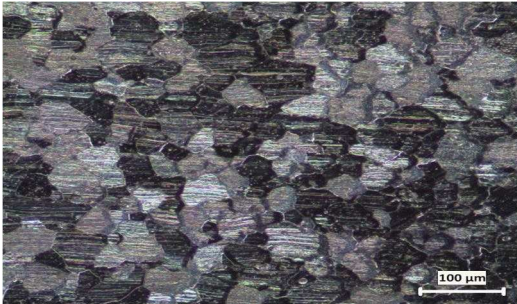
1.Kaynak metali (100X)



2.Geçiş bölgesi (100X)



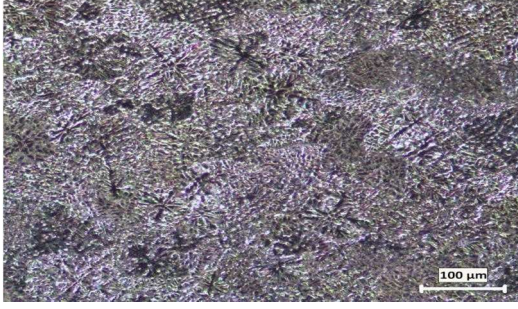
3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



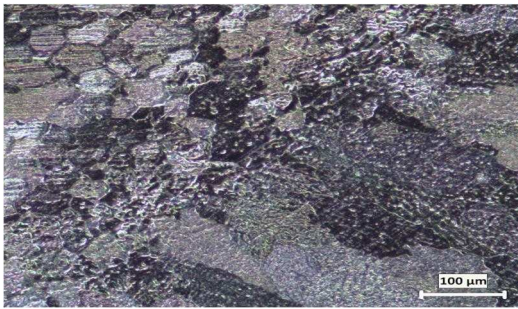
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.32. 5 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



1.Kaynak metali (100X)



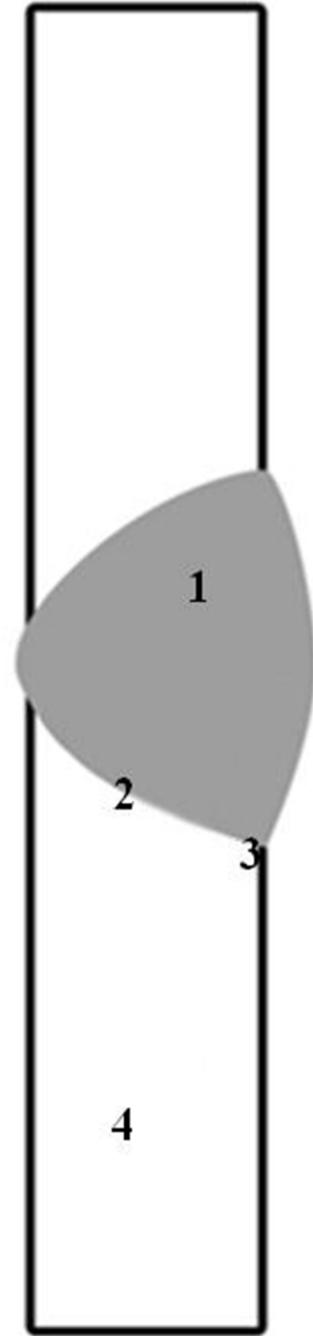
2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



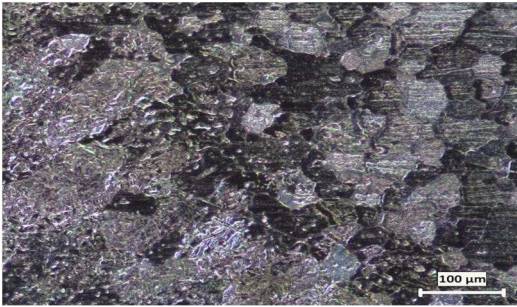
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.33. 6 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



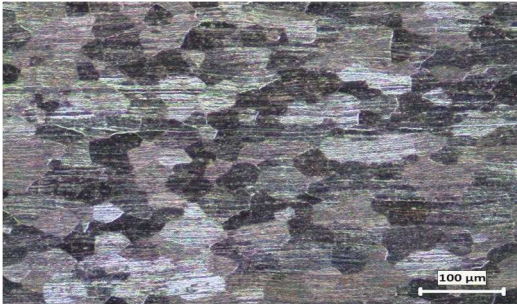
1.Kaynak metali (100X)



2.Geçiş bölgesi (100X)



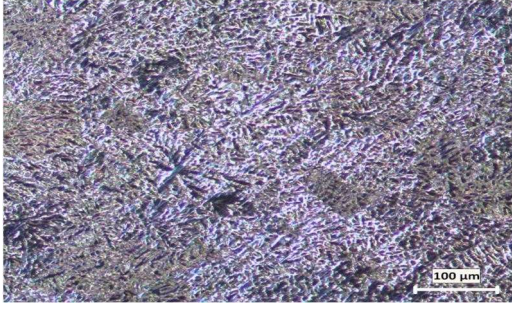
3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



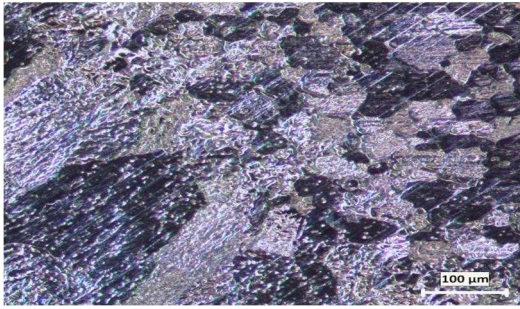
4.Ana metal (100X)



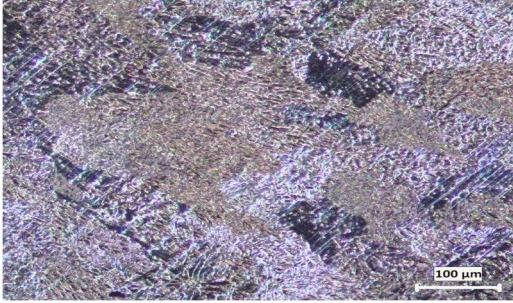
Şekil 7.34. 7 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



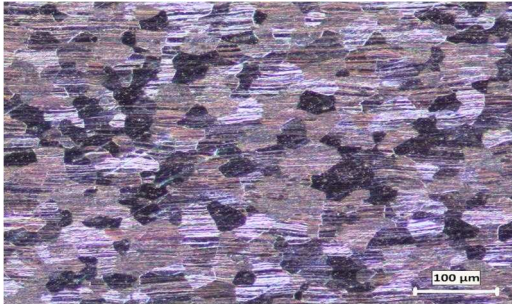
1.Kaynak metali (100X)



2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



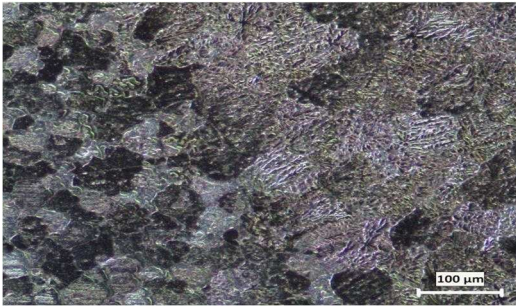
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.35. 8 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



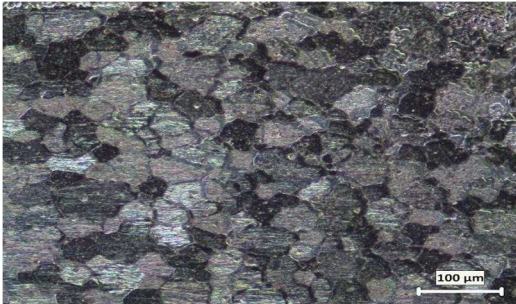
1.Kaynak metali (100X)



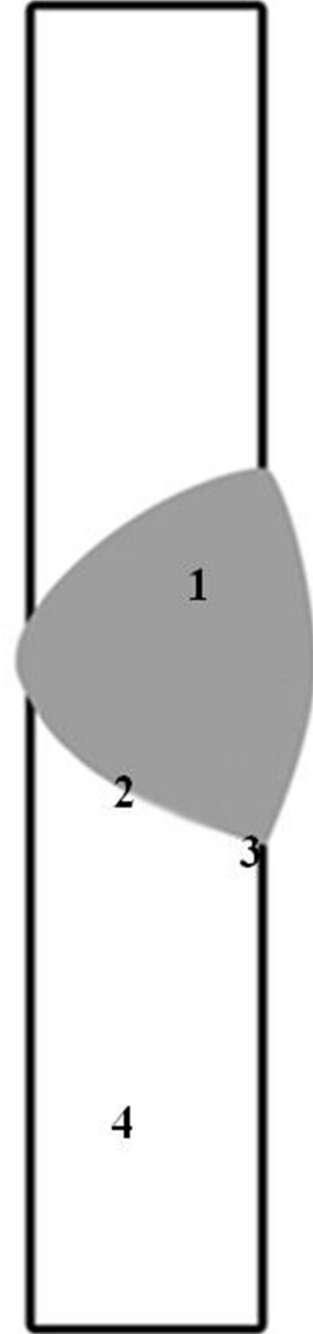
2.Geçiş bölgesi (100X)



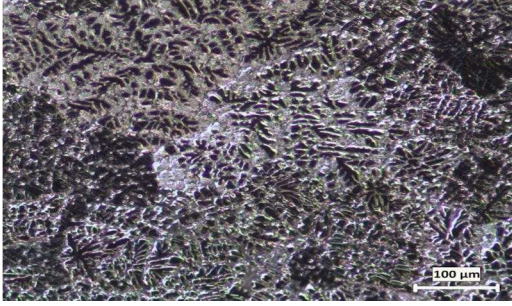
3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



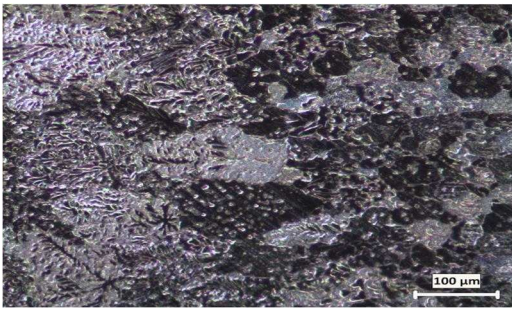
4.Ana metal (100X)



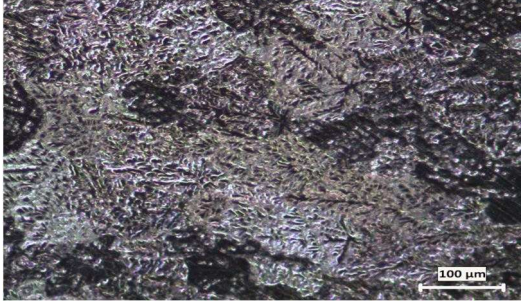
Şekil 7.36. 9 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



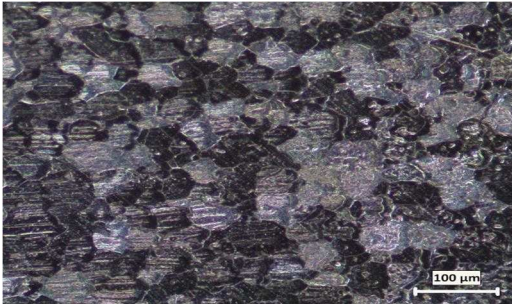
1.Kaynak metali (100X)



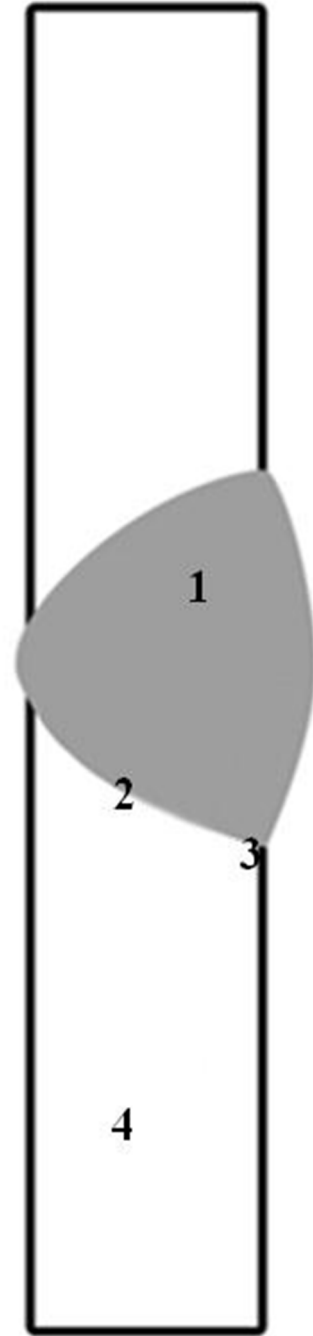
2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



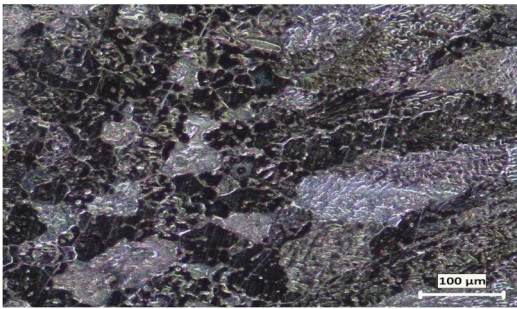
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.37. 10 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



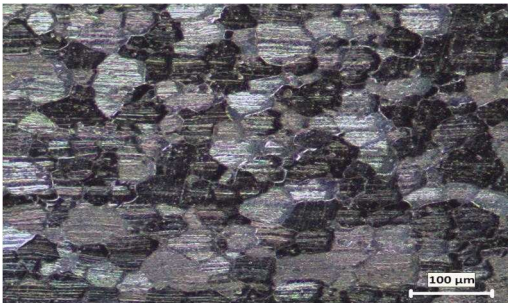
1.Kaynak metali (100X)



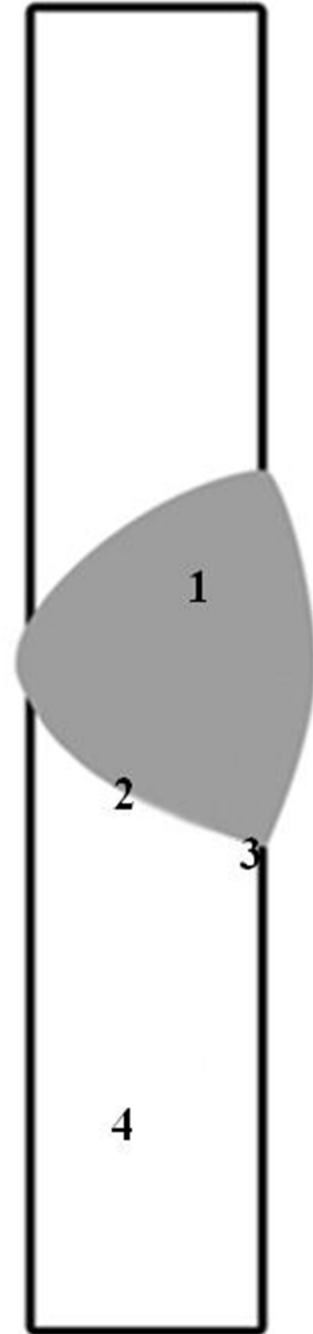
2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



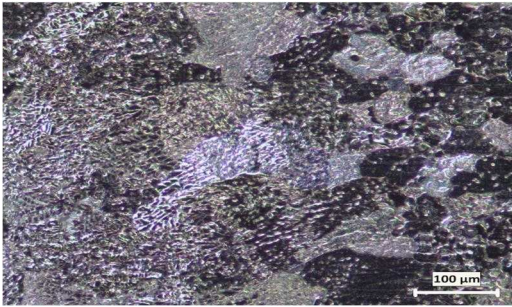
4.Ana metal (100X)



Şekil 7.38. 11 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



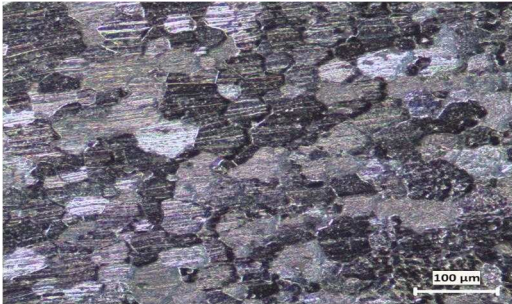
1.Kaynak metali (100X)



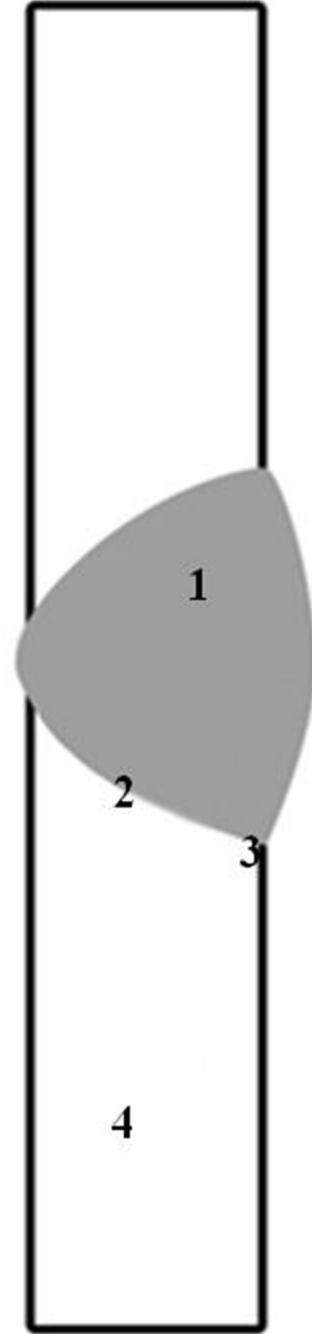
2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



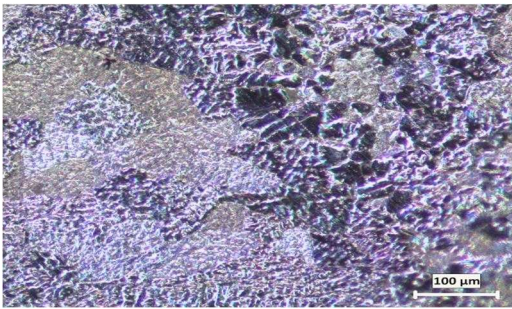
4.Ana metal (100X)



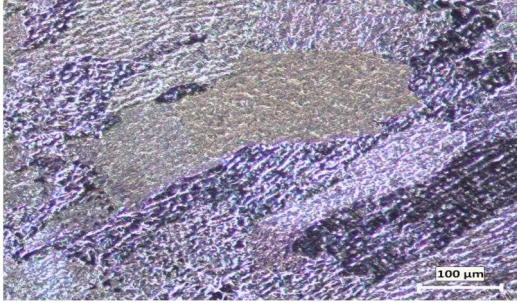
Şekil 7.39. 12 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları



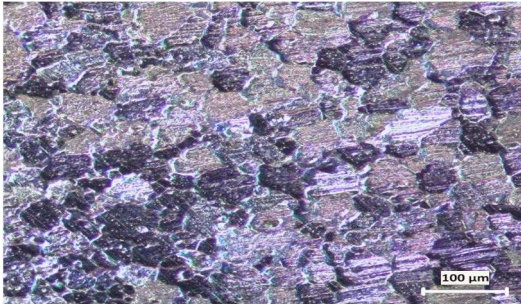
1.Kaynak metali (100X)



2.Geçiş bölgesi (100X)



3.ITAB'da tane irileşmesi (100X)



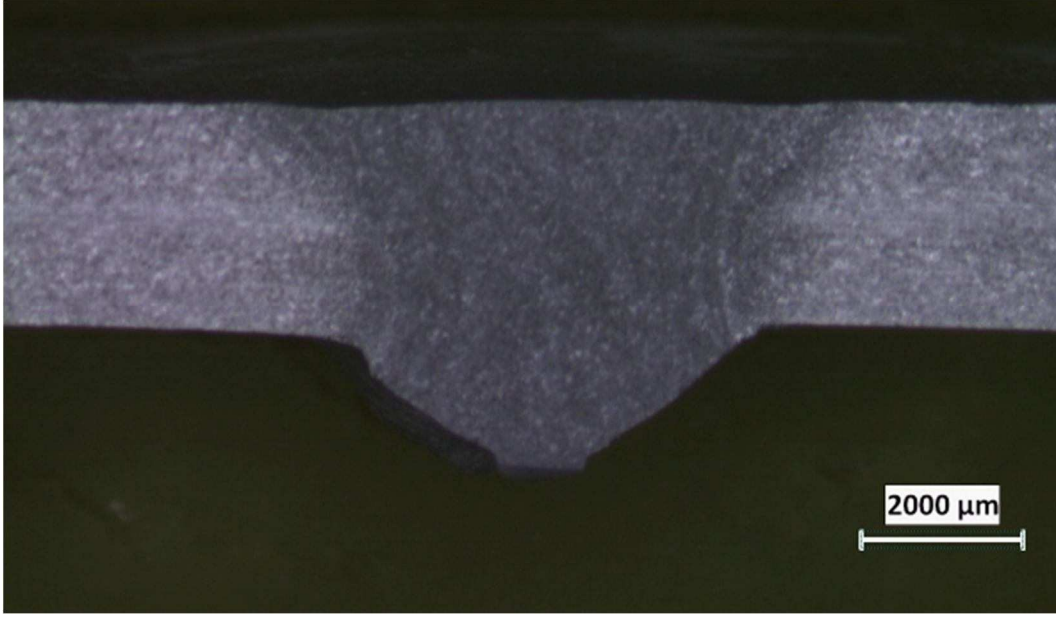
4.Ana metal (100X)



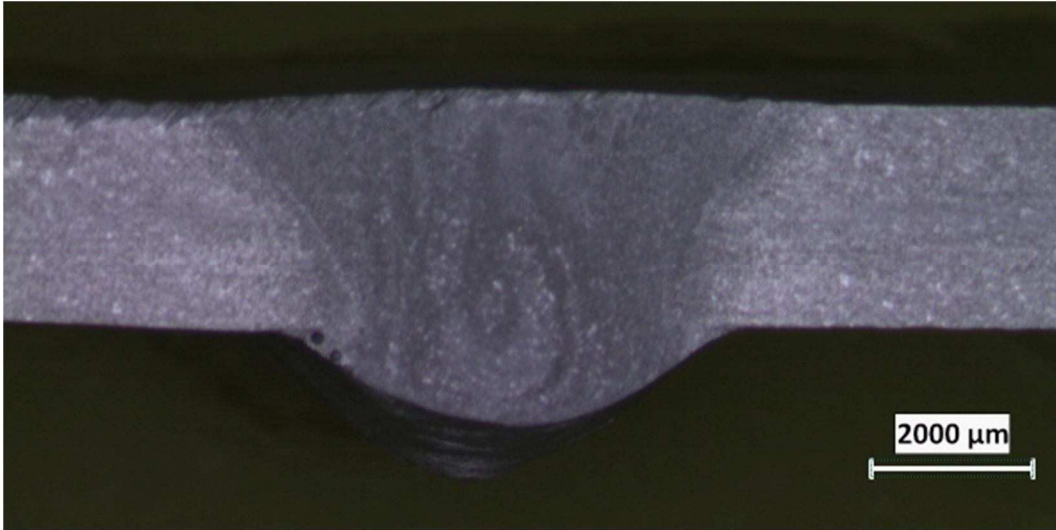
Şekil 7.40. 13 numaralı numunenin mikro yapı fotoğrafları

7.4. Makro Yapı İncelemeleri ve Sonuçları

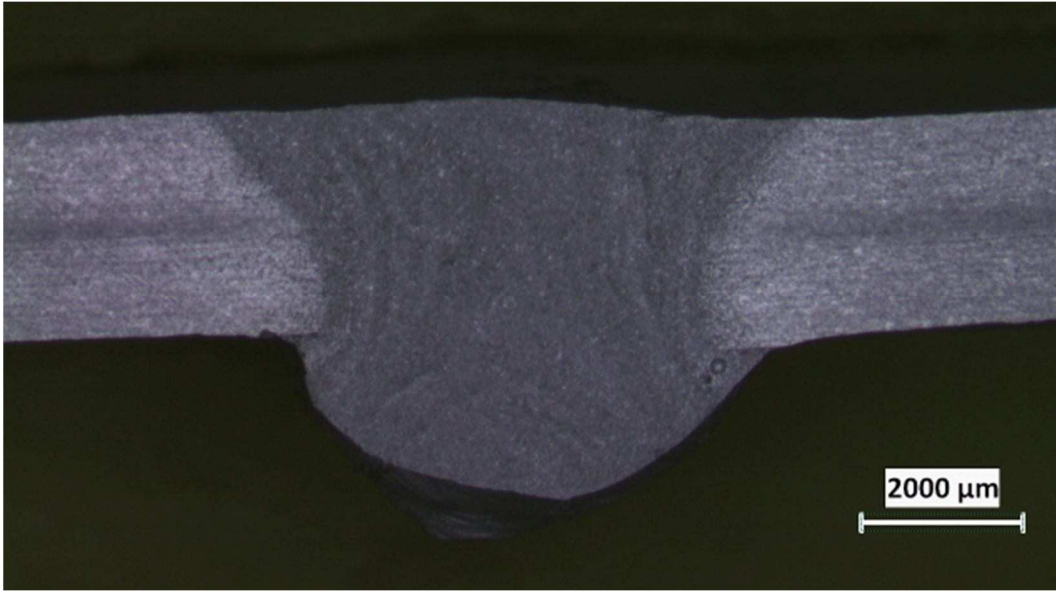
Makro incelemelerde çeşitli parametrelerdeki numunelerimizin nüfuz şekli kaynak damla geometrisi incelenmiş fotoğrafları aşağıda verilmiştir.



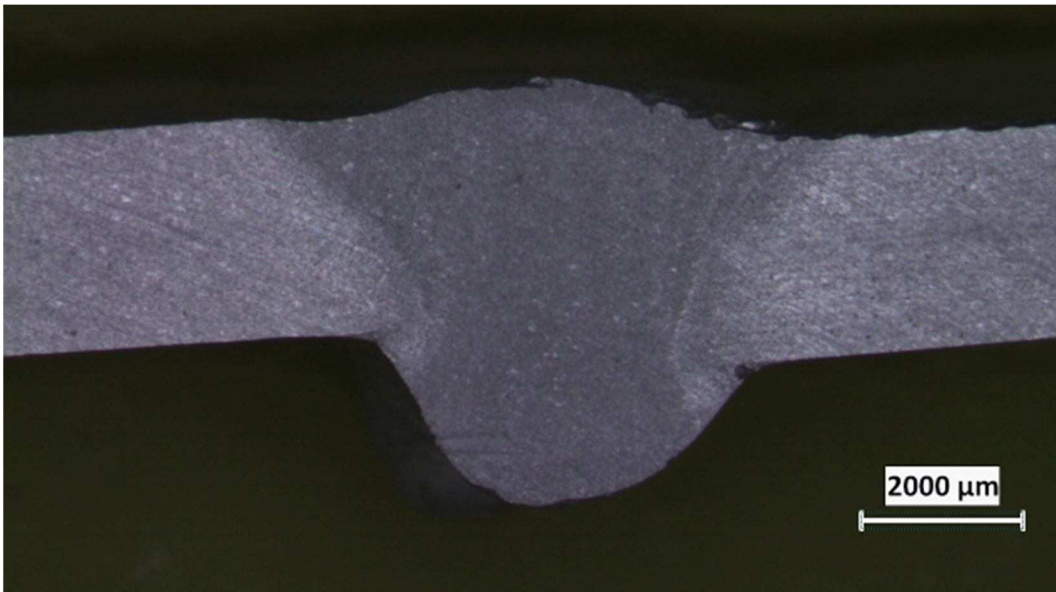
Şekil 7.41. Referans numunenin makro görüntüsü



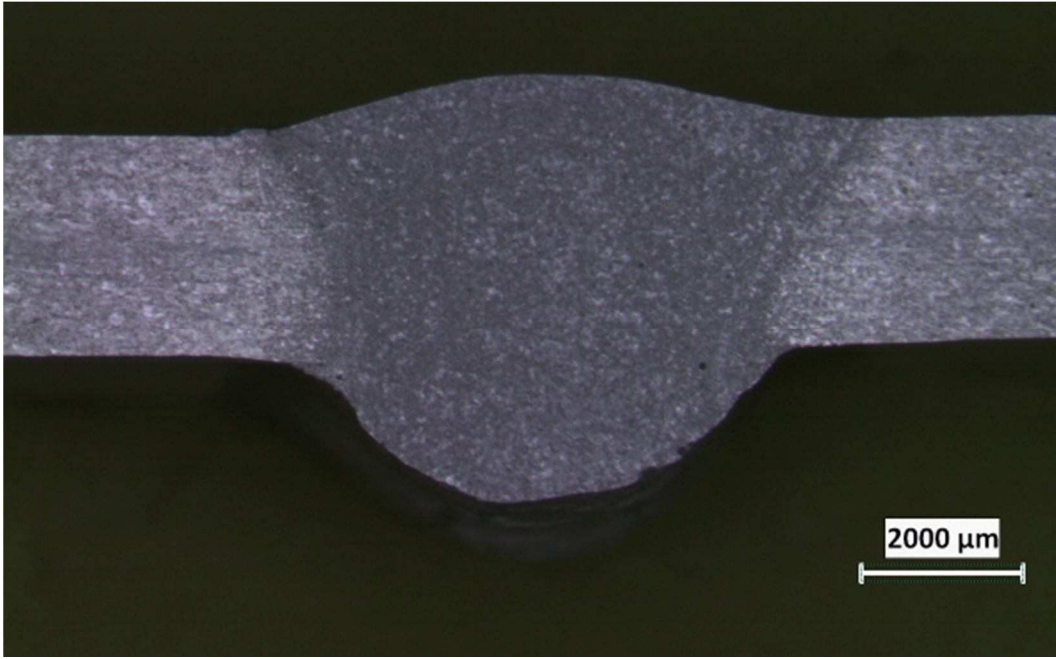
Şekil 7.42. 1 numaralı numunenin makro görüntüsü



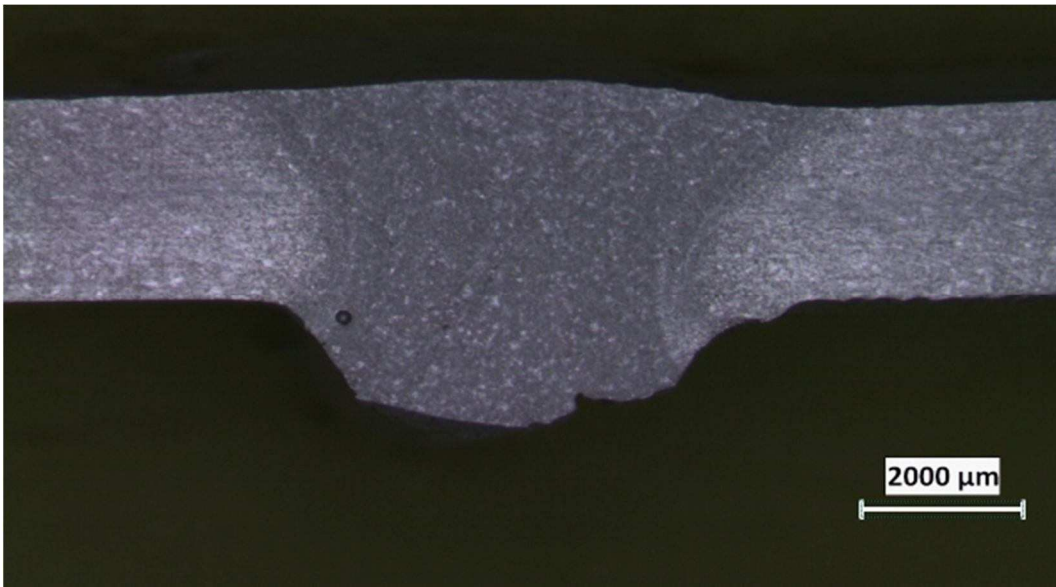
Şekil 7.43. 2 numaralı numunenin makro görüntüsü



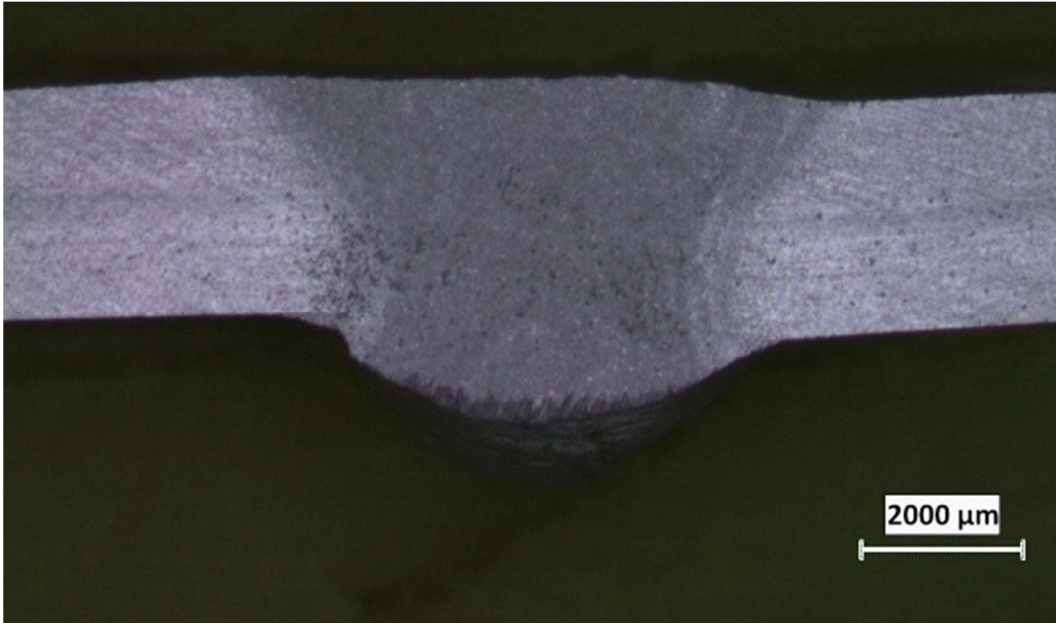
Şekil 7.44. 3 numaralı numunenin makro görüntüsü



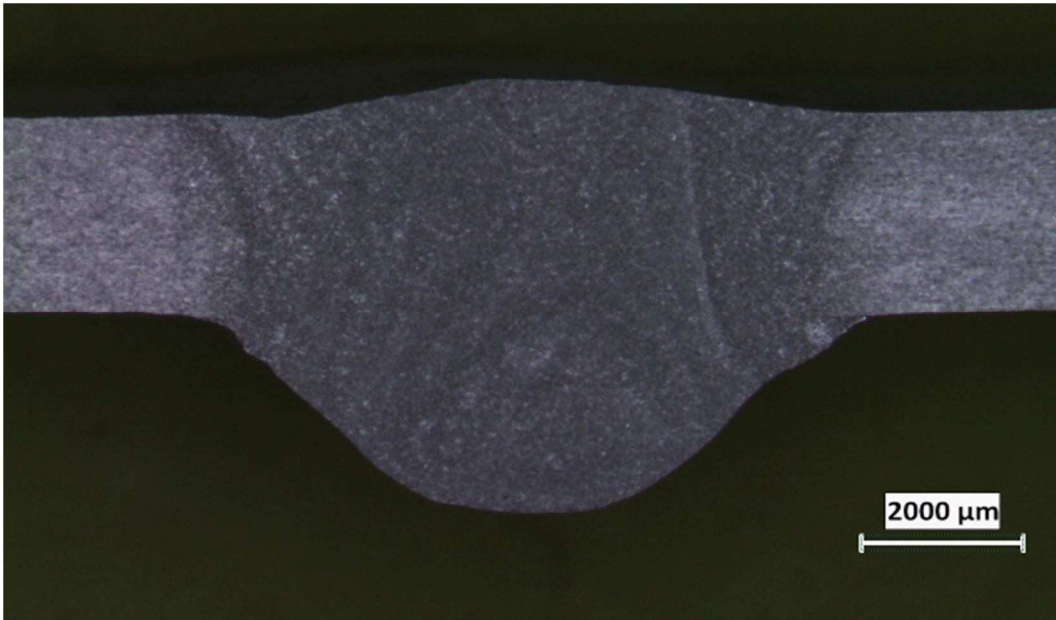
Şekil 7.45. 4 numaralı numunenin makro görüntüsü



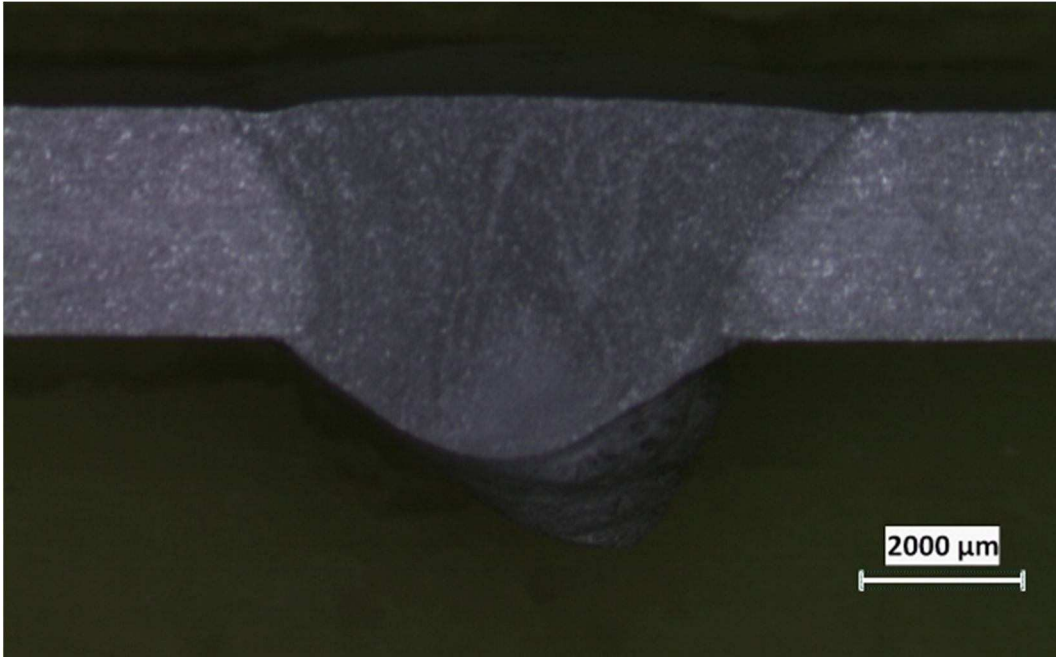
Şekil 7.46. 5 numaralı numunenin makro görüntüsü



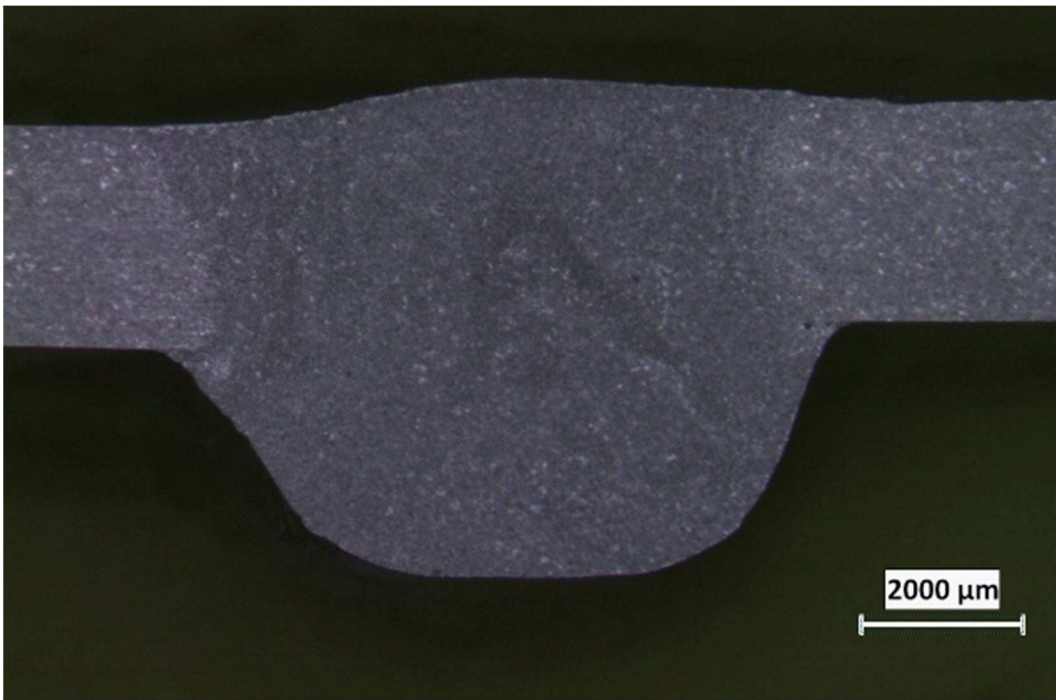
Şekil 7.47. 6 numaralı numunenin makro görüntüsü



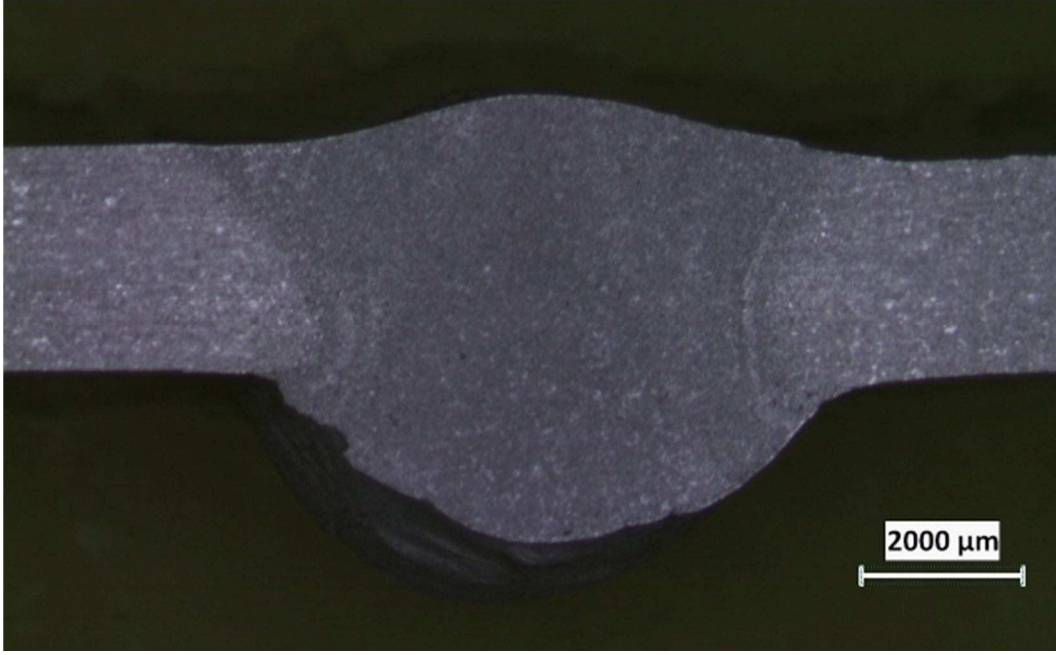
Şekil 7.48. 7 numaralı numunenin makro görüntüsü



Şekil 7.49. 8 numaralı numunenin makro görüntüsü



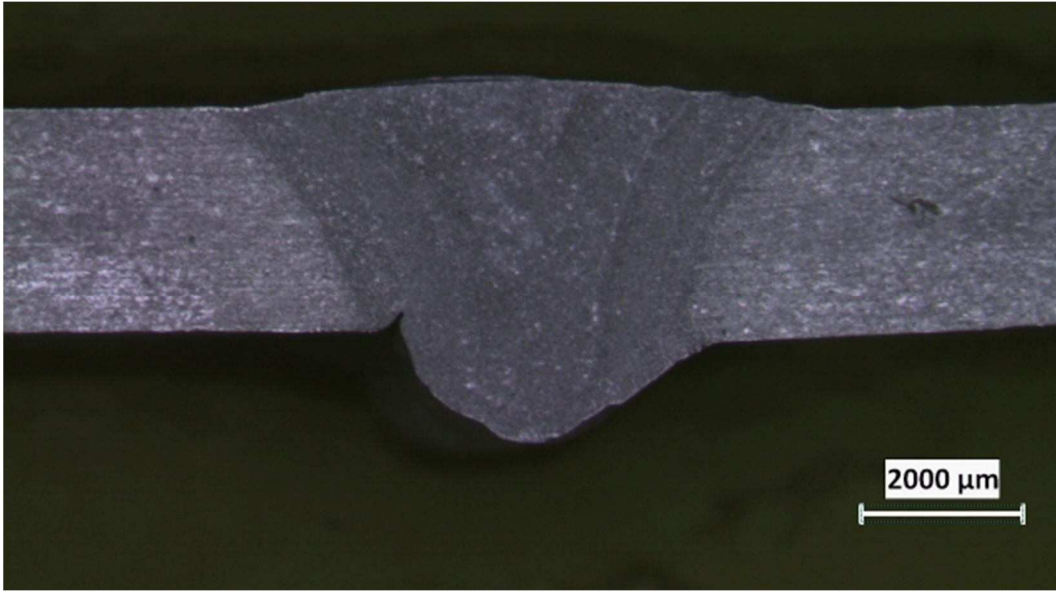
Şekil 7.50. 9 numaralı numunenin makro görüntüsü



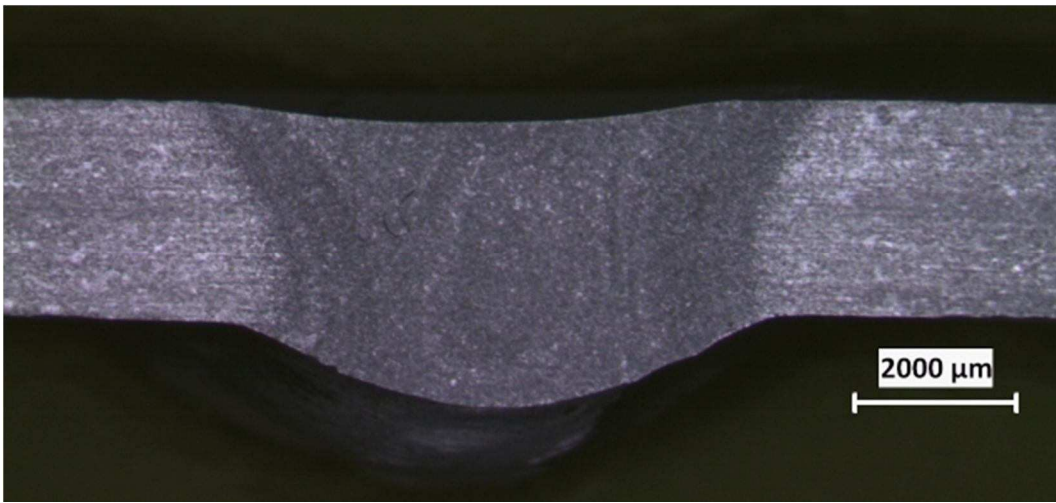
Şekil 7.51. 10 numaralı numunenin makro görüntüsü



Şekil 7.52. 11 numaralı numunenin makro görüntüsü



Şekil 7.53. 12 numaralı numunenin makro görüntüsü



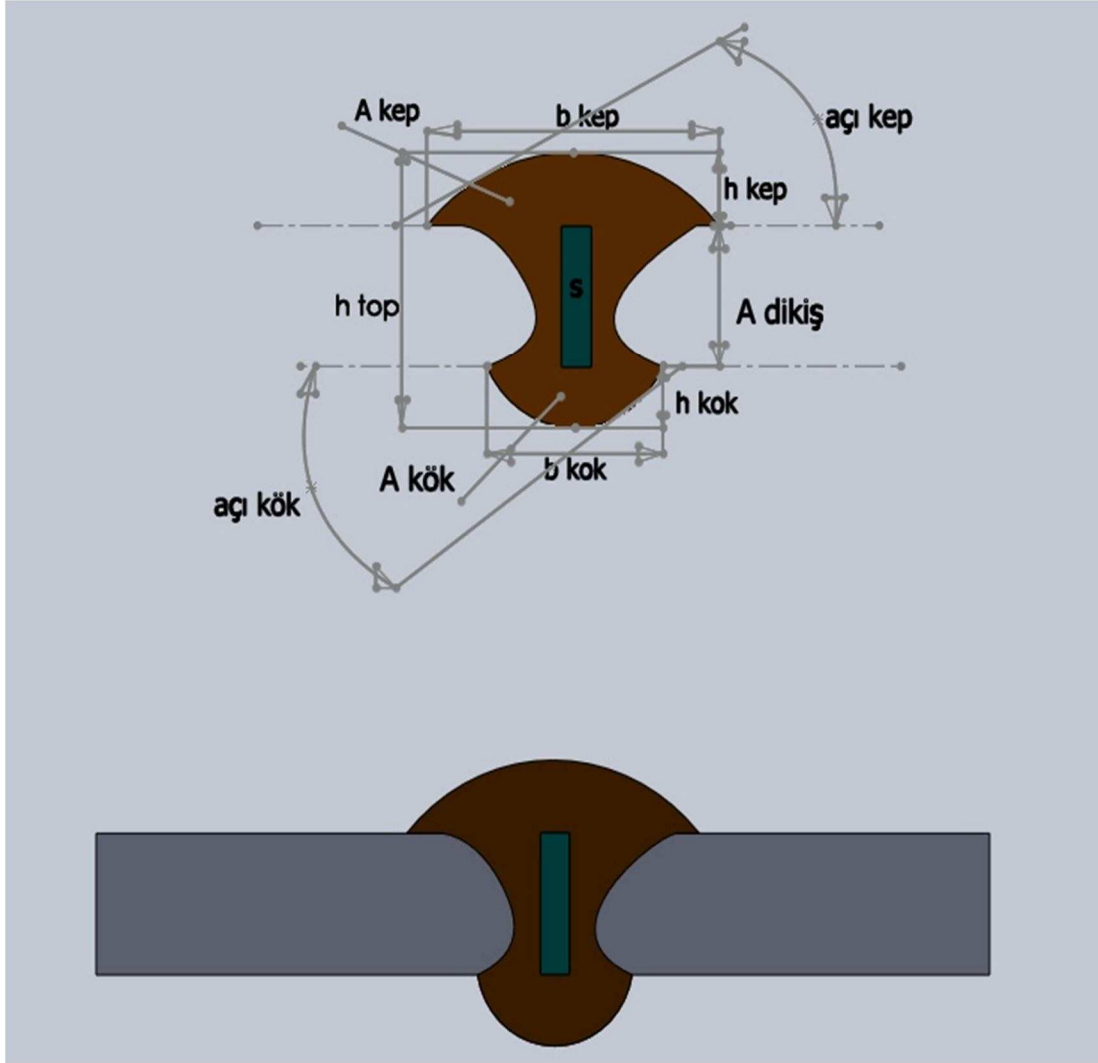
Şekil 7.54. 13 numaralı numunenin makro görüntüsü

Deney numunelerinden alınan makro fotoğraflar incelendiğinde voltaj değişiminin kaynak damla geçişine etkisini çok değiştirmedeği görülmüştür. Asıl etkinin tel hızı ve amper değişiminde olduğu resimlerden anlaşılmıştır.

Resimler incelendiğinde tel hızının azaltılması kaynak boşluğunda yeterli bir kaynak metali birikmesini sağlamış fakat kaynak dikişinde çatlaklar meydana getirmiştir. Hızın artırılması ise tam bir birleşme oluşmasına fırsat vermemiştir.

Kaynak akımının etkisi de her iki durumda da kaynak dikişinde nüfuziyetsiz bir kaynak bölgesi meydana getirmiştir. Çünkü yüksek akımlarda kaynak yapıldığında alüminyumun düşük ergime derecesine sahip olması kaynak hızının artırılmasına neden olmuş bu nedenle tam bir birleşme sağlanamadan kaynak yapılmıştır. Düşük akımlarda ise kaynak telinin tam olarak eriyemeden kaynak ağzında yığılmasına neden olmuş ve bu sebeple de tam bir birleşme sağlanamamıştır.

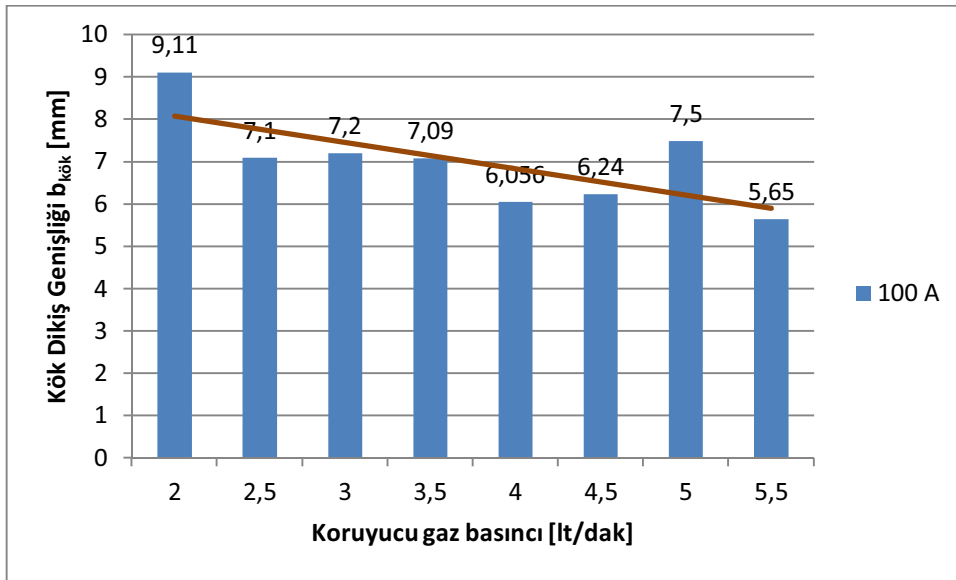
7.5. Numunelerin Damla Geometrileri ve Damla Alanları



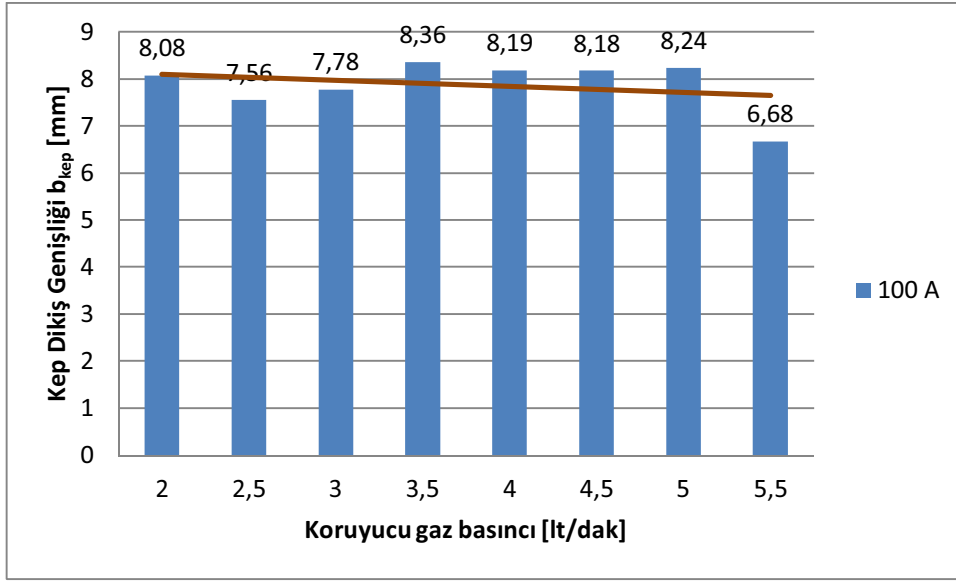
Şekil 7.55. Kaynak damla geometrisi

Tablo 7.4. Numunelerin kaynak geometrileri

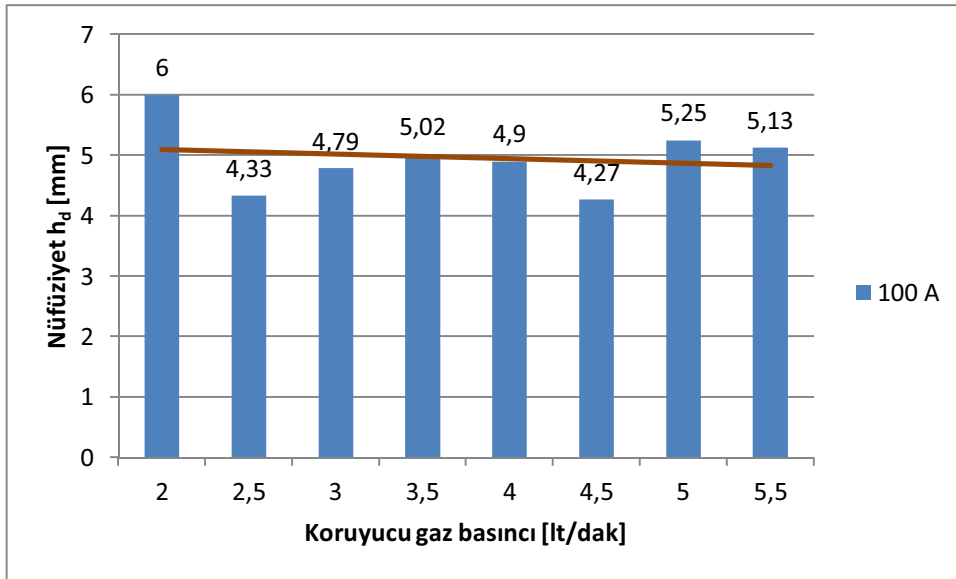
Num.	$b_{kök}$	b_{kep}	$h_{dikiş}$	h_{kep}	$h_{kök}$	$A_{dikiş}$	A_{kep}	$A_{kök}$	$A_{top.}$
Ref.	6,06	8,19	4,90	-	1,90	20,25	-	6,790	27,04
1	6,24	8,18	4,27	0,29	1,27	18,93	1,180	4,490	25,10
2	7,15	8,24	5,25	0,23	2,25	19,83	0,796	11,68	32,26
3	5,65	6,68	5,13	0,69	2,13	15,47	2,260	8,530	26,26
4	7,09	8,36	5,02	0,63	2,02	20,77	3,030	9,090	32,89
5	7,20	7,78	4,79	0,35	1,79	18,57	1,790	9,080	29,44
6	7,10	7,56	4,33	0,23	1,33	11,62	0,880	5,876	21,22
7	9,11	8,08	6,00	0,52	3,00	21,22	2,400	17,39	41,01
8	6,35	7,73	4,62	0,23	1,62	18,00	0,894	6,550	25,44
9	9,29	9,80	6,23	0,52	3,23	25,08	2,624	23,01	50,71
10	8,31	8,42	5,31	0,81	2,31	19,98	3,390	12,73	36,100
11	6,46	8,30	4,91	-0,34	2,25	18,027	-	9,995	28,022
12	4,79	7,56	4,44	0,40	1,44	16,79	1,560	4,110	22,46
13	7,38	8,19	3,92	-0,29	1,21	19,40	-	5,440	24,84



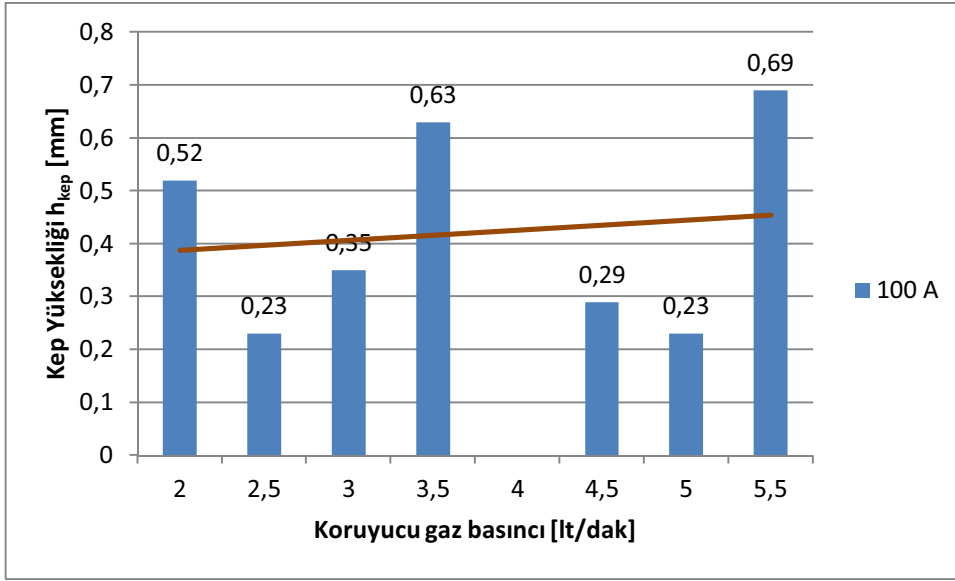
Şekil 7.56. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – gaz basıncı grafiği



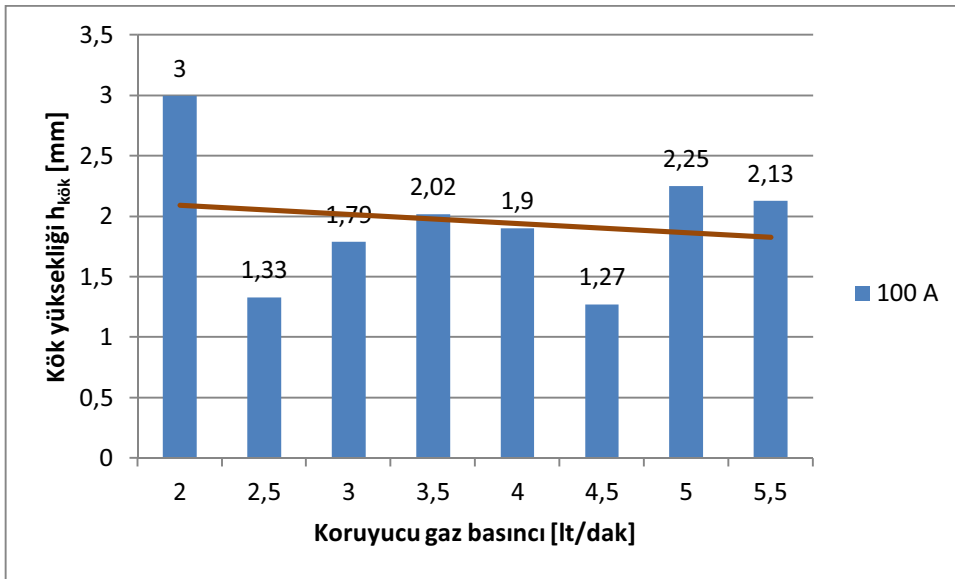
Şekil 7.57. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – gaz basıncı grafiği



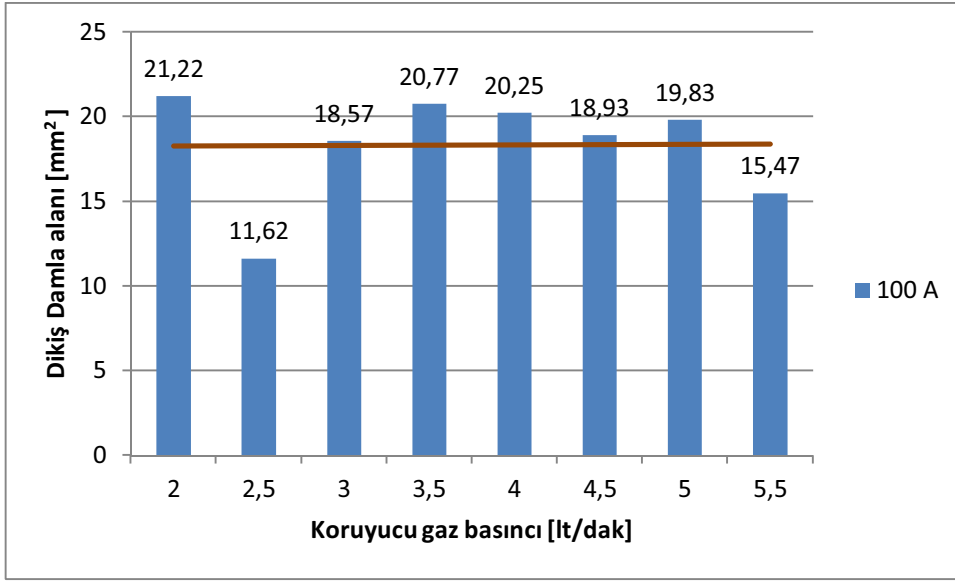
Şekil 7.58. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin nüfüziyet – gaz basıncı grafiği



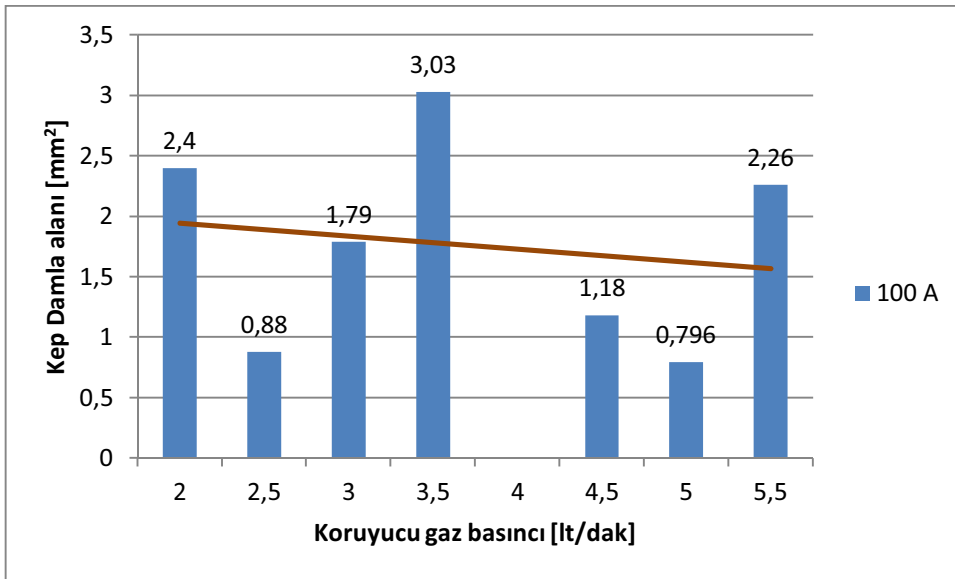
Şekil 7.59. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – gaz basıncı grafiği



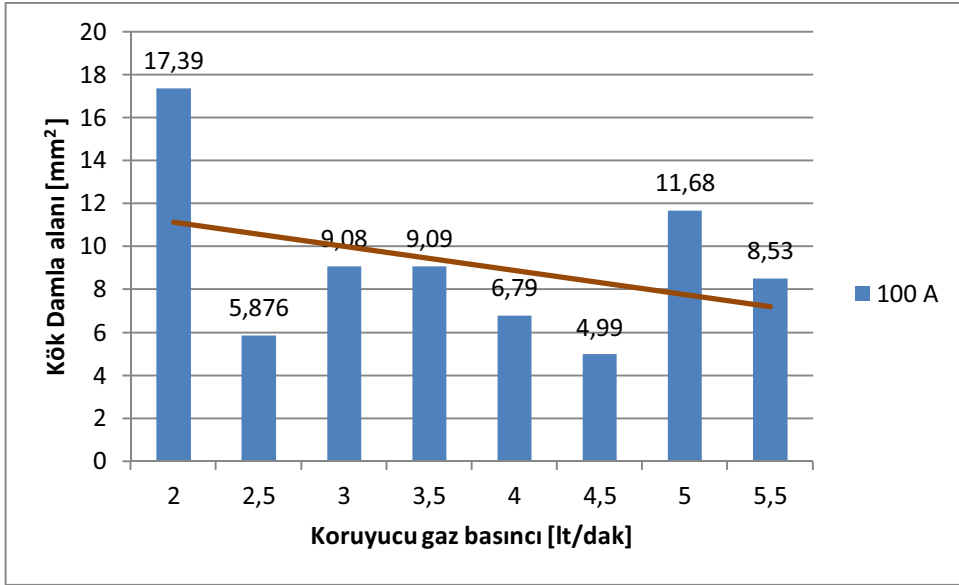
Şekil 7.60. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – gaz basıncı grafiği



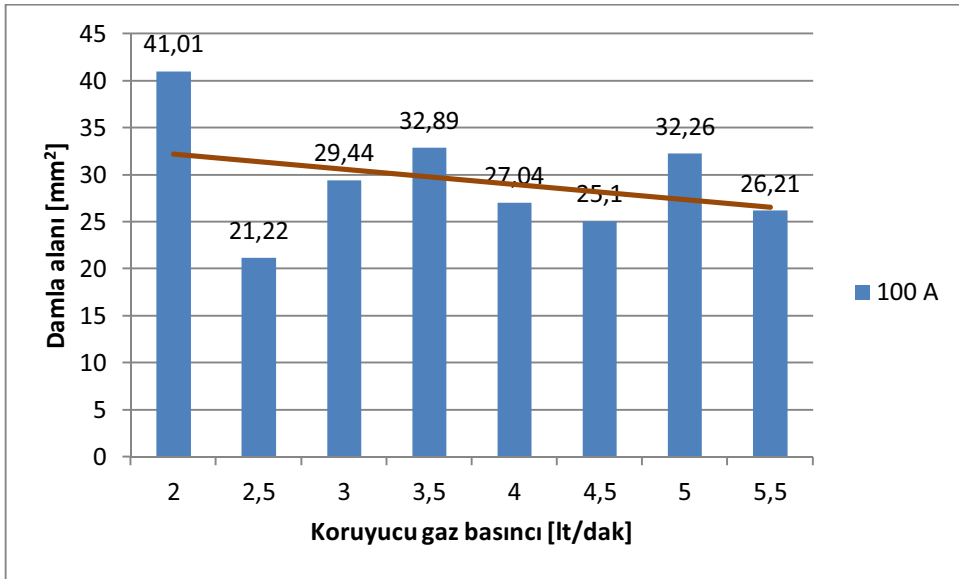
Şekil 7.61. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin dikiş damla alanı – gaz basıncı grafiği



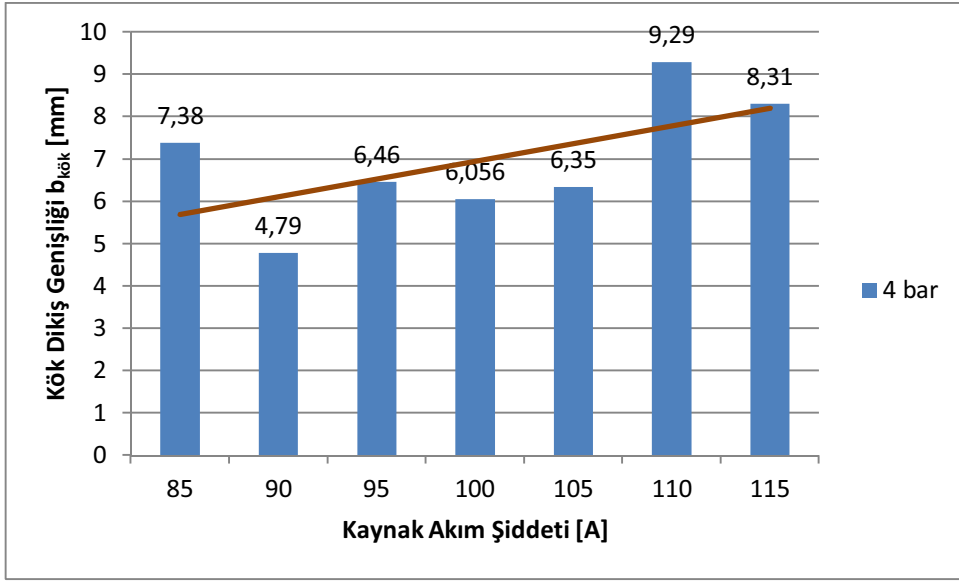
Şekil 7.62. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep damla alanı – gaz basıncı grafiği



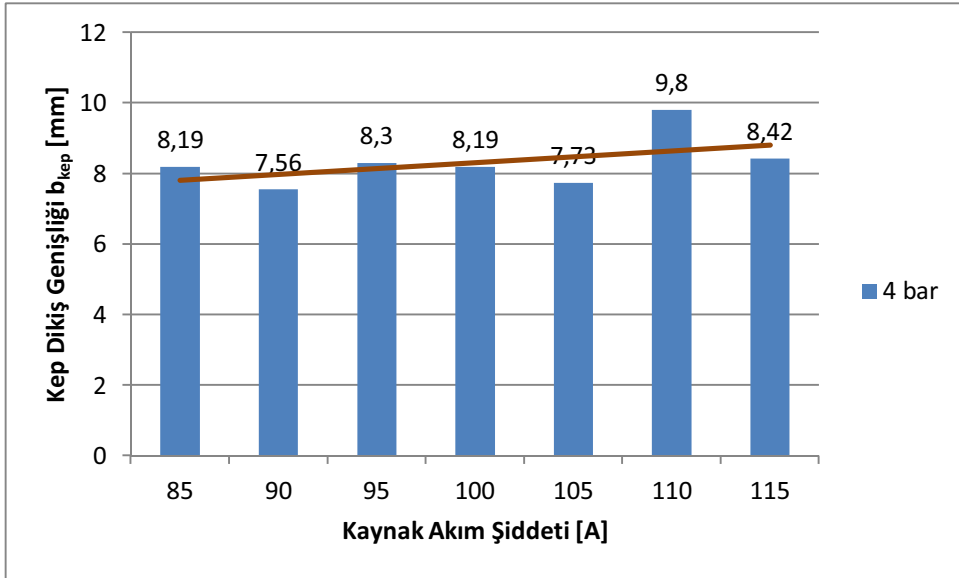
Şekil 7.63. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök damla alanı – gaz basıncı grafiği



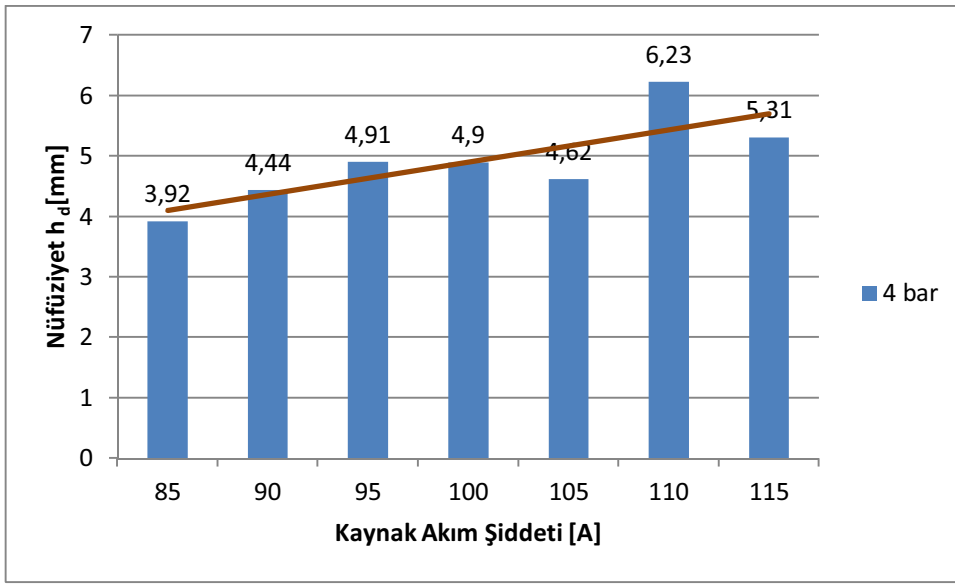
Şekil 7.64. 100A kaynak akımında kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – gaz basıncı grafiği



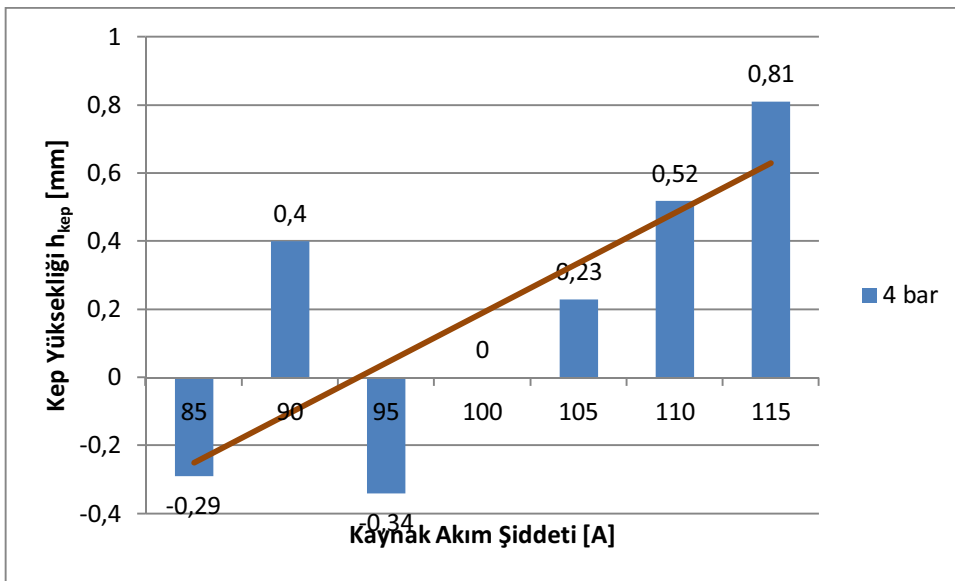
Şekil 7.65. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği



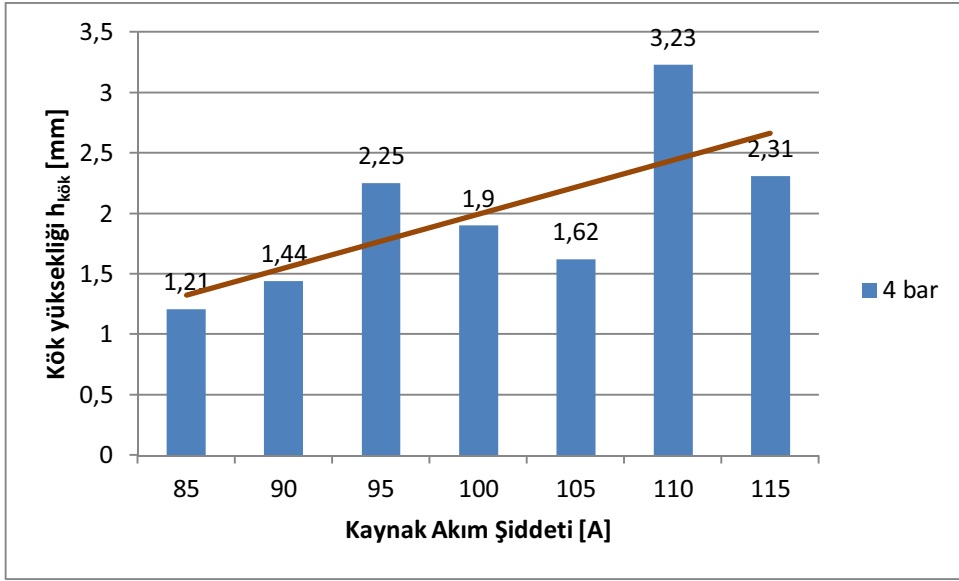
Şekil 7.66. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği



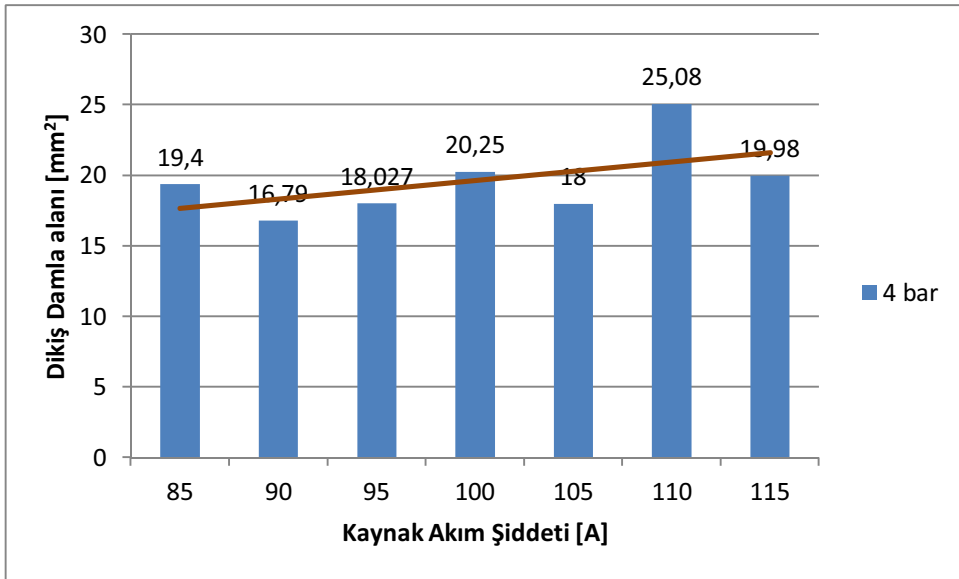
Şekil 7.67. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin nüfuziyet – kaynak akım şiddeti grafiği



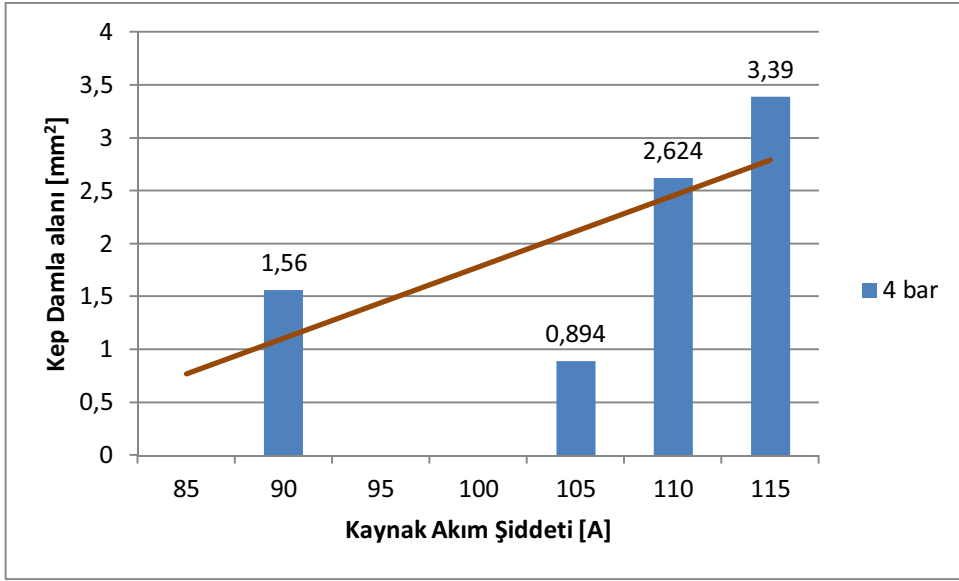
Şekil 7.68. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği



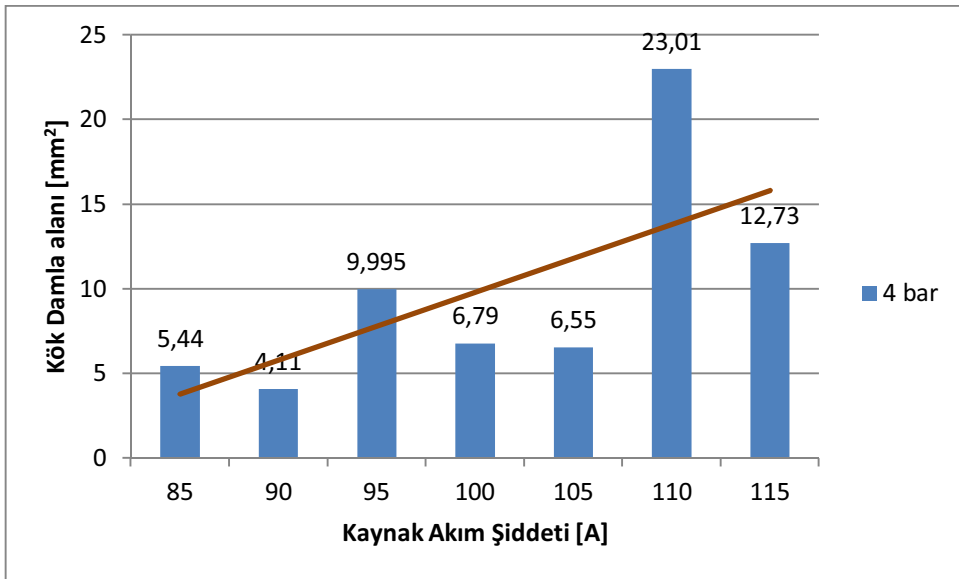
Şekil 7.69. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği



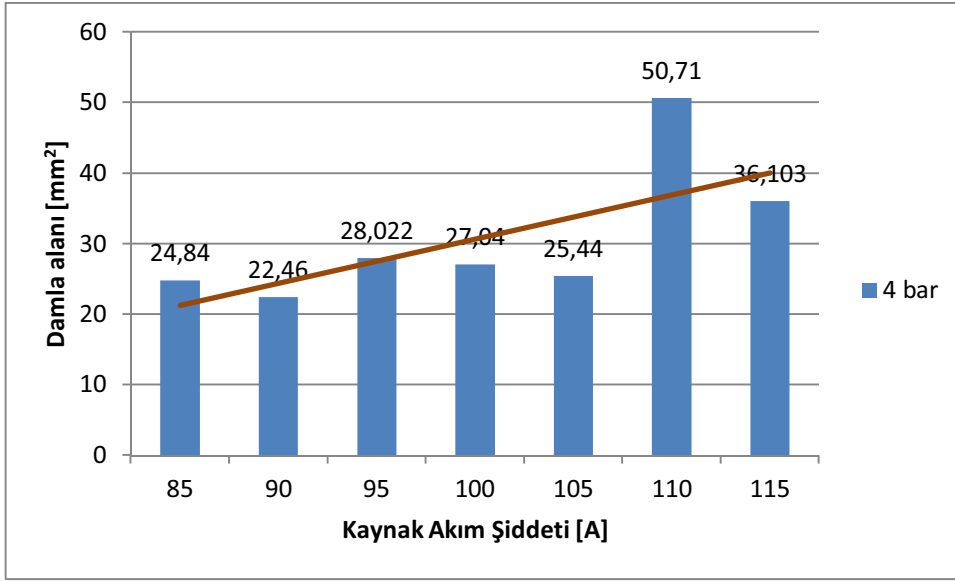
Şekil 7.70. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin dikiş damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 7.71. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kep damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 7.72. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 7.73. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği

Numunelerin kaynak damla geometrileri ve nüfuziyetleri incelendiğinde parametrelerden biri olan gaz basıncının, toplam damla alanına etkisine bakıldığında genel olarak gaz basıncının düşmesiyle toplam damla alanı artış göstermiştir. Fakat gaz basıncı yüksek olduğunda da damla alanında artış görülmüştür. Böylelikle damla alanına ve nüfuziyete gaz basıncından çok kaynak akım şiddetinin etkili olduğu saptanmıştır.

Gaz basıncı sabit olup kaynak akım şiddetinin arttığı numunelerde nüfuziyet genel olarak artmış ve damla alanlarında da genel bir artma gözlenmiştir. Ancak kaynak akım şiddeti düşük olan bazı numunelerin kep yükseklikleri eksi (-) değerde olup, kep damla alanları oluşmamıştır. Bunun nedeni olarak elle yapılan TIG kaynağında kaynakçının, ilave teli kaynak banyosuna yeterli miktarda vermediği söylenebilir.

7.6. Dikiş Formları (Nüfuziyet) Hesaplamaları

$$\begin{aligned} \text{İç dikiş formu} &= b_{\text{kep}} / h_{\text{dikiş}} \\ \text{Dış dikiş formu} &= b_{\text{kep}} / h_{\text{kep}} \\ \text{Kök sarkması} &= b_{\text{kök}} / h_{\text{kök}} \end{aligned}$$

Tablo 7.5. Numunelerin damla alanları dikiş formları

Num. No	A	V	Süre	V	KS	DD	İD
Ref	100	4,0	44	56	3,18	-	1,67
1	100	4,5	45	56	4,91	28,21	1,92
2	100	5,0	42	56	3,17	35,83	1,57
3	100	5,5	41	56	2,65	9,680	1,30
4	100	3,5	46	56	3,51	13,27	1,67
5	100	3,0	43	56	4,02	22,22	1,62
6	100	2,5	41	56	5,34	32,87	1,75
7	100	2,0	43	56	3,04	15,54	1,35
8	105	4,0	51	62	3,92	33,61	1,67
9	110	4,0	58	67	2,88	18,85	1,57
10	115	4,0	42	72	3,60	10,40	1,59
11	95	4,0	52	47	2,87	-24,41	1,69
12	90	4,0	68	44	3,32	18,90	1,70
13	80	4,0	77	42	6,10	-28,24	2,09

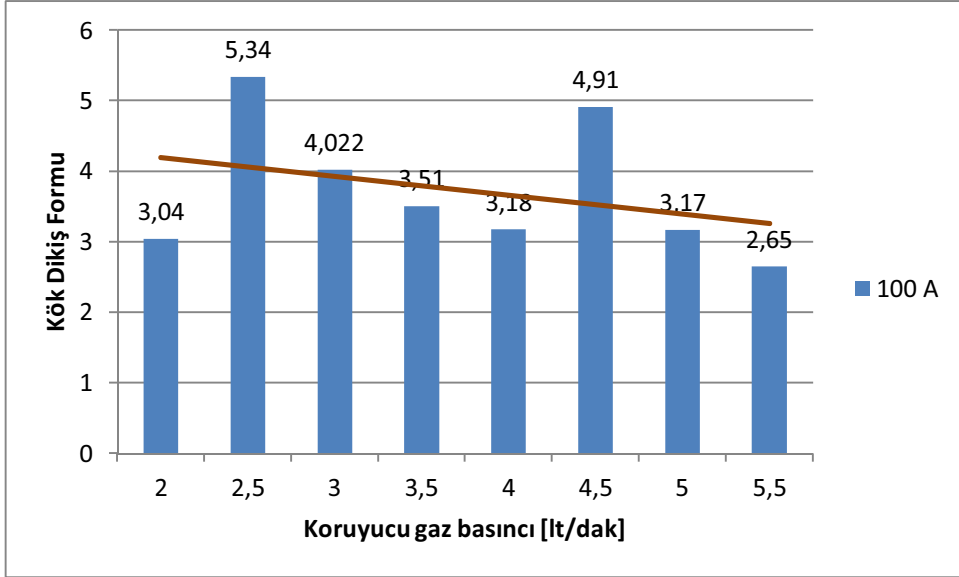
KS = Kök Sarkması

DD = Dış Dikiş

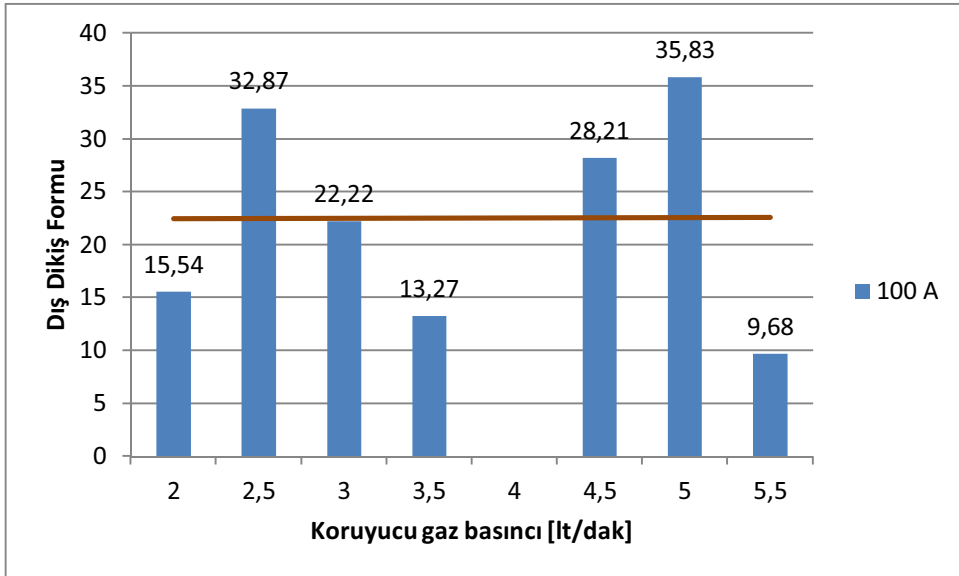
İD = İç Dikiş

Referans numune, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ve 7. numunelerin dikiş formları 100A'da değişken gaz basıncı değerlerinde Şekil 7.73., Şekil 7.74. ve Şekil 7.75.'de verilmiştir.

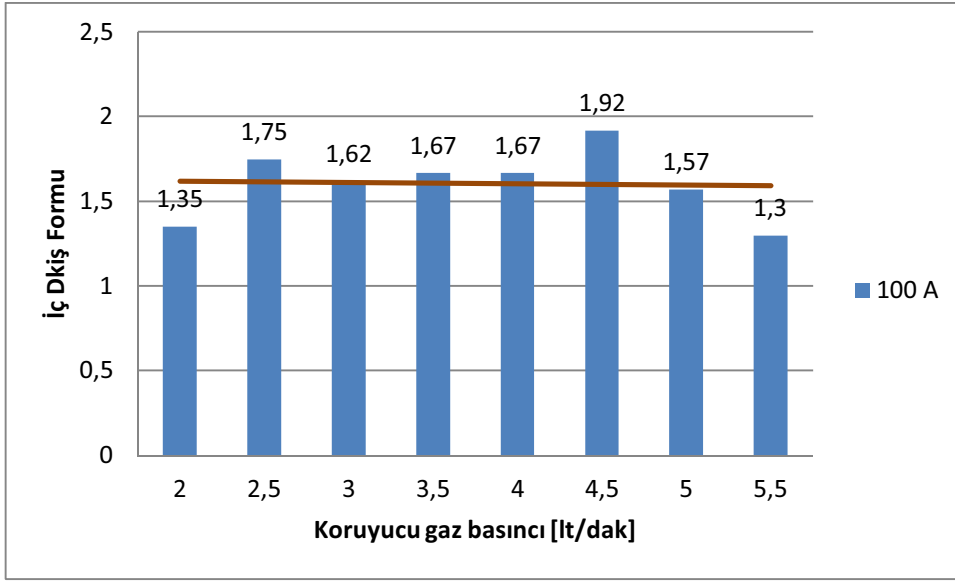
Ref. numune, 8, 9, 10, 11, 12 ve 13. numunelerin dikiş formları 4 bar'da değişken kaynak akım şiddetlerine göre şekil 7.76. şekil 7.77. ve şekil 7.78.'de verilmiştir.



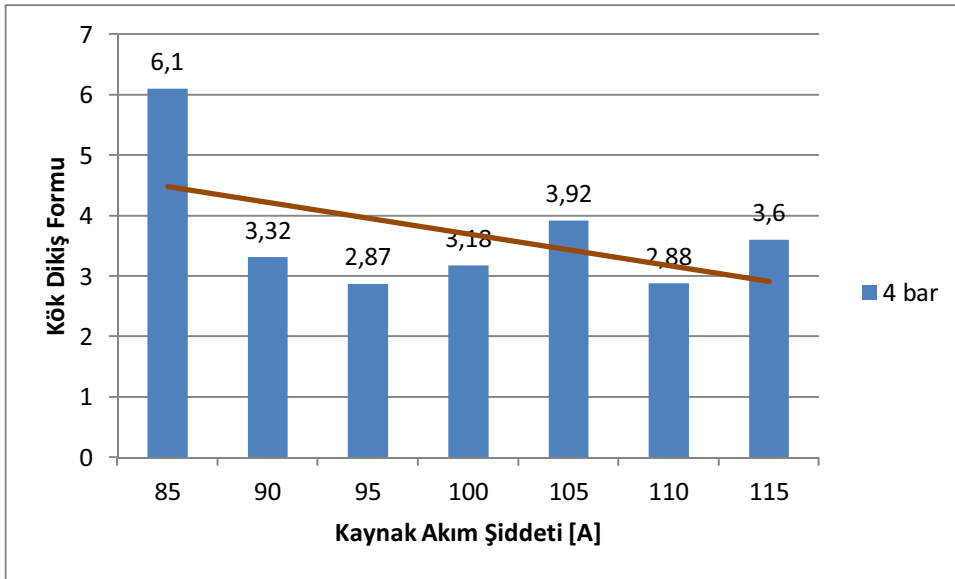
Şekil 7.74. 100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin kök dikiş – gaz basıncı grafiği



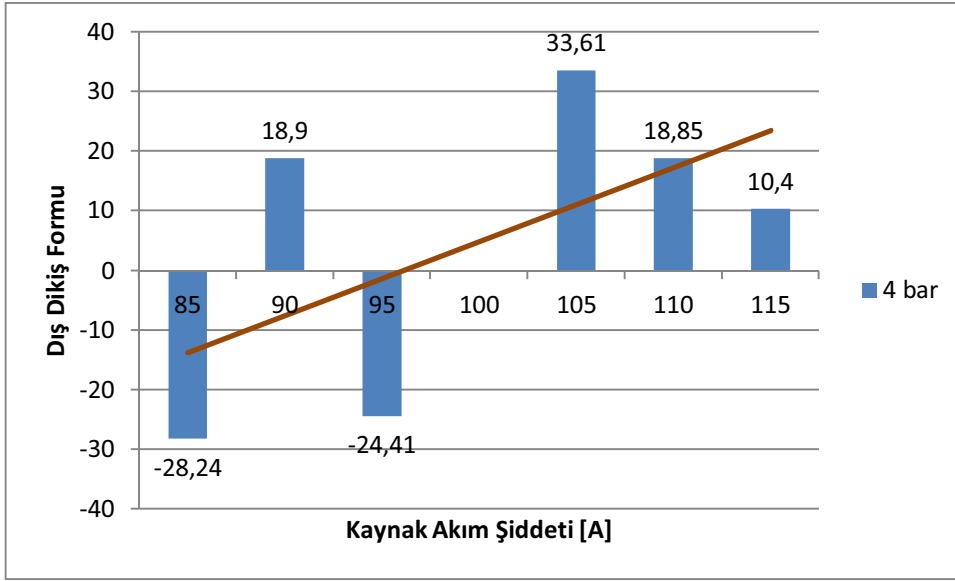
Şekil 7.75. 100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin dış dikiş – gaz basıncı grafiği



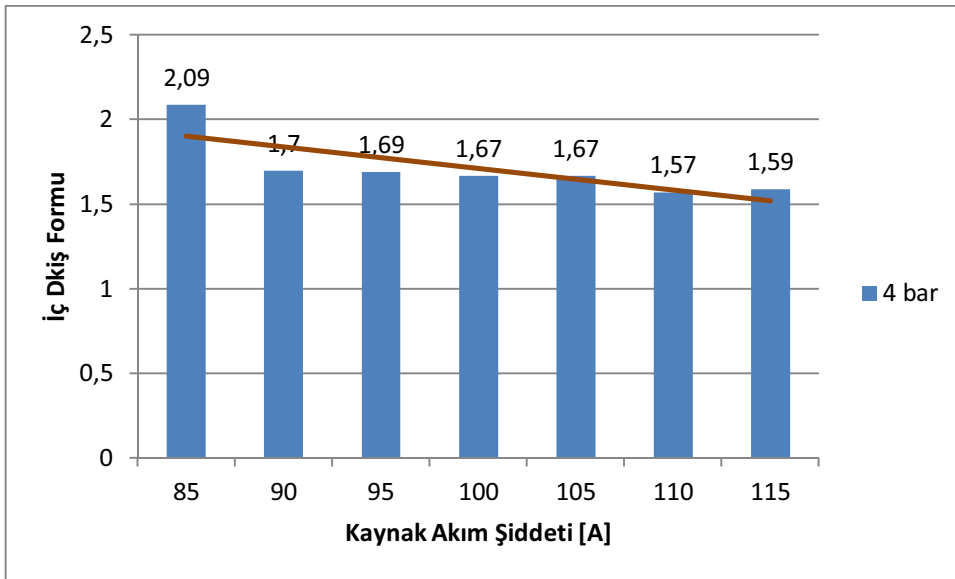
Şekil 7.76. 100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin iç dikiş – gaz basıncı grafiği



Şekil 7.77. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin kök dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 7.78. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin dış dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 7.79. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin iç dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği

7.7. Numunelerin Isı Girdisi Hesaplamaları

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v \cdot 1000} \text{ kJ/mm} \quad (7.43)$$

Q (E) = Isı Girdisi

η = Kaynak yöntemi ısııl katsayısı (TIG için 0,65)

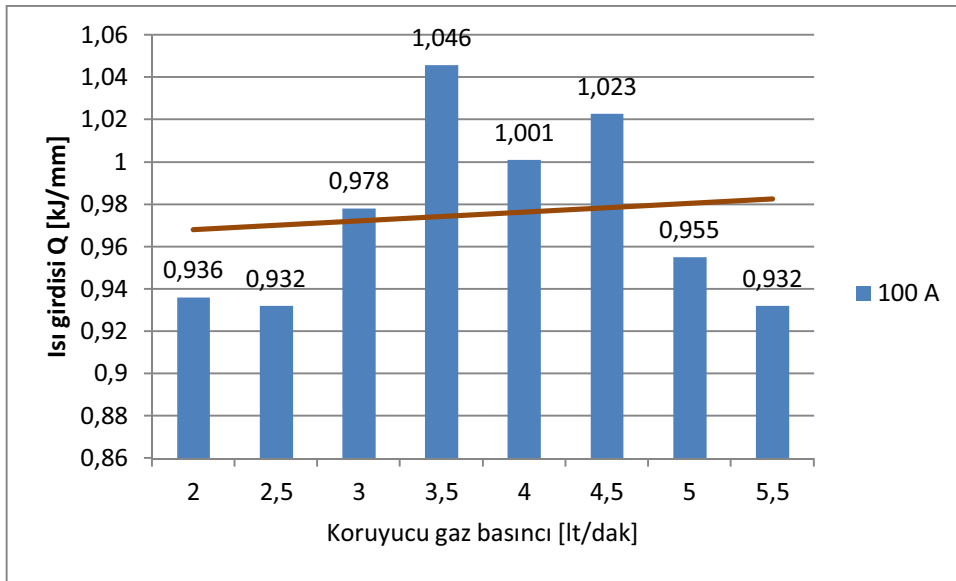
U = Voltaj

I = Amper

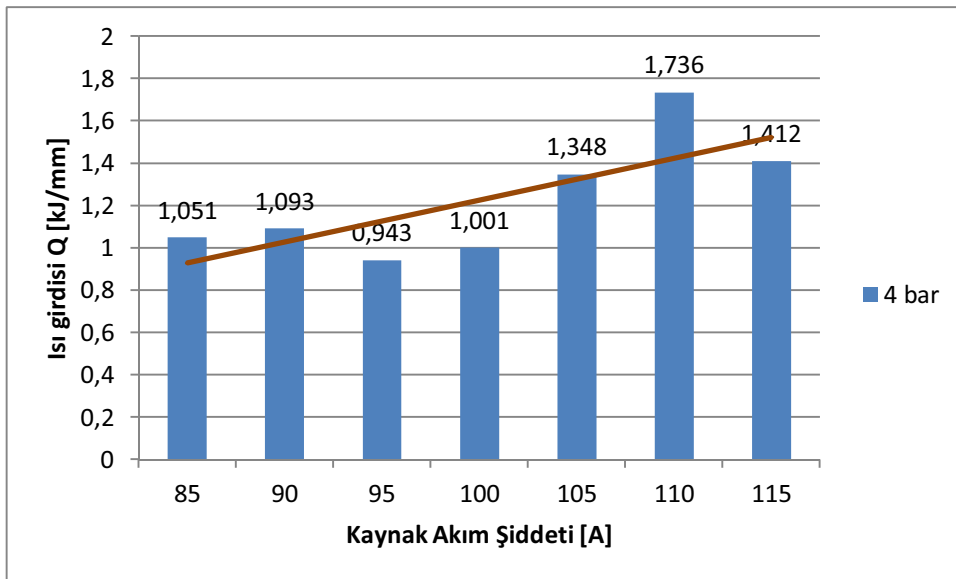
v = Kaynak ilerleme hızı

Tablo 7.6. Numunelerin Isı Girdileri

Num. No	A	V	Süre	V	E
Ref	100	4,0	44	56	1,001
1	100	4,5	45	56	1,023
2	100	5,0	42	56	0,955
3	100	5,5	41	56	0,932
4	100	3,5	46	56	1,046
5	100	3,0	43	56	0,978
6	100	2,5	41	56	0,932
7	100	2,0	43	56	0,936
8	105	4,0	51	62	1,348
9	110	4,0	58	67	1,736
10	115	4,0	42	72	1,412
11	95	4,0	52	47	0,943
12	90	4,0	68	44	1,093
13	80	4,0	77	42	1,051



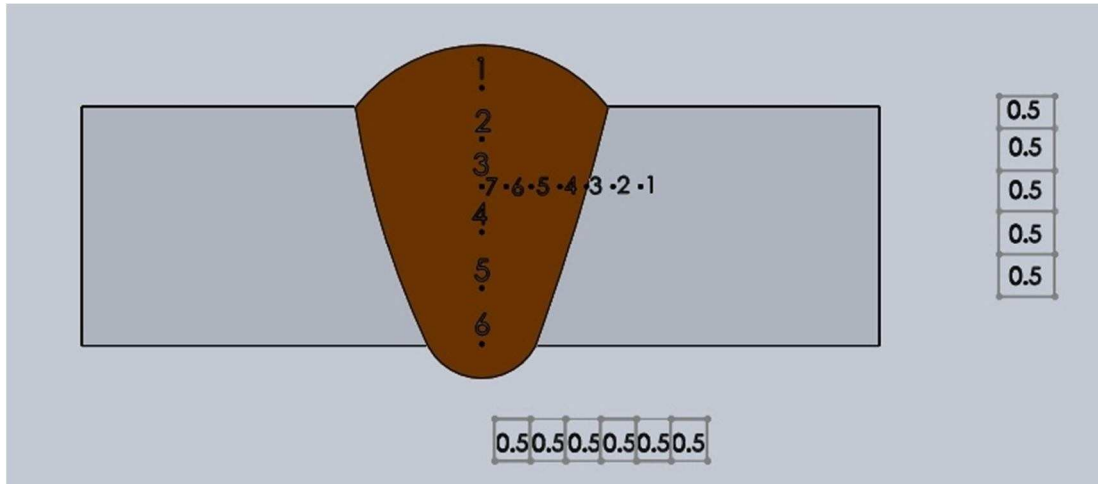
Şekil 7.80. 100A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin ısı girdisi – gaz basıncı grafiği



Şekil 7.81. 4 bar gaz basıncında kaynatılan numunelerin ısı girdisi – kaynak akım şiddeti grafiği

Değişik parametrelerde kaynatılan numunelerin ısı girdileri hesaplanıp sonuçlara bakıldığında kaynak akım şiddeti sabit olup gaz basıncı değişen numunelerin ısı girdilerinde düzensizlik tespit edilmiştir. Kaynak akım şiddeti sabit olan numunelerin gaz basınçları değişken olduğundan, ısı girdileri kaynakçının el hızı ile değişmiştir. Gaz basıncı sabit olup kaynak akım şiddeti değişken olan numunelerde ise akım arttıkça ısı girdisi de artmıştır.

7.8. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma



Şekil 7.82. Mikro sertlik ölçülen yerler

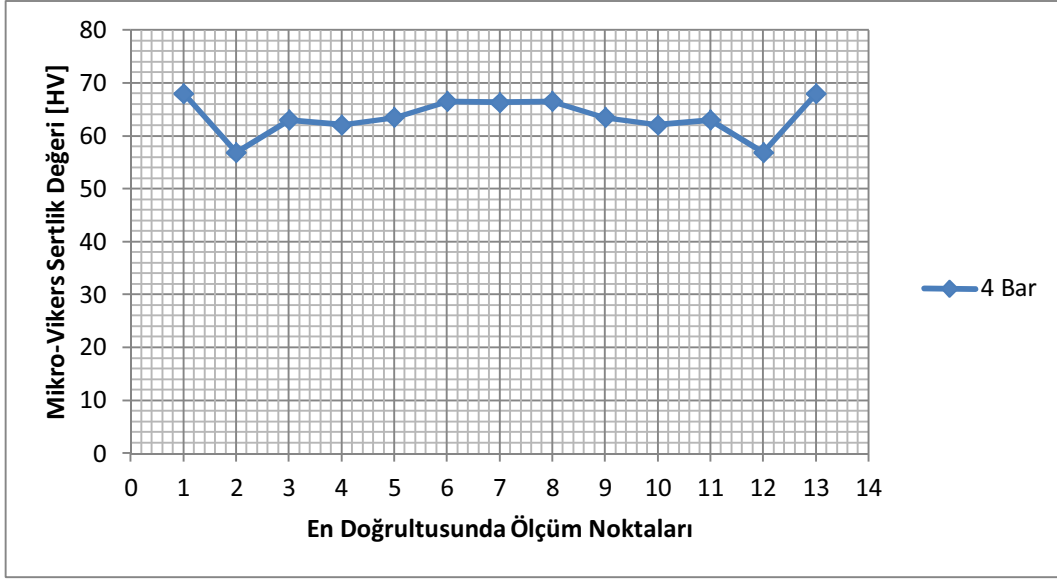
Tablo 7.7. Numunelerin yatay eksen sertlik değerleri

	1	2	3	4	5	6	7
Ref. Num	68,0	56,9	63,0	62,1	63,5	66,5	66,3
1. Num	56,4	63,5	67,7	67,4	68,3	69,1	67,1
2. Num	72,8	79,2	83,7	90,7	81,6	88,7	79,4
3. Num	58,3	63,1	55,5	71,0	66,8	69,0	72,0
4. Num	60,0	57,3	58,8	64,4	58,1	66,9	68,3
5. Num	55,6	55,7	61,4	63,8	67,2	61,6	62,0
6. Num	61,4	63,5	59,7	71,6	66,1	64,5	67,0
7. Num	57,5	59,5	63,7	65,5	71,4	71,6	66,2
8. Num	58,1	59,3	57,7	62,3	67,9	60,8	65,6
9. Num	61,6	62,4	66,0	66,2	62,3	70,4	65,9
10. Num	61,2	57,7	60,4	59,1	60,3	64,9	66,6
11. Num	23,9	62,9	65,6	59,5	67,5	56,6	64,5
12. Num	59,9	61,2	67,9	68,2	70,5	70,0	70,4
13. Num	56,8	57,2	62,4	59,9	61,4	58,0	62,4

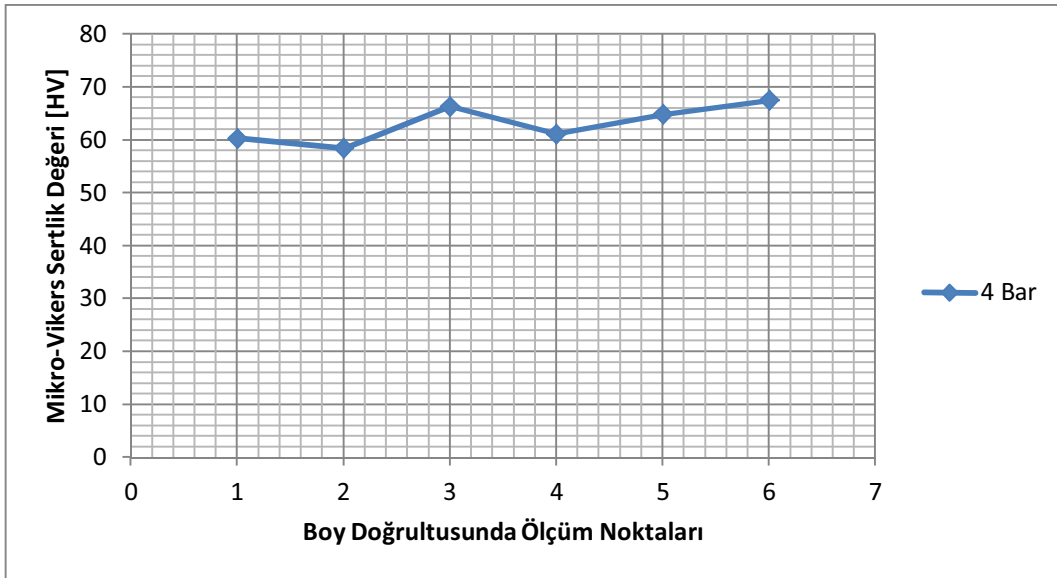
Tablo 7.8. Numunelerin dikey eksen sertlik değerleri

	1	2	3	4	5
Ref. Num	60,3	58,4	61,1	64,8	67,5
1. Num	65,4	68,0	72,0	66,7	71,1
2. Num	80,4	74,4	77,0	78,2	76,9
3. Num	68,0	71,0	71,9	72,3	70,1
4. Num	65,6	73,3	70,6	71,0	71,6
5. Num	60,3	58,4	61,1	64,8	67,5
6. Num	62,7	65,7	70,8	68,9	62,4
7. Num	63,8	62,9	66,4	63,7	69,2
8. Num	65,2	65,4	70,0	63,3	57,7
9. Num	70,1	71,5	70,0	60,8	61,5
10. Num	66,2	77,7	72,3	68,9	67,6
11. Num	61,5	60,0	59,9	59,3	60,3
12. Num	69,4	68,5	72,5	68,8	74,3
13. Num	63,2	61,9	64,8	57,9	59,6

Referans numune için;

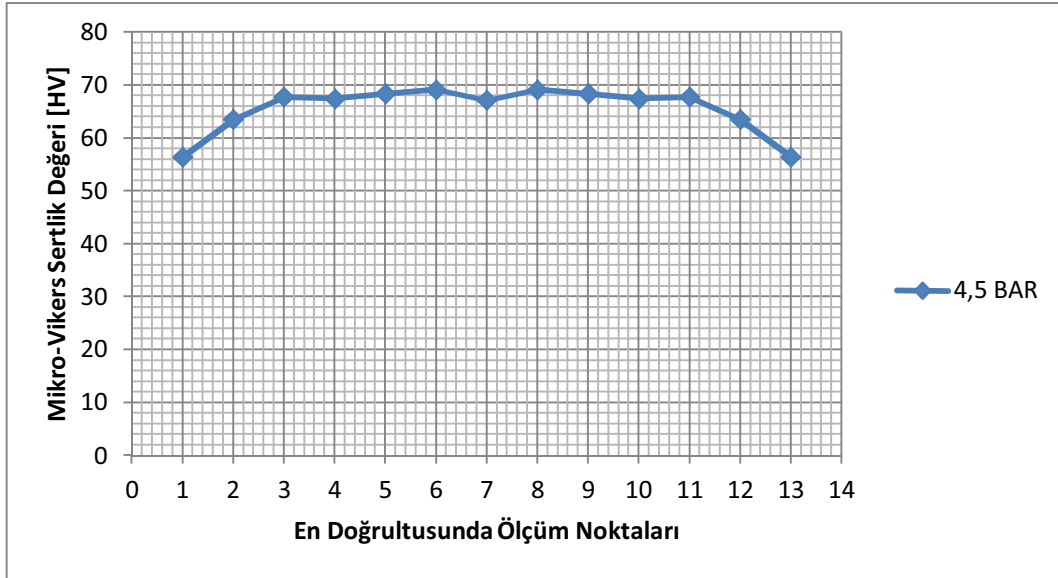


Şekil 7.83. Referans numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

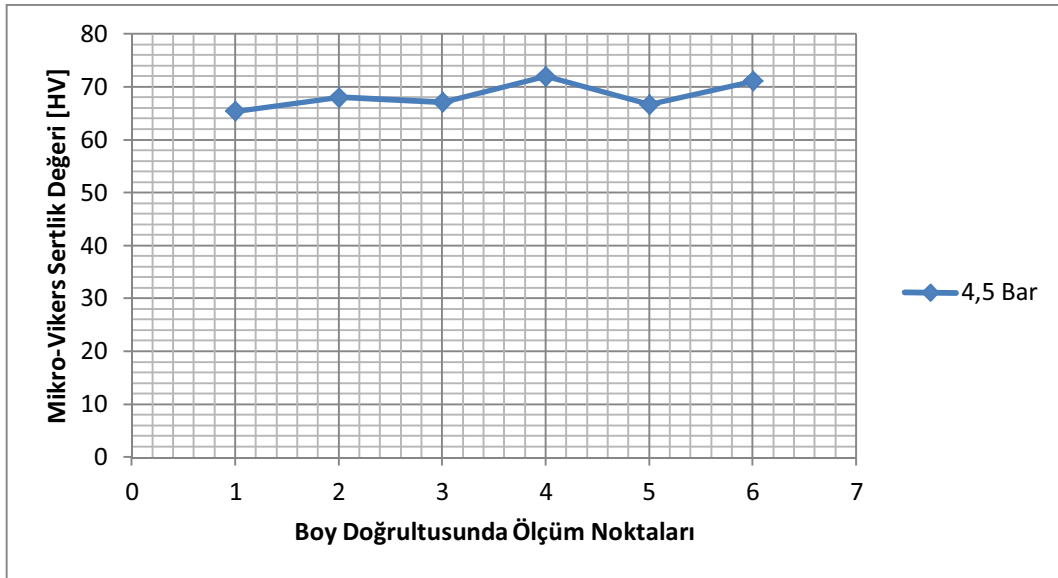


Şekil 7.84. Referans numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

1 numaralı numune için;

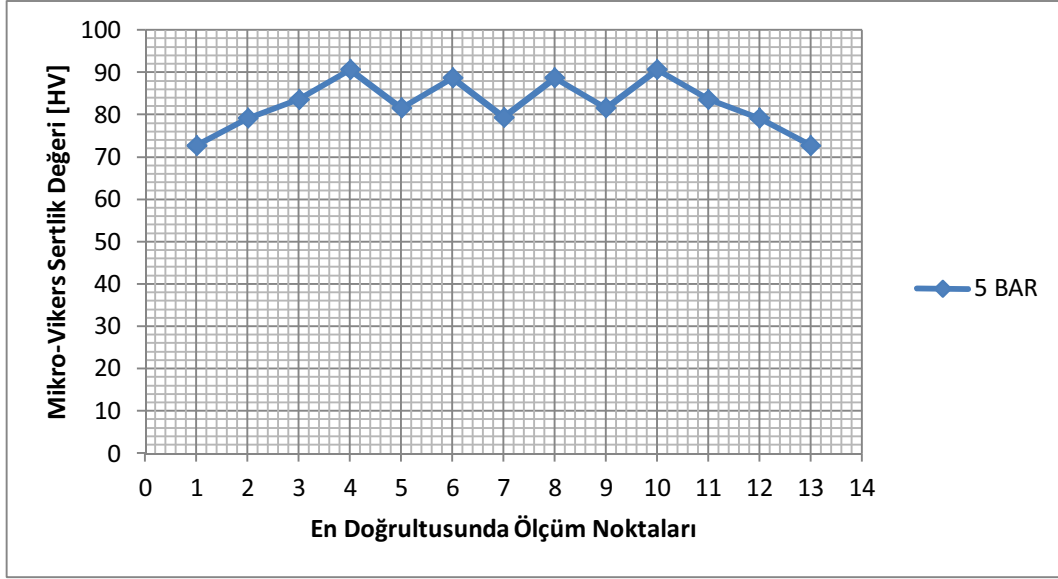


Şekil 7.85. 1 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

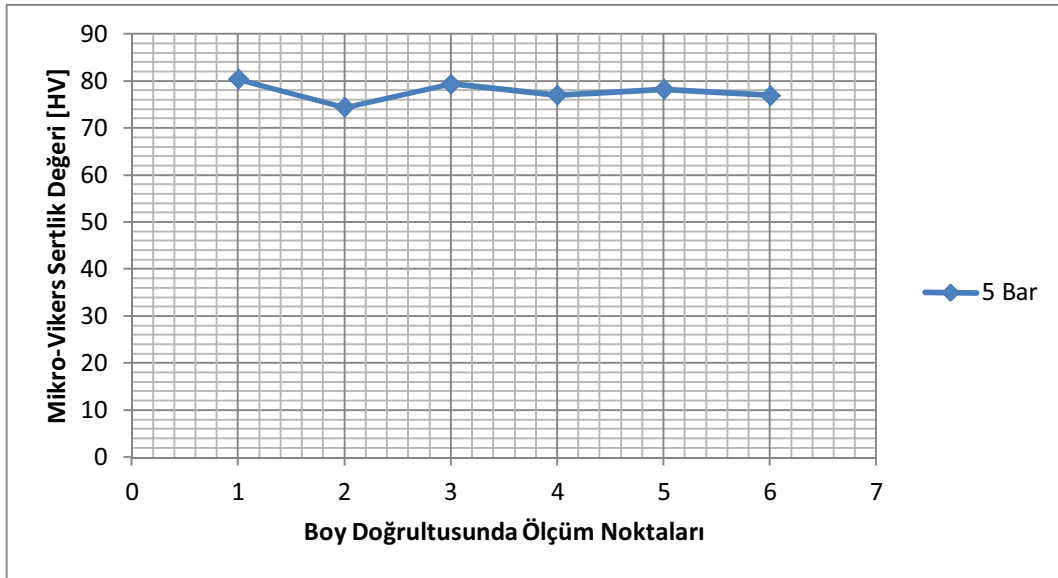


Şekil 7.86. 1 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

2 numaralı numune için;

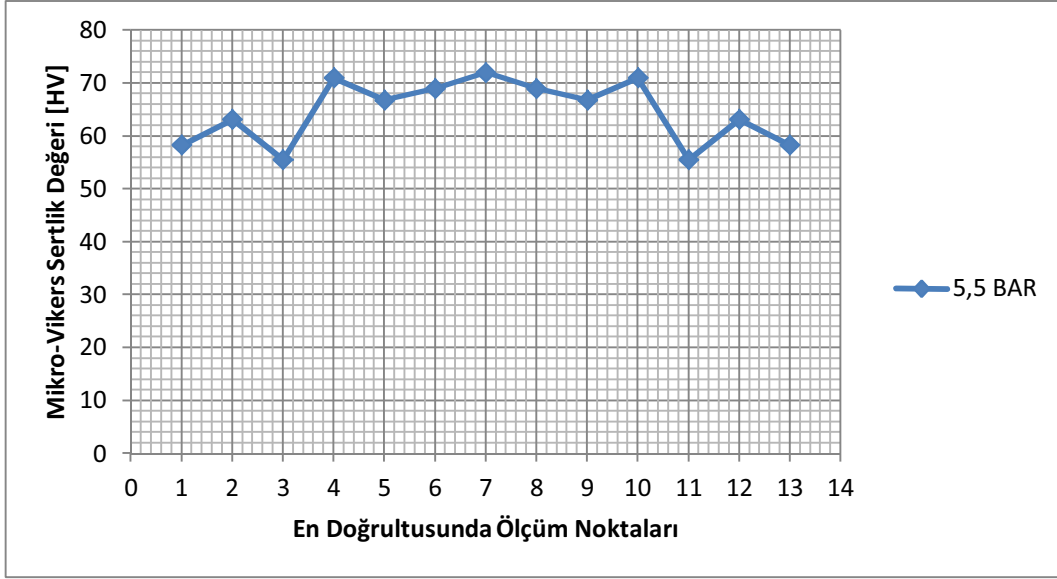


Şekil 7.87. 2 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

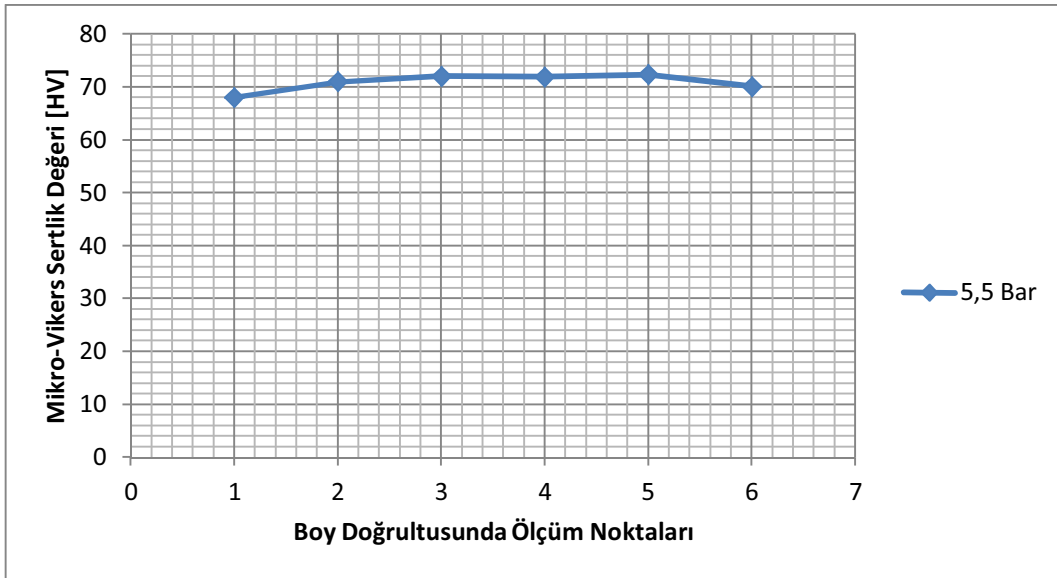


Şekil 7.88. 2 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

3 numaralı numune için;

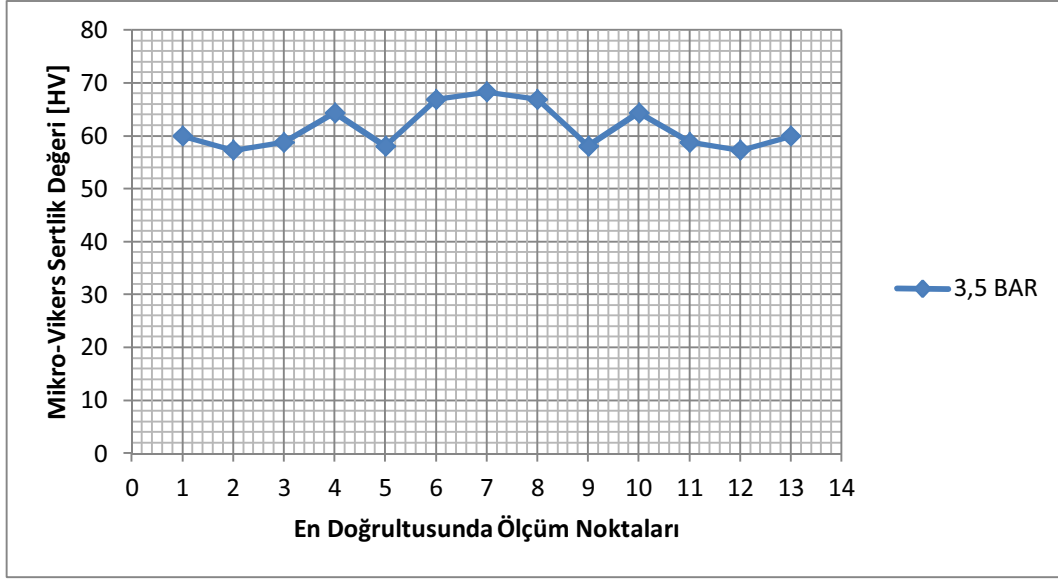


Şekil 7.89. 3 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

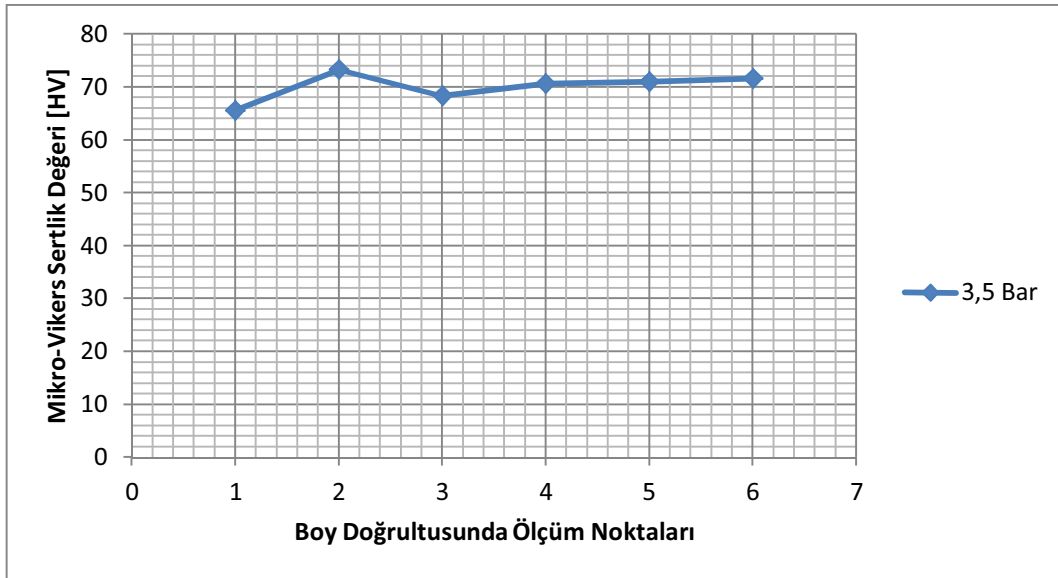


Şekil 7.90. 3 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

4 numaralı numune için;

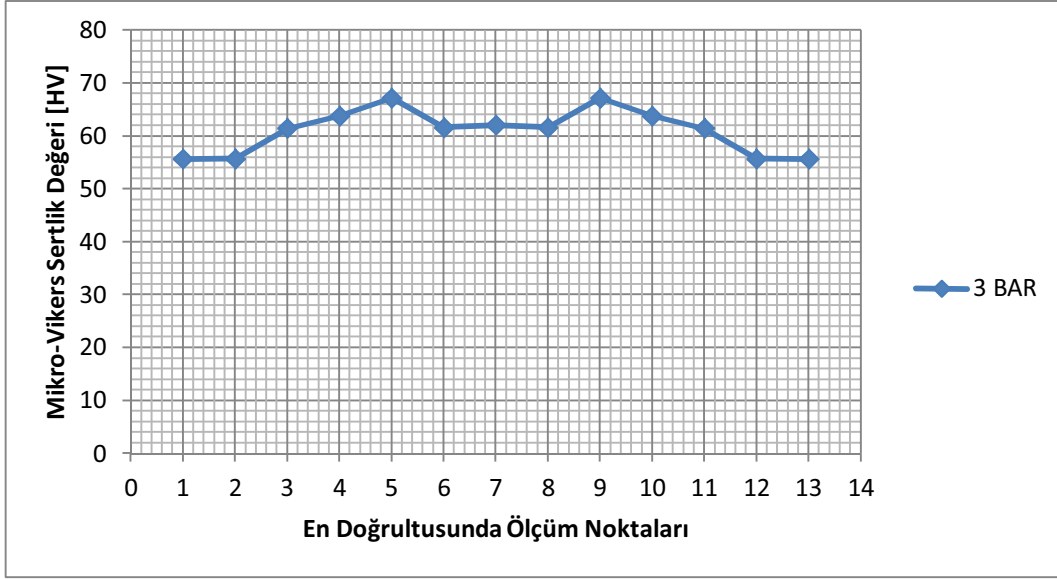


Şekil 7.91. 4 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

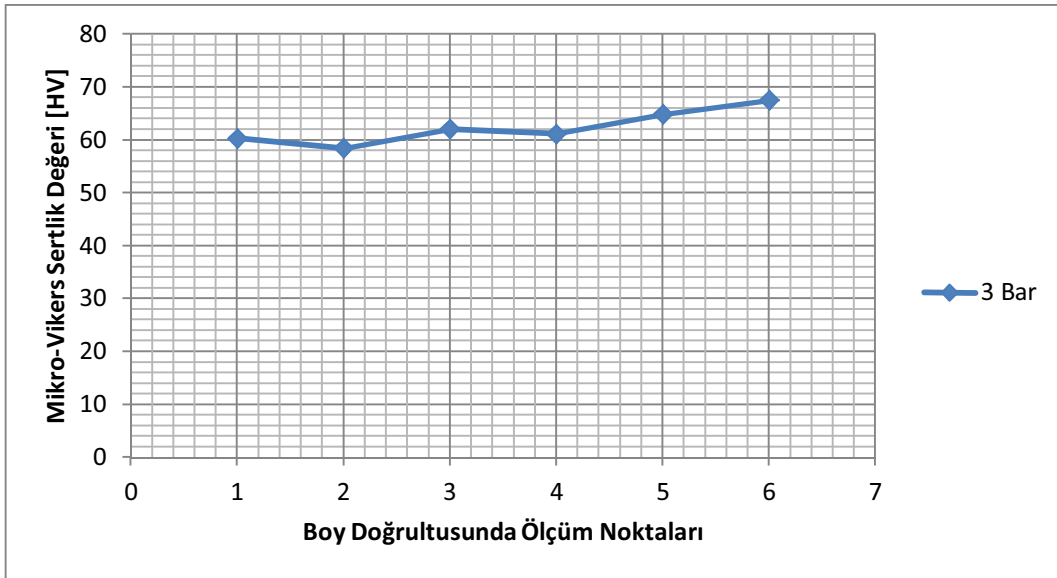


Şekil 7.92. 4 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

5 numaralı numune için;

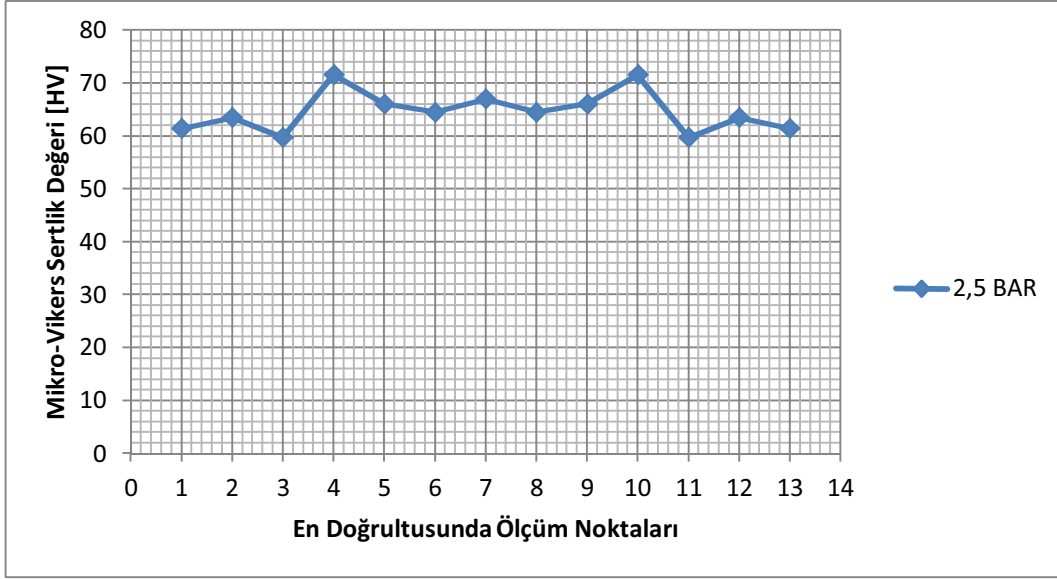


Şekil 7.93. 5 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

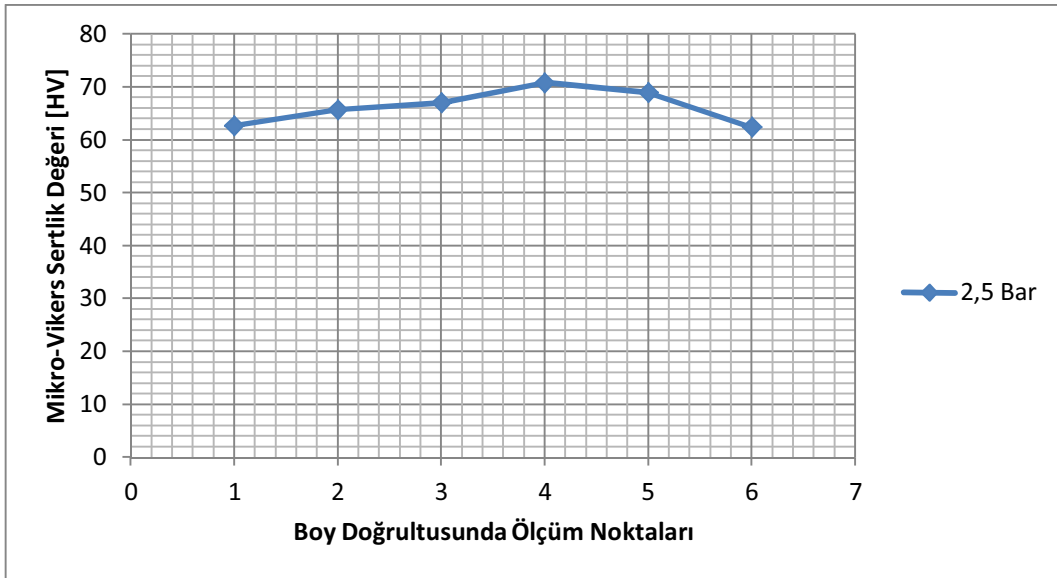


Şekil 7.94. 5 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

6 numaralı numune için;

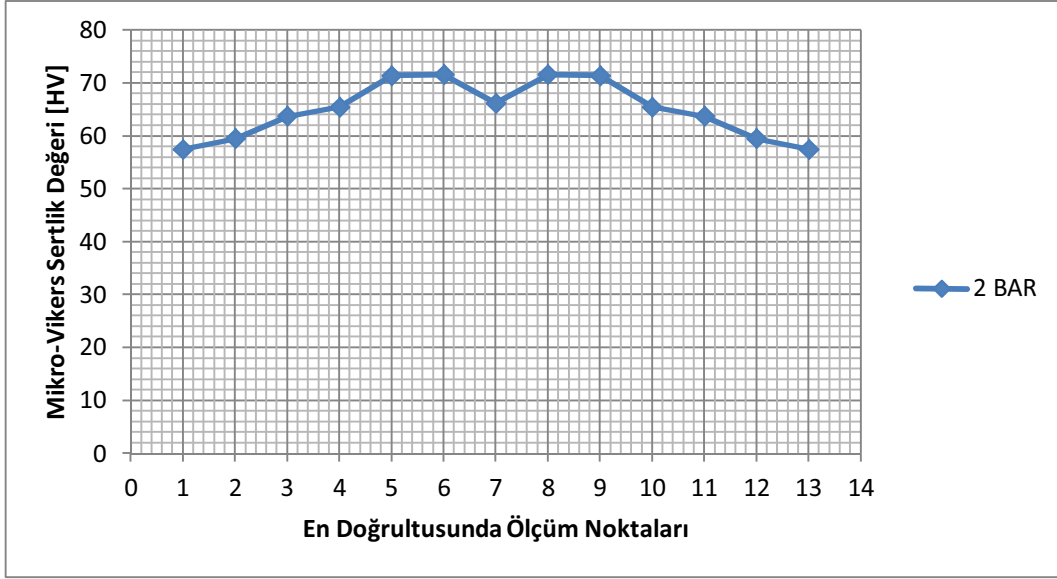


Şekil 7.95. 6 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

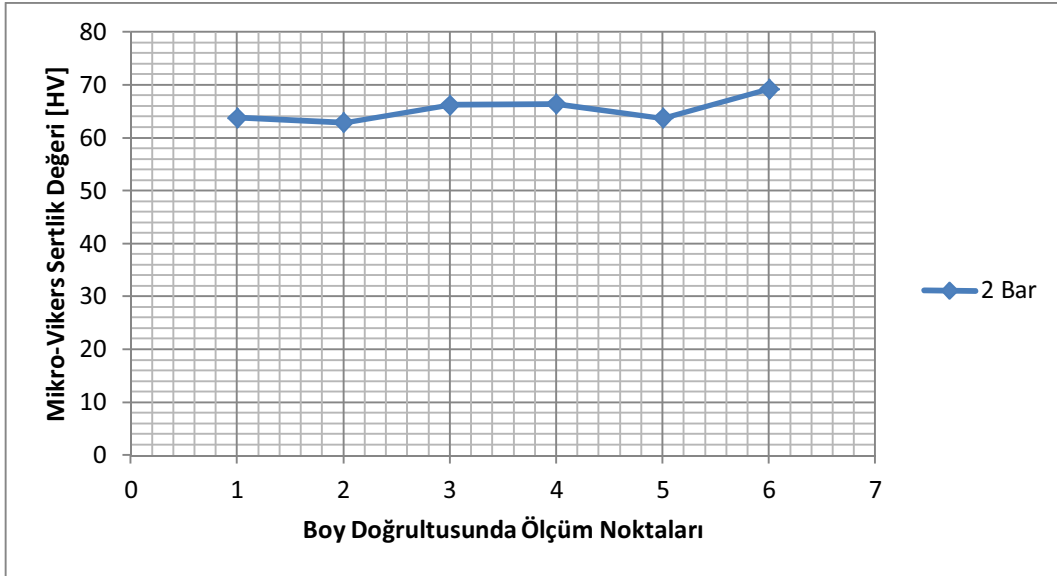


Şekil 7.96. 6 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

7 numaralı numune için;

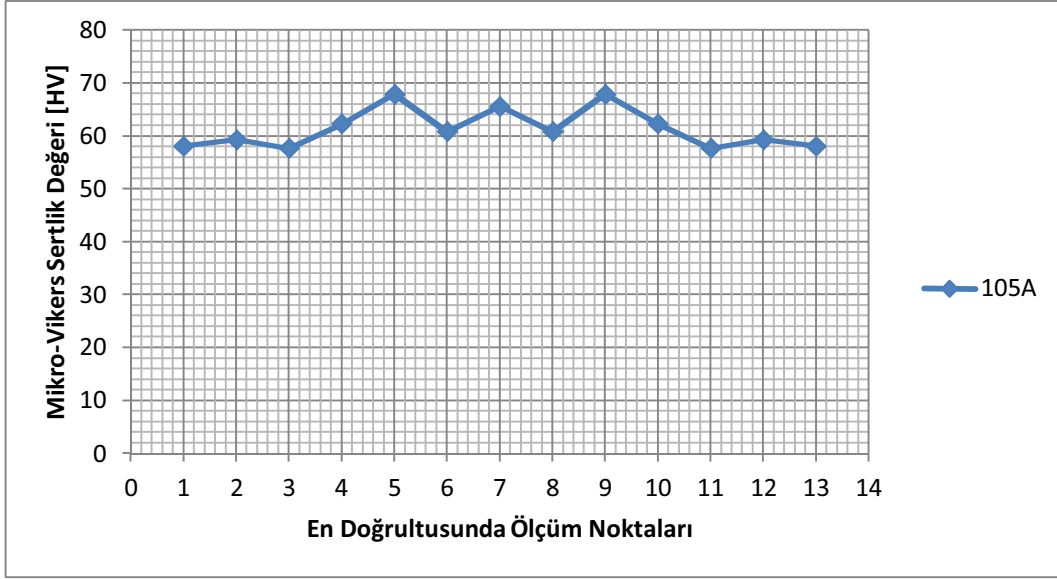


Şekil 7.97. 7 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

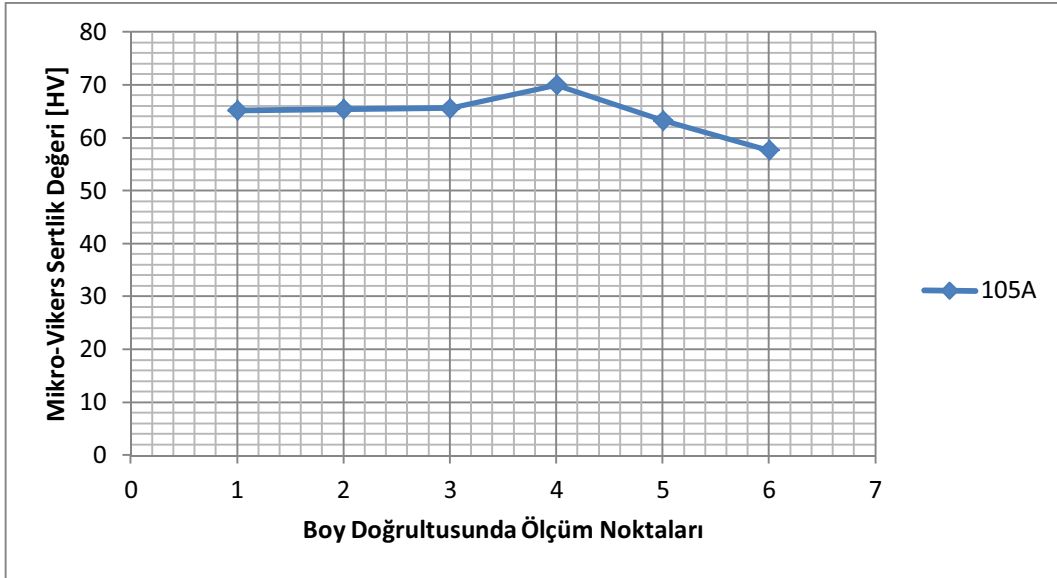


Şekil 7.98. 7 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

8 numaralı numune için;

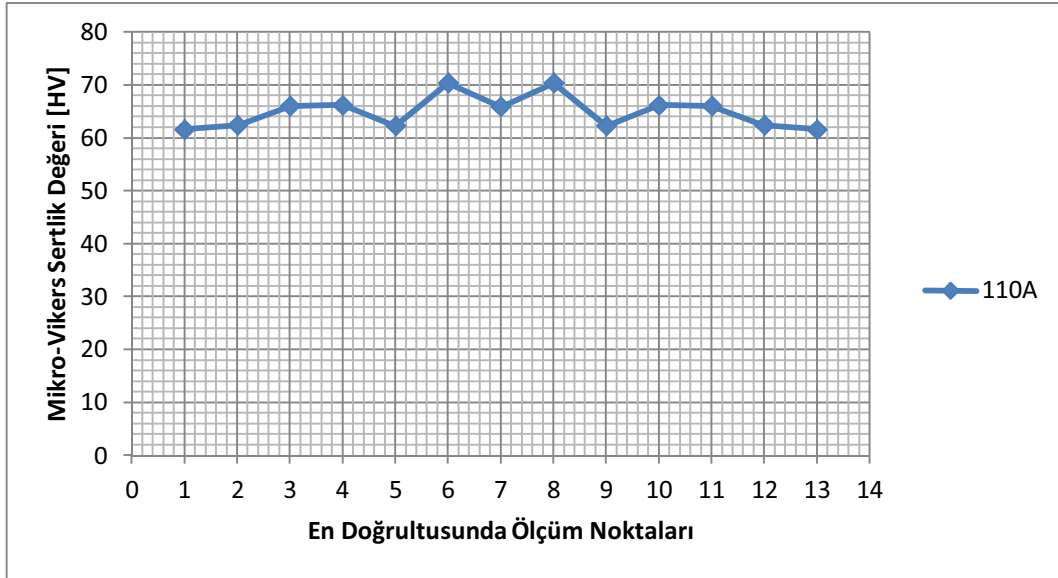


Şekil 7.99. 8 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

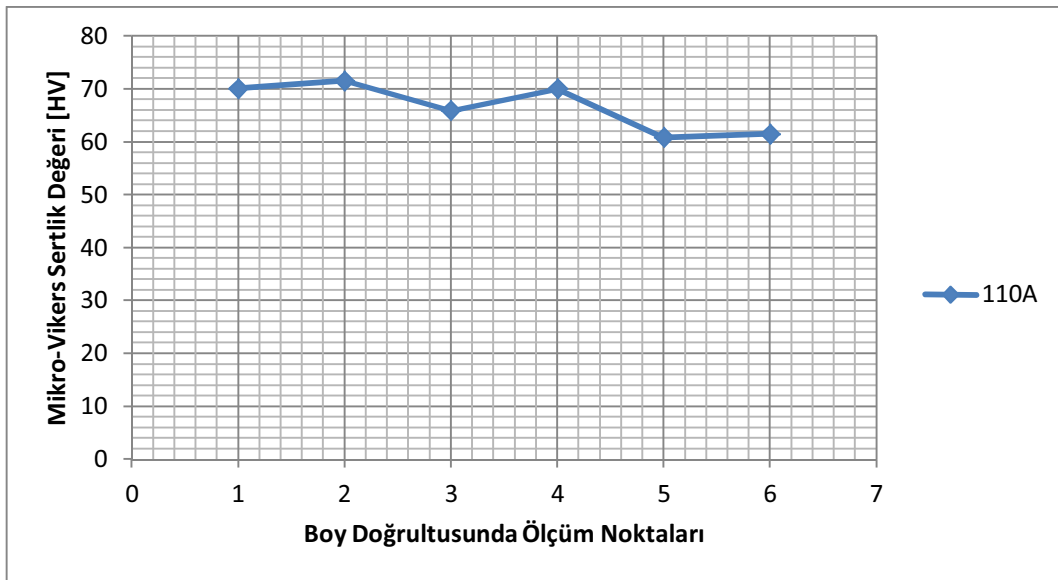


Şekil 7.100. 8 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

9 numaralı numune için;

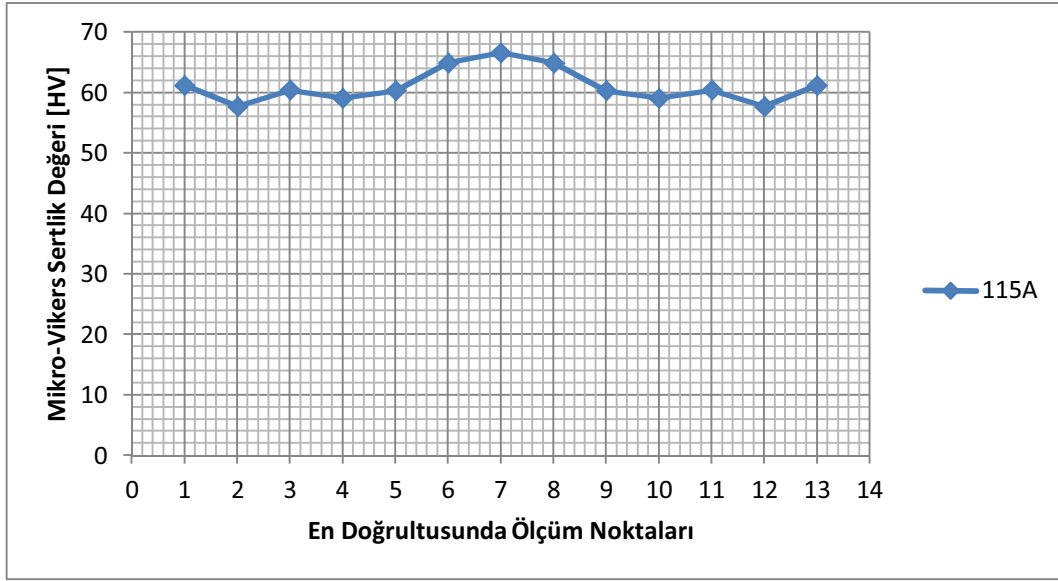


Şekil 7.101. 9 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

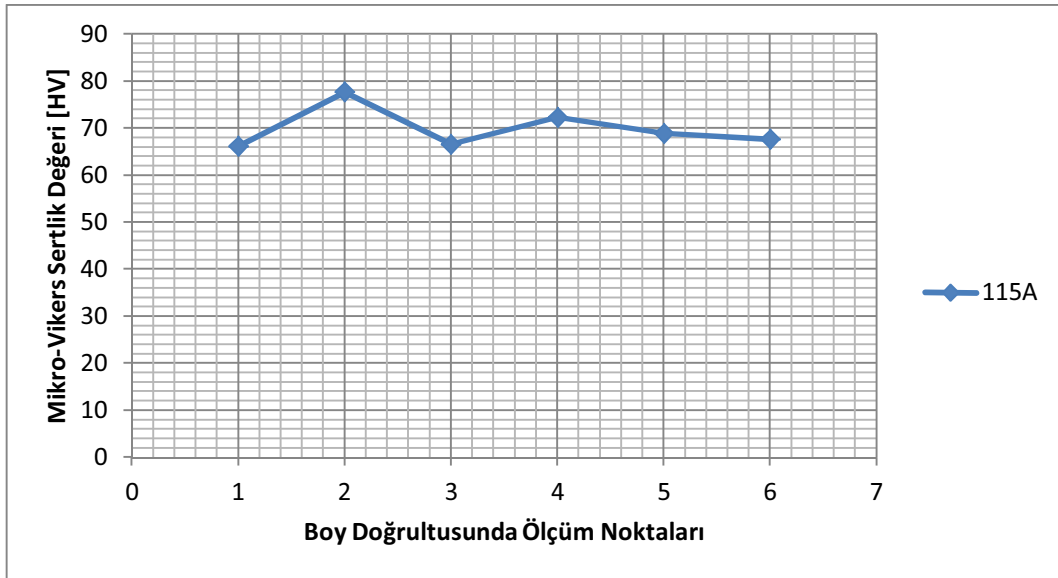


Şekil 7.102. 9 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

10 numaralı numune için;

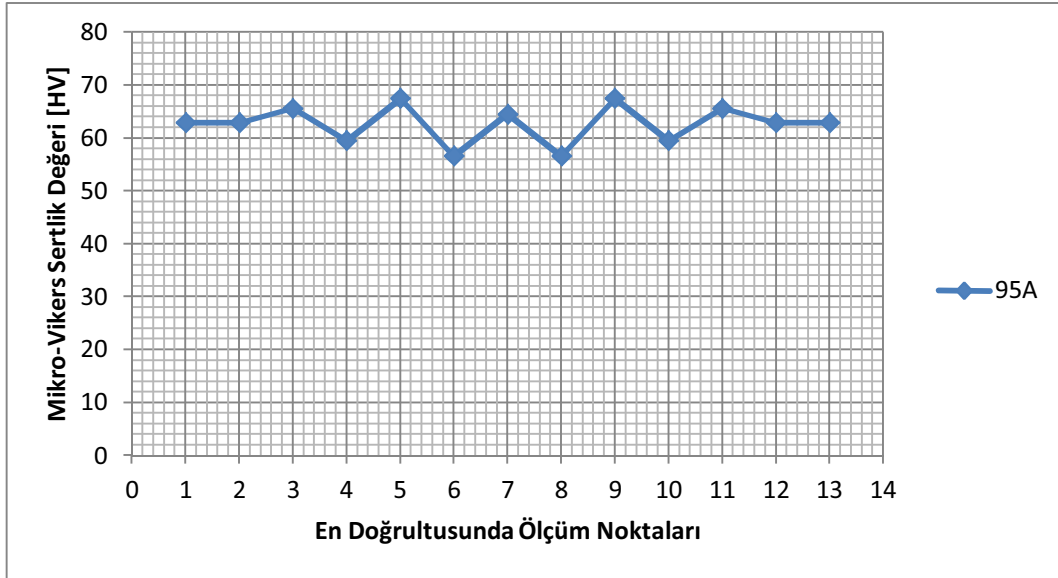


Şekil 7.103. 10 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

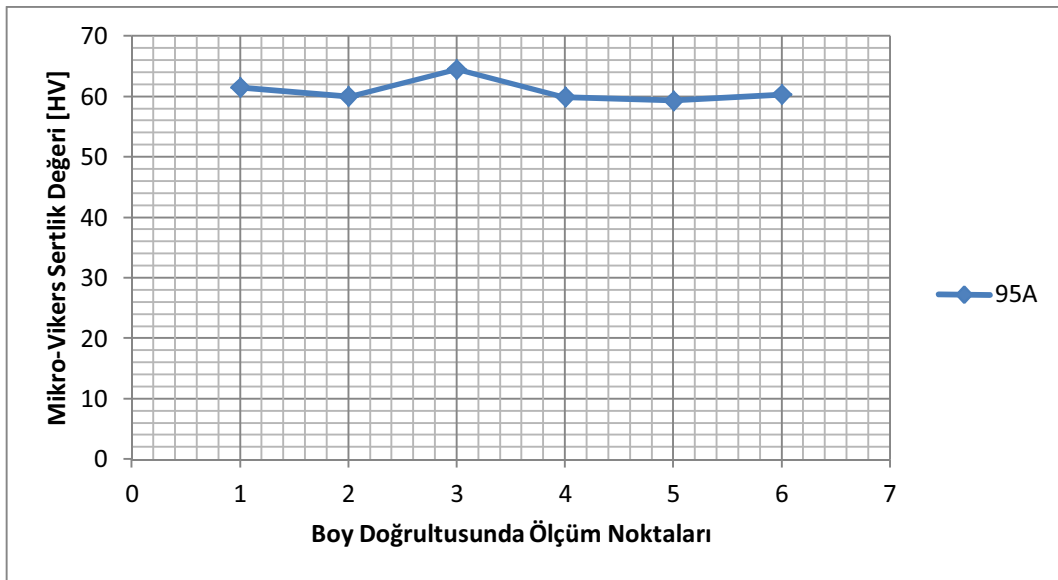


Şekil 7.104. 10 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

11 numaralı numune için;

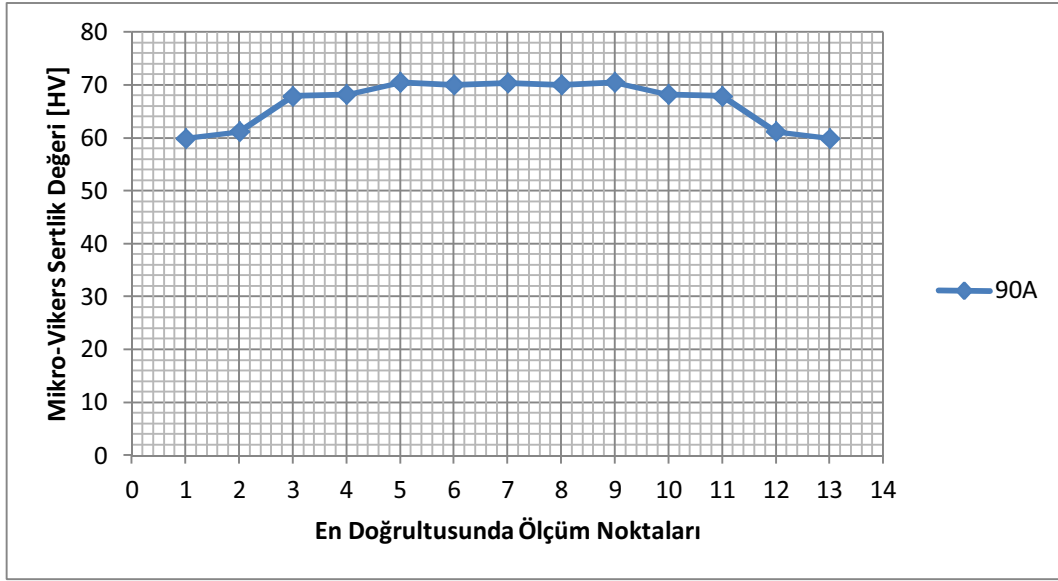


Şekil 7.105. 11 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

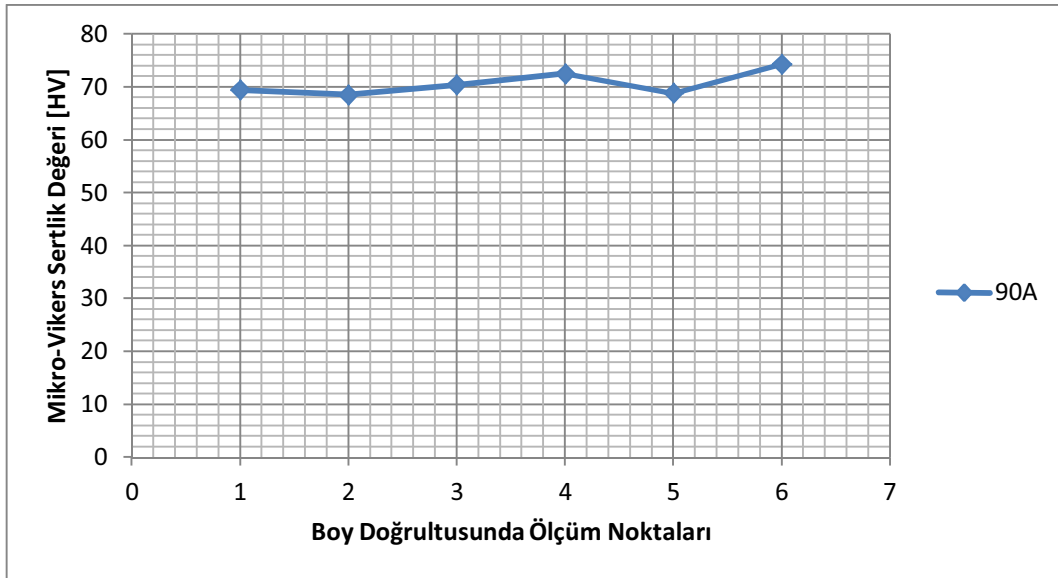


Şekil 7.106. 11 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

12 numaralı numune için;

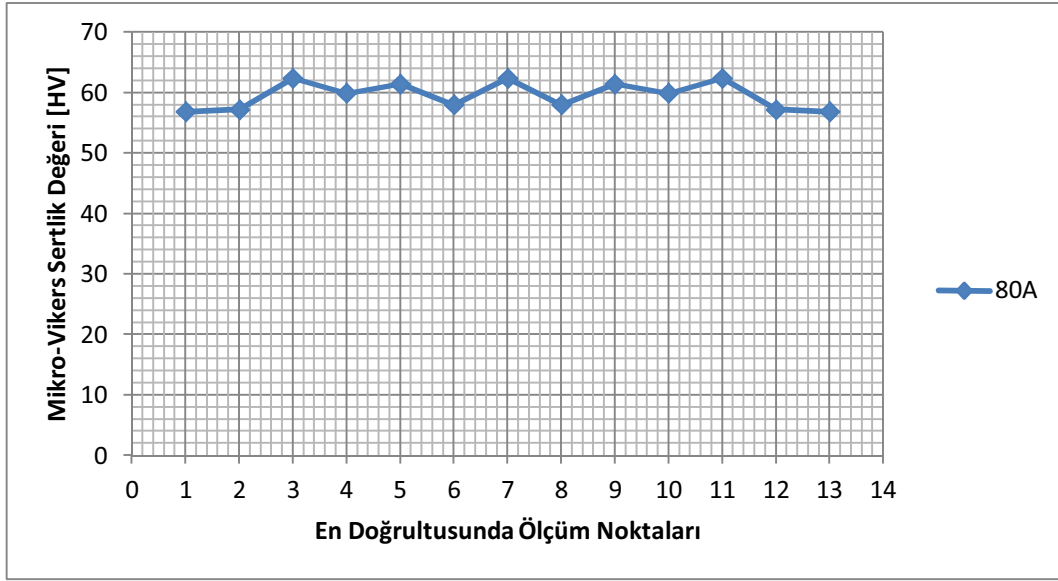


Şekil 7.107. 12 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

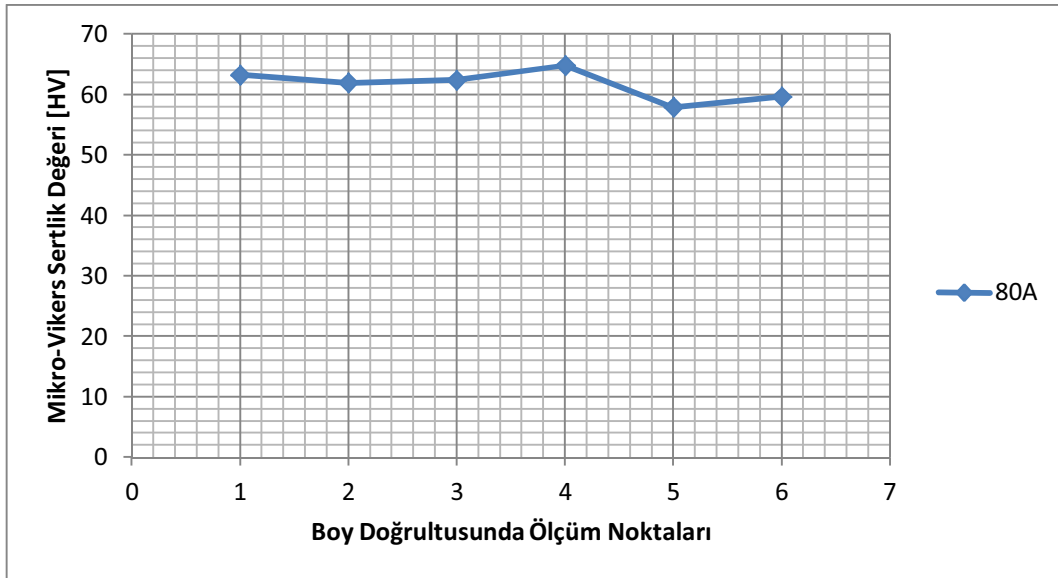


Şekil 7.108. 12 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

13 numaralı numune için;



Şekil 7.109. 13 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği



Şekil 7.110. 13 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

Sertlik sonuçları incelendiğinde hem dikey eksende hem de yatay eksenlerde düzensiz değerler elde edilmiştir. Geçiş bölgesi dediğimiz haz bölgesinin sertlik değerleri diğer yerlerden alınan sertlik değerlerine göre biraz artmıştır. Tüm numunelerin ana metalinden alınan sertlik değerlerinin aynı olmaması değişken kaynak parametrelerinin meydana getirdiği ısı etkisinin farklı olması ve kaynak hızlarının farklı olmasındandır.

BÖLÜM 8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

8.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada alüminyum alaşımları ve alüminyum alaşımlarının TIG kaynağı konusunda literatür araştırması yapılarak teorik bilgiler kazanılmıştır. Deneysel çalışmalar kısmında AlMg 5356 alaşımlı alüminyum telle kaynaklı birleştirilmesi yapılmıştır. Yapılan birleştirmelerin çekme, eğme, mikro sertlik ve makro yapı incelemeleri yapılmış, damla alanları, dikiş nüfuziyetleri ve ısı girdileri hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- a. Yapılan çekme deneyleri sonucunda numunelerin akma, çekme ve % uzamaları bulundu. Elde edilen sonuçlardan kaynak akımının değiştirilmesi yapıda tane irileşmesine sebebiyet verdiği için optimum birleşme sağlanamadı. Kaynak parametrelerinden gaz basıncının değiştirilmesi de nüfuziyetsiz birleşmelere neden olduğu görüldü. Bu parametreler ise çekme mukavemetini düşürücü yönde etki yaptığı yapılan deneylerde ve deneylerden elde edilen grafiklerde görüldü.
- b. % uzama sonuçlarında ise kaynak gerilimi sabit olup gaz basıncına bağlı olarak % uzamalarda da değişimler olduğu görülmüştür. Gaz basıncı arttığında genel olarak % uzama artarken gaz basıncı düştüğünde % uzama da azalmıştır. Yani gaz basıncıyla % uzama arasında doğru orantı tespit edilmiştir. Gaz basıncı sabit olup kaynak akımı arttığında ise yine genel olarak aynı şekilde doğru orantı görülmüştür. Yani kaynak akımı arttığında % uzama da artmış, kaynak akımı azatlığında ise % uzamada düşüş tespit edilmiştir.

- c. Eğme sonuçlarında hem kep eğme, hem de kök eğme değerlerine amper değişiminin çok fazla bir etkisi olmamıştır. Ancak gaz basıncı değişimleri eğme sonuçları üzerinde etkili olmuştur. Optimum gaz basıncının biraz üstünde ve altında ki değerlerde basma kuvveti artarken yüksek gaz basıncı ve düşük gaz basınçlarında basma kuvveti düşmüştür.
- d. Makro incelemeleri parametrelerin kaynak yüzeyini etkilediğini göstermiştir. Malzeme yüzeyindeki kaynak damla geçişi yüksek akımda kaynak ağzında yığılmaya neden olduğundan dar ve yüksek bir kaynak şekli meydana gelmiştir.
- e. Amper şiddetinin artırılması kaynak hızını arttırdığından şiddetli arktan dolayı yine gözenekli ve nüfuziyetsiz bir birleşmeye sebep olduğu anlaşılmıştır.

8.2. Öneriler

Alüminyumun birleştirilmesi alüminyumun yüksek ısı iletiminden dolayı çeliklere nazaran daha zordur. Bu yüzden alüminyum kaynağı en uygun parametreler belirlenip kaynak işlemi yapılmalıdır.

Ayrıca malzeme yüzeyi, yağ, kir ve nemden mutlaka arındırılmış olup kaynak dikiş yüzeyinin arka kısmına mutlaka pah kırılmalıdır. Aksi takdirde dikişin kök kısmında nüfuziyetsizlik oluşarak kaynağın mekanik özellikleri düşecektir.

Oksit film yüzeyi kaynak işlemine başlamadan önce frezeleme ya da tel fırça ile mutlaka temizlenmelidir. Bu çalışmayı tekrar daha sonra çalışacak olan öğrencilerin otomatik kaynak makineleri ile çalışmalarını iyi olur. Çünkü kaynak hızı ve dolayısıyla kaynak dikişi elle yapılan kaynakta tam olarak ayarlanamadığı için değerlerde sapmalar olabileceği tahmin edilmektedir.

Değişik kaynak pozisyonlarında ki mekanik özellikler ve kaynak damla geometrisi incelenebilir.

Daha kalın alüminyum malzeme kullanılarak çentik darbe deneyi araştırılabilir.

Mikro yapı incelemesi için hazırlanan numunelerin SEM ve TEM de fotoğrafları çekilerek mikro yapı incelemesi ve EDS analizi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] BRADY, G. S., CLAUSER, H. R., VACCOR, A.J., and HILL, M.G., AluminiumAlloys. MetarialsHandbook, p.42-49, 1989
- [2] YÜKLER,İ., Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri, 2000
- [3] Avner 1974, WeldingHandbook 1996, Anderson 2000, Mathers 2002
- [4] ERDEN, A.,İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA6016 Alaşımının Mikro ve Makro Yapısal İncelemesi, 2006
- [5] KALUÇ, E., TABAN E., Metal Dünyası, s 144, 2005
- [6] TÜLBENTÇİ, K., Alüminyum ve Alaşımının Kaynağı. Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Kaynak Tekniği Yaz Okulu. Yıldız Üniversitesi Matbaası, s 13-64, 1986
- [7] HIGGHS, R.A.,Aluminium and Its Alloys. Engineering Metallurgy, Part II, p 406-424, 1986
- [8] WEISSBACH, W.,Malzeme Bilgi ve Muayenesi, s 190-195, 1990
- [9] ANIK, S., Alüminyum ve Alaşımının Kaynağı., İzmir Matbaası, Çağaloğlu Yokuşu, No:6, s 1-84, 1960

- [10] www.angelfire.com/al/aluminium, Alüminyum En Genç Metal. (Aralık, 2010)
- [11] KARAKUŞ, S., Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı. Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, s 3-41, 1986
- [12] BOYER, H.E. and GALL, T.L., Aluminium Metals Handbook Desk Edition, American Society For Metals Park, Chapter 6, p 1-3, 1998
- [13] TEZCAN, A., Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, s 1-35, Sakarya, 2001.
- [14] www.autocad.Virtualave.net/postcard/alkoroz.htm, (Aralık 2010)
- [15] www.aluminyum.com, Alüminyumun Tarihçesi, (Aralık 2010)
- [16] BALABAN, A.Ç., Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanması Yöntemleri, II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, Etibank Alüminyum Tesisleri Konferans Salonu, s 505-507, 1992
- [17] Bilim ve Teknik Dergisi, Çağın Metali Alüminyum, Ocak Sayısı, s 42-47, Tübitak, 1995
- [18] www.world-aluminium.org, Alüminyum Applications, Home Of The International Aluminium Institute, (Aralık 2010)
- [19] Bargel-Shultze., Alüminyum ve Alaşımları. Cilt-II, s 147-155, Tübitak, 1982

- [20] TÜLBENTÇİ, K., ve KALUÇ, E., Alüminyum Alaşımalarının Oksi- Asetilen Kaynağı, Gedik Teknik, Sayı:2, s 3-12, 1995
- [21] BİLEN, N., Alüminyum ve Alaşımalarının Kaynağı, Kaynak ve Metal, s 37-40, 1992
- [22] KALUÇ, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt I, s 223-290, 2003
- [23] ANIK, S., DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M., Koruyucu Gazla Kaynak ve Alüminyumun MIG Kaynağı, Teknisyenler Matbaası, s8-41, 1994
- [24] www.turkkablo.com/alumin.htm, Niçin Alüminyum, (Aralık 2010)
- [25] GÜLTEKİN, N., MIG-TIG Kaynak Tekniği, Yıldız Üniversitesi Yayınları, Sayı:184, Fatih Gençlik Vakfı Matbaa İşletmesi, s 104-122, 1985
- [26] ELÖYE, D., TIG Kaynak Yönteminde Elektrik Arkının ve Elektrik Devresinin Davranışları, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, 13-14-15 Kasım, s 154-163, 1989
- [27] RYBAKOV, V., Welding Of Aluminium and Aluminium Alloys, Chapter 15, p 242-245, 1984
- [28] KHANAPETOV, M., Welding of Nonferrous Metals and Their Alloys, Welding and Cutting of Metals, Chapter IX, p 158-161, 1982
- [29] GÜNGÖR. O.N., HY80 Çeliğinde TIG ve MIG Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Bağlantısı ve Isının Tesisi Altındaki Bölgenin Mekanik Özelliklerine Etkisi, s 10-20, 1996

ÖZGEÇMİŞ

Arif KARADAĞ, 07.07.1982'de Kars Arpaçay'da dünyaya geldi. Oğuzlu Köyü İlköğretim Okulu ve Başgedikler 60. Yıl İlköğretim Okulundan sonra Malatya-Pütürge Endüstri Meslek Lisesi, Metal işleri bölümünden 1999'da mezun oldu. 2000 yılında ZKÜ Alaplı Meslek Yüksek Okulu, Metalurji Malzeme Programına girerek yükseköğretime başladı. 2004 yılında yerleştiği Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal İşleri Öğretmenliği bölümünden 2008'de mezun olarak yine aynı bölümde yüksek lisansa başladı ve halen Sakarya Üniversitesinde öğrenimine devam etmektedir.