

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

**ALÜMİNYUM MALZEMELERİN MIG
KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Selim KIRLI

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salim ASLANLAR

Mayıs 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

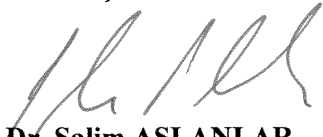
ALÜMİNYUM MALZEMELERİN MIG
KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN DİKİŞ
GEOMETRİSİNE ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Teknik Öğrt. Selim KIRLI

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. Erdinç İLHAN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Üye

TEŐEKKÖR

Öncelikle yetiŐtirilmem sırasında emeklerini esirgemeyen değerli anneme, babama ve yardımlarından dolayı ablama sonsuz teŐekkÖrlerimi bir borç bilirim.

Bu çalıŐmalarımı tamamlamamda yardımlarından ÖtÖrÖ değerli danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Salim ASLANLAR' a teŐekkÖr ederim.

Malzeme temininde ve numune çıkarılmasında yardımcı olan DİRENÇ Mak. San. ve Tic. LTD. ŐTİ. ne, deneylerimi yapmamda bana yardımcı olan değerli arkadaŐım Arif KARADAĒ' a teŐekkÖr ederim. Sakarya Üniversitesi'nden, Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ' a, ArŐ. Gör. Nuri ERĒİN' e, ArŐ. Gör. Murat ÇOLAK' a, arkadaşlarım Hakkı SÖNMEZ ve Elif ALTUNAY' a da teŐekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
FORMÜLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM MALZEMELER.....	3
2.1. Alüminyum Özellikleri.....	3
2.2. Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri.....	4
2.3. Alüminyumun Genel Karakteristikleri.....	5
2.4. Birleştirme İle İlgili Karakteristikler.....	5
2.5. Alüminyumun Başlıca Özellikleri.....	6
2.5.1. Alüminyum saflık dereceleri.....	6
2.5.2. Alüminyumun fiziksel özellikleri.....	7
2.5.3. Alüminyum mukavemet özellikleri.....	7
2.5.4. Korozyona karşı mukavemet.....	8

BÖLÜM 3.

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MIG KAYNAĞI.....	9
3.1. Alüminyum Kaynak Metotları.....	10
3.2. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı.....	11
3.3. Dikişlerde gözeneklilik.....	15
3.4. Gaz Sıkışması.....	17

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	18
4.1. Deneyleerde kullanılan malzemeler.....	18
4.2. Kaynak Parametreleri.....	18
4.3. Deney Numunelerinin Alınması.....	23
4.3.1. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması.....	23
4.3.2. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanması.....	24
4.3.3. Makro yapı numunelerinin hazırlanması.....	26
4.3.4. Mikro yapı numunelerinin hazırlanması.....	27
4.3.5. Mikro sertlik deney numunelerinin hazırlanması.....	29

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	32
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	32
5.1.1. Elastik modül hesap sonuçları.....	48
5.1.2. Rezilyans modül hesap sonuçları.....	51
5.1.3. Tokluk hesabı sonuçları.....	54
5.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	56
5.3. Mikro Yapı İncelemeleri.....	59
5.4. Makro Yapı İncelemeleri ve Sonuçları.....	71
5.5. Numunelerin Damla Geometrileri ve Damla Alanları.....	77
5.6. Dikiş Formları (Nüfüziyet) Hesaplamaları.....	87
5.7. Numunelerin Isı Girdisi Hesaplamaları.....	91
5.8. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma.....	93

BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	107
6.1. Sonuçlar.....	107
6.2. Öneriler.....	108
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

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
ITAB	: Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
MIG	: Metal Inert Gaz
PA	: Yatay Kaynak Pozisyonu
TIG	: Tungsten Inert Gaz
σ_{akma}	: Akma Mukavemeti
$\sigma_{çekme}$: Çekme Mukavemeti

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	MIG yöntemindeki ark bölgesi.....	13
Şekil 4.1.	Kaynak makinası resimleri.....	20
Şekil 4.2.	Çekme deneyi makinesi ve çekilen numune.....	23
Şekil 4.3.	EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekmeye deney parçası boyutları...24	
Şekil 4.4.	EN 910'a uygun olarak hazırlanmış eğme deney parçası boyutları.....	24
Şekil 4.5.	Eğme deney makinesi ve eğilen numune	25
Şekil 4.6.	Kaynak dikişleri eğme deneyi uygulama prensibi.....	25
Şekil 4.7.	Makro yapı numunelerinin alınmış yönü ve numune örneği.....	26
Şekil 4.8.	Makro görüntü alma cihazı.....	27
Şekil 4.9.	Mikro yapı numunelerinin alınmış yönü ve numune örneği	28
Şekil 4.10.	Mikro görüntü alma cihazı	29
Şekil 4.11.	Mikro sertlik numune örneği	30
Şekil 4.12.	HMV Shimadzu mikro sertlik cihazı	30
Şekil 4.13.	Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi.....	31
Şekil 5.1.	MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan referans numunenin gerilme uzama grafiği.....	33
Şekil 5.2.	MIG kaynak yöntemiyle 85 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 1 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	34
Şekil 5.3.	MIG kaynak yöntemiyle 90 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 2 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	35
Şekil 5.4.	MIG kaynak yöntemiyle 75 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 3 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	36
Şekil 5.5.	MIG kaynak yöntemiyle 70 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 4 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	37

Şekil 5.6.	MIG kaynak yöntemiyle 65 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 5 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	38
Şekil 5.7.	MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 6 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	39
Şekil 5.8.	MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 7 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	40
Şekil 5.9.	MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 8 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	41
Şekil 5.10.	MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 9 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	42
Şekil 5.11.	MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 10 nolu numunenin gerilme uzama grafiği	43
Şekil 5.12.	Numunelerin akma dayanımları.....	44
Şekil 5.13.	Numunelerin çekme dayanımları.....	45
Şekil 5.14.	Numunelerin % uzamaları.....	45
Şekil 5.15.	Kopan numuneler 1 - 5.....	47
Şekil 5.16.	Kopan numuneler 6 – 10	47
Şekil 5.17.	Elastik modül hesaplarının grafiği	50
Şekil 5.18.	Rezilyans modül hesapları grafiği.....	53
Şekil 5.19.	Tokluk hesapları grafiği	56
Şekil 5.20.	Eğme deneyi (Kep) sonuçları grafiği	57
Şekil 5.21.	Eğme deneyi (Kök) sonuçları grafiği.....	58
Şekil 5.22.	Eğme deneyine tabi tutulmuş numuneler	59
Şekil 5.23.	Referans numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	60
Şekil 5.24.	1 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	61
Şekil 5.25.	2 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	62
Şekil 5.26.	3 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	63
Şekil 5.27.	4 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	64
Şekil 5.28.	5 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	65
Şekil 5.29.	6 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	66
Şekil 5.30.	7 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	67

Şekil 5.31.	8 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	68
Şekil 5.32.	9 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	69
Şekil 5.33.	10 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları.....	70
Şekil 5.34.	Referans numunenin makro görüntüsü	71
Şekil 5.35.	1 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	71
Şekil 5.36.	2 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	72
Şekil 5.37.	3 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	72
Şekil 5.38.	4 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	73
Şekil 5.39.	5 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	73
Şekil 5.40.	6 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	74
Şekil 5.41.	7 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	74
Şekil 5.42.	8 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	75
Şekil 5.43.	9 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	75
Şekil 5.44.	10 numaralı numunenin makro görüntüsü.....	76
Şekil 5.45.	Kaynak damla geometrisi	77
Şekil 5.46.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – kaynak gerilimi grafiği	78
Şekil 5.47.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – kaynak gerilimi grafiği	79
Şekil 5.48.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin nüfuziyet – kaynak gerilimi grafiği	79
Şekil 5.49.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – kaynak gerilimi grafiği	80
Şekil 5.50.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – kaynak gerilimi grafiği	80
Şekil 5.51.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep damla alanı – kaynak gerilimi grafiği	81
Şekil 5.52.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök damla alanı – kaynak gerilimi grafiği	81
Şekil 5.53.	80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – kaynak gerilimi grafiği	82

Şekil 5.54.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği	82
Şekil 5.55.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği	83
Şekil 5.56.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin nüfuziyet – kaynak akım şiddeti grafiği	83
Şekil 5.57.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği	84
Şekil 5.58.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği	84
Şekil 5.59.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kep damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği	85
Şekil 5.60.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği	85
Şekil 5.61.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin toplam damla alanı kaynak akım şiddeti grafiği	86
Şekil 5.62.	80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin kök dikiş – kaynak gerilimi grafiği	88
Şekil 5.63.	80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin dış dikiş – kaynak gerilimi grafiği	88
Şekil 5.64.	80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin iç dikiş – kaynak gerilimi grafiği	89
Şekil 5.65.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği	89
Şekil 5.66.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin dış dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği	90
Şekil 5.67.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin iç dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği	90
Şekil 5.68.	80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin ısı girdileri kaynak gerilimi grafiği	92

Şekil 5.69.	15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin ısı girdileri – kaynak akım şiddeti grafiği	92
Şekil 5.70.	Mikro sertlik ölçülen yerler	93
Şekil 5.71.	Referans numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	95
Şekil 5.72.	Referans numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	95
Şekil 5.73.	1 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	96
Şekil 5.74.	1 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	96
Şekil 5.75.	2 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	97
Şekil 5.76.	2 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	97
Şekil 5.77.	3 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	98
Şekil 5.78.	3 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	98
Şekil 5.79.	4 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	99
Şekil 5.80.	4 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	99
Şekil 5.81.	5 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	100
Şekil 5.82.	5 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	100
Şekil 5.83.	6 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	101
Şekil 5.84.	6 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	101
Şekil 5.85.	7 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	102
Şekil 5.86.	7 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	102
Şekil 5.87.	8 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	103
Şekil 5.88.	8 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	103
Şekil 5.89.	9 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	104
Şekil 5.90.	9 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	104
Şekil 5.91.	10 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği	105
Şekil 5.92.	10 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği	105

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler.....	15
Tablo 4.1.	Ana malzemeye ait kimyasal özellikler	18
Tablo 4.2.	Ana malzemeye ait mekanik özellikler	18
Tablo 4.3.	Alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal özellikler	19
Tablo 4.4.	Alüminyum alaşımlı tele ait mekanik özellikler.....	19
Tablo 4.5.	Numunelerin kaynak parametreleri	22
Tablo 4.6.	Keller bileşimi	27
Tablo 4.7.	Keller bileşimi	28
Tablo 5.1.	Numunelerin çekme deney sonuçları.....	32
Tablo 5.2.	Numunelerin eğme deneyi (Kep) sonucu eğme dayanımları.....	57
Tablo 5.3.	Numunelerin eğme deneyi (Kök) sonucu eğme dayanımları.....	58
Tablo 5.4.	Numunelerin kaynak geometrileri	78
Tablo 5.5.	Numunelerin damla alanları dikiş formları	87
Tablo 5.6.	Numunelerin Isı Girdileri.....	91
Tablo 5.7.	Numunelerin Yatay Eksen Sertlik Değerleri.....	94
Tablo 5.8.	Numunelerin Dikey Eksen Sertlik Değerleri.....	94

FORMÜLLER LİSTESİ

Formül 5.1.	Referans numune için elastik modül formülü	48
Formül 5.2.	1. numune için elastik modül formülü	48
Formül 5.3.	2. numune için elastik modül formülü	48
Formül 5.4.	3. numune için elastik modül formülü	48
Formül 5.5.	4. numune için elastik modül formülü	48
Formül 5.6.	5. numune için elastik modül formülü	49
Formül 5.7.	6. numune için elastik modül formülü	49
Formül 5.8.	7. numune için elastik modül formülü	49
Formül 5.9.	8. numune için elastik modül formülü	49
Formül 5.10.	9. numune için elastik modül formülü	49
Formül 5.11.	10. numune için elastik modül formülü	50
Formül 5.12.	Referans numune için rezilyans modül formülü	51
Formül 5.13.	1. numune için rezilyans modül formülü	51
Formül 5.14.	2. numune için rezilyans modül formülü	51
Formül 5.15.	3. numune için rezilyans modül formülü	51
Formül 5.16.	4. numune için rezilyans modül formülü	51
Formül 5.17.	5. numune için rezilyans modül formülü	52
Formül 5.18.	6. numune için rezilyans modül formülü	52
Formül 5.19.	7. numune için rezilyans modül formülü	52
Formül 5.20.	8. numune için rezilyans modül formülü	52
Formül 5.21.	9. numune için rezilyans modül formülü	52
Formül 5.22.	10. numune için rezilyans modül formülü	52
Formül 5.23.	Referans numune için tokluk formülü	54
Formül 5.24.	1. numune için tokluk formülü	54
Formül 5.25.	2. numune için tokluk formülü	54

Formül 5.26.	3. numune için tokluk formülü	54
Formül 5.27.	4. numune için tokluk formülü	54
Formül 5.28.	5. numune için tokluk formülü	55
Formül 5.29.	6. numune için tokluk formülü	55
Formül 5.30.	7. numune için tokluk formülü	55
Formül 5.31.	8. numune için tokluk formülü	55
Formül 5.32.	9. numune için tokluk formülü	55
Formül 5.33.	10. numune için tokluk formülü	56
Formül 5.34.	Numunelerin ısı girdisi formülü	91

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alüminyum, MIG, Gaz altı

Bu çalışmanın amacı alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi esnasında değiştirilen kaynak parametrelerinin kaynak damla geometrisine, mekanik ve makro yapı özelliklerine etkisini araştırmaktır. Çalışmada AlMg alaşımı 5754 serisi alüminyum malzeme yine AlMg5 alaşımı alüminyum telle alın altına 45° V kaynak ağzı açılarak değişik tel hızı, kaynak voltajı ve kaynak amperi ile argon koruyucu gaz altında kaynak yapılmıştır. Birleştirilen parçaların çekme, eğme ve mikro sertlik mekanik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca mikro ve makro yapı fotoğrafları da çekilmiş olup en uygun kaynak parametreleri belirlenmiştir. Değiştirilen kaynak parametrelerinin mekanik özellikleri etkilediği belirtilmiştir.

THE EFFECTS OF WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL FEATURES OF CONNECTIONS IN ALUMINIUM WELDINGS

SUMMARY

Keywords: Aluminyum, MIG, Under Gas

The purpose of this study is finding out of the effect on some welding parameters changing while (MIG) Metal Invert Gas welding process of the aluminum, on the weld bead geometry mechanical and micro structural properties 5754 series AlMg allow and AlMg5 allow aluminum were applied 45° and welded with shielding gas welding. Tensile test, bending test and micro hardness measurements were applied on the welded pieces.

In addition microstructure welding photos were taken and the most suitable welding parameters were determined.

Also changing of welding features effect mechanical properties.

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 arttırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanmaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımlarının kullanılması ağırlıkta düşme yaptığı için avantaj sağlamaktadır [2].

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 metallerden 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, alüminyumu alternatif malzemelere göre avantajlı hale getirmektedir. Sahip olduğu birçok özellikler nedeniyle sanayideki bu gelişmelere uygun bir ortam sağlamaktadır [3].

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;

1. Yüzeyde bulunan alüminyum oksit tabakası,
2. Yüksek ısı iletkenlik,
3. Yüksek ısı genleşme katsayısı,
4. 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 [4].

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM MALZEMELER

2.1. Alüminyum Özellikleri

Saf alüminyum, hafif mavimsi beyaz bir metaldir ve Al ile sembolize edilir. Atomik ağırlık 26,97'dir ve genellikle boksitten elde edilir [5].

Alüminyum hafif metaller grubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Özgül ağırlığı 3,8 gr/cm³'den küçük olan elemanlar hafif metaller grubuna girer. Hafif metaller sınıfında alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum bulunur. Bunlardan özellikle alüminyum ve magnezyum en önemlileridir. Alüminyumun önemli olmasının sebebi hafif olmasıdır. Ayrıca yüksek elektrik ve ısı iletkenliği atmosferik dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi diğer önemli hususlardır [6].

Alüminyum doğada bol bulunduğu için kullanılma sahaları çoktur. Bütün metallerde yaygın olana yer kabuğunun %15'ini (Al₂O₃) olarak oluşturmaktadır.

Alüminyum kaynak, sıcak ve soğuk lehim ve ya mekanik bağlanma usulleri ile kolayca birleştirilebilmektedir. Alüminyum diğer metallerde kullanılan cihazlar ve teknikle birleştirme yöntemini belirleyen faktördür. Tablo 2.1'de saf alüminyum metalinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Saf alüminyum metalinin özellikleri

Kristal Yapısı	YMK
Yoğunluk	2,7 gr/cm ³
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150 °C - 300 °C
Isı İletkenliği(25o)	645-660 Kcal/Sa/c
İşlem Sıcaklığı	300 °C - 500 °C
Ergime Sıcaklığı	660 °C

2.2. Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri

Yapısal ürünler için kullanılan alüminyumun çoğu, alüminyum alaşımı şeklindedir. Yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk özelliklerinden dolayı alüminyum üretiminin büyük bir kısmı nakil araç gereçleri ve hareketli makine parçalarında kullanılır [5].

Alüminyum katılan alaşım elemanları, mukavemet özelliklerini yükseltir. Özellikle mukavemet artar. Başlıca alaşım elemanları: magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko ve bazen de kurşun, nikel ve titandan ibarettir.

Alaşım elemanları alaşım için üç farklı halde bulunur:

- 1) Alüminyum içinde katı halde eriyebilirler (katı eriyik)
- 2) Katı halde alüminyumda erimeyip veya sınırlı eriyip mekanik bir karışım teşkil ederler.
- 3) Alüminyumla veya birbirleriyle metaller arası veya kimyasal bileşik teşkil ederler.

Alüminyum ve alaşımları genel olarak üç gruba ayrılır:

- a) saf alüminyum
- b) ısıt işlem yapılamayan alaşımlar
- c) ısıt işlem yapılabilir alaşımlar

Alüminyum çeşitli saflık derecelerinde görülür. Daha çok ticari olarak kullanılan alüminyum %99.7, 99.5 veya %99 saflığındadır. Isıl işlem yapılamayan alaşımlar az miktarda mangan (Mn) veya magnezyum (Mg) içerirler. Al-Mn alaşımları çoğu zaman % 1.0 – 1.2 Mn, Al-Mg alaşımları ise % 5'in üzerinde Mg içerirler. Isıl işlem yapılabilir alaşımlar bakır (Cu), magnezyum ve silisyum (Mg+Si) veya çinko ve magnezyum (Zn+Mg) içerirler. Alüminyum ve birçok ısıl işlem yapılamayan ve ısıl işlem yapılabilir alaşımlar iyi kaynak yapılabilir. Isıl işlem yapılabilir alaşımlara bakır ve kurşun eklendiğinde sıcak çatlama riski oluşmakta ve dolayısıyla onların kaynatılmasında zorluk ortaya çıkmaktadır. Birçok alüminyum döküm alaşımı da (yüksek miktarda bakır ve magnezyum içerenler hariç) kaynak için uygundur [7].

2.3. Alüminyumun Genel Karakteristikleri

Alüminyum ağırlık olarak hafiftir. Bazı alaşımlar yumuşak çelikle mukayese edilecek derecede sağlamdır. Sıfır derecenin altında şekil değiştirme kabiliyetine sahiptir. Korozyona direnci fazladır. Zehirleyici değildir. Elektrik ve ısı iletkenliği iyidir. Isı ve ışığa çok iyi yansıtır. Manyetik değildir. Alüminyum imali kolaydır. Bükülebilir, haddelenebilir, preslenebilir, çekilebilir, bükülüp uzatılabilir ve rulo haline getirilebilir. Metal ayrıca çekiçle dövülüp, kızdırılıp işlenebilir veya kalıptan çekilerek çok büyük şekiller verilebilir [6].

2.4. Birleştirme İle İlgili Karakteristikler

Saf alüminyum 1220 F'den ergir. Alaşımları ise alaşım muhtevisiyatına göre 900-1220 F'de ergir. Kaynak ya da lehimleme sırasında alüminyum ısınsa da rengi değişmez. Bu yüzden metalin ergime noktasına gelip gelmediği kolay gözlenemez.

Çeliğe nazaran yüksek ısı iletkenliği, ergitme kaynağı için fazla ısı verilmesi gereklidir. Büyük parçalarda ön ısıtma gereklidir.

Yüksek elektrik iletkenliğinden dolayı ise çelikle mukayese edilirse yüksek akımlar gerekecek ve direnç kaynağında kaynak süresi kısa tutulacaktır. Kaynak değişkenlerinin de daha keskin kontrolleri gerekecektir.

Alüminyum alaşımları havayla temas edince hemen yapışkan ve kolay giderilemez bir oksit filmi oluşturur. Ergitme kaynağında alüminyum parça ve ilave metalin uygun birleşmesi ve lehimlemenin veya yapıştırmanın iyi olması için bu oksit film takip edilmelidir. Temizleyici maddelerde, soygaz atmosferlerindeki koruyucu gaz arkıyla veya mekanik ya da kimyasal yöntemlerle oksit filmi giderilmeye çalışılır [6].

2.5. Alüminyumun Başlıca Özellikleri

Alüminyum ve alaşımların kaynağında müspet neticeler almak için alüminyum ve alaşımlarının özelliklerini iyi bilmek gerekir.

2.5.1. Alüminyum saflık dereceleri

Gıda ve elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyum %99,99 saflık derecesindedir. Alüminyum borular ve saçlar %99,5 ile %99,8 bazen %98-99 derecesinde saftırlar. Geri kalan kısımlar genellikle silisyum ve demirden ibarettir. Demir (Al3fe) alüminyum 250 - 350 °C'da tavlınırsa, katı eriyik halinde bulunan silisyum, alüminyumdan ayrılır. 350 °C üzerinde tekrar katı eriyik haline geçer. Silisyumun ayrılmasıyla alüminyum mukavemeti düşer. Bu nedenle soğurken bu bölgeyi hızlı geçmek gerekir. Kaynaktan sonra dikiş 400 °C'den itibaren birdenbire suya daldırılarak çabuk soğutulmalıdır [6].

Alüminyum 99,0 - 99,5 - 99,7 - 99,8 - 99,9 - 99,99 saflıkta üretilir. %99,99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikte alüminyum olarak bilinir. Burada fiziksel ve mekanik özellikler belirli şekilde kendini gösterir.

Yüksek nitelikteki alüminyum yumuşak, kolay işlenebilir, ısı ve ışığı verimi bir şekilde yansıtır; ısı ve elektriği iyi iletir, korozyona karşı çok dayanıklıdır.

2.5.2. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Tablo 2.2. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Atom ağırlığı	: 26,97
Dökme Al	: 2,65 - 2,69(gr/cm ³)
Hadde Al	: 2,7 (gr/cm ³)
Ergime noktası	: 658 °C
Kayama noktası	: 1800 °C
Isı geçirgenlik katsayısı	: 173

Sıcaklık tesiri ile uzama:

0..50 °C 1,17 (mm/m)

100 °C 2,38 (mm/m)

200 °C 4,94 (mm/m)

400 °C 10,60 (mm/m)

500 °C 13,70 (mm/m)

Kendini çekme miktarı: %1,7 - %1,8

Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi: % 6,5

2.5.3. Alüminyum mukavemet özellikleri

Mukavemet özellikleri, malzemenin saflığına ve imal şekline bağlıdır.

Tablo 2.3. Alüminyumun mukavemet özellikleri

	Döküm Al.	Hadde Al.	Is. İşl.Tb. Tut. Al.
Çekme muk. (kg/mm ²)	9 - 12	18 - 28	7 - 11
Akma muk (kg/mm ²)	3 - 4	16 - 24	5 - 11
Uzama (%)	18 - 25	3 - 5	30 - 40
Büzülme (%)	40 - 55	60 - 85	80 - 95
Sertlik (Brinell)	24 - 32	45 - 60	80 - 95

Saf alüminyum dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4 - 0,5 katıdır.

Soğuk şekil değiştirmiş alüminyuma kaynak yapıldığında ısıdan etkilenen bölgenin mukavemeti düşer. Kaynak esnasında parça tavlандığı için mukavemeti azalmaktadır. Kaynaktan sonra parça soğuk olarak çekiçlenirse dayanıklılık kazanır.

2.5.4. Korozyona karşı mukavemet

Alüminyum oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Hava ile temas neticesinde, kısa zaman oksijen ile birleşerek alüminyum oksit (Al₂O₃) oluşturur. Bunun sonucu bütün yüzeyi çok renkli alüminyum oksit tabakası ile örtülür. Alüminyum bu özellikleri korozyona karşı mukavemetini yükseltmektedir. Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılmaz. Alüminyum bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyum saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar, korozyon mukavemetini azaltmaktadır [6].

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MIG KAYNAĞI

Alüminyum günümüzde demir ve çelikten sonra en çok kullanılan genç bir metaldir. Son yıllarda alüminyumun imalatta kullanımı daha yaygın hale gelmiş ve çeliğe bir alternatif malzeme olarak görülmeye başlanmıştır. Çelikten sonra günümüz endüstrisinde en fazla kullanılan malzeme olan alüminyum ve alüminyum alaşımları, endüstriyel malzemeler içinde son keşfedilen melallerden biridir ve bu alaşımların kullanım alanının yaygınlaşmasında savunma, otomotiv ve havacılık endüstrisinin büyük bir katkısı olmuştur [8]. Endüstri ve teknoloji geliştikçe, alüminyum kullanımı artmaktadır. Daha hafif, daha sağlam, daha verimli, daha uzun ömürlü ve sonuçta daha ekonomik ürünler için, alüminyum tercih edilmektedir. Uzay araçları dahil olmak üzere hava taşıtları, daha sağlam binalar ve köprüler, elektrik nakil hatları, diğer mühendislik uygulamaları için alüminyum vazgeçilmez bir malzemedir. Alüminyum endüstrisi; yeni alaşımlar, teknolojik gelişmeler, üretim metotları, ürün tasarımı ve kalite kontrol için araştırma-geliştirme çalışmalarına devam etmektedir [7].

Alüminyum endüstrisinde en çok kullanılan birleştirme yöntemlerinden biriside kaynak yöntemidir. Kaynak yöntemi, endüstrinin birçok sektöründe alüminyumun birleştirilmesinde başarılı bir şekilde ve artarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, sadece alüminyumun otomotiv sektöründeki kullanımı esas alındığında, alüminyum kaynak pazarının yıllık artışının % 5,5 oranında artarak devam edeceği tahmin edilmektedir [7].

MIG kaynağı birçok metalin kaynağında kullanılabildiği gibi alüminyumun kaynağında da başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat alüminyumun kaynağı, çeliğin kaynağına göre farklılıklar ve zorluklar gösterir. Çünkü çeliğe göre daha yüksek ısı iletkenliğe ve daha düşük erime sıcaklığına sahip olması kaynak sırasında bazı zorluklar göstermektedir. Bu zorluklara rağmen alüminyumun MIG kaynağı, tel

besleme hızı, ark voltajı, ark uzunluğu, gaz tüketimi, kullanılan telin çapı gibi kaynak parametrelerinin kaynaktan önce makine-kontrollü olarak ayarlanabilmesi sayesinde daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [7].

3.1. Alüminyum Kaynak Metotları

Alüminyum; kaynak metodu, birleştirme şekli ve dolgu metali belirlendikten sonra kolay kaynak edilebilen bir metaldir. Alüminyumun kaynağında daha yoğun olarak kullanılan MIG ve TIG metodunun dışında gaz kaynağı, örtülü elektrot kaynağı, plazma kaynağı ve direnç kaynağı metotları kullanılmaktadır. Basit ekipmana ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyumu ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır. Kaynak gazları (yanıcı gaz-oksijen) olarak genellikle asetilen ve oksijen gazları kullanılmaktadır. Alüminyumu örtülü elektrotlar ile elle kaynak yaparak daha yüksek kaynak hızları elde edilir. 8 mm'den kalın malzemeleri kaynak yaparken, gözeneksiz ve iyi bir birleştirme sağlayabilmek için en az 200°C'ye öntav yapılması tavsiye edilir. Kaynak dikişinin korozyon direncini korumak için, tüm curuf kalıntılarının temizlenmesi gereklidir. Alüminyumun kaynağında kullanılan bir diğer önemli kaynak metodu ise gaz altı kaynağıdır. Bu kaynak metodu TIG ve MIG yöntemlerini içermektedir. Bu metotların havayı kaynak banyosundan uzak tutmanın yanında, koruyucu gazın, arkın kararlılığı ve sonuçtaki kaynak kalitesi üzerinde çok büyük etkisi vardır. Şu ana kadar Argon ve Helyum asal gazları ayrı, ayrı veya karışımları alüminyumun kaynağında çok iyi sonuçlar vermiştir. Fakat saf Argonun, Ar + He karışımına göre daha sessiz ve kararlı bir arkı vardır. Diğer taraftan Ar + He karışımı kullanımı, aynı kaynak parametrelerinde daha yüksek performanslı kaynak arkı sağlarlar. Ancak MIG veya TIG kaynak yöntemlerinin kullanımı parça kalınlığı, akım şekli gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Ayrıca alüminyumun kaynağında plazma ve direnç kaynağı yöntemleri de kullanılmaktadır [7].

3.2. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı

Günümüzde alüminyum konstrüksiyonunda en çok kullanılan kaynak metodu, eriyen elektrotla bir koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında yapılan MIG kaynak tekniğidir [8]. Eriyen elektrot ile yapılan MIG gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG-yönteminden genellikle aşınma ve korozyon dayanımlı yüzeyler elde edilmesinde yararlanılmaktadır [5].

MIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma imkânı, çok karmaşık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir şekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından birçok avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca her geçen gün bu metodun pazar payı yüzdesi artmaktadır. Bu teknik her kalınlıktaki alüminyum ve alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm'den daha kalın alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Çünkü MIG kaynağında kaynak hızı ve ergime gücü diğer gazaltı kaynak yöntemi olan TIG kaynağına göre daha yüksek olduğu için çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır.

Alüminyum ve alaşımları 550-660 °C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır. Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları şiddetli gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların olmasına neden olur. Alüminyum üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum ve alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında, malzemenin kalınlığı göz önüne alınmaksızın sprey ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprey arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun

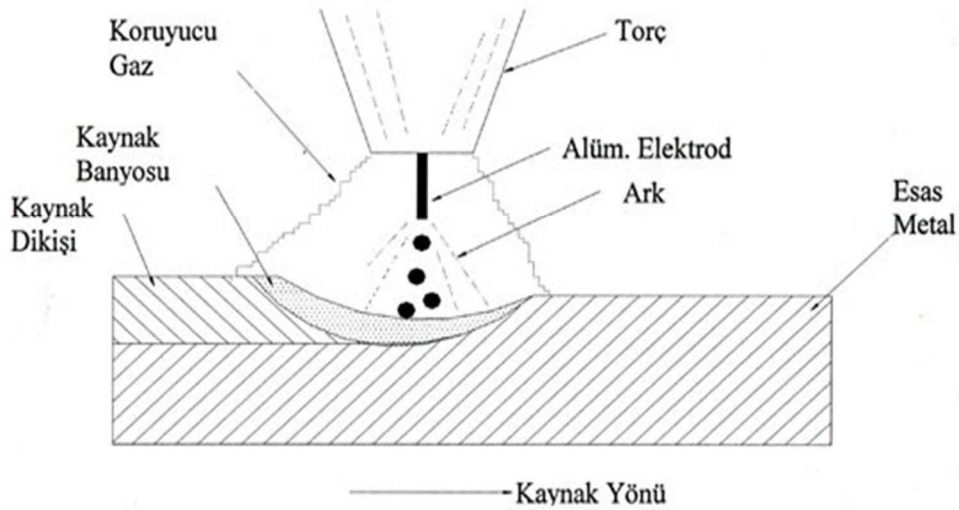
yüksek ısı iletkenliği dolayısı ile kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir. Yalnız burada oksit tabakasının giderilebilmesi için sola kaynak yöntemi seçilmeli ve dikey pozisyonundaki kaynaklar aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır. Böylece hem kaynak edilecek bölgelerdeki oksit tabakaları temizlenmiş olur hem de kaynak ağızları iyi bir şekilde ergiyerek uygun bir şekilde kaynak yapılmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığında ve dik kaynaklarda yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapıldığında gözenekli, kötü görünümlü ve yetersiz erimeden dolayı tam kaynamamış bölgeler meydana gelir. Kaynak dikişi düz veya dar zikzaklarla çekilmelidir. Geniş zikzaklar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğundan kullanılmamalıdır. İnce alüminyum levhaların gerek yarı otomatik gerekse de mekanize edilmiş MIG kaynağında genellikle Argon gazı kullanılır. Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyet elde etmek için Helyum gazı veya Helyum+Argon gaz karışımı kullanılır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur. Bu bakımdan kalın ve bilhassa döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi öntav uygulamak gerekir. Genellikle 15 mm'den daha kalın parçalara uygulanan öntav sıcaklığı 200 °C'yi geçmemelidir. Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak öntav yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlanır. Soğuk şekil değiştirme veya ısı işlem ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısı işlem ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi, bir çözeltiye alma tavı uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısı işlem uygulanarak sertleştirilir [7].

DATK (elektrot +) kullanılır. Argon korumasıyla bu akım ve bağlantı, kaynak banyosunun önünde ana metalin üstündeki oksit yüzeyini parçalar. Bu temizleme etkisinin, ana metal levhasını terk eden elektronlar ya da levhaya çarpan asal gaz iyonları veya bu iki olayın birlikte vaki olmasına bağlandığı sanılır.

DATK'ın etkisi, elektrotun yönü ne olursa olsun, ilâve metali arkın içinden elektrotun eksenini çizgisinde sevkeder. Bu nedenle ve alüminyumun özgül ağırlığı, yüzey gerilimi ve soğuma temposu dolayısıyla, yatay, dik ve tavan kaynakları

nispeten kolay gerçekleşir. Yüksek terk etme oranları mutad olup sair ergitme yöntemlerine göre daha az distorsiyon, daha yüksek kaynak mukavemeti ve daha düşük maliyet elde edilir. MIG yönteminin bir karakteristiği olan enerjinin verimli kullanılışı, çoğu kez ön ısıtmayı gereksiz kılar. Dolayısıyla süreç kalın Al kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır. Sıradan imalâta 1,6 mm'ye kadar incelikte alüminyum, MIG kaynağıyla birleştirilir [9].

MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu iş parçasına veya kaynak masasına bağlayarak ve torç ucundaki tel elektrotu kaynak ağzına değdirerek ark oluşturulur. Makine telin ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar. MIG kaynağı, uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımların kaynağında çok popüler ve aranan kaynak yöntemi haline gelmiştir. MIG yöntemindeki ark bölgesi şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir



Şekil 3.1. MIG yöntemindeki ark bölgesi

Bu yöntemde kaynak arkı Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi iş parçası ile aynı zamanda ilave metal olan, tükenen tel elektrot arasında oluşur. Alüminyumun MIG kaynağı doğru akım, elektrot pozitif kutupta yapılır. Bu kutuplama sprey damla geçişi olarak adlandırılır ve asal gaz atmosferi (Ar veya He veya Ar/He karışımı) altında korunur.

MIG kaynak yöntemi kalın çaplı tel elektrot kullanarak daha kararlı hale getirilebilir. Tel elektrotun düzgün olarak kaynak bölgesine iletilebilmesi için teflon spiral kullanılmalı, kılavuzlar ve tel sürme makaralarının yuvaları U biçimli olmalı, kontakt meme daha uzun olmalı ve iç çap toleransının daha fazla olması gerekir [7].

Çeliklere nazaran alüminyum malzemeleri kaynak yaparken, bu malzemeye özgü bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Alüminyum malzemeler, çeliklere göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan, kaynak nüfuziyeti daha düşük ve kaynak banyosunun gazlardan arınması daha geç olur. Alüminyum ve alaşımlarının ısıl genleşme katsayılarının büyük olması kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma dolayısıyla oluşan sıcaklık farkları şiddetli iç gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmalar ortaya çıkar [7].

Sonuç olarak, kaynak dikişinde yetersiz ergime ve gözenekler oluşabilir. İş parçasını ön tav yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavlayarak, bu tür kaynak hataları önlenir.

Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir.

Kaynak ağzı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağzının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır. İyi bir depolama ve mekanik işlemler sonrası kaynak yüzeylerinin özel bir yağ çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolaylaştırır. Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır

MIG yöntemi ile 4 mm'den büyük kesit kalınlığına sahip malzemeleri alın kaynağını veya köşe kaynağını tek pasoda yapmak mümkündür. Yüksek kaynak akımı ve güçlü bir nüfuziyet nedeniyle 6 mm'ye kadar kalınlığa sahip malzemelerde kaynak banyosunu desteklemek için kaynak altlığı kullanılır

Ayrıca alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler Tablo 3.1'de görülmektedir.

Tablo 3.1. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler

Malzeme Kalınlığı (mm)	Ağız Türü	Ağız Aralığı (mm)	Kök Alın Yüksekliği (mm)	Paso sayısı	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Tel İlerleme Hızı (m/dak)	Tel Çapı (mm)	Koruyucu Gaz (lt/dak)
4	I-Alın	0	-	1	23	180	3.2	1.2	12
5	I-Alın	0	-	1	25	200	4.3	1.6	18
5	V-Alın (70°)	0	1.5	1	22	160	5.6	1.6	18
6	I-Alın	0	-	1	26	230	7.1	1.6	18
6	V-Alın (70°)	0	1.5	1	22	170	6.0	1.6	18
8	V-Alın (70°)	0	1.5	2	26	220	6.8	1.6	18
10	V-Alın (60°)	0	2	3	26 24 26	220 200 230	6.2 6.0 7.2	1.6 1.6 1.6	20 20 20
12	V-Alın (60°)	0	1.5	3	26 26 28	240 220 250	13.7 12.2 15.6	1.2 1.2 1.2	23 23 23
12	V-Alın (60°)	0	1.5	2	27 27	260 280	3.6 3.9	2.4 2.4	25 25

Kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen seçilen kaynak parametreleridir. Bu nedenle uygun kaynak parametreler seçildiği takdirde alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, MIG kaynak yöntemi başarılı ve geniş kapsamlı olarak birçok sektörde uygulanabilmekte ve uygulanabilirliği de gün geçtikçe artacak gibi görünmektedir.

3.3. Dikişlerde gözeneklilik

Bazı kaynaklı birleşmelerde sınırlı miktarda gözeneğe müsaade edilirse de bu kusur süneklik, yorulma ve çekme mukavemeti üzerinde ters etki yapar. Al kaynaklarında gözenekliliğin başlıca nedeni, kaynak banyosunda sıkışıp kalan gazlardır. Gaz kaçmaya vakit bulamadan metal donunca, gözenek hasil olur. Gazlar, koruyucu gazda bulunabilen bulaşıcı maddelerden, hava ve sudan, kirli ana ve ilâve metalden bulaşmalar, fazla uzun ark ya da şiddetli ark etkisinden ileri gelebilirler. Kaynak banyosunda kalan gaz miktarı banyonun soğuma temposuna bağlıdır. Çeşitli gözeneklilik nedenleri ve önleyici tedbirler aşağıda gösterilmiştir [9].

Gaz sıkışmasını teşvik edici etkenler: Kaynak banyosu türbülansı (girdap-çevirisi), aşırı akım gaz sıkışmasına etki eder.

Önlemler: Damlacık intikalini stabilize etmek için uygun akım şiddeti seçimi yapılmalıdır. Kaynak hızının azaltılması gerekir.

Hidrojeni teşvik edici etkenler: Elektrot üzerinde yağ veya başka bulaşıcı maddeler temizlenmelidir. Elektrot üzerinde hidrate oksit filmi bulunmamalıdır. Koruyucu gazın ıslak olması, MIG tabancasında su kaçağı olması ve yağlı iş parçası hidrojene etki eder.

Önlemler: Temiz, yüksek kaliteli elektrotta kullanılmalıdır. Elektrot stokunu örtü altında tutmak gerekir. Uzun süre açık kalmış ambalajdan elektrot kullanılmamalıdır. Makaraları solventlerle temizlemek; layneri değiştirmek gerekir. 40°C'in üstünde çiğ noktali şişeleri kullanmamak gerekir. Su kaçağı dolayısıyla fazla ısınmış bulunan tabancanın tamir edilmesi gereklidir. Püskürmeyi asgariye indirecek kaynak koşullarına ayarlamak gereklidir.

Kaynak banyosunun hızlı soğuma temposu: Kaynağa alçak ısı girdi oranı, kaynaktan fazla hızlı ısı çekme temposu, eğer kullanılmışsa destek çubuğunun alçak sıcaklığı destek çubuğunun oluk şekli kaynak banyosunun hızlı soğuma temposuna etki eder.

Önlemler: Daha yüksek akım şiddeti veya daha yavaş kaynak hızı kullanmak gerekir. Sıcak destek çubukları kök gözenekliliğini azaltır. Destek çubuklarında sığ, geniş oluklar, dar derin oluklardan daha iyidir.

Hatalı tel sürme: Sürme makarası kaydırıyorsa, temas borusunda bere varsa, yanlış layner ölçüsü kullanılmışsa veya elektronik kusur hatalı tel sürmeye neden olur.

Önlemler: Makaralarda basıncı arttırmak, tırtıllı makara kullanmak, bunun U oluklu yerine V oluklu olması gerekir. Tabancaya giden kablonun eğim gereğini azaltmak için MIG makinasının yerini değiştirmek gerekir.

3.4. Gaz Sıkışması

Koruma gazı, hava veya gazlı bulaşıcılar, şiddetli ark etkisinin sonucu olarak kaynak banyosunda sıkışıp kalabilirler. Kaynak gözenekliği, hızlı donmuş buz kübü içinde kalmış hava kabarcıklarına benzer.

Kaynak banyosunda türbülans, damlacıkların intikaline bağlanır. Çok alçak bir akım şiddeti kullanıldığında arkın içinden iri metal tanecik geçişi vaki olup ince püskürme şeklinde iyi oluşmuş küçük damlacıklar haline göre daha burgaçlı banyo reaksiyonu hasil olur.

Aşırı yüksek akım şiddetleri, kaynak banyosunda bir gaz kabarcığı üzerine metal yığarak gaz sürükleyebilir. Tüm kabarcık kaçmaya vakit bulamadan bu metal donar [9].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyleerde kullanılan malzemeler

Çalışmalarda alüminyum levha olarak 3 mm kalınlığında 5xxxx serisi olan 5754 alaşımı kullanılmıştır. İlave tel de malzemeye uygun olan Al Mg 5 bileşimine sahip alüminyum tel kullanılmıştır. 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 nolu tablolarda malzeme ve alüminyum tele ait kimyasal bileşimler ve mekanik özellikler verilmiştir.

4.2. Kaynak Parametreleri

Tablo 4.1. 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 4.2. Ana malzemeye ait mekanik özellikler

Mekanik özellikler		
Çekme Dayanımı Mpa	Akma Dayanımı Mpa	% Uzama
225.0	132.0	18.90

1,2 mm kalınlığa sahip alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal bileşim ve mekanik özellikler:

Tablo 4.3. Alüminyum alaşımlı tele ait kimyasal özellikler

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

Tablo 4.4. Alüminyum alaşımlı tele ait mekanik özellikler

Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı Mpa	Akma Dayanımı Mpa	% Uzama	Erime Aralığı
260 N/mm ²	180 N/mm ²	%20	575-633

Kaynak makinası ve diğer kaynak özellikleri

1. EWM Hightec Welding Evolation Mıg kaynak makinası ile çalışılmıştır.
2. 1.2 mm kalınlığında AlMg5 alaşımlı alüminyum tel kullanılmıştır.
3. %100 Argon gazı kullanılmıştır.
4. Kaynak işlemi 10 °C sıcaklıkta yapılmıştır.
5. İşlem tek pasoda sola kaynak yöntemi ile yapılmıştır.
6. Kaynak esnasında altlık kullanılmamıştır.



Şekil 4.1. Kaynak makinası resimleri

Malzeme ve tel özellikleri seçilerek kaynak parametreleri de ayarlanarak orijinal parça da dâhil olmak üzere toplam 11 tane farklı kaynak yapıldı.

Özet olarak 1. 2. 3. 4. 5. numunelerde kaynak akımı, tel hızı ve kaynak gerilimi değiştirilerek işlem yapıldı. Kaynak metodu, koruyucu gaz ve parçalar arası mesafe sabit tutuldu. Her numune için kaynak hızı tespit edildi.

6. 7. 8. 9. ve 10. numuneler için ise kaynak akımı ve tel hızı sabit tutuldu kaynak gerilimi 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 180 mm 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	: AlMg5 kaynak teli(5356 alaşımı)
Kaynak işlemi	: DC MIG
Birleştirme tipi	: PA (Küt Alın Birleştirme)
Tel kalınlığı	: 1,2 mm
Gaz basıncı	: 18 bar
Tüp basıncı	: 110 bar
Temas ucu / iş mesafesi	: 2 mm

Kaynak parametreleri ise Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Numunelerin kaynak parametreleri

Numuneler	Amper (A)	Volt (V)	Tel Hızı (dak/m)	Koruyucu Gaz	Kaynak Hızı (sn)	Akım Tipi	Parçalar Arası Mesafe
Referans numune	80	15,0	5,2	Ar	22	DC	2 mm
1	85	15,6	5,5	Ar	21	DC	2 mm
2	90	15,8	5,7	Ar	19	DC	2 mm
3	75	15,2	5,0	Ar	27	DC	2 mm
4	70	14,0	4,5	Ar	30	DC	2 mm
5	65	14,4	4,0	Ar	28	DC	2 mm
6	80	16,4	5,2	Ar	23	DC	2 mm
7	80	15,5	5,2	Ar	21	DC	2 mm
8	80	14,0	5,2	Ar	20	DC	2 mm
9	80	14,5	5,2	Ar	21,5	DC	2 mm
10	80	15,8	5,2	Ar	17	DC	2 mm

4.3. Deney Numunelerinin Alınması

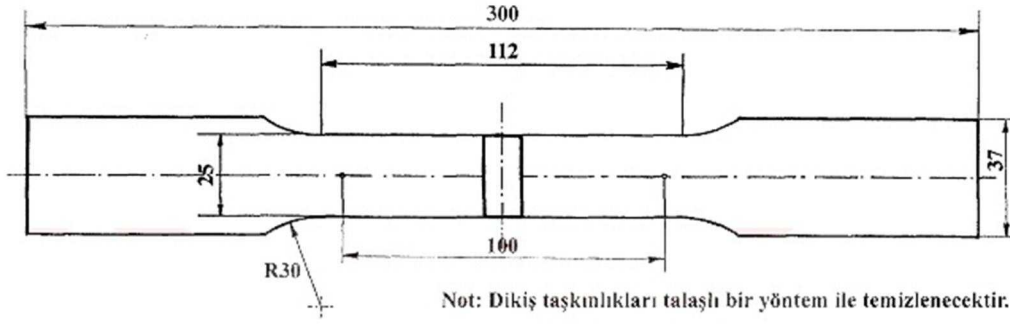
Yapılan çalışmada çekme dayanımı, eğme dayanımı, mikro sertlik, mikro ve makro yapı olmak üzere 5 farklı özellik araştırılmıştır. Deney numuneleri standartlara ve literatüre uygun ölçülerde çekme deneyi, eğme deneyi, mikro sertlik, mikro ve makro yapı için 2 şer tane ana malzemedan numune çıkarılmıştır.

4.3.1. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

Kaynaklı numuneler çekme deneyi için, Şekil 4.3' 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.



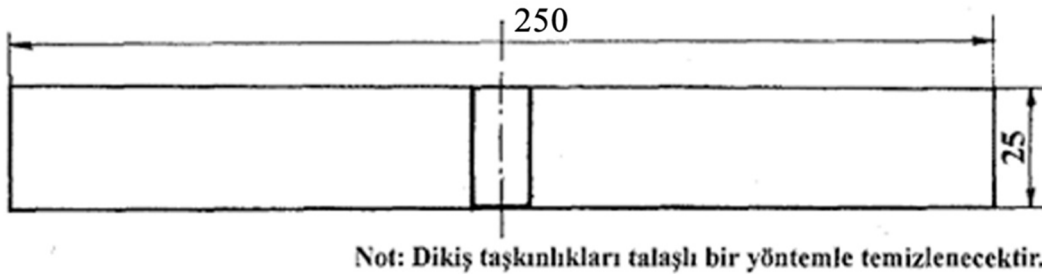
Şekil 4.2. Çekme deneyi makinesi ve çekilen numune



Şekil 4.3. EN 895'e uygun olarak hazırlanmış çekmeye deney parçası boyutları

4.3.2. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanması

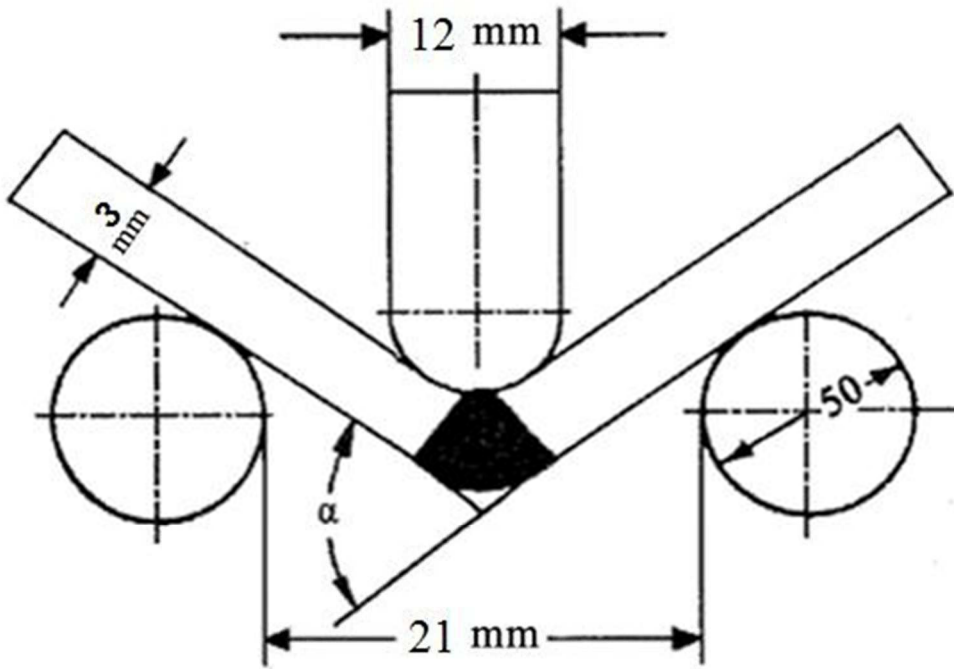
Kaynaklı numuneler eğme deneyi için, Şekil 4.4' de verilen ölçülere uygun olarak her kaynaklı parçadan 2 şer tane kesildi. Deney için ALŞA marka deney cihazı kullanılmış olup basma hızı 0,5 mm/s seçilmiştir.



Şekil 4.4. EN 910'a uygun olarak hazırlanmış eğme deney parçası boyutları



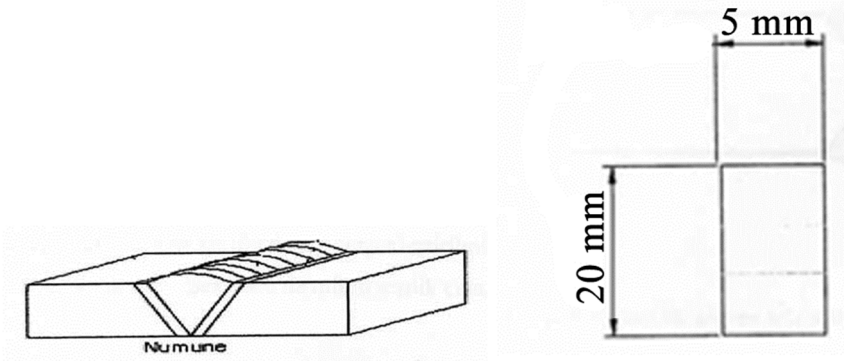
Şekil 4.5. Eğme deney makinesi ve eğilen numune



Şekil 4.6. Kaynak dikişleri eğme deneyi uygulama prensibi

4.3.3. Makro yapı numunelerinin hazırlanması

Makro yapı incelemeleri için her numuneden 2 şer tane olmak üzere kaynak yüzeyinin görülebildiği yerlerden numuneler alınmıştır. Numune ölçüleri şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. 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 kağıtları makinenin disklerine takılarak otomatik olarak bol su ile yapıldı. Ardından parlatma işlemine geçildi. Parlatma işlemi için cuha adı verilen bez kumaş makinenin disklerine takıldı. Kumaş diske takıldıktan sonra bez nemlenecek kadar ıslatıldı ardından 1 μ '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. Kelleri bileşimi aşağıdaki tablo 4.6' da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Keller bileşimi

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

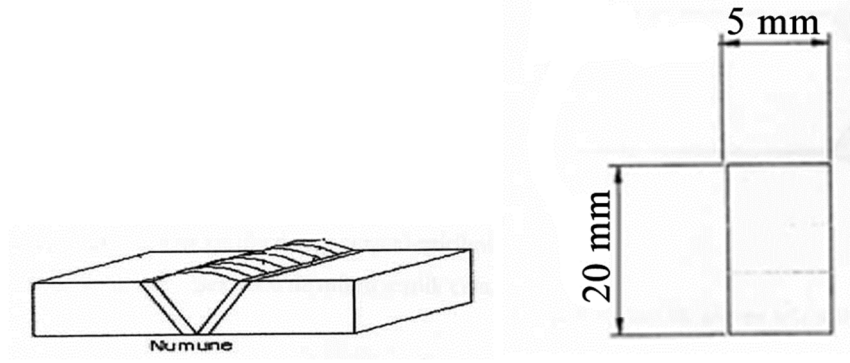
Dağlanan malzemelerin makro yapı fotoğrafları NIKON SMZ800 marka cihazla çekilmiştir.



Şekil 4.8. Makro görüntü alma cihazı

4.3.4. Mikro yapı numunelerinin hazırlanması

Mikro yapı incelemeleri için her numuneden 2 şer tane olmak üzere kaynak yüzeyinin görülebildiği yerlerden numuneler alınmıştır. Numune ölçüleri Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Mikro 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 kağıtları makinenin disklerine takılarak otomatik olarak bol su ile yapıldı. Ardından parlatma işlemine geçildi. Parlatma işlemi için cuha adı verilen bez 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 kalmayıncaya kadar parlatıldı. Parlatılmış numunelerin mikroskopta makro görüntülerinin alınabilmesi için alüminyum malzemeye özel olan keller dağlayıcı ile malzeme yüzeyleri dağlandı. Kelleri bileşimi aşağıdaki Tablo 4.7' de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Keller bileşimi

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

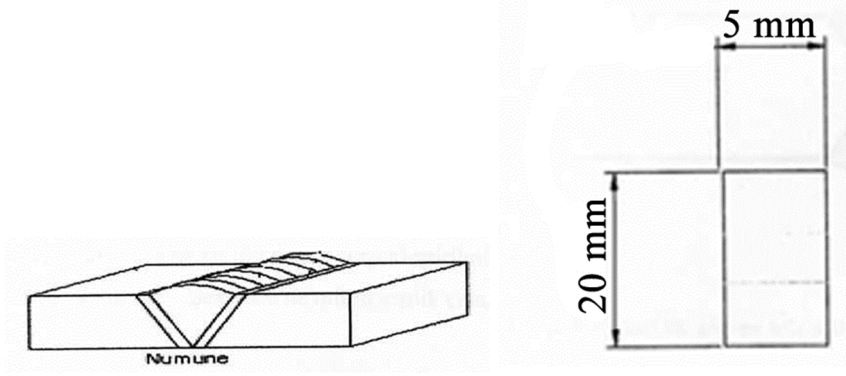
Dağlanan malzemelerin mikro yapı fotoğrafları NIKON SMZ800 marka cihazla çekilmiştir.



Şekil 4.10. Mikro görüntü alma cihazı

4.3.5. Mikro sertlik deney numunelerinin hazırlanması

Mikro sertlik deneyi için her numuneden 2 şer tane olmak üzere numune alınmıştır. Numune ölçüleri Şekil 4.11' de gösterilmektedir

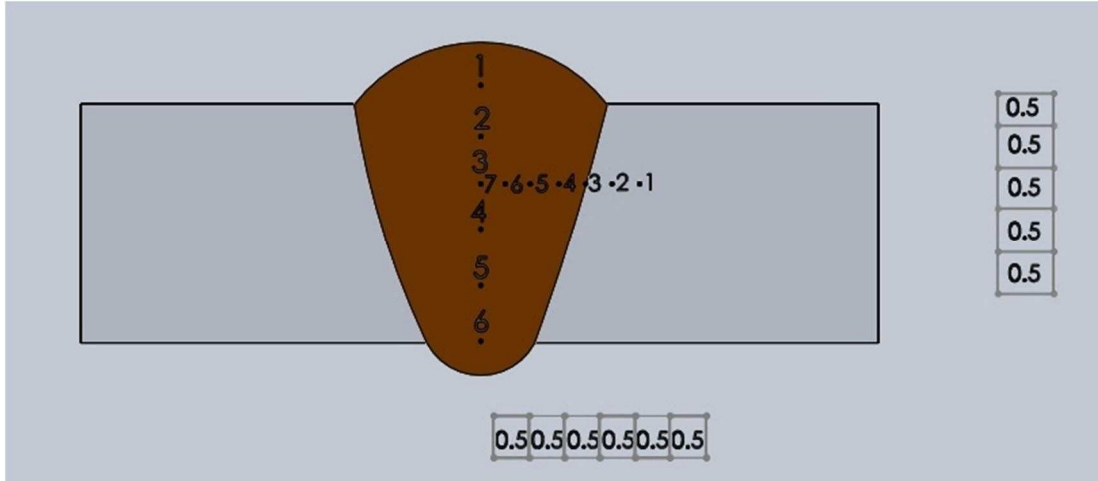


Şekil 4.11. Mikro sertlik numune örneği

Deney numunelerine kaynak yapıldıktan sonra 100 gr ön yük kullanılarak HMV Shimadzu marka mikro sertlik cihazıyla Şekil 4.13'de gösterilen yerlerden sertlik deneyi yapılarak malzemelerin sertlikleri alınmıştır. Şekil 4.12'de mikro sertlik cihazının resimleri görülmektedir.



Şekil 4.12. HMV Shimadzu mikro sertlik cihazı



Şekil 4.13. Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

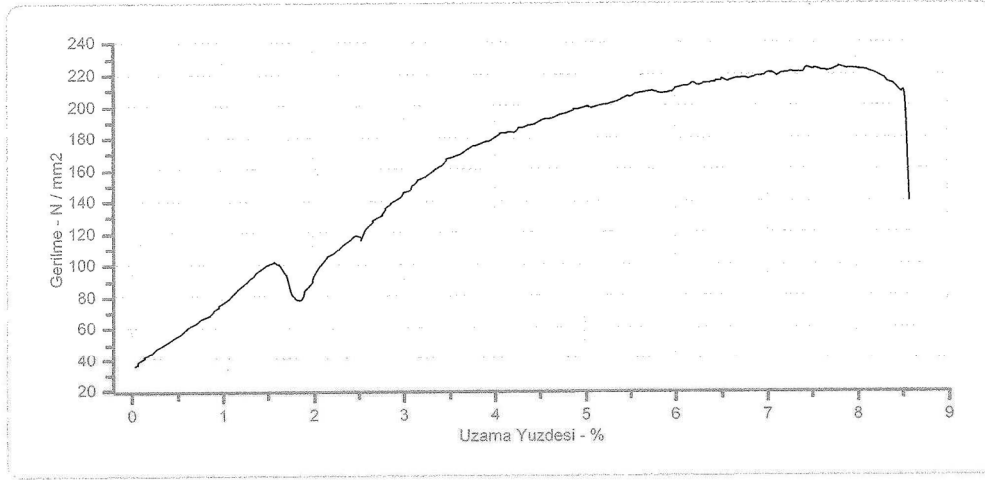
Çekme deneyi tek ekseninde belirli bir hızda ve sabit sıcaklıkta malzemenin kopuncaya kadar çekilmesidir [10]. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden biridir. Çekme kuvveti uygulandığında aynı zamanda numunenin uzaması da kaydedilir.

Kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme numunelerine uygulanan çekme deneyi sonucu elde edilen akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama miktarı ve kopmanın olduğu yeri belirten sonuçlar Tablo 5.1’de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. Numunelerin çekme deney sonuçları

Numune	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama	Kopmanın Yeri
Referans numune	102	225	8,6	ITAB
1	90	230	7,1	ITAB
2	103	229	8,6	ITAB
3	105	233	8,6	ITAB
4	102	227	5,7	KAYNAK
5	101	226	5,7	KAYNAK
6	87	226	7,1	ITAB
7	104	231	5,6	ITAB
8	102	232	7,1	ITAB
9	96	231	7,1	ITAB
10	101	227	5,7	KAYNAK

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
	74.4	70	76	102	1.08	225
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
208.1	208.46	211.28	212.2	212.84	16.74	8.6

Şekil 5.1. MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan referans numunenin gerilme uzama grafiği

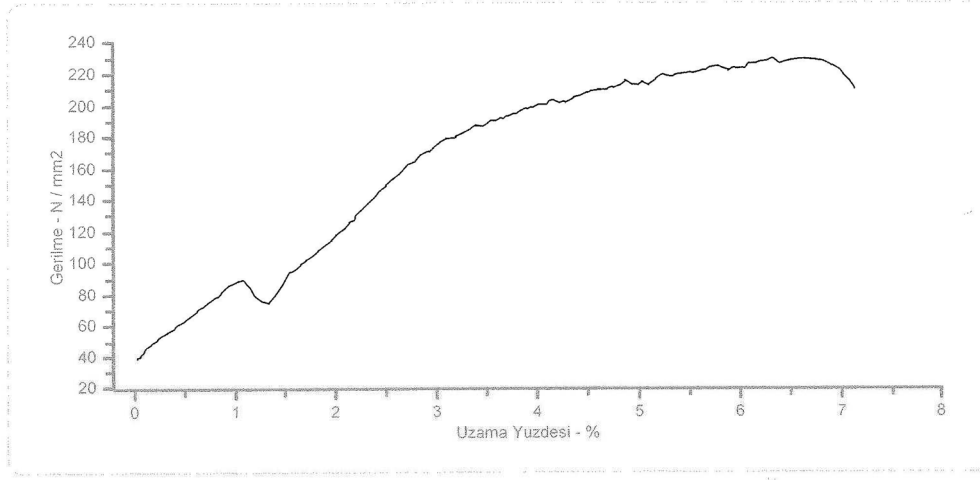
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

1 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	74.1	70	75	90	1.12	230
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
201.75	204.62	206.03	208.05	207.85	17.02	7.1

Şekil 5.2. MIG kaynak yöntemiyle 85 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 1 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

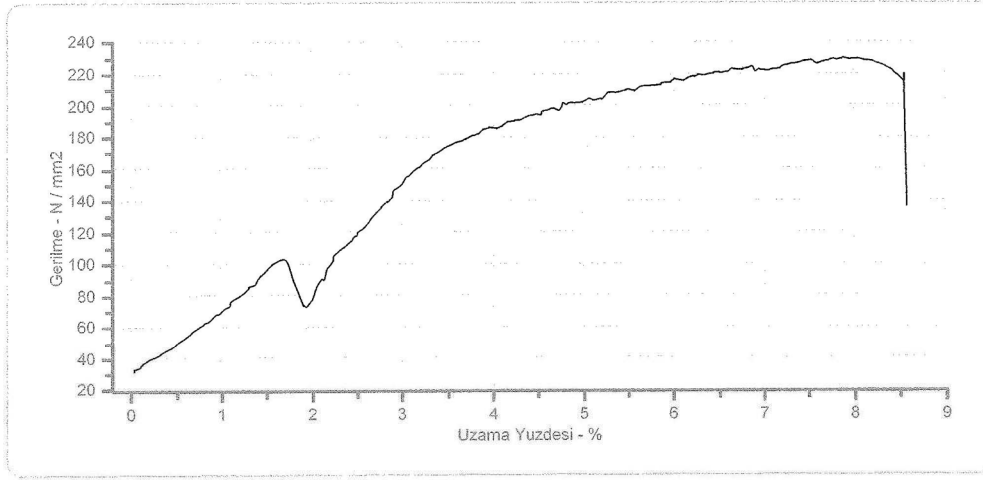
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

2 Numaralı Numunenin Çekme DeneY Grafiği



SÖNÜCLER

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	75	70	76	103	1.13	229
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
203.68	203.28	204.28	207.79	208.11	17.25	8.6

Şekil 5.3. MIG kaynak yöntemiyle 90 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 2 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

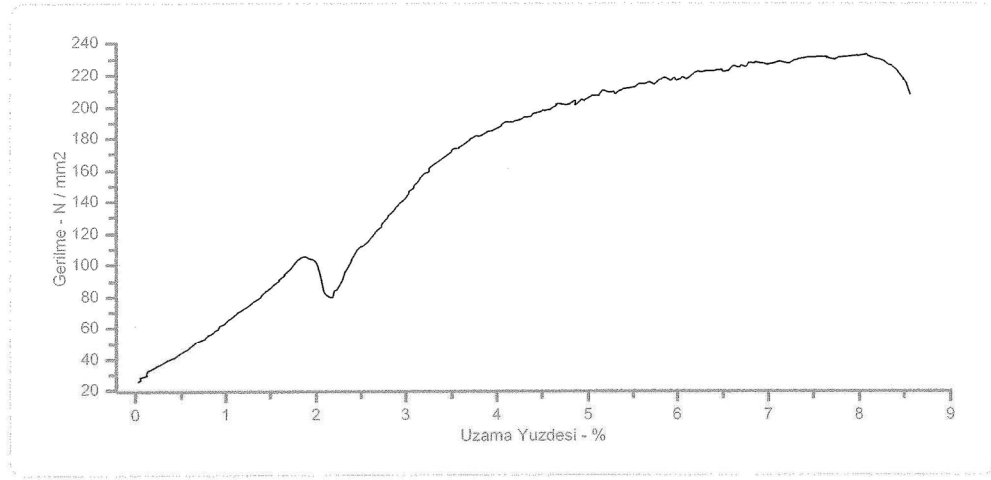
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

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
	75.6	70	76	105	1.13	233
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
203.76	206.77	206.77	206.89	209.94	17.62	8.6

Şekil 5.4. MIG kaynak yöntemiyle 75 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 3 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

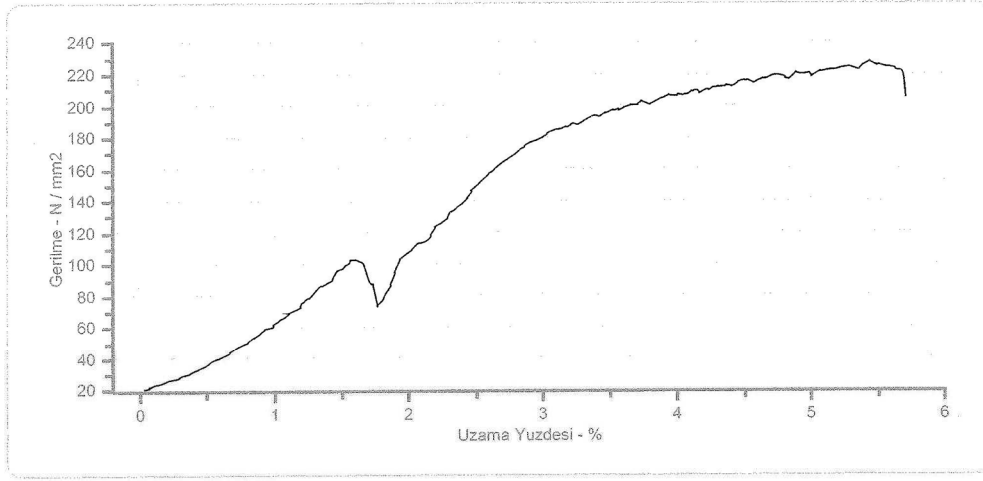
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

4 Numaralı Numunenin Çekme DeneY Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	75	70	74	102	1.11	227
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
202.68	204.92	206.71	206.19	206.19	17.07	5.7

Şekil 5.5. MIG kaynak yöntemiyle 70 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 4 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

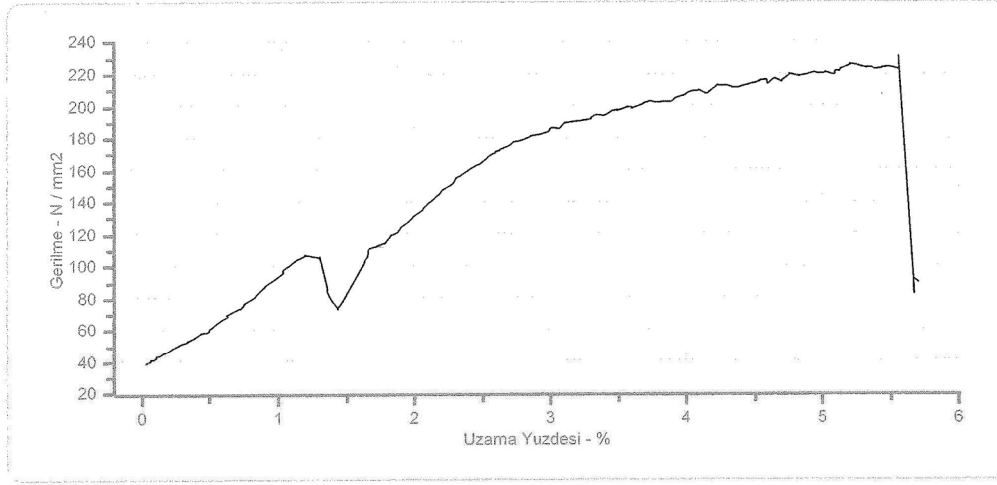
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

5 Numaralı Numunenin Çekme DeneY Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	74.4	70	74	101	2.04	226
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
101.29	110.71	112.28	114.57	118.79	16.8	5.7

Şekil 5.6. MIG kaynak yöntemiyle 65 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 5 nolu numunenin gerilme uzama 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 - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	74.1	70	75	87	1.15	226
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
195.69	197.23	198.44	200.82	200.94	16.75	7.1

Şekil 5.7. MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 6 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

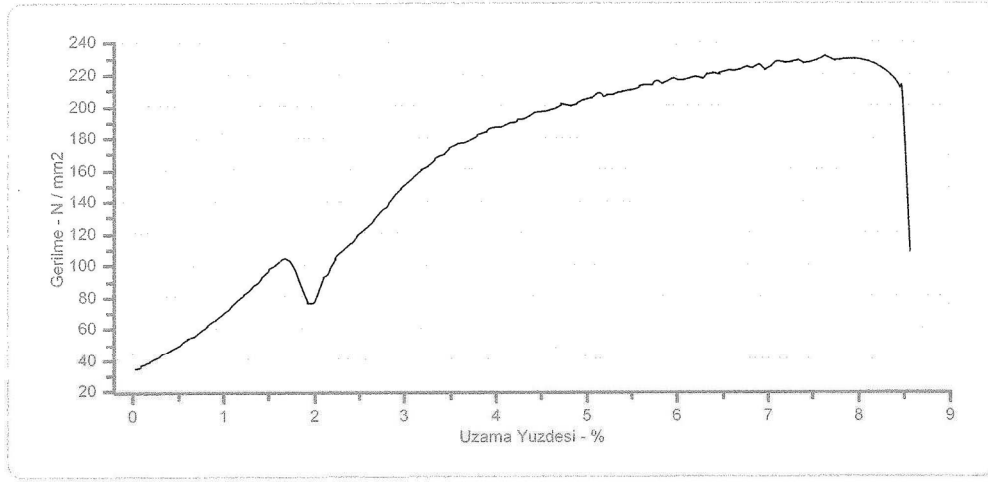
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

7 Numaralı Numunenin Çekme DeneY Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	74.4	70	76	104	2.18	231
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
98.56	106.32	111.03	113.68	114.17	17.24	8.6

Şekil 5.8. MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 7 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

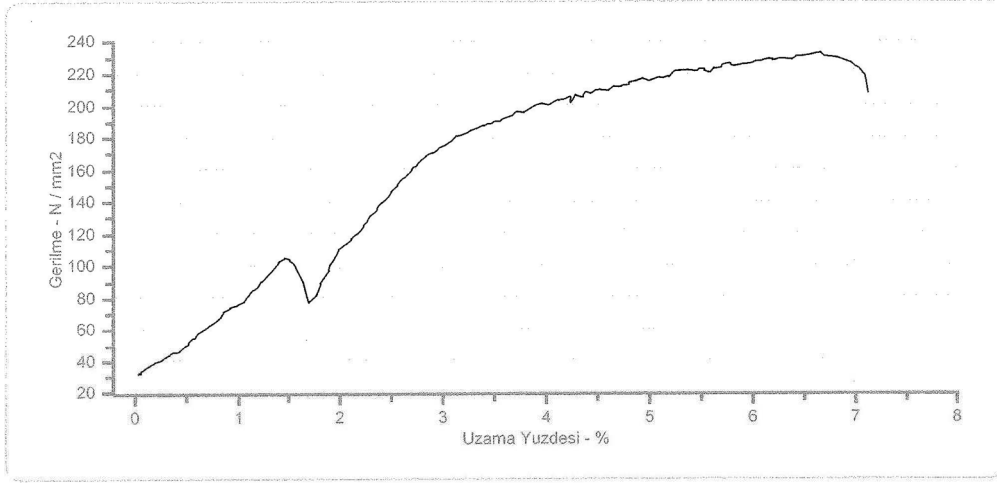
$$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$$

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

$$L_0 = \text{İlk Boy}$$

$$L_1 = \text{Son Boy}$$

8 Numaralı Numunenin Çekme DeneY Grafiği



SONUCLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm2	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm2	Rm / Rp02	Rm N/mm2
	74.4	70	75	102	1.14	232
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
206.29	205.04	208.14	209.59	209.46	17.32	7.1

Şekil 5.9. MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 8 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

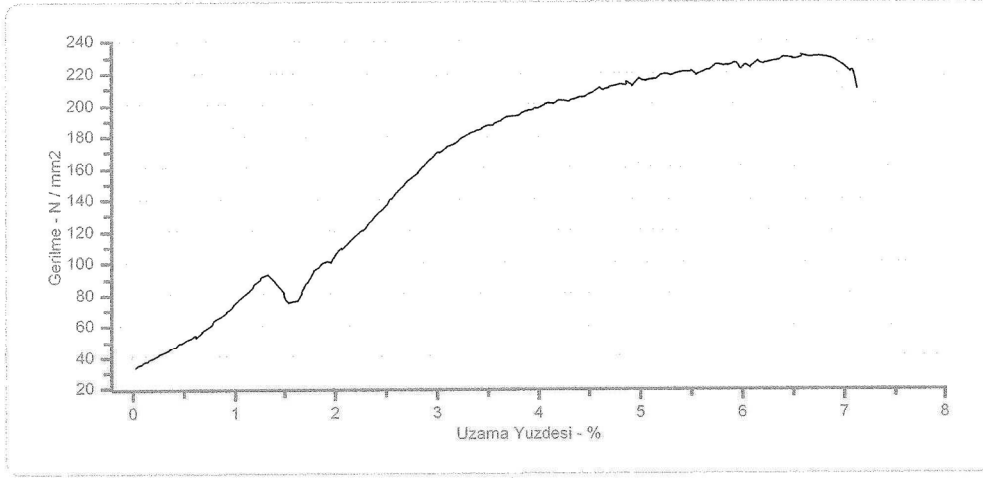
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

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
	71.4	70	75	96	1.13	231
Rp0.1 N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	Rp0.5 N/mm2	Fm KN	Uzama %
204.64	204.73	206.57	207.54	210.26	16.51	7.1

Şekil 5.10. MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 9 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

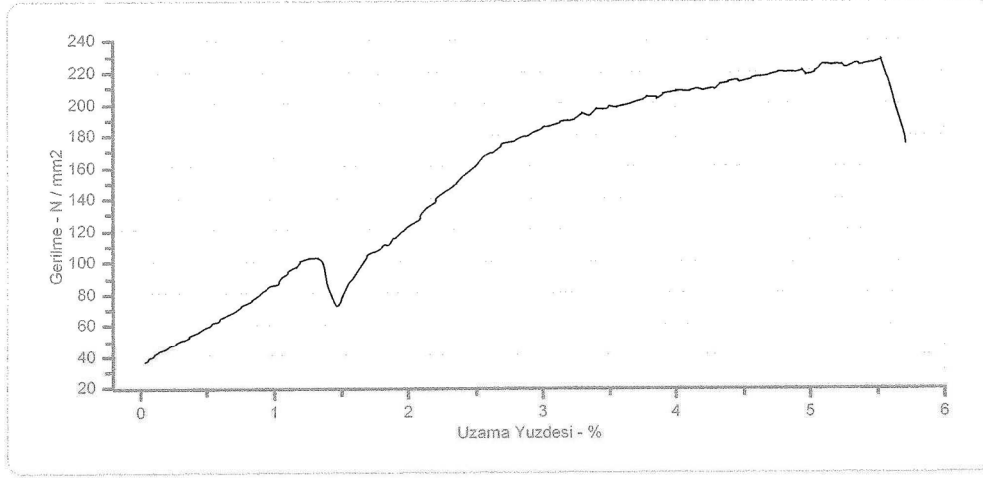
$ReH \text{ N/mm}^2 = \text{Akma Dayanımı}$

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

$L_0 = \text{İlk Boy}$

$L_1 = \text{Son Boy}$

10 Numaralı Numunenin Çekme Deney Grafiği



SONUÇLAR

Numune No	Kesit Alanı - mm ²	L0 Boyu - mm	L1 Boyu - mm	ReH N/mm ²	Rm / Rp02	Rm N/mm ²
	72.9	70	74	101	1.1	227
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 %
205.07	207.41	208.03	207.95	207.95	16.6	5.7

Şekil 5.11. MIG kaynak yöntemiyle 80 amperde argon koruyucu gaz altında kaynak yapılan 10 nolu numunenin gerilme uzama grafiği

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

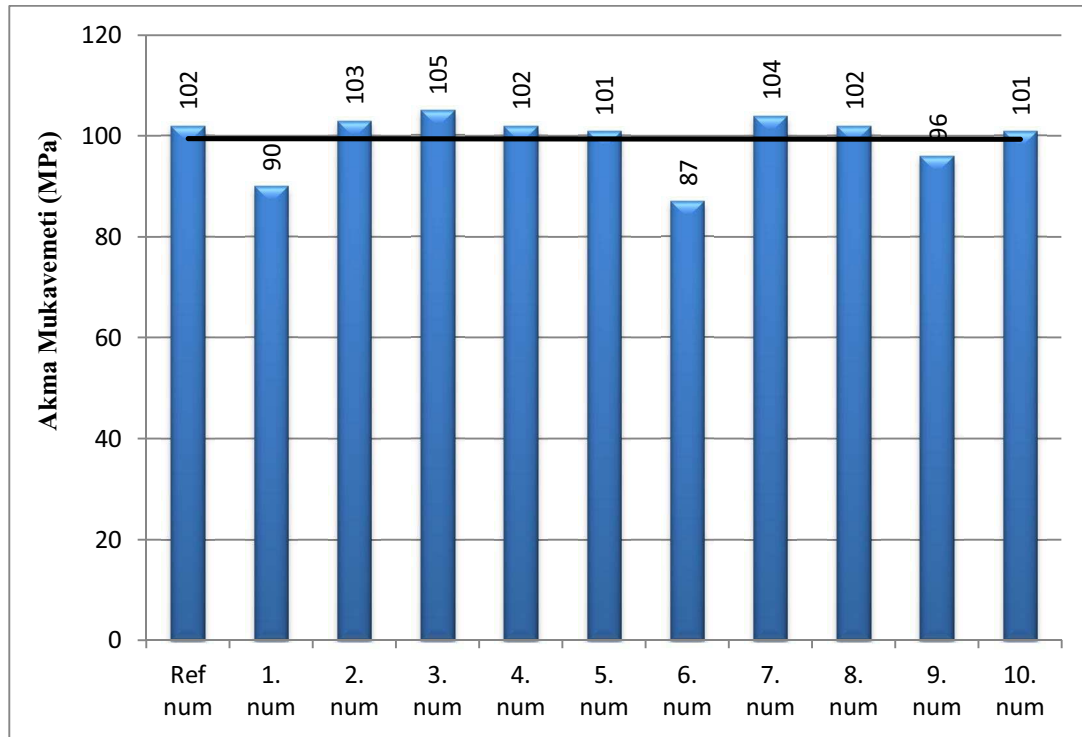
$Rm \text{ N/mm}^2 = \text{Çekme Dayanımı}$

$L_0 = \text{İlk Boy}$

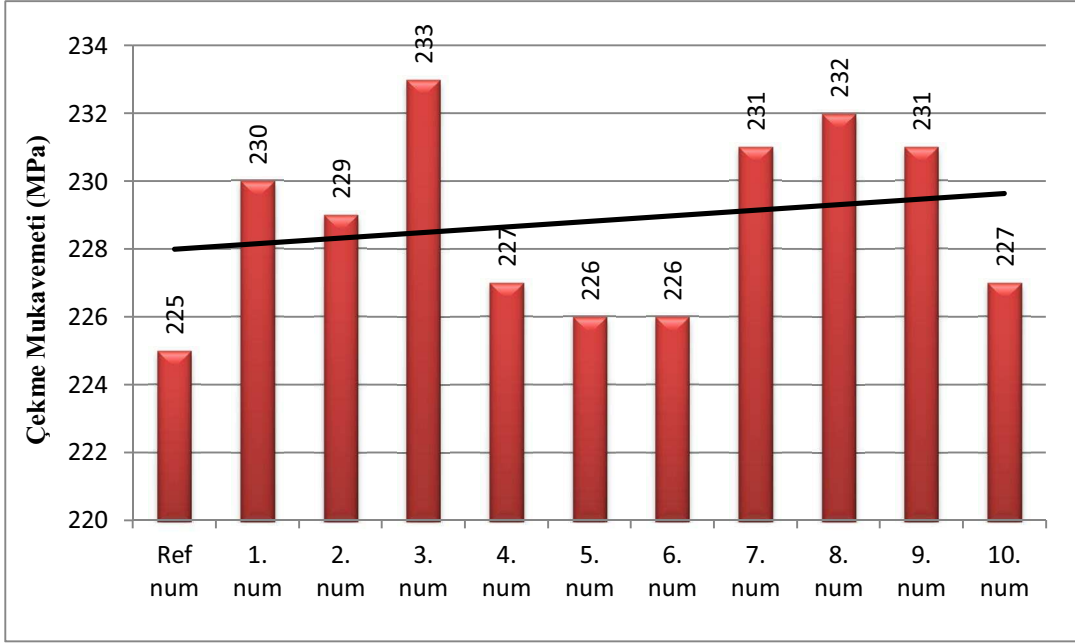
$L_1 = \text{Son Boy}$

Akma mukavemetindeki sonuçlara bakıldığında optimum akma değerine göre değerlerde fazla bir değişme söz konusu değildir. Bunun sebebi olarak tel hızının yakın değerlerde seçilmiş olabileceği muhtemeldir. Yapılan literatür taramalarına göre tel hızını biraz azaltmak veya arttırmak malzemenin akma mukavemetini düşürmektedir. [11]

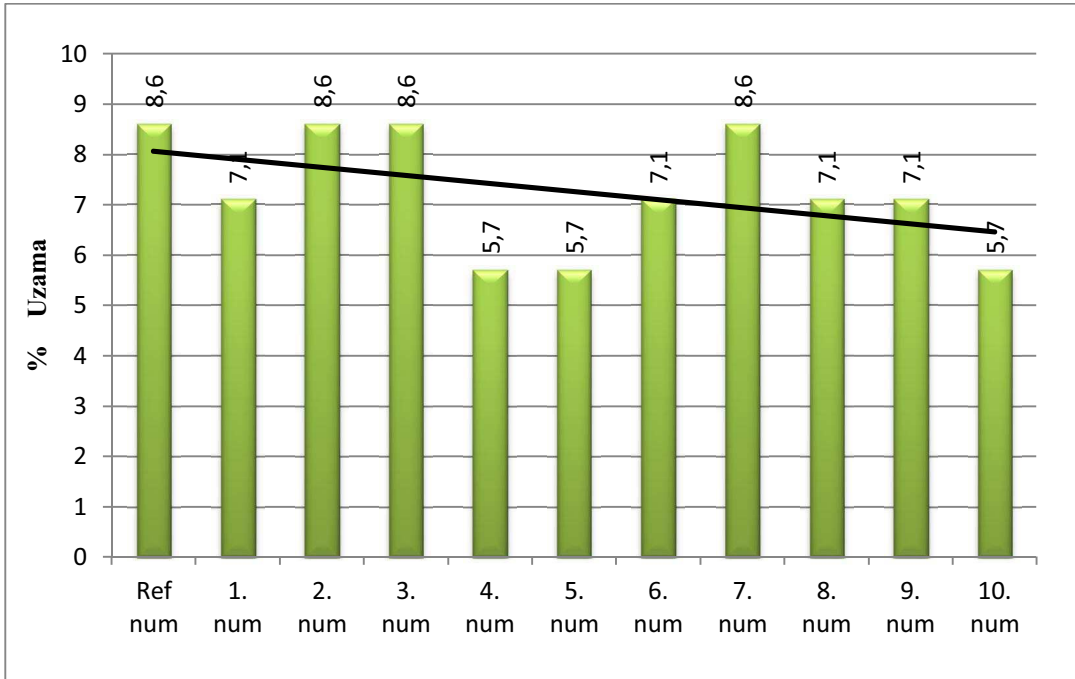
Çekme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında kaynak gerilimini belirli bir değerde azaltığımızda veya arttırdığımızda mukavemetin artması yönünde bir sonuç elde edilmesiyle beraber kaynak gerilimi parametresi de uygun değerlerde seçildiği için numunelerin çekme mukavemetlerinde sürekli bir artış tespit edilmiştir. Bununla beraber tel hızının da çekme mukavemetine etkisi göz ardı edilmemelidir. Şöyle ki tel hızı artışından dolayı kaynak dikişinde biriken ilave metalin çekme mukavemetine olumlu etkisi vardır.



Şekil 5.12. Numunelerin akma dayanımları



Şekil 5.13. Numunelerin çekme dayanımları



Şekil 5.14. Numunelerin % uzamaları

Yüzde uzama sonuçlarına baktığımızda kaynak gerilimini 0,5 V gibi kısa bir aralıkta değiştirdiğimizde yüzde uzamada pozitif yönde etki yaptığı görülmüştür. Fakat değerleri biraz daha azalttığımızda veya arttırdığımızda uzama değerleri tersine dönmüş azalmaya başlamıştır. Tel hızında ise azalmayla birlikte yüzde uzama artmış tel hızını arttırdığımızda uzamada azalma görülmüştür. Bunun sebebi tel hızı arttıkça daha fazla kaynak metali girdisinden dolayı kaynak bölgesinde bir yığılma meydana gelmiş bu ise bu bölgede malzemedeki sertlik meydana getirmiştir. Kaynak akımının azaltılması veya artırılması sonucunda yüzde uzamada azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5.15. Kopan numuneler 1 - 5



Şekil 5.16. Kopan numuneler 6 – 10

5.1.1. Elastik modül hesap sonuçları

Referans Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{102}{\frac{76 - 70}{70}} = 1190 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1)$$

1.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{90}{\frac{75 - 70}{70}} = 1260 \text{ N/mm}^2 \quad (5.2)$$

2.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{103}{\frac{76 - 70}{70}} = 1201 \text{ N/mm}^2 \quad (5.3)$$

3.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{105}{\frac{76 - 70}{70}} = 1225 \text{ N/mm}^2 \quad (5.4)$$

4.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{102}{\frac{74 - 70}{70}} = 1785 \text{ N/mm}^2 \quad (5.5)$$

5.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{101}{\frac{74 - 70}{70}} = 1767 \text{ N/mm}^2 \quad (5.6)$$

6.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{87}{\frac{75 - 70}{70}} = 1218 \text{ N/mm}^2 \quad (5.7)$$

7.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{104}{\frac{76 - 70}{70}} = 1213 \text{ N/mm}^2 \quad (5.8)$$

8.Numune İçin

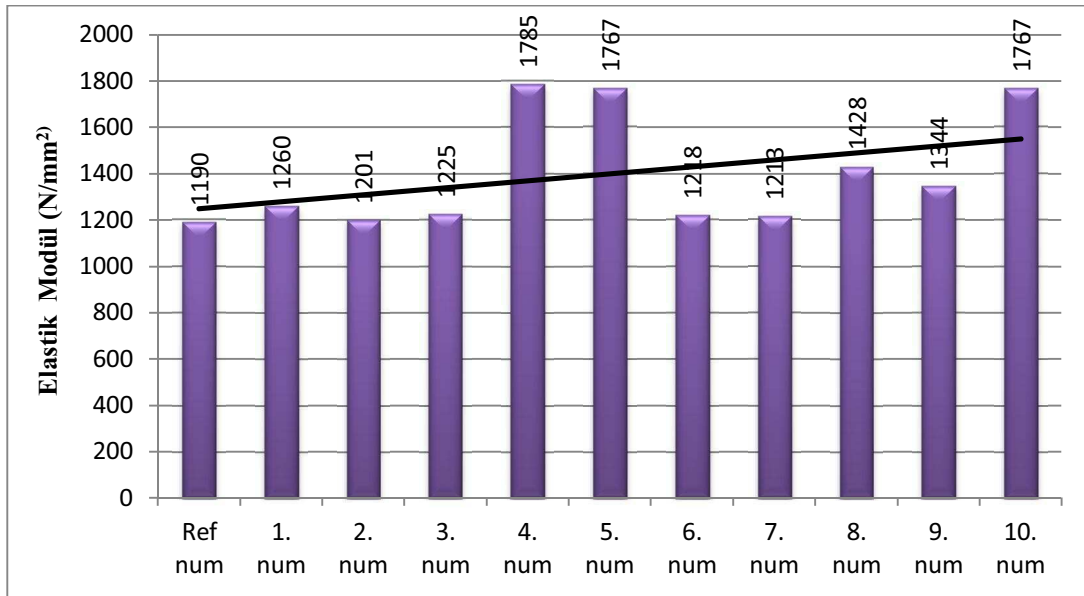
$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{102}{\frac{75 - 70}{70}} = 1428 \text{ N/mm}^2 \quad (5.9)$$

9.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{96}{\frac{75 - 70}{70}} = 1344 \text{ N/mm}^2 \quad (5.10)$$

10.Numune İçin

$$E = \frac{\sqrt{A}}{e} \quad E = \frac{101}{\frac{74 - 70}{70}} = 1767 \text{ N/mm}^2 \quad (5.11)$$



Şekil 5.17. Elastik modül hesaplarının grafiği

5.1.2. Rezilyans modül hesap sonuçları

Referans Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(102)^2}{2 \times 1190} = 6,190 \text{ N/mm}^2 \quad (5.12)$$

1.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(90)^2}{2 \times 1260} = 5,103 \text{ N/mm}^2 \quad (5.13)$$

2.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(103)^2}{2 \times 1201} = 6,370 \text{ N/mm}^2 \quad (5.14)$$

3.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(105)^2}{2 \times 1225} = 6,752 \text{ N/mm}^2 \quad (5.15)$$

4.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(102)^2}{2 \times 1785} = 9,285 \text{ N/mm}^2 \quad (5.16)$$

5.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(101)^2}{2 \times 1767} = 9,012 \text{ N/mm}^2 \quad (5.17)$$

6.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(87)^2}{2 \times 1218} = 4,609 \text{ N/mm}^2 \quad (5.18)$$

7.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(104)^2}{2 \times 1213} = 6,559 \text{ N/mm}^2 \quad (5.19)$$

8.Numune İçin

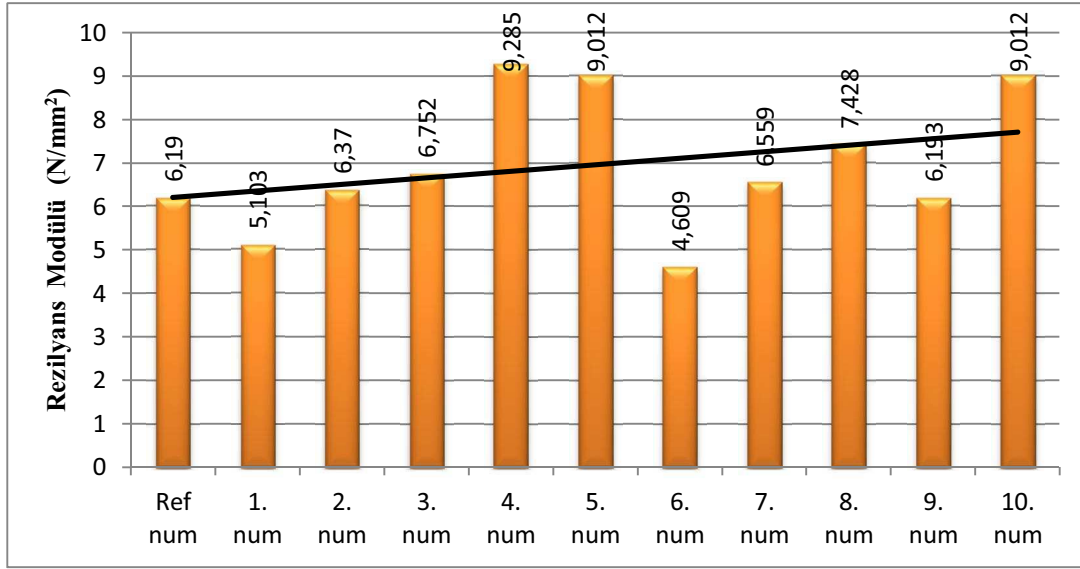
$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(102)^2}{2 \times 1428} = 7,428 \text{ N/mm}^2 \quad (5.20)$$

9.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(96)^2}{2 \times 1344} = 6,193 \text{ N/mm}^2 \quad (5.21)$$

10.Numune İçin

$$U_R = \frac{\sigma_A^2}{2E} \quad U_R = \frac{(101)^2}{2 \times 1767} = 9,012 \text{ N/mm}^2 \quad (5.22)$$



Şekil 5.18. Rezilyans modül hesapları grafiği

5.1.3. Tokluk hesabı sonuçları

Referans Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 213 \cdot de = 17,04 \text{ N/mm}^2 \quad (5.23)$$

1.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,07} 210 \cdot de = 14,7 \text{ N/mm}^2 \quad (5.24)$$

2.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 217 \cdot de = 17,36 \text{ N/mm}^2 \quad (5.25)$$

3.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 205 \cdot de = 16,4 \text{ N/mm}^2 \quad (5.26)$$

4.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,05} 220 \cdot de = 11,0 \text{ N/mm}^2 \quad (5.27)$$

5.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,05} 222 \cdot de = 11,1 \text{ N/mm}^2 \quad (5.28)$$

6.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,07} 212 \cdot de = 14,84 \text{ N/mm}^2 \quad (5.29)$$

7.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,08} 210 \cdot de = 16,8 \text{ N/mm}^2 \quad (5.30)$$

8.Numune İçin

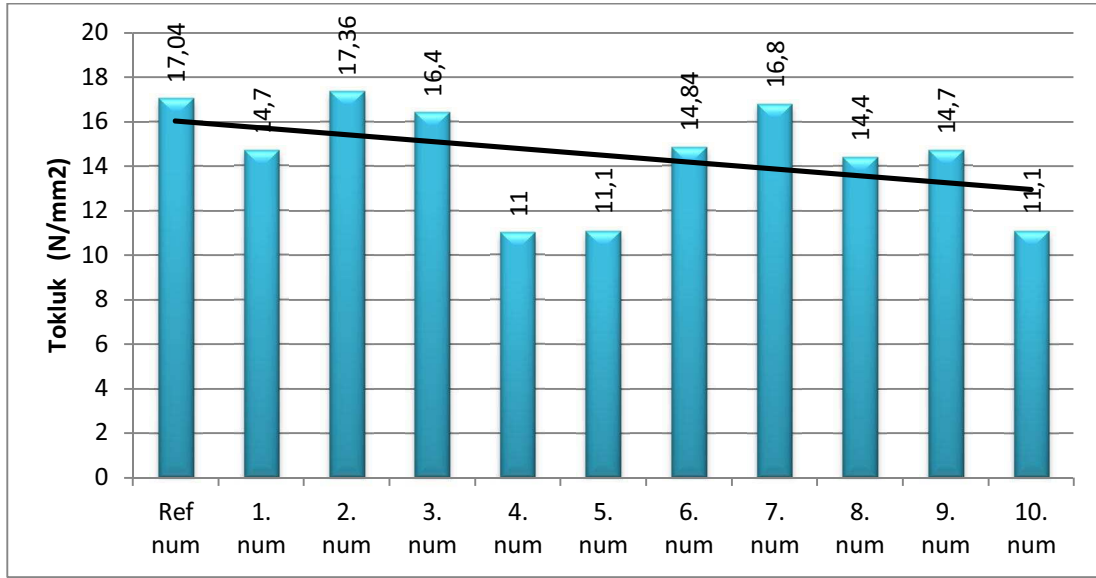
$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,07} 206 \cdot de = 14,4 \text{ N/mm}^2 \quad (5.31)$$

9.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,07} 210 \cdot de = 14,7 \text{ N/mm}^2 \quad (5.32)$$

10.Numune İçin

$$\text{Tokluk} = \int_0^{\text{ek}} \sigma_m \cdot de \quad \text{Tokluk} = \int_0^{0,05} 223 \cdot de = 11,1 \text{ N/mm}^2 \quad (5.33)$$



Şekil 5.19. Tokluk hesapları grafiği

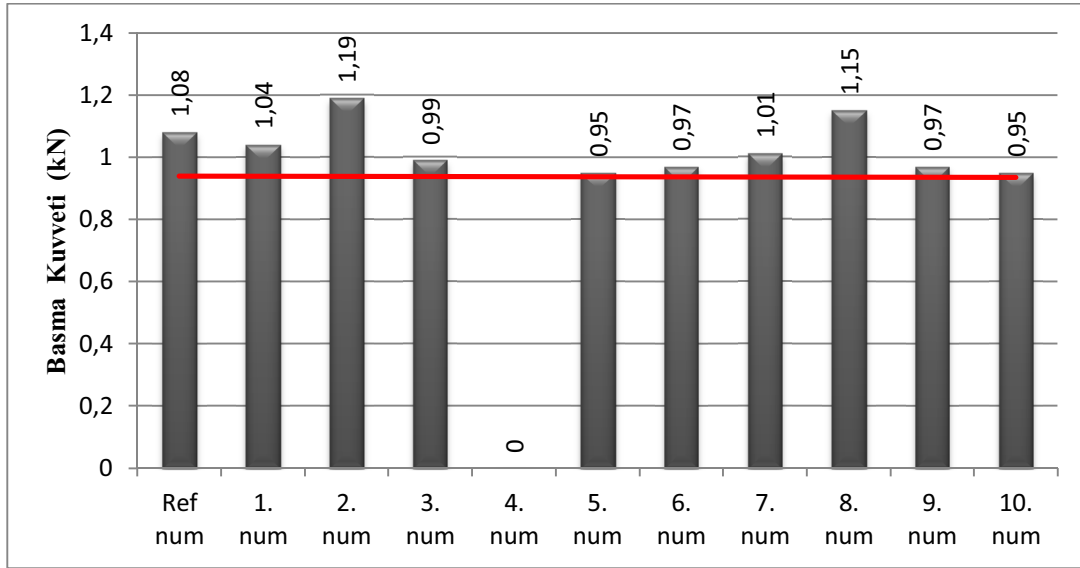
5.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Eğme deneyi üç noktadan yükün binmesiyle belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta tek noktadan basılmasıdır [10]. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden biridir. Bu deney bize malzemenin eğmeye karşı gösterdiği davranış dayanımını verecektir.

Yapılan deneylerin hiçbirinde çatlama görülmemiştir. Tablo 5.5 ve Tablo 5.7'de eğme deneyi sonucunda numunelerin eğme dayanımları verilmiştir.

Tablo 5.2. Numunelerin eğme deneyi (Kep) sonucu eğme dayanımları

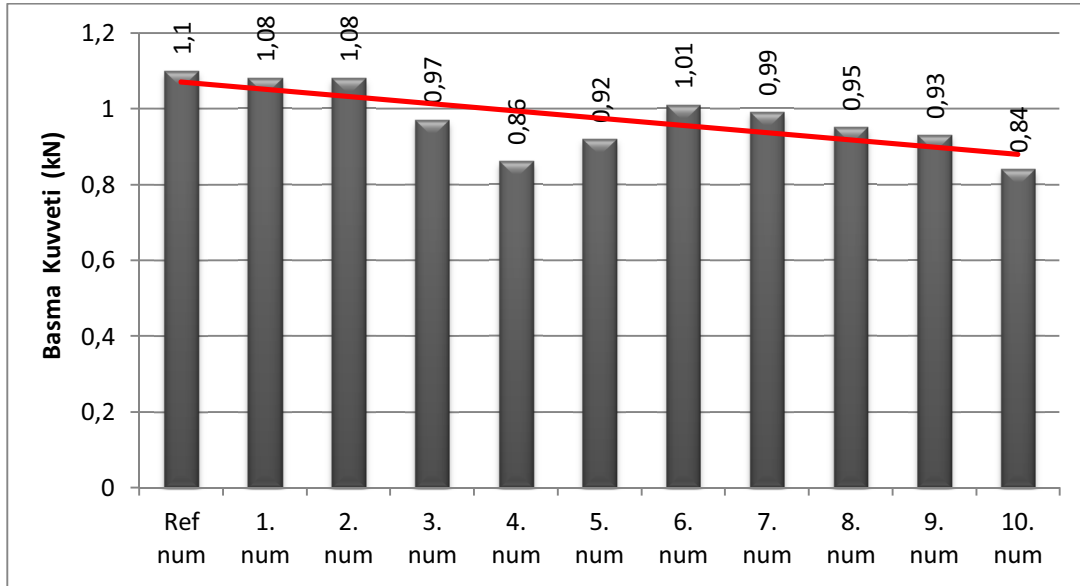
Referans N.	Kep Eğme (Yüzey)		
	Basma Kuvveti (kN)	Max. Gerilme	Uzama
Referans N.	1,08	1,62	4,50
1	1,04	1,58	4,95
2	1,19	1,73	5,10
3	0,99	1,55	5,56
4	-	-	
5	0,95	1,49	5,00
6	0,97	1,52	4,10
7	1,01	1,58	4,25
8	1,15	1,80	4,25
9	0,97	1,52	4,81
10	0,95	1,49	5,00



Şekil 5.20. Eğme deneyi (Kep) sonuçları grafiği

Tablo 5.3. Numunelerin eğme deneyi (Kök) sonucu eğme dayanımları

Referans N.	Kök Eğme (Sakal)		
	Basma Kuvveti (kN)	Max. Gerilme	Uzama
Referans N.	1,10	1,75	4,40
1	1,08	1,69	4,35
2	1,08	1,69	4,31
3	0,97	1,52	5,69
4	0,86	1,35	5,00
5	0,92	1,44	5,68
6	1,01	1,58	4,15
7	0,99	1,55	4,21
8	0,95	1,49	4,17
9	0,93	1,47	4,91
10	0,84	1,32	4,82



Şekil 5.21. Eğme deneyi (Kök) sonuçları grafiği

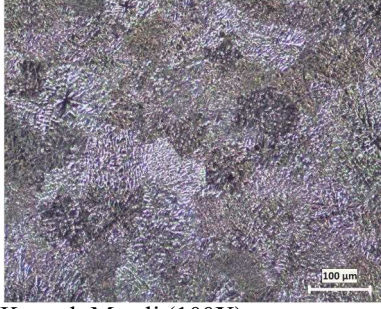


Şekil 5.22. Eğme deneyine tabi tutulmuş numuneler

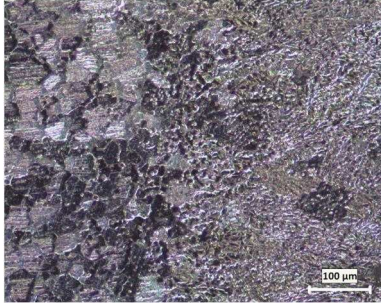
Eğme sonuçlarına bakıldığında toplam 11 numune incelendiğinde amper değerindeki değişimler eğme sonuçların da olumlu bir etki yaptığı açık bir şekilde fark edilmiştir. Diğer kaynak parametrelerinde ise kaynak gerilimi de genelde pozitif etki yapıp basma kuvvetini arttırmış fakat tel hızı değişimi basma kuvvetinde olumsuz bir etki yapmıştır. Yapılan eğme deneyi sonucunda kep ve kök eğmelerinde tüm numunelerin yüzeyinde çatlama rastlanılmamıştır. Yalnız 4 numaralı numunenin kep eğmesinde deney parçası kaynaklı bölgeden kırılmıştır. Bunun nedeni ise alınan numunenin kaynak bölgesinde gözenekli yapı oluşmuş olması muhtemeldir.

5.3. Mikro Yapı İncelemeleri

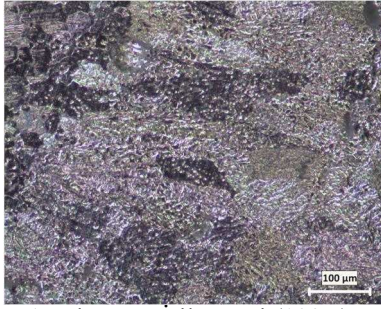
Numunelerin mikro yapı görüntüleri 100X büyütme ile yapılmış olup aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



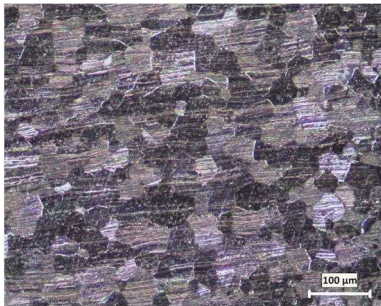
Kaynak Metali (100X)



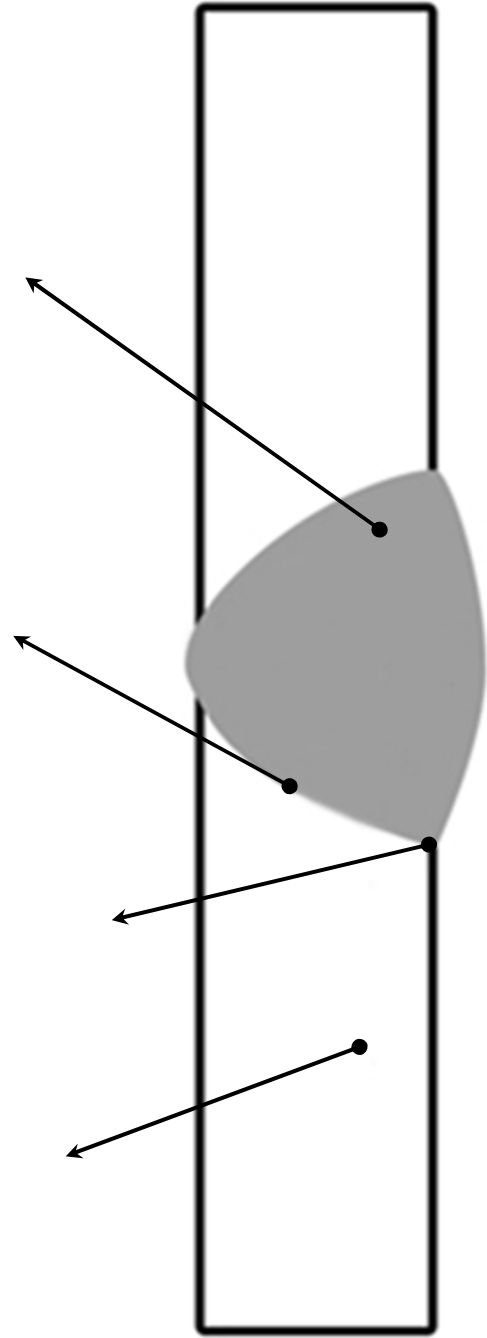
Geçiş Bölgesi (100X)



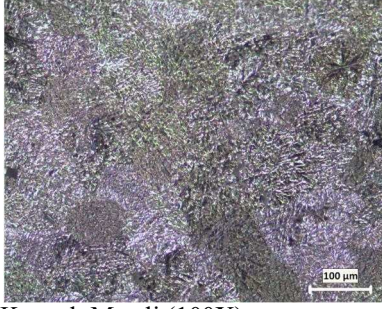
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



Ana Malzeme (100X)



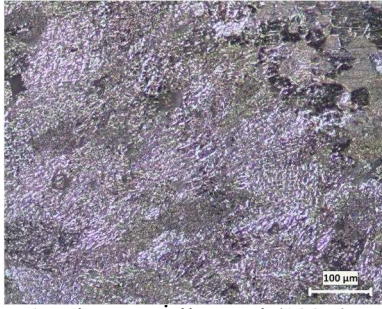
Şekil 5.23. Referans numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



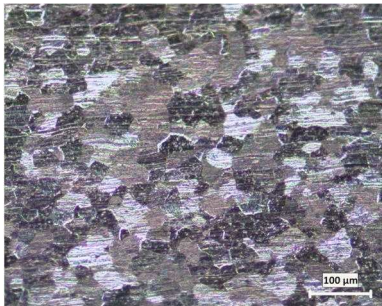
Kaynak Metali (100X)



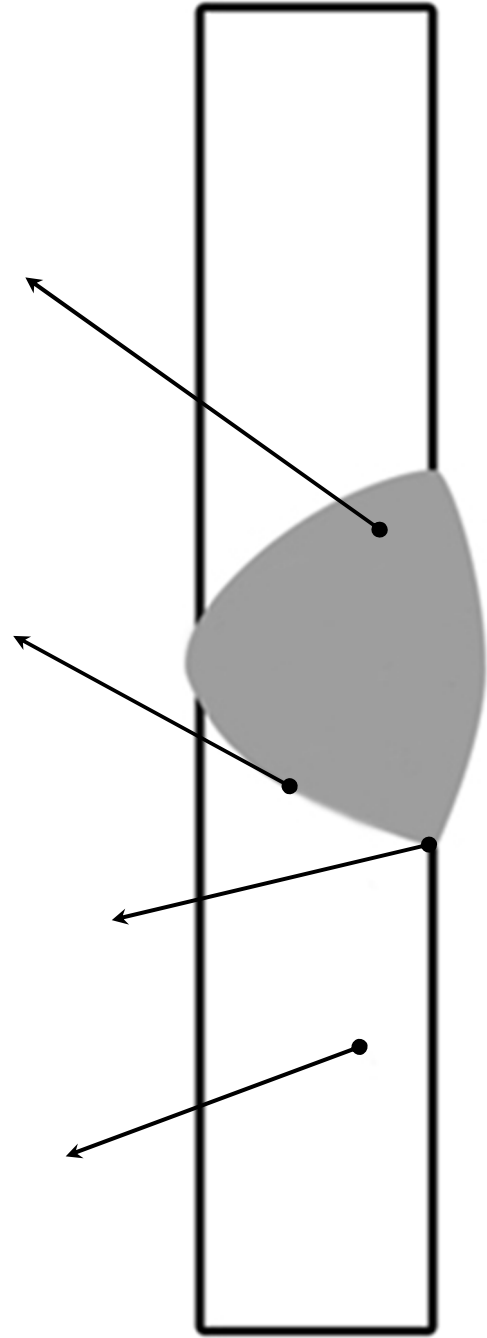
Geçiş Bölgesi (100X)



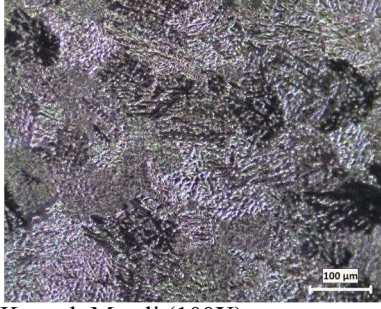
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



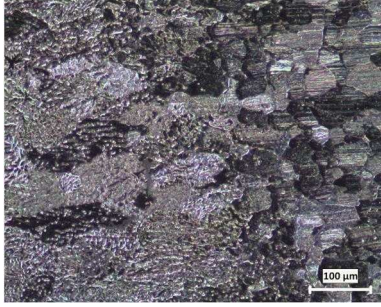
Ana Malzeme (100X)



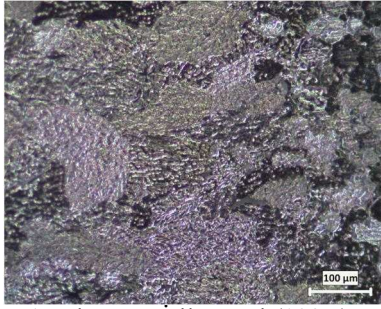
Şekil 5. 24. 1 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



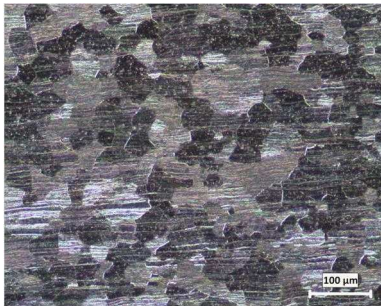
Kaynak Metali (100X)



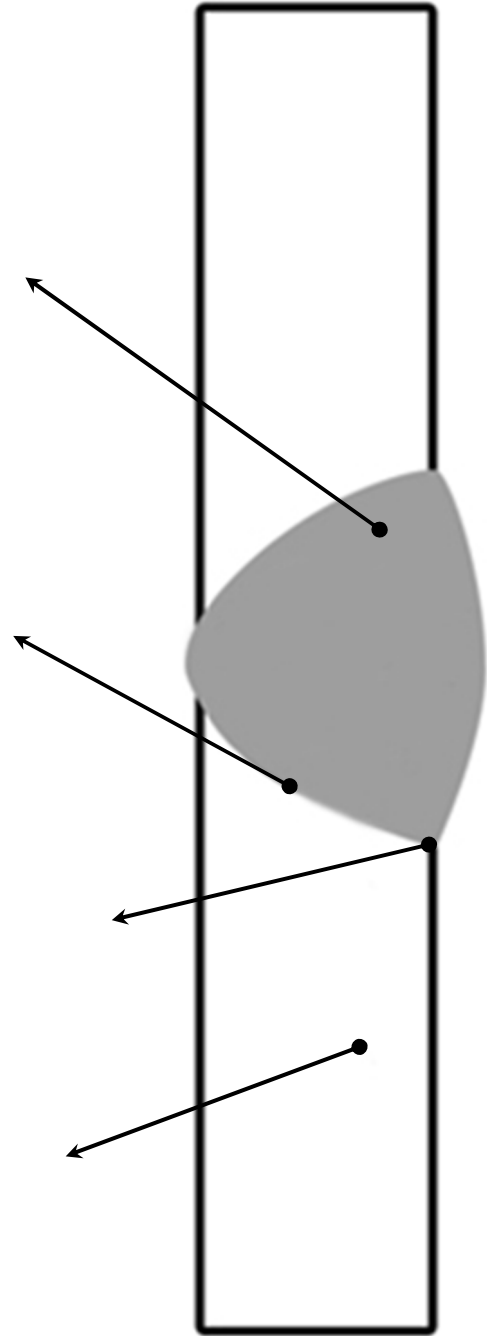
Geçiş Bölgesi (100X)



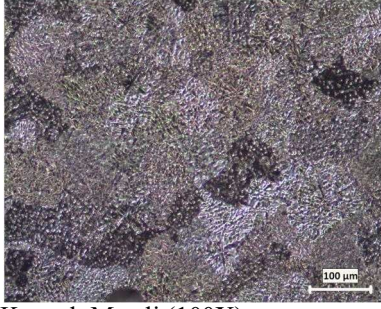
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



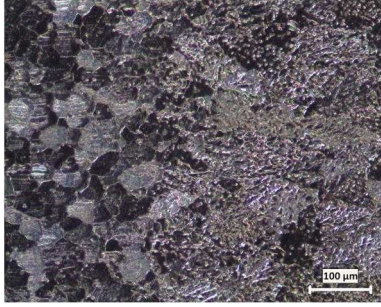
Ana Malzeme (100X)



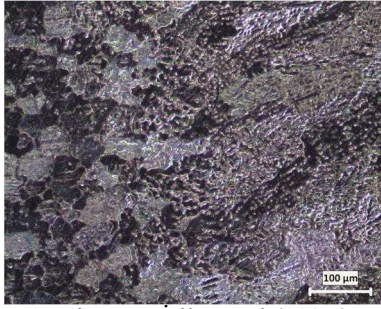
Şekil 5.25. 2 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



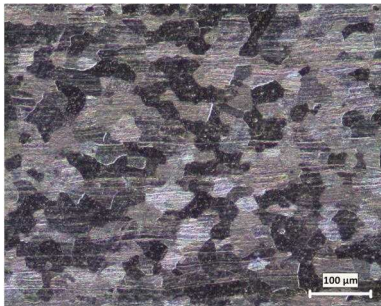
Kaynak Metali (100X)



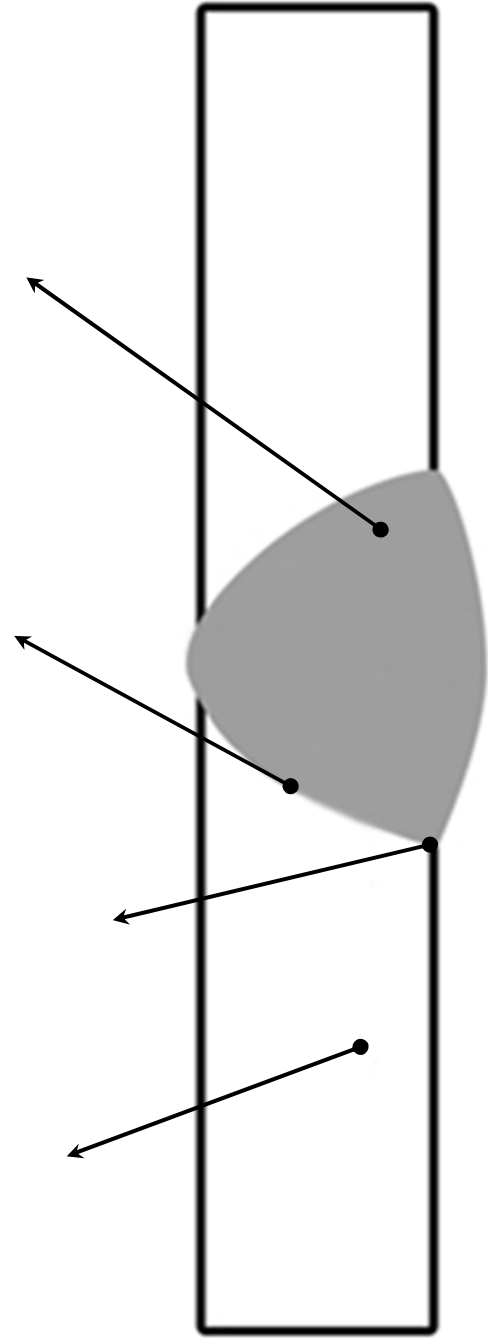
Geçiş Bölgesi (100X)



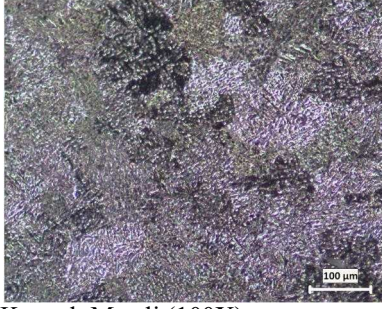
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



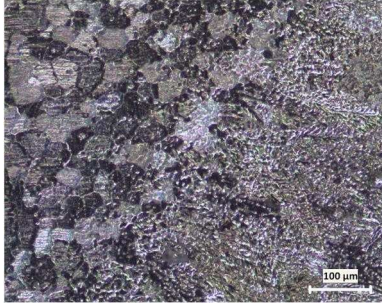
Ana Malzeme (100X)



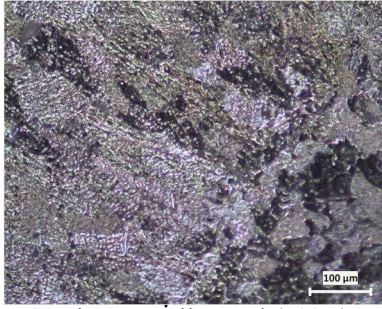
Şekil 5.26. 3 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



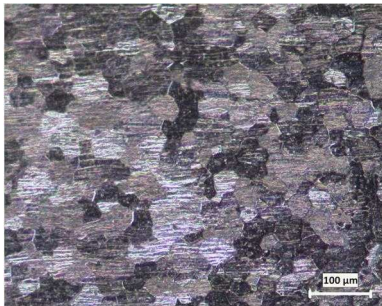
Kaynak Metali (100X)



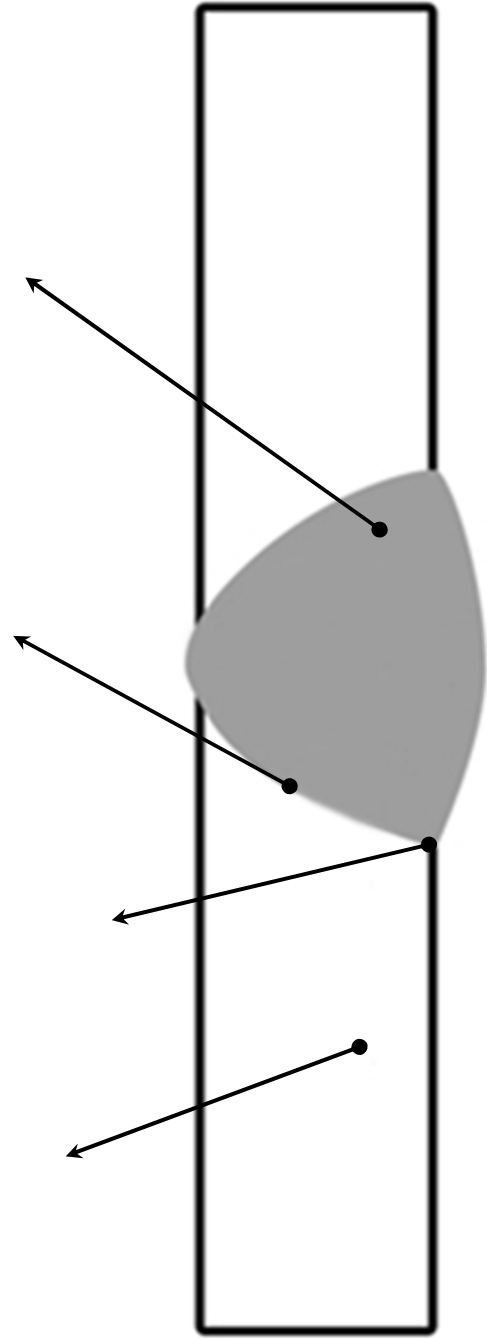
Geçiş Bölgesi (100X)



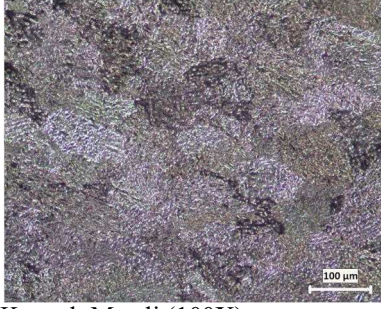
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



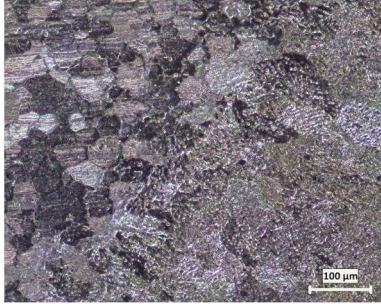
Ana Malzeme (100X)



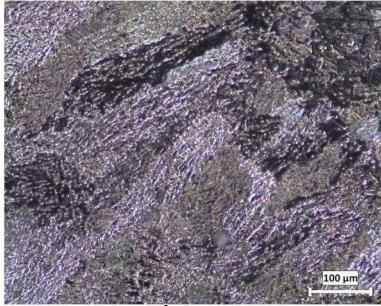
Şekil 5.27. 4 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



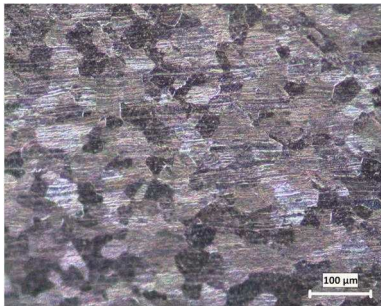
Kaynak Metali (100X)



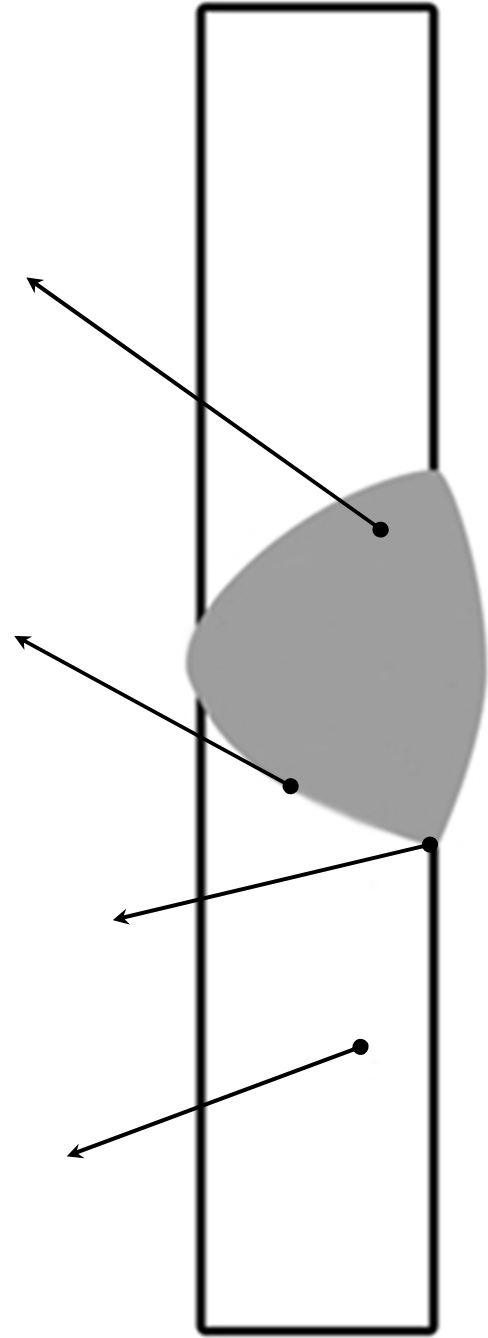
Geçiş Bölgesi (100X)



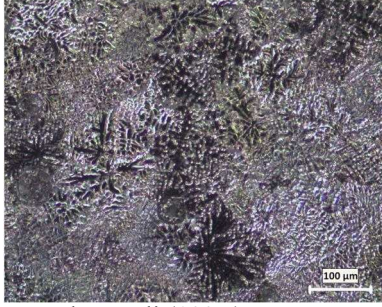
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



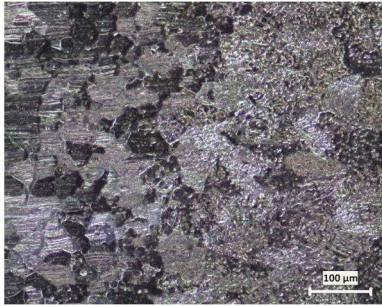
Ana Malzeme (100X)



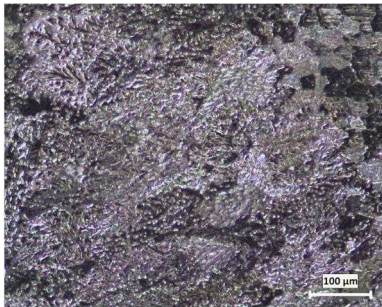
Şekil 5.28. 5 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



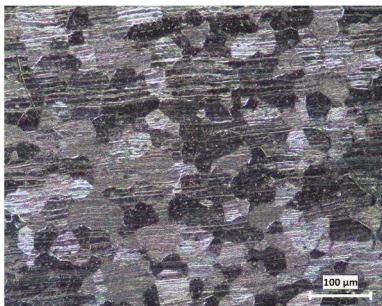
Kaynak Metali (100X)



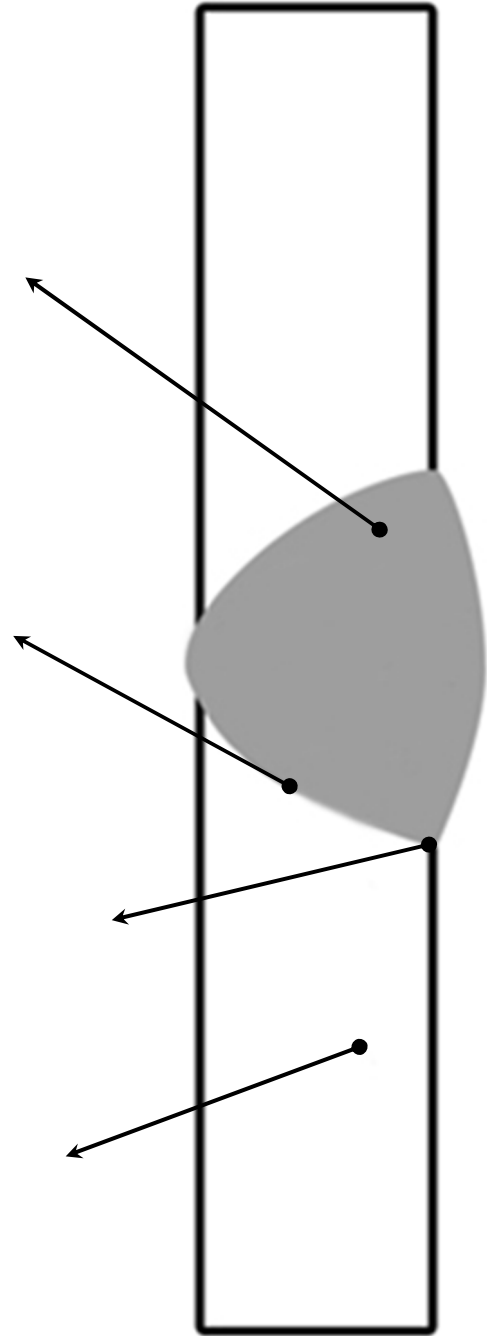
Geçiş Bölgesi (100X)



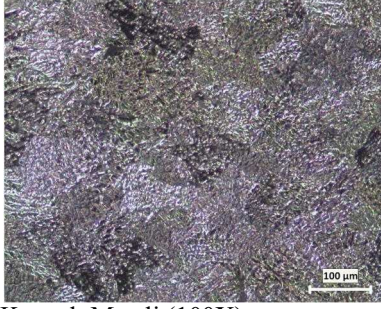
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



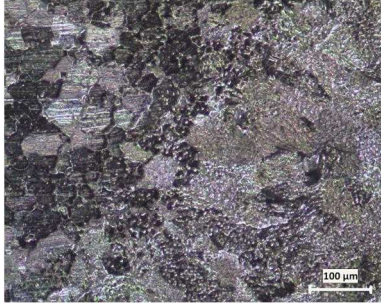
Ana Malzeme (100X)



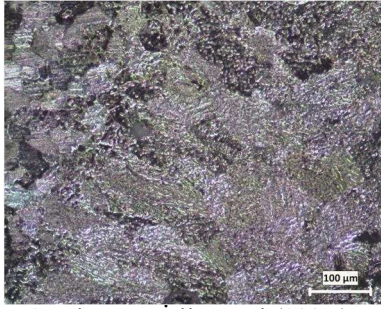
Şekil 5.29. 6 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



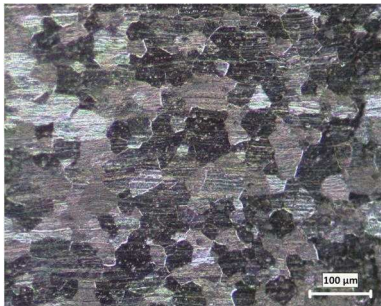
Kaynak Metali (100X)



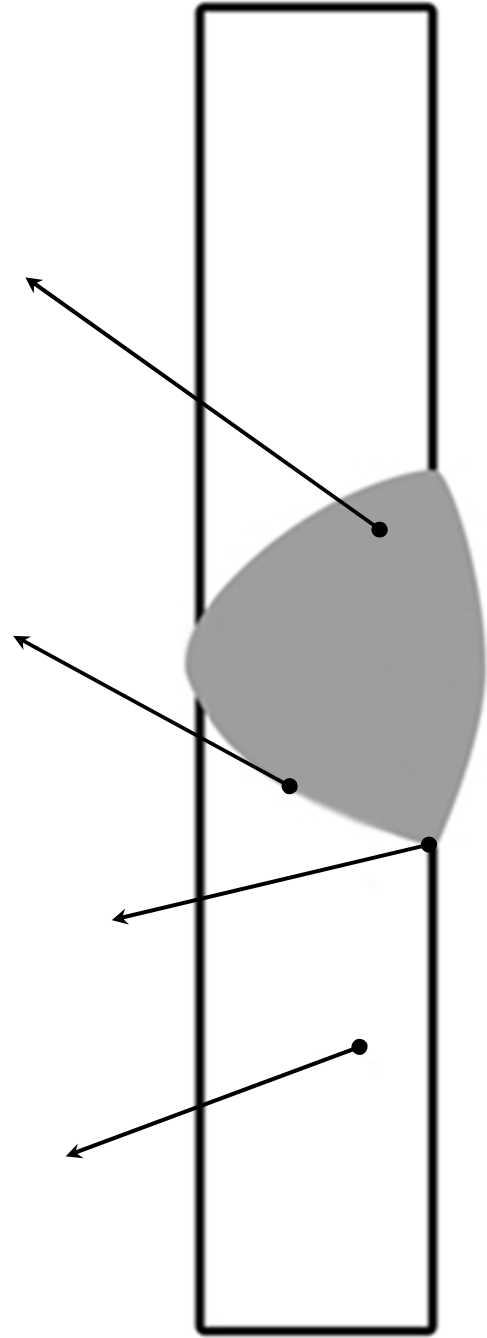
Geçiş Bölgesi (100X)



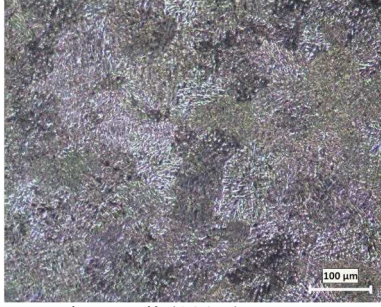
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



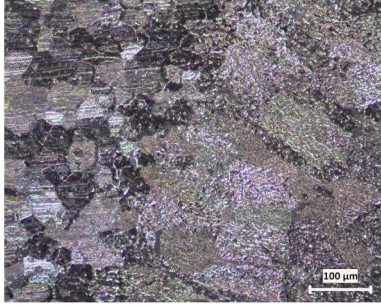
Ana Malzeme (100X)



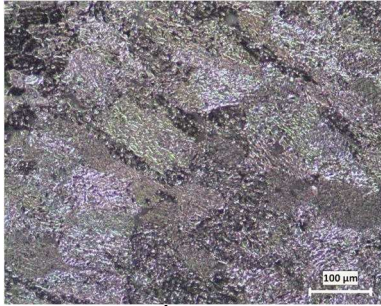
Şekil 5.30. 7 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



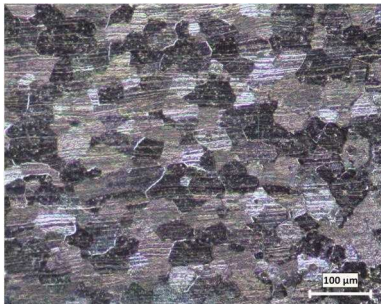
Kaynak Metali (100X)



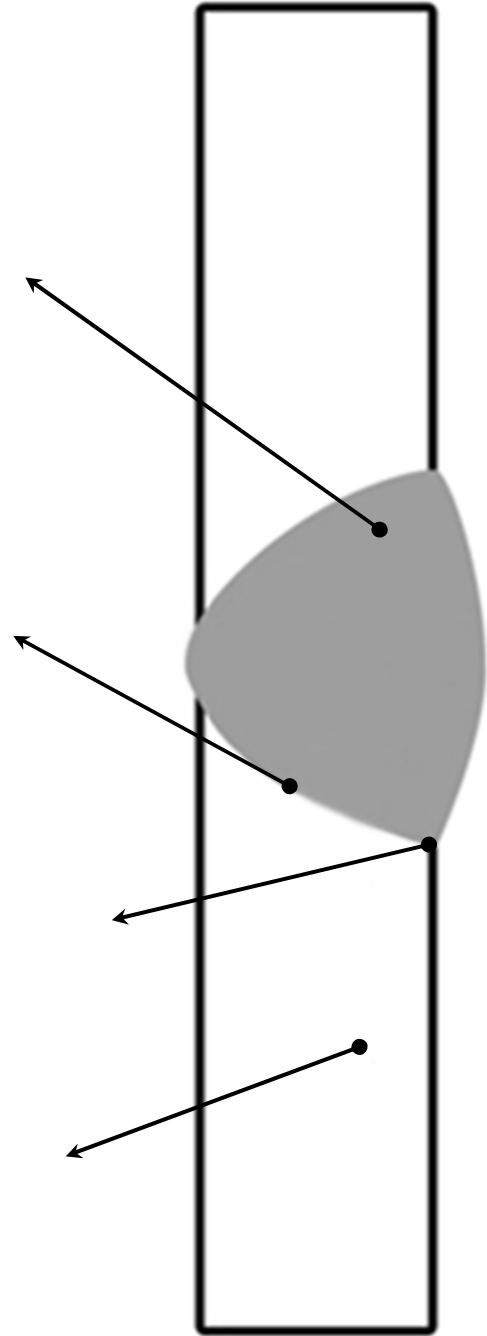
Geçiş Bölgesi (100X)



ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



Ana Malzeme (100X)



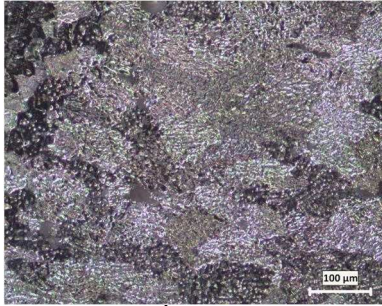
Şekil 5.31. 8 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



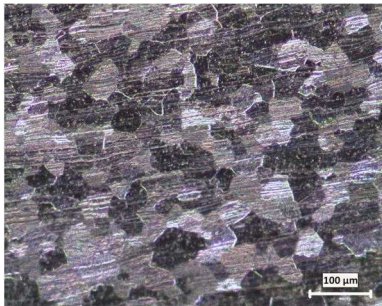
Kaynak Metali (100X)



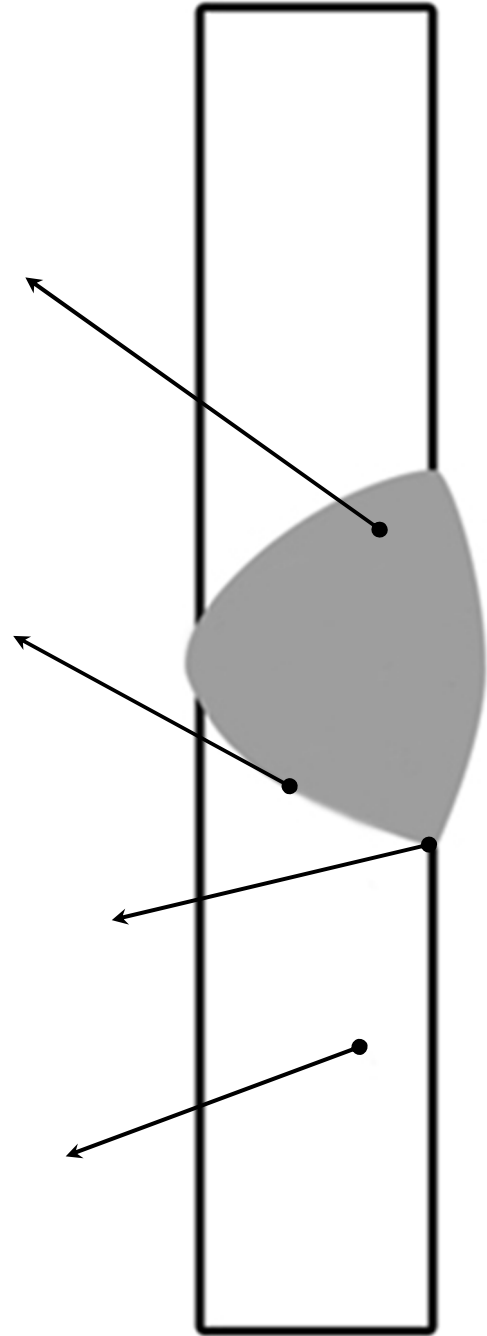
Geçiş Bölgesi (100X)



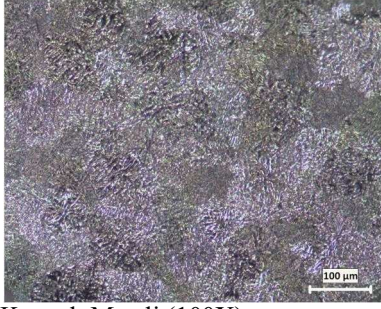
ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



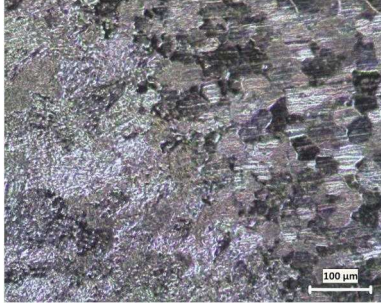
Ana Malzeme (100X)



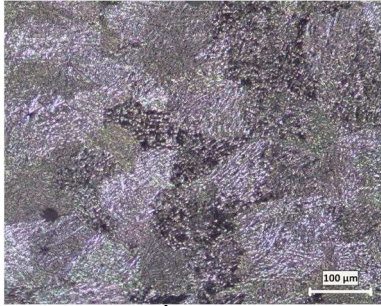
Şekil 5.32. 9 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları



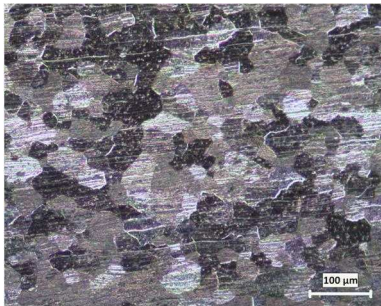
Kaynak Metali (100X)



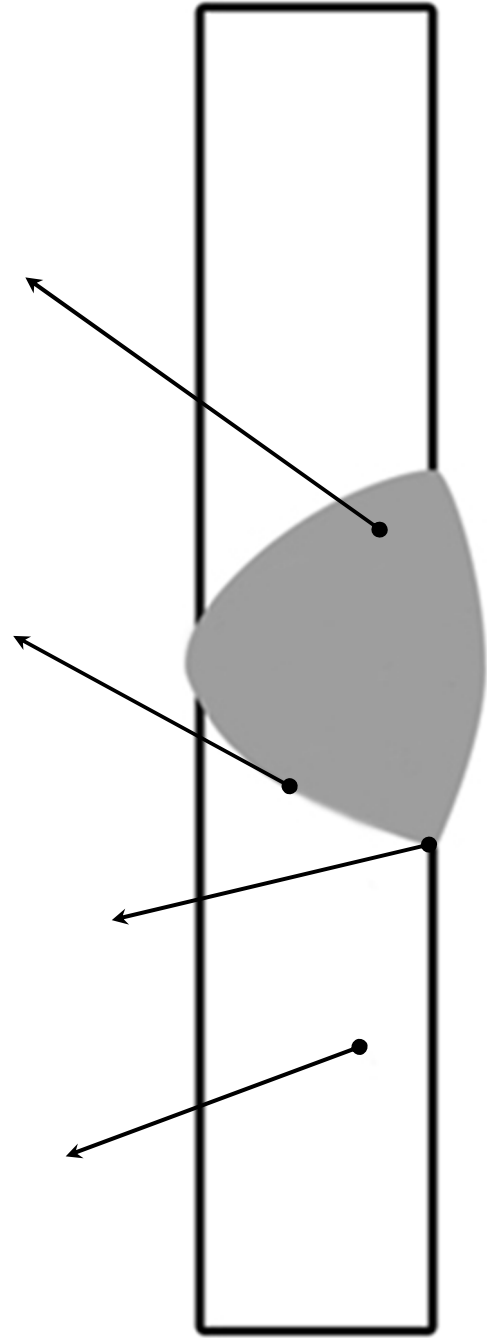
Geçiş Bölgesi (100X)



ITAB da Tane İrileşmesi (100X)



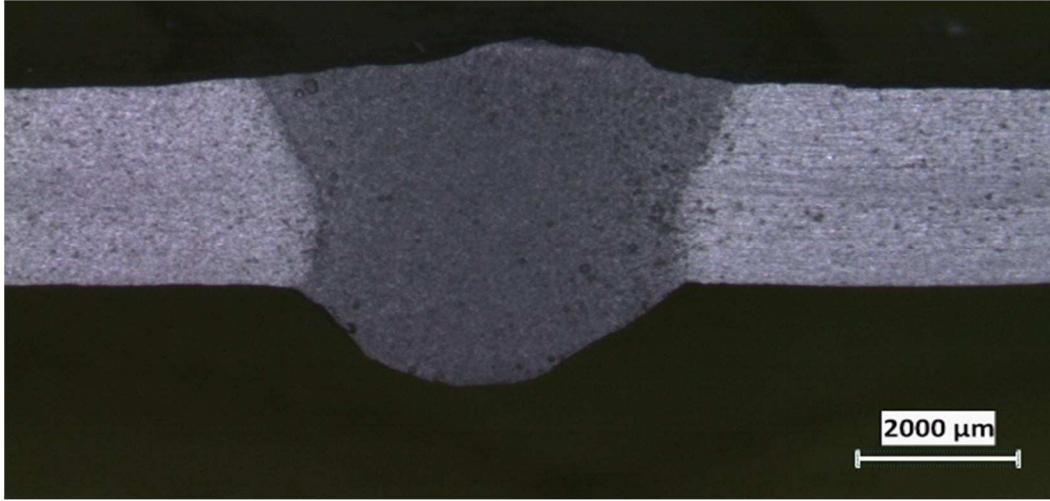
Ana Malzeme (100X)



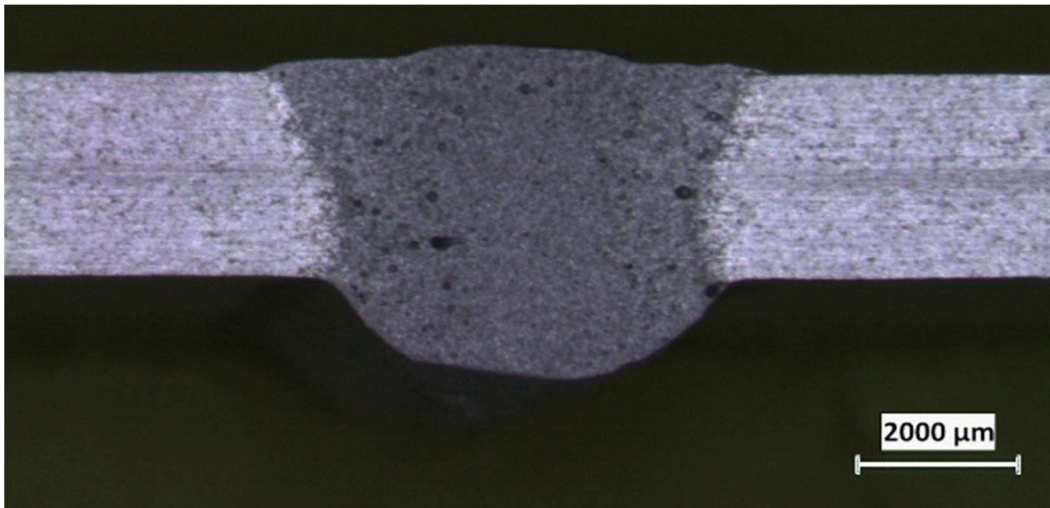
Şekil 5.33. 10 numaralı numunenin mikro yapı inceleme fotoğrafları

5.4. Makro Yapı İncelemeleri ve Sonuçları

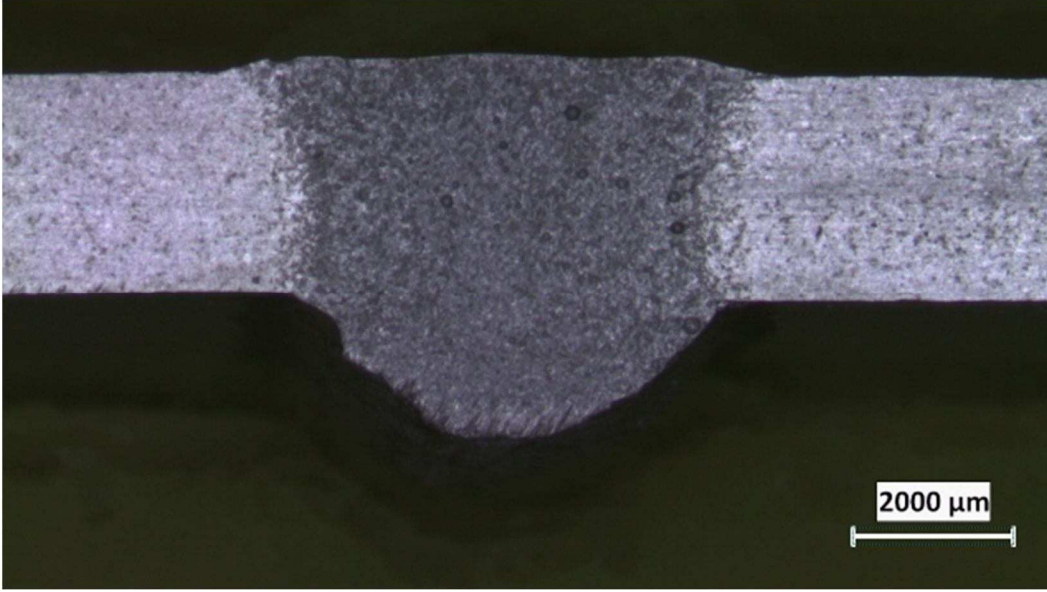
Makro incelemelerde çeşitli parametrelerdeki numunelerimizin nüfuz şekli kaynak damla geometrisi incelenmiş fotoğrafları aşağıda verilmiştir.



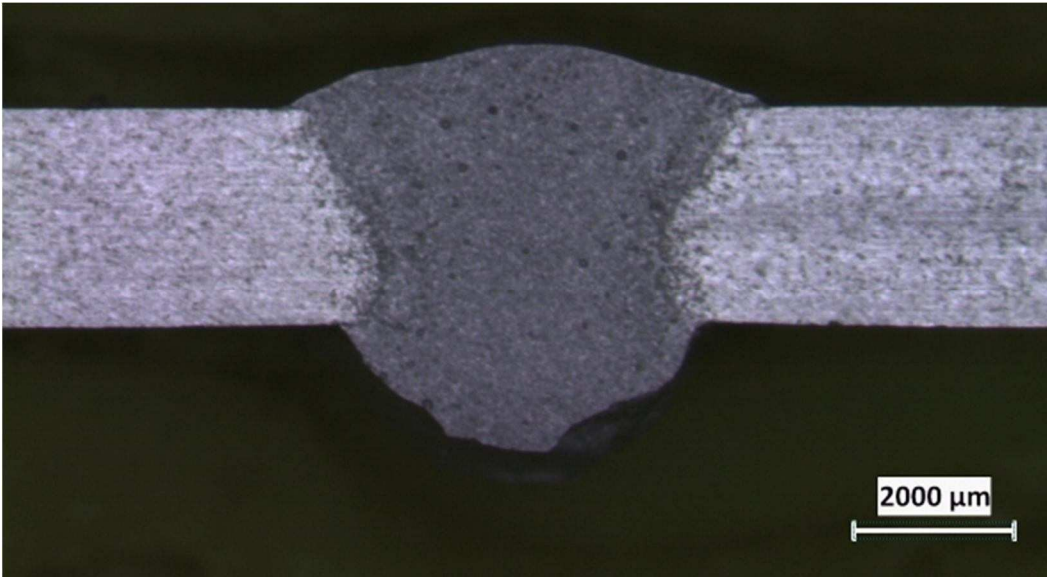
Şekil 5.34. Referans numunenin makro görüntüsü



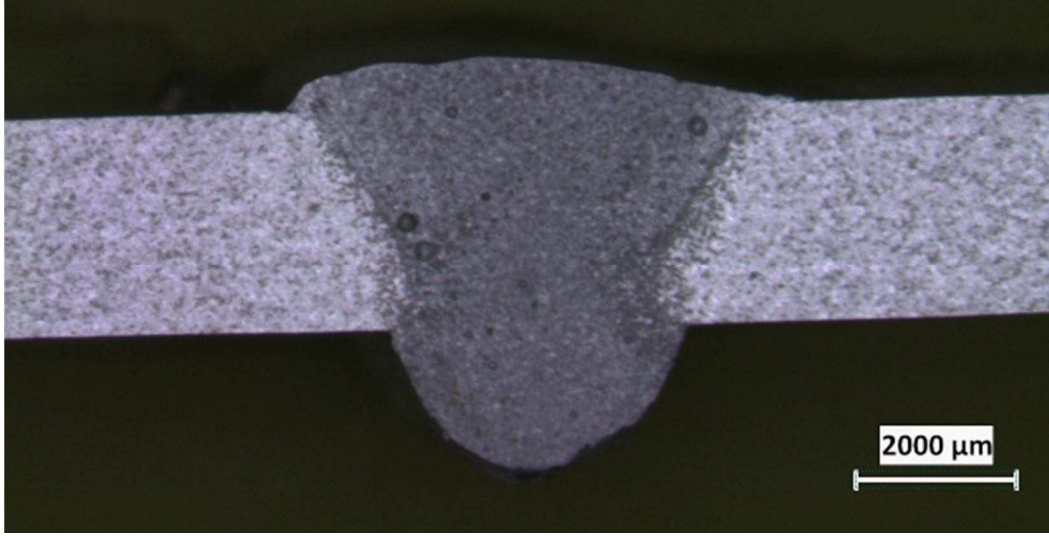
Şekil 5.35. 1 numaralı numunenin makro görüntüsü



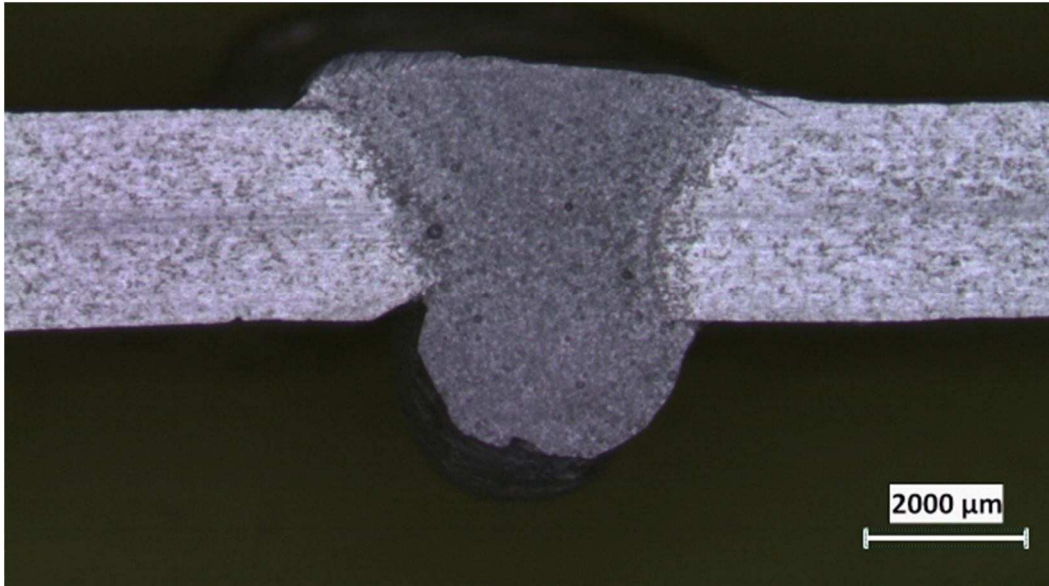
Şekil 5.36. 2 numaralı numunenin makro görüntüsü



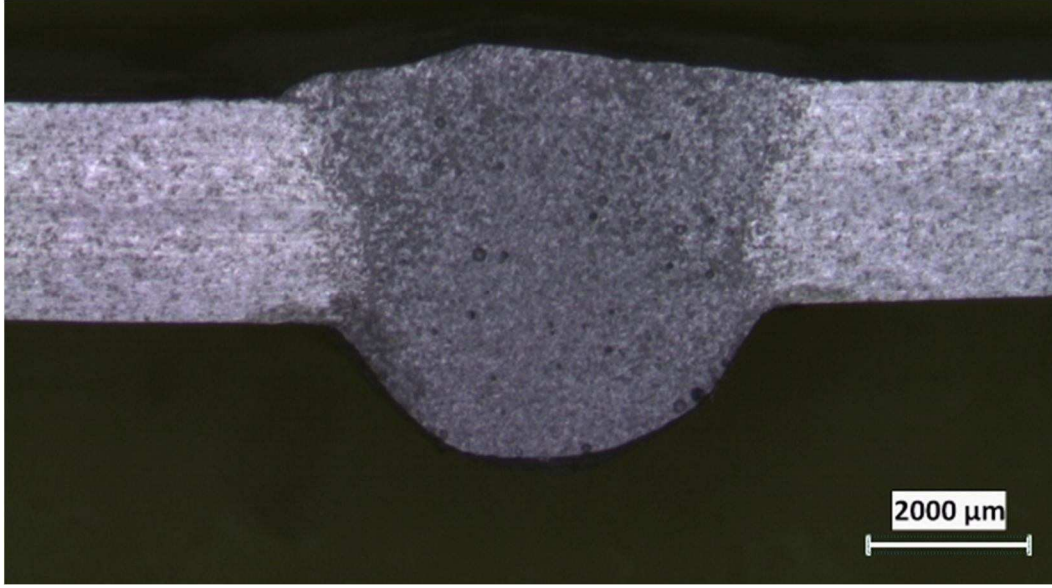
Şekil 5.37. 3 numaralı numunenin makro görüntüsü



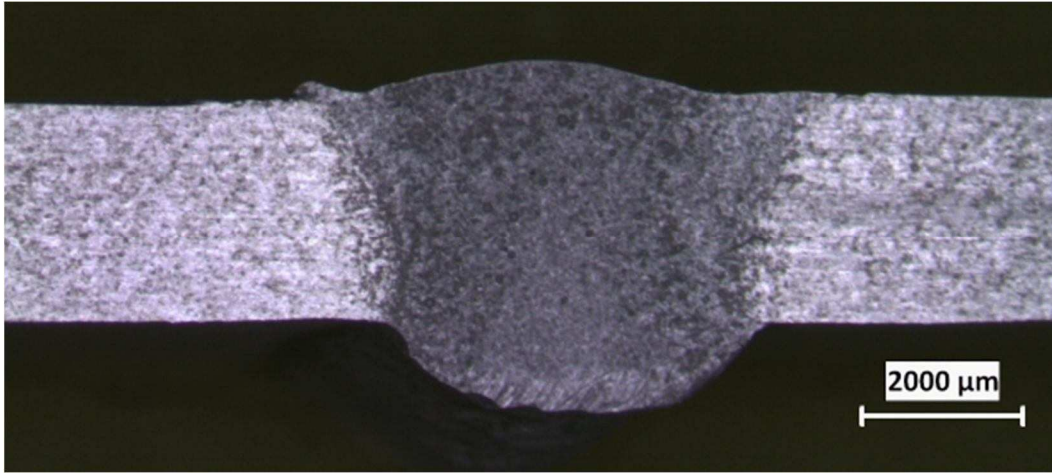
Şekil 5.38. 4 numaralı numunenin makro görüntüsü



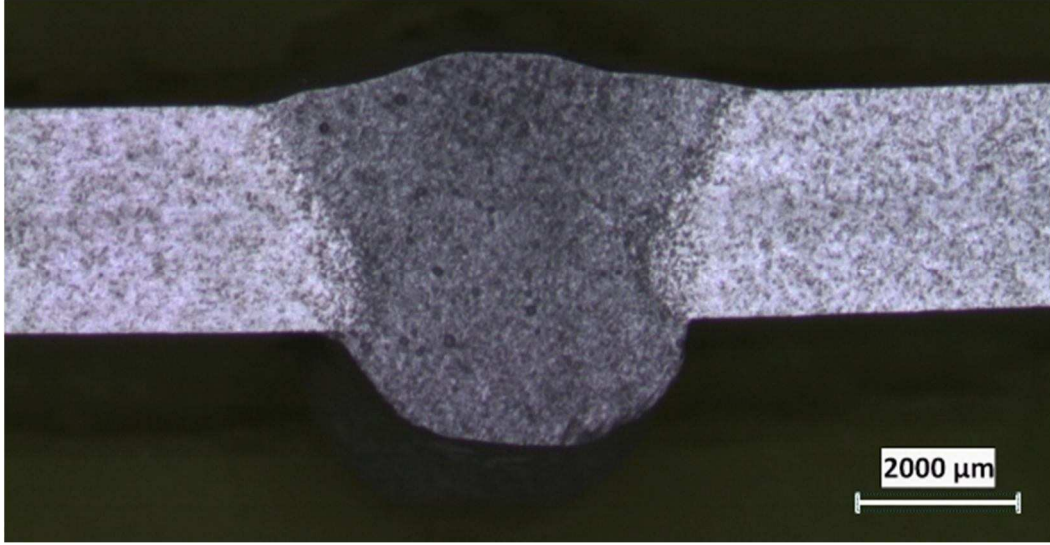
Şekil 5.39. 5 numaralı numunenin makro görüntüsü



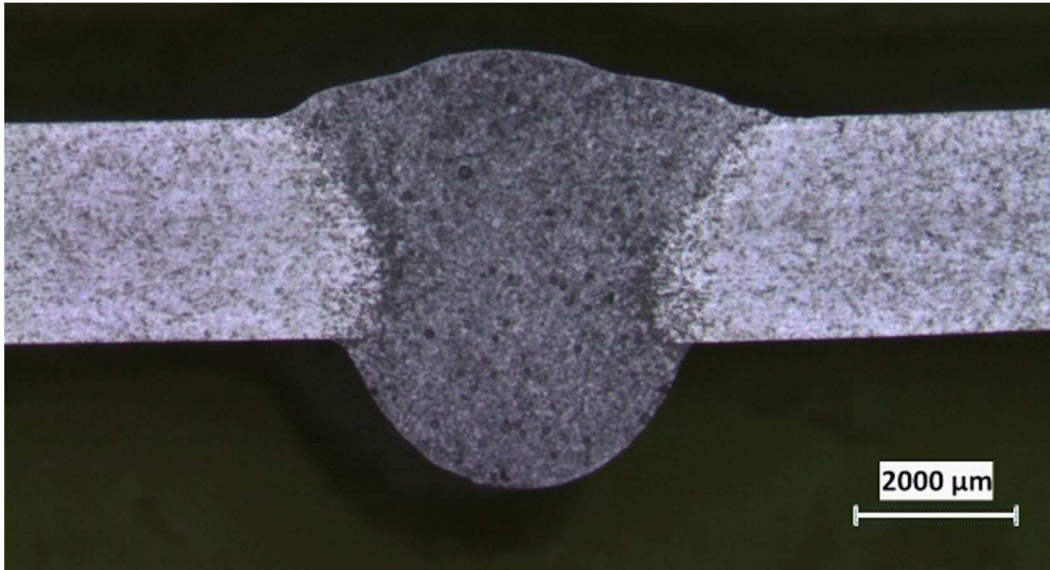
Şekil 5.40. 6 numaralı numunenin makro görüntüsü



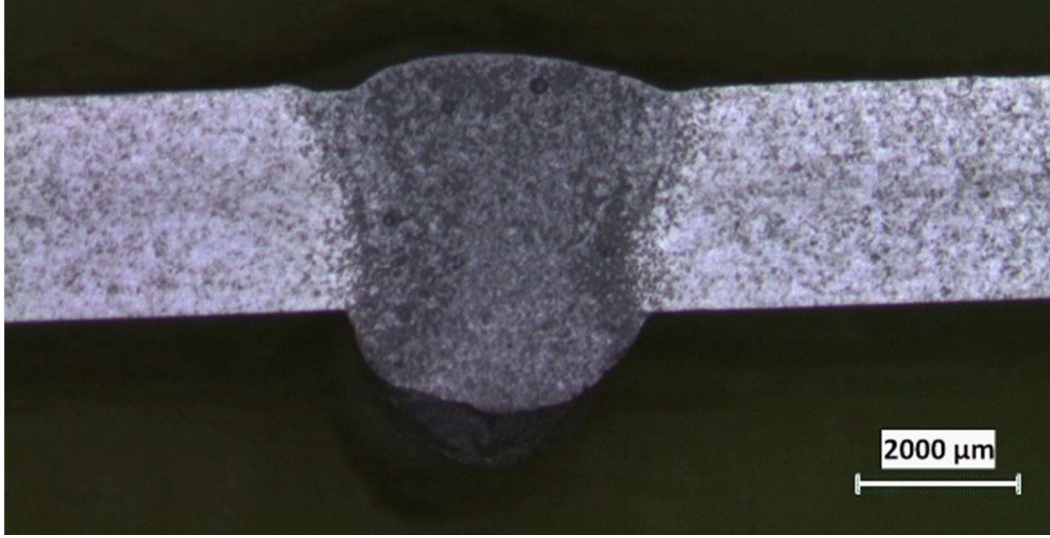
Şekil 5.41. numaralı numunenin makro görüntüsü



Şekil 5.42. 8 numaralı numunenin makro görüntüsü



Şekil 5.43. 9 numaralı numunenin makro görüntüsü

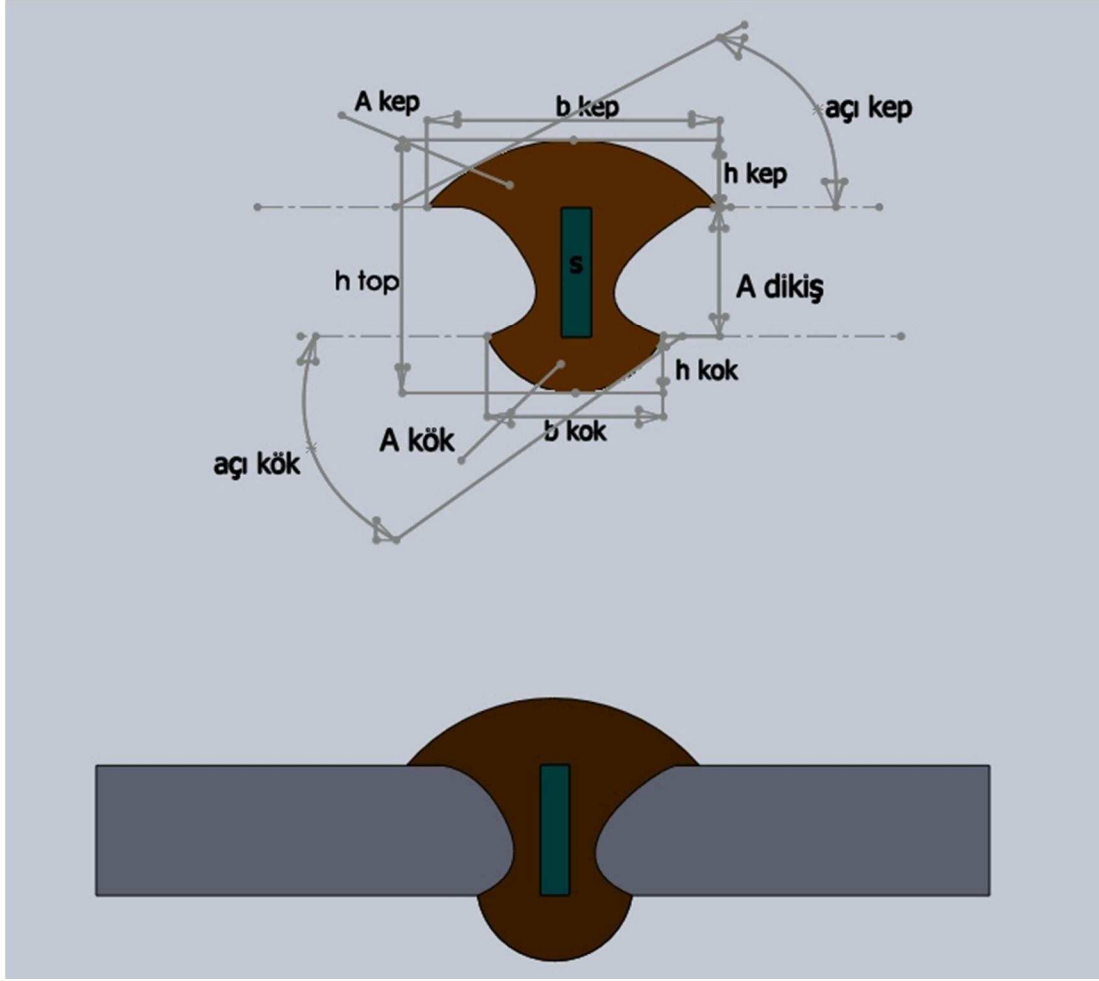


Şekil 5.44. 10 numaralı numunenin makro görüntüsü

Deney numunelerinden alınan makro fotoğraflar incelendiğinde voltaj değişiminin kaynak damla geçişine etkisini çok değiştirmedığı görülmüştür. Asıl etkinin tel hızı ve amper değişiminde olduğu resimlerden anlaşılmıştır. Amper değişiminde numunelerin damla alanlarında değişiklikler görülmüştür. Şöyle ki, yüksek amperlerde nüfuziyet ve damla alanı geniş olurken düşük amper ve yüksek kaynak hızında bu oran düşmüştür. Yalnız aşırı yüksek akımlarda yapılan kaynaklarda ise alüminyumun düşük ergime sıcaklığından dolayı ideal kaynak elde edilemeyecektir.

Resimler incelendiğinde tel hızının artırılması kaynak boşluğunda fazla kaynak metali birikmesini sağlamış dolayısıyla kök sarkmasını arttırmıştır. Kaynak hızının azaltılması ise ilave metal sarfiyatını engelleyecektir.

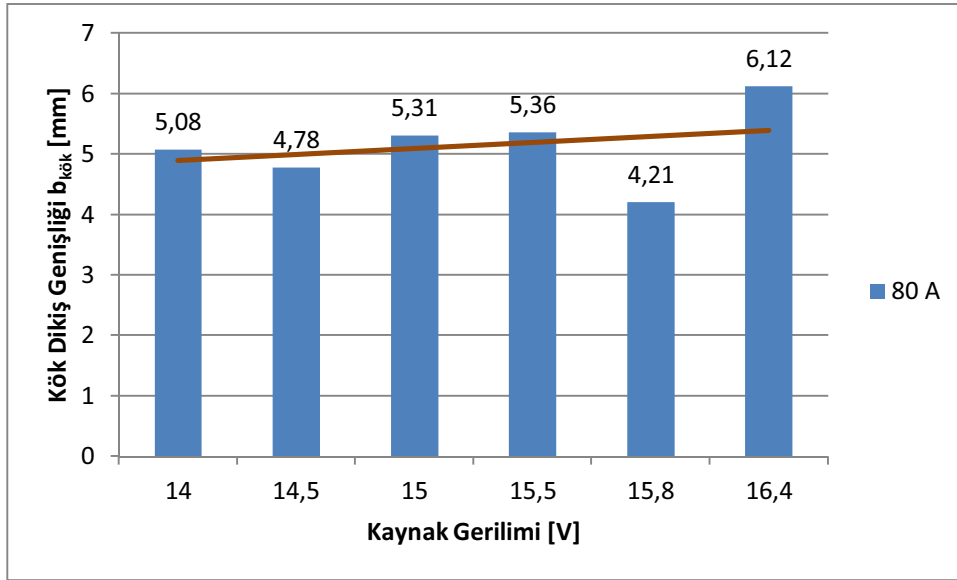
5.5. Numunelerin Damla Geometrileri ve Damla Alanları



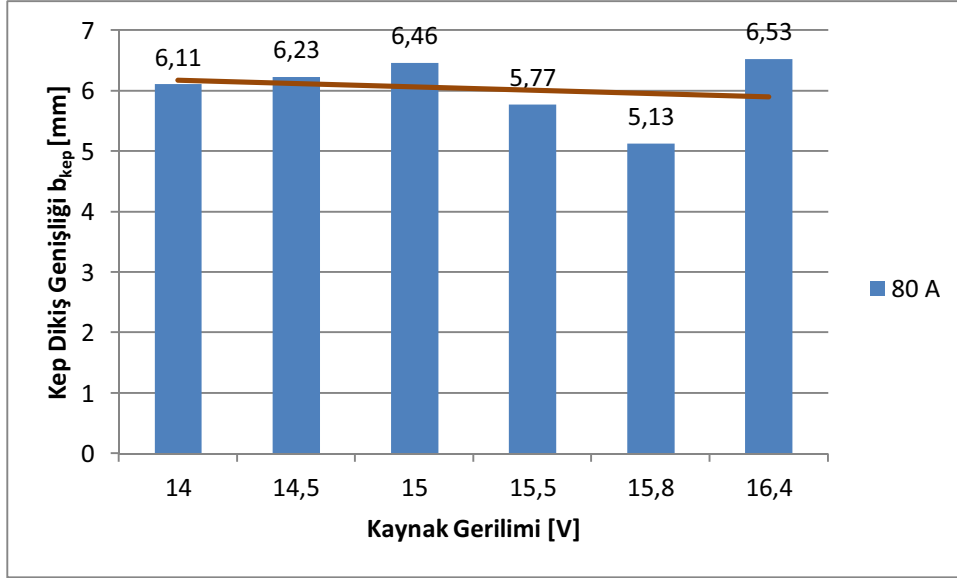
Şekil 5.45. Kaynak damla geometrisi

Tablo 5.4. Numunelerin kaynak geometrileri

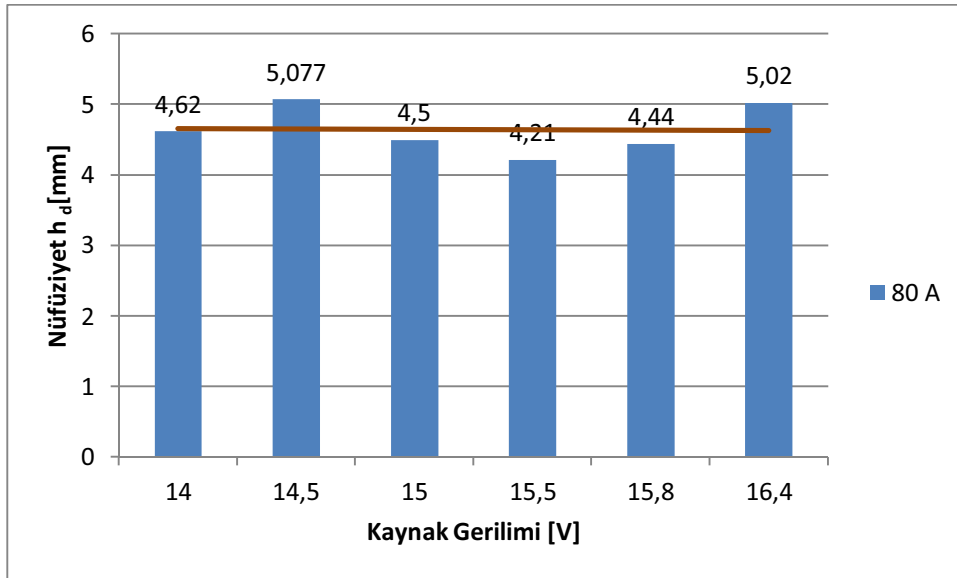
Num.	$b_{kök}$	H_1	b_{kep}	$h_{dikış}$	h_{kep}	$h_{kök}$	$A_{dikış}$	A_{kep}	$A_{kök}$	$A_{top.}$
Ref.	5,31	-	6,46	4,5	0,75	1,5	16,6	2,49	5,38	24,47
1	5,47	0,35	6,25	4,44	0,46	1,44	14,9	3	7,88	25,78
2	6,35	0,46	7,02	4,9	0,32	1,9	19,21	2,22	7,5	28,95
3	4,7	0,46	5,87	4,73	0,87	1,73	14,93	4,16	5,3	24,39
4	4,21	0,46	6,06	4,96	0,69	1,96	13,16	3,65	6,12	22,93
5	4,15	0,7	5,64	4,82	0,75	1,82	12,29	3,62	5,77	21,65
6	6,12	0,52	6,53	5,02	0,72	2,02	17,5	2,7	9,21	29,41
7	5,36	0,52	5,77	4,21	0,52	1,21	14,19	1,53	5,02	20,74
8	5,08	0,52	6,11	4,62	0,64	1,62	14,36	2,11	6,54	23,012
9	4,78	0,58	6,23	5,077	0,92	2,077	13,8	4,03	7,54	25,37
10	4,21	0,17	5,13	4,44	0,4	1,44	12,98	1,15	5,03	19,16



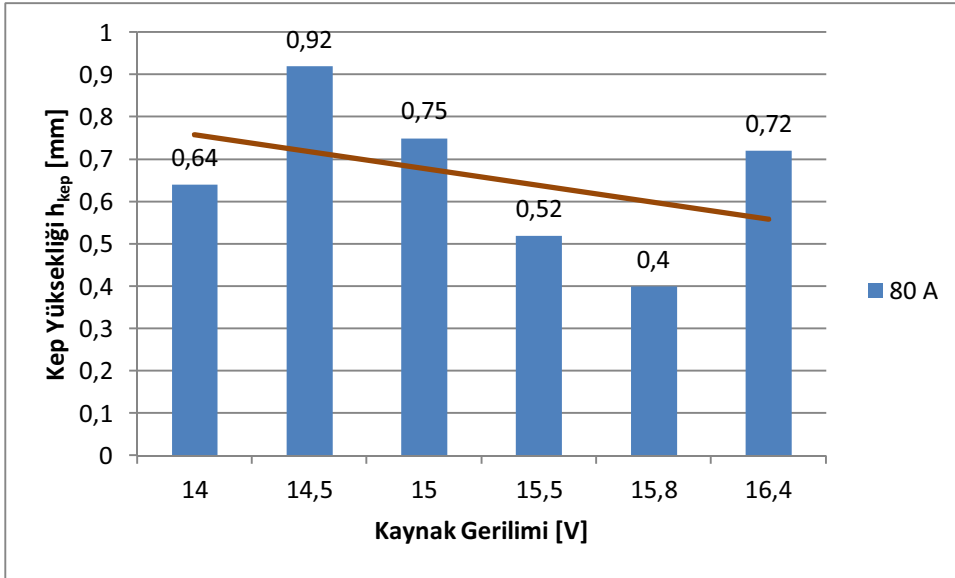
Şekil 5.46. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – kaynak gerilimi grafiği



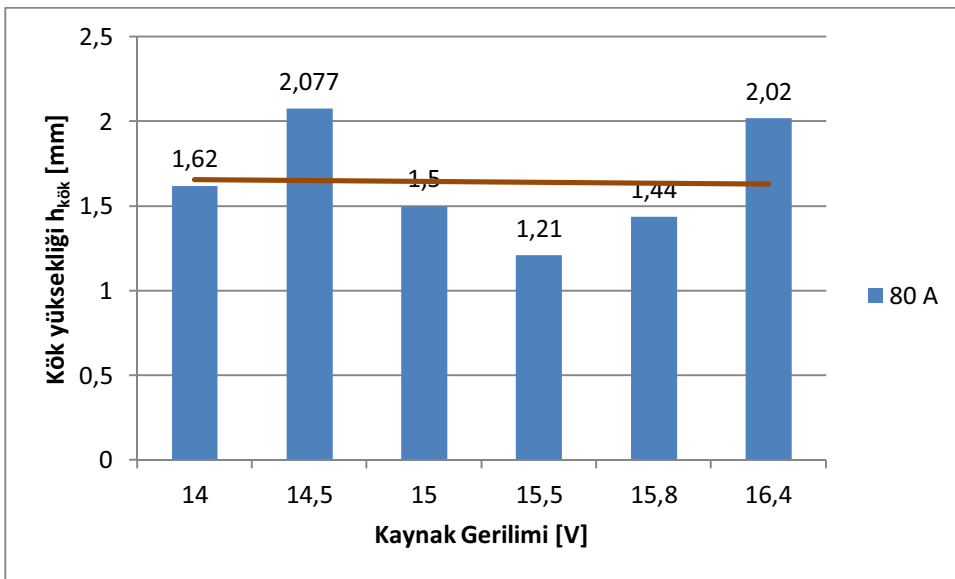
şekil 5.47. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – kaynak gerilimi grafiği



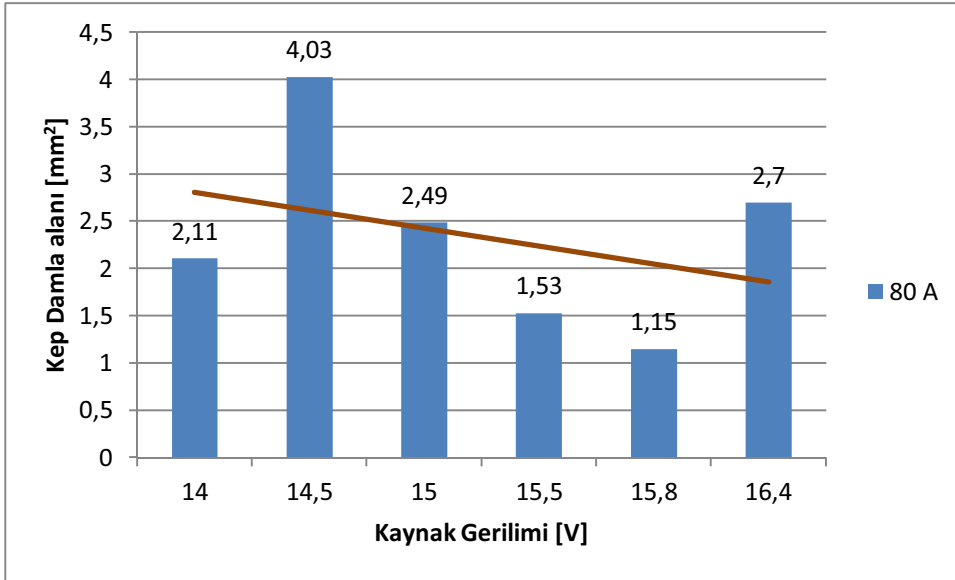
şekil 5.48. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin nüfuziyet – kaynak gerilimi grafiği



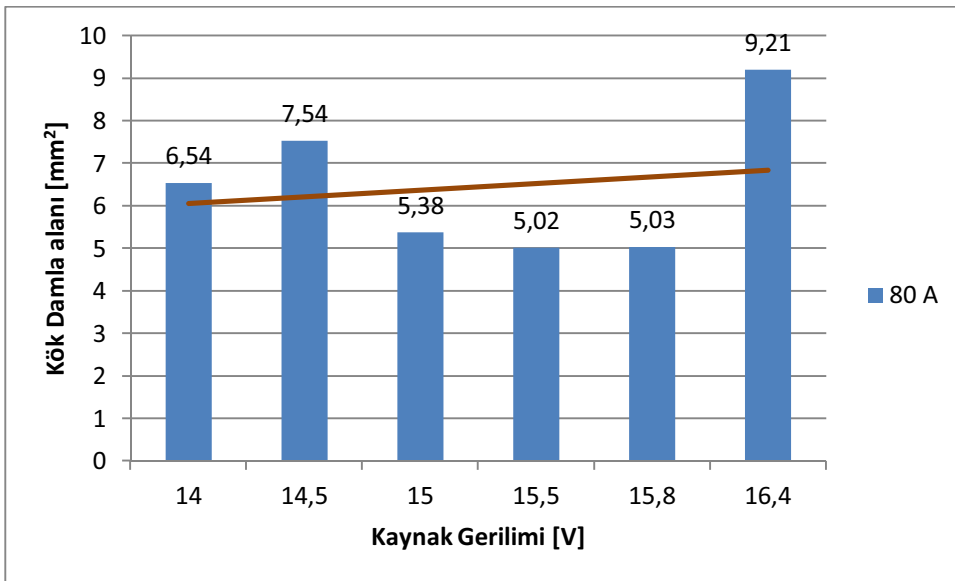
Şekil 5.49. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – kaynak gerilimi grafiği



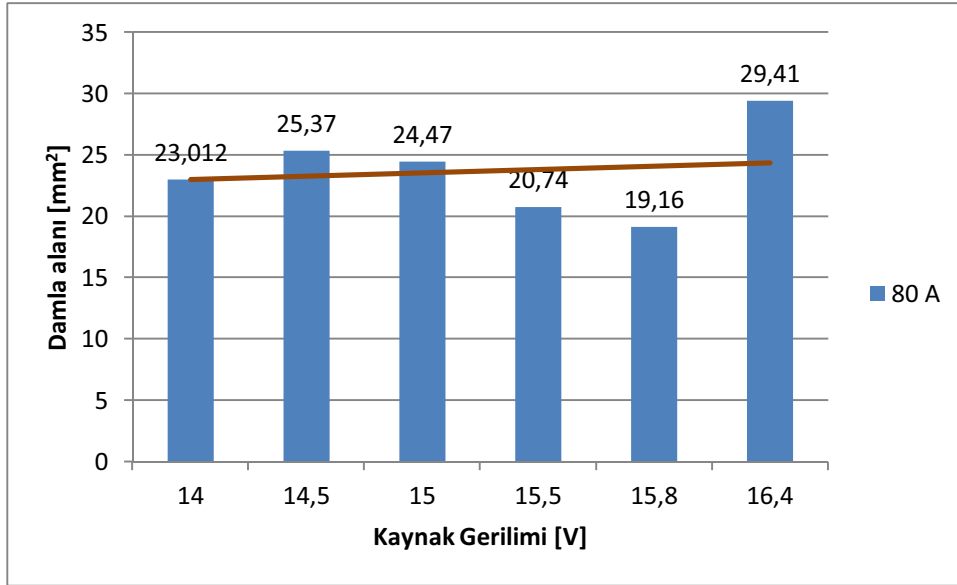
Şekil 5.50. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – kaynak gerilimi grafiği



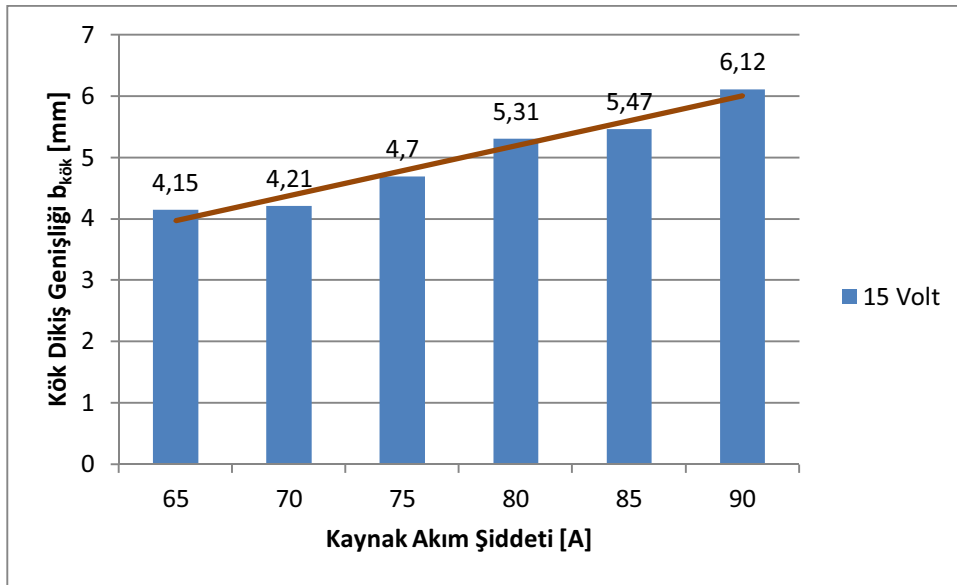
Şekil 5.51. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kep damla alanı – kaynak gerilimi grafiği



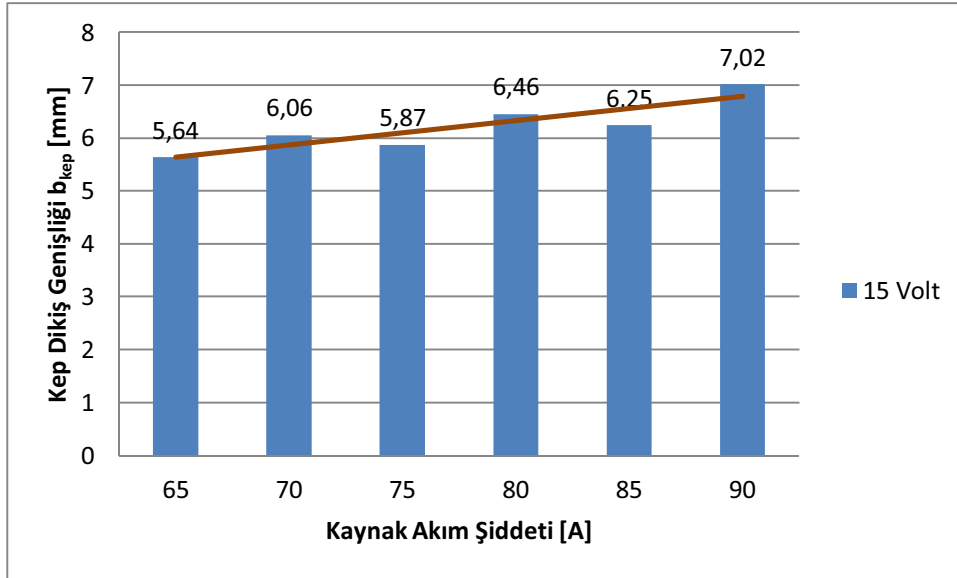
Şekil 5.52. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin kök damla alanı – kaynak gerilimi grafiği



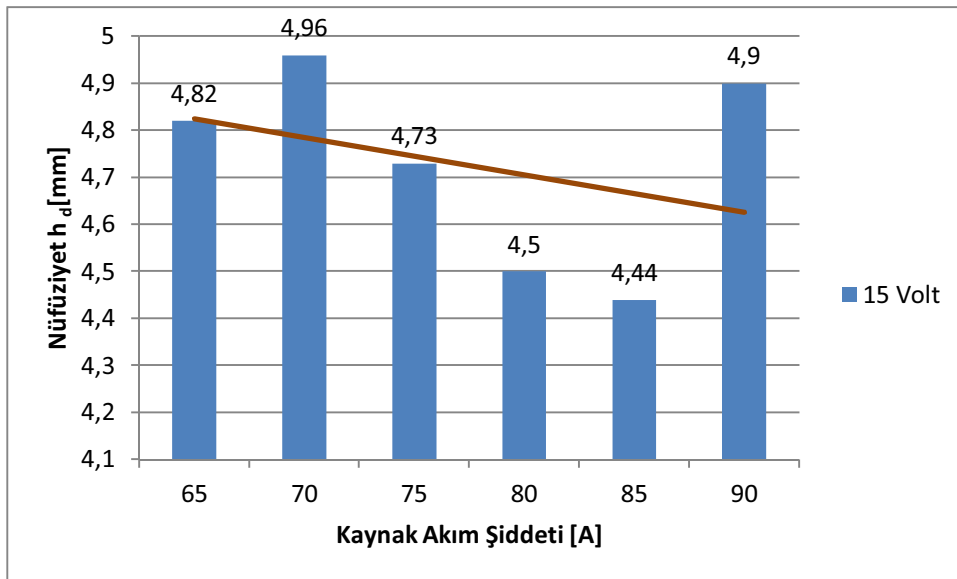
Şekil 5.53. 80A kaynak akımında kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – kaynak gerilimi grafiği



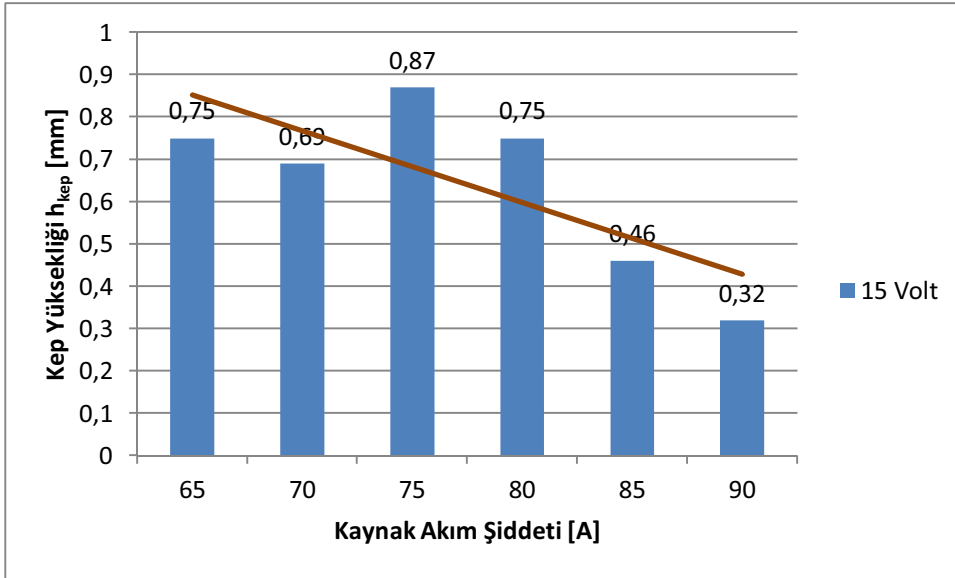
Şekil 5.54. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği



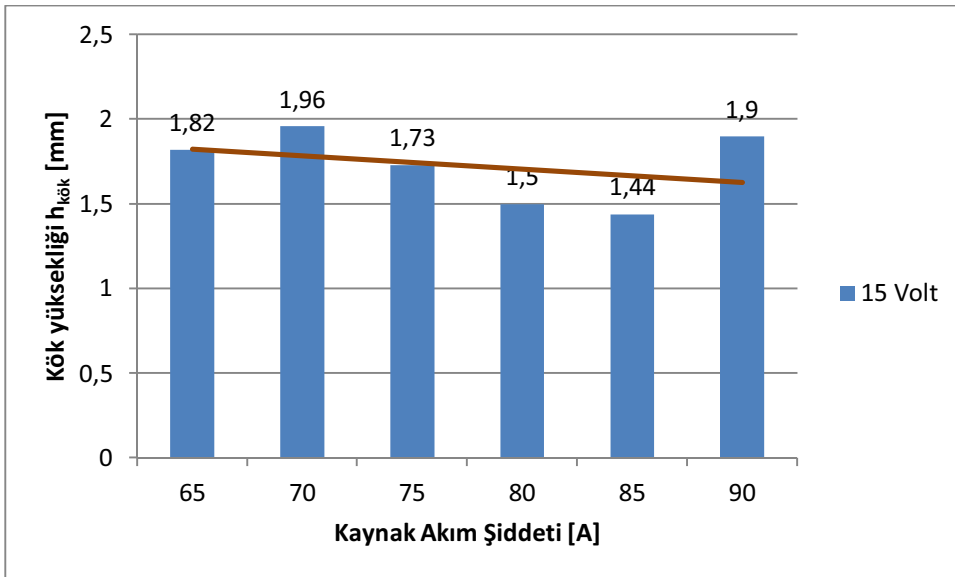
Şekil 5.55. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kep dikiş genişliği – kaynak akım şiddeti grafiği



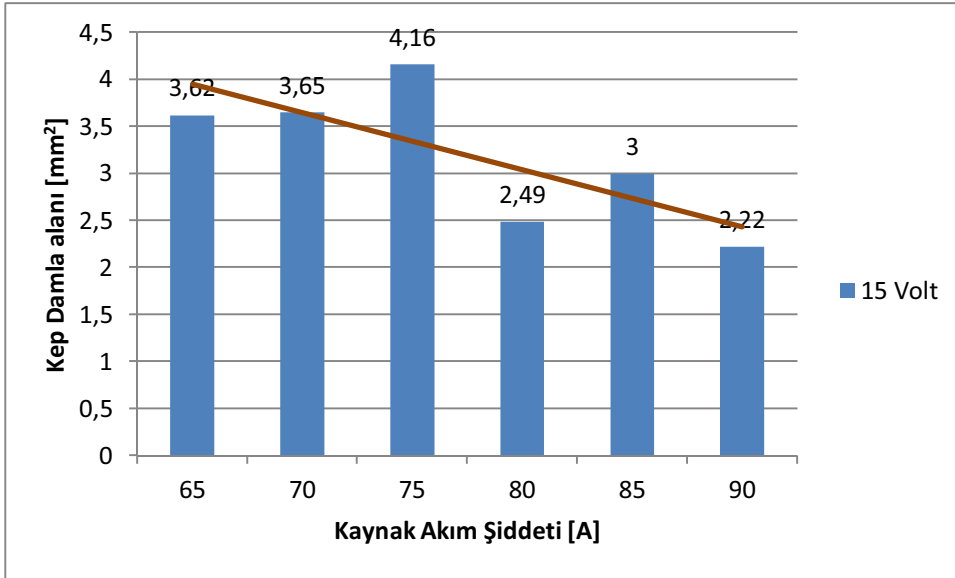
Şekil 5.56. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin nüfuziyet – kaynak akım şiddeti grafiği



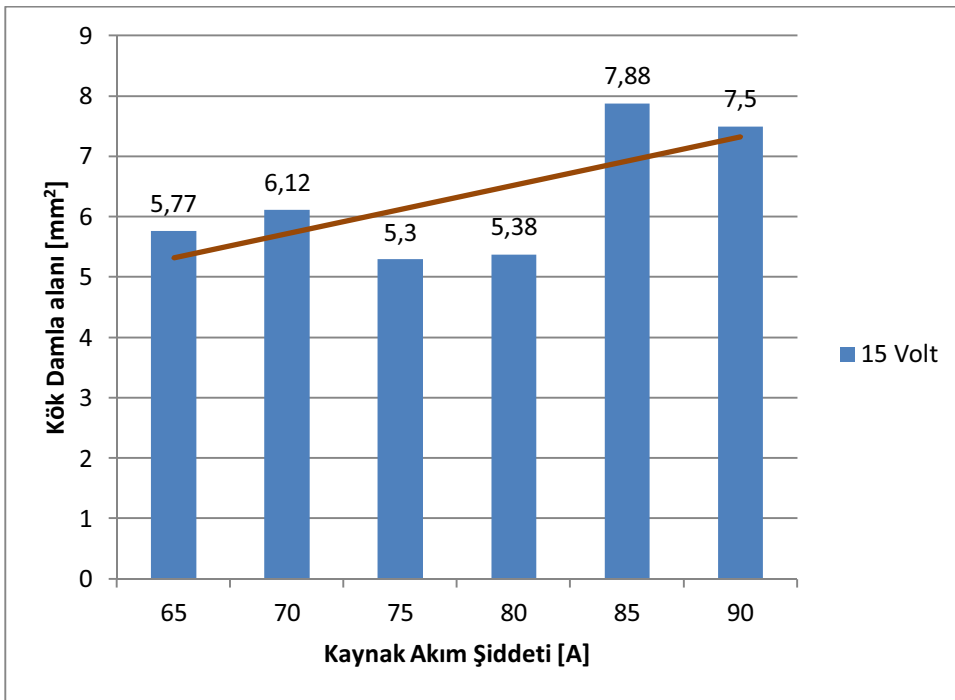
Şekil 5.57. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kep yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği



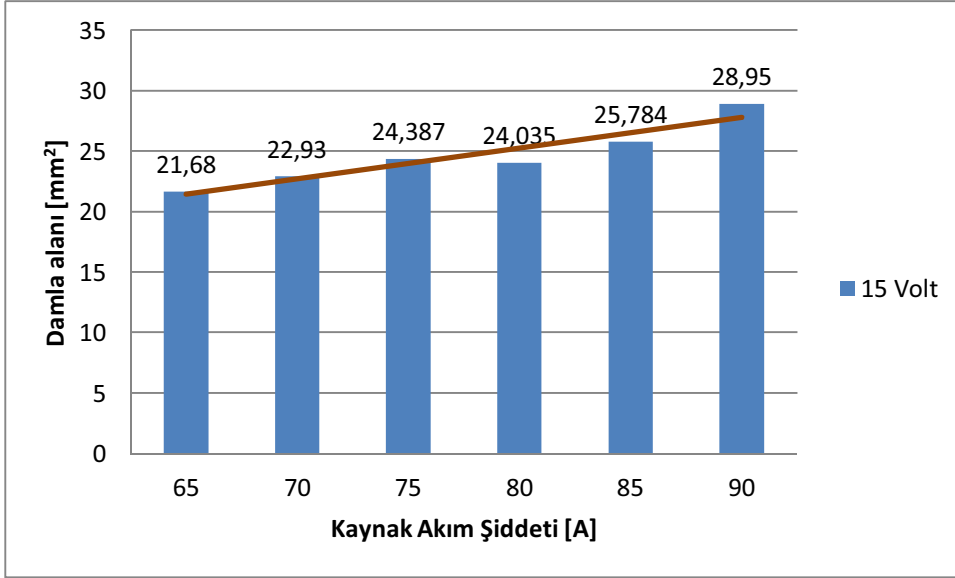
Şekil 5.58. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök yüksekliği – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 5.59. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kep damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 5.60. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 5.61. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin toplam damla alanı – kaynak akım şiddeti grafiği

5.6. Dikiş Formları (Nüfuziyet) Hesaplamaları

$$\text{İç dikiş formu} = b_{\text{kep}} / h_{\text{dikiş}}$$

$$\text{Dış dikiş formu} = b_{\text{kep}} / h_{\text{kep}}$$

$$\text{Kök sarkması} = b_{\text{kök}} / h_{\text{kök}}$$

Tablo 5.5. Numunelerin damla alanları dikiş formları

N.	Akım	V	Süre	KS	DD	İD
Ref	80	15,0	22	3,54	8,610	1,43
1	85	15,6	21	3,80	13,59	1,40
2	90	15,8	19	3,34	21,95	1,43
3	75	15,2	27	2,73	6,790	1,24
4	70	14,0	30	2,15	8,780	1,22
5	65	14,4	28	2,28	7,520	1,17
6	80	16,4	23	3,03	9,070	1,30
7	80	15,5	21	4,43	11,10	1,37
8	80	14,0	20	3,14	9,540	1,32
9	80	14,5	21	2,30	6,770	1,22
10	80	15,8	17	2,92	12,83	1,15

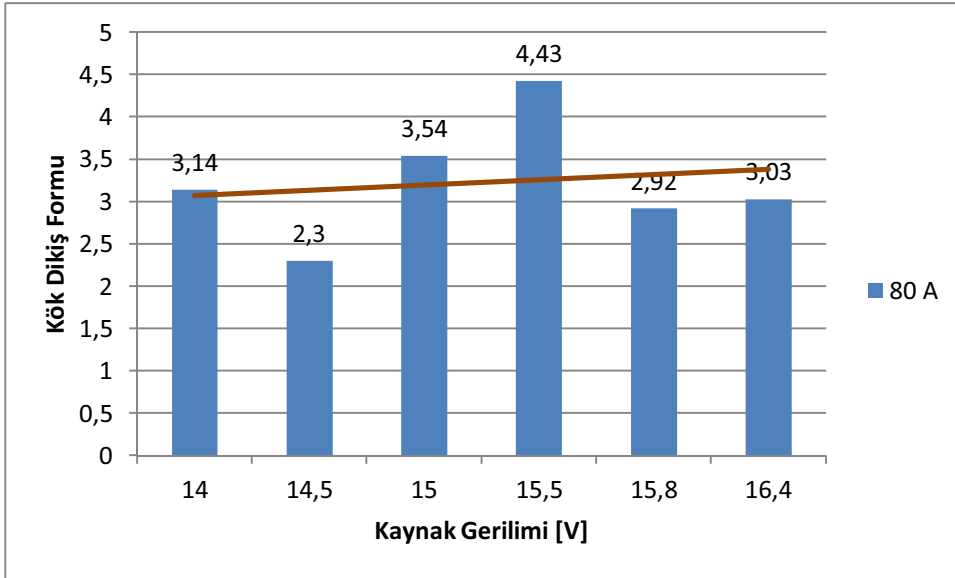
KS = Kök Sarkması

DD = Dış Dikiş

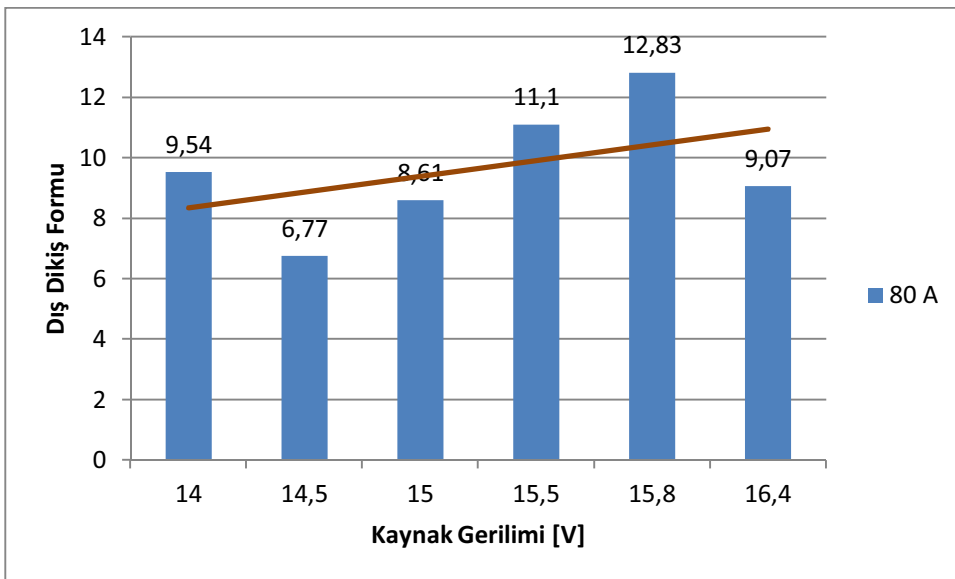
İD = İç Dikiş

Referans numune, 6, 7, 8, 9 ve 10. numunelerin dikiş formları 80A'da değişken kaynak gerilimlerinde Şekil 5.46., Şekil 5.47. ve Şekil 5.48.'de verilmiştir.

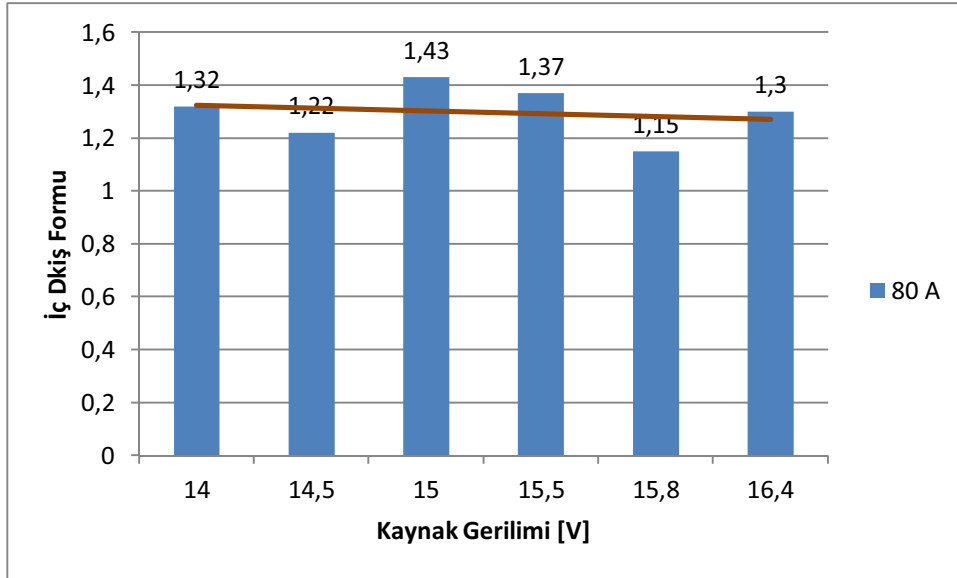
Referans numune, 1, 2, 3, 4, ve 5. Numunelerin dikiş formları 15V'de değişken kaynak akım şiddetlerine göre Şekil 5.49., Şekil 5.50., ve Şekil 5.51.'de verilmiştir.



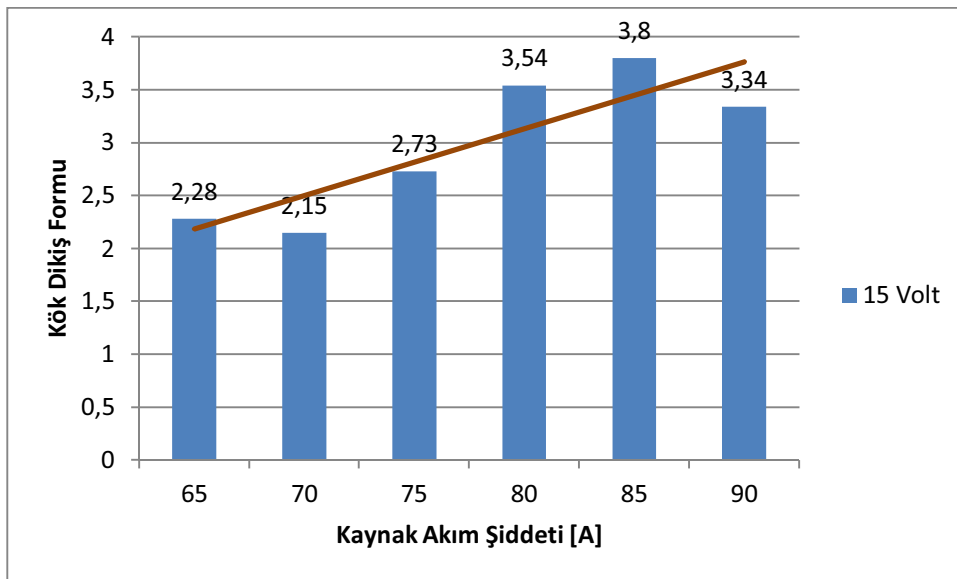
Şekil 5.62. 80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin kök dikiş – kaynak gerilimi grafiği



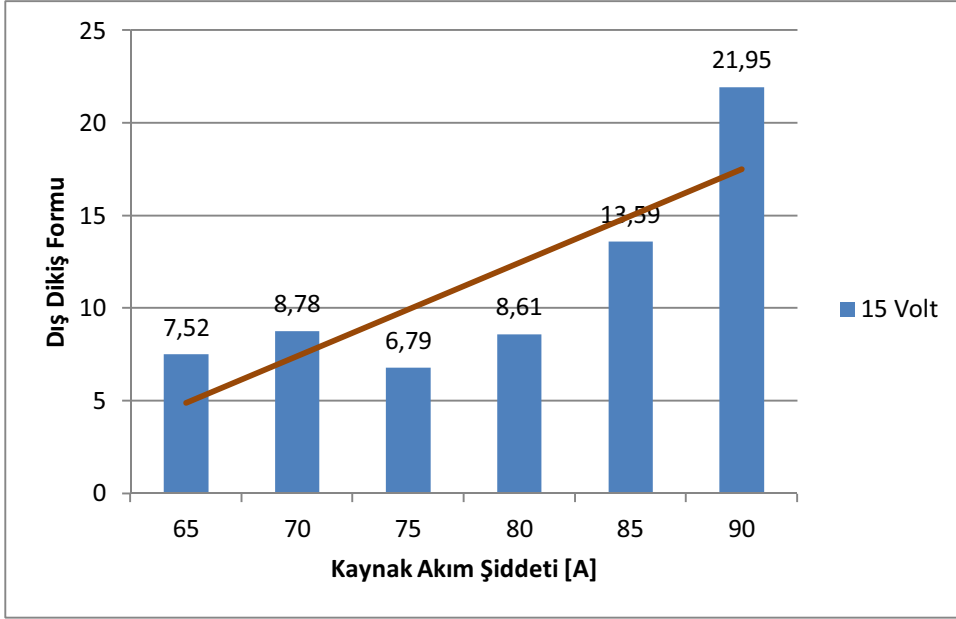
Şekil 5.63. 80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin dış dikiş – kaynak gerilimi grafiği



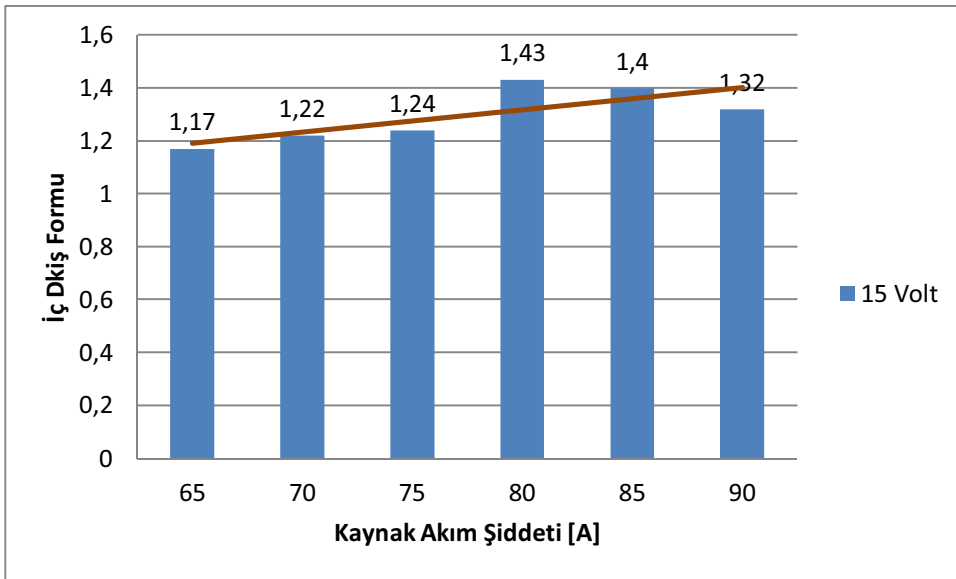
Şekil 5.64. 80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin iç dikiş – kaynak gerilimi grafiği



Şekil 5.65. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin kök dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 5.66. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin dış dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği



Şekil 5.67. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin iç dikiş – kaynak akım şiddeti grafiği

5.7. Numunelerin Isı Girdisi Hesaplamaları

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v \cdot 1000} \text{ kJ/mm} \quad (5.34)$$

Q = Isı Girdisi

η = Kaynak yöntemi ısı katsayısı (MIG için 0,8)

U = Voltaj

I = Amper

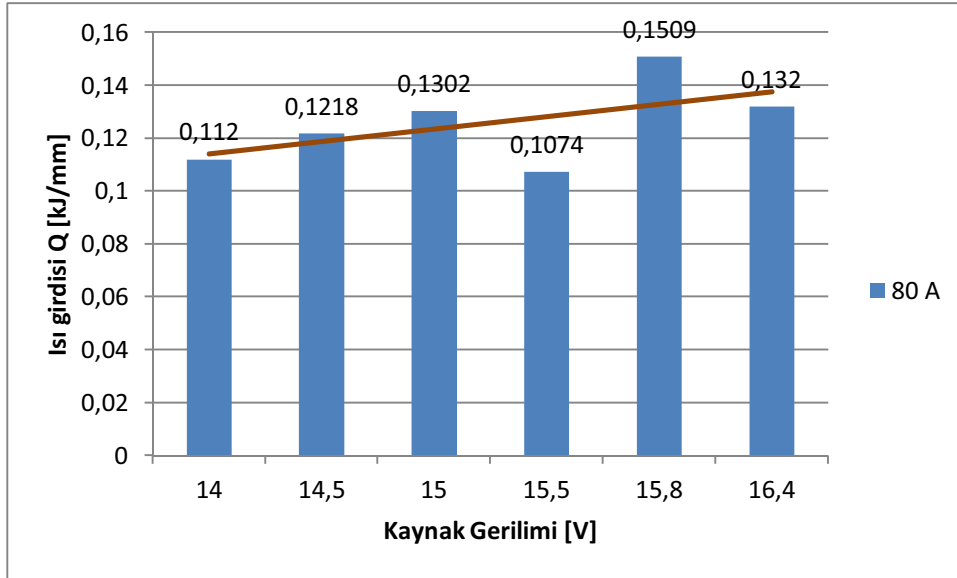
v = Kaynak ilerleme hızı

Tablo 5.6. Numunelerin Isı Girdileri

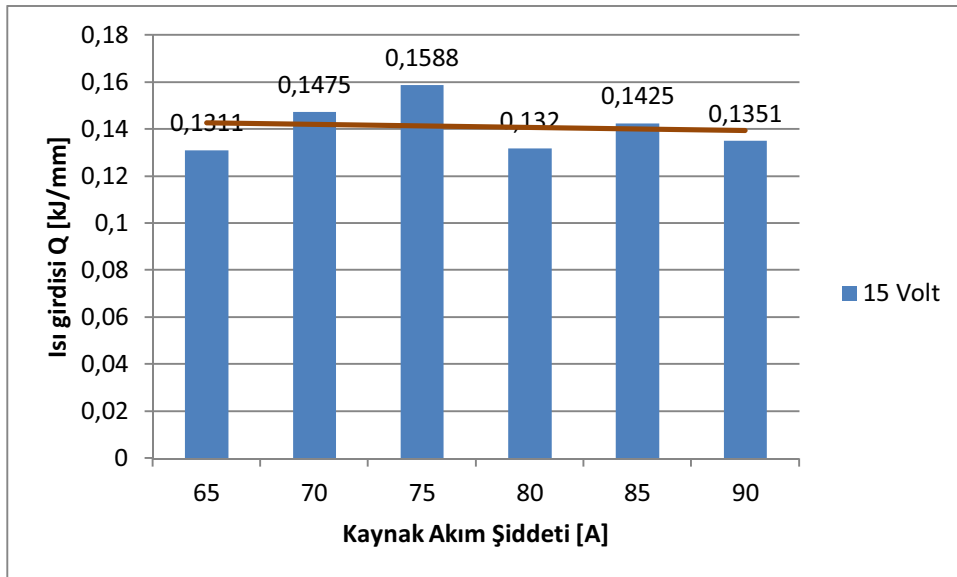
N.	Akım	V	Süre	E
R	80	15,0	22	0,1320
1	85	15,6	21	0,1392
2	90	15,8	19	0,1351
3	75	15,2	27	0,1587
4	70	14,0	30	0,1475
5	65	14,4	28	0,1311
6	80	16,4	23	0,1508
7	80	15,5	21	0,1302
8	80	14,0	20	0,1120
9	80	14,5	21	0,1218
10	80	15,8	17	0,1074

E = Isı Girdisi

V = Voltaj



Şekil 5.68. 80A kaynak akım şiddetinde kaynatılan numunelerin ısı girdileri – kaynak gerilimi grafiği

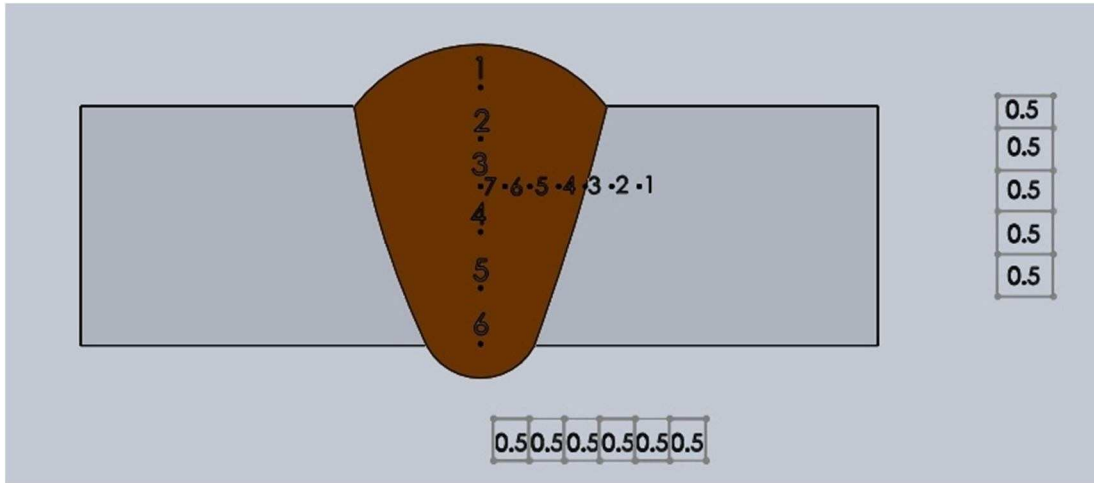


Şekil 5.69. 15V kaynak geriliminde kaynatılan numunelerin ısı girdileri – kaynak akım şiddeti grafiği

Numunelerin kaynak damla geometrileri incelendiğinde parametrelerden biri olan tel hızının damla geometrisine etkisi hızın artmasıyla damla alanının azalması şeklinde olmuştur. Aynı şekilde Kaynak akımının artırılması da kaynak hızını arttırdığından kaynak damla geometrisi azalmıştır.

5.8. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma

Birleştirilen tüm numunelerin kesit yüzeylerinden sertlik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 5.70. Mikro sertlik ölçülen yerler

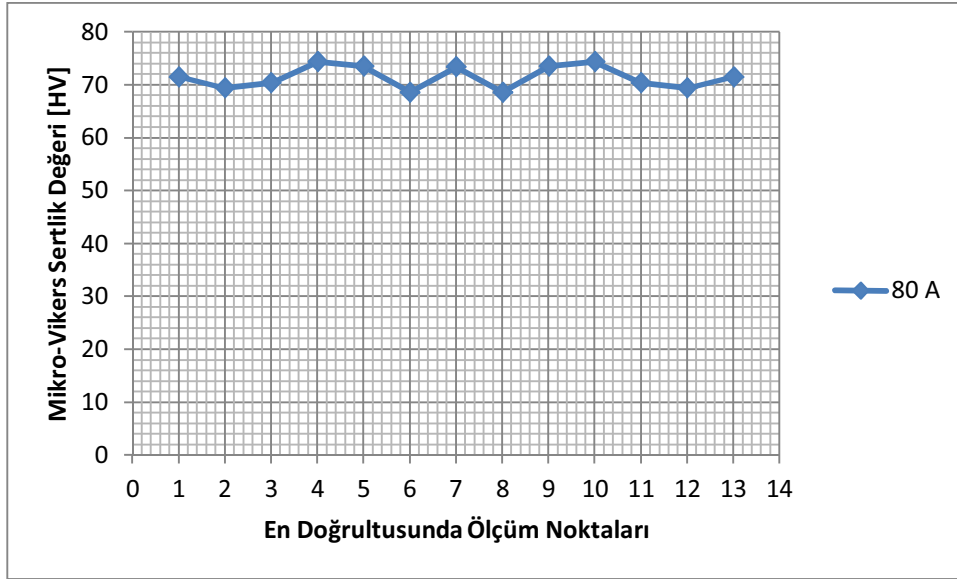
Tablo 5.7. Numunelerin Yatay Eksen Sertlik Değerleri

	1	2	3	4	5	6	7
Ref. Num	71,5	69,4	70,4	74,4	73,5	68,6	73,4
1. Num	56,1	55,5	54,8	66,2	56,6	61,2	63,5
2. Num	58,3	55,6	63,1	61,8	65,4	65,9	65,5
3. Num	60,0	53,7	71,5	70,8	66,5	68,5	71,4
4. Num	59,1	62,1	60,3	59,9	67,0	61,8	65,9
5. Num	51,5	53,1	48,1	63,8	66,8	56,4	61,9
6. Num	57,4	56,7	64,4	63,8	61,1	68,5	45,4
7. Num	59,7	58,3	57,6	67,9	67,2	61,6	66,3
8. Num	57,1	59,4	62,9	56,9	66,8	66,8	66,2
9. Num	61,8	61,4	56,0	61,5	65,2	55,7	58,0
10. Num	61,3	61,7	63,5	67,8	66,4	58,9	66,2

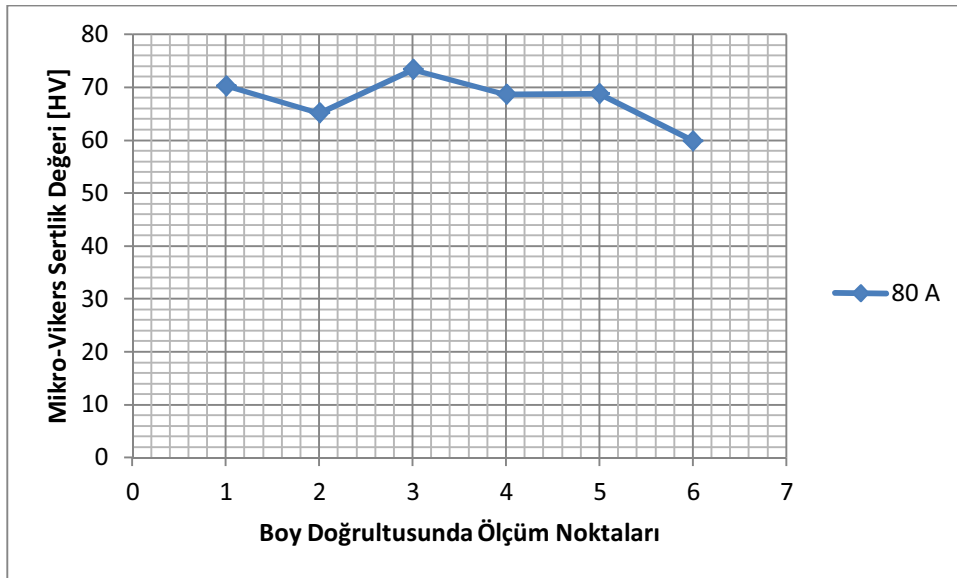
Tablo 5.8. Numunelerin Dikey Eksen Sertlik Değerleri

	1	2	3	4	5
Ref. Num	70,3	65,2	68,7	68,8	59,9
1. Num	68,2	63,8	63,0	71,7	64,0
2. Num	66,3	70,0	63,2	62,8	60,4
3. Num	70,6	66,5	68,5	66,1	67,9
4. Num	62,6	60,8	68,6	64,4	59,0
5. Num	62,4	64,4	63,1	64,1	63,2
6. Num	61,3	34,0	53,9	41,5	52,4
7. Num	65,4	65,3	66,5	66,2	41,4
8. Num	66,5	64,4	63,7	71,0	61,5
9. Num	67,2	64,9	53,5	53,3	54,5
10. Num	52,9	67,3	63,1	62,3	59,0

Referans numune için;

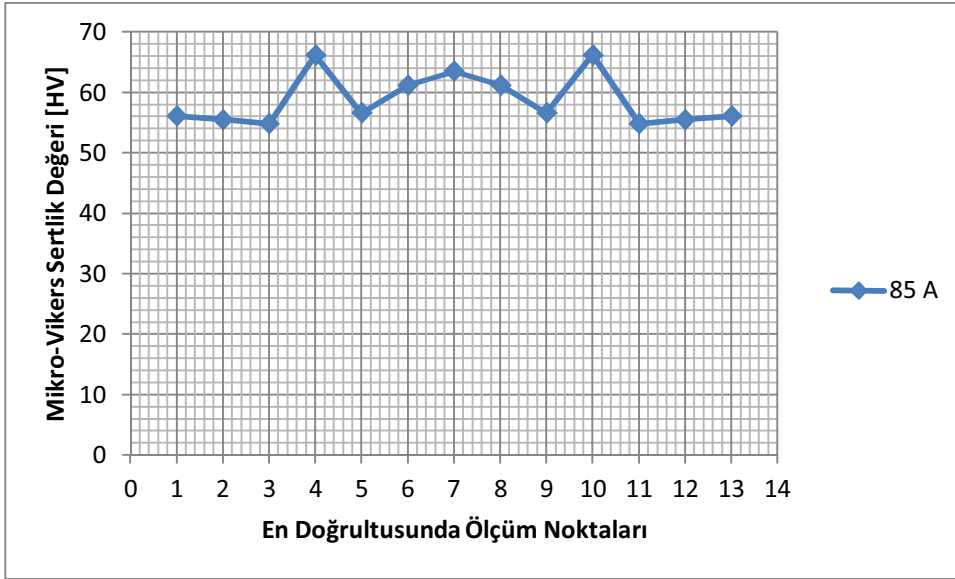


Şekil 5.71. Referans numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

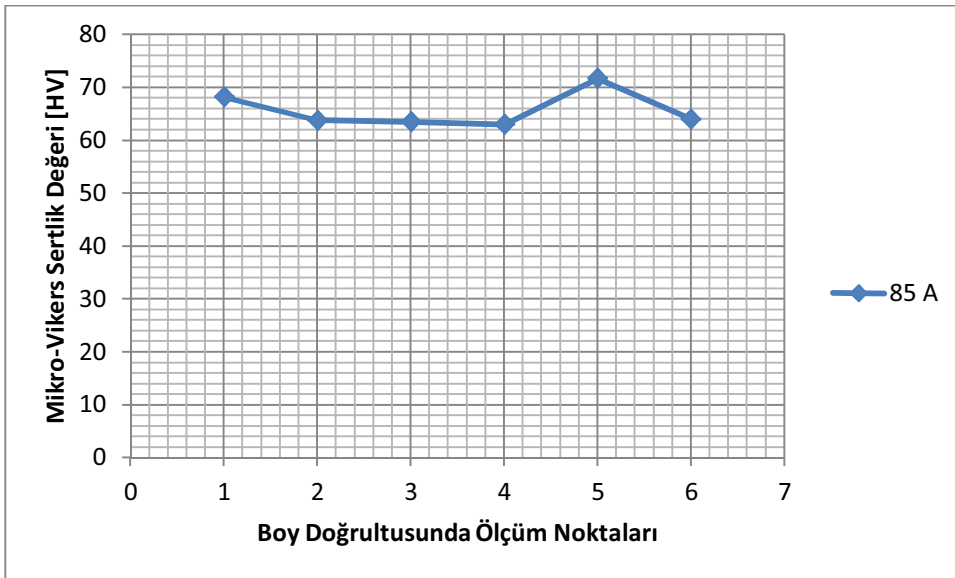


Şekil 5.72. Referans numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

1 numaralı numune için;

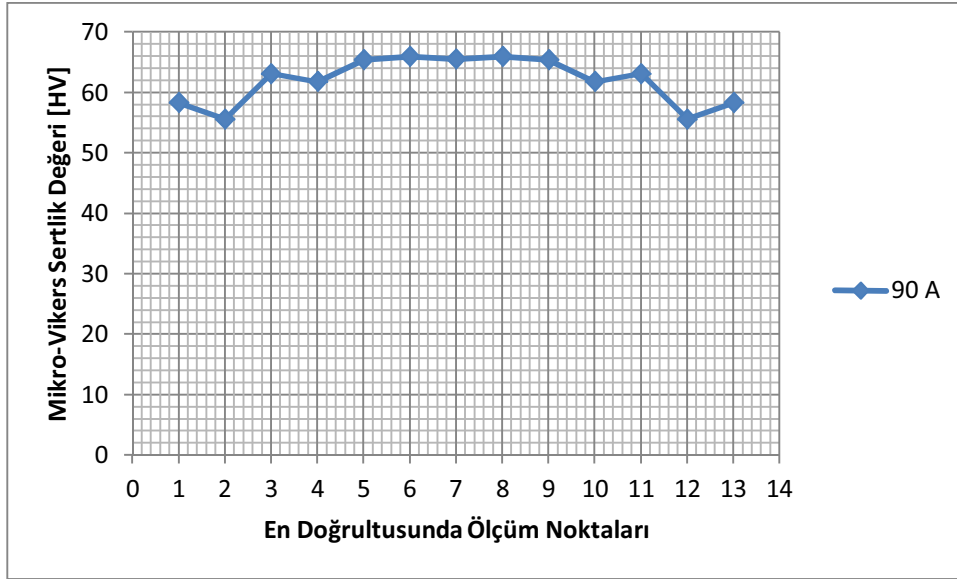


Şekil 5.73. 1 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

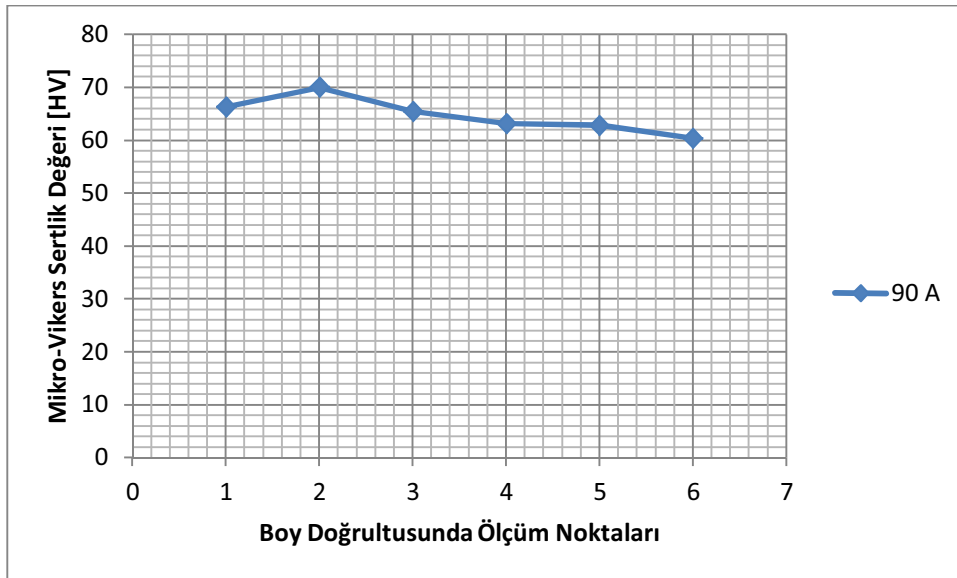


Şekil 5.74. 1 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

2 numaralı numune için;

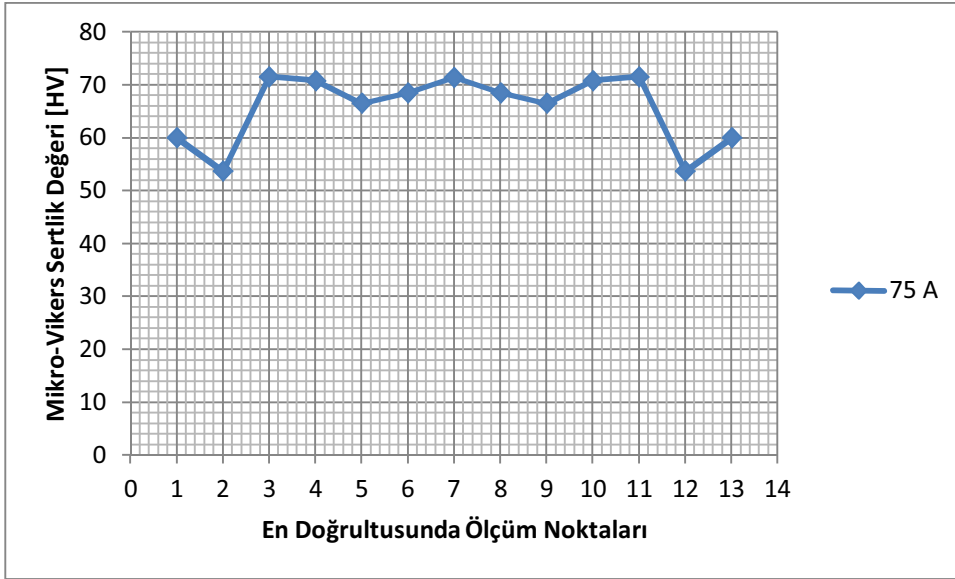


Şekil 5.75. 2 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

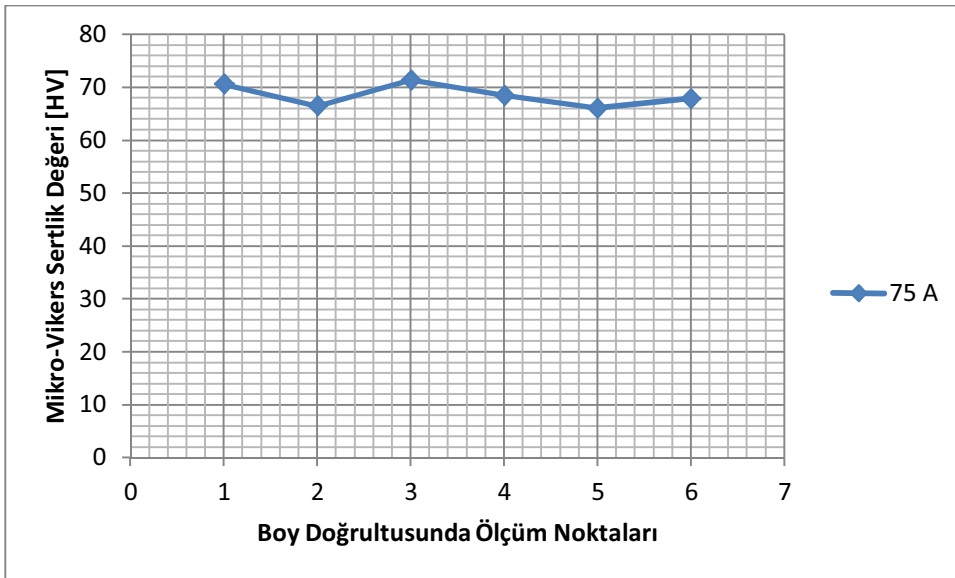


Şekil 5.76. 2 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

3 numaralı numune için;

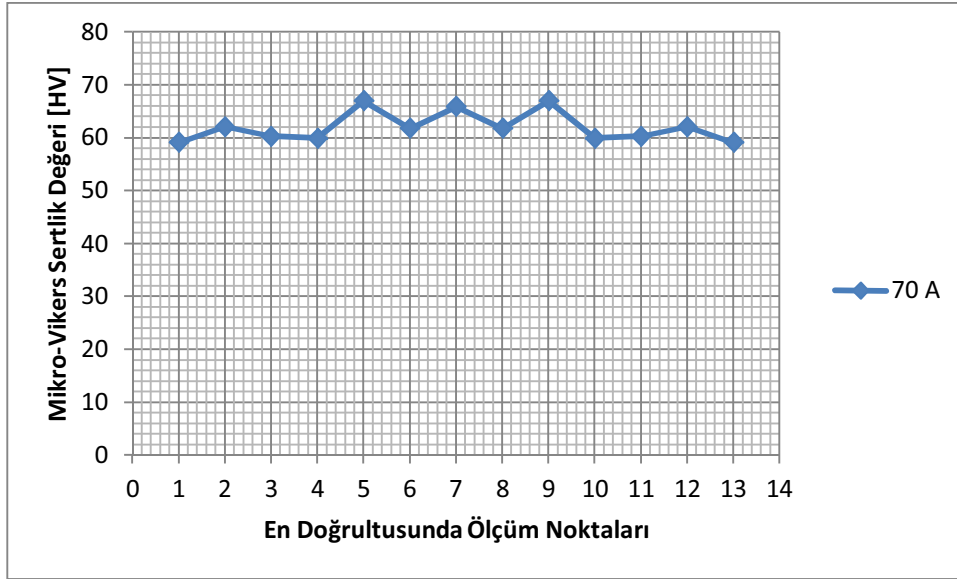


Şekil 5.77. 3 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

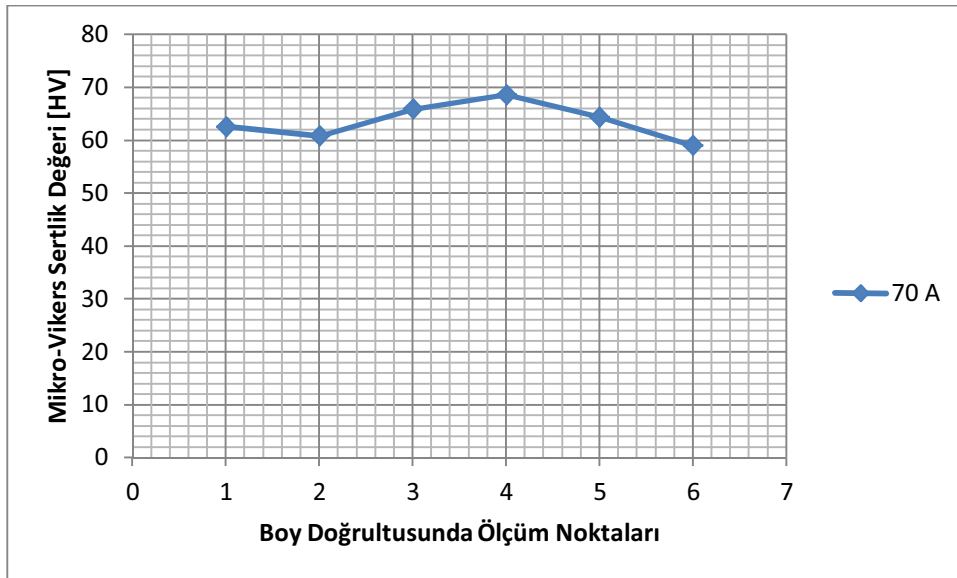


Şekil 5.78. 3 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

4 numaralı numune için;

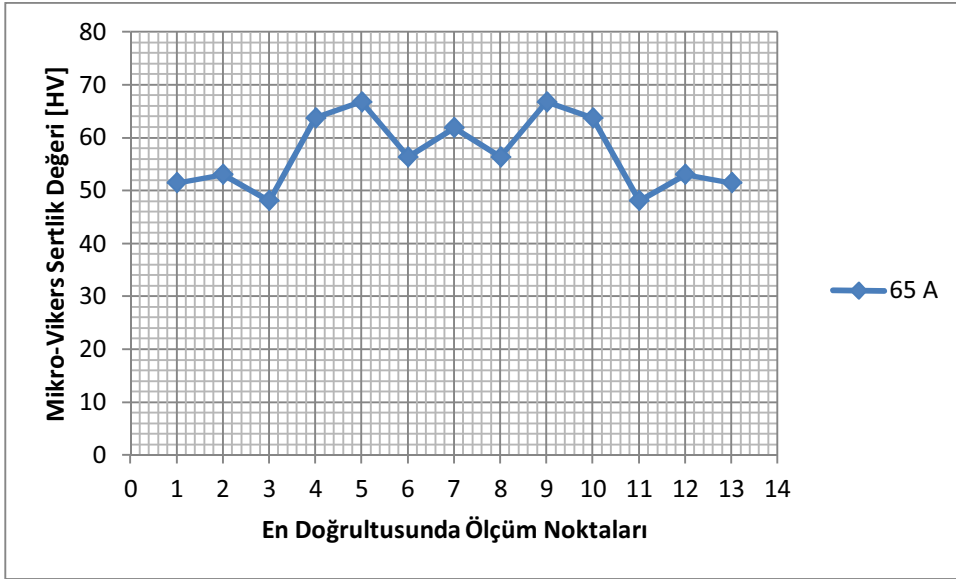


Şekil 5.79. 4 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

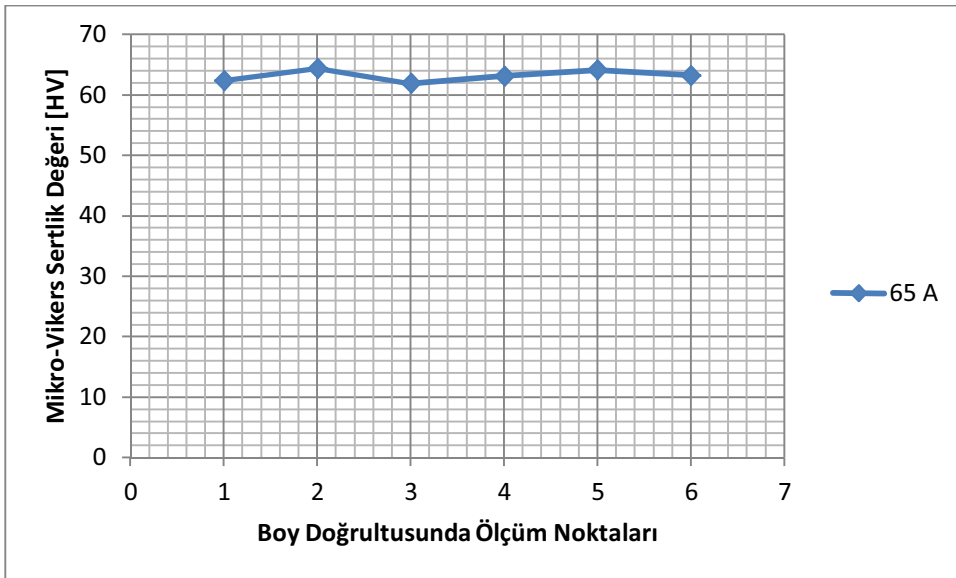


Şekil 5.80. 4 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

5 numaralı numune için;

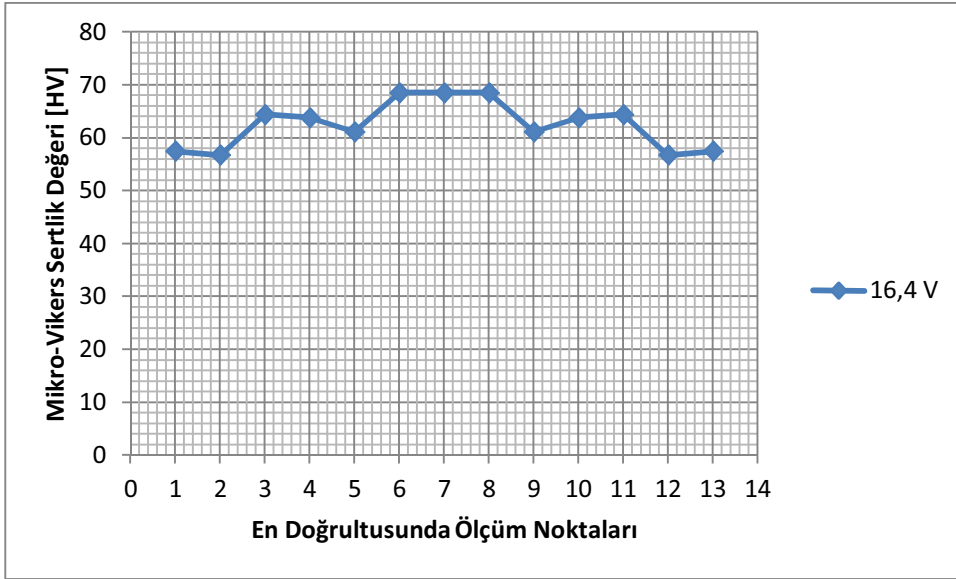


Şekil 5.81. 5 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

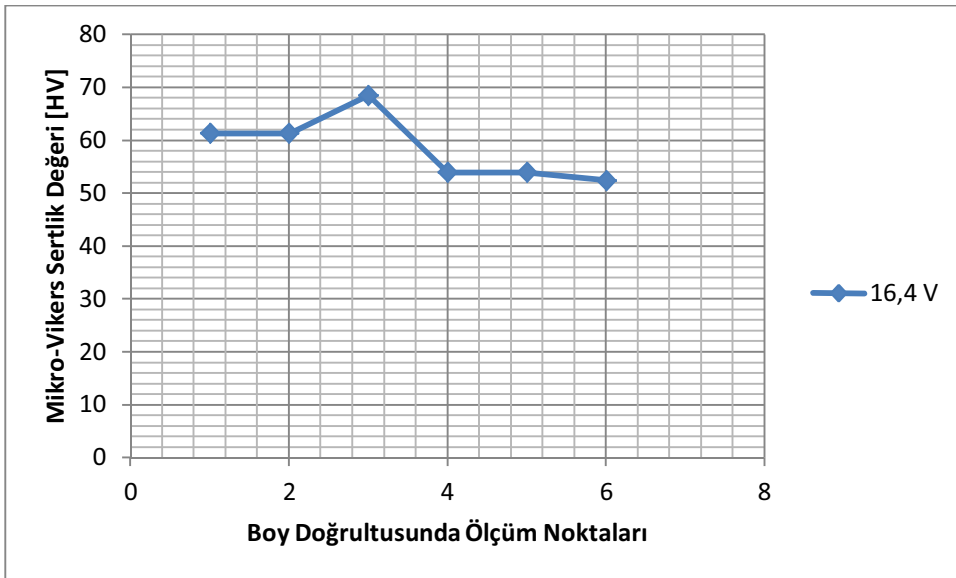


Şekil 5.82. 5 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

6 numaralı numune için;

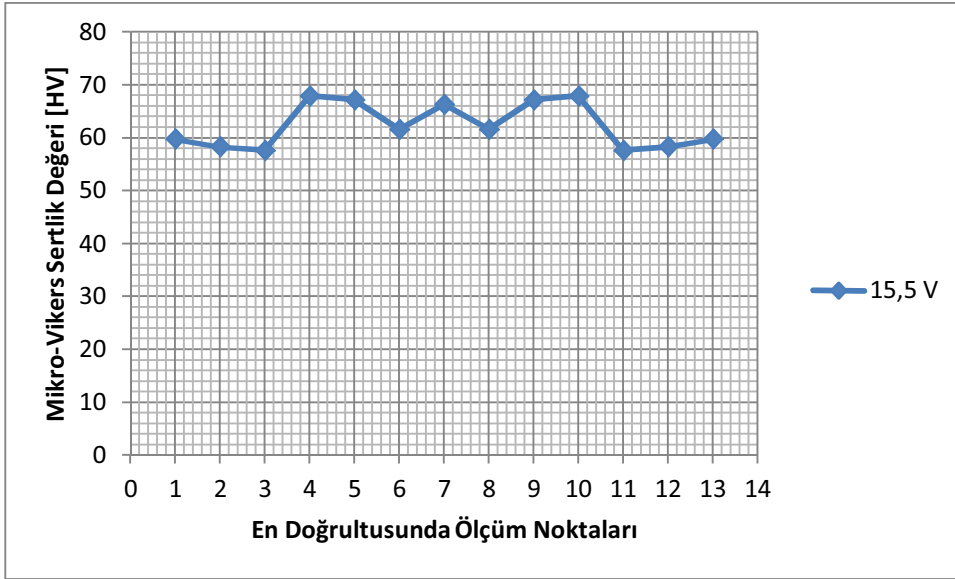


Şekil 5.83. 6 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

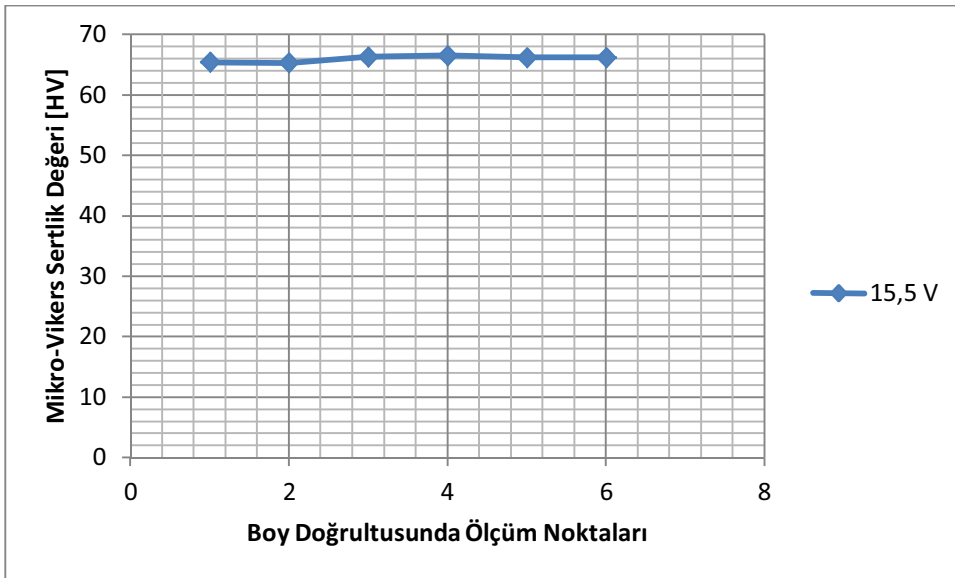


Şekil 5.84. 6 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

7 numaralı numune için;

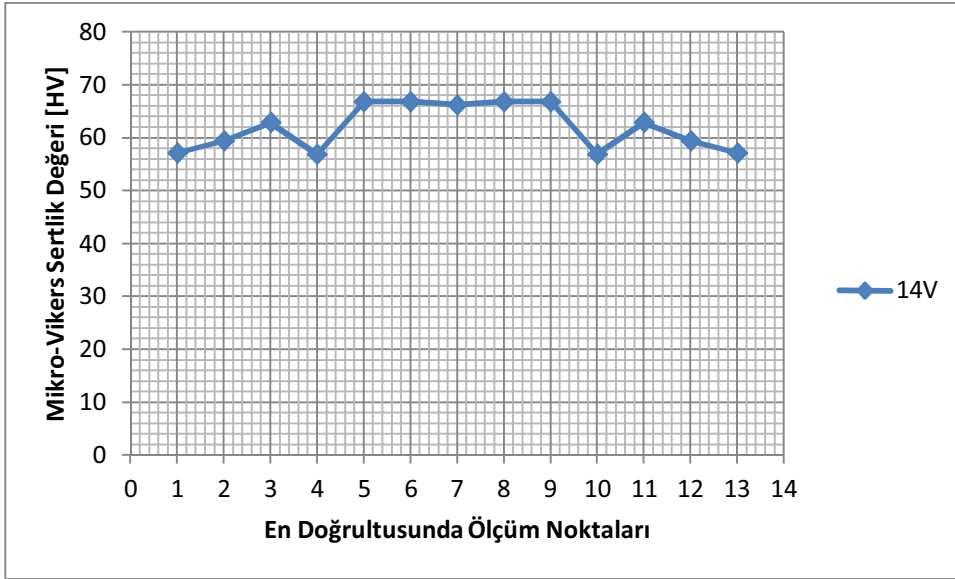


Şekil 5.85. 7 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

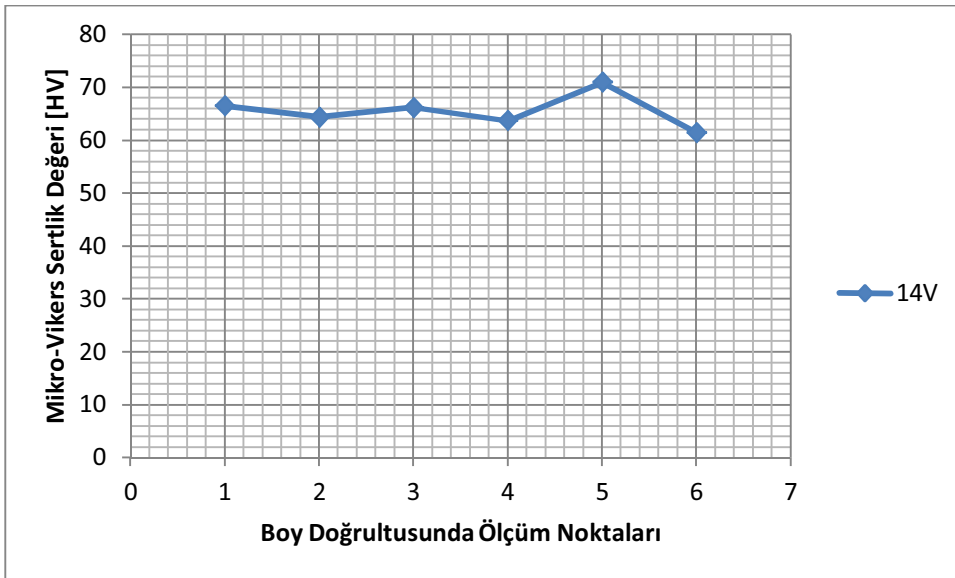


Şekil 5.86. 7 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

8 numaralı numune için;

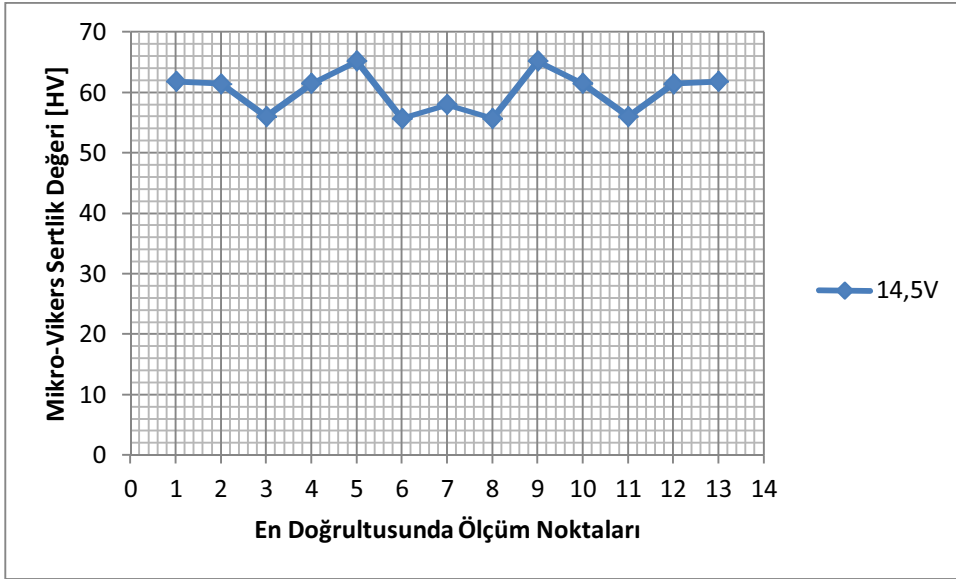


Şekil 5.87. 8 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

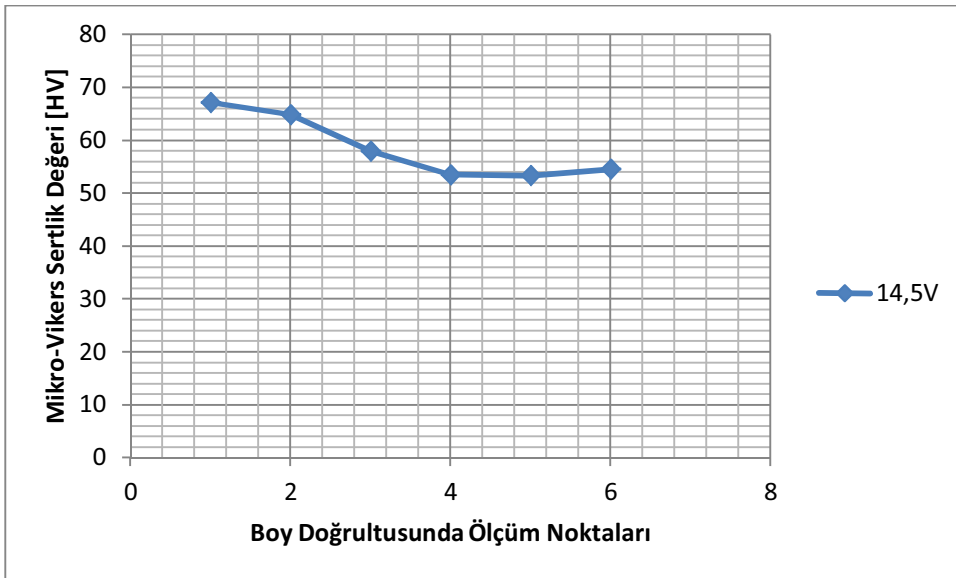


Şekil 5.88. 8 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

9 numaralı numune için;

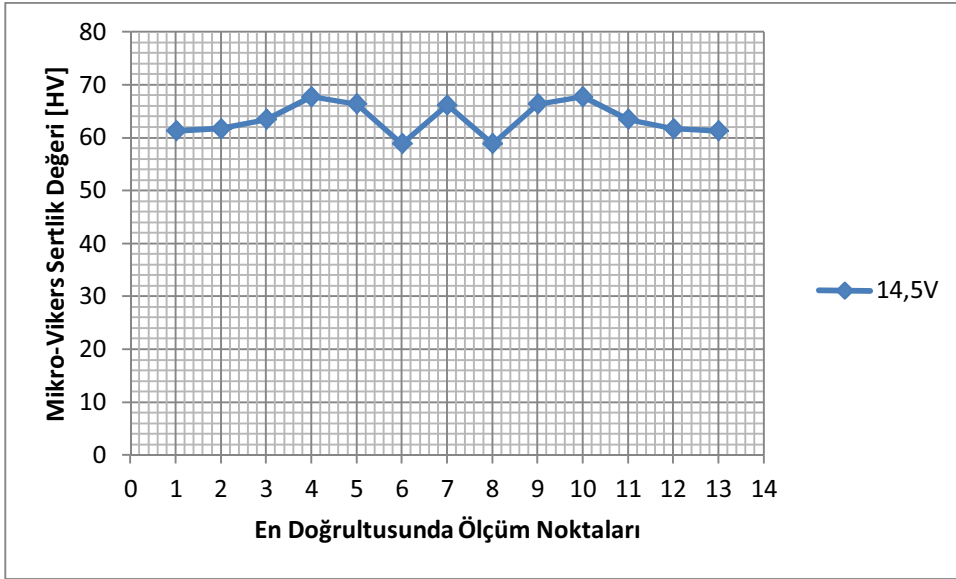


Şekil 5.89. 9 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği

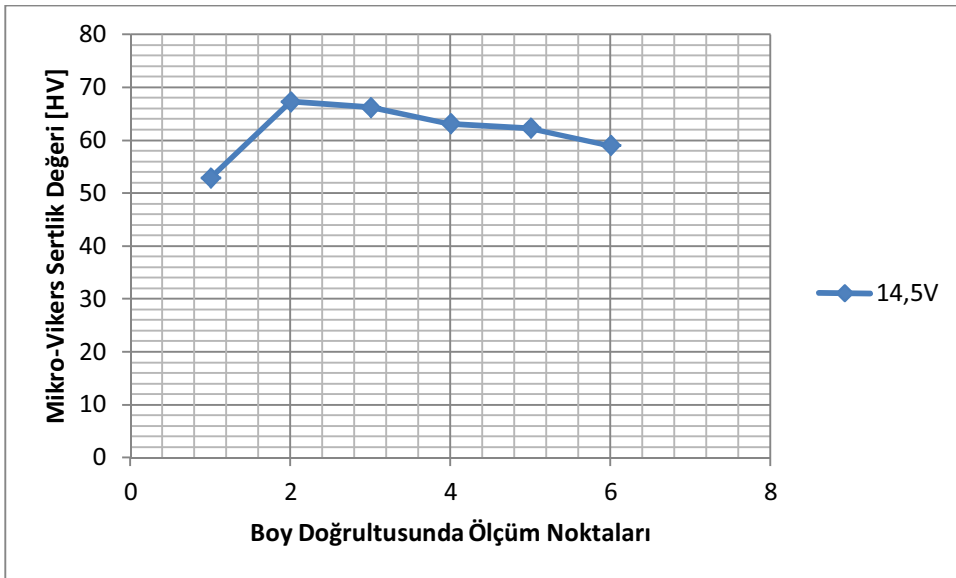


Şekil 5.90. 9 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

10 numaralı numune için;



Şekil 5.91. 10 numaralı numunenin yatay eksen sertlik değeri grafiği



Şekil 5.92. 10 numaralı numunenin dikey eksen sertlik değeri grafiği

Şekil 5.70’de mikro sertlik ölçüm yerleri verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 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 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada alüminyum alaşımları ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı konusunda literatür araştırması yapılarak teorik bilgiler kazanılmıştır. Deneysel çalışmalar kısmında AlMn5 alaşımlı alüminyum telle kaynaklı birleştirilmesi yapılmıştır. Yapılan birleştirmelerin çekme, eğme, mikro sertlik ve makro yapı incelemeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapılan çekme deneyleri sonucunda numunelerin akma, çekme ve % uzamaları bulundu. Elde edilen sonuçlardan kaynak akımının değiştirilmesi yapıda gözenek oluşumuna sebebiyet verdiği için istenen birleşme sağlanamadı. Kaynak parametrelerinden tel hızının değiştirilmesi de nüfuziyetsiz birleşmelere neden olduğu görüldü. Bu parametreler ise çekme mukavemetini düşürücü yönde etki yaptığı yapılan deneylerde ve deneylerden elde edilen grafiklerde görüldü.
2. % uzama sonuçlarından çıkarılan sonuç tel hızını azaltığımızda % uzama artmış tel hızını arttırdığımızda ise % uzama da azalma görülmüştür. Bunun nedeni yüksek tel hızında fazla kaynak metali girdisinden dolayı kaynak bölgesinde yığılmayla birlikte bir sertlik meydana gelir. Bu da uzamayı etkiler.
3. Gerçekleştirilen eğme deneyi sonuçlarında en yüksek dayanımın amper değişimlerinde olduğu görülmüştür. Kaynak akımının azaltılması veya artırılması eğme deney sonuçlarının değerlerini arttırmıştır.

4. 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.
5. Amper şiddetinin artırılması kaynak hızını arttırdığından şiddetli arktan dolayı yine gözenekli ve nüfuziyetsiz bir birleşmeye sebep olduğu anlaşılmıştır.

6.2. Öneriler

1. Alüminyumun birleştirilmesi alüminyumun yüksek ısı iletiminden dolayı çeliklere nazaran zordur.
2. Bu yüzden alüminyum kaynağı en uygun parametreler belirlenip kaynak işlemi yapılmalıdır.
3. Ayrıca malzeme yüzeyi, Yağ, kir nemden mutlaka arındırılmış olmalıdır.
4. 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 makinakları ile çalışmalarını iyi olur. Çünkü kaynak hızı ve dolayısıyla kaynak dikişi elle yapılan kaynakta tam olarak ayarlanamadığı için değerlerde sapmalar olabileceği tahmin edilmektedir.
5. Değişik kaynak pozisyonlarında kaynak damla geometrisi incelenebilir.
6. Daha kalın alüminyum malzeme kullanılarak çentik darbe deneyi araştırılabilir.
7. Mikro yapı incelemesi için hazırlanan numunelerin SEM ve TEM de fotoğrafları çekilerek mikro yapı incelemesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] AKÇA, H., TIG Yöntemiyle Kaynak Edilen Alüminyum ve Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul, 2006
- [2] YÜKLER, İ., Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri, İstanbul, 2000
- [3] ERDEN, A., İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA6016 Alaşımının Mikro ve Makro Yapısal İncelemesi, İstanbul, 2006
- [4] KALUÇ, E., TABAN, E., Metal Dünyası, sayfa 144, 2005
- [5] TÜLBENTÇİ, K., MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, 1990
- [6] http://www.makinateknik.org/download/download/aluminyum_alasimlari.rar, 17.04.2009
- [7] <http://www.turkcad.com/index.php/20080330244/Aluminyum-Malzemeler/Aluminyum-ve-Alasimlari-MIG-Kaynagi.htm>, 20.04.2009
- [8] TÜLBENTÇİ, K., Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, Y.Ü. Yazokulu, İstanbul, 1987
- [9] OĞUZ, B., Demirdışı Metallerin Kaynağı, OERLIKON Yayını, 1990
- [10] KORG, H., Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Robot Kaynağı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Y. Lisans, Sakarya, 2007
- [11] HANLI, İ., Alüminyum Malzemelerin Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Y. Lisans, Sakarya, 2009

ÖZGEÇMİŞ

Selim KIRLI, 13.02.1986 tarihinde Manisa'da doğdu. İlköğrenimini Kemal Pınar İlköğretim Okulu, orta öğrenimini Anadolu İmam-Hatip Lisesi, liseyi ise Özel Ege Ufuk Lisesi'nde tamamlamıştır. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Öğrenim hayatında başladı ve 2008 yılında mezun olarak yine aynı bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı.