

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**EN AW 6061 T6 ALÜMİNYUM MALZEMELERİN MIG KAYNAK
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI KAYNAK
PARAMETRELERİNİN MEKANİK DEĞERLERE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat DAĞLARAŞTI

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Faruk VAROL

Ocak 2024

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**EN AW 6061 T6 ALÜMİNYUM MALZEMELERİN MIG KAYNAK
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI KAYNAK
PARAMETRELERİNİN MEKANİK DEĞERLERE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat DAĞLARAŞTI

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Faruk VAROL	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erman FERİK	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Sedat DAĞLARAŞTI

05/01/2024

TEŞEKKÜR

Bana bu çalışmayı tamamlamayı nasip eden Allah'a hamd ve bize ilmi öğreten Rasulullah'a salatu selam ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim ve aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Faruk VAROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımdaki en büyük faktörlerden olan sevgili annem Müzeyyen DAĞLARAŞTI'ya ve saygı değer babam Ahmet DAĞLARAŞTI'ya, tanıdığım günden beri her durumda koşulsuz yanımda olan değerli eşim Ayşe DAĞLARAŞTI'ya, gülücükleriyle tezime katkıda bulunan canım oğlum Barlas DAĞLARAŞTI'ya, tezim ile ilgili her konuda bilgi, birikim ve tecrübesinden yararlandığım Sayın Timuçin ÖĞRENİR'e, Sayın Cemal TATAROĞLU'na, Sayın Kadir KORKMAZ'a, Sayın Zeynep Betül EROVA'ya ve Sayın Buket YILMAZ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
SİMGELER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	15
1.1. Tezin Amacı	15
1.2. Literatür Araştırması	15
1.3. Hipotez	17

BÖLÜM 2.

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	18
2.1. Alüminyuma Ait Başlıca Özellikler	18
2.2. Alüminyumun Dayanımı	18
2.3. Alaşım Elementlerinin Etkisi	20
2.4. Korozyon Direnci	21
2.4.1. pH değerinin etkisi	21
2.5. Alüminyum Alaşımının Şekillendirilmesi ve Bağlantı Teknikleri	21
2.6. Alüminyum Alaşımının Sınıflandırılması	22
2.6.1. Alaşım elementlerine göre sınıflandırma	22
2.6.2. Kondisyonlarına göre sınıflandırma	23
2.6.3. Isıl işlem durumuna göre.....	24
2.7. Alüminyum ve Çeliğin Kaynaklanabilme Kabiliyetlerinin Kıyaslanması.....	25
2.8. Alüminyum Alaşımının Kaynak Özellikleri	26
2.8.1. Kaynağa uygunluğu	26
2.8.1.1. 1XXX grubu.....	28
2.8.1.2. 2XXX grubu.....	29
2.8.1.3. 3XXX grubu.....	29
2.8.1.4. 4XXX grubu.....	30

2.8.1.5. 5XXX grubu.....	30
2.8.1.6. 6XXX grubu.....	30
2.8.1.7. 7XXX grubu.....	31
2.8.1.8. 8XXX grubu.....	31
2.9. 6061 T6 Alaşımlarının Üretim Yöntemi Bakımından Farklılıkları	32

BÖLÜM 3.

KAYNAK TEKNİĞİ VE ALÜMİNYUM KAYNAK YÖNTEMLERİ 35

3.1. Kaynak Yöntemlerine Ait Kronolojik Gelişim Süreci	35
3.2. Kaynak Yöntemleri ve Terimleri	37
3.2.1. Eritme kaynağı	37
3.2.2. Basınç kaynağı	37
3.3. Metal Kaynak Yöntemleri	38
3.3.1. Gaz kaynağı.....	39
3.3.2. Elle ark kaynağı	40
3.3.3. Metal koruyucu gaz kaynağı (MIG/MAG)	41
3.3.4. Tungsten asal gaz kaynağı (TIG)	42
3.3.5. Tozaltı kaynağı.....	43
3.3.6. Direnç nokta kaynağı	44
3.4. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri.....	45

BÖLÜM 4.

METAL INERT GAZ KAYNAĞI (MIG) 47

4.1. Tanımı	47
4.2. MIG Yönteminde Kullanılan Kaynak Metaline Ait Taşınım Tipleri.....	47
4.2.1. Kısa ark	47
4.2.2. Sprey ark	48
4.2.3. Uzun ark.....	49
4.3. MIG Kaynak Makinası Donanımları.....	50
4.3.1. Güç ünitesi (Kaynak redresörü)	51
4.3.2. Tel sürme ünitesi	53
4.3.3. Hortum paketi	56
4.3.4. Kaynak torcu	57
4.3.4.1. Kontak meme	60
4.3.4.2. Gaz nozulu	60
4.3.5. Soğutma ünitesi.....	60
4.3.6. Koruyucu gaz donanımı	61
4.3.6.1. Alüminyumun MIG kaynağında kullanılan gazlar	63

BÖLÜM 5.

MIG KAYNAK YÖNTEMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER..... 67

5.1. Kaynak Öncesi Seçilebilir Parametreler	67
5.1.1. İlave metal çapı	67
5.1.2. Koruyucu Gaz Türü	67
5.2. Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler	68

5.2.1. Kaynak akım şiddeti.....	68
5.2.2. Ark Boyu (Kaynak Gerilimi)	69
5.2.3. Kaynak Hızı	70
5.3. İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler.....	70
5.3.1. Serbest Tel Boyu.....	70
5.3.2. Torç Açısı.....	71

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	73
6.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar.....	73
6.2. Deney	78
6.2.1. 1 numaralı numunenin test sonuçları	80
6.2.2. 2 numaralı numunenin test sonuçları	84
6.2.3. 3 numaralı numunenin test sonuçları	88
6.2.4. 4 numaralı numunenin test sonuçları	92
6.2.5. 5 numaralı numunenin test sonuçları	96
6.2.6. 6 numaralı numunenin test sonuçları	100
6.2.7. 7 numaralı numunenin test sonuçları	104
6.2.8. 8 numaralı numunenin test sonuçları	108
6.2.9. 9 numaralı numunenin test sonuçları	112
6.2.10. 10 numaralı numunenin test sonuçları	116
6.2.11. 11 numaralı numunenin test sonuçları	120
6.2.12. 12 numaralı numunenin test sonuçları	124
6.2.13. 13 numaralı numunenin test sonuçları	128
6.2.14. 14 numaralı numunenin test sonuçları	132
6.2.15. 15 numaralı numunenin test sonuçları	136
6.2.16. 16 numaralı numunenin test sonuçları	140
6.2.17. 17 numaralı numunenin test sonuçları	144
6.2.18. 18 numaralı numunenin test sonuçları	148
6.2.19. 19 numaralı numunenin test sonuçları	152
6.2.20. 20 numaralı numunenin test sonuçları	156
6.2.21. 21 numaralı numunenin test sonuçları	160
6.2.22. 22 numaralı numunenin test sonuçları	164
6.2.23. 23 numaralı numunenin test sonuçları	168

BÖLÜM 7.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	173
7.1. Sonuçlar.....	173
7.2. Öneriler.....	174

KAYNAKLAR	176
------------------------	------------

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
EN	: Avrupa Standardı
HAZ	: Heat Effected Zone
hmk	: Hacim merkezli kübik
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	: Metal Aktif Gaz Kaynağı
MIG	: Metal Inert Gaz Kaynağı
TS	: Türk Standardı
TIG	: Tungsten Inert Gaz Kaynağı
ymk	: Yüzey merkezli kübik

SİMGELER

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cr	: Krom
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetreküp
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
g	: Gram
J	: Joule
K	: Kelvin
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
MPa	: Megapaskal
m	: Metre
mm	: Milimetre
pH	: Power of hydrogen
Rp0,2	: Akma mukavemeti
Rm	: Çekme mukavemeti
Si	: Silisyum
s	: Saniye
Zn	: Çinko
%A	: Yüzde uzama
°C	: Santigrad derece
Ω	: Ohm
μm	: Mikrometre

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 : Bazı metal malzemelerin fiziksel özellikleri.	19
Tablo 2.2 : Düşük alaşımlı çelikler ile alüminyum ve türevlerinin fiziksel özellikleri.....	19
Tablo 2.3 : Bazı metal malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları.....	20
Tablo 2.4 : Saf alüminyum ile demirin temel özelliklerinin karşılaştırılması	26
Tablo 3.1 : Kaynak yöntemlerinin gelişimi	36
Tablo 3.2 : Alüminyum ve türevlerinde kullanılan kaynak yöntemlerinin temel özellikleri.....	45
Tablo 3.3 : Bazı kaynak yöntemlerinin kısa gösterimler	46
Tablo 4.1 : Alüminyum sac kalınlığına bağlı MIG kaynağı için akım üreticinin seçimi	52
Tablo 4.2 : Doğal havanın hacimsel bileşimi.....	62
Tablo 4.3 : ISO 14175'e göre koruyucu gazların bazı özellikleri	63
Tablo 6.1 : Test Plakalarının Kimyasal Bileşimi (%)	73
Tablo 6.2 : Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi (%)	73
Tablo 6.3 : Kaynak parametreleri.....	79
Tablo 6.4 : 1 numaralı numune çekme testi sonuçları	81
Tablo 6.5 : 1 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	81
Tablo 6.6 : 1 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	82
Tablo 6.7 : 2 numaralı numune çekme testi sonuçları	85
Tablo 6.8 : 2 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	85
Tablo 6.9 : 2 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	86
Tablo 6.10 : 3 numaralı numune çekme testi sonuçları	89
Tablo 6.11 : 3 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	89
Tablo 6.12 : 3 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	90
Tablo 6.13 : 4 numaralı numune çekme testi sonuçları	93
Tablo 6.14 : 4 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	93
Tablo 6.15 : 4 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	94
Tablo 6.16 : 5 numaralı numune çekme testi sonuçları	97
Tablo 6.17 : 5 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	97
Tablo 6.18 : 5 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	98
Tablo 6.19 : 5 numaralı numune çekme testi sonuçları	101
Tablo 6.20 : 6 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	101
Tablo 6.21 : 6 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	102
Tablo 6.22 : 7 numaralı numune çekme testi sonuçları	105
Tablo 6.23 : 7 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	105
Tablo 6.24 : 7 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	106
Tablo 6.25 : 8 numaralı numune çekme testi sonuçları	109
Tablo 6.26 : 8 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	109
Tablo 6.27 : 8 numaralı numune sertlik testi sonuçları.....	110

Tablo 6.28 : 9 numaralı numune çekme testi sonuçları	113
Tablo 6.29 : 9 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	113
Tablo 6.30 : 9 numaralı numune sertlik testi sonuçları	114
Tablo 6.31 : 10 numaralı numune çekme testi sonuçları	117
Tablo 6.32 : 10 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	117
Tablo 6.33 : 10 numaralı numune sertlik testi sonuçları	118
Tablo 6.34 : 11 numaralı numune çekme testi sonuçları	121
Tablo 6.35 : 11 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	121
Tablo 6.36 : 11 numaralı numune sertlik testi sonuçları	122
Tablo 6.37 : 12 numaralı numune çekme testi sonuçları	125
Tablo 6.38 : 12 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	125
Tablo 6.39 : 12 numaralı numune sertlik testi sonuçları	126
Tablo 6.40 : 13 numaralı numune çekme testi sonuçları	129
Tablo 6.41 : 13 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	129
Tablo 6.42 : 13 numaralı numune sertlik testi sonuçları	130
Tablo 6.43 : 14 numaralı numune çekme testi sonuçları	133
Tablo 6.44 : 14 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	133
Tablo 6.45 : 14 numaralı numune sertlik testi sonuçları	134
Tablo 6.46 : 15 numaralı numune çekme testi sonuçları	137
Tablo 6.47 : 15 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	137
Tablo 6.48 : 15 numaralı numune sertlik testi sonuçları	138
Tablo 6.49 : 16 numaralı numune çekme testi sonuçları	141
Tablo 6.50 : 16 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	141
Tablo 6.51 : 16 numaralı numune sertlik testi sonuçları	142
Tablo 6.52 : 17 numaralı numune çekme testi sonuçları	145
Tablo 6.53 : 17 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	145
Tablo 6.54 : 17 numaralı numune sertlik testi sonuçları	146
Tablo 6.55 : 18 numaralı numune çekme testi sonuçları	149
Tablo 6.56 : 18 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	149
Tablo 6.57 : 18 numaralı numune sertlik testi sonuçları	150
Tablo 6.58 : 19 numaralı numune çekme testi sonuçları	153
Tablo 6.59 : 19 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	153
Tablo 6.60 : 19 numaralı numune sertlik testi sonuçları	154
Tablo 6.61 : 20 numaralı numune çekme testi sonuçları	157
Tablo 6.62 : 20 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	157
Tablo 6.63 : 20 numaralı numune sertlik testi sonuçları	158
Tablo 6.64 : 21 numaralı numune çekme testi sonuçları	161
Tablo 6.65 : 21 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	161
Tablo 6.66 : 21 numaralı numune sertlik testi sonuçları	162
Tablo 6.67 : 22 numaralı numune çekme testi sonuçları	165
Tablo 6.68 : 22 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	165
Tablo 6.69 : 22 numaralı numune sertlik testi sonuçları	166
Tablo 6.70 : 23 numaralı numune çekme testi sonuçları	169
Tablo 6.71 : 23 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları	169
Tablo 6.72 : 23 numaralı numune sertlik testi sonuçları	170

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Örnek alüminyum türevi kısa gösterimi.	23
Şekil 2.2 : Alüminyum alaşımlarındaki farklı katılaşma türleri.....	27
Şekil 2.3 : Çeşitli alüminyum alaşımlarının nispi çatlak eğitimi.	28
Şekil 2.4 : DC levha üretim iş adımları	33
Şekil 2.5 : DC levha imalat yönteminin şematik gösterimi	33
Şekil 2.6 : TRC (çift merdaneli) levha üretim prosesinin şematik gösterimi	34
Şekil 3.1 : Kaynak yöntemlerinin temel sınıflandırılması.	37
Şekil 3.2 : Gaz kaynağı.	39
Şekil 3.3 : Elektrik ark kaynağı.....	40
Şekil 3.4 : MIG/MAG kaynağı	41
Şekil 3.5 : TIG kaynağı.	42
Şekil 3.6 : Tozaltı kaynağı.	43
Şekil 3.7 : Direnç nokta kaynağı.	44
Şekil 4.1 : Kısa ark	48
Şekil 4.2 : Sprey ark	49
Şekil 4.3 : Uzun ark.....	50
Şekil 4.4 : MIG kaynak makinasının yapısı	51
Şekil 4.5 : Kademeli ayarlı-Kademesiz ayarlı akım üreteçleri akım-voltaj diyagramı	51
Şekil 4.6 : MIG akım üreticinin şematik gösterimi.	53
Şekil 4.7 : Tel sürme şeması.	54
Şekil 4.8 : Tel sürme makaraları	54
Şekil 4.9 : Tel klavuzu hatalarından kaynaklı deformasyonlar ve aşırı sürtünme.	55
Şekil 4.10 : Tel sürme makaraları kaynaklı hatalar	55
Şekil 4.11 : Hortum paketi ve farklı kullanım türlerinin şematik gösterimi	57
Şekil 4.12 : MIG kaynak torcu (hava soğutmalı) şematik gösterimi	58
Şekil 4.13 : Akım kontak memelerinde sık görülen hatalar	59
Şekil 4.14 : Örnek bir soğutma ünitesi	61
Şekil 4.15 : Basınç düşürme ventilinin şematik gösterimi	66
Şekil 4.16 : Kullanılan gazların dikiş profiline etkisinin şematik gösterimi	68
Şekil 4.17 : Gaz tüketimi, elektrod çapı, nozül çapı ve akım arasındaki bağlantı ...	69
Şekil 4.18 : MIG kaynağında çalışma bölgeleri	70
Şekil 5.1 : Serbest tel boyunun dikiş üzerindeki etkileri	71
Şekil 5.2 : Eğimine eksenine göre dikişin değişimi	72
Şekil 6.1 : Spektrometre cihazı	74
Şekil 6.2 : Çalışmada kullanılan MIG kaynak makinası.....	74
Şekil 6.3 : Çalışmada kullanılan izopropil alkol	75
Şekil 6.4 : Çekme testi cihazı	76
Şekil 6.5 : Çentik darbe testi cihazı.....	76
Şekil 6.6 : Sertlik testi cihazı	77

Şekil 6.7 : Makrografi ve mikrografi test cihazı	77
Şekil 6.8 : Birleştirilen plakalardan bir örnek	78
Şekil 6.9 : Parçaların mekanik test numuneleri.....	80
Şekil 6.10 : 1 numaralı numune çekme testi grafiği	81
Şekil 6.11 : 1 numaralı numune makrografi görüntüsü	82
Şekil 6.12 : 1 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	83
Şekil 6.13 : 1 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	83
Şekil 6.14 : 1 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	84
Şekil 6.15 : 2 numaralı numune çekme testi grafiği	85
Şekil 6.16 : 2 numaralı numune makrografi görüntüsü	86
Şekil 6.17 : 2 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	87
Şekil 6.18 : 2 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	87
Şekil 6.19 : 2 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	88
Şekil 6.20 : 3 numaralı numune çekme testi grafiği	89
Şekil 6.21 : 3 numaralı numune makrografi görüntüsü	90
Şekil 6.22 : 3 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	91
Şekil 6.23 : 3 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	91
Şekil 6.24 : 3 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	92
Şekil 6.25 : 4 numaralı numune çekme testi grafiği	93
Şekil 6.26 : 4 numaralı numune makrografi görüntüsü	94
Şekil 6.27 : 4 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	95
Şekil 6.28 : 4 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	95
Şekil 6.29 : 4 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	96
Şekil 6.30 : 5 numaralı numune çekme testi grafiği	97
Şekil 6.31 : 5 numaralı numune makrografi görüntüsü	98
Şekil 6.32 : 5 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	99
Şekil 6.33 : 5 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	99
Şekil 6.34 : 5 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	100
Şekil 6.35 : 5 numaralı numune çekme testi grafiği	101
Şekil 6.36 : 6 numaralı numune makrografi görüntüsü	102
Şekil 6.37 : 6 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	103
Şekil 6.38 : 6 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	103
Şekil 6.39 : 6 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	104
Şekil 6.40 : 7 numaralı numune çekme testi grafiği	105
Şekil 6.41 : 7 numaralı numune makrografi görüntüsü	106
Şekil 6.42 : 7 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	107
Şekil 6.43 : 7 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	107
Şekil 6.44 : 7 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	108
Şekil 6.45 : 8 numaralı numune çekme testi grafiği	109
Şekil 6.46 : 8 numaralı numune makrografi görüntüsü	110
Şekil 6.47 : 8 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	111
Şekil 6.48 : 8 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	111
Şekil 6.49 : 8 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	112
Şekil 6.50 : 9 numaralı numune çekme testi grafiği	113
Şekil 6.51 : 9 numaralı numune makrografi görüntüsü	114
Şekil 6.52 : 9 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	115
Şekil 6.53 : 9 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	115
Şekil 6.54 : 9 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	116
Şekil 6.55 : 10 numaralı numune çekme testi grafiği	117
Şekil 6.56 : 10 numaralı numune makrografi görüntüsü	118

Şekil 6.57 : 10 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	119
Şekil 6.58 : 10 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	119
Şekil 6.59 : 10 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	120
Şekil 6.60 : 11 numaralı numune çekme testi grafiği	121
Şekil 6.61 : 11 numaralı numune makrografi görüntüsü	122
Şekil 6.62 : 11 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	123
Şekil 6.63 : 11 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	123
Şekil 6.64 : 11 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	124
Şekil 6.65 : 12 numaralı numune çekme testi grafiği	125
Şekil 6.66 : 12 numaralı numune makrografi görüntüsü	126
Şekil 6.67 : 12 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	127
Şekil 6.68 : 12 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	127
Şekil 6.69 : 12 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	128
Şekil 6.70 : 13 numaralı numune çekme testi grafiği	129
Şekil 6.71 : 13 numaralı numune makrografi görüntüsü	130
Şekil 6.72 : 13 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	131
Şekil 6.73 : 13 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	131
Şekil 6.74 : 13 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	132
Şekil 6.75 : 14 numaralı numune çekme testi grafiği	133
Şekil 6.76 : 14 numaralı numune makrografi görüntüsü	134
Şekil 6.77 : 14 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	135
Şekil 6.78 : 14 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	135
Şekil 6.79 : 14 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	136
Şekil 6.80 : 15 numaralı numune çekme testi grafiği	137
Şekil 6.81 : 15 numaralı numune makrografi görüntüsü	138
Şekil 6.82 : 15 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	139
Şekil 6.83 : 15 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	139
Şekil 6.84 : 15 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	140
Şekil 6.85 : 16 numaralı numune çekme testi grafiği	141
Şekil 6.86 : 16 numaralı numune makrografi görüntüsü	142
Şekil 6.87 : 16 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	143
Şekil 6.88 : 16 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	143
Şekil 6.89 : 16 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	144
Şekil 6.90 : 17 numaralı numune çekme testi grafiği	145
Şekil 6.91 : 17 numaralı numune makrografi görüntüsü	146
Şekil 6.92 : 17 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	147
Şekil 6.93 : 17 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	147
Şekil 6.94 : 17 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	148
Şekil 6.95 : 18 numaralı numune çekme testi grafiği	149
Şekil 6.96 : 18 numaralı numune makrografi görüntüsü	150
Şekil 6.97 : 18 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	151
Şekil 6.98 : 18 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	151
Şekil 6.99 : 18 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	152
Şekil 6.100 : 19 numaralı numune çekme testi grafiği	153
Şekil 6.101 : 19 numaralı numune makrografi görüntüsü	154
Şekil 6.102 : 19 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	155
Şekil 6.103 : 19 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü	155
Şekil 6.104 : 19 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü	156
Şekil 6.105 : 20 numaralı numune çekme testi grafiği	157
Şekil 6.106 : 20 numaralı numune makrografi görüntüsü	158

Şekil 6.107 : 20 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	159
Şekil 6.108 : 20 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	159
Şekil 6.109 : 20 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	160
Şekil 6.110 : 21 numaralı numune çekme testi grafiği	161
Şekil 6.111 : 21 numaralı numune makrografi görüntüsü	162
Şekil 6.112 : 21 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	163
Şekil 6.113 : 21 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	163
Şekil 6.114 : 21 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	164
Şekil 6.115 : 22 numaralı numune çekme testi grafiği	165
Şekil 6.116 : 22 numaralı numune makrografi görüntüsü	166
Şekil 6.117 : 22 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	167
Şekil 6.118 : 22 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	167
Şekil 6.119 : 22 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	168
Şekil 6.120 : 23 numaralı numune çekme testi grafiği	169
Şekil 6.121 : 23 numaralı numune makrografi görüntüsü	170
Şekil 6.122 : 23 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü	171
Şekil 6.123 : 23 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü.....	171
Şekil 6.124 : 23 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü.....	172

EN AW 6061 T6 ALÜMİNYUM MALZEMELERİN MIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE FARKLI KAYNAK PARAMETRELERİNİN MEKANİK DEĞERLERE ETKİLERİ

ÖZET

Ülkemiz ve dünya sanayi endüstrisinde kaynaklı birleştirme işlemi oldukça yaygın kullanılan bir işlemdir. Kaynaklı birleştirme işlemi çok farklı çeşitler sayesinde hemen her metal malzemeye uygulanabildiği gibi bazı noktalarda plastik malzemelere de uygulanabilir. Endüstride en yaygın kullanılan kaynak yöntemleri Elektrik Ark kaynağı, Metal Inert Gaz kaynağı (MIG) ve Metal Aktif Gaz kaynağı (MAG) kaynağıdır.

Çelik malzemelerin birleştirilmesinde MAG (metal aktif gaz) yöntemi, alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde ise MIG (metal inert gaz) kaynak yöntemi kullanılır.

Bu çalışmada demiryolu araçları sektöründe özellikle hızlı tren gövde ve şasilerinin imalatında kullanılan EN AW 6061 T6 serisi alüminyum alaşımları MIG (metal inert gaz) kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Çalışma kapsamındaki tüm numunelere PA pozisyonunda BW (alın birleştirme) uygulanmış ve birleştirme işlemlerinde 150x300x3 mm ebatlarında plakalar kullanılmıştır. Kaynak işlemi boyunca her numune için bütün parametreler sabit kalmak kaydı ile bir tek değişken parametre tercih edilmiş ve belirlenen değişken parametrenin farklı değerleri ile 3' er adet numune birleştirilmiştir. Çalışmalarda su soğutmalı 500A güce sahip fronius marka kaynak makinası kullanılmıştır. Kaynak teli olarak 1,2 mm çapında 5356 (AlMg5) kaynak ilave metali, zirkonyum katkılı kontak meme kullanılmıştır. Ayrıca çalışma boyunca kaynak makinasının CMT (cold metal transfer) modu aktif tutulmuştur.

Mukavemet değerlerinin kıyaslanabilmesi için her bir kaynaklı numuneden 3 adet çekme test numunesi, 6 adet çentik darbe test numunesi ve bir adet sertlik test numunesi hazırlanmıştır. Çentik darbe test numuneleri 2 adet ana malzemeden, 2 adet ITAB (ısı tesiri altındaki bölge)'den ve 2 adet kaynak dikişinden çalışmıştır. Böylece kaynak bölgesinin ısı girdisinden etkilenip etkilenmediği, eğer etkilendi ise hangi bölgelerde çentik darbe enerjilerinde değişiklikler olduğu saptanmıştır.

Birleştirme bölgelerindeki nüfuziyet derinlikleri ve kaynak dikiş ölçüleri makrografi muayene ile tespit edilmiştir. Ayrıca kaynak dikişi, ITAB ve ana malzeme bölgelerinde oluşabilecek mikroyapı çökelmeleri veya kimyasal bileşenlerdeki değişiklikler mikrografi muayene ile incelenmiştir.

Çalışma sonunda tüm numunelerin mekanik değerleri kendi birbirleri ile kıyaslanarak yüksek mukavemet değerleri elde etmek için hangi kaynak parametrelerinin kullanılması gerektiği önerilerle sunulmaya çalışılmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda alüminyum kaynağı için tespit edilen öneriler maddeler halinde sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Birleştirme, Kaynak, MIG, AW 6061

EFFECTS OF DIFFERENT WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL VALUES IN JOINING EN AW 6061 T6 ALUMINUM MATERIALS WITH MIG WELDING METHOD

ABSTRACT

Welded joining is a widely used process in our country and the world's industrial industry. Welded joining process can be applied to almost every metal material thanks to many different types, and at some points it can also be applied to plastic materials. The most commonly used welding methods in the industry are Electric Arc welding, Metal Inert Gas welding (MIG) and Metal Active Gas welding (MAG).

MAG (metal active gas) welding method is used to join steel materials, and MIG (metal inert gas) welding method is used to join aluminum materials.

In this study, EN AW 6061 T6 series aluminum alloys, which are used in the railway vehicles industry, especially in the manufacturing of high-speed train bodies and chassis, were combined with the MIG (metal inert gas) welding method. BW (butt joining) was applied to all samples within the scope of the study in PA position and plates with dimensions of 150x300x3 mm were used in the joining process. During the welding process, a single variable parameter was preferred for each sample, provided that all parameters remained constant, and 3 samples were combined with different values of the determined variable parameter. A water-cooled Fronius brand welding machine with 500A power was used in the work. 1.2 mm diameter 5356 (AlMg5) welding filler metal and zirconium added contact nozzle was used as welding wire. In addition, the CMT (cold metal transfer) mode of the welding machine was kept active throughout the work.

In order to compare the strength values, 3 tensile test samples, 6 notch impact test samples and one hardness test sample were prepared from each welded sample. Notch impact test samples were tested from 2 main materials, 2 HAZ (heat affected zone) and 2 weld seams. Thus, it was determined whether the welding area was affected by heat input and, if so, in which areas there were changes in notch impact energies.

Penetration depths and weld seam dimensions in the joint areas were determined by macrographic examination. In addition, microstructure precipitations or changes in chemical components that may occur in the weld seam, HAZ and main material areas were examined by micrographic examination.

At the end of the study, mechanical values of all samples were compared with each other and recommendations were made on which welding parameters should be used to obtain high strength values. In addition, the recommendations determined for aluminum welding as a result of the study are listed in items.

Keywords: Aluminum, Joining, Welding, MIG, AW 6061

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Endüstride birleştirme yöntemi olarak sıklıkla tercih edilen kaynaklı birleştirme işlemi alüminyum malzeme üzerinde uygulanarak farklı kaynak parametrelerinin malzeme mekanik değerleri üzerindeki etkileri incelenecektir. Çalışmanın amacı hangi parametrenin artırılması mekanik değerleri artırıcı, hangi parametrenin azaltılması mekanik değerleri azaltıcı ya da hangi parametrenin mekanik değerler üzerinde değişken bir etkiye sahip olmadığını belirlenmesidir.

Çalışma sonunda 3 mm kalınlığa sahip 6000 serisi alüminyum malzemenin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi için optimum kaynak parametreleri belirlenebilecektir.

1.2. Literatür Araştırması

Alüminyumun ilk ispatı 1813 yılında İngiliz bilim adamı Humphrey Davy tarafından açıklanmış, 1825 yılına gelindiğinde Hans Christian Oersted (İngiliz) tarafından ayrıştırılmış biçimde elde edilmiştir. Bu tarihten itibaren alüminyum, 1886 yılına değin Heroult prosesinin kullanımına kadar geçen sürede nadir olarak sadece laboratuvarlarda elde edilmiştir [1].

Alüminyum yer kabuğunda birçok farklı şekilde bileşikler halinde bulunur ancak bunlar arasında boxite alüminyumun üretilmesinde mali olarak en ekonomik bileşiktir. Üretilen alüminyum, elektrolitik ya da lokal ergitme (zone-melting) işlemleri kullanılmadan %5-10 oranında Si (silisyum) veya Fe (demir) gibi empüriteler içermektedir. Ancak bu yöntemler kullanılarak %99,9 saflıkta Al (alüminyum) elde etmek mümkündür. Elde edilen üstün saflıktaki Al (alüminyum) alaşımlandırılmış Al 'ya (alüminyum) göre daha düşük mekanik değerlere sahip olmakta ve uygulama alanı çok dar olmaktadır. Mekanik

özelliklerinin artırılması için Al (alüminyum) çoğunlukla Cu (bakır), Mn (mangan), Mg (magnezyum), Si (silisyum) ve Zn (çinko) ilaveleri yapılarak alaşımlandırılırlar [1, 2].

Alüminyum malzemesinin mukavemet değerlerinin artırılması için yapılan deneysel çalışmalar sonucunda XX. Yüzyılın ilk yıllarında Al-Cu alaşımına yaşlandırma ve çökelme sertleşmesi uygulanmış, sonrasında ağırlık bakımından karbon çeliklerinin sadece 1/3' ü kadar olmasına rağmen mukavemet değerleri açısından bu çeliklerle mukayese edilebilecek değerlere sahip alüminyum alaşımlarının üretilmesi işlemi başarıyla sonuçlandırılmıştır. Çoğunlukla II. Dünya Savaşı esnasında alüminyum malzemesinin uçak gövdelerinde ve kaplama parçalarında kullanılmasının başlaması sebebiyle alüminyum üzerine yapılan araştırma-geliştirme çalışmaları önem kazanmıştır. Özellikle bu süreçte alüminyumla ilgili en değerli gelişme asal gazla korunmalı kaynak yöntemlerinden olan MIG-TIG (metal-tungsten inert gaz) kaynak yöntemleri konusunda yaşanmıştır. Bu gelişme ayrıca bir ergitme cihazına ihtiyaç olmadan ark kaynağıyla yüksek mekanik özellikli kaynaklama işlemlerinin yapılmasına zemin oluşturmuştur. II. Dünya Savaşı bitimini takip eden yıllardan sonra alüminyum malzemeler ulaşım araçlarında (otomotiv, gemi, tren vs.) ve yapı elemanlarında kullanılmaya başlanmış olup kullanım alanları günümüzde de artarak devam etmektedir [1].

Yapılan araştırmalara göre tüm dünyadaki alüminyum tüketimi 2019 yılında yaklaşık olarak 51 milyon ton civarındadır. Bunun yaklaşık 4,5 milyon tonu Almanya'da kullanılmakla birlikte toplamda yaklaşık 16 milyon tonu Avrupa kıtasında kullanılmaktadır. Günümüzde alüminyum üzerine kurulan imalat sanayi dünya çapında yaklaşık 2,35 milyon çalışan ile yılda takribi 250 milyar dolar ciro yapmaktadır. Avrupa'daki ciro 328.000 çalışan ile yaklaşık 34 milyar euro dolaylarındadır. Almanya bu sektörde yaklaşık 98.000 çalışan ile 18 milyar euro paya sahiptir. Almanya'da alüminyum malzeme endüstrisinin %55'ten fazlasını ulaştırma ve inşaat sektörü oluşturmaktadır [3].

Ulaştırma sektöründe alüminyum özellikle raylı taşıt ve otomobil alanında çok büyük alana sahiptir. 2019 yılında ortalama bir otomobilde alüminyum miktarı 150kg dolaylarındadır. Bunun yaklaşık %50'si şekillendirilebilir mamul, %50'si ise döküm malzemelerden oluşmaktadır [3].

Günümüzde bu malzeme özellikle uzay ve havacılık sanayi, otomotiv ve inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Alüminyum hafiflik ve korozyon karşısında göstermiş olduğu yüksek direnç sebebiyle imal usullerinden yüksek performans alınmakta ve ekonomik yönden tasarruf sağlanmaktadır.

1.3. Hipotez

Literatürde yapılan araştırmalar göstermektedir ki kaynaklı birleştirme işlemi, cihaz parametreleri, operatör kabiliyetleri ve ortam etkileri başta olmak üzere birçok değerden etkilenmekte ve bunun neticesinde birleştirilmiş ürünlerin mukavemet değerleri farklılık gösterebilmektedir.

Bu çalışma sonunda kaynak makinası üzerinden ayarlanabilen ve operatöre bağlı toplamda 8 farklı parametrenin birleştirme işlemi üzerindeki mukavemet etkileri incelenecektir. İşlem sonucunda her bir değer için mekanik değerlerde değişiklik beklenmekle beraber malzeme iç yapısında herhangi bir değişiklik beklenmemektedir.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyuma Ait Başlıca Özellikler

Alüminyum yer kürede diğer metallere birleşik durumda bulunmakta olup yer kürede bulunan tüm metaller içerisindeki oranı %8'dir. Bununla beraber kalay, demir, bakır vb. gibi metallerden uzun zaman sonra keşfedilmiş, endüstride yaklaşık olarak son 100-110 yıl içerisinde kullanılmaya başlanmıştır [2].

Mekanik açıdan sahip olduğu özellikler neticesinde endüstrinin birçok alanında kendisine çeşitli kullanım yerleri bulmuştur. Alüminyumun endüstride tercih edilmesinin başlıca sebepleri aşağıda verilmiştir;

- Hafiflik
- Korozyona karşı direnci
- Şekillenebilme kabiliyeti
- Yüksek seviyeli ısı, elektrik iletkenliği
- Geri dönüşüm
- Alaşımlandırma ile sağlanabilen üstün mekanik özellikler [2].

2.2. Alüminyumun Dayanımı

Alüminyum $2,7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğuyla endüstride yaygın olarak kullanılan metaller arasında en hafif olanıdır (Tablo 2.1). Alüminyumun hafif olması, alüminyum ve alaşımlarının endüstride kullanımını oldukça cazip hale getirmektedir [4].

Tablo 2.1 : Bazı metal malzemelerin fiziksel özellikleri [4].

Özellikler	5087	6005 T5	E24	E36	Paslanmaz AISI 304
Çekme Mukavemeti (MPa)	305,00	285,00	410,00	550,00	660,00
Akma Mukavemeti (MPa)	170,00	260,00	240,00	360,00	300,00
Uzaman Oranı (%)	22,00	12,00	24,00	20,00	54,00
Young Modülü (MPa)	71,000	69,500	210,000	210,000	210,000
Yoğunluk (g/cm ³)	2,660	2,700	7,80	7,80	7,90
Lineer Genleşme Oranı (10 ⁻⁶ x [°C] ⁻¹)	23,80	23,60	11,70	11,70	17,50

Alüminyum, dayanım özelliklerinin yanında, çeliğe nazaran daha düşük seviyeli ergime sıcaklığı, daha yukarıda ısı ve elektriksel iletkenliği olan malzemelerdir (Tablo 2.2) [5].

Tablo 2.2 : Düşük alaşımlı çelikler ile alüminyum ve türevlerinin fiziksel özellikleri [5].

Malzeme	Ergime Noktası (°C)	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm ²)	Isı İletkenliği (J/cmsK)
%99,9 Al	650	35,00	2,25
Al Mg 5	510-620	16,70	1,27
Al Mg Si	610-645	31,11	1,83
%0,10 Karbon İçerikli Çelik	1510	9,32	0,51

Alüminyum, başka metallere kıyasla en düşük yeniden kristalleşme sıcaklığına sahip metallerden biridir (Tablo 2.3) [6].

Tablo 2.3 : Bazı metal malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları [6].

Metal	Minimum Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C)
Alüminyum	150
Tantalyum	1000
Demir	450
Bakır	200
Magnezyum	200
Molibden	900
Nikel	600

2.3. Alaşım Elementlerinin Etkisi

Alüminyumun kullanım alanını çeşitlendirmek ve mukavemet değerlerini karşılamak amacıyla genel alaşımlandırma işlemleri alüminyum meteline de uygulanmaktadır. Alaşımlandırma işlemlerinde kullanılan aşılama elementleri ve bu elementlerin etkileri şu şekilde sıralanabilmektedir.

- Silisyum; dayanım ve sünekliği artırdığı gibi Mg (magnezyum) ile çökelme sertleşmesini sağlar [6].
- Bakır; çökelme sertleşmesinin uygulamasını artırır, korozyon direncini ve sünekliği azalttığı gibi kaynaklanabilirliği de düşürür [6].
- Demir; içerisinde bulunan artık elementtir. Mukavemeti artırır [6].
- Krom; gerilme korozyonu direncinde artış sağlar [6].
- Magnezyum; katı ergiyik sertleşmesi ile mekanik özelliklerde artış sağlar [6].
- Mangan, soğuk işlem uygulanabilmesini iyileştirir ve katı ergiyik sertleşmesi ile mukavemetini artırır [6].
- Çinko; mekanik özelliklerin artmasına neden olabileceği gibi gerilim korozyonuna karşı göstermiş olduğu direnci de azaltır [6].

2.4. Korozyon Direnci

Alüminyum ve tüm alaşımlarının yüksek korozyon direncinin kaynağı, “alümina” olarak adlandırılan, alüminyum yüzeyinde kalıcı bir şekilde bulunan alüminyum oksit sebebiyledir. Alüminyum oksit, alüminyum metalinin atmosferde bulunan oksijen veya nem gibi okside etme özelliği bulunan maddeler ile temasa geçmesi sonucu meydana gelir.

Alümina tabakasının yaklaşık olarak saniyede 40µm kalınlığında oluşması, paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında alüminyumun yüksek ve de uzun periyodlu korozyon direnci göstermesinin başlıca sebebidir.

2.4.1. pH değerinin etkisi

Alüminyum oksit tabakasının bozulma hızı ortamdaki pH değerince belirlenir. Yüksek seviyede asit ve alkalın barındıran ortamlarda hızlı, nötrlük seviyesine yakın (pH 5-9) seviyedeki ortamlarda ise oldukça yavaş bozunum gözlemlenir. Yerkabuğunda bulunan doğal sular ve yapılarda kullanılan musluk sularının pH değeri genel olarak 7 değerlerindedir.

Bununla beraber alüminyum ve türevlerinin korozyona karşı göstermiş olduğu direnci hesaplanırken sadece pH değeri kenide başına yeter bir belirleyici kriter değildir. pH değerinin yanında ortamdaki asit ve bazın türevi de önemlidir. Hidroklorik ve sülfürik türünden hidrojen asitleri alümina tabakası karşısında çok agresiftir ve asidin yoğunluğu arttıkça göstereceği tesir oranı da orantılı olarak artmaktadır. Konsantre nitrik asit ise benzer etkiye sahip değildir. Bu madde alümina tabakasını kayda değer bir derecede okside etmemektedir.

Benzer durumlar alkalınli ortamlarda da geçerlidir. Potasyum ve soda düşük konsantrasyonlarda dahi alüminyum ve türevlerine zarar verirken, aynı pH değerine sahip akışkan amonyak ergiyikleri aynı derecede zarar vermemektedir [7].

2.5. Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilmesi ve Bağlantı Teknikleri

Üretim şekli olarak alüminyum ve alaşımlarının işlenmesi ve şekil verilmesi hızlı ve basittir. Bu malzemeleri çok farklı işlem türleriyle şekillendirme ve çeşitli mamuller

elde etmek mümkündür. Dövme, döküm, haddeleme, büküm ve ekstrüzyon ile şekillendirilip, yassı levhalar, mil ürünler ve profil malzemeler yapılarda ürünler ile karmaşık geometrili yarı mamuller üretmek mümkündür. Ayrıca bükme, kaynaklı imalat ve soğuk çekme işlemleri ile de yarı mamuller elde etmek mümkündür. Endüstriyel amaçlı imalatla kullanılan alüminyum alaşımları hemen hemen bütün bağlantı türleri ile uyum sağlamaktadır [8].

Bahsedilen bağlantı teknikleri:

- Cıvatalama
- Kaynak yapma
- Perçinleme
- Bağlama
- Kıvrırma, şeklindedir.

2.6. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

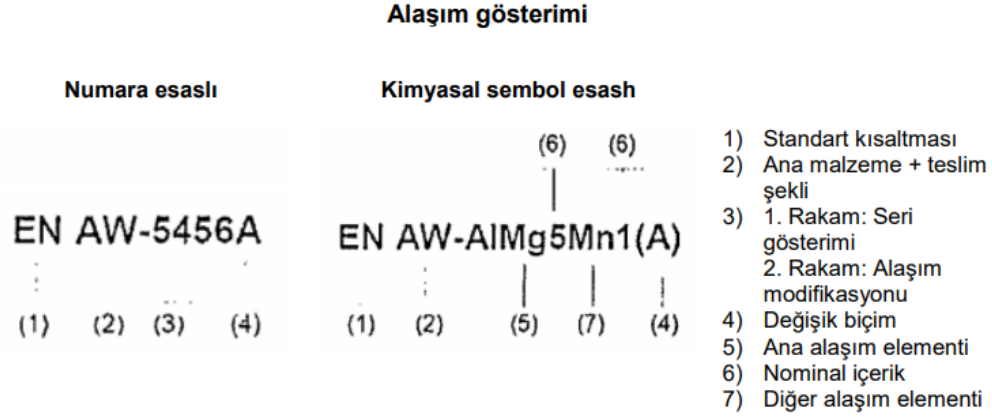
2.6.1. Alaşım elementlerine göre sınıflandırma

Alüminyum ve türevleri Avrupa’da yürürlükte olan teknik standartlara göre üretim yöntemleri dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. TS EN 573-1:2022 alüminyum sayısal kısa gösterimi teknik standardına göre “İngot (AB)”, “Master (AM)” döküm ürünleri türevleri, “AC” döküm ve “AW” dövme/haddeleme mamullerin kodlarıdır [9].

TS EN 573-1:2022 standardında alüminyum türevleri alaşım elementleri baz alınarak aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır;

- 1XXX: Alüminyum en düşük %99,00 ve daha fazlası
- 2XXX: Bakır içerikli alaşımlar
- 3XXX: Manganez içerikli alaşımlar
- 4XXX: Silisyum içerikli alaşımlar
- 5XXX: Magnezyum içerikli alaşımlar
- 6XXX: Magnezyum ve Silisyum içeren alaşımlar
- 7XXX: Çinko içerikli alaşımlar
- 8XXX: Diğerleri

- 9XXX: Kullanımda olmayan seri olarak sınıflandırılmışlardır [9].



Şekil 2.1 : Örnek alüminyum türevi kısa gösterimi [10].

2.6.2. Kondisyonlarına göre sınıflandırma

Alüminyum türevlerinin mukavemet değerleri alaşım elementlerinin türüne (cinsine) ve içeriğin oransal miktarına bağlı olmakla beraber tavlama, çökelti sertleşmesi ve soğuk işlem adımları gibi üretim sonrası uygulanabilen ilave kondisyon (ısıl işlem/temper) işlemlerine de bağlıdır. Genel olarak uluslararası teknik standartlar çerçevesinde alüminyum türevleri için kondisyon bazlı 5 ana esaslı tanım başlığı bulunmaktadır [2].

- F- kondisyon uygulanmadan imal edildiği şekliyle kullanılan malzemeler. Deformasyon sertleştirilmesi uygulanmamış veya ısıl işleme tabi tutulmamış ve mukavemet değerleri ayarlanmamış olan alüminyum türlerini temsil eder.
- O- tavllanmış. En yumuşak alüminyum türevini elde etmek için tavlama işlemi uygulanmış olanları temsil eder.
- H- soğuk şekillendirilmiş. Uygulanan soğuk işlemi ve ısıl işlem durumunu temsil eder.
 - ✓ H1X: Yalnızca deformasyon sertleşmesi uygulanmış.
 - ✓ H2X: Deformasyon sertleştirilmesi uygulanmış ve kısmi tavllanmış.
 - ✓ H3X: Deformasyon sertleştirilmesi uygulanmış ve dengelenmiş. Dengeleme işlemi düşük sıcaklıkta uygulanan tavlama sonrasında süneklik değerini yukarı yönlü artırma işlemidir.

- ✓ H4: Deformasyon sertleştirmesi uygulanan, vernikleme veya boyama işlemi yapılmış.
- W- ısıı işlem çözeltileri uygulanmış alaşımlardır. Çözeltilere alınma işlemi akabinde oda sıcaklığında tabii yaşlanmaya maruz bırakılan alaşımlara uygulanır.
- T- yaşlandırma işlemi uygulanmış. Kararlı bir kondisyon meydana getirmek için yaşlandırma işlemi uygulanmış alaşımları tanımlar.
 - ✓ T1: Sıcak şekillendirilmiş sonrasında soğutularak doğal yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T2: Sıcak şekillendirilmiş sonrasında soğutulmuş daha sonra soğuk işlem görmüş, doğal yöntemle yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T3: Çözelti ısıı işlemi uygulanmış sonrasında soğuk şekil verilmiş, doğal yöntemle yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T4: Çözelti ısıı işlemi uygulanarak doğal yöntemle yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T5: Sıcak şekillendirilmiş sonra soğutulmuş ve suni yöntemlerle yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T6: Çözelti ısıı işlemi uygulanarak suni yöntemlerle yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T7: Çözelti ısıı işlemi uygulanarak aşırı fazla yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T8: Çözelti ısıı işlemi uygulanarak sonrasında soğuk şekillendirme yapılmış ve suni yöntemlerle yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T9: Çözelti ısıı işlemi uygulanarak sonrasında soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış demektir.
 - ✓ T10: Yüksek sıcaklıktan soğutulmuş sonrasında suni yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş demektir [2].

2.6.3. Isıl işlem durumuna göre

Alüminyum türevleri ısıı işlem uygulanabilen ve uygulanmayan olmak üzere temel iki grupta sınıflandırılabilir. 1XXX serisi saf alüminyum ile 3XXX, 4XXX, 5XXX serilerine ısıı işlem uygulanmazken, 2XXX,, 8XXX, 6XXX ve 7XXX serisi türevler ısıı işlem uygulanabilir alaşımlardır [2].

2.7. Alüminyum ve Çeliğin Kaynaklanabilme Kabiliyetlerinin Kıyaslanması

Alüminyum ve endüstride kendisinden daha fazla kullanım alanı bulan çeliklerin kaynaklanabilme kabiliyetleri kıyaslandığında kaynaklanabilme durumlarını etkileyen önemli farklılıklar aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

Alüminyumun sahip olduğu ergime sıcaklığı 650°C iken yüzeyinde bulunan alümina tabakasının ergime sıcaklığı 2200°C ' dir. Çelik malzemenin ergime sıcaklığı 1510°C iken yüzeyinde oluşan demir oksit tabakasının ergime sıcaklığı bu değere yakın veya hemen altındadır. Dolayısıyla çeliklerin kaynaklanabilmesinde sıcaklık ve ergime noktası açısından yüzeyde bulunan demir oksitin ergimeye negatif yönlü bir etkisi yokken alüminyum malzemenin kaynaklanabilmesi için yüzeydeki alüminanın kaynak işlemi öncesinde ilave bir iş adımı ile kaynak bölgesinden uzaklaştırılması gerekmektedir [4].

Alüminyum ve türevlerinin sahip oldukları ısı genleşme katsayısı çelik malzemelerin yaklaşık iki katıdır. Bu özelliği kaynak esnasında alüminyum malzemenin distorsiyon ve bükülmelere uğramasına sebep olmakta ve bu da çeliğe kıyasla alüminyumun kaynaklanabilmesini zorlaştırmaktadır [4].

Yaklaşık çeliğin iki katı özgül ısı ve altı katından daha fazla ısı iletim katsayısı bulunan alüminyum ve türevleri kaynaklanırken daha çok fazla ısı enerjisine (girdisine) ve ısı korunumuna ihtiyaç duymaktadır. İhtiyaç duyulan ısı değerinin sağlanamaması, ısı iletimi çok yüksek olan alüminyum malzemelerin kaynak dikişlerinde yetersiz ergime hatalarının oluşmasına sebep olmaktadır [11].

Çeliklerde yüzey sıcaklığı arttıkça meydana gelen renk değişim olayı alüminyum malzemelerde gözlemlenmez. Bu özellik kaynak esnasında kaynak operatörü tarafından alüminyumda ergime olup olmadığının tam olarak yorumlanamamasından dolayı çelik kaynakçısına kıyasla daha yetkin operatörlere ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır [21].

Sıcaklığa bağlı faz dönüşümleri çeliklerde malzeme içyapısına ve mukavemetine doğrudan etki ettiği bilinmekle beraber alüminyum malzemelerde bu değişimler görülmez. Dolayısıyla kaynak sonrası soğuma hızına bağlı mekanik özelliklerde

meydana gelen alta doğru yada yukarı yönlü değişimler alüminyum ve türevlerinde gözlenmezler [3].

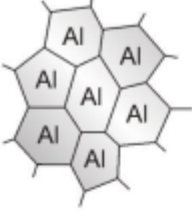
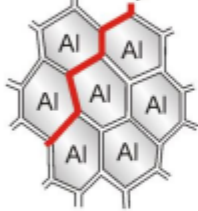
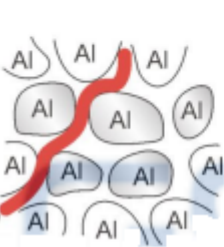
Tablo 2.4 : Saf alüminyum ile demirin temel özelliklerinin karşılaştırılması [6].

Özellikler	Alüminyum	Demir
Atom ağırlığı [g/mol]	26,983	55,841
Kristal yapısı	ymk	hmk
Yoğunluğu	2,70	7,87
E-Modülü	67. 103	210 – 104
Genleşme katsayısı	24. 10 ⁻⁶	12. 10 ⁻⁶
Rp0,2	≈ 10	≈ 100
Rm	≈ 50	≈ 200
Özgül ısı	≈ 890	≈ 460
Ergime ısısı	≈ 391	≈ 275
Erime sıcaklığı	660	1536
Isı iletkenliği	235	75
Elektrik iletkenliği	38	≈ 10
Oksitlerin ergime sıcaklığı [°C]	2050	1455

2.8. Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Özellikleri

2.8.1. Kaynağa uygunluğu

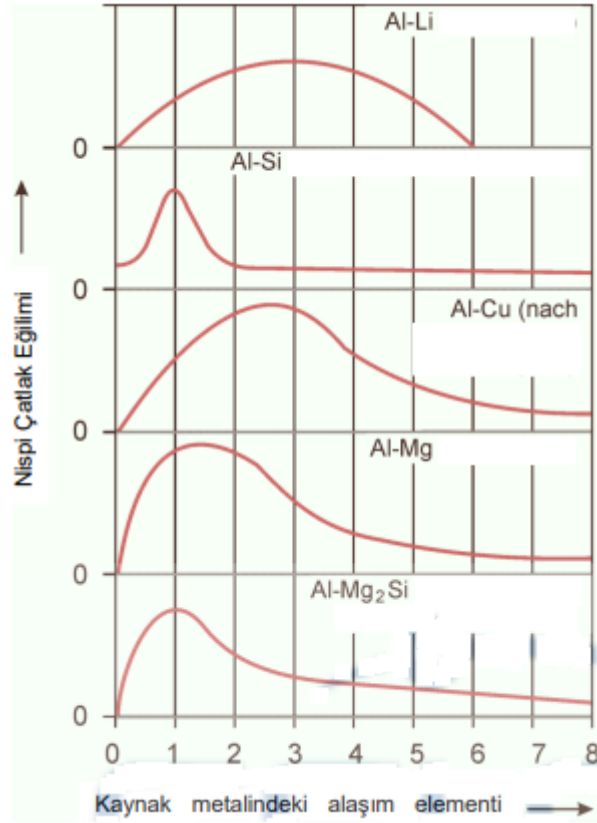
Alüminyumun sıcak çatlak oluşumuna göstermiş olduğu eğilim kaynağa uygunluğu konusunda en önemli kriterdir. Bu noktada erime anında gözlemlenen erime çatlakları ve katılaşma sonrasında oluşabilen katılaşma çatlakları olmak üzere iki temel çatlak çeşidi söz konusudur. Bu türlerden katılaşma çatlağı kaynak dikişi içerisinde meydana gelmektedir ve alüminyumun katılaşma karakteristiğiyle ile dolayısıyla kimyasal içeriğiyle doğrudan bağlantılıdır [3].

	Saf alüminyum. Kritik bir sıcaklık aralığı yok; Katılaşmanın ardından katı alüminyum kristalleri birbirine sıkıca bağlanırlar. Fakat, gözenek ve çekinti boşlukları oluşturmaya eğilimlidir.
	Az miktarda ötektik; Kritik sıcaklık aralığı mevcut; Kitle katılaşmıştır ancak taneler birbirine bağlanmadığından sıcak çatlak oluşturma eğilimi vardır.
	Yeterli miktarda ötektik; Kritik bir sıcaklık aralığı yok; Katı alüminyum kristalleri kalan sıvı içerisinde yüzdüğünden çatlama eğilimi yoktur.

Şekil 2.2 : Alüminyum alaşımlarındaki farklı katılaşma türleri [3].

Temelde ITAB 'da (ısı tesiri altındaki bölge) meydana gelen erime çatlakları, düşük erime sıcaklığına sahip ötektik fazların ergimesi ve bundan dolayı meydana gelen ısı gerilmelerin oluşumu sebebiyle meydana gelmektedir. Oluşan bu olayların etki büyüklükleri ilk olarak malzemenin kimyasal kompozisyonu ve kristal yapı oluşumudur.

Herhangi bir malzemenin çatlak oluşumuna göstermiş olduğu eğilim, ilave metal tarafından da etkilenmektedir. Kimyasal kompozisyonu ana malzeme ile doğrudan uyumlu ilave metaller yardımıyla çatlak oluşum riski minimize edilebilmektedir [3].



Şekil 2.3 : Çeşitli alüminyum alaşımlarının nispi çatlak eğitimi [3].

2.8.1.1. 1XXX grubu

Saf alüminyum olarak sınıflandırılan 1XXX grubu alüminyum türevleri kimyasal içeriklerinde azar miktarda Zn, Cu, Fe, Mg ve Si içermektedirler. Örneğin ENAW-1050A (ENAW-Al99,5) gibi neredeyse saf denebilecek türevlerin içerdiği empüriteler içerikte tamamen çözünmüş olarak bulunurlar. Bu malzemeler katılaşma aralığına sahip olmadıkları gibi tek faza sahip mikro yapıları da kaynak işlemi esnasında ısı tesirinden etkilenmezler. Diğer taraftan ENAW-1200 (ENAW-Al99) malzemesi gibi daha düşük saflık barındıran malzeme empürite elementlerinin az miktarı çözünmüş şekliyle bulunur ve bünyesinde bulunan demir elementi $FeAl_3$ halinde gözlemlenir. Bazen de Si oranına bağlı olmak kaydıyla $AlFe-Si$ fazında meydana gelmektedir. Oluşan çeşitli bileşikler dispersiyon ve ergiyik sertleşmesine etki ederek mukavemet değerlerinin yukarı yönlü hareketine sebep olmaktadır.

Kaynak işleminden etkilenmeyen alüminyum malzeme, $Al-Fe-Si$ partiküllerinin çekirdeklenmesi sonucu ince taneli içyapılar oluşur. HAZ (Heat Affected Zone)

bölgesinde, düşük ergime noktalı bileşiklerin ergimeye başladığı yerler dışında kalan bölgelerdeki mikro yapılarda herhangi bir değişim gözlenmez. Soğuk şekillendirilmiş alüminyum türevlerinde ise ısıtılma işlemi ve bunun sonucunda meydana gelen yumuşama olayının olduğu bölgelerde mekanik özelliklerde az da olsa azalmalar meydana gelmektedir. Kaynak dolgu malzemesinin ana malzemeye yakın/benzer kimyasal içeriğe sahip durumdaki birleşimlerde eriyen mikro bileşikler tane sınırlarına yakın alanlarda katılaşır [12].

2.8.1.2. 2XXX grubu

Alüminyum türevlerinden olan 2XXX serisi alüminyum kompozisyonuna bakır elementi ilave edilerek üretilen ve ısıtılma işlemi yöntemleri kullanılarak mukavemet değerleri artırılabilen alaşımdır. İçerisinde %2-4 değerlerinde bakır barındıran türevinin sıcak çatlak oluşumuna karşı oldukça duyarlı olması sebebiyle kaynaklanma kabiliyeti oldukça düşüktür. Bakır %6 ve daha yukarısına çıkarıldığında sıcak çatlakların doldurulması için gerekli ötektik fazların miktarının artırılması ile bu malzeme grubunun kaynaklanabilme kabiliyeti artırılabilir [8].

Yaşlandırma sertleşmesi uygulanarak elde edilen 2XXX serisi malzemelere kaynak uygulanması çökelmiş fazların tekrar çözünmesine ve çekme mukavemet değerinin yarıya düşmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple 2XXX serisi malzemelere kaynak işlemi sonrası mutlaka yaşlandırma ısıtılma işlemi uygulanmalıdır aksi takdirde mukavemet değerlerindeki yaklaşık %50 azalma telafi edilemeyecektir [8].

2.8.1.3. 3XXX grubu

Isı tesirinden etkilenmeyen bir diğer alüminyum grubu 3XXX serisidir. 3XXX serisi malzeme grubunun kaynaklanabilme kabiliyeti ve kaynak esnasında göstermiş olduğu tepki 1XXX grubu alüminyum türevine yakın oranda benzerlik göstermektedir. Sadece dispersiyon sertleşmesi FeMnAl6 fazıyla gerçekleştirilir.

Bu seride yer alan özellikle bakır ve magnezyum alaşımları, saf alüminyum malzemeye göre daha çok sıcak çatlak oluşum riskine sahiptir. Bu sorun ana malzeme ile benzer yapılardan elektrod kullanılarak giderilebilir [8].

2.8.1.4. 4XXX grubu

Gayet yüksek viskoziteye sahip bu grup türevler genellikle döküm proseslerinde tercih edilirler. Çökelme sertleşmesini gerçekleştirmek için bakır ve magnezyum, yüksek sıcaklık hassasiyetlerini geliştirmek için ise nikel elementleriyle takviye edilirler.

Yüksek viskozite ve düşük sıcak çatlak eğilimi sebebiyle silisyum ilaveli bu alaşım türevi genel olarak kaynak esnasında kullanılan ilave metal imalatında tercih edilirler [8].

2.8.1.5. 5XXX grubu

Magnezyum ilaveli 5XXX serisi malzemelerin mikro yapıları kaynaklama sonrasında tamamıyla değişebilmektedir. Magnezyum ana malzeme içerisinde katı ergiyik durumunda bulunması ve Mg_2Al_3 fazıyla Al-Fe-Si-Mn fazlarının dispersiyonları asıl metale taneli mikro yapı sağlar. ITAB' daki sıcaklık değerinin $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye ulaşması esnasında Mg_2Al_3 bileşikler birbirleri ile birleşir ve büyürler. Sıcaklık değerinin $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' nin daha üstüne çıktığı anda Mg_2Al_3 bileşikler tekrar çözünür ve $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerindeki kaynağın başladığı sıcaklıklarda kaynak bölgesinde kısmen eriyerek boşluklar oluşturmaya başlarlar. Kaynak ilave metali, alüminyum içinde doygun magnezyum ve çözünmemiş intermetalik Mg_2Si bileşikler ile döküm yapısındadır [8].

Kaynak metalinin mekanik özellikleri genel olarak ana malzemeye denk olup içerisindeki magnezyum oranının %4' ün altına inmesi halinde bağlama mukavemet değeri ana malzemeye göre daha düşüktür. Dolayısıyla MIG kaynak işlemi esnasında, magnezyumun arkın içinde kaybolduğu bilindiğinden Al 5356 (TS EN ISO 18273 AlMg₅Cr) gibi yüksek alaşım özellikli ilave metallerin kullanılması kaynak işlemi için daha uygun olacaktır [8].

2.8.1.6. 6XXX grubu

Bu türev grubunda sertleştirme fazı Mg_2Si ' dur ve kaynak esnasında dikiş çatlama eğilimi oldukça yüksektir. Ana malzemeye uygun ilave metal seçimiyle örneğin Al 4043 veya Al 5356 tel türleriyle bu eğilim önlenabilmektedir. ITAB' ın ergime sınırına yakın bölgelerde kısmi ergimeler oluşmaktadır. Kaynak işlemi sonrasında yaşlandırma

için yeterli sıcaklık ve soğuma hızının ayarlanması durumunda bahsedilen bölgelerde meydana gelebilecek mukavemet kayıpları önlenebilecektir. Bu kısımların dışında kalan bölgelerde çökelmelerin fazla yaşanması sebebiyle mekanik özelliklerde azalmalar görülebilmektedir [8].

2.8.1.7. 7XXX grubu

7XXX serisi malzemeler kendi içerisinde kaynağa uygunluk için geliştirilen ve kaynak harici mekanik bağlantılarla kullanılabilen olmak üzere ikiye ayrılmış durumdadırlar. Kaynağa uygun olanlar orta mukavemetli, mekanik bağlantı için geliştirilenler ise yüksek mukavemetli türevlerdir.

Yüksek mekanik özelliklere sahip olanlar bakır içerikli türevler (Al 7022, Al 7075 gibi) kaynak sonrasında çok fazla mukavemet kaybına uğradıkları için perçin, yapıştırmak vs. gibi mekanik yöntemlerle birleştirilmektedirler [8].

Kaynak işlemi için geliştirilen, içerisinde bakır bulunmayan türevlerin (Al 7017, Al 7039 gibi) kaynak işlemine gösterdiği tepki 6XXX grubuna yüksek oranda benzerlik göstermektedir. Tek farkı bu grubun doğal yaşlanma kabiliyeti dikkate alındığında kaynak sonrası mukavemet kaybı daha az olmakla beraber bahsedilen yaşlanma süresi yaklaşık 30 günü bulmaktadır [8].

7XXX serisi malzemelerde kaynak işlemi sırasında ortaya çıkabilecek dikkat edilmesi gereken problem ise bünyesinde barındırdığı çinko elementinin, kaynak dikişinde oksit forma geçerek iç gerilmeleri artırması ve bunun neticesinde yetersiz ergime hatalarının oluşmasına sebep olabilmesidir. Bu hatanın engellenebilmesi için genel olarak alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan parametre değerlerinin yaklaşık %10-15 daha üstünde değerlerle kaynak edilmelidir. Buna ilave kaynak işleminde kısa ark tercih edilmesi de sorunun çözümüne yardımcı olacaktır [8].

2.8.1.8. 8XXX grubu

Endüstride kullanım açısından son grup olan 8XXX türevi malzemelerin kaynak işlemine karşı gösterdiği tepkiler 7XXX serisine benzer durumdadır. Diğer gruplarda olduğu gibi ana malzeme-dolgu metali uygunluğuna dikkat edilerek ortaya çıkabilecek sorunlar büyük ölçüde engellenebilecektir [8].

2.9. 6061 T6 Alaşımlarının Üretim Yöntemi Bakımından Farklılıkları

Haddeleme yöntemi ile alüminyum bazlı levha imalatı endüstride çokça kullanılan bir üründür. Sürekli döküm prosesleri içerisinde gruplandırılan levha döküm yöntemi dünya genelinde üretilen levha dökümlerin %30' una yaklaşmış durumdadır. Bahsedilen sürekli döküm yöntemi üretimde iş adımlarının azaltılmasına ve bu da işleyme maliyetlerin yaklaşık üçte bir oranında azaltmakta, yarımın maliyetlerini düşürmekte ve işçilik gereksinimlerinde pozitif etki oluşturmaktadır. Ayrıca sıcak haddeleme öncesinde ön tavlama işleme gerek kalmayacağı için enerji verimliliğine de olanak sağlamaktadır. Genel olarak sürekli dökümle levha imalatı eski yöntemlere göre %15-18 daha verimli, hammadde tüketimi ise %2-2,5 oranında azalmaktadır [13].

Alüminyum levha imalatında teknik olarak endüstride iki temel yöntem vardır. Bunlar şu şekildedir.

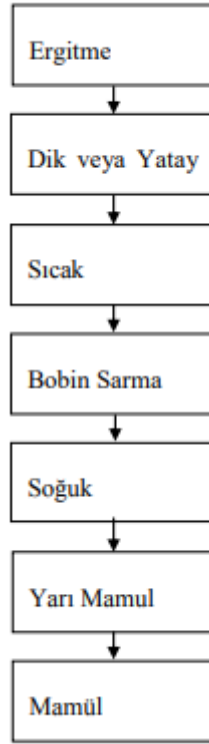
- Geleneksel yöntem; direkt soğutmalı ingot döküm (DC)
 - ✓ DC dikey döküm; kısmi sürekli
 - ✓ DC yatak döküm; tam sürekli
- Sürekli döküm
 - ✓ Hazelett yöntemi kullanılarak sürekli slap döküm
 - ✓ Çift merdaneli tam sürekli levha döküm (TRC)

Geleneksel yöntemde kullanılan işlem basamakları;

Ergitme → Dik veya yatay DC → Sıcak haddeleme → bobin sarma → Soğuk haddeleme (ısıl işlem uygulanabilir → Yarı mamül-Mamül.

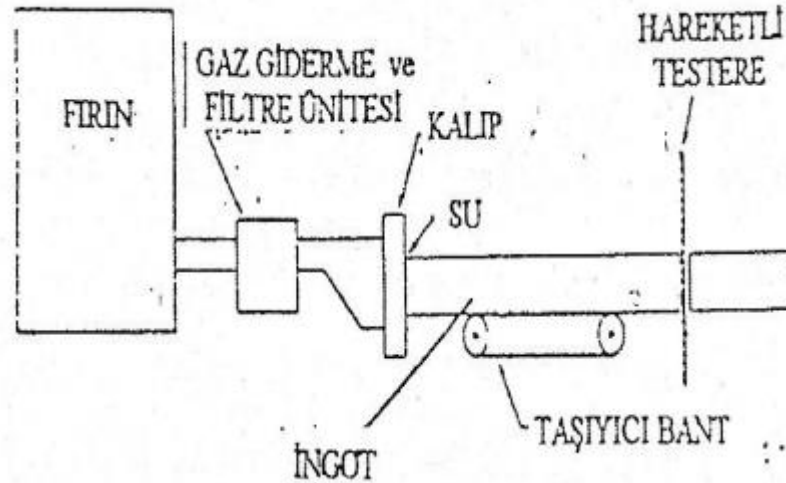
Sürekli levha döküm teknolojisinde kullanılan üretim adımları;

Ergitme → Levha Döküm → Bobin Sarma → Soğuk Hadde (ara tav uygulanabilir) → Yarı mamül-Mamül.



Şekil 2.4 : DC levha üretim iş adımları [14].

DC dökümün diğer yöntemlere göre avantajı bütün ingot içerisinde tane boyutu, bileşim, mukavemet özellikleri ve döküm boşluğu açısından homojen bir yapının elde edilebilmesidir.



Şekil 2.5 : DC levha imalat yönteminin şematik gösterimi [14].

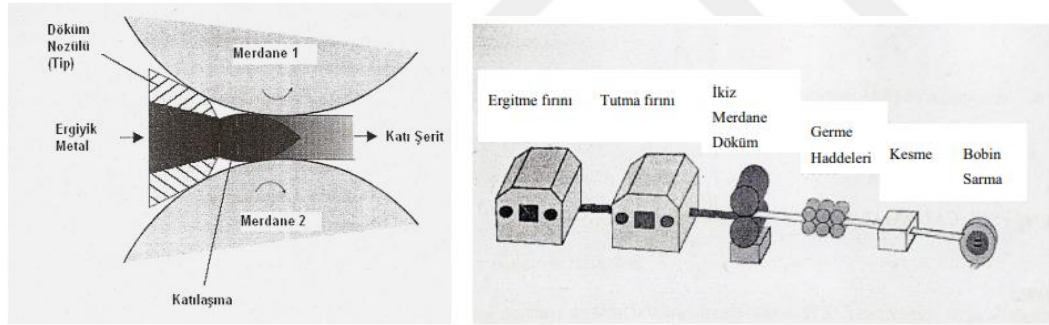
TRC (çift merdaneli) yönteminin özel döküm kompozisyon yapısı, alüminyumun bir taraftan 300 °C/sn hızla soğuyup diğer taraftan DC (direkt soğutmalı) döküm yöntemine kıyasla hücresel deformasyon neredeyse yok denecek seviyede azdır.

Öte yandan TRC (çift merdaneli) ürünlerin derin çekme kabiliyetleri sıcak hadde imalatı ürünlere nazaran daha azken yeniden kristalleşme sıcaklığı ise yüksektir.

Ancak soğuk hadde işlemi boyunca DC (direkt soğutmalı) ürünlerinde TRC'ye (çift merdaneli) kıyasla daha çok oranda deformasyon sertleşmesi gözlemlenir.

TRC (çift merdaneli) ürünlerde çözünemeyen partiküller kısmen küçük ve dairesel şekilde iken DC (direkt soğutmalı) ürünlerde daha az sayıda, kısmen büyük ve hadde yönüne paralel yönelmiştir.

TRC (çift merdaneli) yöntemle imal edilen levhalarda merkez bölgedeki segregasyon temel bir oluşumdur. merdane hızı ve malzeme iç yapısındaki konsantrasyon ile segregasyon oluşumunda artış gözlenir [13].



Şekil 2.6 : TRC (çift merdaneli) levha üretim prosesinin şematik gösterimi [14].

BÖLÜM 3. KAYNAK TEKNİĞİ VE ALÜMİNYUM KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.1. Kaynak Yöntemlerine Ait Kronolojik Gelişim Süreci

Kaynak; malzemelerin dışarıdan ısı enerjisi sağlanarak veya sağlanmayarak, herhangi bir basınç işlemi uygulanarak veya uygulanmayarak, ergime sıcaklığı ve kimyasal kompozisyonu ana malzemeyle denk bir ilave malzeme kullanılarak veya kullanılmayarak, iç yapıda sürekli sağlayacak şekilde birleştirilmesi işlemidir.

Kaynak yöntemlerinin keşfi ve gelişim süreci kronolojik sıralama ile aşağıda verilmiştir [15];

- 1792 Lichtenberg (Alman bilim adamı), saate ait küçük bir yayın ısıtılan bir bıçak ucu ile ergitilebildiğinden bahsetmektedir.
- 1808 Davy (İngiliz fizikçi) tarafından ilk defa kaynak arkının meydana getirildiği varsayılır.
- 1815 Arkın sahip olduğu yüksek sıcaklık fark edilerek ve metallerin ergitilmesinde kullanılmıştır.
- 1867 Thomson (Amerikalı mühendis), direnç yardımıyla elde edilen ısıyı, kaynak işleminde kullanılabilir hale getirmiştir. Böylelikle direnç-basınç kaynağı ilk defa kullanılmıştır.
- 1885 Bernardos (Rus mühendis), karbon arkını metal parçaları ergitmede kullanmıştır.
- 1888 Bernardos (Rus mühendis), ilk nokta kaynağı uygulaması yapmıştır.
- 1889 Zerener, iki adet karbon elektrot yardımıyla kaynak yapmıştır.

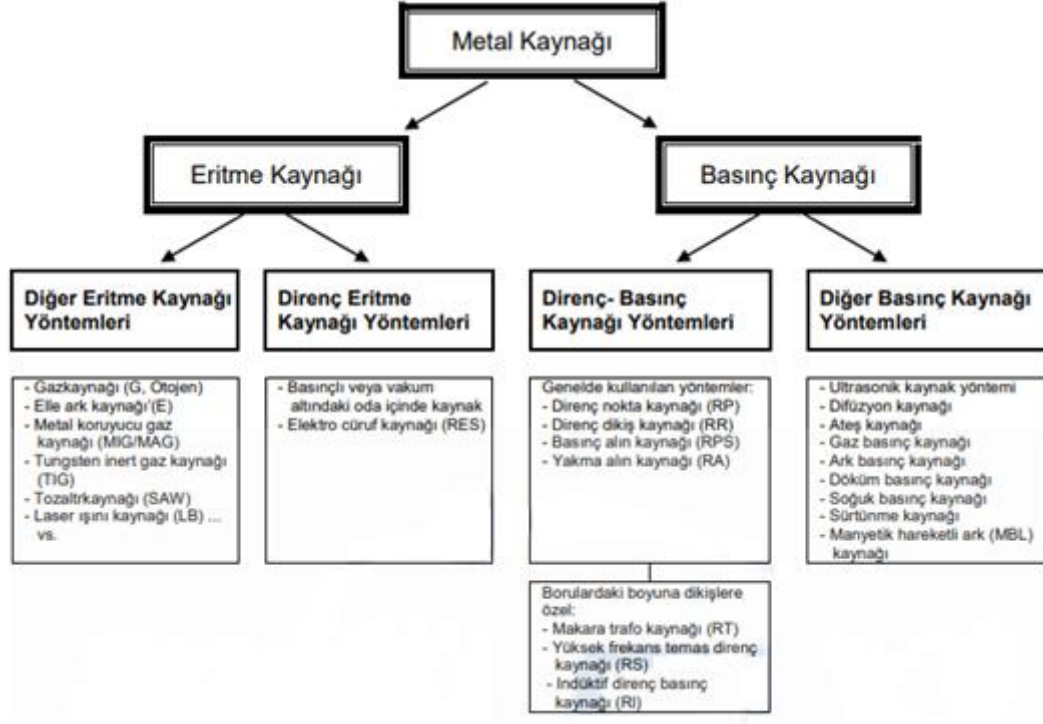
- 1890 Slavianoff (Rus mühendis), metal ark kaynağını ilk defa yapmıştır. Bu yöntemde ark, metal bir çubuk ile metal bir iş parçasının hemen arasında yanmaktadır.
- 1895 Goldschmidt (İsviçreli bilim adamı), termit kaynak işlemini bulmuştur.
- 1898 Linde (Alman bilim adamı), havayı ayırıştırarak oksijen elde etme prosesini geliştirmiştir.
- 1907 Oskar Kjellberg (İsveçli bilim adamı), ark kaynağı işleminde kullanılan örtülü çubuk elektrotları geliştirmiştir.

Tablo 3.1 : Kaynak yöntemlerinin gelişimi [15].

1890	Karbon elektrotla kaynak Direnc nokta kaynağı Tungsten elektrotla ark kaynağı Eriyen elektrotla kaynak
1900	Asetilen gazının aseton içinde çözünümü Gaz kaynağı torcu
1910	Örtülü çubuk elektrotlar Kaynak akım üreteçleri
1910	Yakarak kesme makinaları
1920	Yakarak kesme makinaları
1930	Tozaltı kaynağı Tungsten inert gaz kaynağı (TIG)
1940	Metal inert gaz kaynağı (MIG) Soğuk basınç kaynağı
1950	Sürtünme kaynağı Ultrasonik kaynak yöntemi
1960	CO ₂ altında metal aktif gaz kaynağı (MAG) Özlü tel elektrotları Plazma ile kesme Elektron ışın kaynağı Difüzyon kaynağı Plazma kaynağı
1970	Lazer ışın kaynağı
1994	Çift telli MAG kaynağı
1995	MAG tandem kaynağı

3.2. Kaynak Yöntemleri ve Terimleri

Kaynak yöntemlerinin belirtildiği genel sınıflandırma bilgileri aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.1 : Kaynak yöntemlerinin temel sınıflandırılması [3].

3.2.1. Eritme kaynağı

Birleştirilecek malzemelerin yüzeylerinin, herhangi bir kuvvet uygulanmadan, genelde ilave dolgu metali kullanılarak (bazen ilave metal kullanılmayabilir) kaynatılması işlemidir [4].

3.2.2. Basınç kaynağı

Birleştirilecek yüzeylere yeterli basınç kuvveti uygulanarak plastik deformasyon oluşturularak yapılan kaynaklama işlemidir. Genelde ilave metal kullanılmaz (bazen kullanılabilir). Ayrıca bazı birleştirmelerde kaynatılacak yüzeylere kaynak öncesi ön ısıtma uygulanabilir [4].

3.3. Metal Kaynak Yöntemleri

Bir kaynaklı birleştirmede genel olarak,

- Dayanç ve tokluk,
- Farklı sıcaklıklara karşı göstermiş olduğu direnç kabiliyeti,
- Korozyon ve aşınmaya gösterdiği direnç,
- Sızdırmazlık, gibi olmazsa olmaz bazı şartlar aranmaktadır.

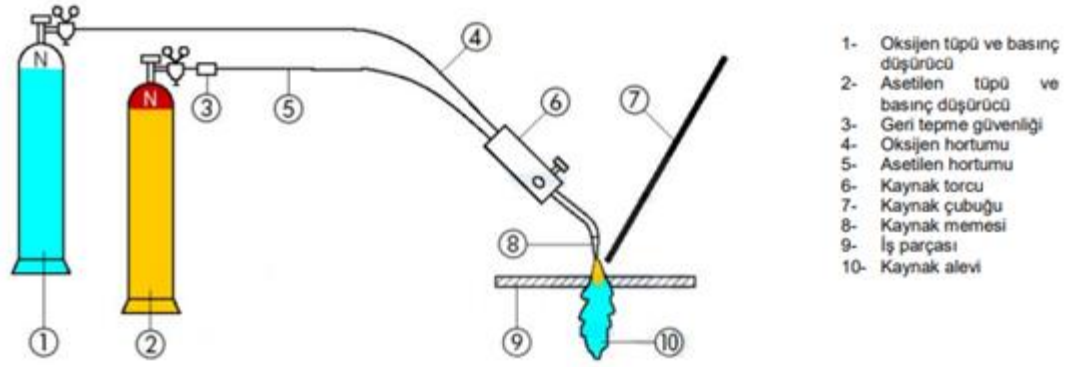
Çok sayıda metal malzeme ve bunlardan imal edilen kalınlığı ≈ 0.001 mm ile 1000 mm arasında farklılık gösteren yarı mamuller (levha/profil/çubuk) ve farklı güçlerde enerji sağlayıcılar, teknolojik cihazlar, kaynak ilave malzemeleri, (çubuk/tel elektrotlar, dikiş/kök koruma gazları vs.) dikkate alındığında günümüz endüstrisinde pratik anlamda 50'den daha fazla farklı kaynak işlem yöntemleri uygulanmaktadır [5].

Bununla birlikte, farklı biçimlerdeki ilave dolgu metalleri, yardımcı malzemeler, ekipman/cihaz kombinasyonları ve farklı imal koşullarından kaynaklanan teknolojik durumlar dikkate alındığında 100'ün üzerinde kaynak yöntem varyasyonundan bahsedilebilmektedir [10].

İlerleyen konularda, aşağıda belirtilen kaynak yöntemleri hakkında tanımlama ve bilgiler verilmektedir:

- Gaz eritme kaynağı
- TIG
- MIG/MAG
- Elle ark
- Tozaltı kaynağı
- Direnç nokta kaynağı

3.3.1. Gaz kaynağı



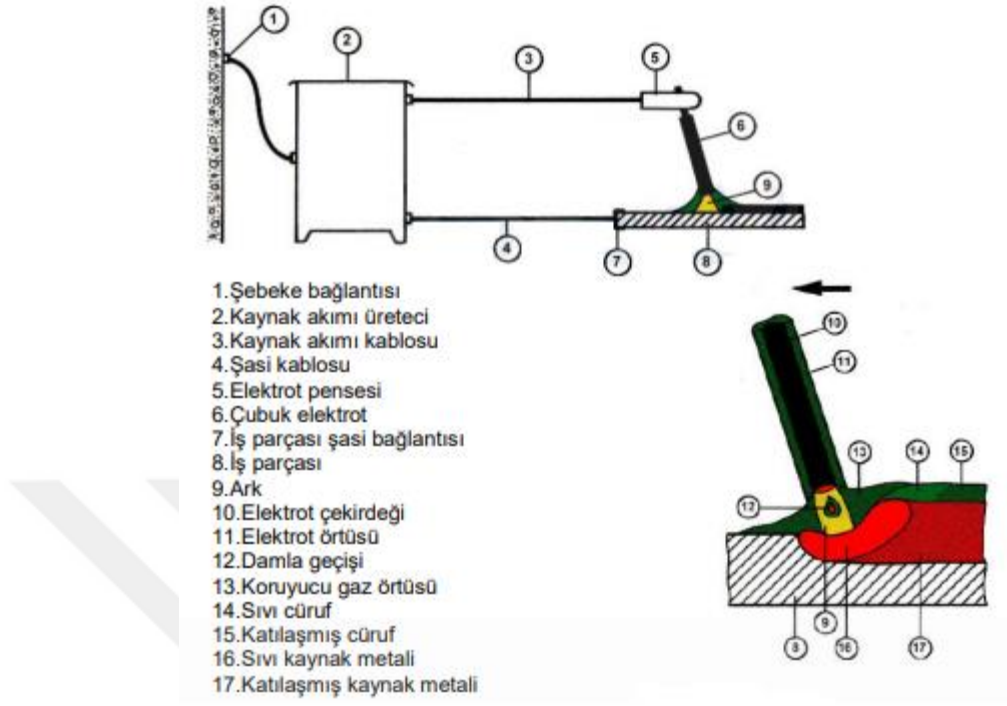
Şekil 3.2 : Gaz kaynağı [3].

Asetilen ve oksijen gazları, çelik tüplerden veya demet şeklindeki tüplere bağlı şebekelerden alınarak basınç düşürücüden hortumlar yardımıyla şalamaya (kaynak üfleci) iletilir. Oluşturulan karışım gazın yanmasıyla açığa çıkan alev yardımıyla ilave dolgu metali ve ana malzeme eritilir [12].

Uygulanan malzemeler;

- Düşük alaşımlı ve alaşımsız çelikler
- Diğer metaller
- Döküm demirler

3.3.2. Elle ark kaynağı



Şekil 3.3 : Elektrik ark kaynağı [3].

Ark, eriyen örtülü bir çubuk elektrot (6) ile iş parçasının (8) arasında yanar. Ark ve ergiyik kaynak metali (16) atmosferin olumsuz etkilerine karşı örtülü çubuk elektrot örtüsünün oluşturduğu cüruf ile korunmaktadır [12].

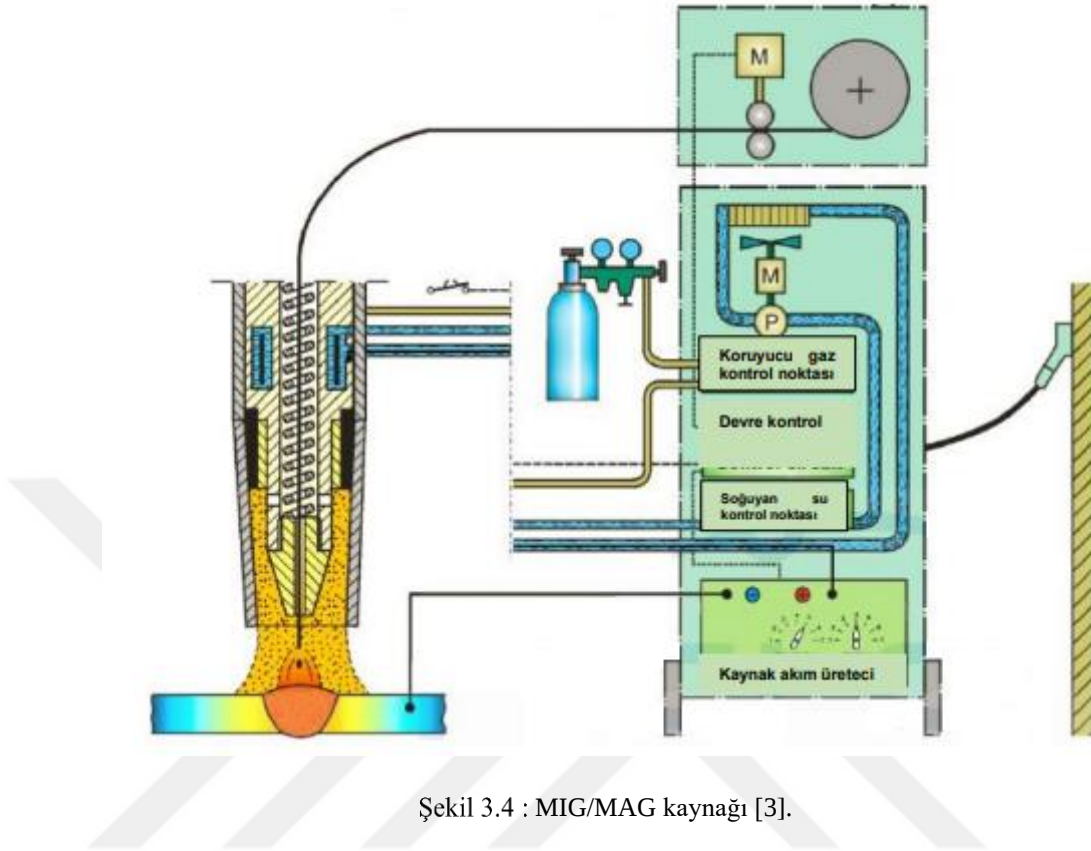
Elektrot örtüsünün görevi;

- Ark aralığındaki iletkenliği artırmak
- Cüruf oluşturarak kaynak havuzunu atmosferden gelebilecek olumsuz durumlara karşı korumak
- Koruyucu bir gaz oluşturarak cürufun görevine yardımcı olmak
- Deoksidasyon ve kısmen aşılama [12].

Uygulanan malzemeler;

- Düşük alaşımlı ve alaşımsız çelikler
- Diğer metaller
- Döküm demirler

3.3.3. Metal koruyucu gaz kaynağı (MIG/MAG)



Şekil 3.4 : MIG/MAG kaynağı [3].

Sonsuz olarak tabir edilen rulo makaralardan sarı tel elektrotlar cihazın gövdesinde bulunan tel sürme mekanizmasından geçerek koruyucu gaz atmosferi içerisinde yanan kaynak arkına doğru sürülür. MIG kaynak yönteminin tüm koruma gazları (Ar, He ve karışımları) asal gazdır. MAG kaynak yönteminde ise aktif gaz kullanılır. Bu iki yöntemi birbirinden ayıran temeldeki en belirgin fark budur. Akım üreten üreteç yatay karakteristiğe sahiptir. Yani kaynakta kullanılan parametrelerden gerilim değeri sabittir. Kaynak amper değerlerine bağlı olarak işlem esnasında farklı ark formları oluşturulabilir. Bunlardan darbeli ark alüminyum ve paslanmaz malzemelerin kaynağında büyük avantaj sağlar [3].

Uygulanan malzemeler;

- Düşük alaşımlı ve alaşımsız çelikler
- Paslanmaz çelikler
- Yüksek alaşımlı çelikler
- Alüminyum malzemeler

3.4. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Bu malzemelere birçok kaynak yöntemi kolaylıkla uygulanabilir. Aşağıdaki tablo 3.2’ de alüminyum ve türevlerinin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinin temel özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 3.2 : Alüminyum ve türevlerinde kullanılan kaynak yöntemlerinin temel özellikleri [11,16].

Elektrik Ark Kaynağı	Düşük mukavemete sahip kaynak bağlantısı
Metal inert gaz kaynağı	Yüksek kaynak hızı Kaliteli kaynak dikişi
Tungsten inert gaz kaynağı	Mukavemetli kaynak bağlantıları Yavaş uygulama
Oksi-Asetilen gaz Kaynağı	Düşük kaynak kalitesi Eski yöntem
Laser Kaynağı	Yatırım maliyetinin yüksek oluşu Kaliteli kaynak dikişi
Direnç nokta Kaynağı	Yatırım maliyeti yüksekliği Verim
Dikiş Kaynağı	Hızlı kaynak Yatırım maliyeti yüksekliği
Yakma Alın Kaynağı	Farklı metallere uygulanabilme Yatırım maliyet
Sürtünme Kaynağı	Farklı metaller uygulanabilme Yatırım maliyeti

Endüstride kullanılan kaynak yöntemleri uluslararası kabul görmüş standartlar çerçevesinde kısa gösterimlerle de ifade edilebilmektedir. Aşağıda bazı kaynak yöntemlerine ait kısa gösterimler sunulmuştur (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 : Bazı kaynak yöntemlerinin kısa gösterimler [17,18].

Kaynak Yöntemi	Kısaltma Gösterimi	Kod Numarası Gösterimi
Elektrik ark kaynağı	E	111
Metal inert gaz kaynağı	MIG	131
Tungsten inert gaz kaynağı	TIG	141
Oksi-Asetilen gaz kaynağı	G	311
Laser Kaynağı	LA	52
Direnç nokta kaynağı	RP	21
Dikiş Kaynağı	RR	22
Yakma Alın Kaynağı	RA	24
Sürtünme Kaynağı	FR	42

BÖLÜM 4. METAL INERT GAZ KAYNAĞI (MIG)

4.1. Tanımı

MIG (metal inert gaz) kaynak yöntemi tarihte ilk olarak Birleşik Devletler’ de, alüminyum malzemelerin kaynaklı birleştirilmesinde kullanılmıştır. Bu yöntemde ark, helyum, argon veya bunların karışımından oluşan asal gazlar tarafından oluşturulan bir gaz atmosferi altında ilerler. MIG kaynak yönteminin TIG kaynağından temel farkı, arkın ana malzeme ve eriyen bir ilave metal arasında oluşmasıdır [19].

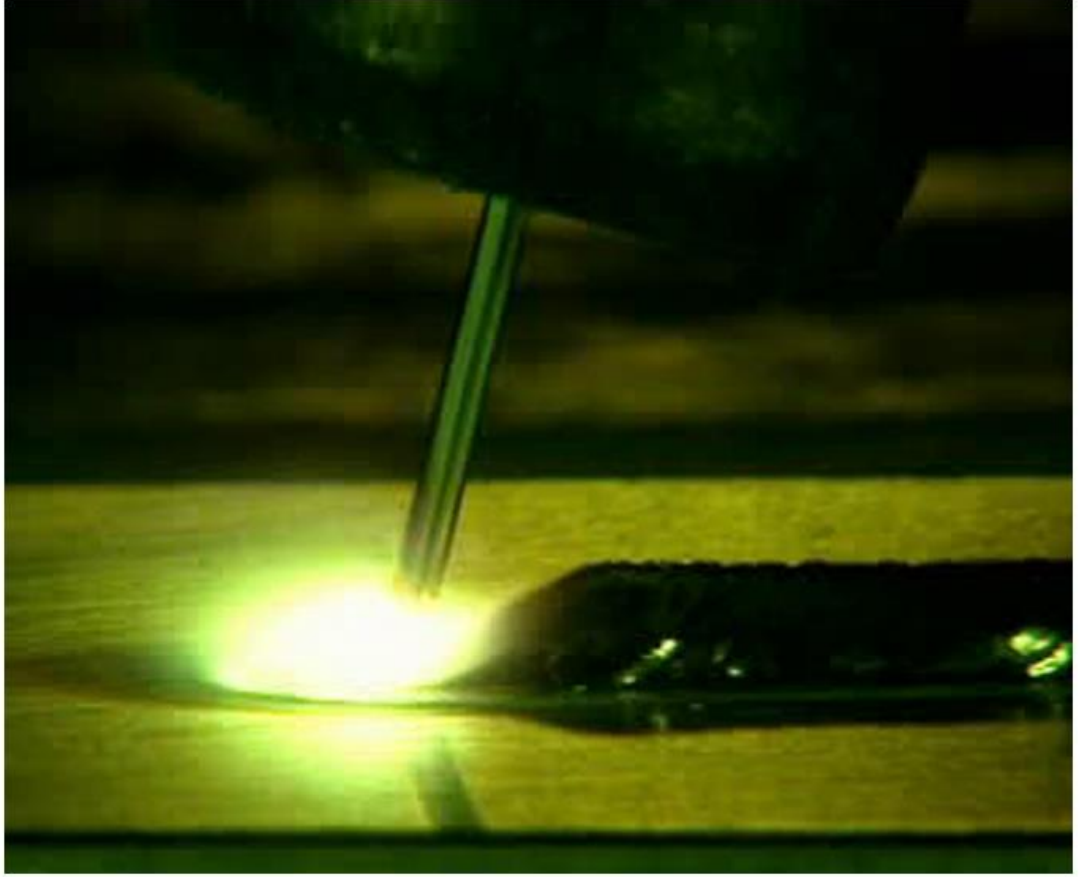
MIG kaynak yönteminin kullanımı son 75 yılda çok hızlı olarak artmıştır. Kaynak teknolojisinde kullanılan kaynak ilave metallerinin yaklaşık %35’i bu yönteme aittir. MIG kaynak yöntemi metal endüstrisi, alüminyum konstrüksiyon imalatı, raylı taşıtlar ve otomobil sektörü gibi yerlerde kullanılmaktadır [20].

4.2. MIG Yönteminde Kullanılan Kaynak Metaline Ait Taşınım Tipleri

MIG kaynağında, koruyucu gaz ve kullanılan kaynak parametrelerine direkt bağlı, çeşitli kaynak damlacık geçiş türleri oluşturulabilir [5].

4.2.1. Kısa ark

Genel olarak kaynak işlemi, 100 amperin üzerinde sürekli artan akımlarla gerçekleştirildiğinde ve yaklaşık 200 ampere kadar olan bu bölgelerde, tüm koruyucu gaz türlerinde kısa devre frekansı artar. Bunun sebebi, ergiyik damla şeklindeki ilave metal büyüklüğü sabit kalırken kaynak ilave metalinin ilerleme hızının artmasıdır. Bu nedenle uygulamada 100 amper ve 200 amper aralığında hangi koruyucu gaz kullanılırsa kullanılsın kısa ark oluşumu gözlenir [3].



Şekil 4.1 : Kısa ark [21].

4.2.2. Sprey ark

Belirli bir akım değeri ve gerilim üzerinde pinch-effekt (itme etkisi) oldukça şiddetlenir. İlave metal ucu sivrileşerek uzar ve damlacıklar oluşur oluşmaz ilave metalden ayrılarak ana malzemeye itilir. Saniyede binlerce damlacığın ana malzemeye taşındığı arkın bu şekline sprej ark denir. Kaynak işleminde genel olarak kapak paso kaynağında tercih edilir [3].



Şekil 4.2 : Sprey ark [21].

4.2.3. Uzun ark

Kaynak teknolojisinde kısa devresiz ark (uzun ark) üretebilmek için 1,2 mm çapında ilave metale yaklaşık 500 A akım değeri uygulanmalıdır. Sadece bu şekilde uzun ark üretilir. Fakat bu kadar yüksek akım şiddeti genel olarak kaynak işleminde kullanılmaz [3].

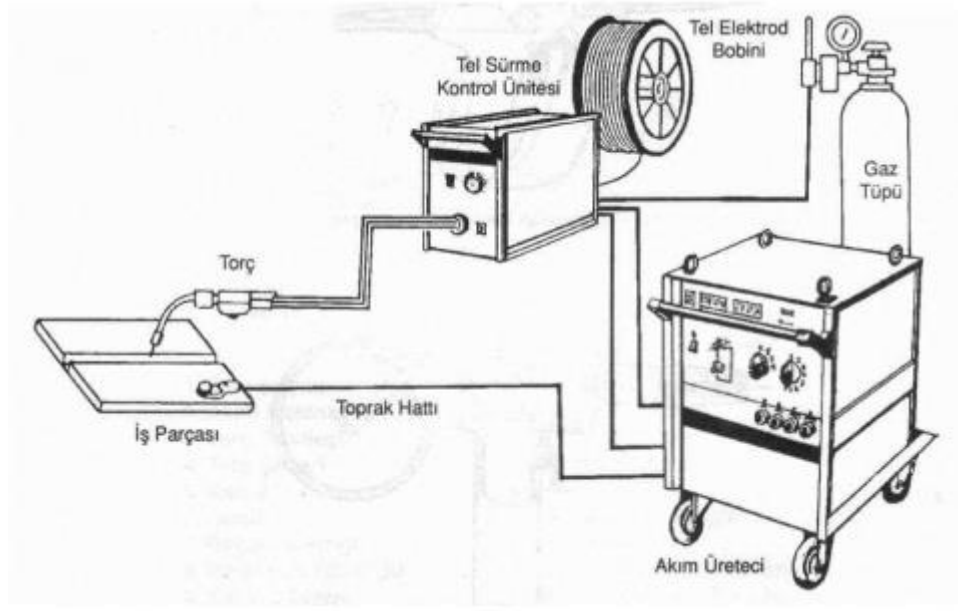


Şekil 4.3 : Uzun ark [21].

4.3. MIG Kaynak Makinası Donanımları

Bir MIG kaynak makinası genel olarak şu donanımlardan oluşur:

- Güç ünitesi (redresör)
- Tel sürme ünitesi
- Hortum paketi
- Kaynak torcu
- Soğutma ünitesi
- Koruyucu gaz donanımı
- Kullanma ayarlama elemanları

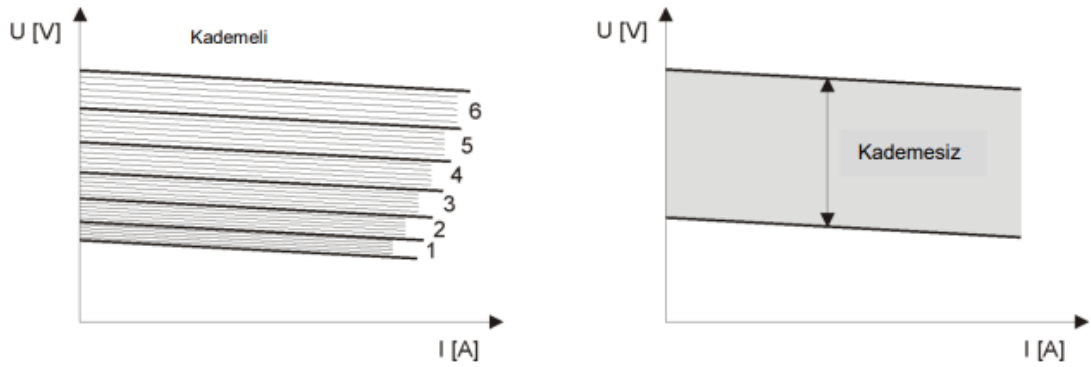


Şekil 4.4 : MIG kaynak makinasının yapısı [15].

4.3.1. Güç ünitesi (Kaynak redresörü)

Şebekeden Ana hattan (şebeke) aldığı elektrik akımını kendisine ait döngülerden geçirerek doğru akıma çeviren kaynak makinası donanımına güç ünitesi (redresör) denir [15].

Geleneksel MIG kaynak makinalarındaki (darbeli ark türü hariç) kaynak akım üreteçleri, genel olarak sabit karakteristik (sabit gerilim) prensibiyle çalışır. Bu makinalarda, akım üreticine ait statik karakteristik eğrisi yataydır. Şekil 2.18’de karakteristik eğrinin (sabit gerilim) ayarı, kullanılan akım üreticinin kademeli (ince ayar) veya kademesiz (kaba ayar) olarak ayarlanabileceği görülmektedir [20].



Şekil 4.5 : Kademeli ayarlı-Kademesiz ayarlı akım üreteçleri akım-voltaj diyagramı [20].

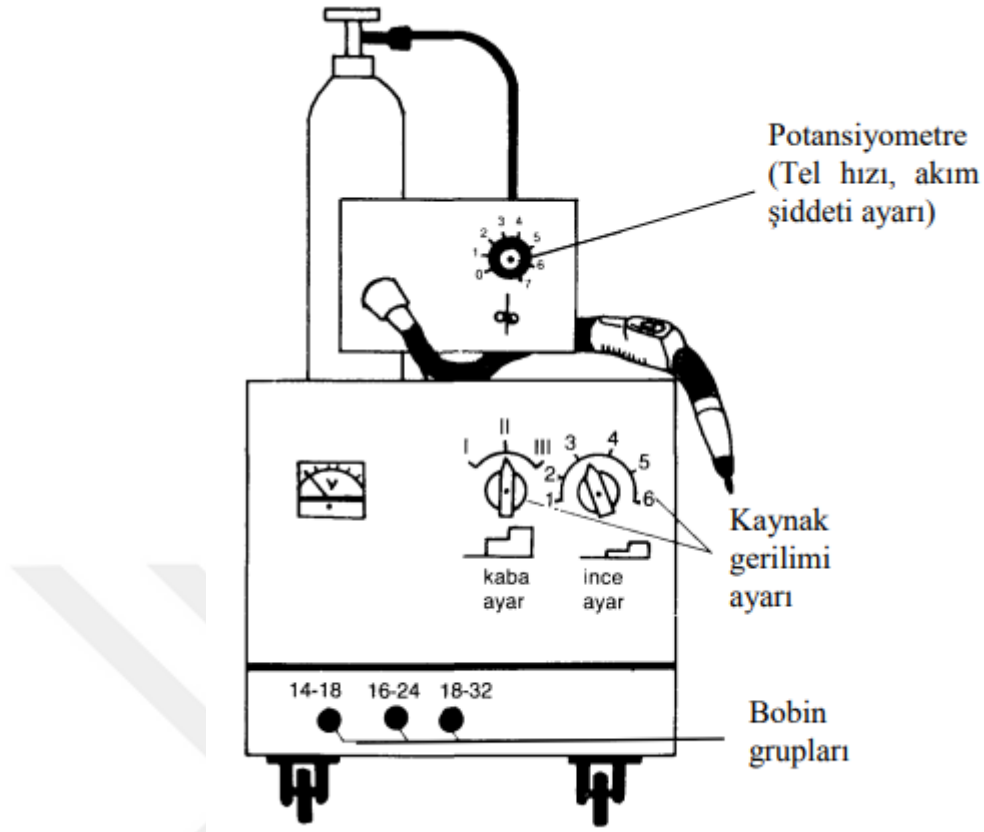
Cihaz programlarında genel mantık voltajın ayarlanan ilave tel besleme hızına uygun hale getirilmesidir [15].

Tablo 4.1’de kaynatılacak alüminyum sac kalınlığı dikkate alınarak makine çalışma kapasitesine (çalışma akım şiddeti) ve torcun soğutma sistemine göre hangi kaynak akım üreteçlerinin tercih edilmesi için tavsiyeler verilmektedir [15].

Tablo 4.1 : Alüminyum sac kalınlığına bağlı MIG kaynağı için akım üretecinin seçimi [19].

Kaynak edilecek sac kalınlığı (mm)	Tavsiye edilen tel elektrod çapı (mm)	%100 devrede kalma oranının akım üretecinin ayar aralığı	Tavsiye edilen torç soğutması
0,65...2,0	0,8	150...180 A	Gaz
≤3,0	0,8...1,0	180...250 A	Gaz-Su
≤5,0	0,8...1,0	250 A	Su
≤8,0	1,0...1,2	350 A	Su
>8,0	1,0...1,6	350...600 A	Su

Darbeli ark üretecek MIG kaynak makinası akım üreteçleri 500 A’e kadar darbe akımları üretebilmektedir.



Şekil 4.6 : MIG akım üreticinin şematik gösterimi [22].

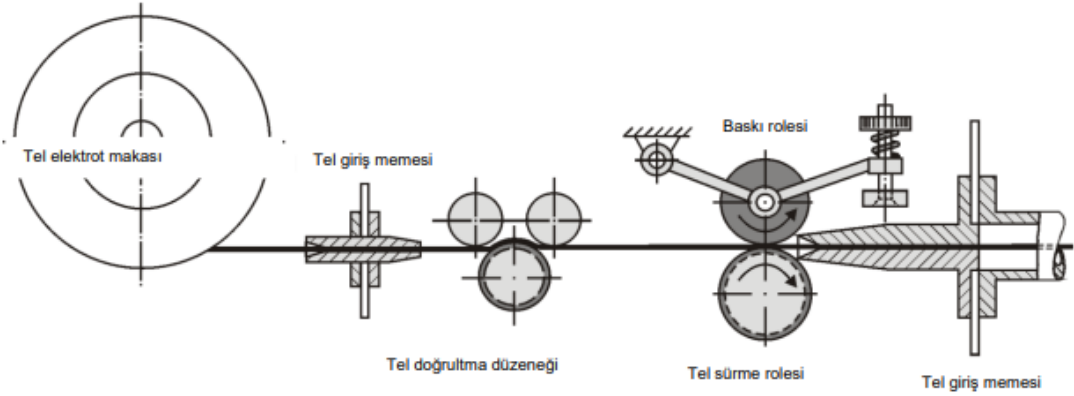
4.3.2. Tel sürme ünitesi

MIG kaynak makinasındaki tel sürme ünitesi, kaynak işlemi için kullanılan ilave metali (tel elektrot) içerisinde bulunan tahrik motorlu makaralar vasıtasıyla makaralardan geçirerek uzunluğu tercihe göre değişkenlik gösteren hortum paket içerisinde geçirir ve torcun ucunda bulunan kontak memeye kadar sürer.

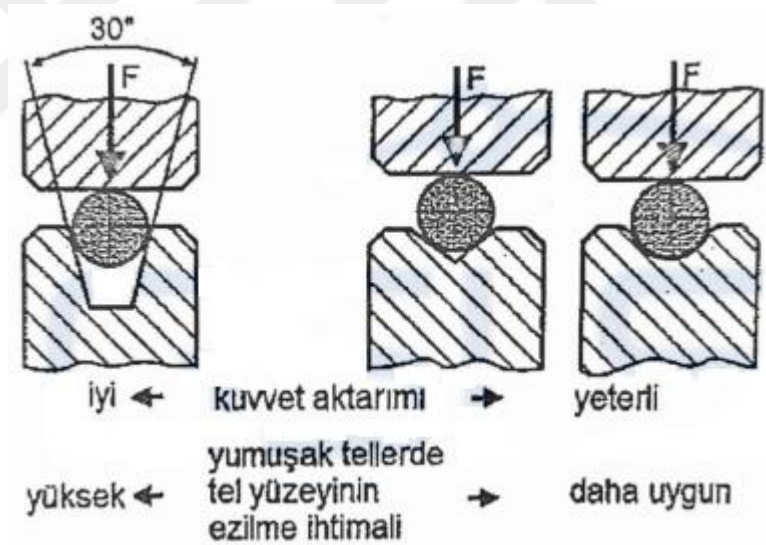
Örnek bir tel sürme şeması Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Kaliteli bir kaynak dikişi elde edebilmek için, ilave metal (tel elektrot) kontak meme içerisinde sabit hızla geçmelidir. Olası bir tel ilerleme hızında meydana gelebilecek yavaşlama serbest tel boyunun uzamasına yol açar ve bu durum arkın kontak memeye yakın bölgede yanmasına hatta elektrodun memeye yapışarak kullanılmaz hale getirmesine sebep olur. Bununla birlikte düzensiz tel sürme hızı kaynak işlemi esnasında kısa devrelerin oluşmasına ve sıçrıntı oluşumuna neden olur.

Tel sürme donanımlarında genelde sertleştirilmiş makaralar kullanılır. Çeliklerin kaynağında sert elektrotlar kullanıldığından ona uygun olarak kama şekilli (V kanal)

kanala sahip makaralar, alüminyum malzemelerin kaynağında yumuşak elektrotlar kullanıldığından ona uygun yuvarlak kanala sahip makaralar kullanılır. Şekil 4.8’de makara çeşitleri gösterilmiştir. Tel sürme ünitelerinden kullanılan makaralardan biri veya daha fazlası tahrik motoruna sahip olabilir [15].

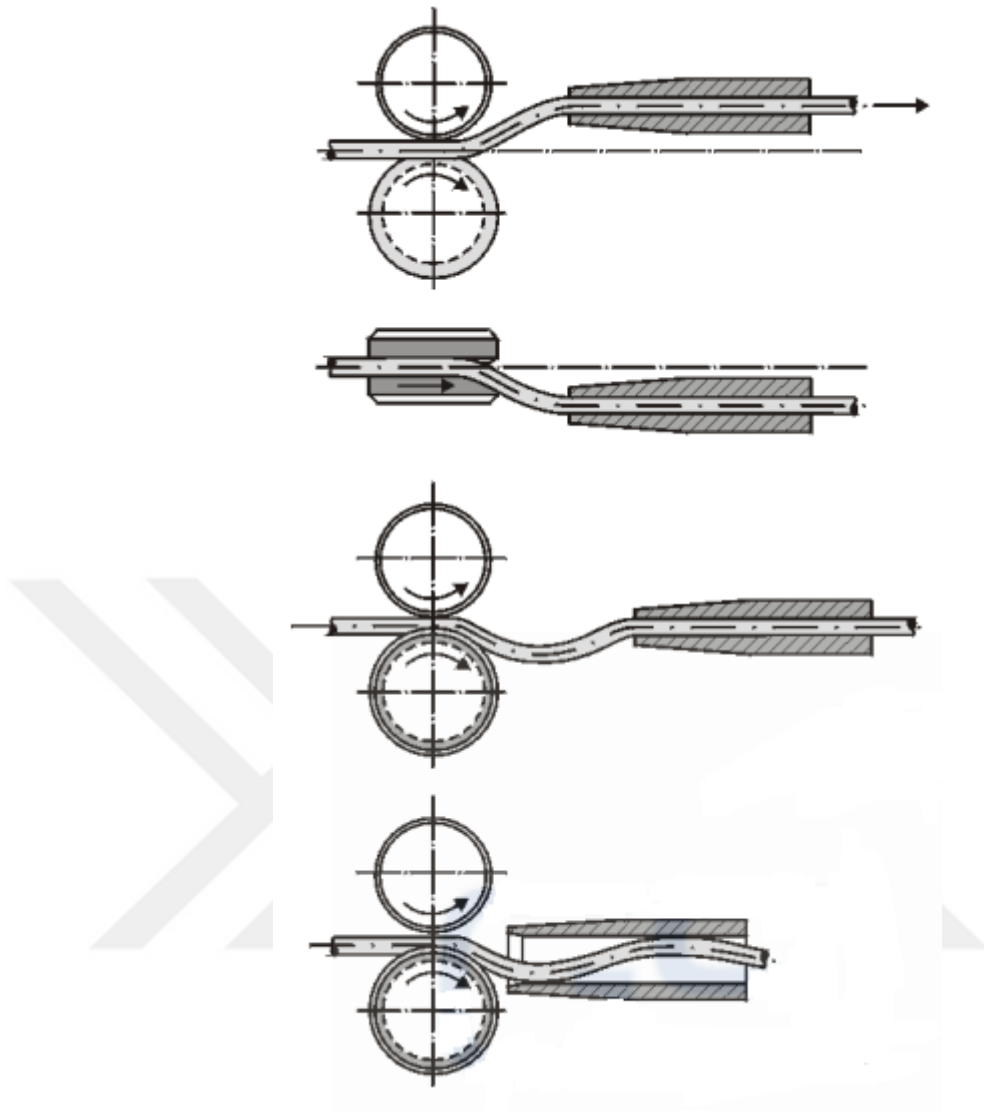


Şekil 4.7 : Tel sürme şeması [15].

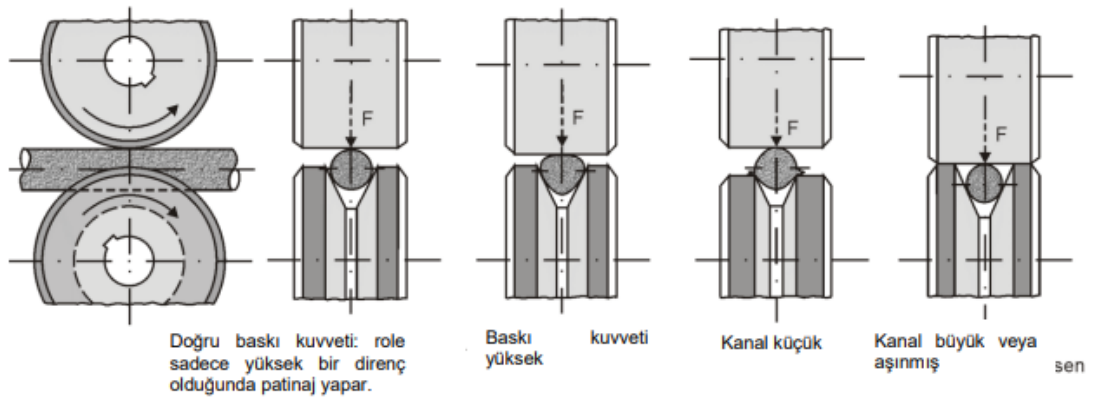


Şekil 4.8 : Tel sürme makaraları [15].

Aşağıda Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da tel sürme ünitesi içerisinde bulunan tel kılavuzu ve tel sürme röleleri sebebiyle karşılaşılabilecek hatalar verilmektedir.



Şekil 4.9 : Tel klavuzu hatalarından kaynaklı deformasyonlar ve aşırı sürtünme [3].



Şekil 4.10 : Tel sürme makaraları kaynaklı hatalar [3].

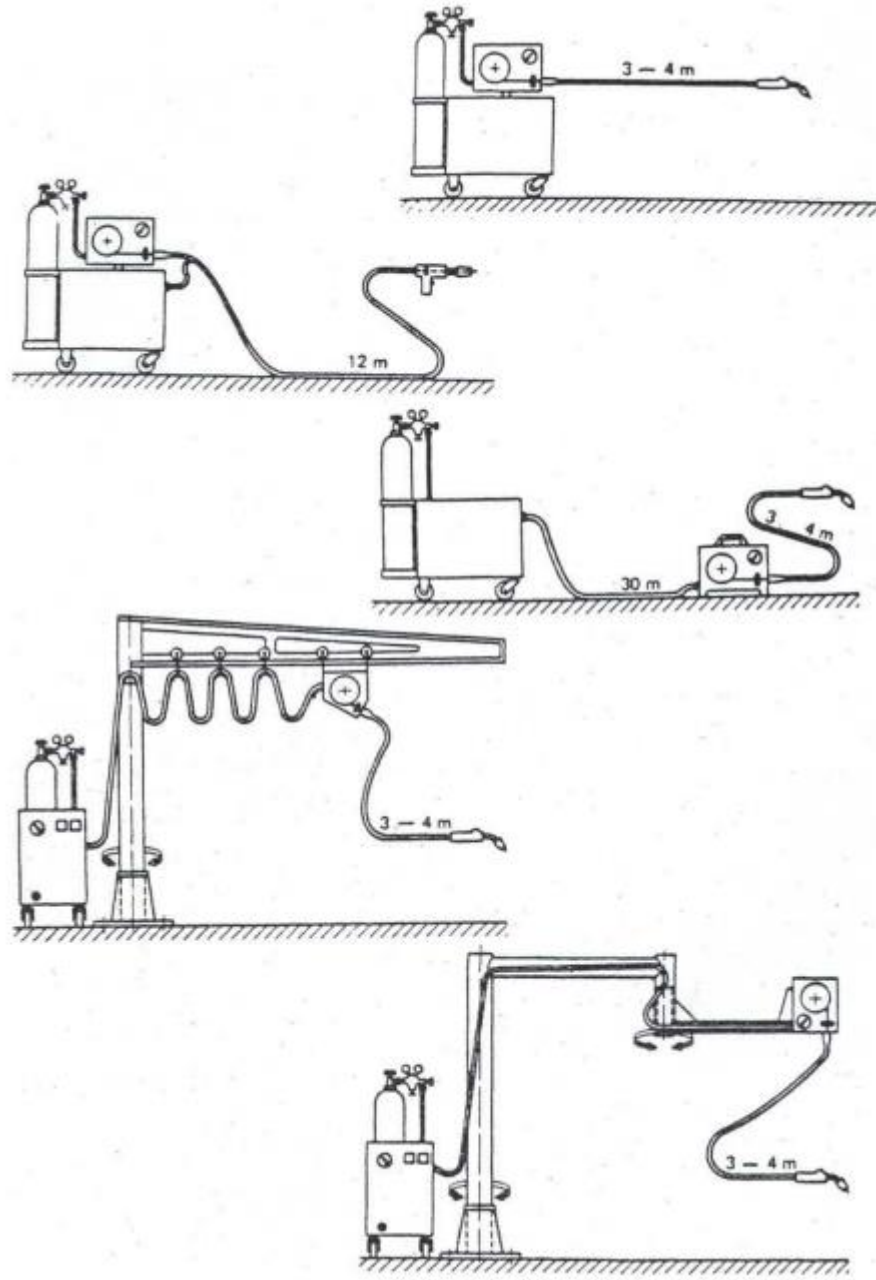
4.3.3. Hortum paketi

MIG kaynak yönteminde kullanımdan kaynaklı en fazla hasara uğrayan parçalar torç ve hortum paketidir. Hortum paket içerisinde bulunan farklı hortum ve tel sürme spirali yardımıyla kaynak koruma gazını, ilave metali, ark için gerekli olan elektrik akımını ve eğer kullanılıyor ise soğutma suyunu kaynak torcuna kadar ileten sistemin bütünüdür. Alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan tel elektrot yumuşak olduğu için olası bükülmeleri ve makara sarmalarını engellemek için hortum paket olabildiğince kısa olmalıdır. Endüstride yaygın olarak kullanılan hortum paketlerin boyu genellikle 3 metredir. Fakat imalat şartlarından kaynaklı uzun hortum paketler kullanılmasının zorunlu olduğu durumlarda push-pull (kendinden sürme-çekmeli) torçlar tercih edilerek muhtemel tel sürme hataları engellenebilir.

Hortum paketi içerisinde bulunan akım kablosu 250-300 A akım değerleri ve üzerinde soğutma suları ile soğutulur. Bakır kablo, soğutma suyu için kullanılan bir hortumla çevrilmiş durumdadır.

İlave kaynak metali (tel elektrot), hortum paket içerisinde bulunan plastik kılavuz (spiral) içerisinde geçerek kontak memeye iletilir. Plastik spiralin iç çapı, içerisinde geçecek elektrot çapından yaklaşık 0,5-1 mm daha büyük olmalıdır [15].

Şekil 4.11’de hortum paketinin ve endüstride farklı kullanım türlerinin olduğu şematik gösterim verilmiştir.



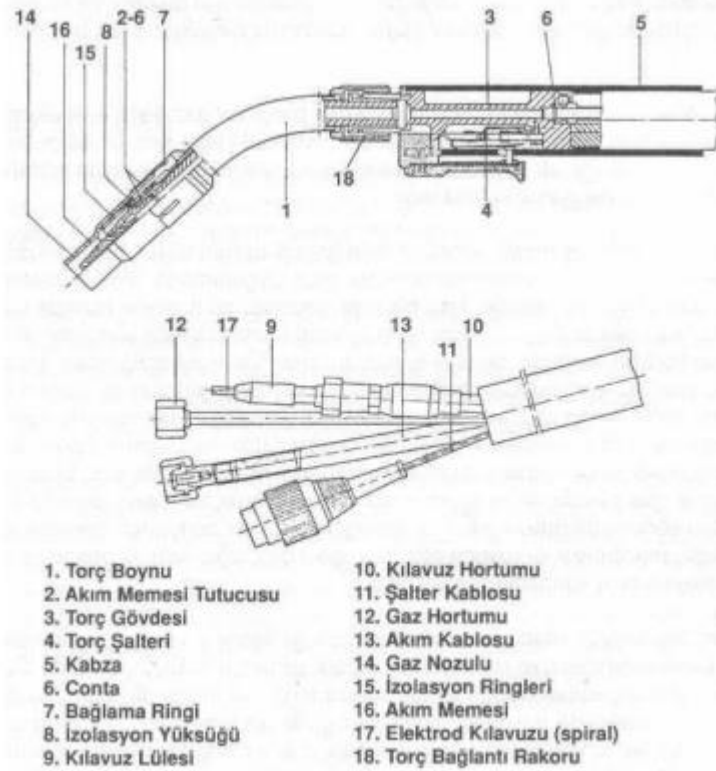
Şekil 4.11 : Hortum paketi ve farklı kullanım türlerinin şematik gösterimi [15].

4.3.4. Kaynak torcu

MIG kaynak yönteminde kullanılan kaynak torcu temelde torç gövdesi, gaz nozulu, kontak meme ve üzerinde başlama ve bitirme düğmeleri olan kabzadan oluşur. Kaynak torcuna ait detaylı parçaların bulunduğu şematik gösterim aşağıda Şekil 4.12’de verilmiştir. [15].

Kaynak arkı ve kaynak banyosu atmosferin olumsuz etkilerine karşı gaz nozulundan beslenen kaynak koruyucu gazı ile sürekli olarak korunur. Su soğutmalı torçlar, arkın, nozul ve kontak boruda sebep olduğu ısınmayı ve kaynak akımının, torç kabzasında oluşturduğu ısınmayı, soğutma suları yardımıyla uzaklaştırır. Aşırı ısınmış torç operatörün kaynak etmesine engel olduğu gibi kaynak kalitesinde azalmalara da sebep olur [3].

Hava soğutmalı torçlar, yüksek kaynak akımlarında kısa bir süre dahi kullanılsa yaklaşık 700 °C gibi sıcaklıklara çıkarak aşırı ısınır. Bu ısınma, sıçrantıların artmasına dolayısıyla gaz nozulunun dolmasına ve kontak memenin tıkanmasına sebep olur. Bu sebeple kaynak işlemi yüksek kaynak akımlarında yapılacak ise (250 A ve üzeri) su soğutmalı torçlar tercih edilmelidir [15].

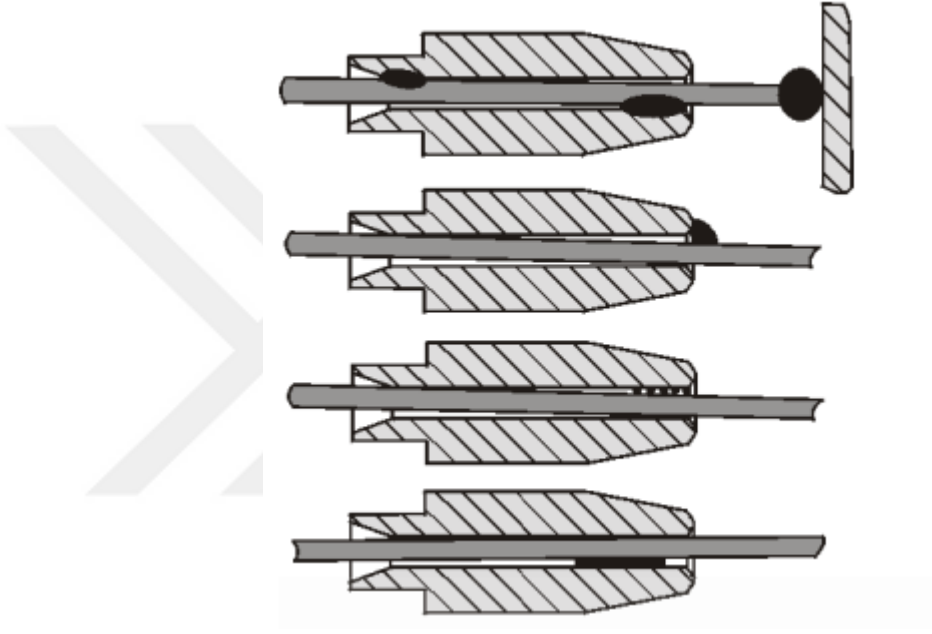


Şekil 4.12 : MIG kaynak torcu (hava soğutmalı) şematik gösterimi [15].

Kontak memenin, kaynak akımını ilave metale iletmesi gerekmektedir. Bu olay, kaynak akımlarında sadece kontak memenin aşınması ile mümkündür. İç çapı ilave tel elektrot çapından yaklaşık 0,5 mm daha büyük olan meme ucu, operatöre bağlı olarak belirli

kullanım süresi sonunda koni şeklini alarak büyümeye başlar. Bu büyümeden kaynaklı olarak serbest tel boyunda değişiklikler meydana gelir ve ilave metal yüzeyinden oluşacak kirlenmelerden dolayı kontak meme içerisinde kirlilik yığılmaya başlar ve ark kararsızlaşarak sıçrantılar artar. Genelde alüminyum kaynağından ısı direnci yüksek olduğu için zirkonyum içerikli CuCrZr kontak memeler tercih edilir [15].

İlave metal kalitesinin kontak meme kullanım ömrüne doğrudan etkisi vardır. Şekil 4.13'te kontak memelerde görülen hataların türleri gösterilmektedir.



Şekil 4.13 : Akım kontak memelerinde sık görülen hatalar [15].

Tel üzerinde bulunan kirlilikler, kaynak sırasında çok yüksek darbe arkım gücü sebebiyle tel yüzeyinde kısmi ergimelere neden olur.

Delik uç kısmındaki sıçrantılar, kontak memenin boyunun uzamasına ve böylece elektrik iletkenliği kötüleşen daha uzun kontak meme etkisine sebep olarak tel sürmede frenleme etkisine neden olur.

Kaynak esnasında kontak meme içerisine gelerek yapışan sıçrantılar bölgesel olarak çok yüksek akım yoğunluğuna sebep olur ve böylece ilave telin meme ucunda ergiyerek memeyi tıkamasına neden olur.

Kontak meme çapının tel çapına göre aşırı büyük olması, meme içerisinde sürekli değişen temas yüzeylerine ve aşırı serbest tel boyuna neden olur [15].

4.3.4.1. Kontak meme

Endüstride genel olarak bakır veya alaşımlarından imal edilir. Alüminyum kaynağında zirkonyum ile alaşımlandırılmış kontak meme tercih edilmelidir.

Güç kablosuyla kaynak makinasının güç ünitesine bağlı olan kontak meme, kaynak akımını ilave tel elektroda ve oradan da ana malzemeye iletir. İçerisinden ilave tel elektrodun oldukça rahat geçmesini sağlamak ve elektrik akımının iletimini iyileştirmek için delik içi nemlendirilmiştir. Kaynak torcundaki konumu, koruyucu gaz nozulunun tam olarak iç çap merkezindedir [15].

4.3.4.2. Gaz nozulu

Kaynak koruma gazının, istenilen debide ve hedeflenen bölgeye gönderilmesini sağlar. Koruma gazı, ergiyik kaynak banyosunun ve ITAB'ın atmosferin olumsuz etkilerine karşı korunması noktasında çok önemlidir. Endüstride farklı ölçü ve çaplarda nozullar mevcuttur. Örneğin düşük kaynak akımlarında çalışılacak ise küçük çaplı nozullar, yüksek kaynak akımlarında çalışılacak ise daha büyük çaplı nozullar tercih edilmelidir [15].

4.3.5. Soğutma ünitesi

Kaynak makinesi soğutma ünitesi tarafından sağlanan soğutma suyu, kaynak performansını direkt olarak etkiler. Soğutma ünitesi, MIG kaynak makinesinin kaynak torcunu soğutmak için kullanılır. Soğutma suyu ısınması, kaynak kalitesini düşüreceği gibi operatörün de kaynak yapabilme süresini kısaltacaktır [23].

Soğutma ünitesi içerisinde soğutucu olarak saf su kullanılabileceği gibi imalatçı firmalar tarafından önerilecek özel soğutma sıvıları da kullanılabilmektedir [23].



Şekil 4.14 : Örnek bir soğutma ünitesi [24].

4.3.6. Koruyucu gaz donanımı

Tüm koruyucu gaz kaynak işlemlerinde olduğu üzere MIG kaynak yönteminde de kaynak koruma gazının görevi, kaynak bölgesini tamamen örtmek ve o bölgeyi atmosferin tüm olumsuz etkilerine karşı korumaktır [25].

MIG kaynak yönteminde ilk zamanlarda koruyucu gaz olarak helyum gazı kullanılmıştır. Ancak zaman içerisinde argon gazının etkileri incelendiğinde, aynı yöntemde argon gazı da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, Avrupa bölgesinde argon gazı üretim maliyetleri helyuma göre daha ekonomik olduğundan Ülkemizin de içerisinde bulunduğu bu bölgelerde argon gazı tercih edilmektedir [25].

Kaynak koruma gazı, ergiyik kaynak banyosu içerisinde bulunan alaşım elementlerinin atmosferdeki hidrojen ve oksijen ile reaksiyona girmesine engel olmak, azot gibi kaynak teknolojisi için zararlı gazların kaynak banyosuna girerek çözünmesini engellemek için kullanılır [25].

Ergiyik bütün metaller, atmosferde serbest dolaşan azot ve oksijen gazlarını absorbe ederler. Ergiyik metallerde çözünen bu gazlar, katılaşma esnasında kaynak banyosunda bulunan elementlerle birleşerek yeni bileşikler oluştururlar. Gerçekleşen bu olaylar, kaynak bölgesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyerek mekanik değerlerde

istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına ve kaynak dikişinde gözeneklerin oluşmasına sebep olur. Tablo 4.2’de atmosferdeki doğal hava içerisinde bulunan gazların hacimsel oranları verilmiştir [15].

Tablo 4.2 : Doğal havanın hacimsel bileşimi [15].

Bileşen	%Hacim
Azot	78,08
Oksijen	20,96
Argon	0,93
Neon	18vpm
Helyum	5vpm
Kripton	1,14vpm
Ksenon	0,09vpm

MIG kaynak yönteminde asal (soy) gazlar veya bu gazların karışımları kullanılır. Bu gazların kullanımının ana sebebi, asal gazların diğer elementlerle kimyasal reaksiyon kurmamalarıdır. Dolayısıyla demir dışı malzemelerin özellikle alüminyumun kaynağında asal gazlar tercih edilirler [6].

Kaynaklı birleştirme için gaz seçiminde bazı etmenler göz önünde bulundurulur. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Kaynaklanan metal veya alaşımın türevleri,
- Ark karakteristiği ve ilave metalin taşınım biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı,
- Gereken nüfuziyet ve kaynak dikişi biçimi,
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti.

Gaz korumalı kaynak yöntemlerinde tercih edilen gazların tür ve karışımları, gelişmiş ülkelerde teknik bir otorite tarafından yazılı ve onaylı standartlar ile sınırlandırılmıştır.

Ülkemizde ve Avrupa’da TS EN ISO 14175 “Ergitme kaynağı ve benzeri işlemler için gazlar ve gaz karışımları” standardı kullanılmaktadır [15].

Tablo 4.3 : ISO 14175’e göre koruyucu gazların bazı özellikleri [19].

Gaz Türü	Kimyasal Simgesi	Yoğunluk kg/m ³	Havaya göre izafi yoğunluk kg/m ³	1,013 Bar’da Buharlaştırma Sıcaklığı C ⁰	Kaynak Sırasında Gazın Davranışı
Argon	Ar	1,784	1,380	-185,9	Soy
Helyum	He	0,178	0,138	-268,9	Soy
Karbondioksit	CO ₂	1,977	1,529	-78,5	Oksitleyici
Oksijen	O ₂	1,429	1,205	-183	Oksitleyici
Azot	N ₂	1,251	0,968	-195,8	Reaksiyona girer
Hidrojen	H ₂	0,090	0,070	-252,8	Redükleyici

4.3.6.1. Alüminyumun MIG kaynağında kullanılan gazlar

Helyum, neon, argon, kripton, ksenon ve radon gezegenimizdeki asal gazlardır. Asal gazlar, çekirdeğin son yörüngesindeki bütün yerlerin elektronlarla dolu olması, yani atom olarak kararlı yapıda olması sebebiyle diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunmazlar. Diğer bir deyimle farklı elementlerle kimyasal bağ kurmazlar, kimyasal reaksiyona girmezler. Bu sebeple yöntemin ilk kullanılması ve gelişme yıllarında kaynak koruyucu gazı olarak argon ve helyum gazları kullanılmıştır [13].

Argon

Argon gazı, tek atomlu (mono atomik) bir soy gazdır. Argon, ergiyik metaller içerisinde çözülmemesi ve havadan daha ağır bir yoğunluğa sahip olması nedeniyle tavan pozisyonu hariç tüm pozisyonlarda etkin bir koruyucu gaz örtüsü oluşturarak kaynak bölgesini olması gerektiği şekilde korur. Endüstride argon gazı, genel olarak havanın sıvılaştırılması ile eldi edilen oksijen ve azot gazlarının ayrıştırıldığı tesislerde ikincil ürün olarak imal edilir [13].

MIG kaynak yönteminde argon gazı, asal gaz olduğundan ve asal gazların sahip olduğu özellikleri tam manasıyla gösterdiğinden ve düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olduğundan koruyucu gaz ve kök koruma gazı seçiminde en uygun gazlardandır. Ark tutuşma özelliği kolaydır. Alternatif akım ile alüminyum ve magnezyumun kaynak edilmesinde üstün oksit temizleme etkisi gösterir [13].

Argon gazı içerisinde meydana gelen ark gerilim düşüşü, helyum koruma gazı ile kıyaslandığında daha azdır. Bunun sebebi argonun iyonizasyon enerjisinin helyumdan daha düşük olmasıdır. Ayrıca argonun ısı iletim katsayısının düşük olması sebebiyle de ark sütunu daha geniş ve arkın dış kısmındaki sıcaklığı ise daha düşük olur. Ark sütun merkezinde, metal buharının ve damlacık geçiş olayının etkisiyle sıcaklık daha yüksektir. Dolayısıyla argon gazının koruma gazı olarak tercih edildiği kaynak dikişlerinde, nüfuziyet dikiş merkezinde derin şekilde oluşurken kenarlara geldikçe nüfuziyet derinliği azalmaktadır (argon parmağı). Argon gazının iyonizasyon enerjisinin helyuma kıyasla daha düşük olması, çalışma akımında ark geriliminin düşük olmasına sebep olur. Bu özelliğinden dolayı argon, kalın olmayan malzemelerin kaynak edilmesinde tercih edilir [15].

Helyum

Tek atomlu (mono atomik) gazların en hafiflerinden olan helyum, argon gazına kıyasla yaklaşık 10 kat daha hafiftir. Bu hafiflik, kaynak esnasında kaynak bölgesini korumak için gerekli olan debiyi sağlamak adına daha fazla gaz sarfıyatı anlamına gelmektedir. Örnek verilecek olursa, yatay pozisyonda kaynak işlemi yapılmak istendiğine argon gazına kıyasla helyum gazı yaklaşık üç kat daha fazla sarf edilecektir [13].

Helyum gazını argon gibi atmosferden imal etmek, endüstriyel olarak pek mümkün değildir. Bunun yerine yer kabuğundan çıkarılan doğalgaz işleme işlemi sırasında doğalgazın ayrıştırılması sonucu imal edilir. Dolayısıyla Amerika Birleşik Devletleri ve Rusya Federasyonu gibi doğalgaz kaynağı çok ve teknolojisi gelişmiş ülkelerde üretimi kolay ve ekonomiktir. Bu sebeple ABD ve Rusya gibi ülkelerde MIG kaynak işleminde koruyucu gaz olarak helyum daha sık kullanılmaktadır [13].

Helyumun ısı iletkenliği yüksek olduğundan, koruma gazı olarak tercih edildiğinde kaynak dikişinde derin nüfuziyetler elde edilir. Aynı zamanda iyonizasyon enerjisi argona kıyasla daha yüksek olduğundan helyum kullanılarak elde edilen kaynak arkı

yüksek enerjiye sahiptir. Bunun neticesinde ısı iletkenliğı yüksek olan alüminyum, bakır ve magnezyum gibi malzemelerin kaynak işlemlerinde tercih edilir ve bahsedilen malzemelerin kalın kesitlerinin kaynağında genel olarak ön tav işlemine gerektirmez. Argon gazına kıyasla helyum gazı korumalı kaynak işlemlerinde daha derin ve geniş nüfuziyeti kaynak dikişleri elde edilir. Bu nedenle yüksek hızda çalışması istenen otomasyon kaynak işlemlerinde koruma gazı olarak helyum tercih edilmelidir [15].

Argon-Helyum karışımları

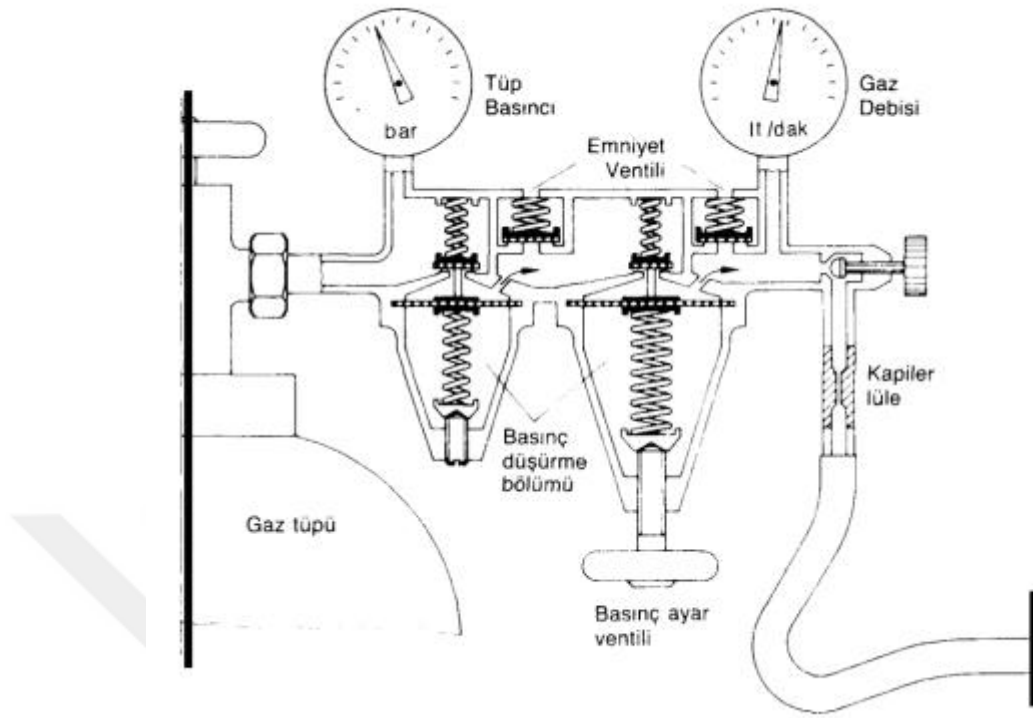
Helyum ve argon gazının karışım olarak kullanılmasının ana sebebi, argonun, iyi ark tutuşma ve merkezdeki derinlemesine nüfuziyet özellikleri ile helyumun, geniş-derin kaynak dikişi ve daha kararlı kaynak arkı özelliklerini bir araya getirerek optimize etmektir. Örneğin helyum gazına %35 oranında argon gazının ilave edilmesi, saf argon gazı kullanımına göre kaynak dikişi genelinde daha derin nüfuziyet ve daha kararlı ark özelliklerinin bir arada kullanılmasına olanak sağlar [15].

Endüstride bu gazların çok farklı oranlarda karışımları ile karşılaşmak mümkündür [26].

Helyum ve argon karışımları magnezyum, bakır, alüminyum ve nikel gibi ısı iletkenliğı çok yüksek olan malzemelerin ve bunların alaşımlarının kaynak edilmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu karışımlar %100 argona göre daha yüksek sıcaklıktaki arka, %100 helyuma göre daha az gözenek oluşumuna olanak sağlamaktadırlar [26].

Hem karışım hem de saf kaynak koruma gazları, kaynak işlemi için yüksek basınç altındaki gaz tüplerinde depolanarak kullanılmaktadır. Kaynak işleminde kaynak bölgesine uygun debide koruma gazının sağlanması, tüplerin çıkışına bağlanan ve kaynak makinası ile gaz tüpü arasındaki debi dengeleyen ventiller vasıtasıyla gerçekleşir.

Şekil 4.15’de basınç düşürme ventilinin şematik gösterimi verilmiştir. Şekilde görüleceğı üzere ventildeki manometrelerden ilki tüp içerisindeki gaz basıncını gösterirken ikinci manometre kaynak bölgesinde istenilecek koruma gazı basıncını göstermektedir. [26].



Şekil 4.15 : Basınç düşürme ventiliinin şematik gösterimi [5].

BÖLÜM 5. MIG KAYNAK YÖNTEMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

5.1. Kaynak Öncesi Seçilebilir Parametreler

5.1.1. İlave metal çapı

Bütün ilave metal türleri için tel çapına bağlı kaynak akım şiddeti referans aralığı vardır. Çapı büyük kaynak ilave metalleri, yüksek akım şiddetlerinde kullanılabildikleri gibi yüksek erime gücüne sahip olmalarından dolayı daha derin nüfuziyet ve tek pasoda daha geniş kaynak ağızlarının doldurulmasını sağlarlar. Erime gücü akım gücüyle doğru orantılıdır. Aynı çapa sahip iki kaynak telinden yüksek akımla çalışılan telden daha yüksek ergime gücü elde edilir. Bununla beraber dikiş nüfuziyeti de akım gücüyle doğru orantılıdır. Aynı akım şiddetinde küçük çaplı ilave metal kullanıldığında ya da aynı çapta iki ilave metalden yüksek akım gücüyle çalışılанда daha derin kaynak nüfuziyetleri elde edilir. [15].

Kaynak işleminde kullanılacak ilave kaynak metalinin çap seçiminde ana malzeme et kalınlığı, ilave tel erime gücü, istenilen dikiş geometrisi, nüfuziyet derecesi, uygulanacak kaynak pozisyonu ve ekonomik açıdan ilave tel fiyatı dikkate alınır.

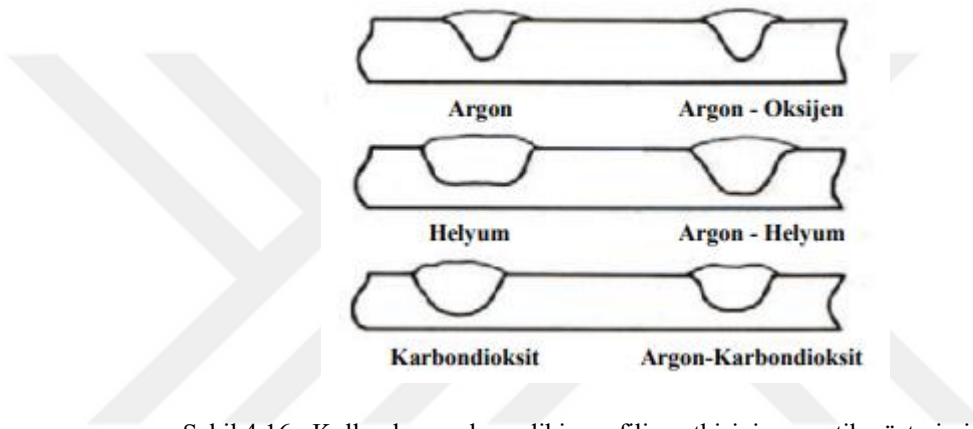
5.1.2. Koruyucu Gaz Türü

MIG kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve farklı gazların oluşturduğu erime gücü, kaynak dikiş görünümü ve nüfuziyeti bazı noktalarda birbirlerinden farklıdır. Bununla birlikte koruma gazı türünün kaynakta sıçrama miktarına, hız, kaynak metalinin arkadaki transfer biçimi ve imal edilen bağlantının mekanik değerlerine de etkisi vardır [15]

Çelik haricindeki malzemelerin kaynağında kullanılan koruma gazları helyum, argon ve bu ikisinden elde edilen karışımlarıdır. Bunların içerisinde argon en düşük nüfuziyet ve erime gücünü, en dar kaynak dikiş geometrisini veren koruma gazıdır.

Helyum ise derin nüfuziyet, yüksek bir erime gücü, geniş kepli kaynak dikiş geometrisi oluşumunu sağlar. Bu gazın kullanılması halinde eşit ark boyunda ark gerilimi daha yüksektir.

Bu iki gazın karışımları ise içerisindeki oransal miktarlarına göre yukarıda anlatılanlar yönünde karakteristikler ortaya koyarlar (Şekil 4.16).

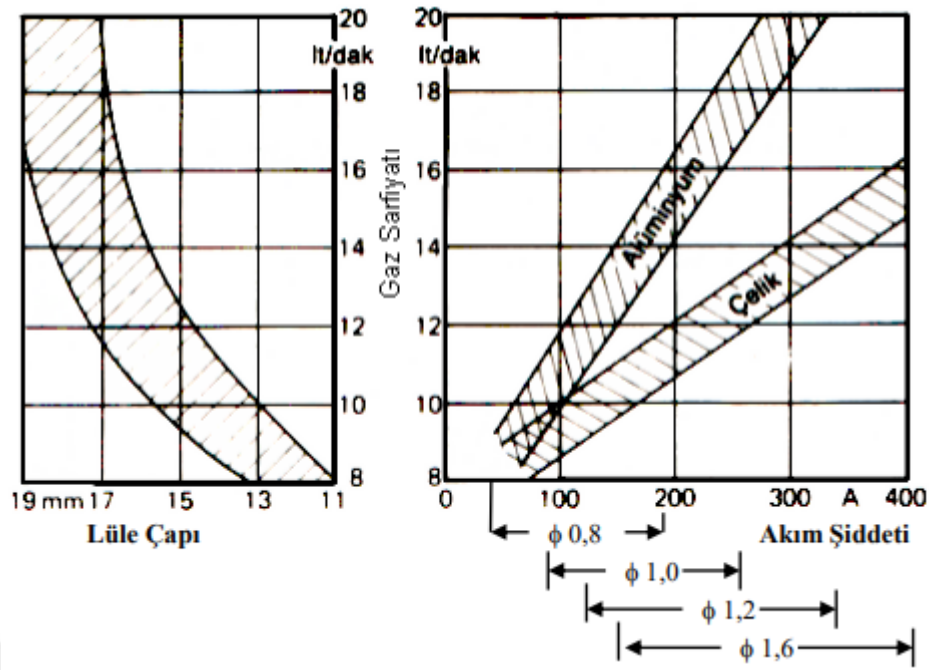


Şekil 4.16 : Kullanılan gazların dikiş profiline etkisinin şematik gösterimi [15].

5.2. Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

5.2.1. Kaynak akım şiddeti

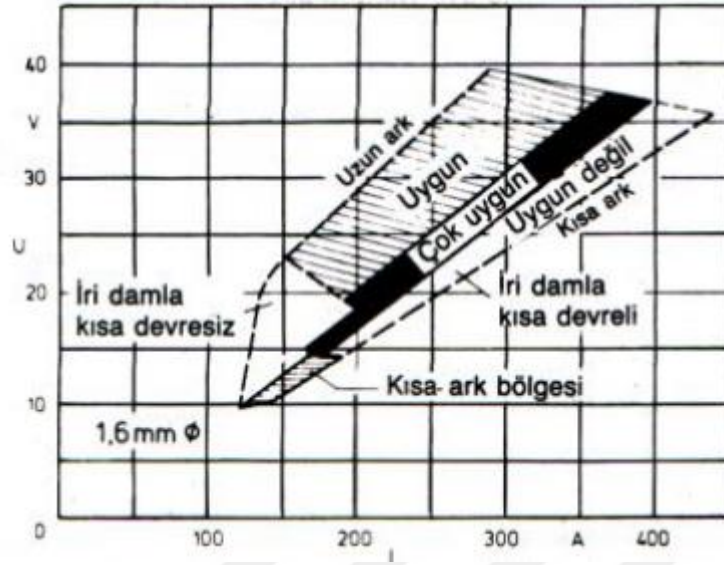
Akım şiddetinin ergime gücüne, nüfuziyete, dikişin görünüm ve ölçülerine etkisi bütün parametrelerden daha etkilidir. MIG-MAG kaynak makinelerinde kaynak akım şiddeti tel hız ayarı düğmesinden artırılıp azaltılabilir. Kaynak akım şiddeti yükseldikçe erime gücü de artar. Çok düşük akım şiddeti de yetersiz bir dikiş nüfuziyetine ve yüzeyde yığılmaya neden olur [21].



Şekil 4.17 : Gaz tüketimi, elektrod çapı, nozül çapı ve akım arasındaki bağlantı [15].

5.2.2. Ark Boyu (Kaynak Gerilimi)

MIG kaynak akım üreticisinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir. Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreticilerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak ayarlanır. Yüksek ark gerilimi yetersiz nüfuziyete sebep olur. Düşük ark gerilimi ince (dar) ve konveks (şişkin) kaynak dikişlerine, çok düşük ark gerilimi ise gözeneğe neden olur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 : MIG kaynağında çalışma bölgeleri [15].

5.2.3. Kaynak Hızı

Hız, torcun iş parçası üzerinde yaptığı ilerleme hareketi olarak tanımlanır. Hızın artması da azalması da nüfuziyeti azaltır. Yavai kaynakta yüzeyde yığılma, hızlı kaynakta ise sıvama meydana gelir [27].

Hızın artması alana verilen ısı girdisinde azalmaya ve malzemenin ergime miktarını azaltarak nüfuziyeti azaltır [27].

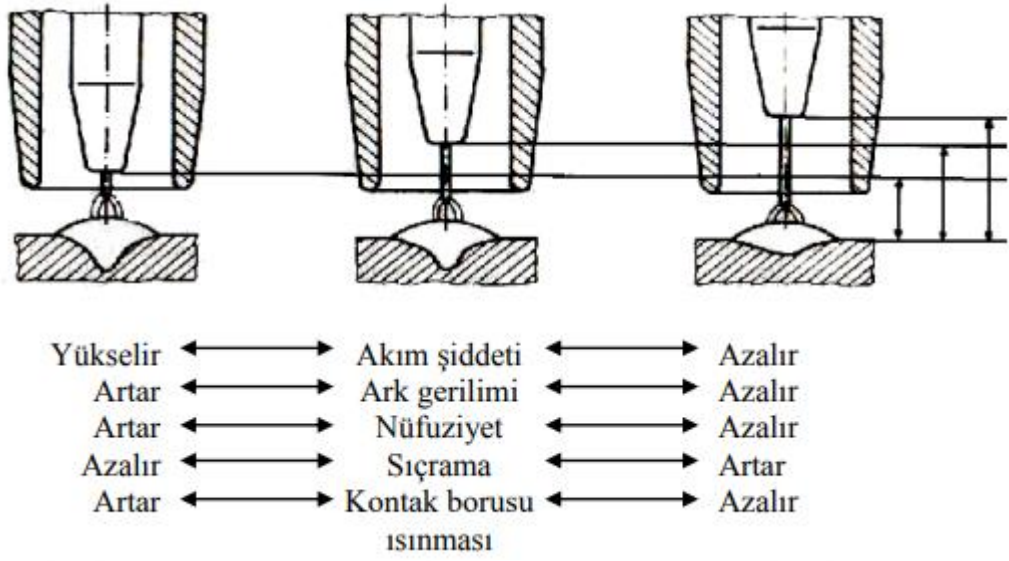
Kaynak hızının çok yüksek olması, kaynak bölgesinde undercut (yanma oluğu) oluşmasına neden olur [27].

5.3. İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

5.3.1. Serbest Tel Boyu

Serbest tel boyu, torçtaki kontak borusunun ucu ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafedir. Bunun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artar ve elektrodun ön ısınma sıcaklığı yükselir buun neticesinde elektrodu eritebilmek için gereken akım şiddetinde azalma oluşur. Serbest tel boyunun uzaması erime gücünün artmasına, nüfuziyet azlığına neden olur [27].

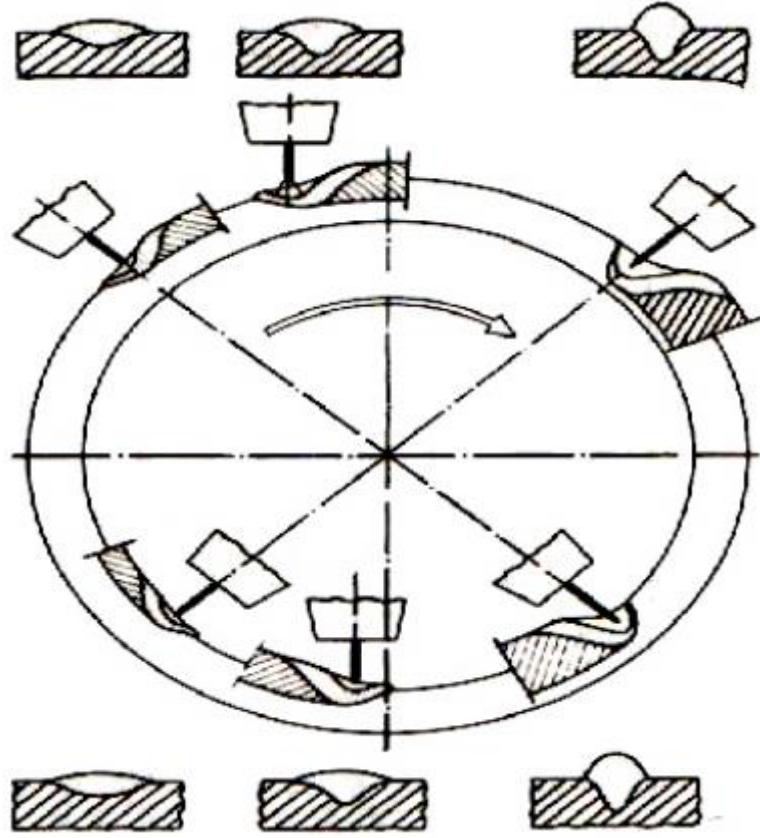
Şekil 5.1’de serbest tel boyunun kaynak dikişi üzerindeki etkileri sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Serbest tel boyunun dikiş üzerindeki etkileri [27].

5.3.2. Torç Açısı

Torcunun iş parçasına göre konumu ve kaynak anındaki hareketi dikişin yapısını direkt MIG kaynağında dikişin biçimini, dikişin bulunduğu konumu da büyük ölçüde etkiler. Çünkü işlem sırasında banyo sıvı haldedir ve kaynak ağzı içerisindeki ergiyik yer çekiminin etkisiyle eğim yönünde akma ister. Bu olayın etkisi en anlaşılır şekilde büyük çaplı bir borunun çevre kaynağında, torç sabit tutulup parçanın eksen etrafında dödürülmesiyle gerçekleştirilmesinde görülür (Şekil 4.20) [27].



Şekil 5.2 : Eğimine eksenine göre dikişin değişimi [15].

Yukarıda görüleceği üzere torcun dönen parçaya olan konumuna göre dikiş form biçimi değişir.

Genel bir kural şunu belirtir; kaynak bölgesinin eğimi yukarı doğru arttıkça dikiş daralır, nüfuziyet ve yükseklikte artma meydana gelir. Eğimi aşağı doğru olduğunda ise kaynak dikişin genişliği artar, nüfuziyet ve yüksekliğinde ise azalma görülür.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Bu çalışmada 150x300x3 mm ebatlarında EN AW 6061 T6 kalite alüminyum malzeme çiftleri, Al 5356 kaynak ilave metali ile MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Tablo 6.1’de kullanılan malzemenin, Tablo 6.2’de de kullanılan kaynak ilave metalinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 6.1 : Test Plakalarının Kimyasal Bileşimi (%)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
0,451	0,653	0,123	0,144	0,0466	0,242	0,844	0,0612	97,5

Tablo 6.2 : Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi (%)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
0,40	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	4,75	0,10	94,1

Şekil 6.1’de ana malzemenin kimyasal bileşimini tespit etmek için kullanılan spektrometre cihazı verilmiştir.



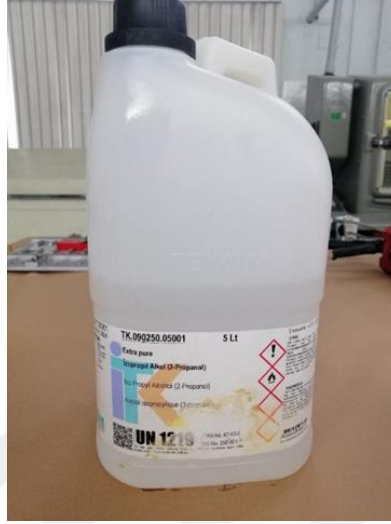
Şekil 6.1 : Spektrometre cihazı

Alüminyum malzemelerin kaynağında, kaynak makinesi teknolojisi olarak pulse özellikli makinalar tercih edilmektedir. Bunun sebebi malzeme yüzeyinde bulunan ve ergime sıcaklığı yaklaşık 2200 °C olan alüminyum oksitin ana malzemeye kıyasla oldukça yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Çalışma boyunca Şekil 6.2’de gösterilen kaynak makinası kullanılmıştır.



Şekil 6.2 : Çalışmada kullanılan MIG kaynak makinası

Malzemelerin farklı parametreler kullanılarak kaynatıldığı bu çalışmada kaynak bölgesinin temizliğinde Şekil 6.3'te gösterilen izopropil alkol kullanılarak yüzey kaynağa hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6.3 : Çalışmada kullanılan izopropil alkol

Kaynaklı haldeki numunelerin mekanik dayanım farklılıklarının tespiti için kaynak sonrası numunelere çekme testi, çentik darbe testi ve sertlik testi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan çekme test cihazı Şekil 6.4'te, çentik darbe test cihazı Şekil 6.5'te ve sertlik test cihazı Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.4 : Çekme testi cihazı



Şekil 6.5 : Çentik darbe testi cihazı



Şekil 6.6 : Sertlik testi cihazı

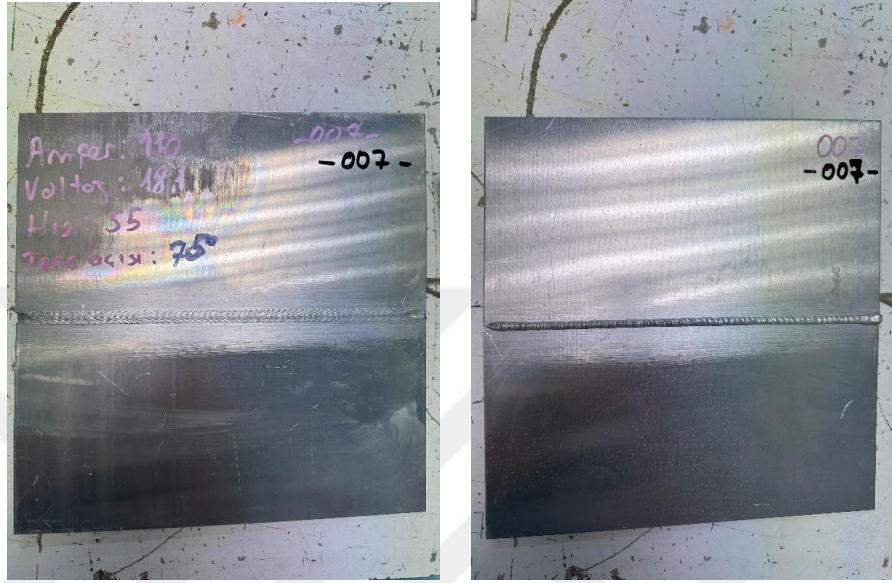
Mekanik test işlemleri sonrasında kaynaklı numunelerin kaynak nüfuziyet oranlarının belirlenebilmesi ve iç yapılarında meydana gelebilecek değişikliklerin tespit edilebilmesi için her numuneye makrografi ve mikrografi test işlemi uygulanmıştır. Şekil 6.7’de makrografi ve mikrografi testlerinde kullanılan cihaz verilmiştir.



Şekil 6.7 : Makrografi ve mikrografi test cihazı

6.2. Deney

AW 6061 T6 alüminyum alaşımından üretilmiş 150x300x3 mm ebatlarındaki plakalar bir parametre değişken, diğer parametreler sabit tutularak Şekil 6.8'deki örnekte gösterildiği gibi MIG kaynağı ile birleştirilmiştir.



Şekil 6.8 : Birleştirilen plakalardan bir örnek

Tablo 6.3'te çalışmada kullanılan kaynak parametreleri verilmiştir. İşlem sonrasında farklı kaynak parametrelerinin plakalar üzerindeki etkilerinin incelenebilmesi için birleştirilmiş ürünlerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama değeri, çentik darbe enerjisi ve sertlik değerleri tespit edilmiş ayrıca nüfuziyet ve iç yapıları incelenmiştir. Deney numunelerinin incelenmesinde, bu aşamadan sonra numuneler Tablo 6.3'te kodlandığı rakamlarla anılacaktır.

Tablo 6.3 : Kaynak parametreleri

Numune Kodu		Sabit Tutulan Parametreler				Değişken Parametreler
1	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	İlerleme hızı 40 cm/dk
2	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	İlerleme hızı 50 cm/dk
3	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	İlerleme hızı 60 cm/dk
4	-	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	80 A
5	-	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	95 A
6	-	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	110 A
7	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Torç açısı 75°
8	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Torç açısı 60°
9	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Torç açısı 45°
10	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Serbest tel boyu 7,5 mm
11	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Serbest tel boyu 15 mm
12	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Serbest tel boyu 25 mm
13	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Ön temizlik yok
14	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Ön temizlik mekanik
15	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Ön temizlik kimyasal
16	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Kaynak yönü sağa
17	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	Frekans 3,0 MHz	Kaynak yönü sola
18	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	-	Frekans 3,0 MHz	Gaz debisi 12 lt/dk
19	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	-	Frekans 3,0 MHz	Gaz debisi 5 lt/dk
20	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	-	Frekans 3,0 MHz	Gaz debisi 20 lt/dk
21	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	-	Frekans 0,74 MHz
22	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	-	Frekans 3,0 MHz
23	110 A	18,1 V	Tel hızı 6,4 m/dk	Gaz debisi 12 lt/dk	-	Frekans 0 MHz

Kaynaklı birleştirilen her bir parçadan Şekil 6.9’da gösterildiği gibi 3 adet çekme test numunesi, 6 adet çentik darbe test numunesi, 1 adet makrografi-mikrografi test numunesi ve sertlik test numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 6.9 : Parçaların mekanik test numuneleri

Çentik darbe testleri oda sıcaklığında 1 adet ana malzeme, 1 adet ITAB ve 1 adet kaynak dikişinden olacak şekilde ve -20 °C’de 1 adet ana malzeme, 1 adet ITAB ve 1 adet kaynak dikişinden olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

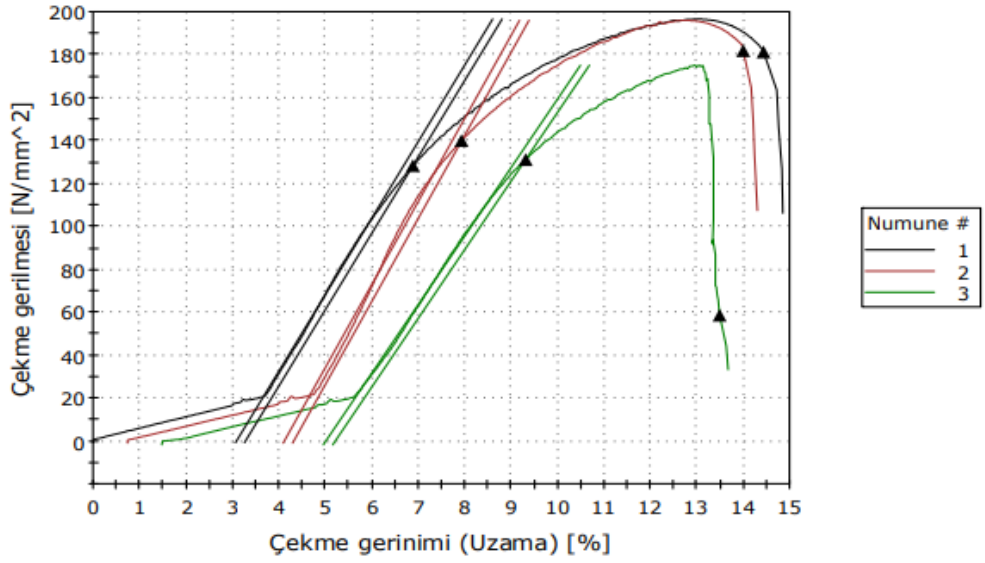
Sertlik testleri her numune için ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişi bölgelerinden gerçekleştirilmiştir

6.2.1. 1 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, ilerleme hızı 40 cm/dk ile kaynak işlemi yapılan 1 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.10’da verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.10 : 1 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4 : 1 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
133	195	13	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5 : 1 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

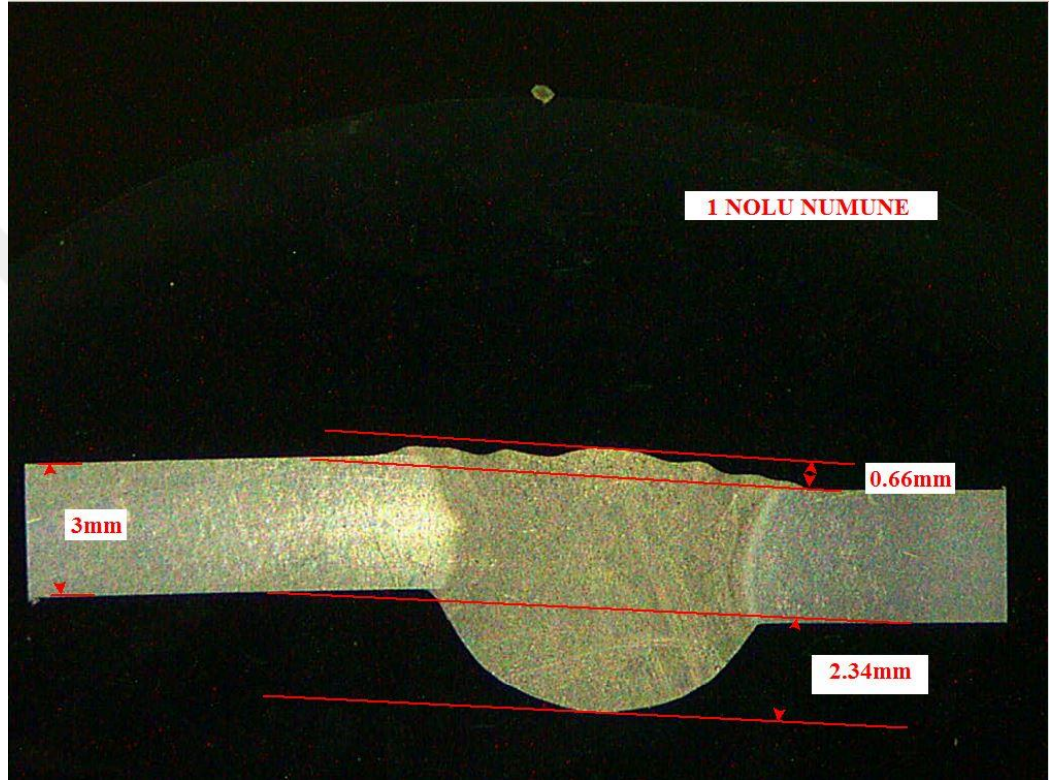
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	27	33	27	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 : 1 numaralı numune sertlik testi sonuçları

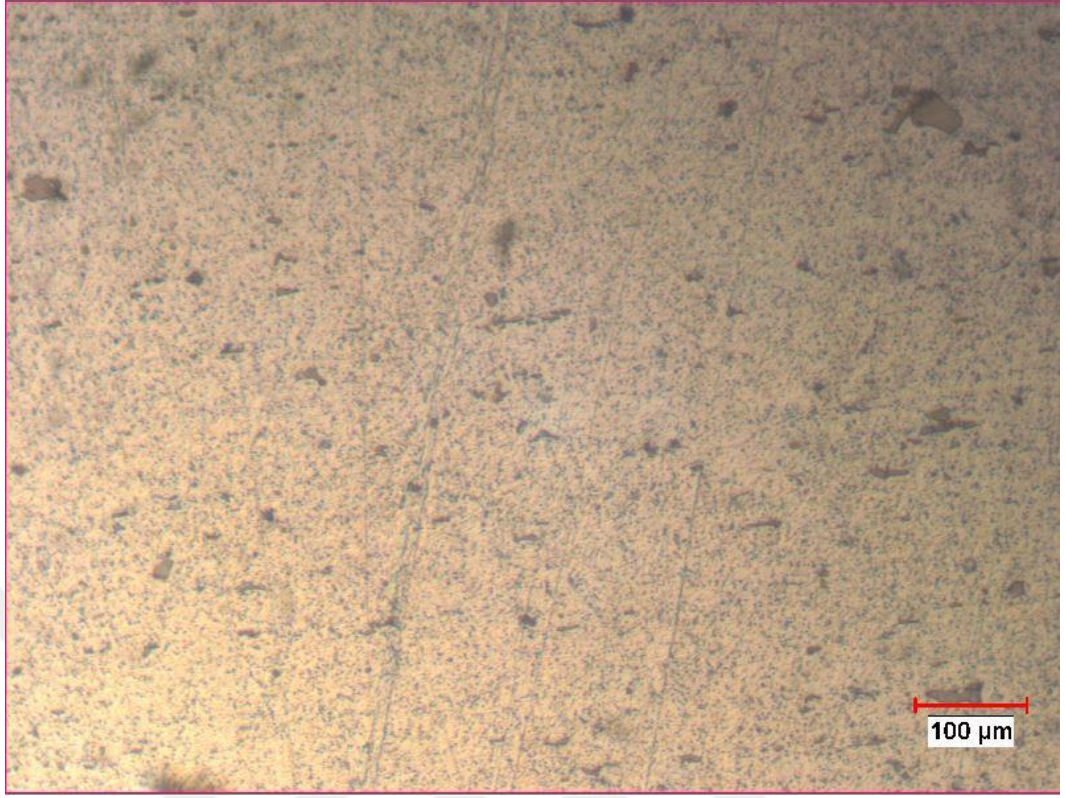
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
63,5	81,2	73,6

Makrografi görüntüsü Şekil 6.11’de verilmiştir.

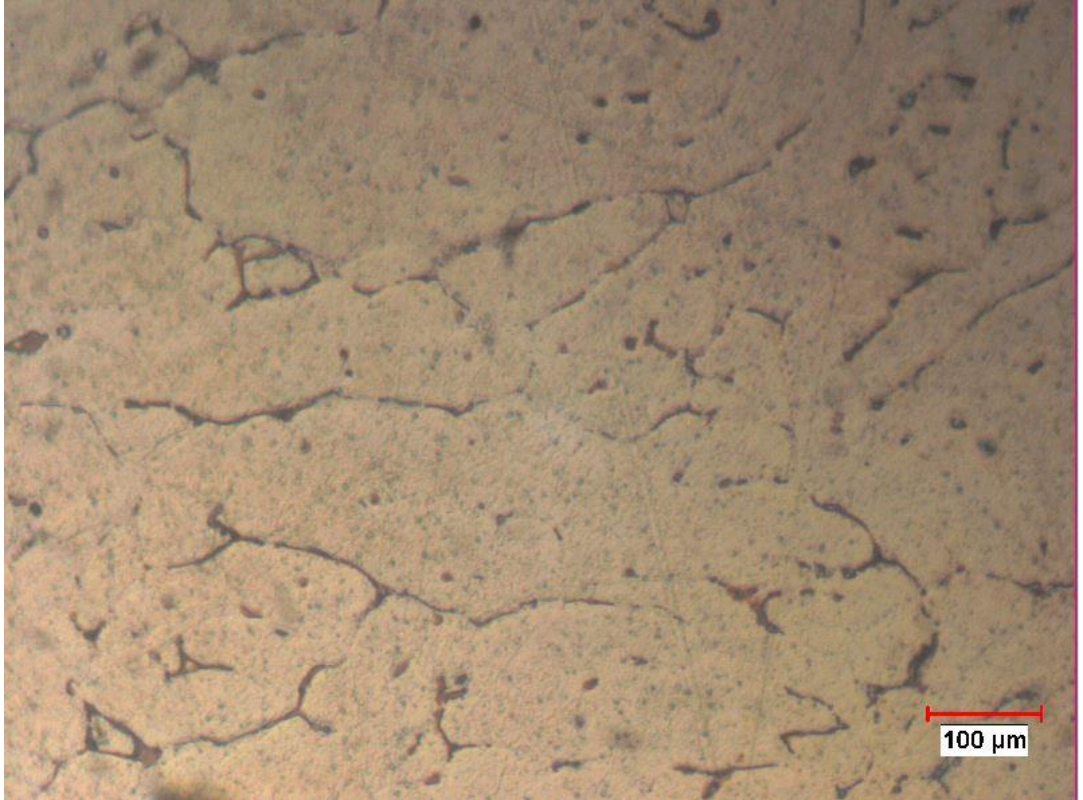


Şekil 6.11 : 1 numaralı numune makrografi görüntüsü

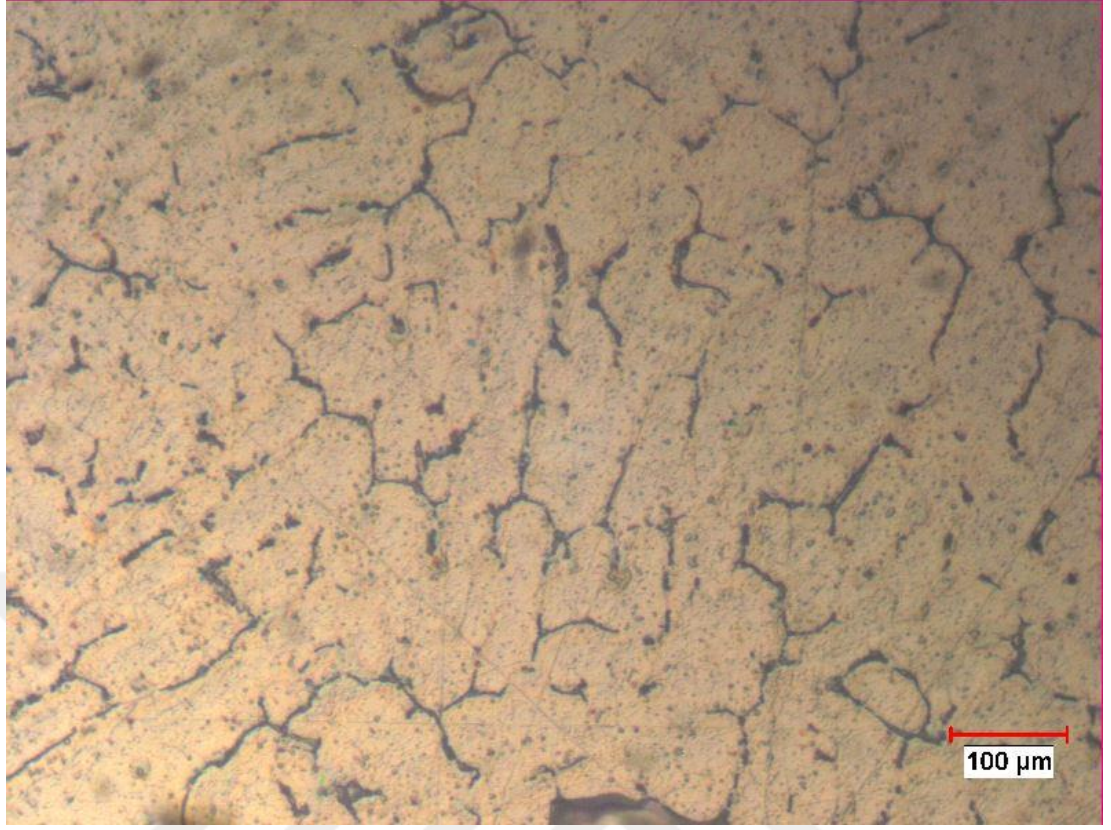
Mikrografi sonuçları Şekil 6.12’de ana malzeme, Şekil 6.13’te ITAB ve Şekil 6.14’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.12 : 1 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.13 : 1 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü



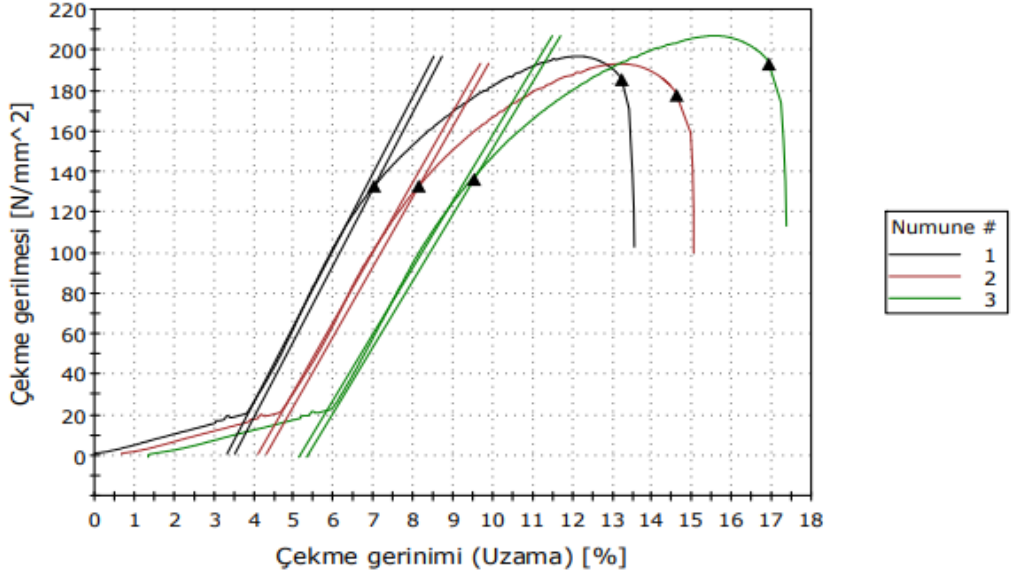
Şekil 6.14 : 1 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.2. 2 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, ilerleme hızı 50 cm/dk ile kaynak işlemi yapılan 2 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.15’te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.15 : 2 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 : 2 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
134	198	11	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8 : 2 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

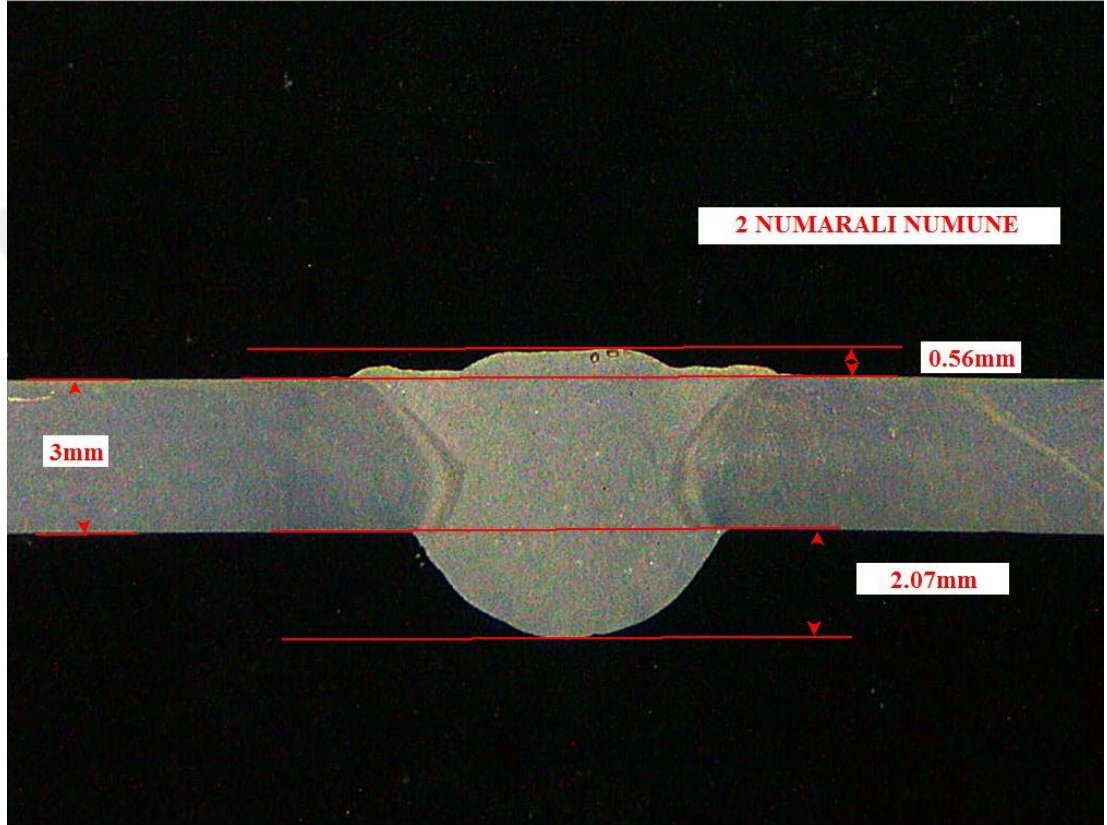
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
23	23	33	23	27	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.9 : 2 numaralı numune sertlik testi sonuçları

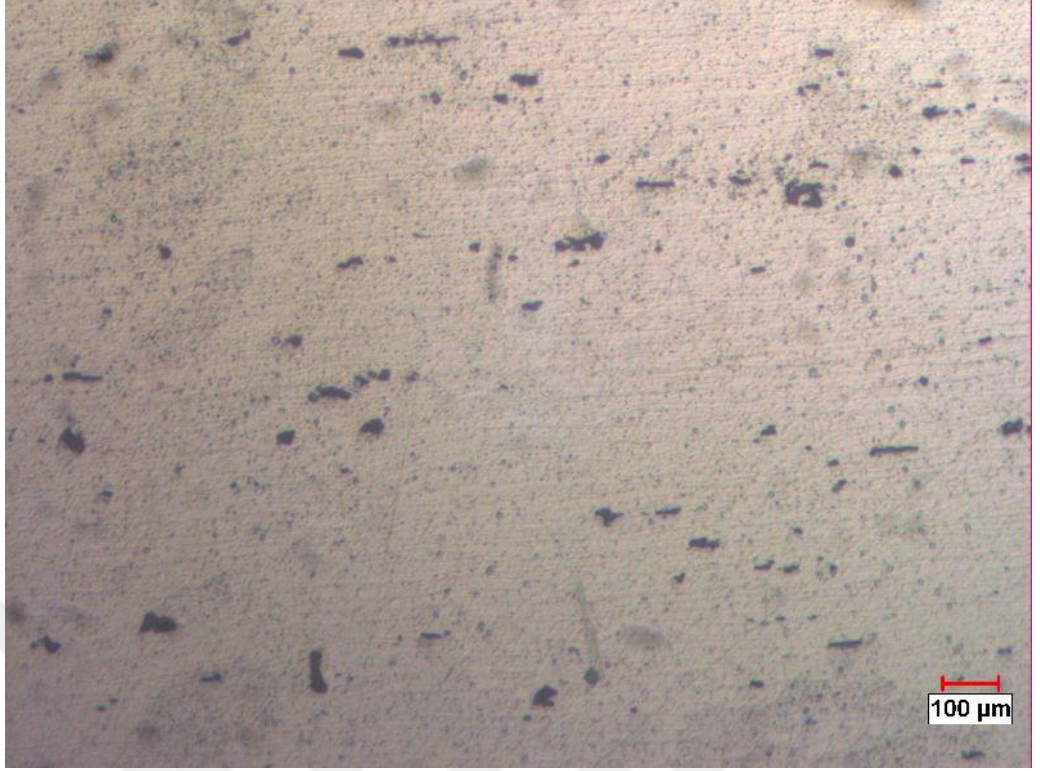
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
64	80,4	73,4

Makrografi görüntüsü Şekil 6.16’da verilmiştir.

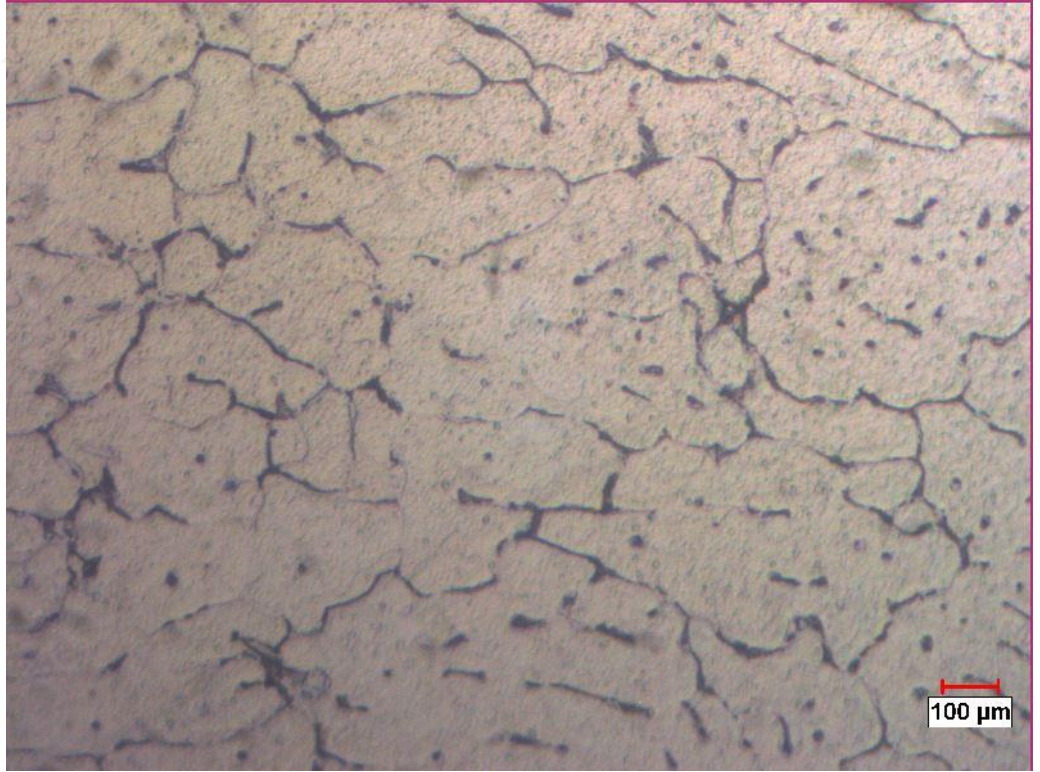


Şekil 6.16 : 2 numaralı numune makrografi görüntüsü

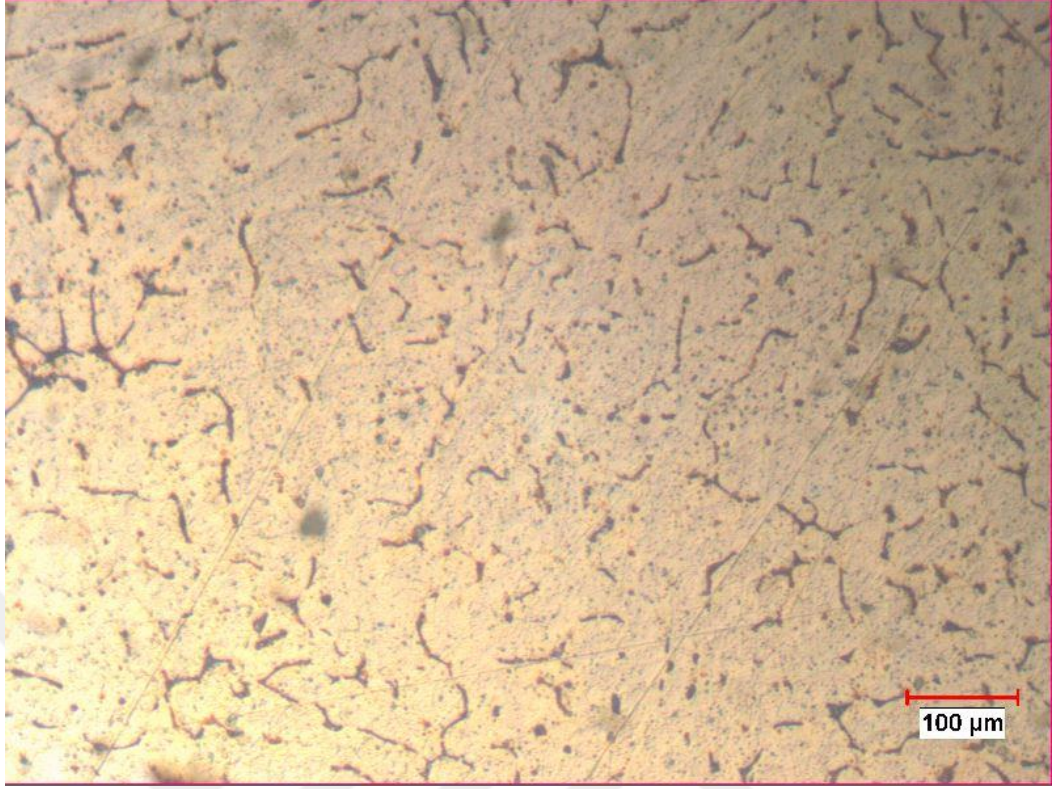
Mikrografi sonuçları Şekil 6.17’de ana malzeme, Şekil 6.18’de ITAB ve Şekil 6.19’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.17 : 2 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.18 : 2 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



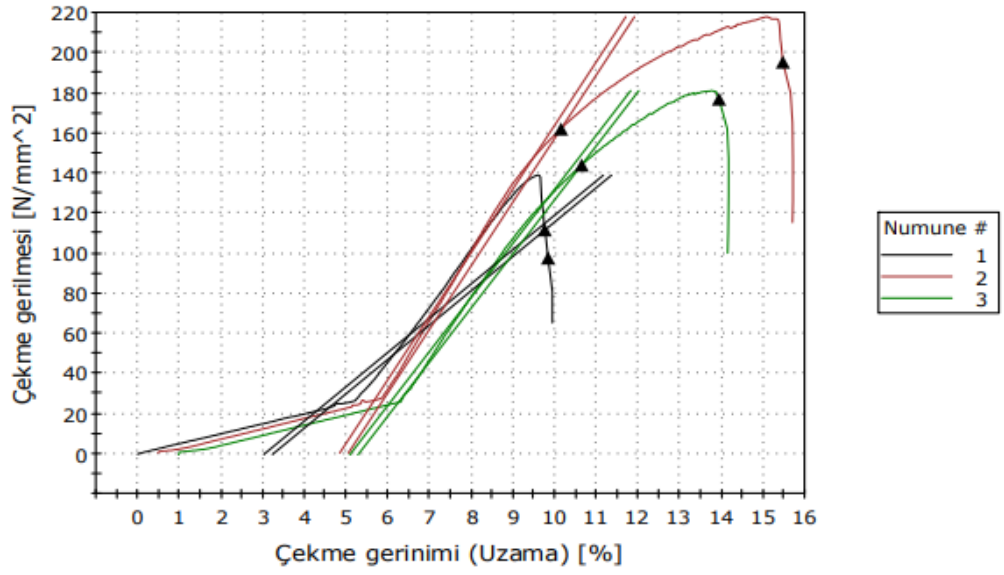
Şekil 6.19 : 2 numaralı numune kaynak dikişi mikrofafi görüntüsü

6.2.3. 3 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, ilerleme hızı 60 cm/dk ile kaynak işlemleri yapılan 3 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.20’de verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.20 : 3 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.10’da verilmiştir.

Tablo 6.10 : 3 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
139	178	6	Kaynak

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.11 : 3 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

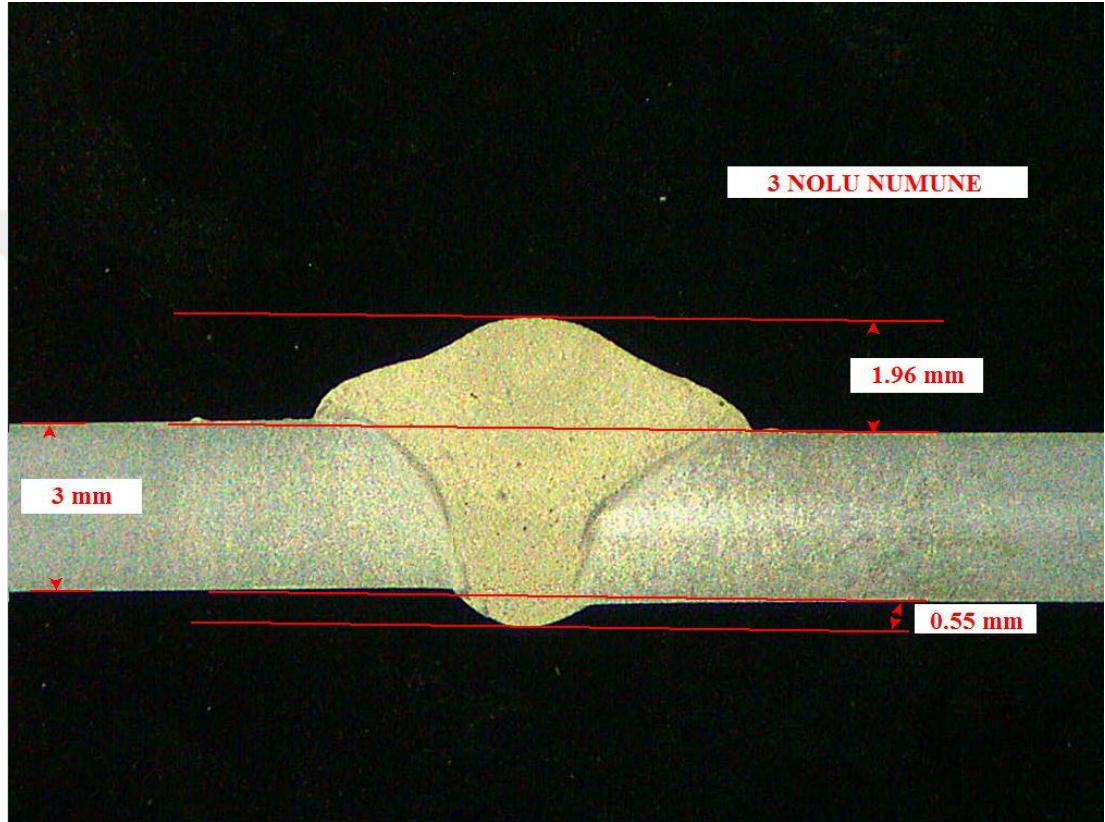
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
20	20	27	20	20	27

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12 : 3 numaralı numune sertlik testi sonuçları

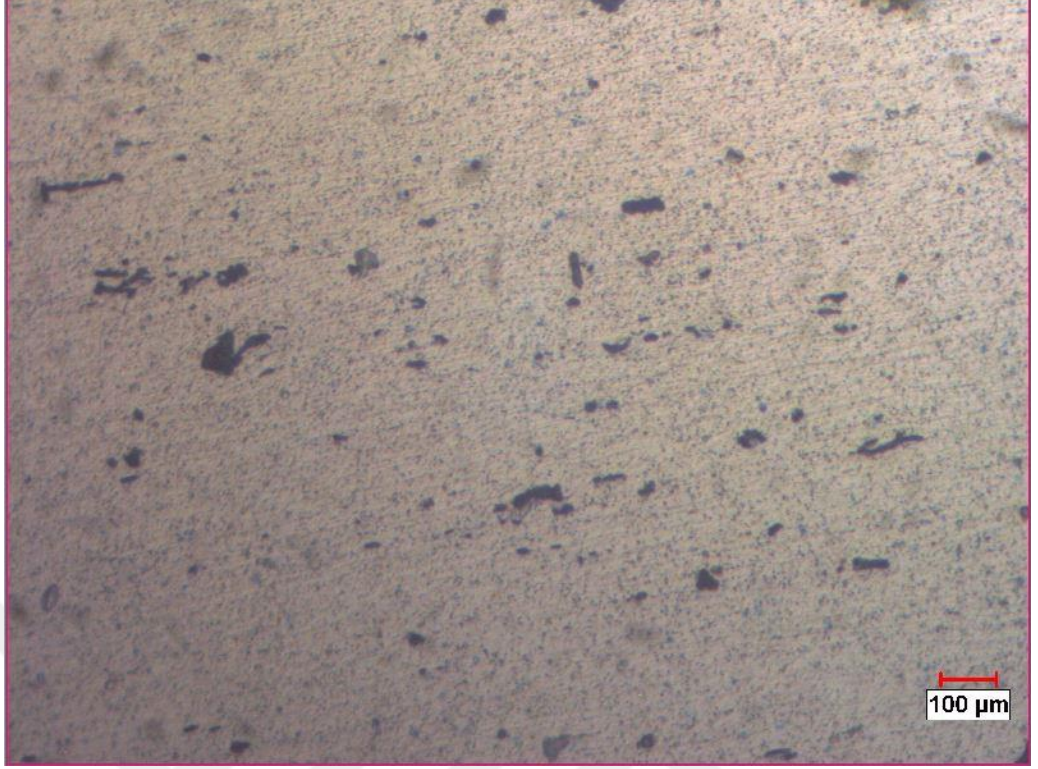
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
64,6	80,6	73,8

Makrografi görüntüsü Şekil 6.21’de verilmiştir.

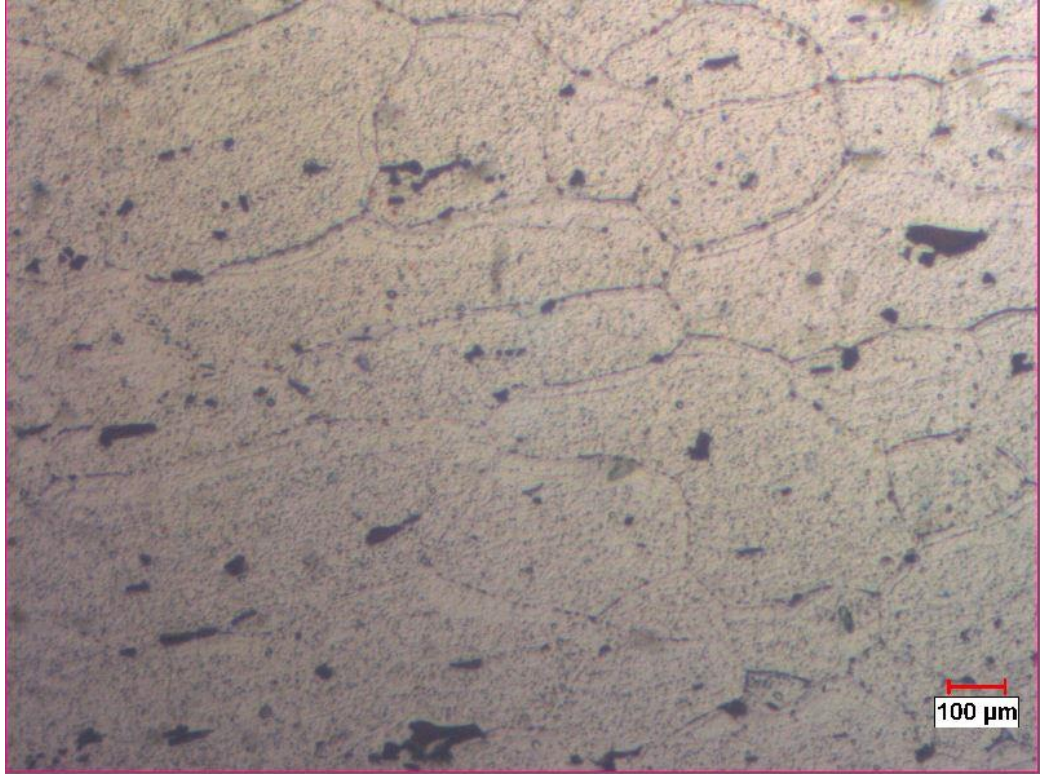


Şekil 6.21 : 3 numaralı numune makrografi görüntüsü

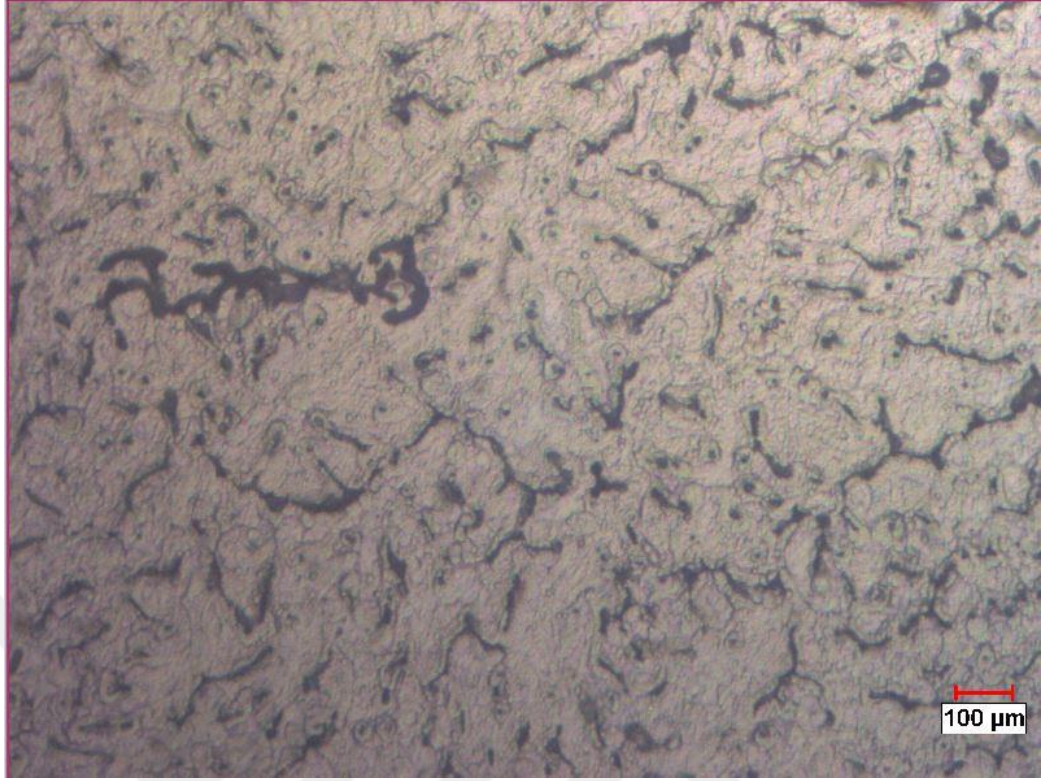
Mikrografi sonuçları Şekil 6.22’de ana malzeme, Şekil 6.23’te ITAB ve Şekil 6.24’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.22 : 3 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.23 : 3 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



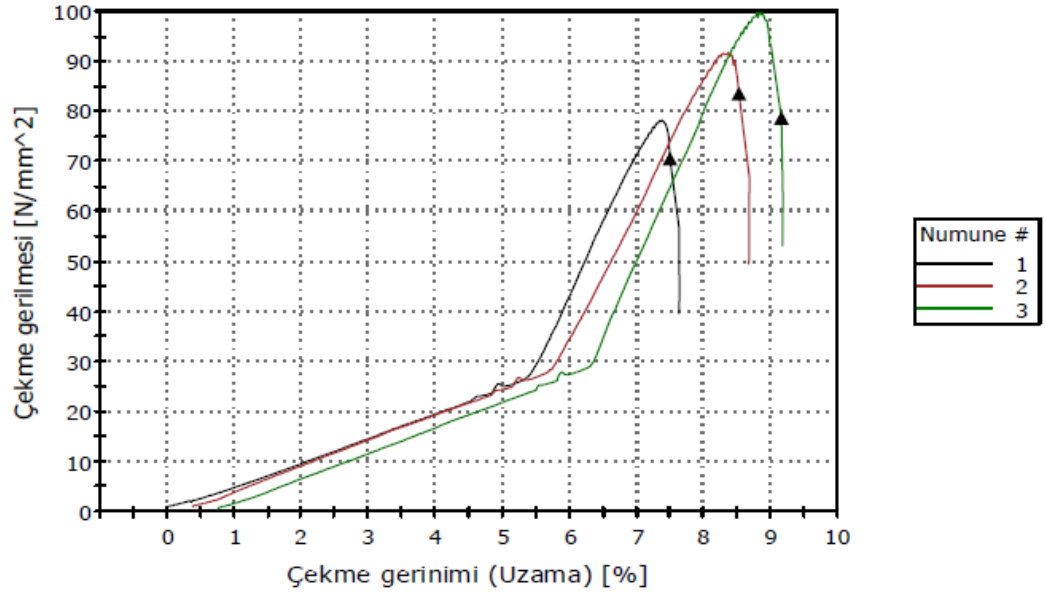
Şekil 6.24 : 3 numaralı numune kaynak dikişi mikrofafi görüntüsü

6.2.4. 4 numaralı numunenin test sonuçları

Gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değeri sabit tutularak, 80 A akım değeri ile kaynak işlemleri yapılan 4 numaralı numunenin çekme testi grafiğı Şekil 6.25’te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.25 : 4 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.13'te verilmiştir.

Tablo 6.13 : 4 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
-	89	3	Kaynak

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.14'te verilmiştir.

Tablo 6.14 : 4 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

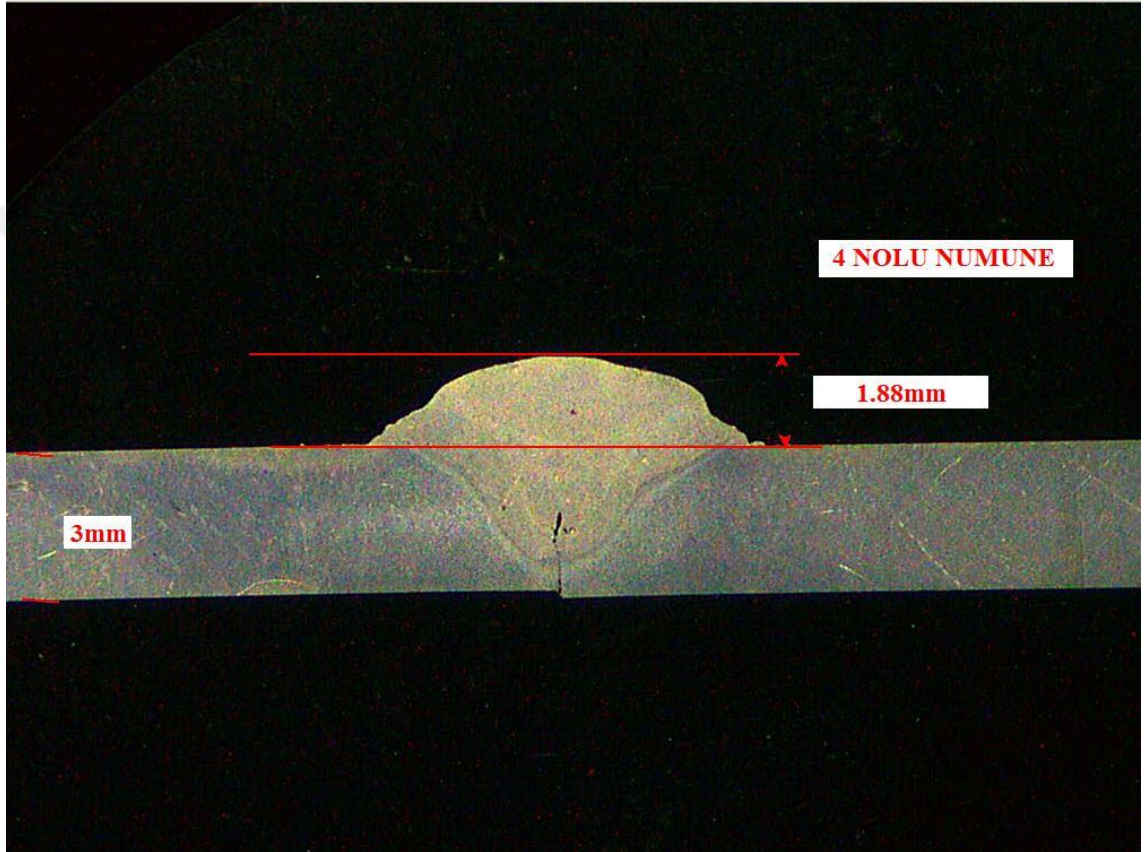
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
7	13	17	7	10	17

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.15 : 4 numaralı numune sertlik testi sonuçları

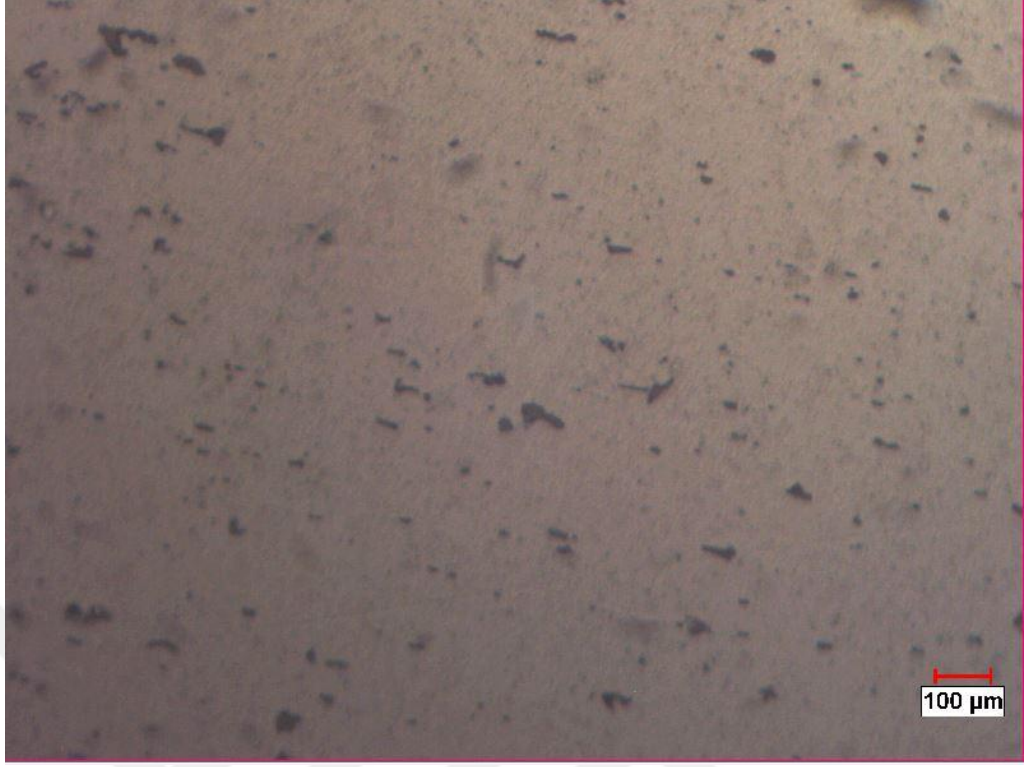
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
69,7	81,4	89,1

Makrografi görüntüsü Şekil 6.26’de verilmiştir.

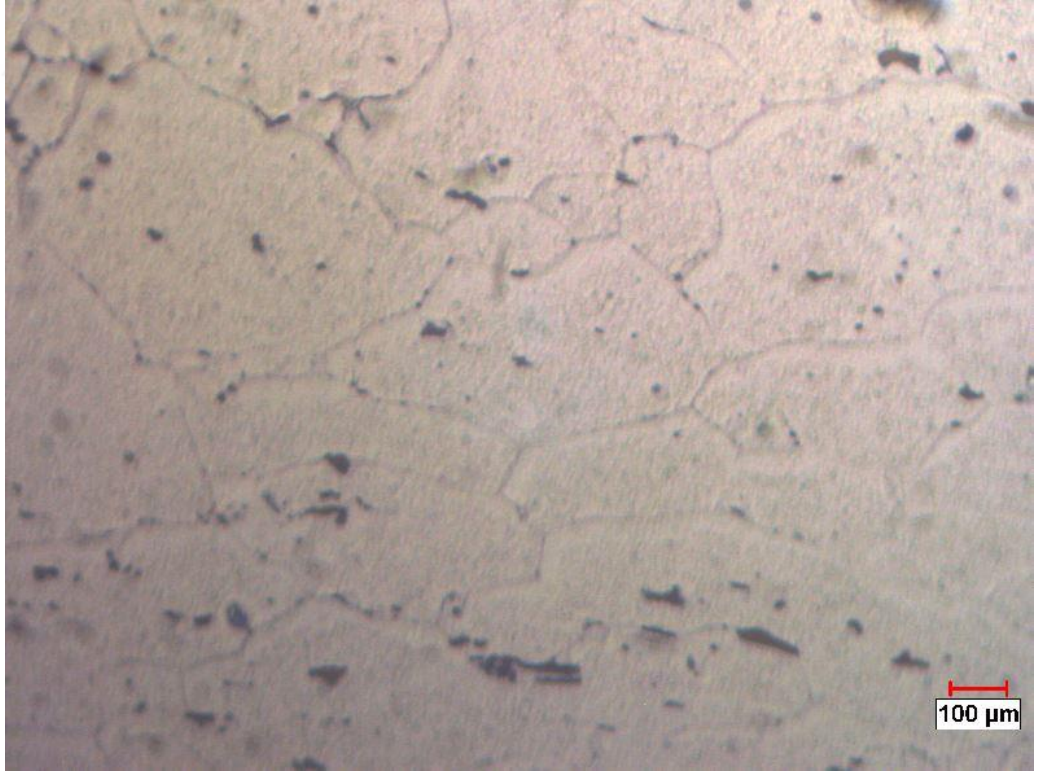


Şekil 6.26 : 4 numaralı numune makrografi görüntüsü

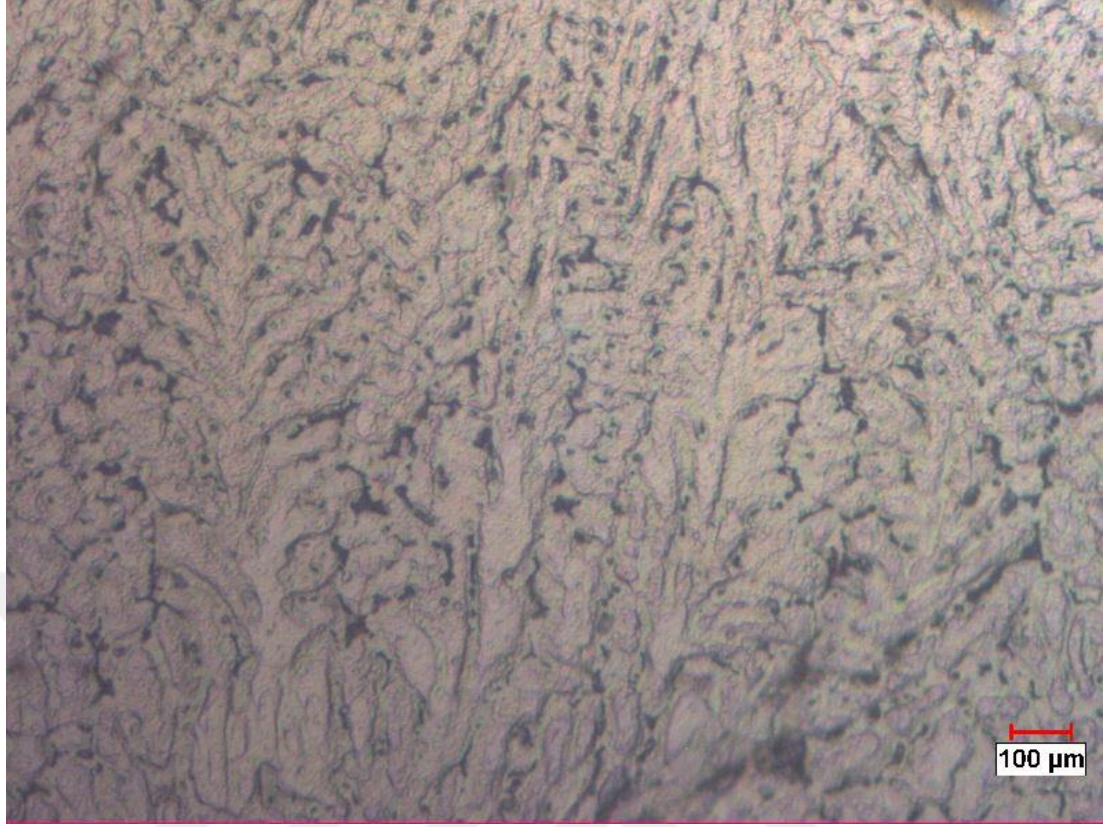
Mikrografi sonuçları Şekil 6.27’de ana malzeme, Şekil 6.28’de ITAB ve Şekil 6.29’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.27 : 4 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.28 : 4 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü

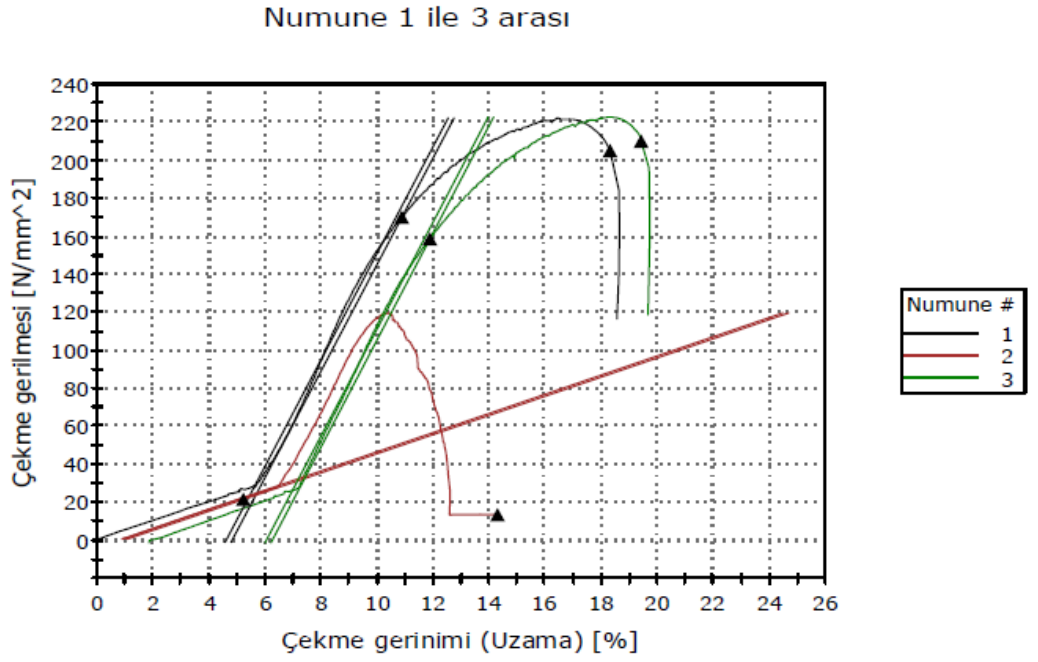


Şekil 6.29 : 4 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.5. 5 numaralı numunenin test sonuçları

Gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, 95 A akım değeri ile kaynak işlemi yapılan 5 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.30’da verilmiştir.

Test Grafiği



Şekil 6.30 : 5 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.16’da verilmiştir.

Tablo 6.16 : 5 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
165	222	17	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.17’de verilmiştir.

Tablo 6.17 : 5 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

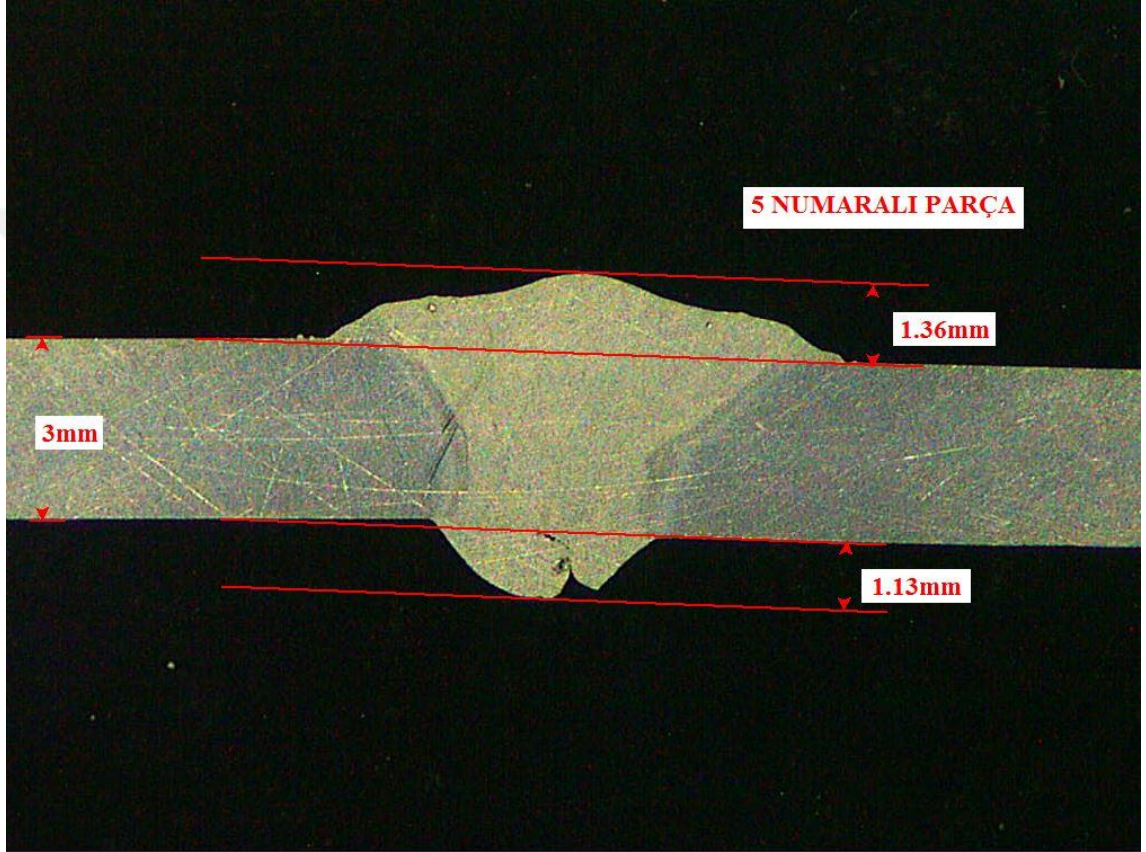
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
20	27	27	20	23	27

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.18’de verilmiştir.

Tablo 6.18 : 5 numaralı numune sertlik testi sonuçları

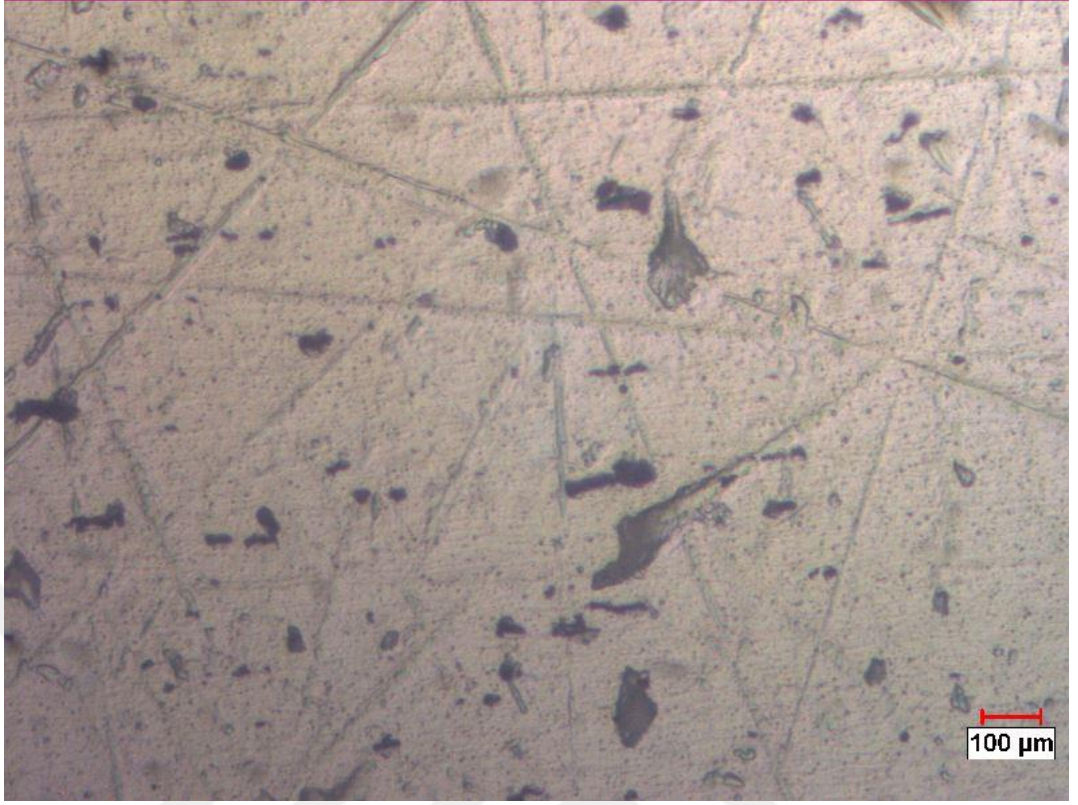
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
68,7	81,9	71,3

Makrografi görüntüsü Şekil 6.31’de verilmiştir.

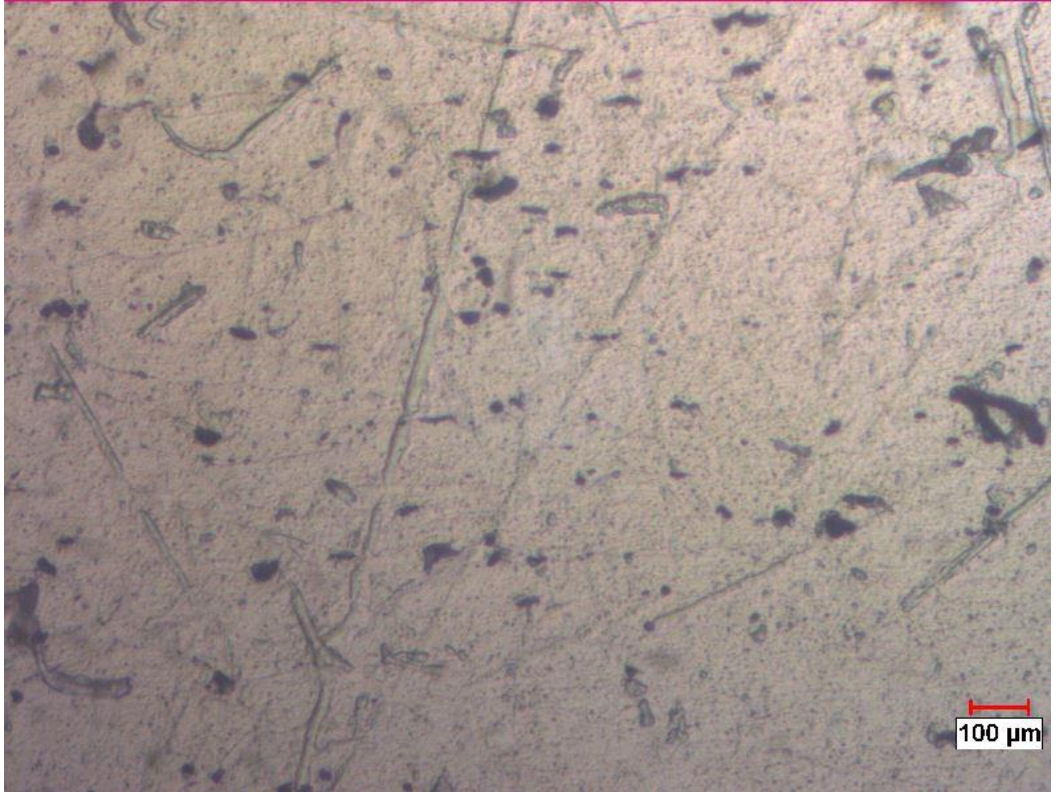


Şekil 6.31 : 5 numaralı numune makrografi görüntüsü

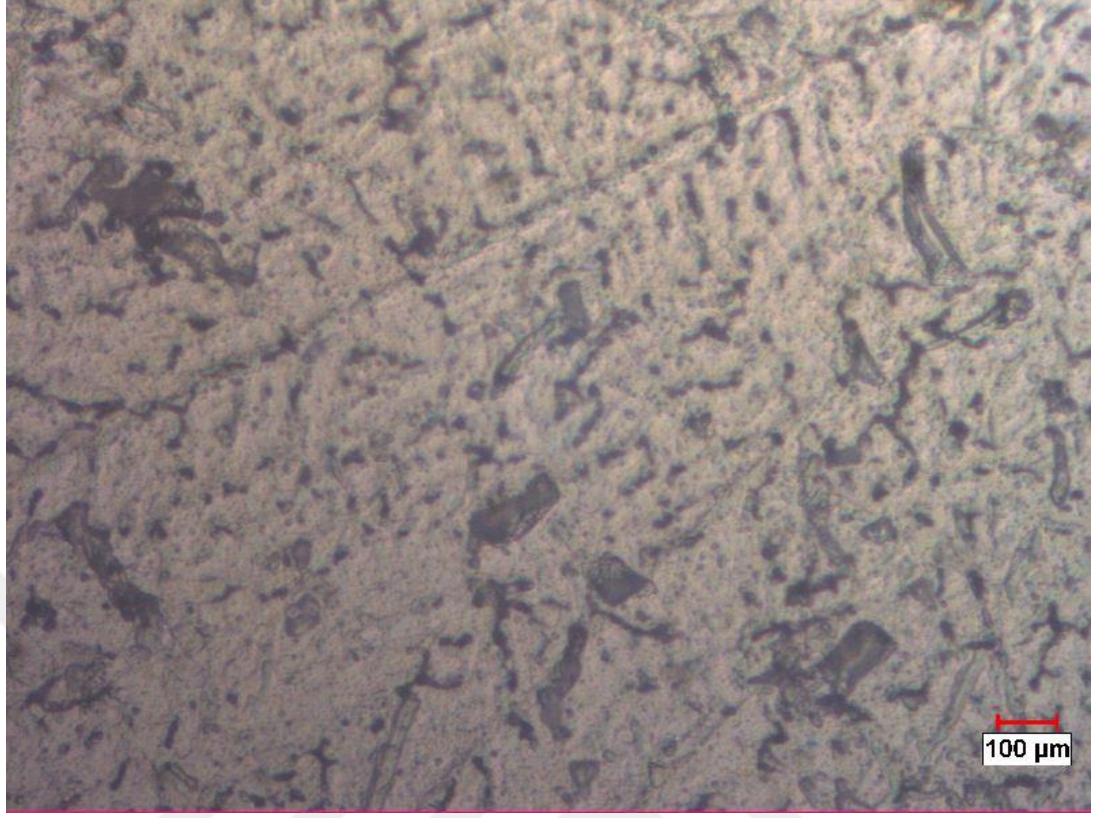
Mikrografi sonuçları Şekil 6.32’de ana malzeme, Şekil 6.33’te ITAB ve Şekil 6.34’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.32 : 5 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.33 : 5 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü

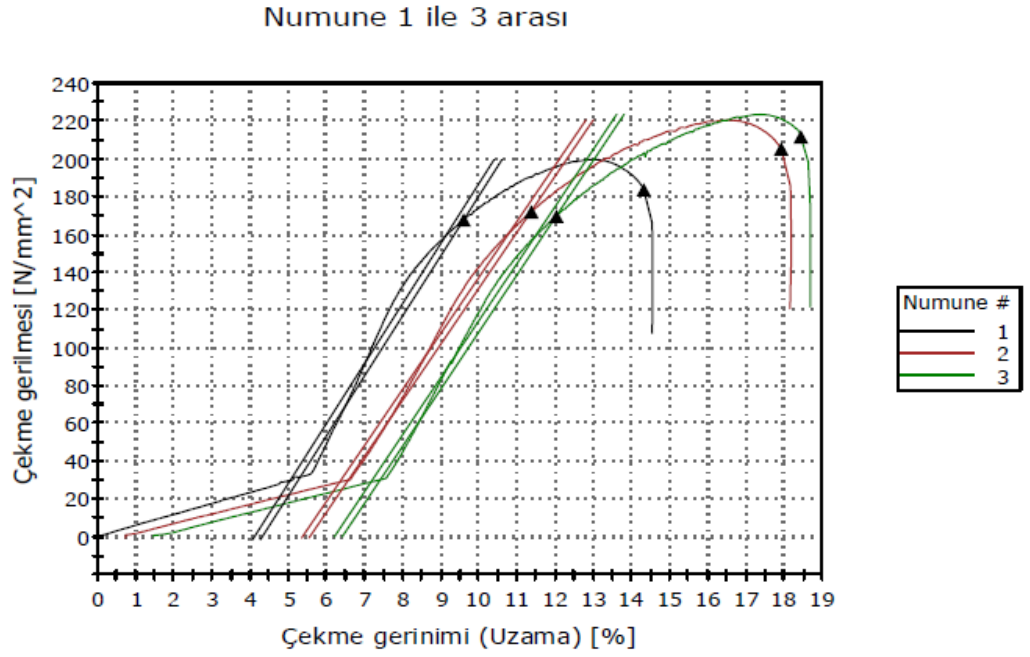


Şekil 6.34 : 5 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.6. 6 numaralı numunenin test sonuçları

Gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, 110 A akım değeri ile kaynak işlemi yapılan 6 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.35’te verilmiştir.

Test Grafiği



Çekme testi sonuçları Tablo 6.19’da verilmiştir.

Tablo 6.19 : 5 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
170	214	11	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.20’de verilmiştir.

Tablo 6.20 : 6 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

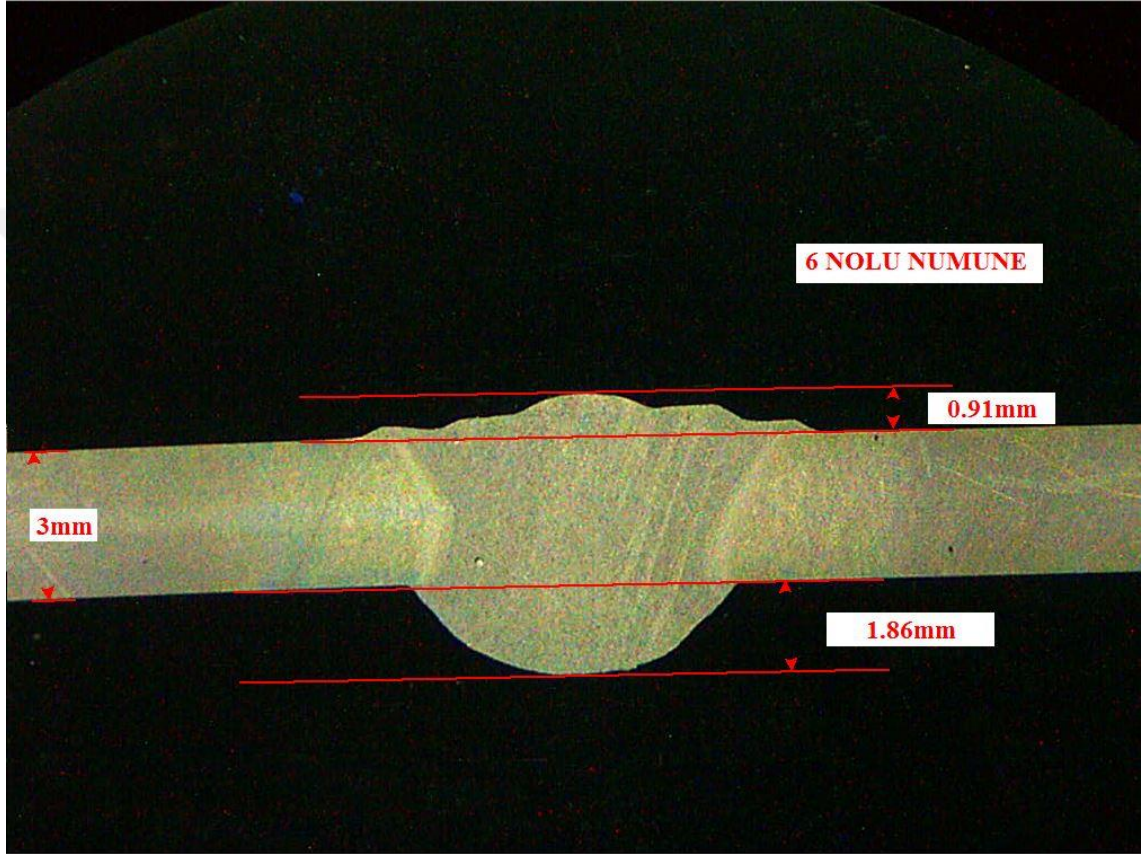
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	33	33	27	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.21’de verilmiştir.

Tablo 6.21 : 6 numaralı numune sertlik testi sonuçları

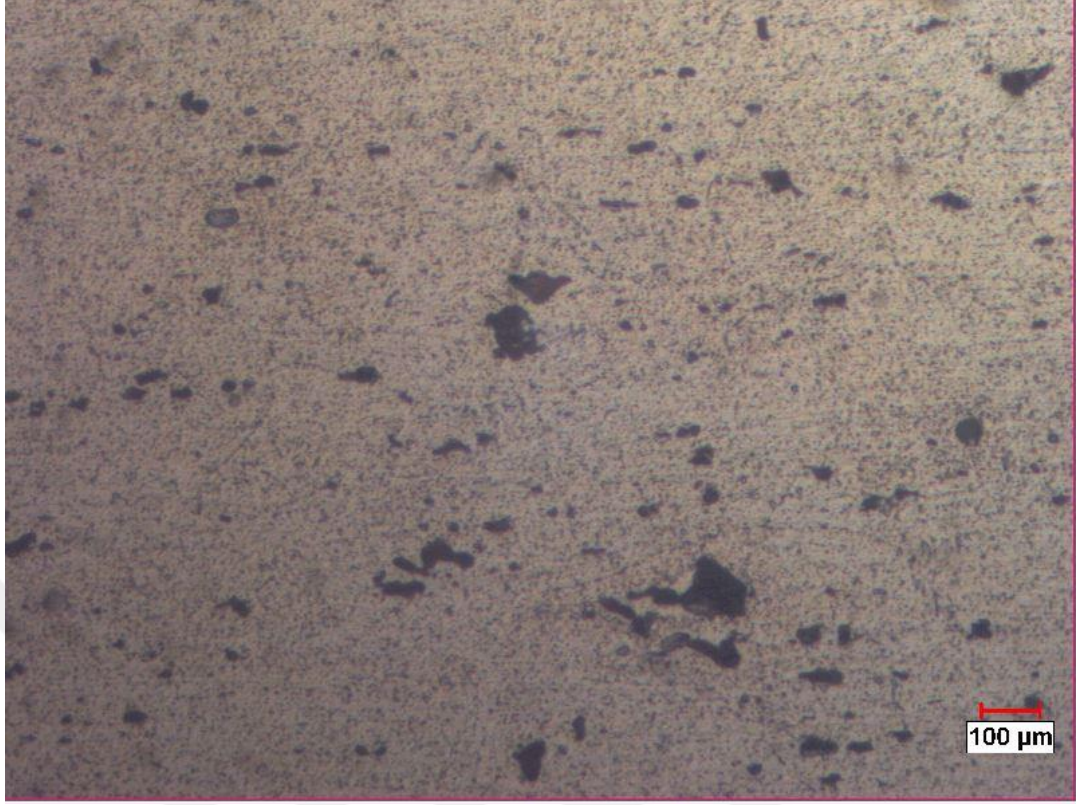
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
64,0	82,9	71,4

Makrografi görüntüsü Şekil 6.36’da verilmiştir.

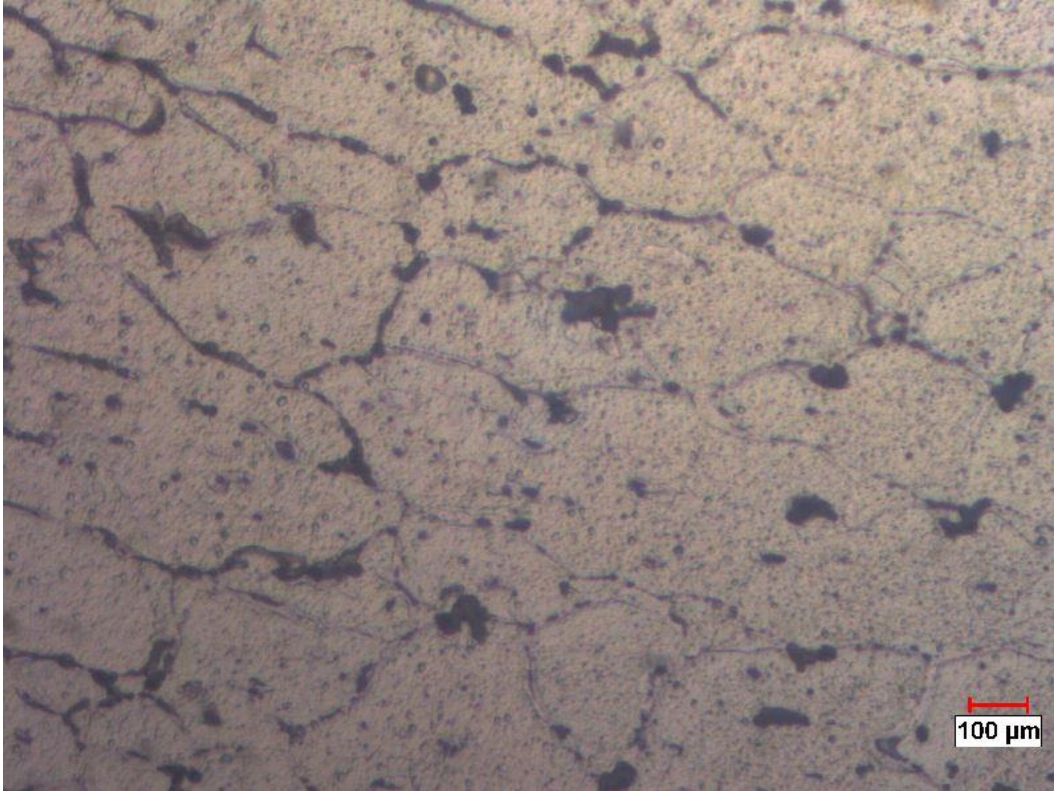


Şekil 6.36 : 6 numaralı numune makrografi görüntüsü

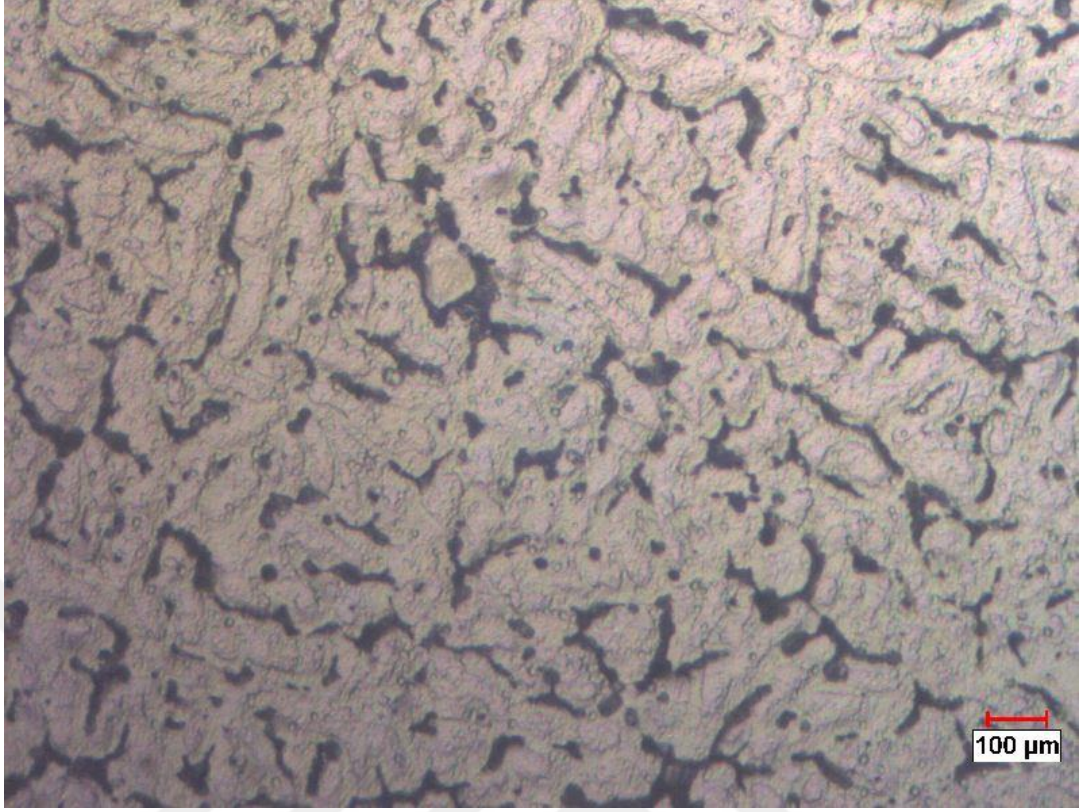
Mikrografi sonuçları Şekil 6.37’de ana malzeme, Şekil 6.38’de ITAB ve Şekil 6.39’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.37 : 6 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.38 : 6 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü



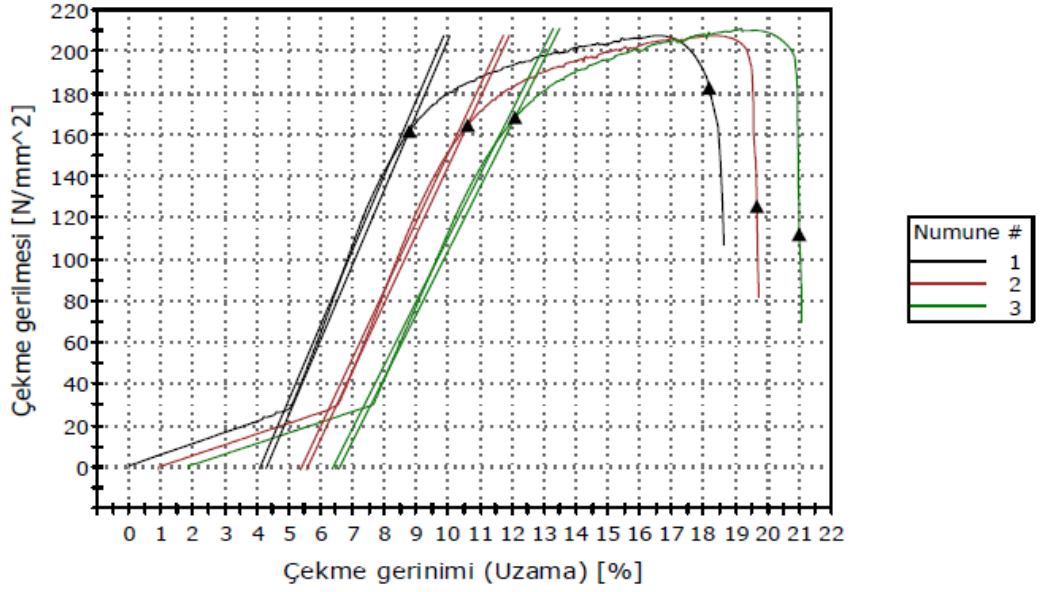
Şekil 6.39 : 6 numaralı numune kaynak dikişi mikrofafi görüntüsü

6.2.7. 7 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değeri sabit tutularak, 75° torç açısı değeri ile kaynak işlemleri yapılan 7 numaralı numunenin çekme testi grafiğı Şekil 6.40'ta verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.40 : 7 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.22’de verilmiştir.

Tablo 6.22 : 7 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
164	208	11	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.23’te verilmiştir.

Tablo 6.23 : 7 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

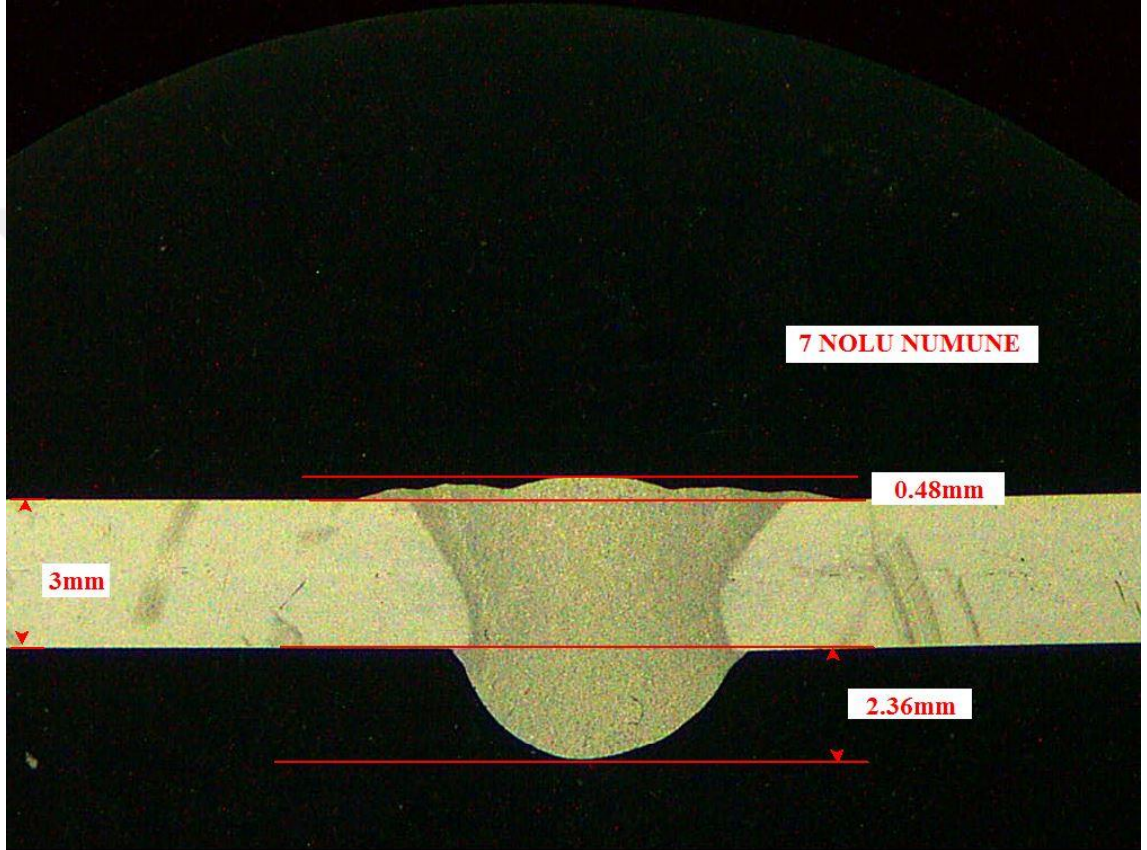
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
33	33	33	30	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.24’te verilmiştir.

Tablo 6.24 : 7 numaralı numune sertlik testi sonuçları

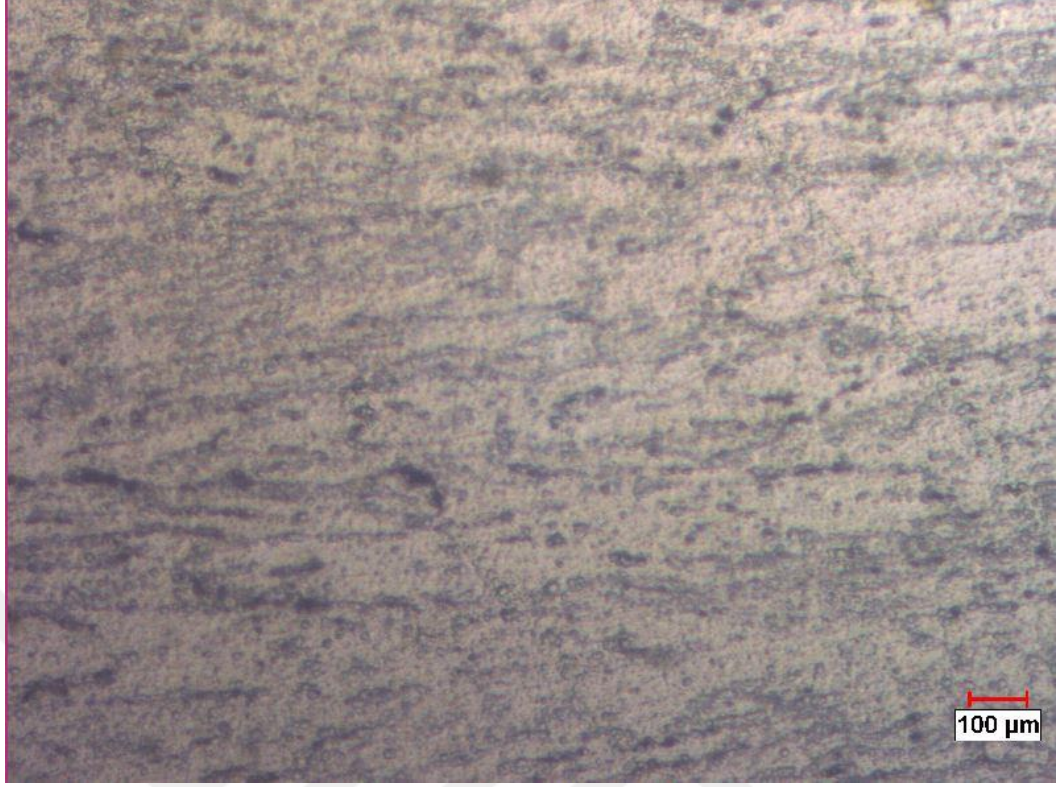
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
63,4	54,1	71,6

Makrografi görüntüsü Şekil 6.41’de verilmiştir.

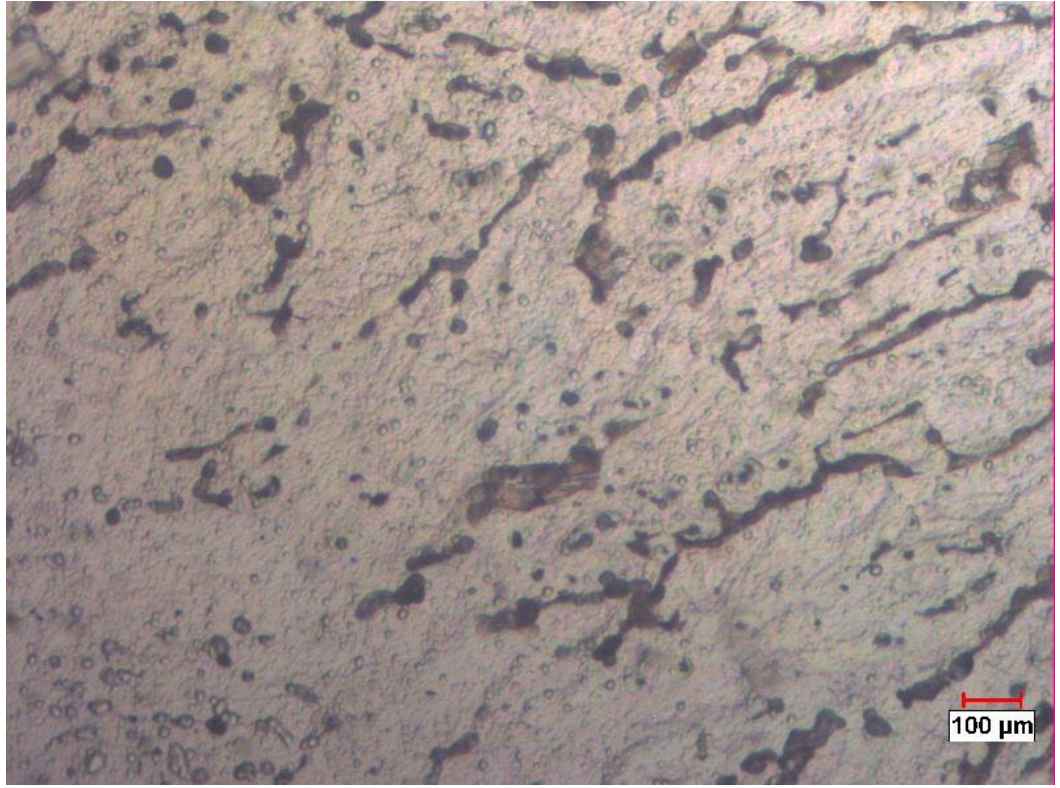


Şekil 6.41 : 7 numaralı numune makrografi görüntüsü

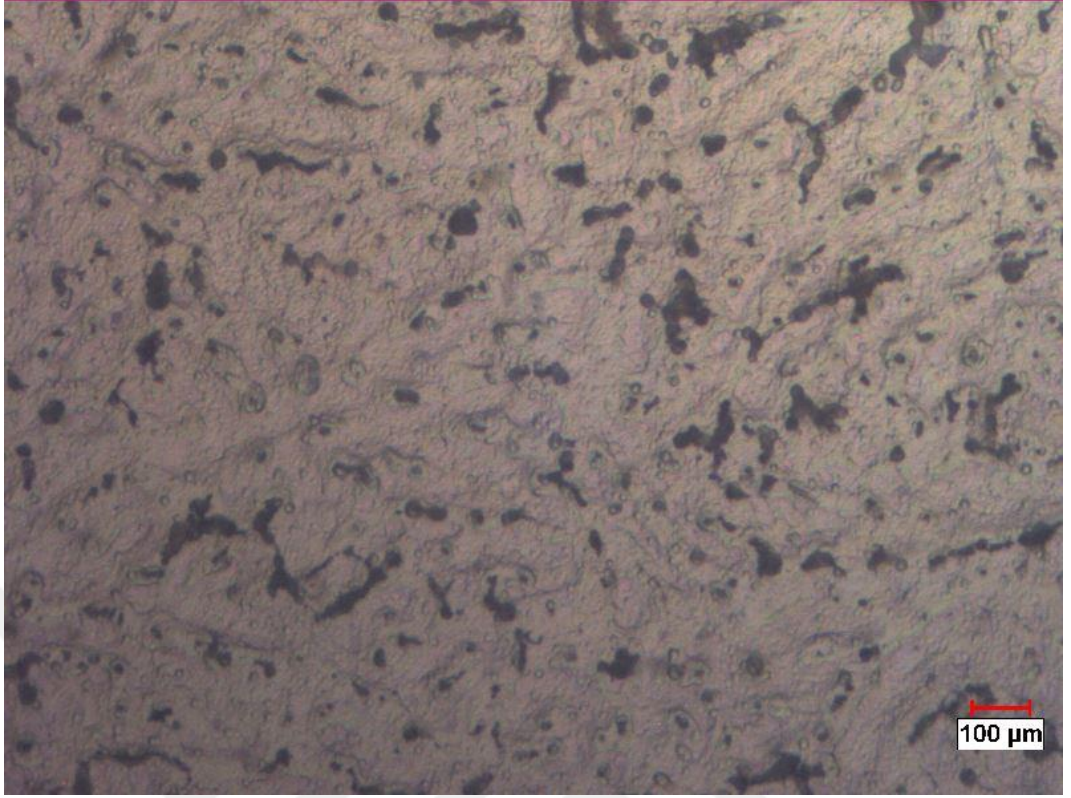
Mikrografi sonuçları Şekil 6.42’de ana malzeme, Şekil 6.43’te ITAB ve Şekil 6.44’de kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.42 : 7 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.43 : 7 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



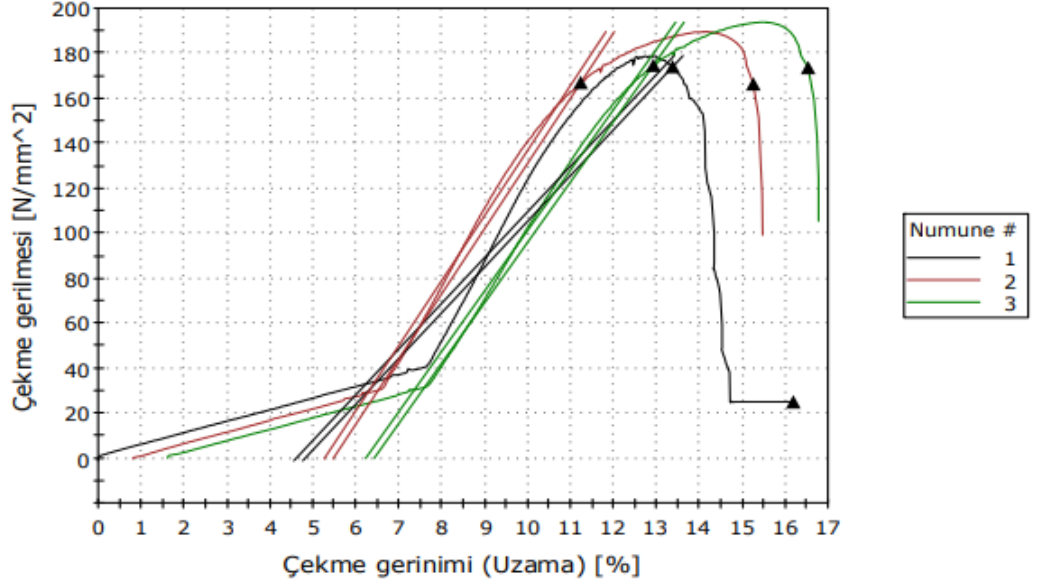
Şekil 6.44 : 7 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.8. 8 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, 60⁰ torç açısı değeri ile kaynak işlemi yapılan 8 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.45'te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.45 : 8 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.25'te verilmiştir.

Tablo 6.25 : 8 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
171	187	9	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.26'da verilmiştir.

Tablo 6.26 : 8 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

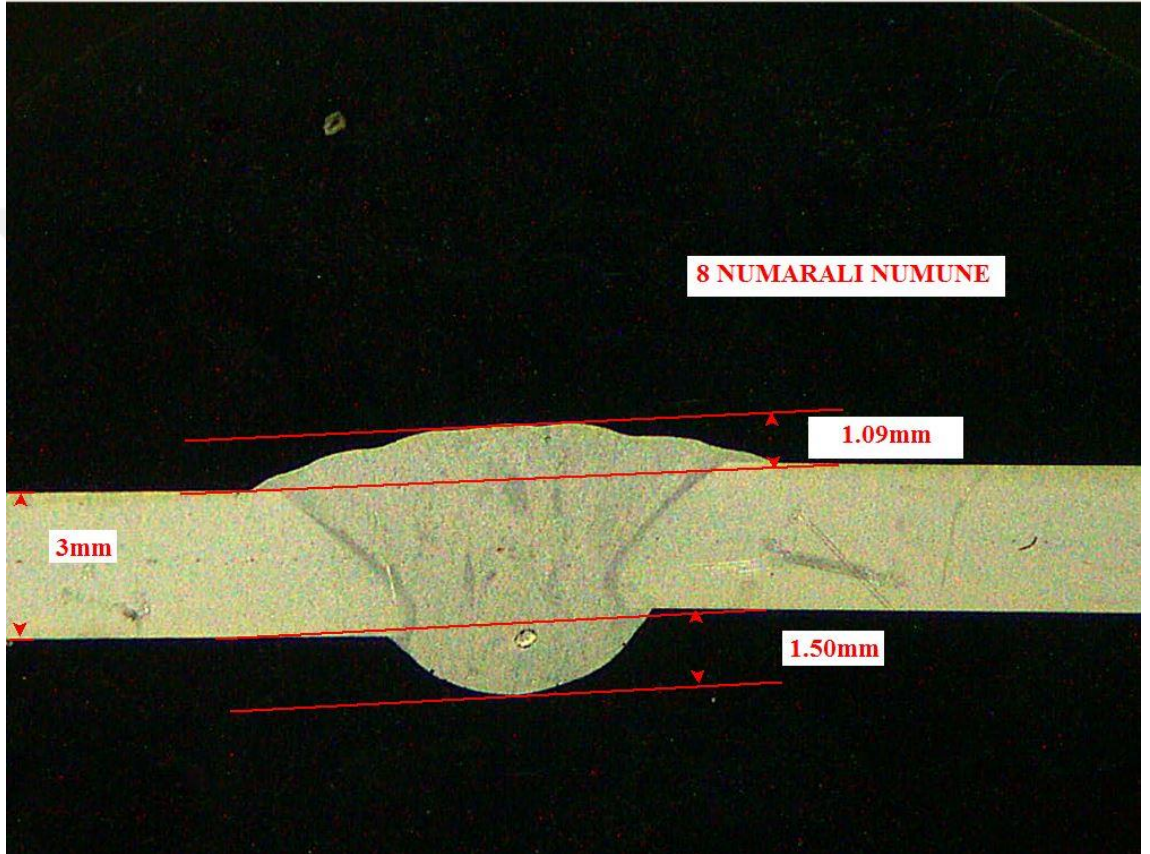
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	33	33	27	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.27'de verilmiştir.

Tablo 6.27 : 8 numaralı numune sertlik testi sonuçları

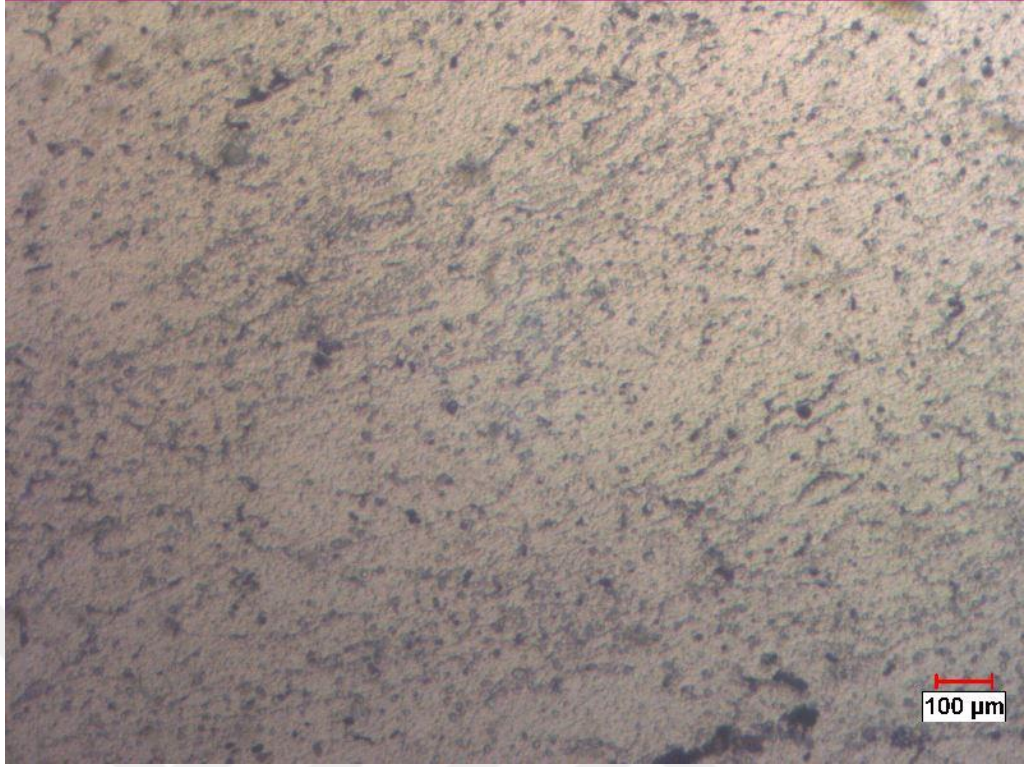
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
57,9	50,8	69,7

Makrografi görüntüsü Şekil 6.46’da verilmiştir.

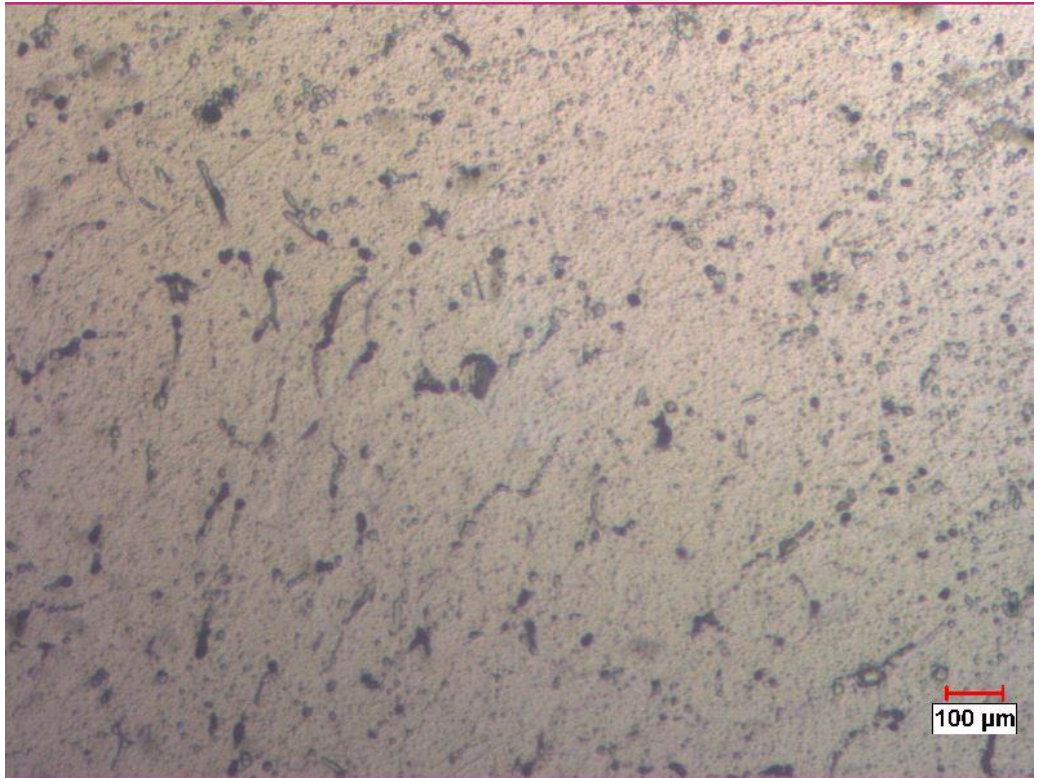


Şekil 6.46 : 8 numaralı numune makrografi görüntüsü

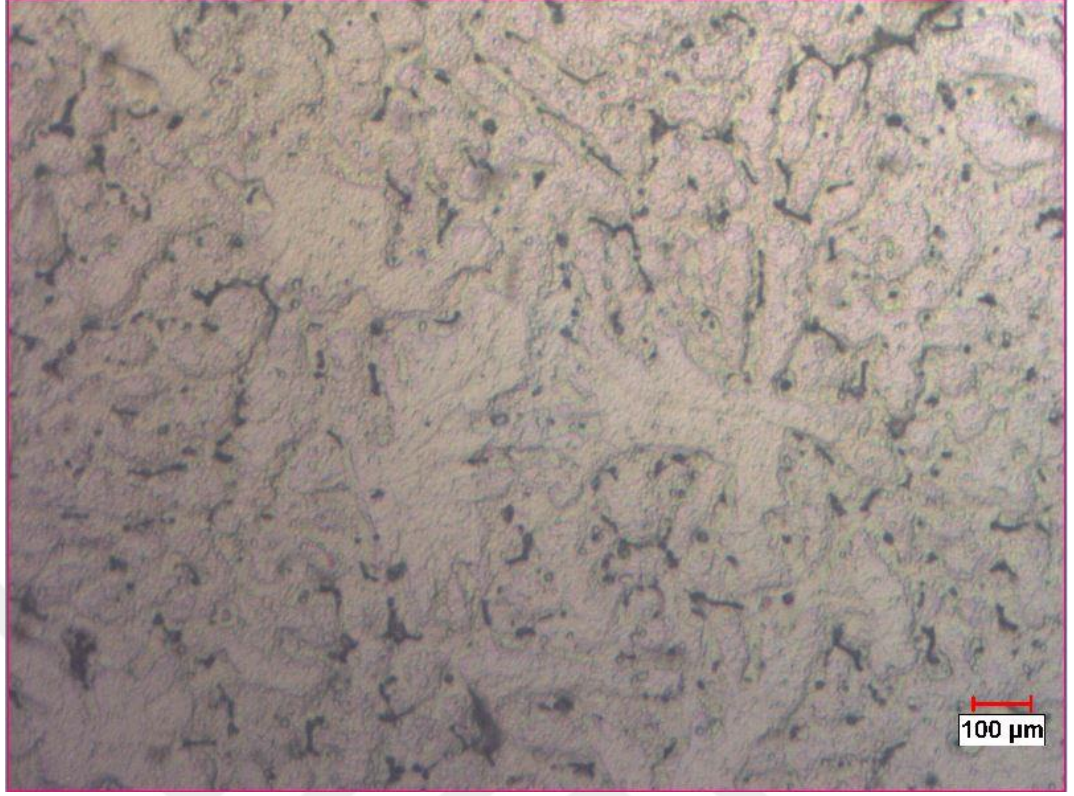
Mikrografi sonuçları Şekil 6.47’de ana malzeme, Şekil 6.48’de ITAB ve Şekil 6.49’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.47 : 8 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.48 : 8 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü

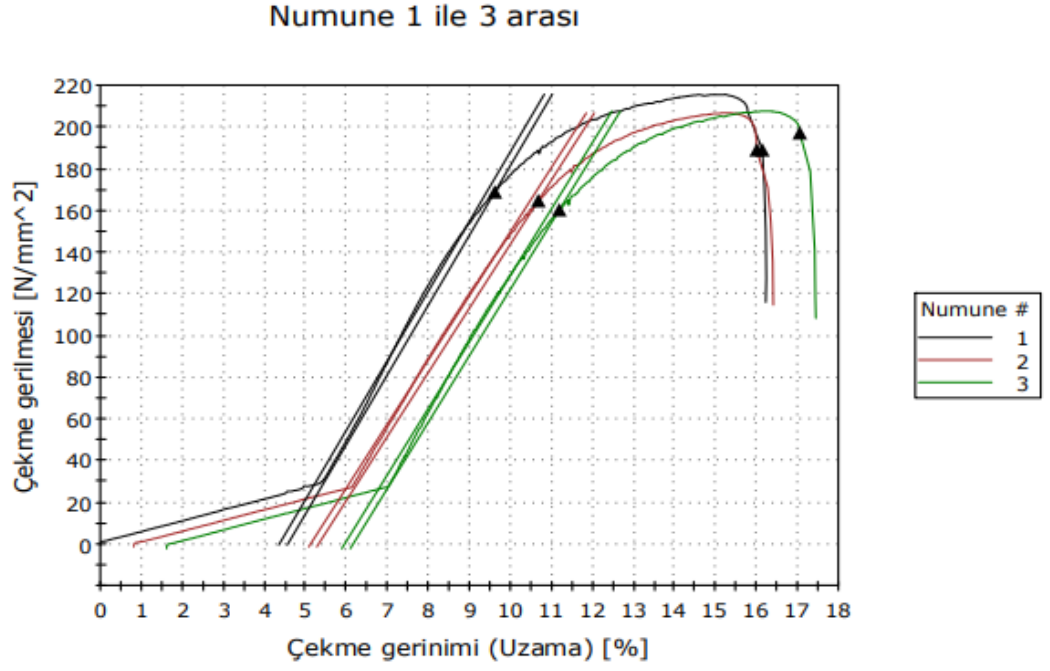


Şekil 6.49 : 8 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.9. 9 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, 45⁰ torç açısı değeri ile kaynak işlemi yapılan 9 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.50’de verilmiştir.

Test Grafiği



Çekme testi sonuçları Tablo 6.28’de verilmiştir.

Tablo 6.28 : 9 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
164	209	8	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.29’da verilmiştir.

Tablo 6.29 : 9 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

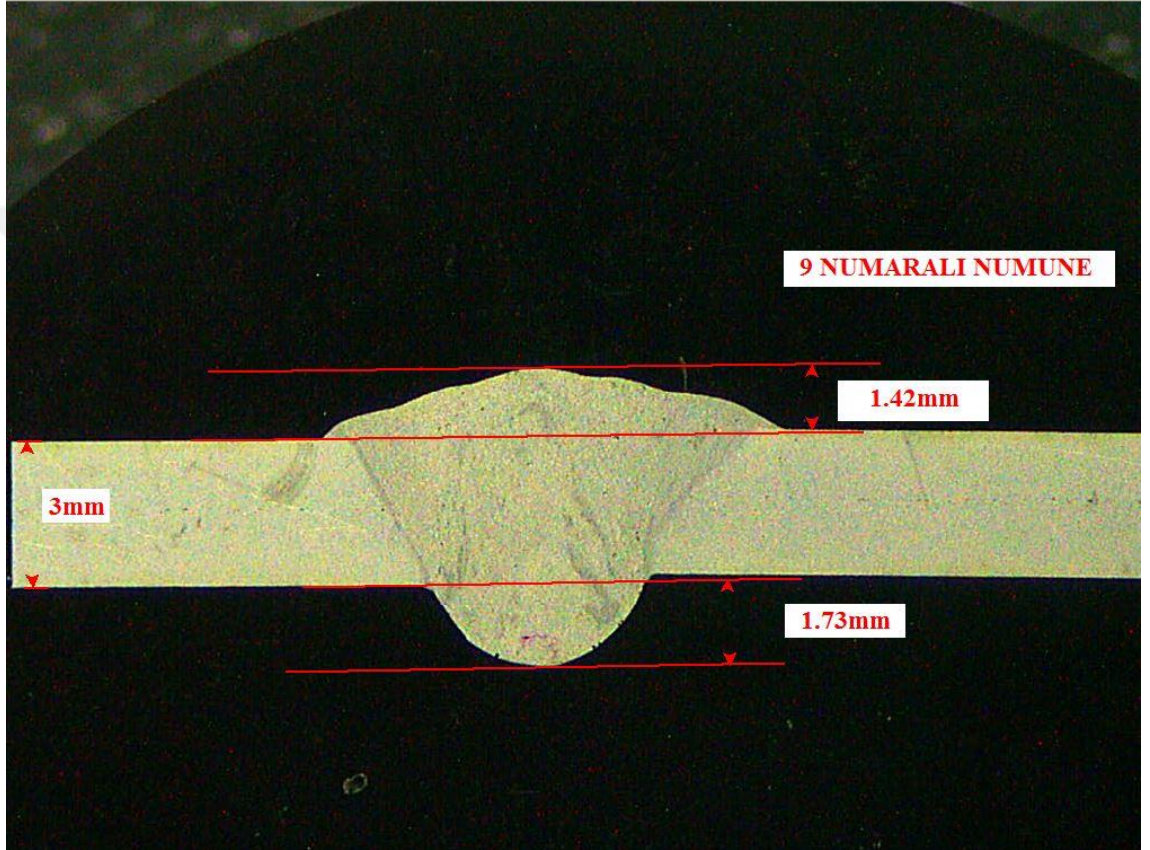
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	27	30	23	27	30

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.30’da verilmiştir.

Tablo 6.30 : 9 numaralı numune sertlik testi sonuçları

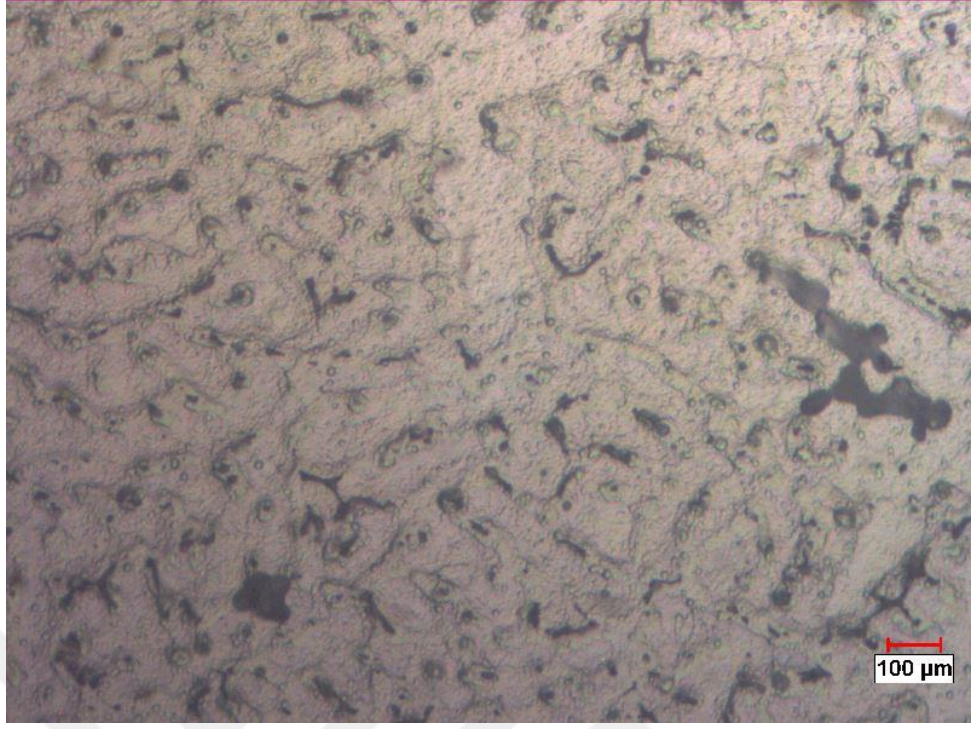
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
53,6	51,5	71,7

Makrografi görüntüsü Şekil 6.51’de verilmiştir.

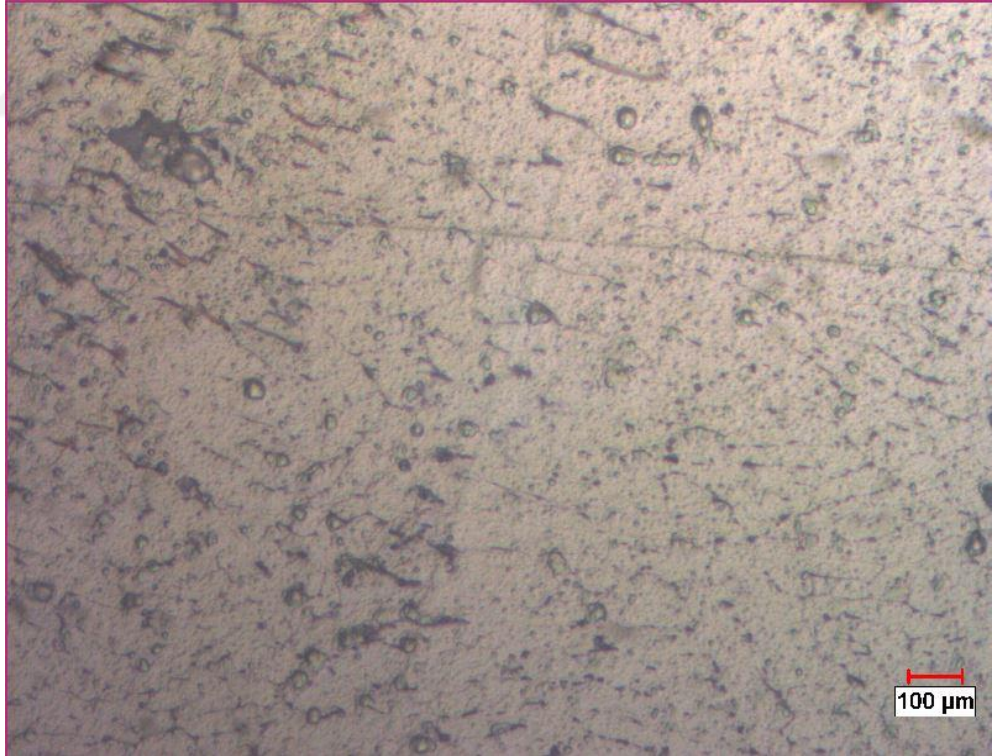


Şekil 6.51 : 9 numaralı numune makrografi görüntüsü

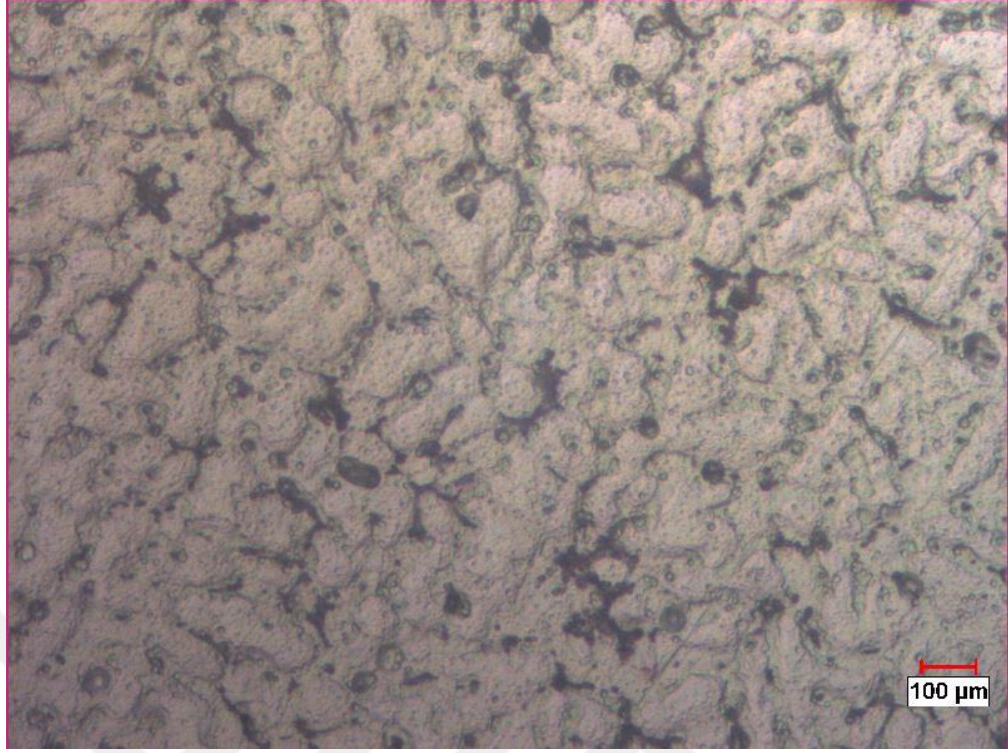
Mikrografi sonuçları Şekil 6.52’de ana malzeme, Şekil 6.53’te ITAB ve Şekil 6.54’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.52 : 9 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.53 : 9 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü



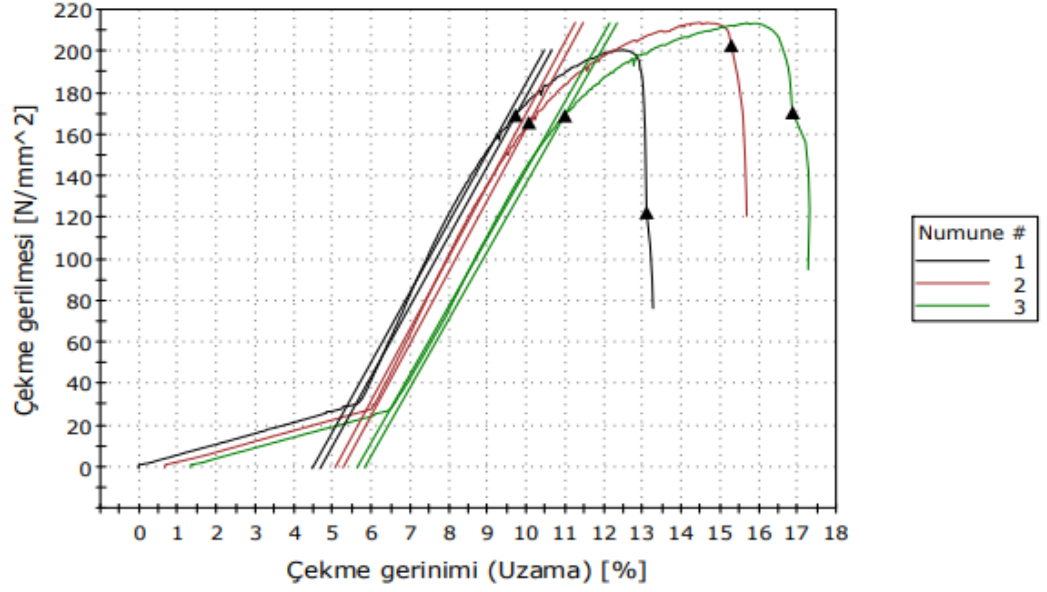
Şekil 6.54 : 9 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.10. 10 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, serbest tel boyu 7,5 mm olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 10 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.55'te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.55 : 10 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.31’de verilmiştir.

Tablo 6.31 : 10 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
167	209	10	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.32’de verilmiştir.

Tablo 6.32 : 10 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

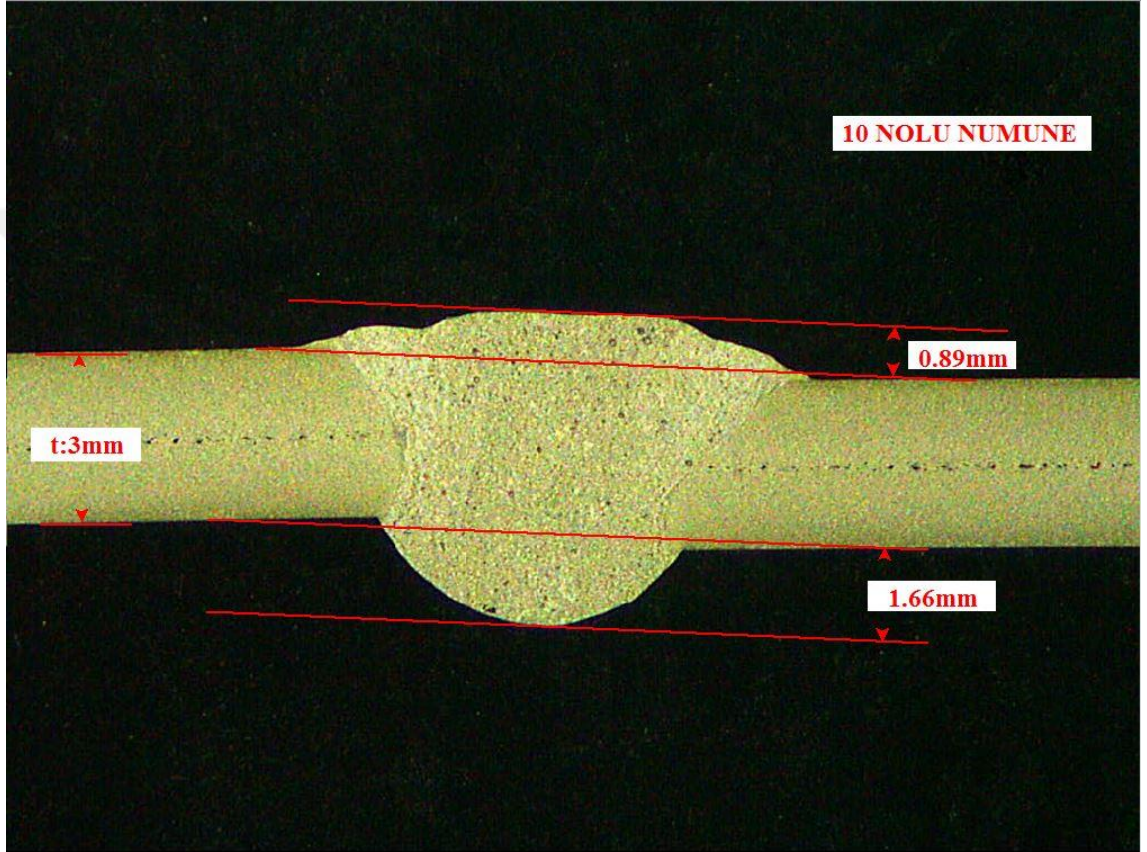
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	33	33	30	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.33’te verilmiştir.

Tablo 6.33 : 10 numaralı numune sertlik testi sonuçları

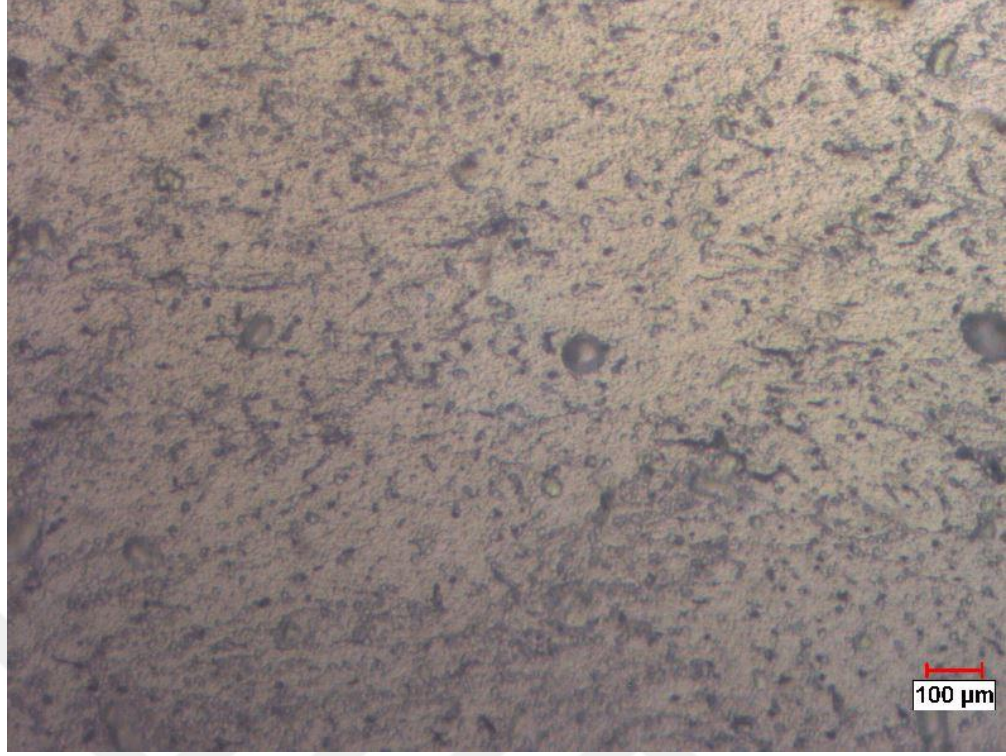
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
61,8	54,6	75,3

Makrografi görüntüsü Şekil 6.56’da verilmiştir.

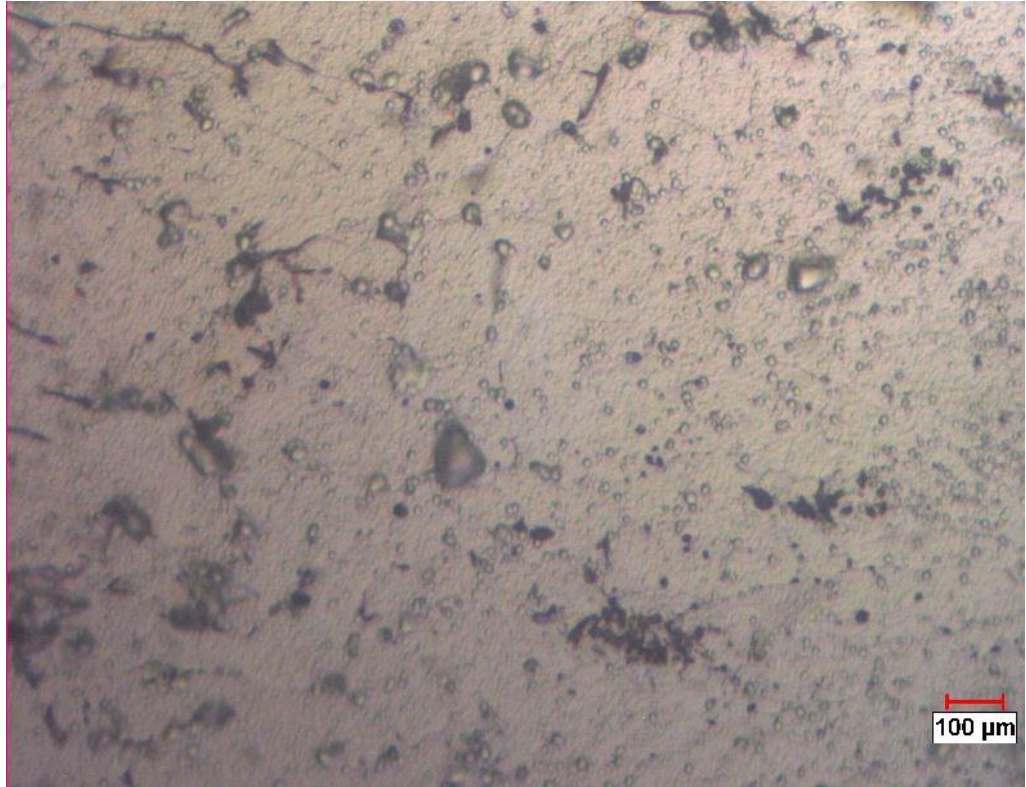


Şekil 6.56 : 10 numaralı numune makrografi görüntüsü

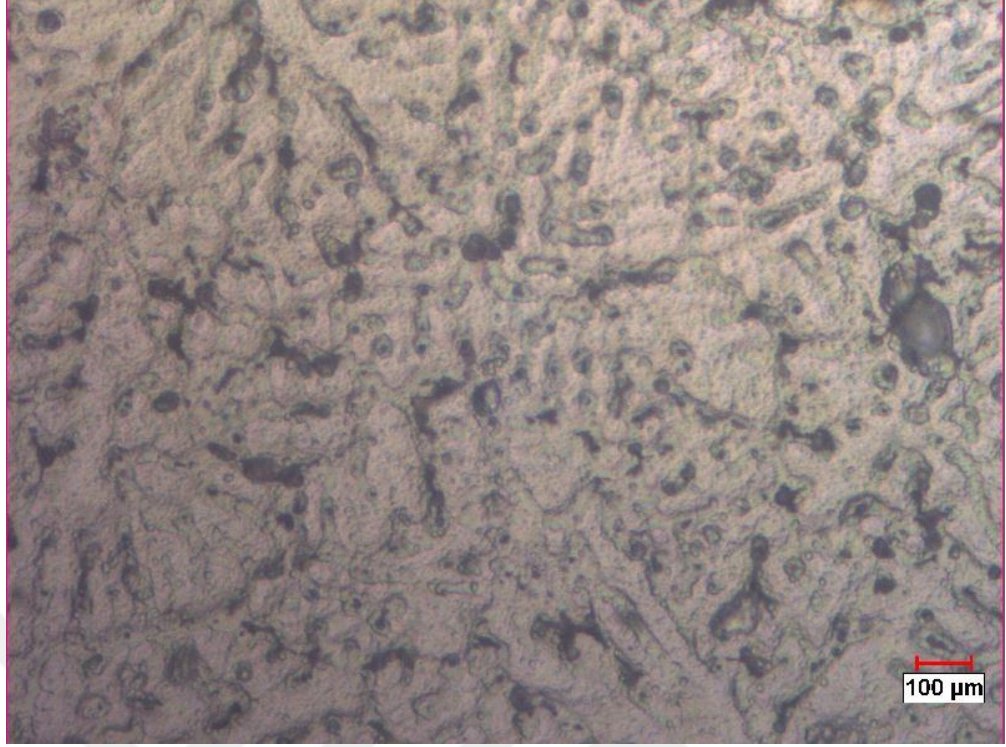
Mikrografi sonuçları Şekil 6.57’de ana malzeme, Şekil 6.58’de ITAB ve Şekil 6.59’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.57 : 10 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.58 : 10 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü

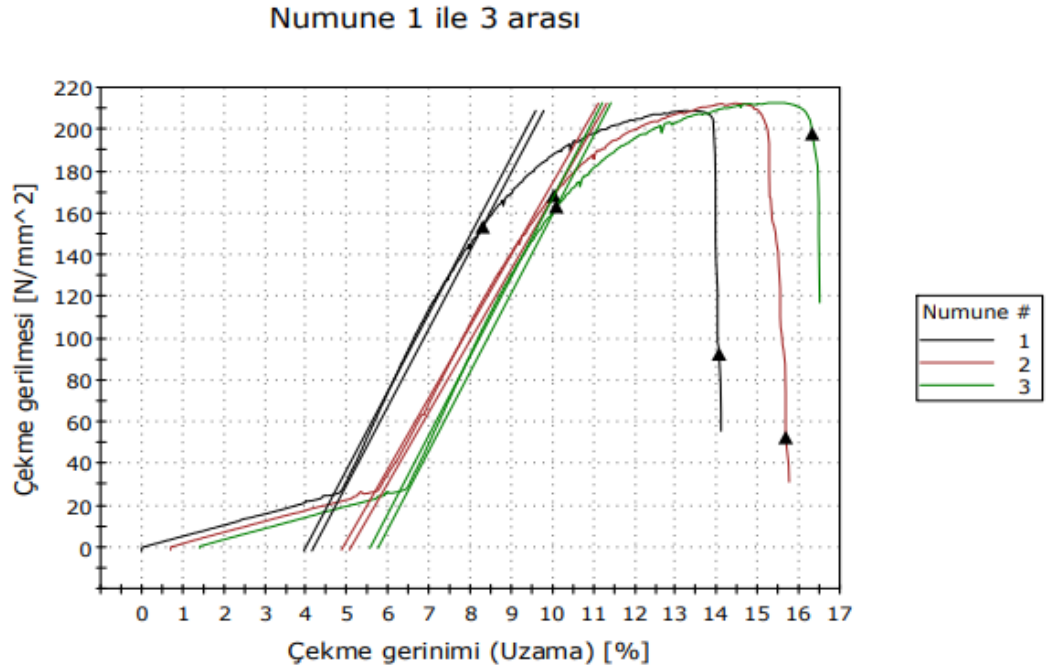


Şekil 6.59 : 10 numaralı numune kaynak dikişi mikrofafi görüntüsü

6.2.11. 11 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değeri sabit tutularak, serbest tel boyu 15 mm olacak şekilde kaynak işlemleri yapılan 11 numaralı numunenin çekme testi grafiğı Şekil 6.60'ta verilmiştir.

Test Grafiği



Çekme testi sonuçları Tablo 6.34’te verilmiştir.

Tablo 6.34 : 11 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
161	215	9	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.35’te verilmiştir.

Tablo 6.35 : 11 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

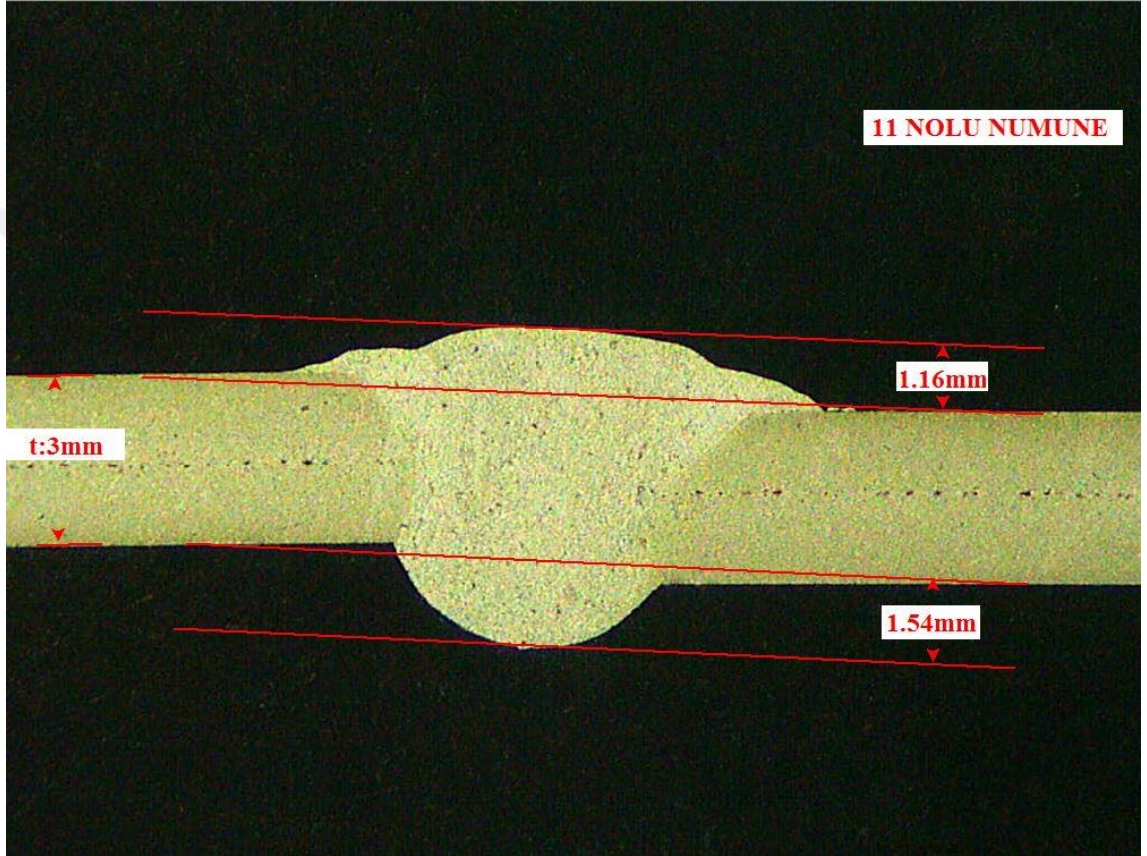
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
33	33	33	33	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.36’da verilmiştir.

Tablo 6.36 : 11 numaralı numune sertlik testi sonuçları

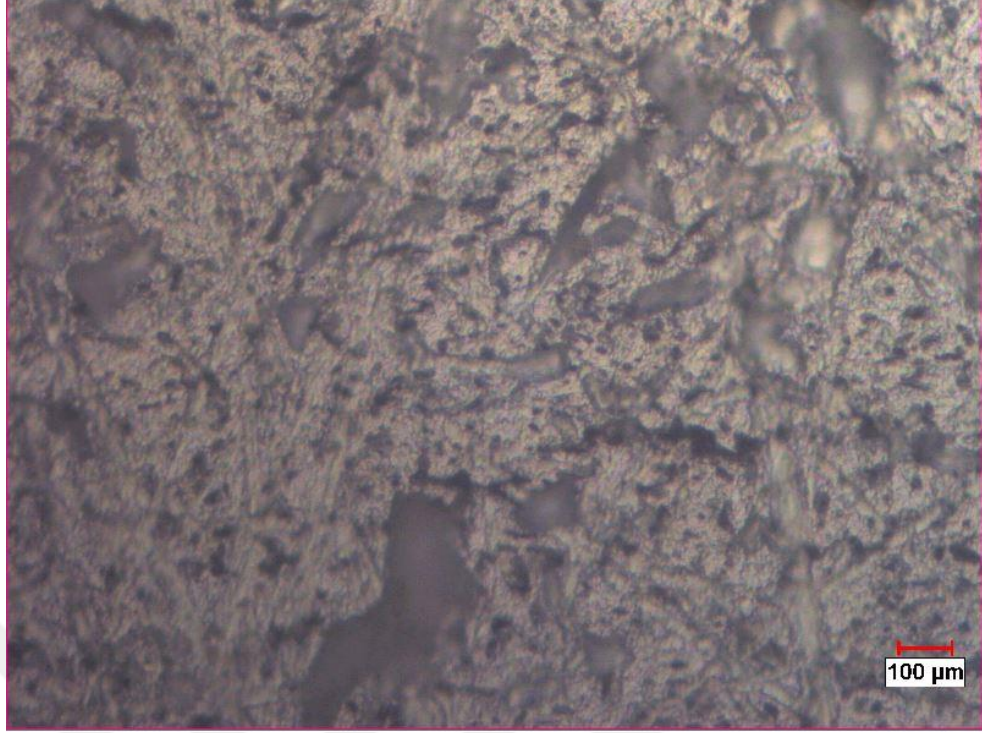
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
66,3	56,9	71,7

Makrografi görüntüsü Şekil 6.61’de verilmiştir.

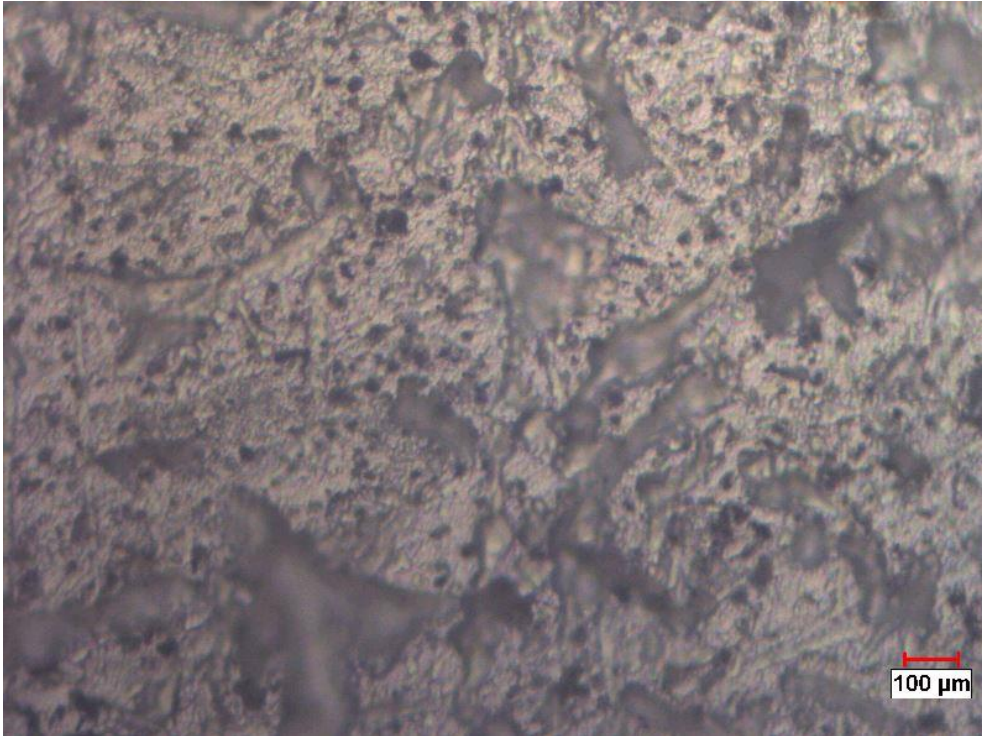


Şekil 6.61 : 11 numaralı numune makrografi görüntüsü

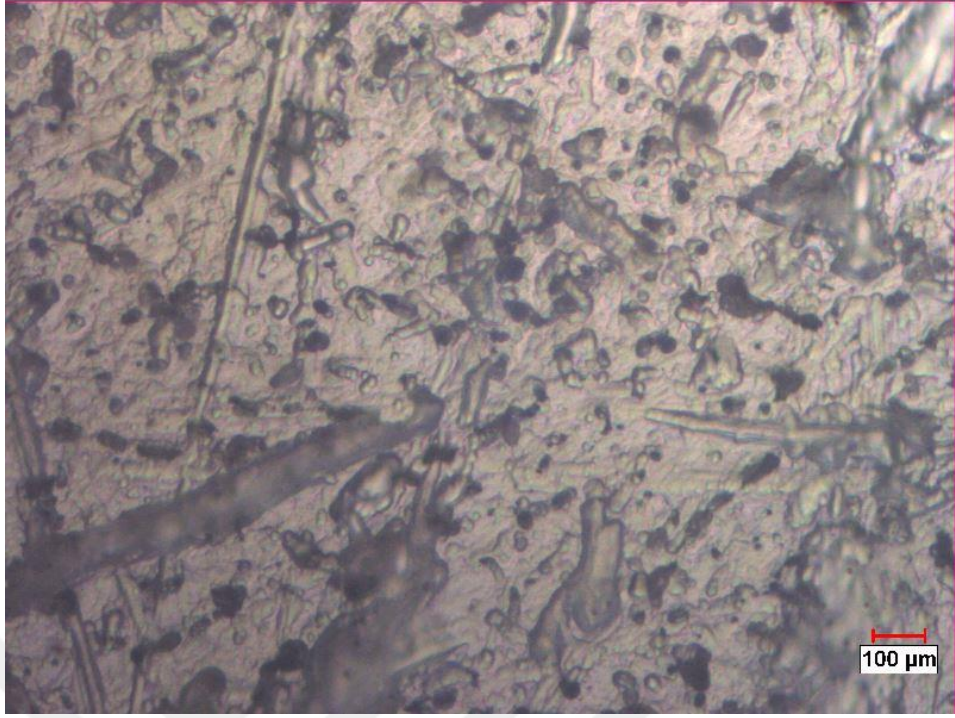
Mikrografi sonuçları Şekil 6.62’de ana malzeme, Şekil 6.63’te ITAB ve Şekil 6.64’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.62 : 11 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.63 : 11 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



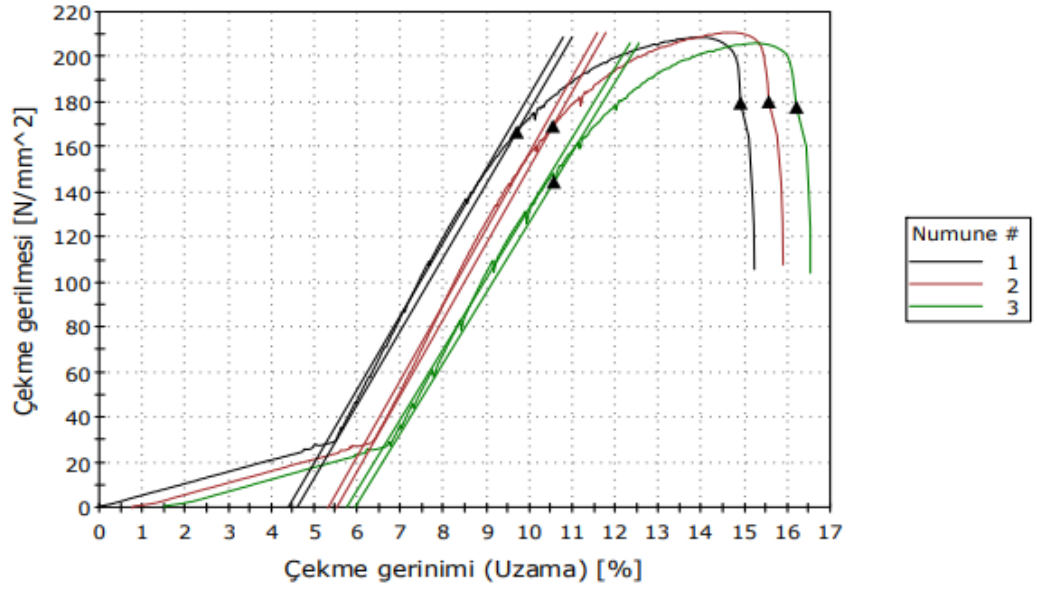
Şekil 6.64 : 11 numaralı numune kaynak dikişi mikrofrafı görüntüsü

6.2.12. 12 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, serbest tel boyu 25 mm olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 12 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.65'te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.65 : 12 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.37’de verilmiştir.

Tablo 6.37 : 12 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
160	208	7	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.38’de verilmiştir.

Tablo 6.38 : 12 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

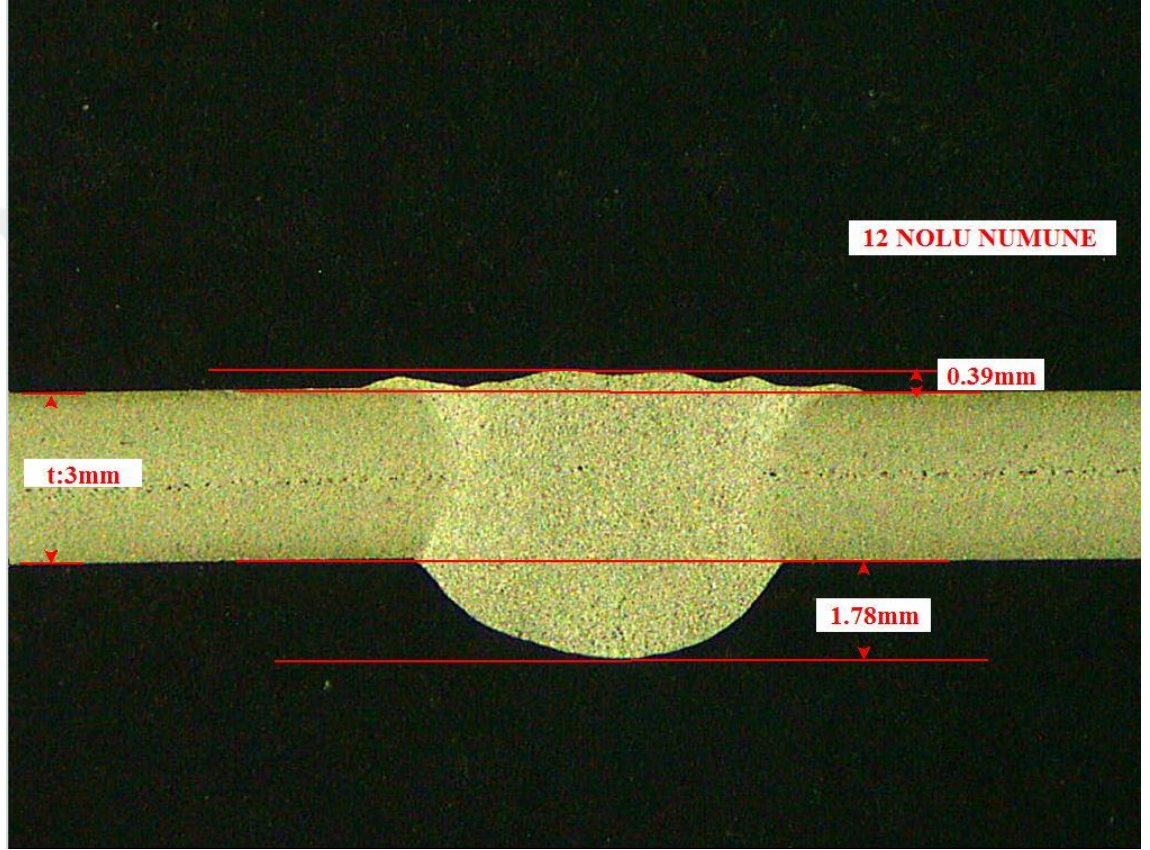
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	27	33	27	30	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.39’da verilmiştir.

Tablo 6.39 : 12 numaralı numune sertlik testi sonuçları

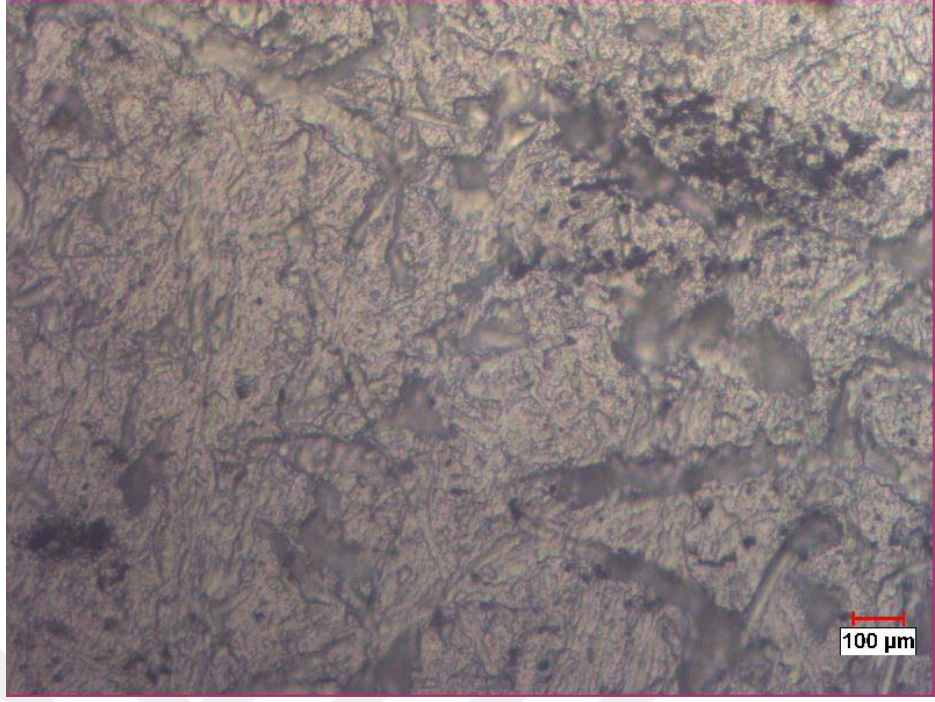
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
66,7	57,7	71,1

Makrografi görüntüsü Şekil 6.66’da verilmiştir.

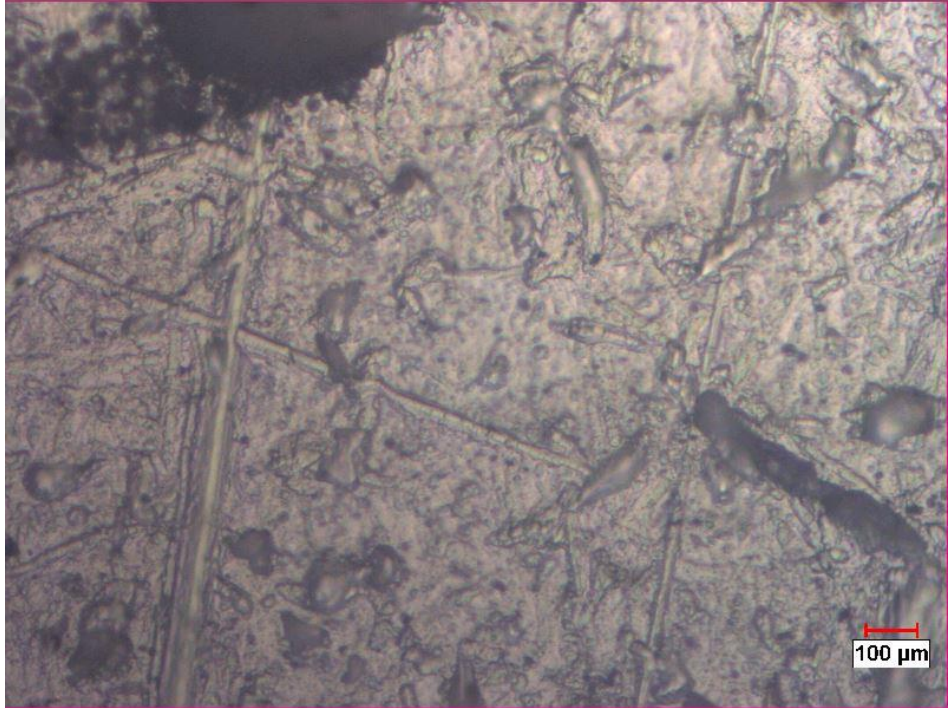


Şekil 6.66 : 12 numaralı numune makrografi görüntüsü

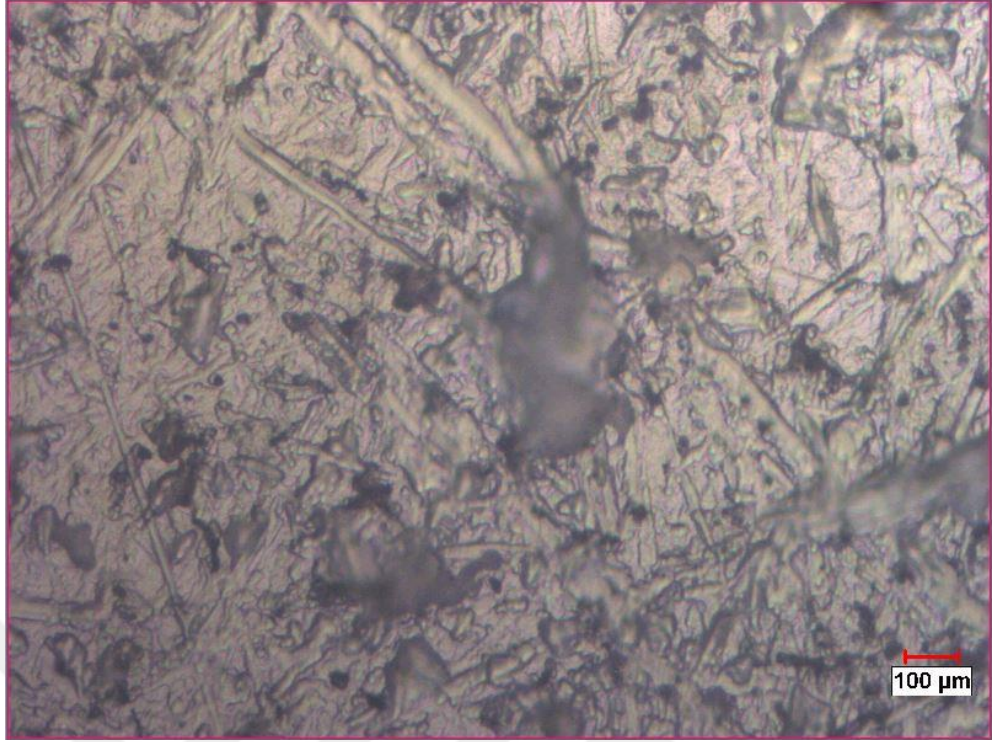
Mikrografi sonuçları Şekil 6.67’de ana malzeme, Şekil 6.68’de ITAB ve Şekil 6.69’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.67 : 12 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.68 : 12 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü



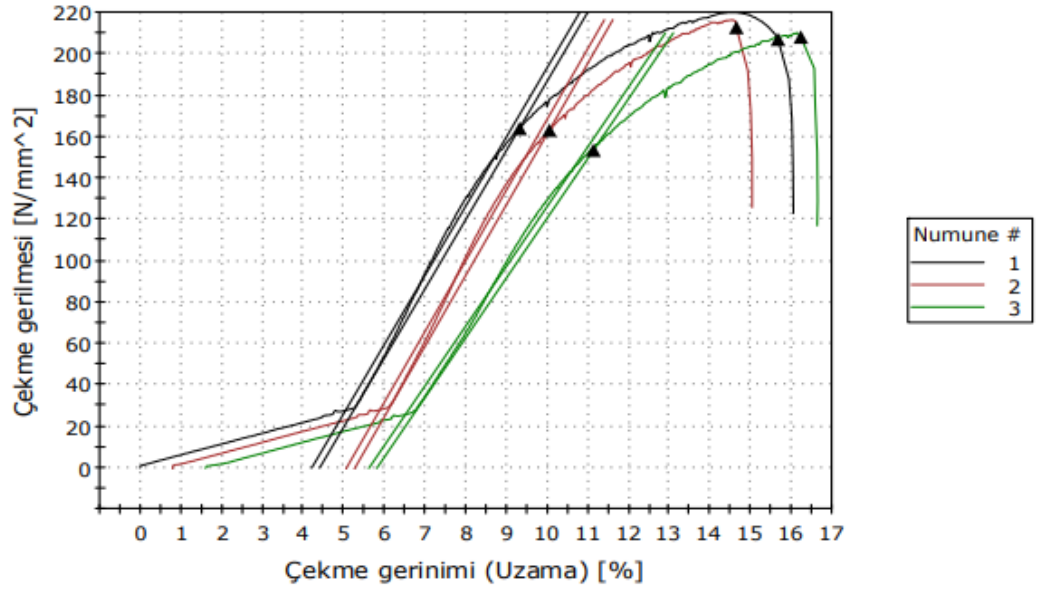
Şekil 6.69 : 12 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.13. 13 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, kaynak bölgesine ön temizlik uygulanmadan kaynak işlemi yapılan 13 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.70’te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.70 : 13 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.40'ta verilmiştir.

Tablo 6.40 : 13 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
160	215	6	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.41'de verilmiştir.

Tablo 6.41 : 13 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

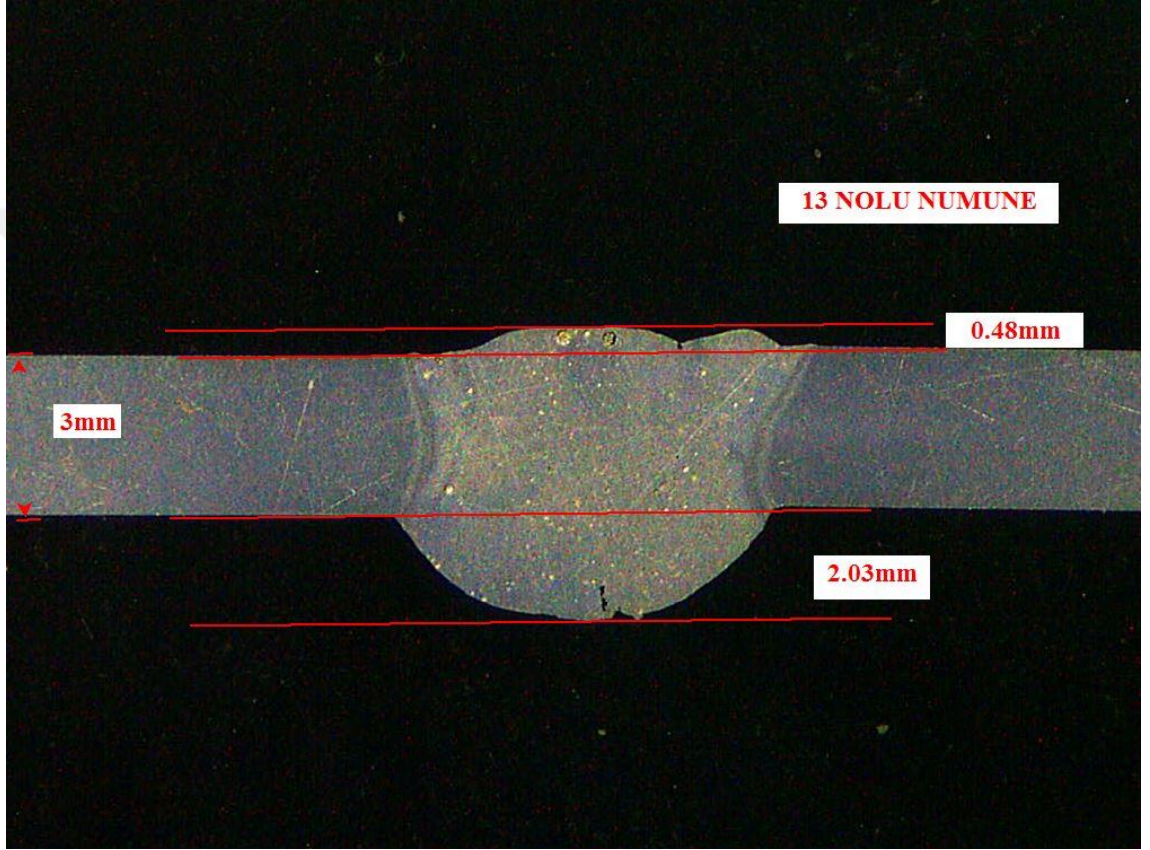
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
20	20	27	20	23	27

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.42'da verilmiştir.

Tablo 6.42 : 13 numaralı numune sertlik testi sonuçları

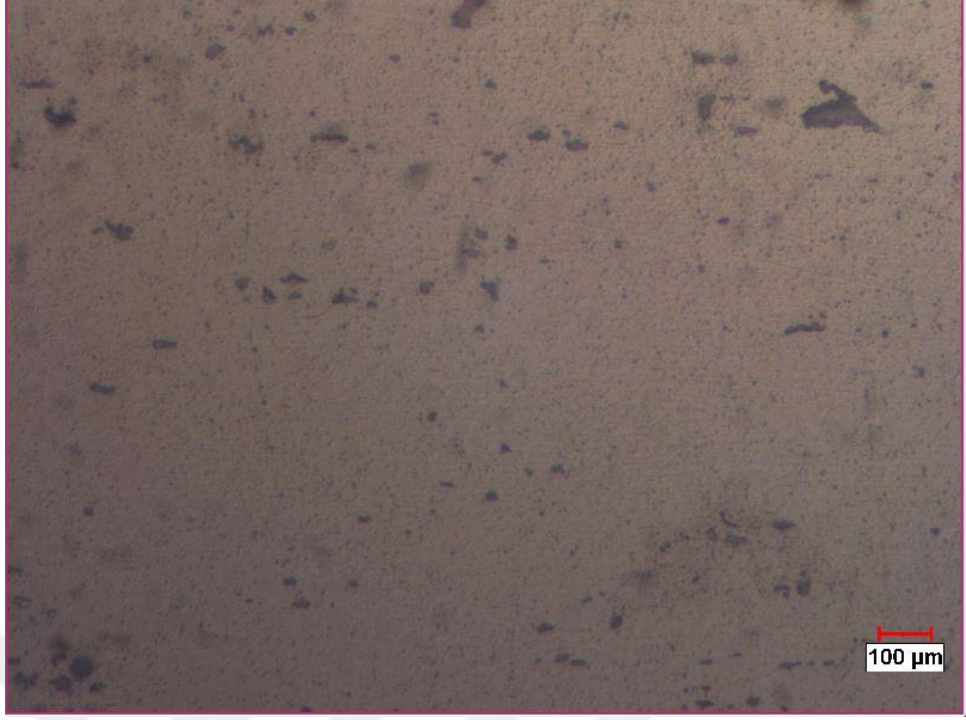
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
61,5	82,9	70,9

Makrografi görüntüsü Şekil 6.71’de verilmiştir.

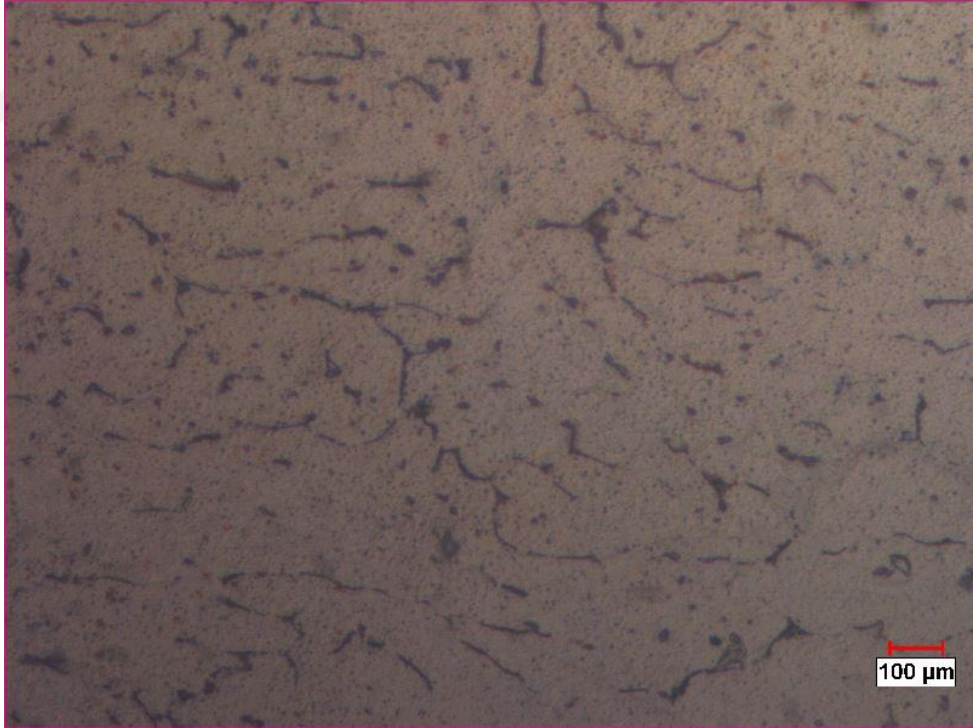


Şekil 6.71 : 13 numaralı numune makrografi görüntüsü

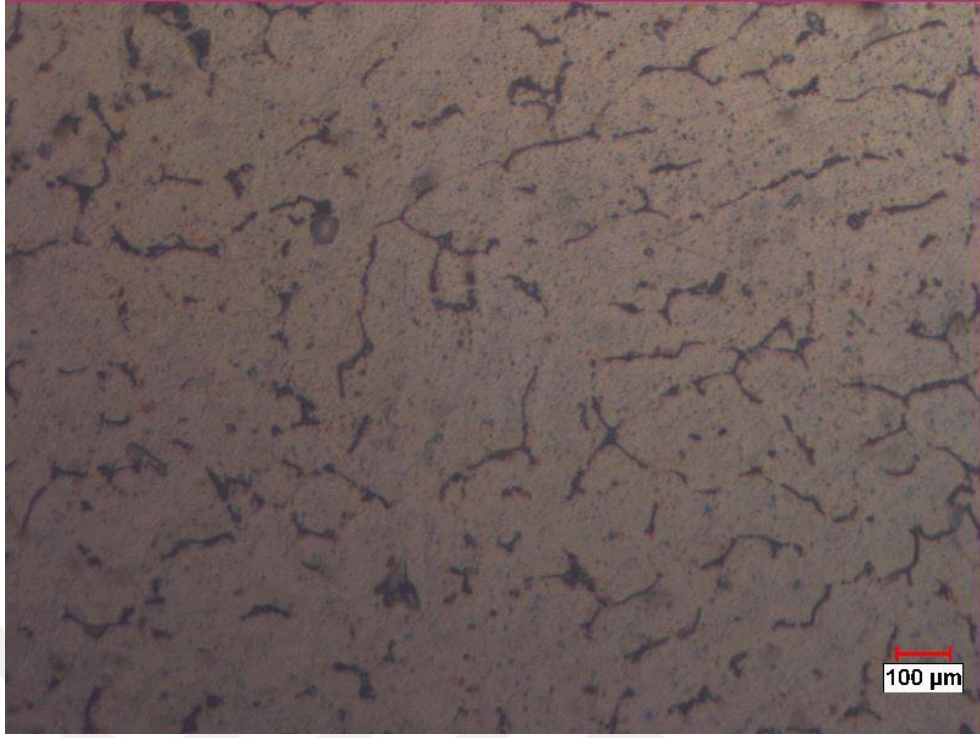
Mikrografi sonuçları Şekil 6.72’de ana malzeme, Şekil 6.73’te ITAB ve Şekil 6.74’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.72 : 13 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.73 : 13 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



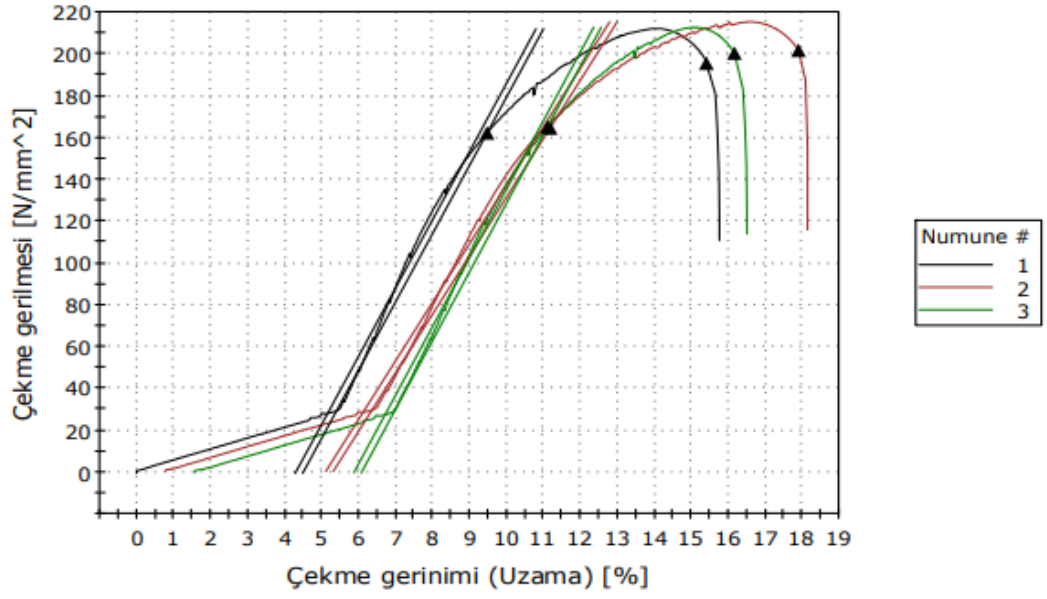
Şekil 6.74 : 13 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.14. 14 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, kaynak bölgesine mekanik temizlik uygulayarak kaynak işlemi yapılan 14 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.75'te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.75 : 14 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.43'te verilmiştir.

Tablo 6.43 : 14 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
164	214	8	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.44'e verilmiştir.

Tablo 6.44 : 14 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

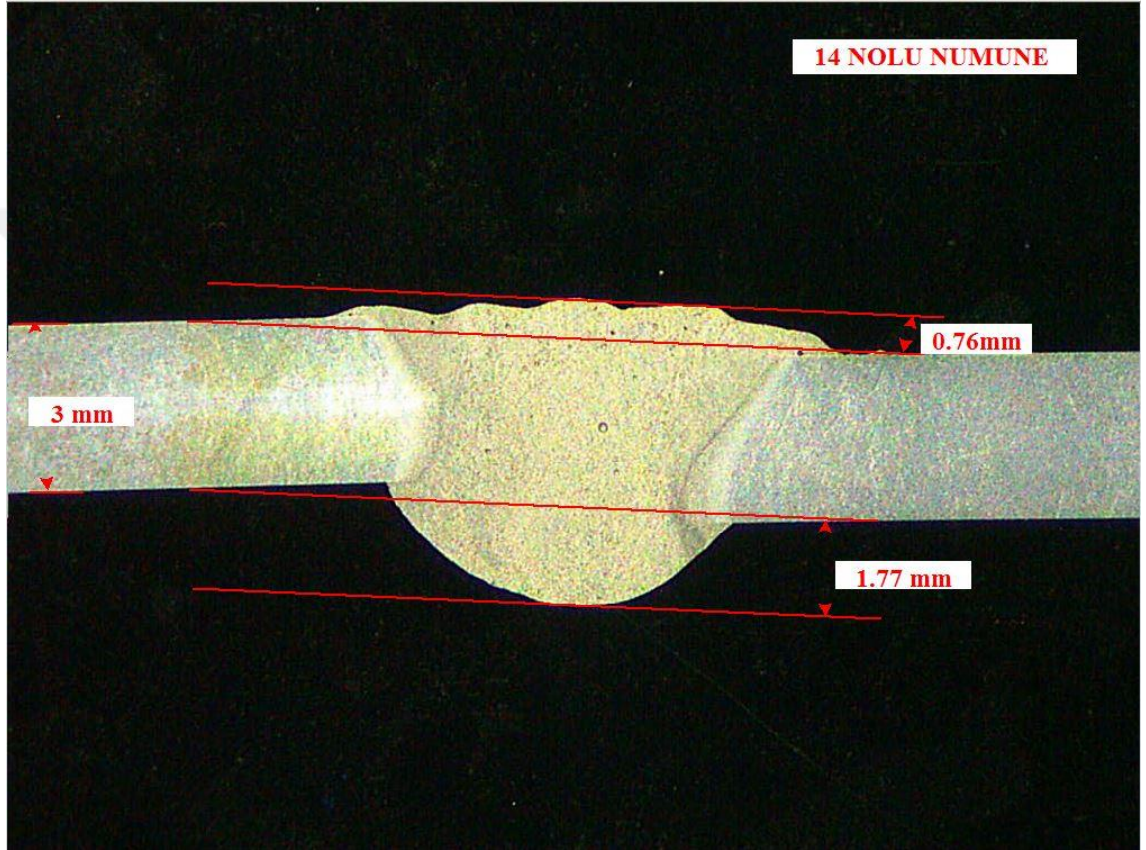
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	27	33	27	27	30

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.45'te verilmiştir.

Tablo 6.45 : 14 numaralı numune sertlik testi sonuçları

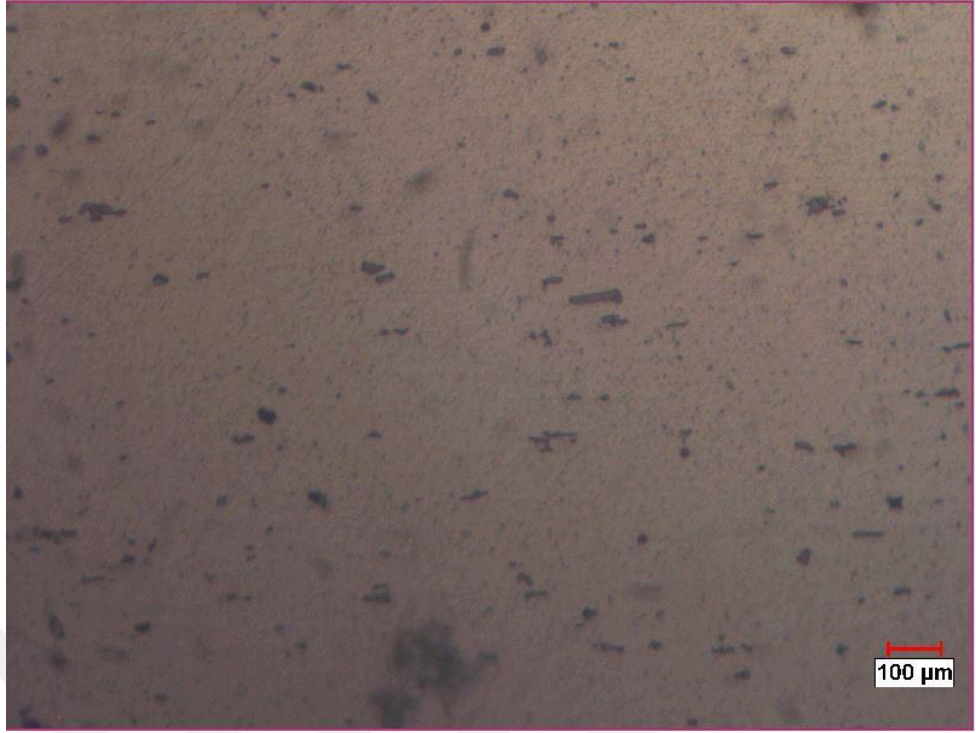
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
66,5	83,5	93,9

Makrografi görüntüsü Şekil 6.76’da verilmiştir.

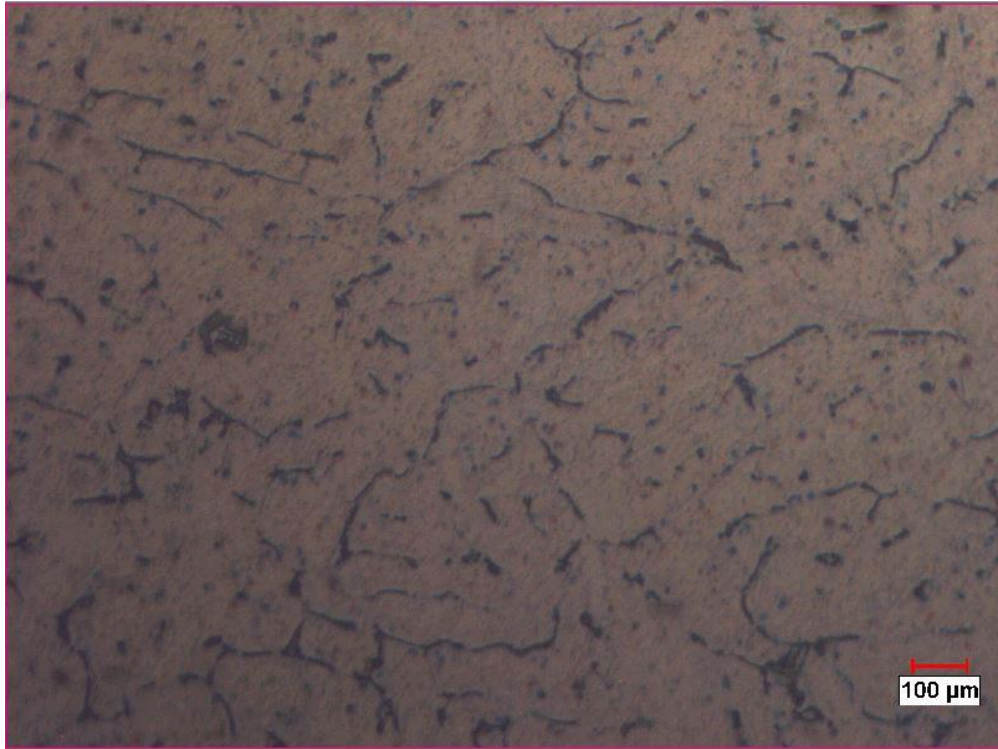


Şekil 6.76 : 14 numaralı numune makrografi görüntüsü

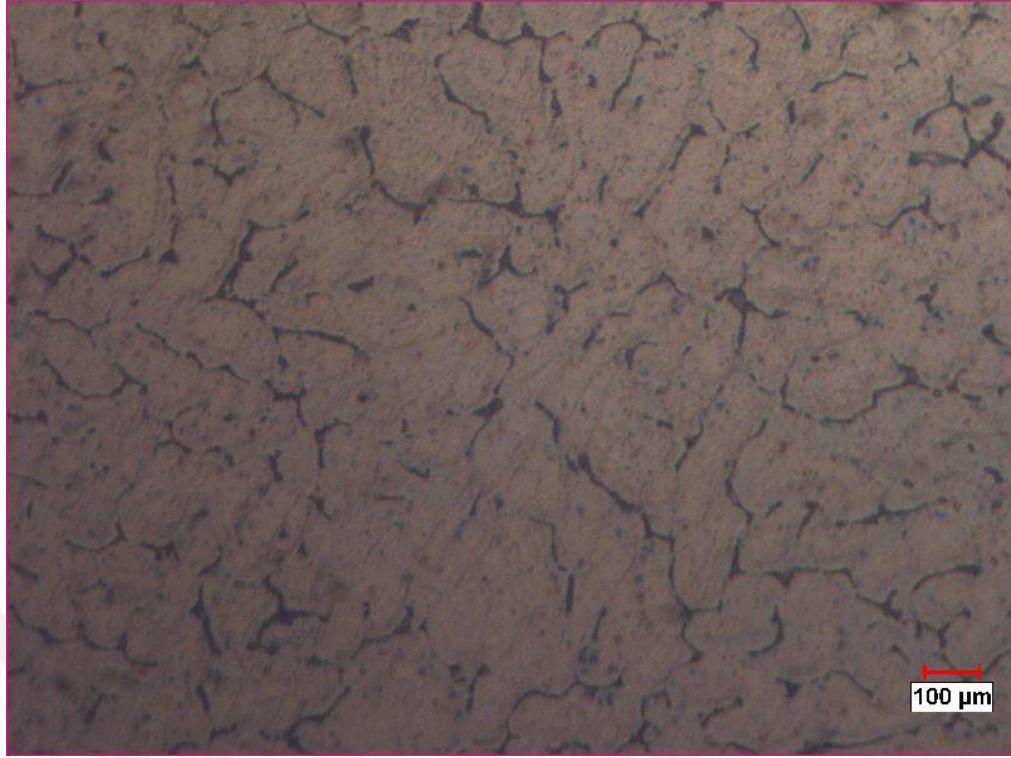
Mikrografi sonuçları Şekil 6.77’de ana malzeme, Şekil 6.78’de ITAB ve Şekil 6.79’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.77 : 14 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.78 : 14 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



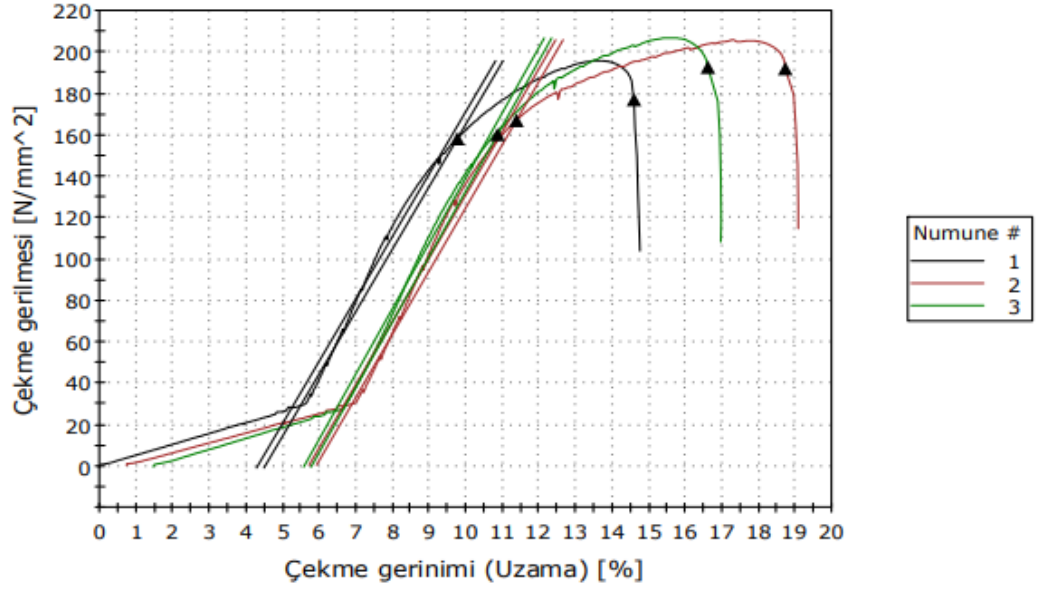
Şekil 6.79 : 14 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.15. 15 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, kaynak bölgesine kimyasal temizlik uygulayarak kaynak işlemi yapılan 15 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.80’de verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.80 : 15 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.46'da verilmiştir.

Tablo 6.46 : 15 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
162	202	10	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.47'de verilmiştir.

Tablo 6.47 : 15 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

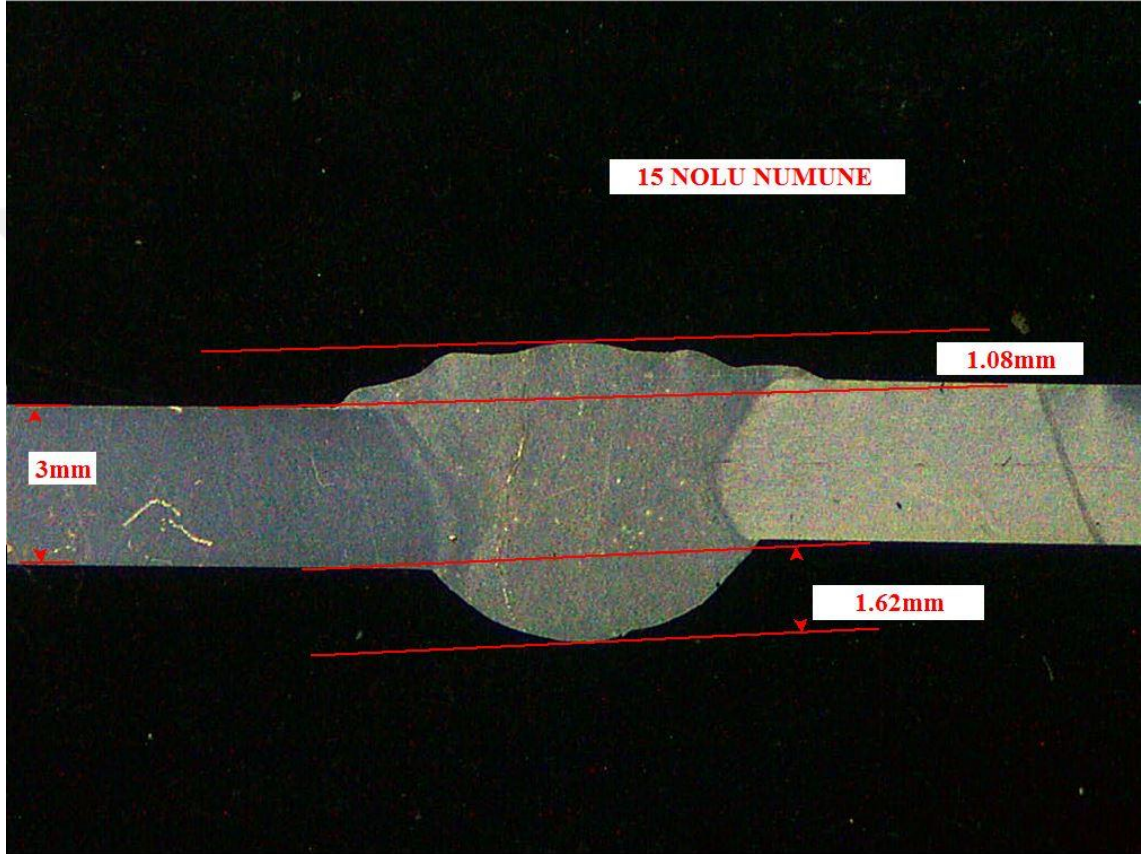
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	30	33	23	27	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.48'de verilmiştir.

Tablo 6.48 : 15 numaralı numune sertlik testi sonuçları

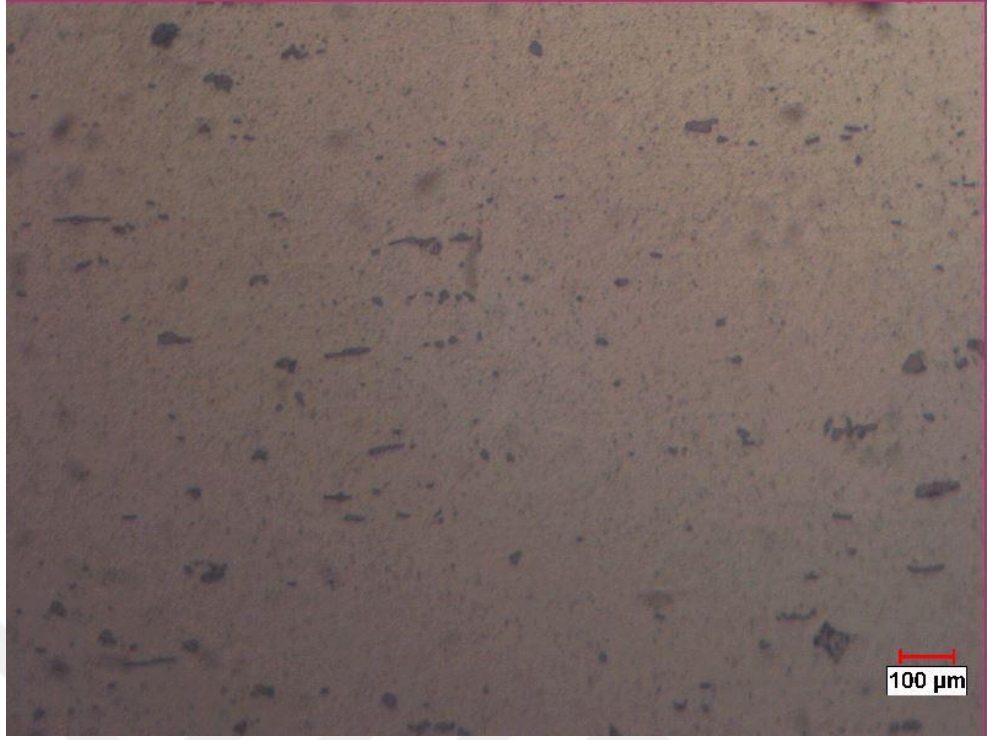
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
60,1	52,1	70,5

Makrografi görüntüsü Şekil 6.81’de verilmiştir.

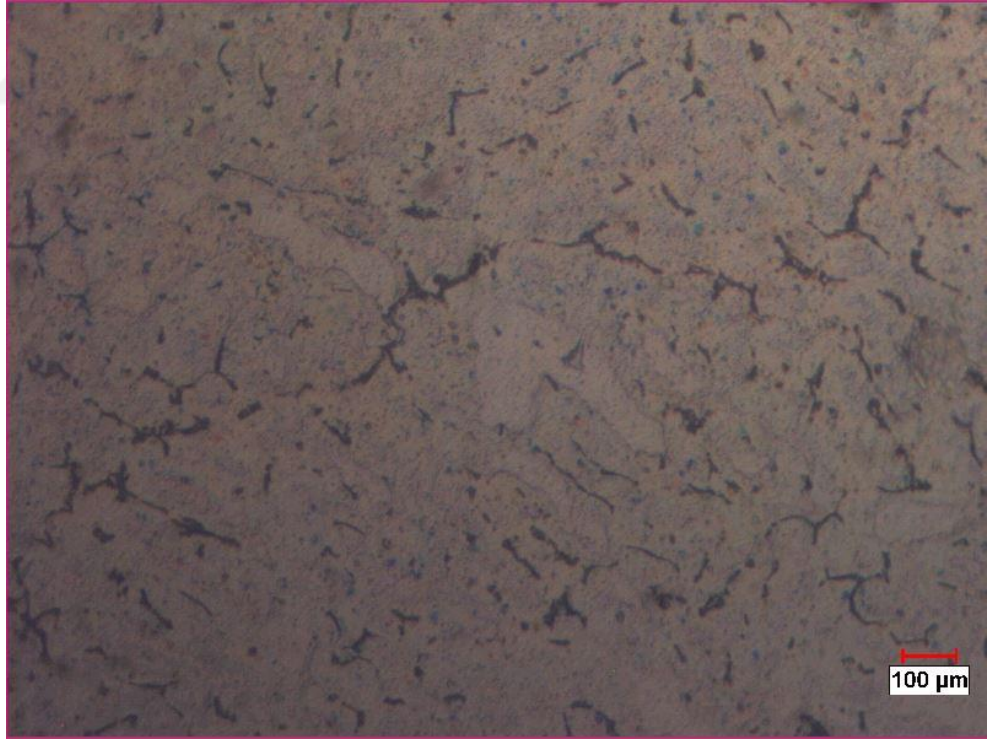


Şekil 6.81 : 15 numaralı numune makrografi görüntüsü

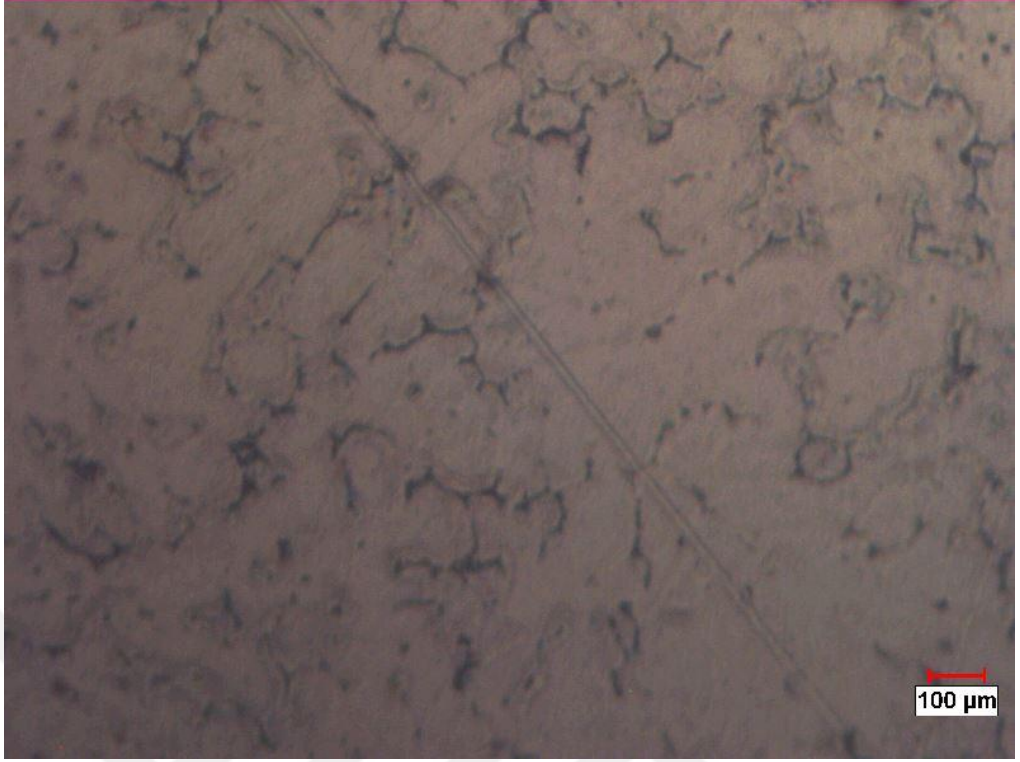
Mikrografi sonuçları Şekil 6.82’de ana malzeme, Şekil 6.83’de ITAB ve Şekil 6.84’de kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.82 : 15 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.83 : 15 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü

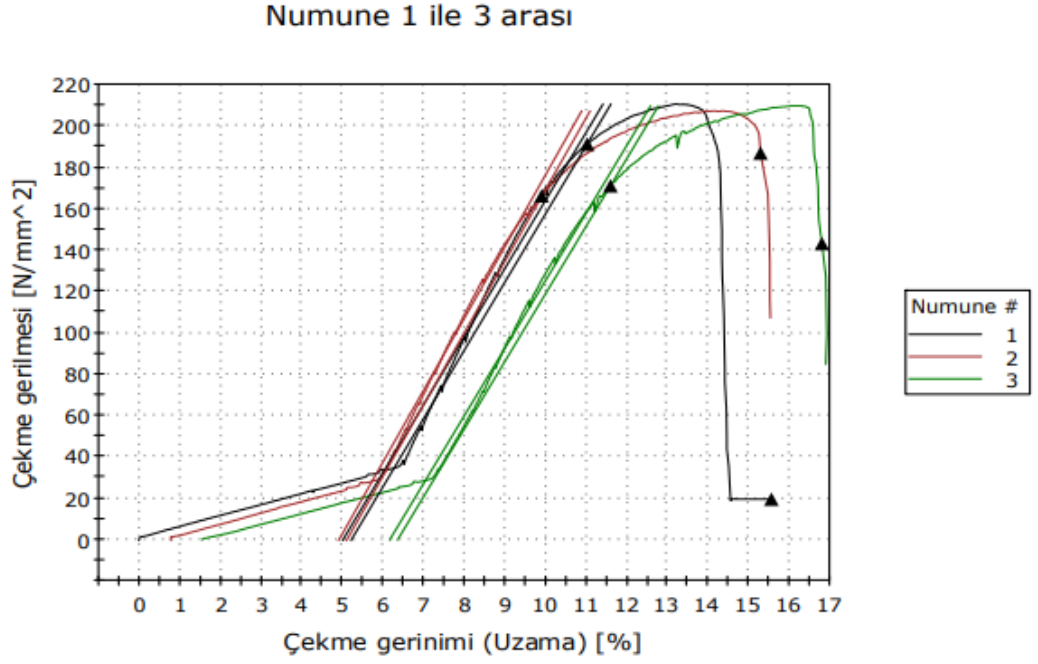


Şekil 6.84 : 15 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.16. 16 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, kaynak yöne sağa (sağa doğru kaynak) olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 16 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.85’de verilmiştir.

Test Grafiği



Çekme testi sonuçları Tablo 6.49’da verilmiştir.

Tablo 6.49 : 16 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
175	208	9	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.50’de verilmiştir.

Tablo 6.50 : 16 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

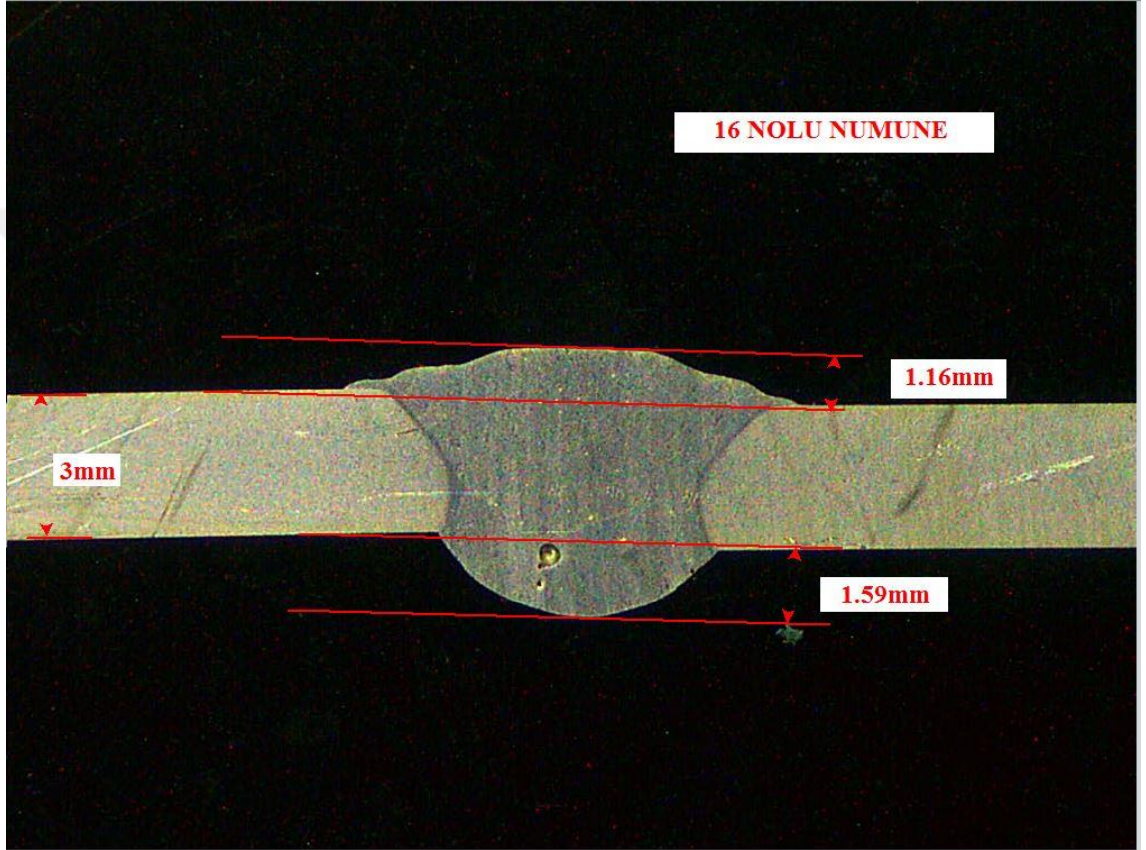
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
33	33	33	33	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.51’de verilmiştir.

Tablo 6.51 : 16 numaralı numune sertlik testi sonuçları

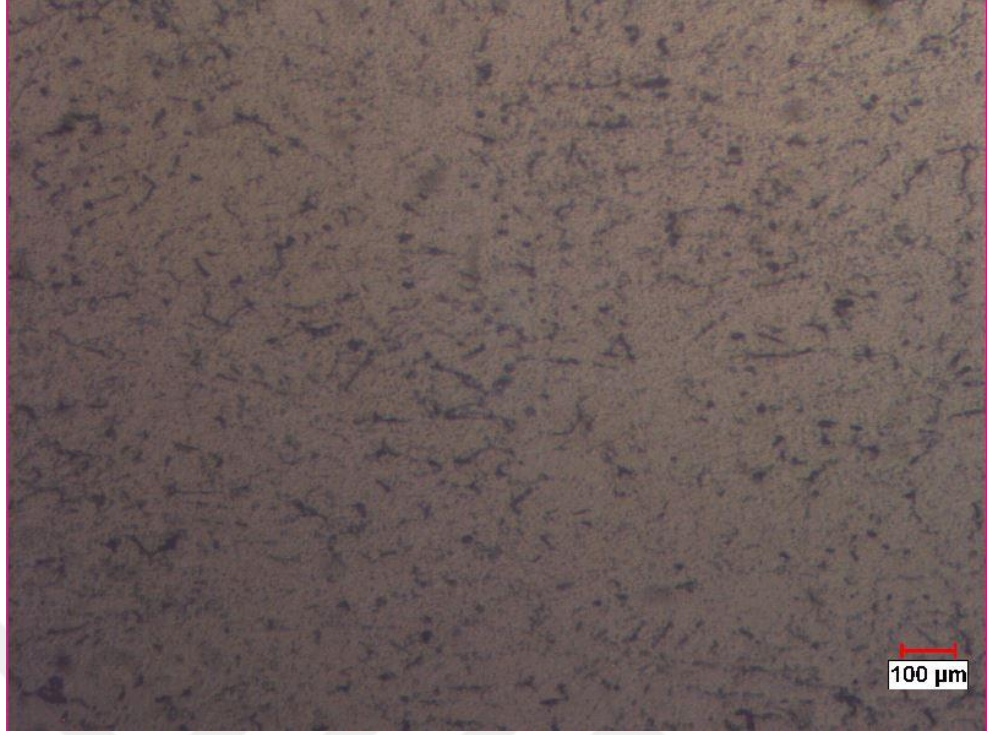
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
59,6	51,9	71,3

Makrografi görüntüsü Şekil 6.86’da verilmiştir.

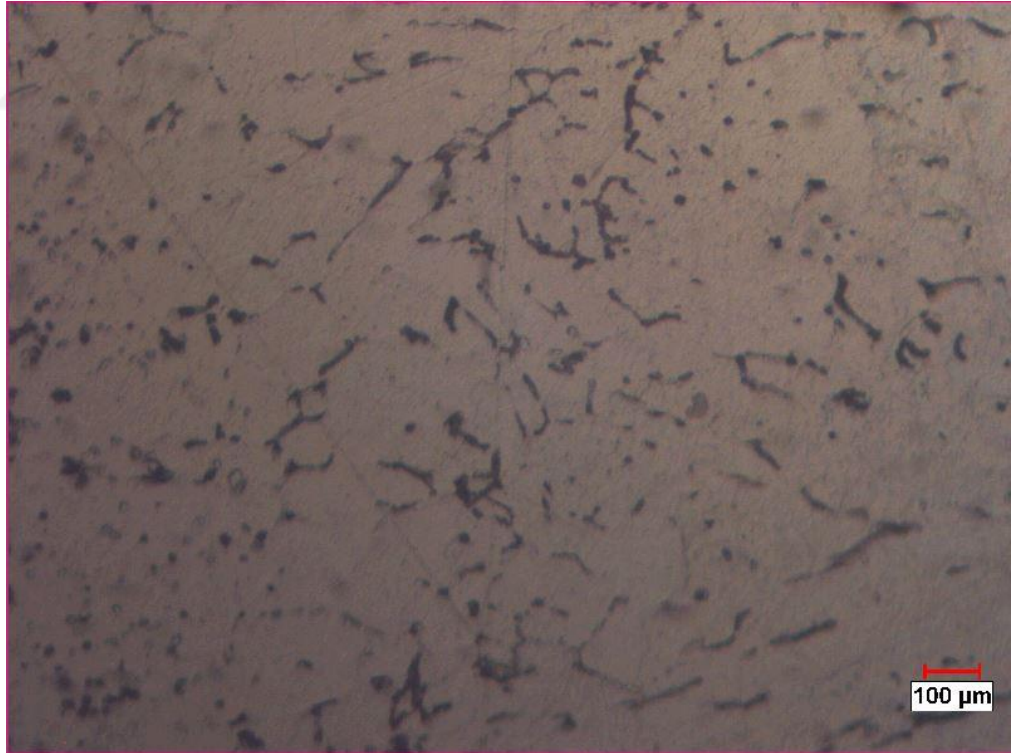


Şekil 6.86 : 16 numaralı numune makrografi görüntüsü

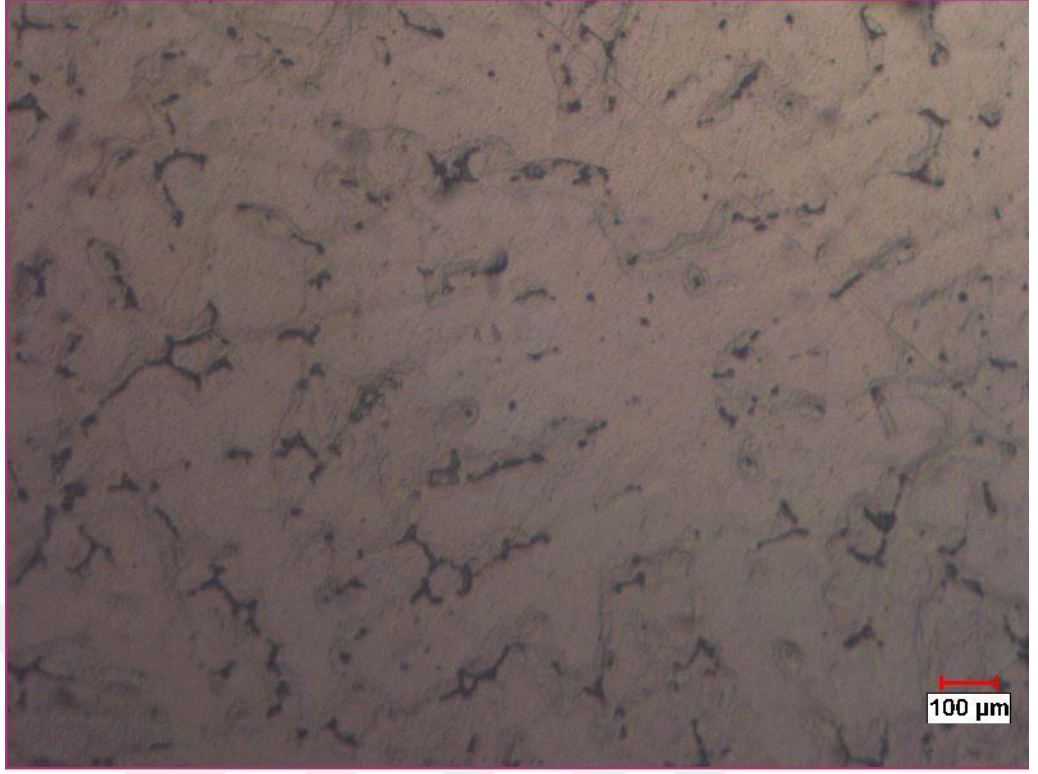
Mikrografi sonuçları Şekil 6.87’de ana malzeme, Şekil 6.88’de ITAB ve Şekil 6.89’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.87 : 16 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.88 : 16 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



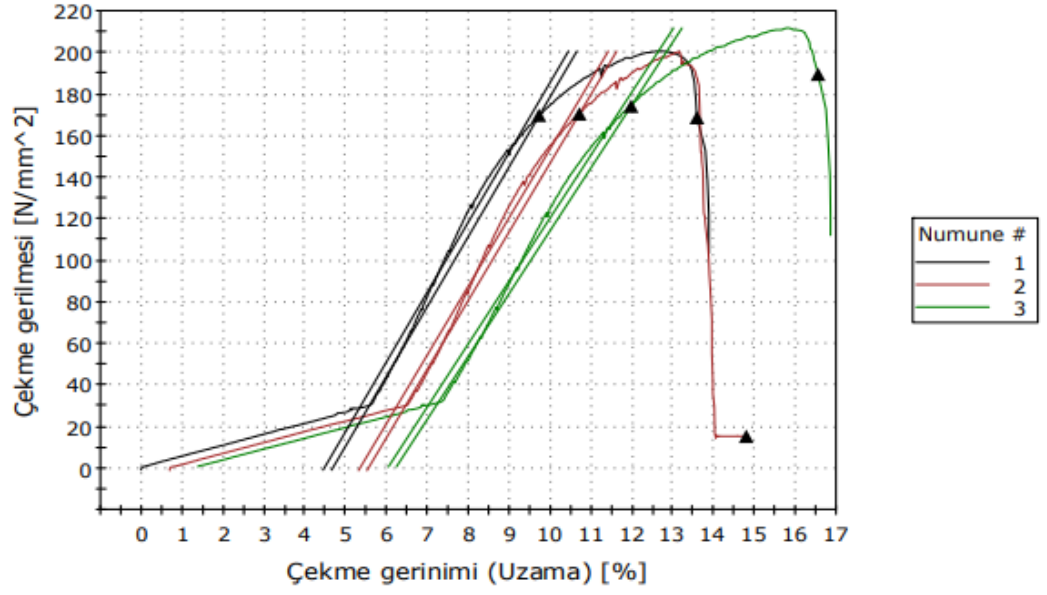
Şekil 6.89 : 16 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.17. 17 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı, koruyucu gaz debisi ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, kaynak yöne sola (sola doğru kaynak) olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 17 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.90'da verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.90 : 17 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.52’de verilmiştir.

Tablo 6.52 : 17 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
171	204	7	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.53’te verilmiştir.

Tablo 6.53 : 17 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

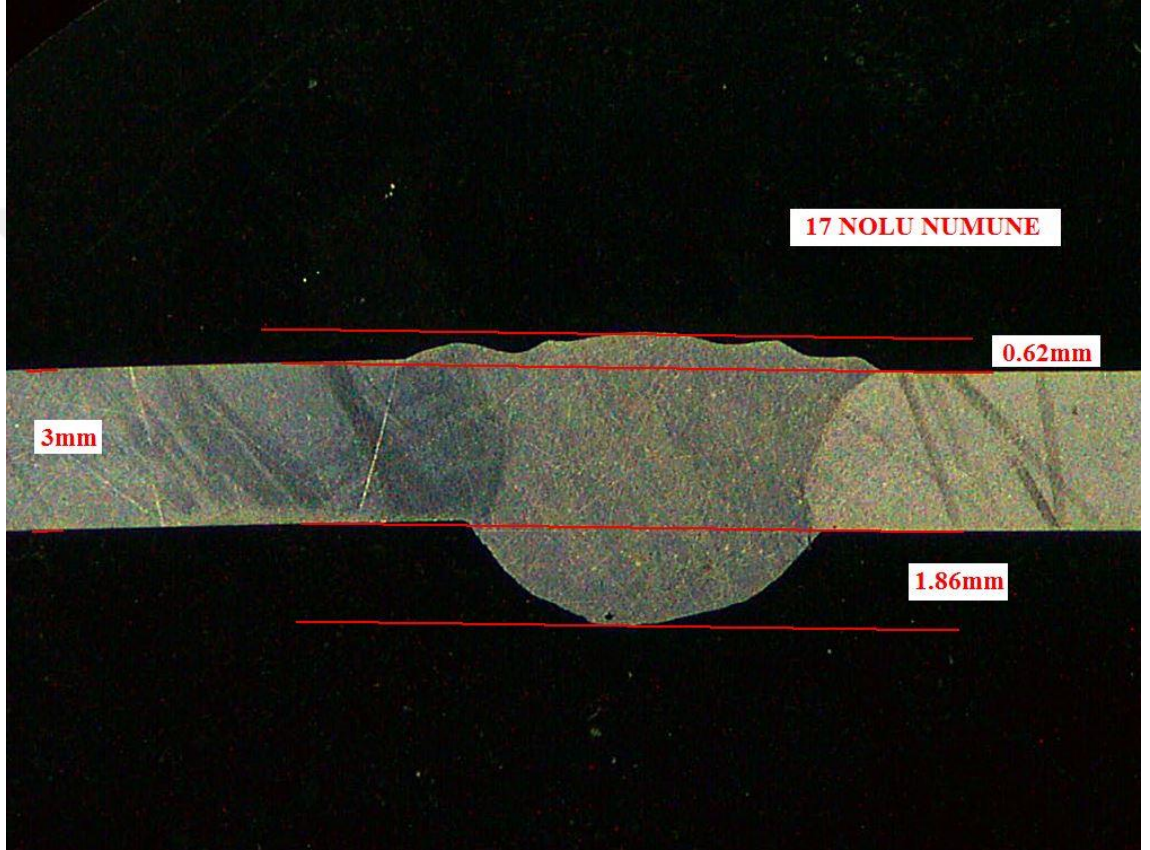
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
23	23	30	20	23	30

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.54’te verilmiştir.

Tablo 6.54 : 17 numaralı numune sertlik testi sonuçları

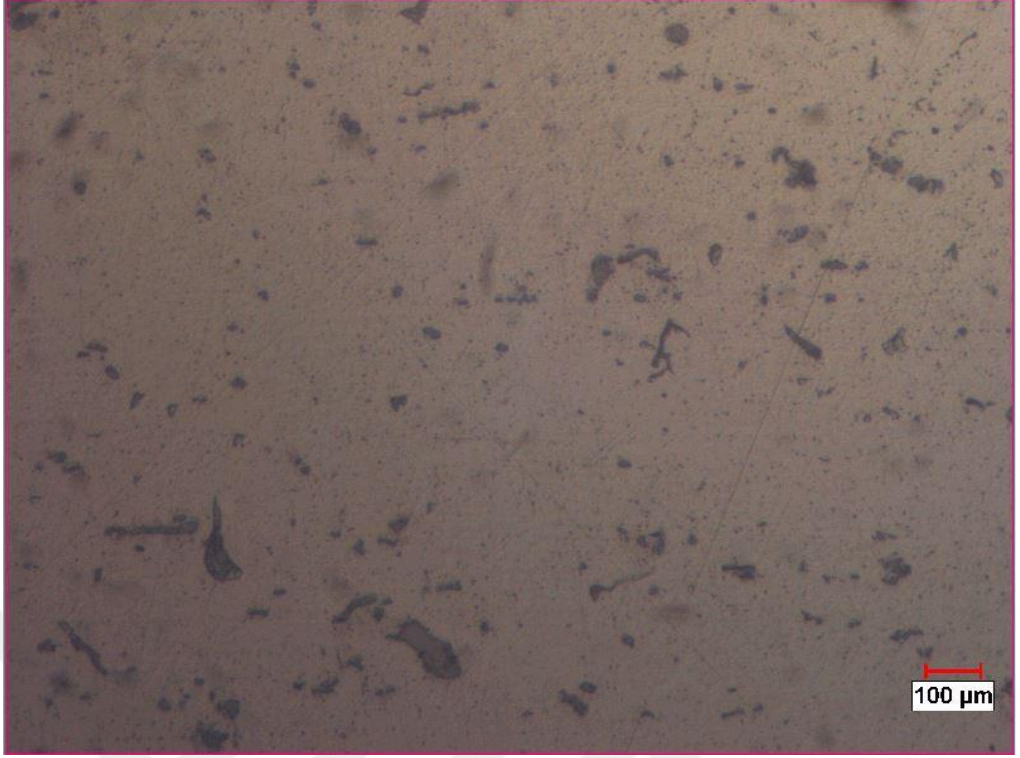
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
61,5	85,3	71,5

Makrografi görüntüsü Şekil 6.91’de verilmiştir.

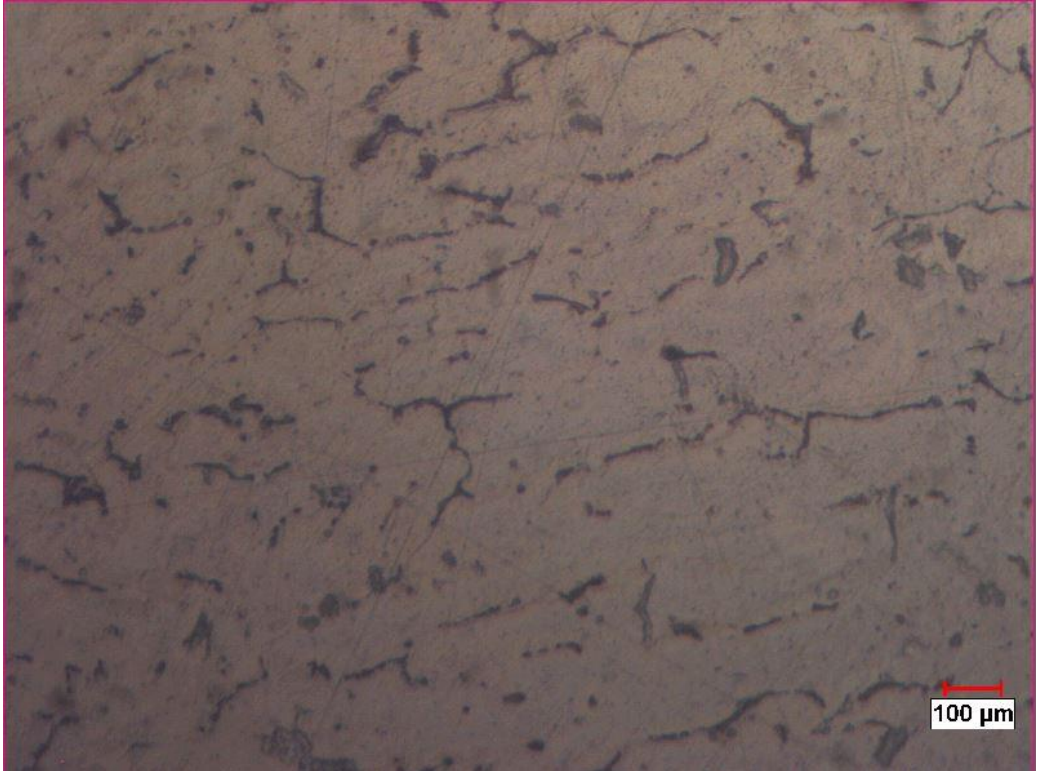


Şekil 6.91 : 17 numaralı numune makrografi görüntüsü

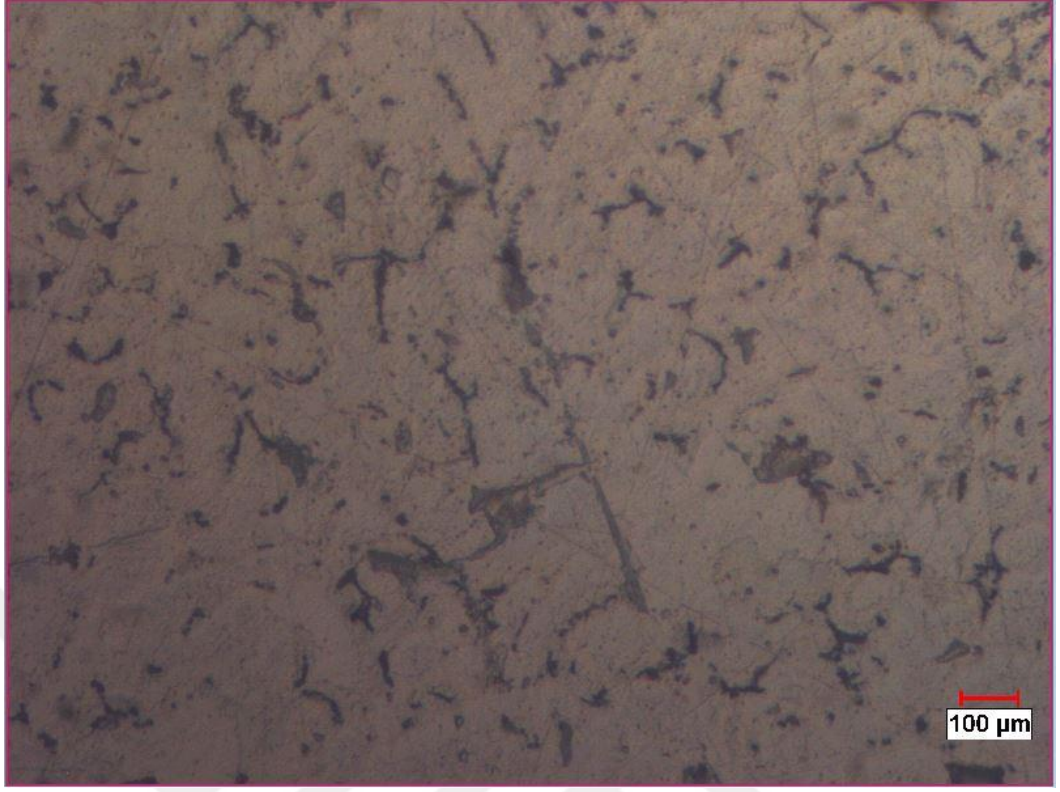
Mikrografi sonuçları Şekil 6.92’de ana malzeme, Şekil 6.93’te ITAB ve Şekil 6.94’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.92 : 17 numaralı numune ana malzeme mikrofafi görüntüsü



Şekil 6.93 : 17 numaralı numune ITAB mikrofafi görüntüsü

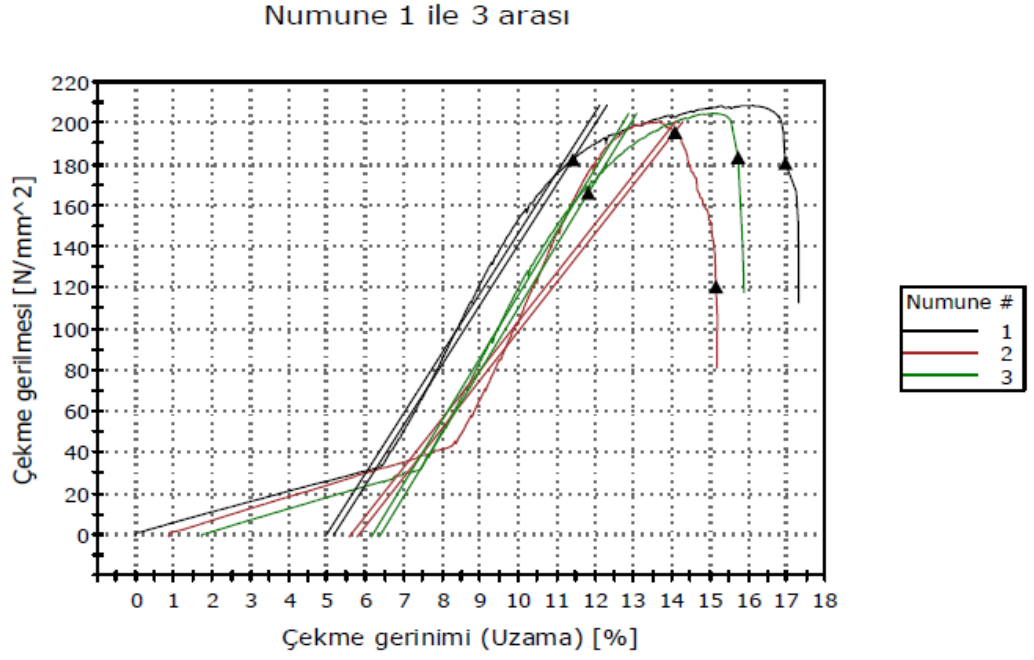


Şekil 6.94 : 17 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.18. 18 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, koruyucu gaz debisi 12 lt/dk olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 18 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.95’te verilmiştir.

Test Grafiği



Çekme testi sonuçları Tablo 6.55’te verilmiştir.

Tablo 6.55 : 18 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
181	204	9	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.56’da verilmiştir.

Tablo 6.56 : 18 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

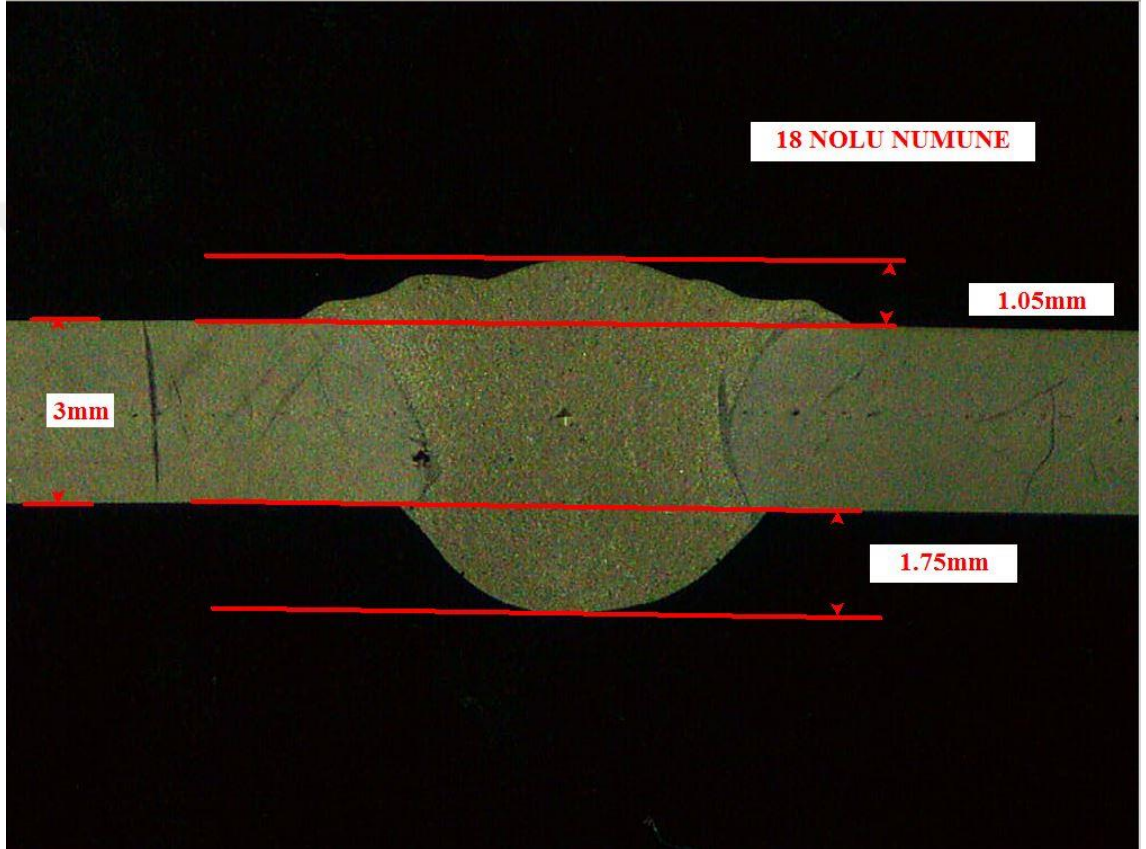
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
33	33	33	27	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.57’de verilmiştir.

Tablo 6.57 : 18 numaralı numune sertlik testi sonuçları

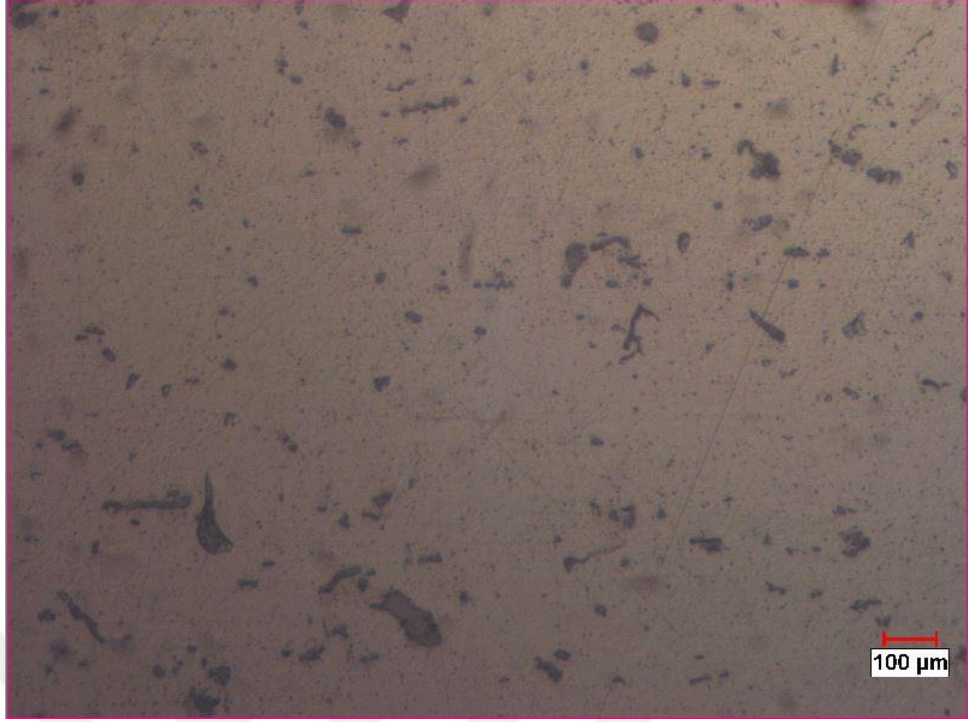
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
65,5	52,1	72,4

Makrografi görüntüsü Şekil 6.96’da verilmiştir.

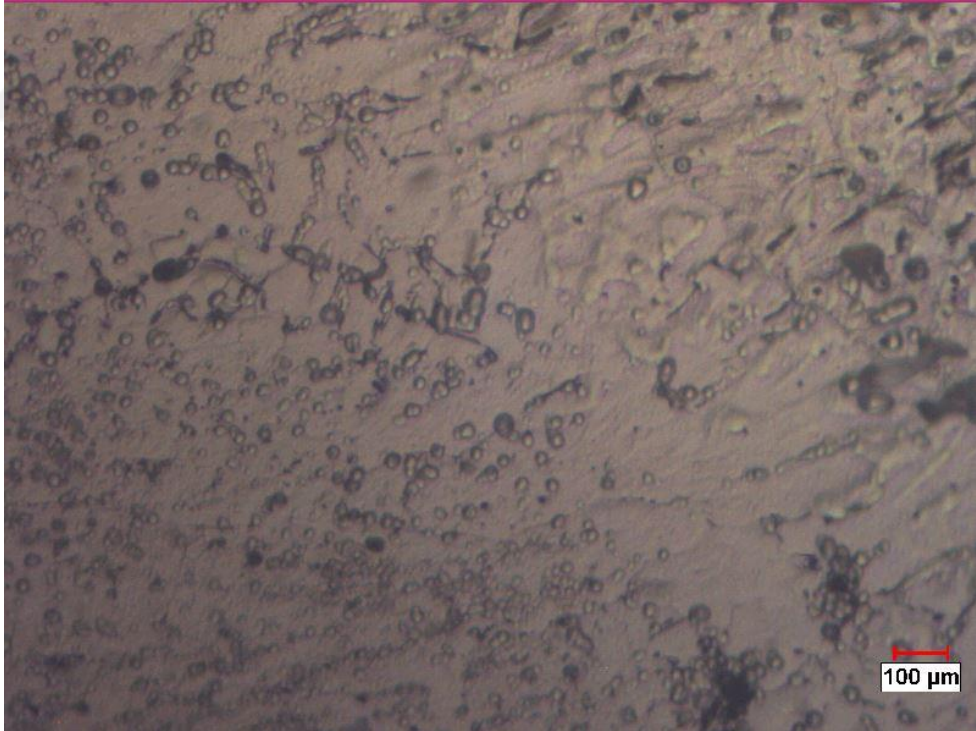


Şekil 6.96 : 18 numaralı numune makrografi görüntüsü

Mikrografi sonuçları Şekil 6.97’de ana malzeme, Şekil 6.98’de ITAB ve Şekil 6.99’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.97 : 18 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.98 : 18 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



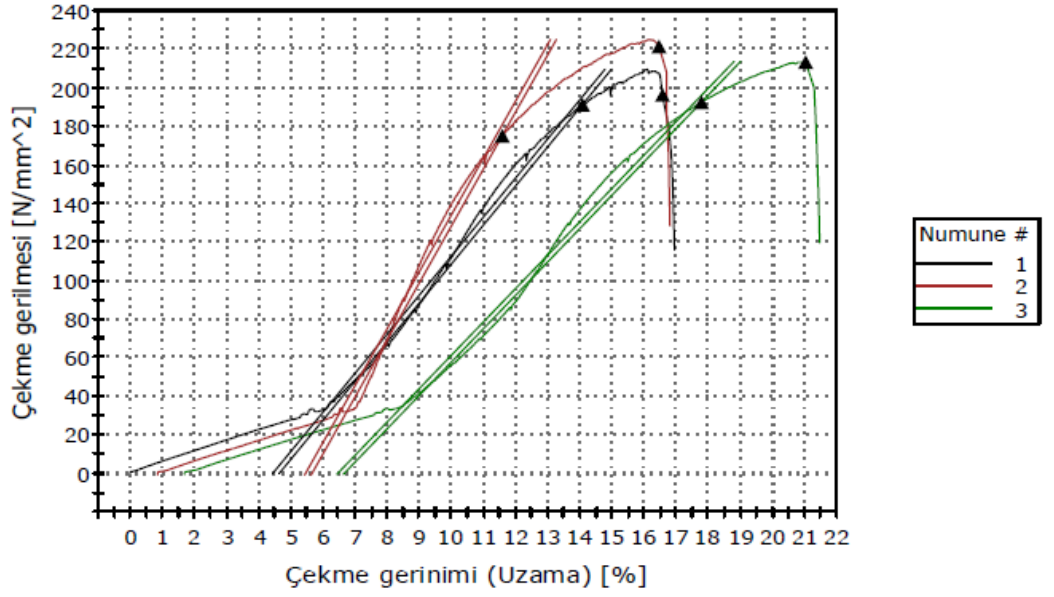
Şekil 6.99 : 18 numaralı numune kaynak dikişi mikrofafi görüntüsü

6.2.19. 19 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı ve pulse frekans değeri sabit tutularak, koruyucu gaz debisi 5 lt/dk olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 19 numaralı numunenin çekme testi grafiğı Şekil 6.100’de verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.100 : 19 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.58’de verilmiştir.

Tablo 6.58 : 19 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
186	215	10	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.59’da verilmiştir.

Tablo 6.59 : 19 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

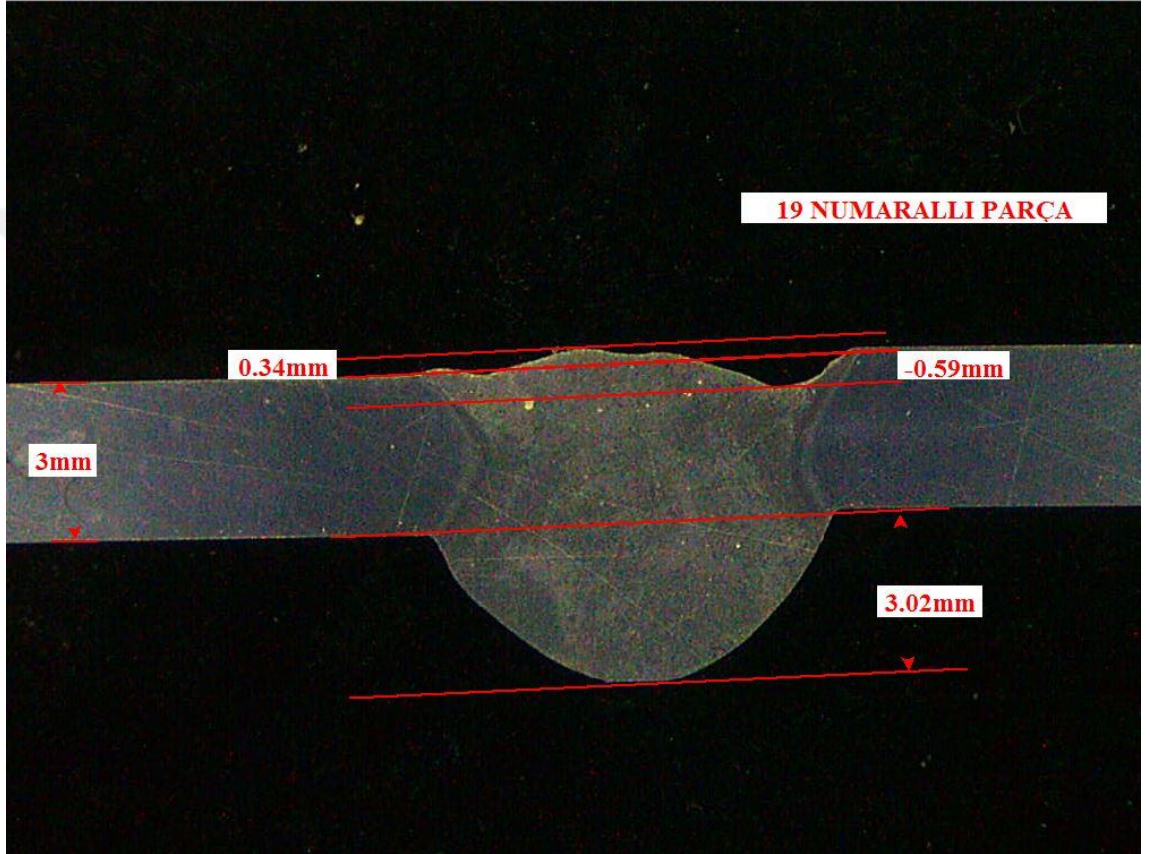
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
20	27	33	20	27	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.60’ta verilmiştir.

Tablo 6.60 : 19 numaralı numune sertlik testi sonuçları

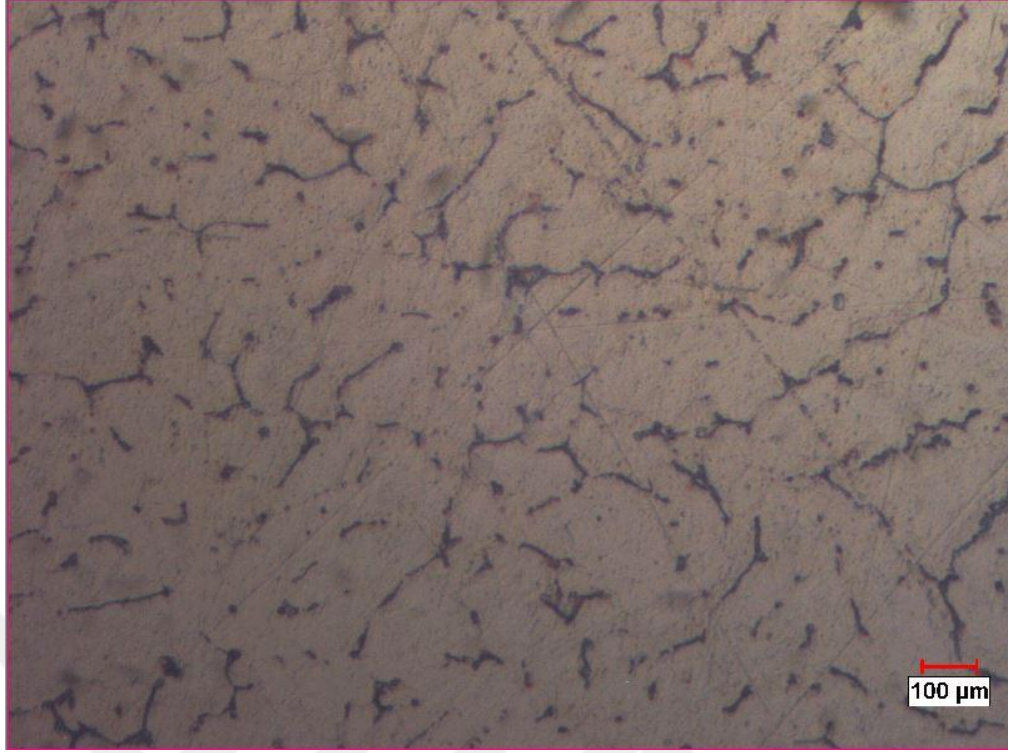
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
63.5	63.5	63.5

Makrografi görüntüsü Şekil 6.101’de verilmiştir.

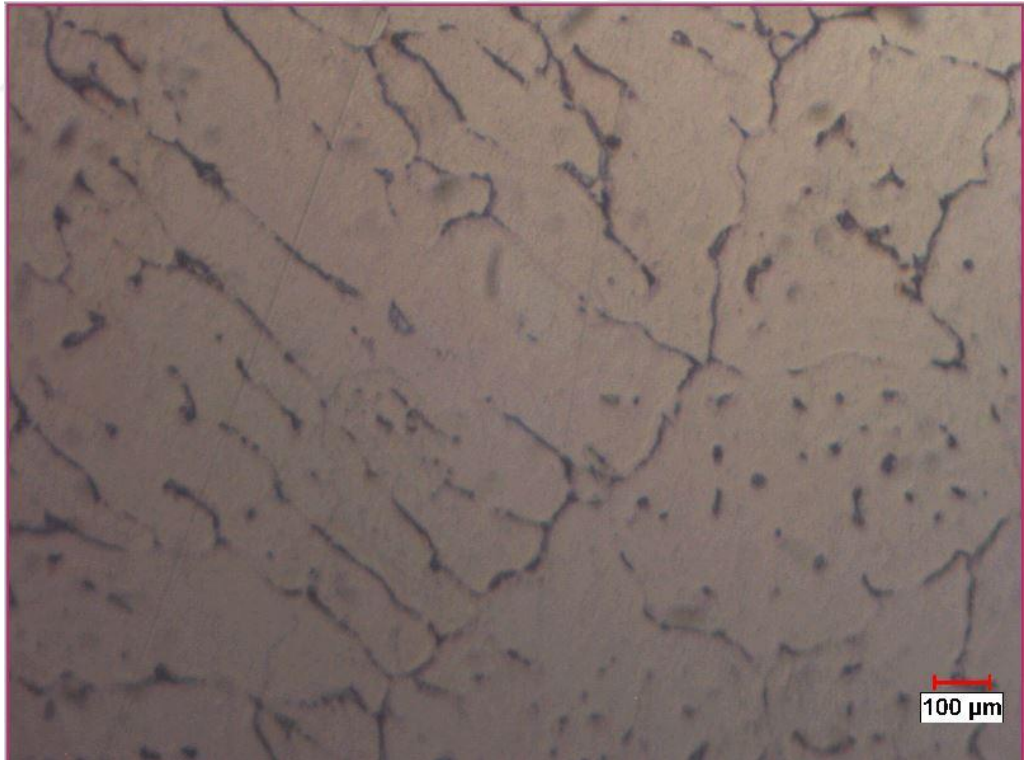


Şekil 6.101 : 19 numaralı numune makrografi görüntüsü

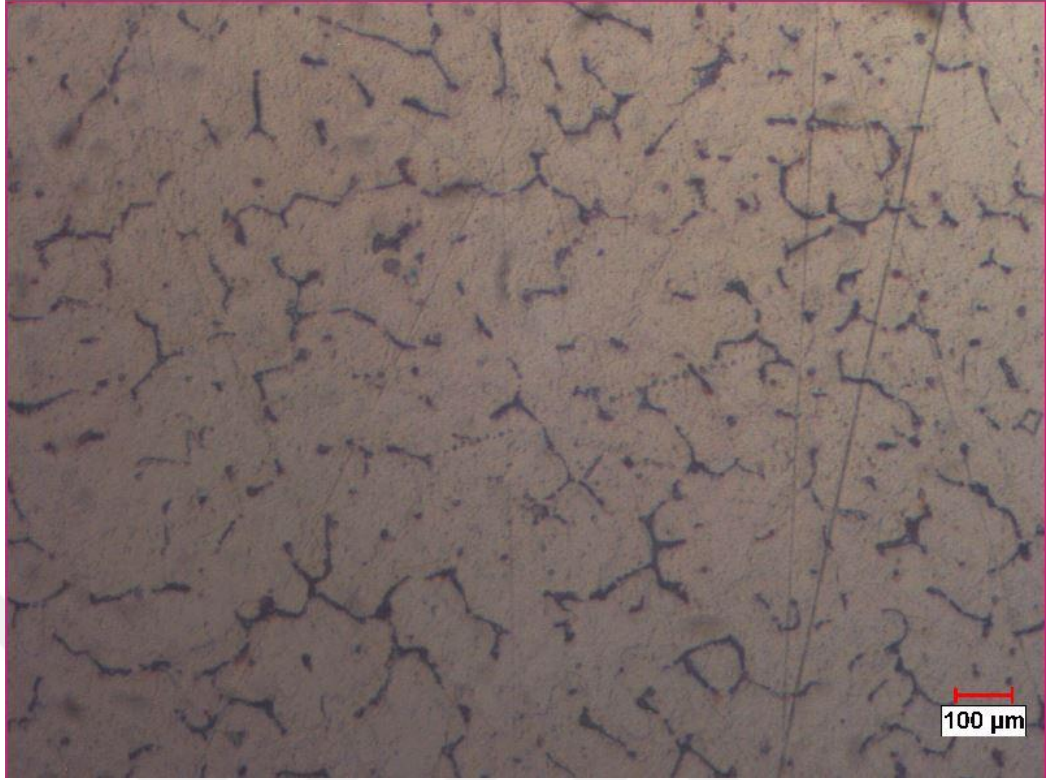
Mikrografi sonuçları Şekil 6.102’de ana malzeme, Şekil 6.103’te ITAB ve Şekil 6.104’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.102 : 19 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.103 : 19 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü



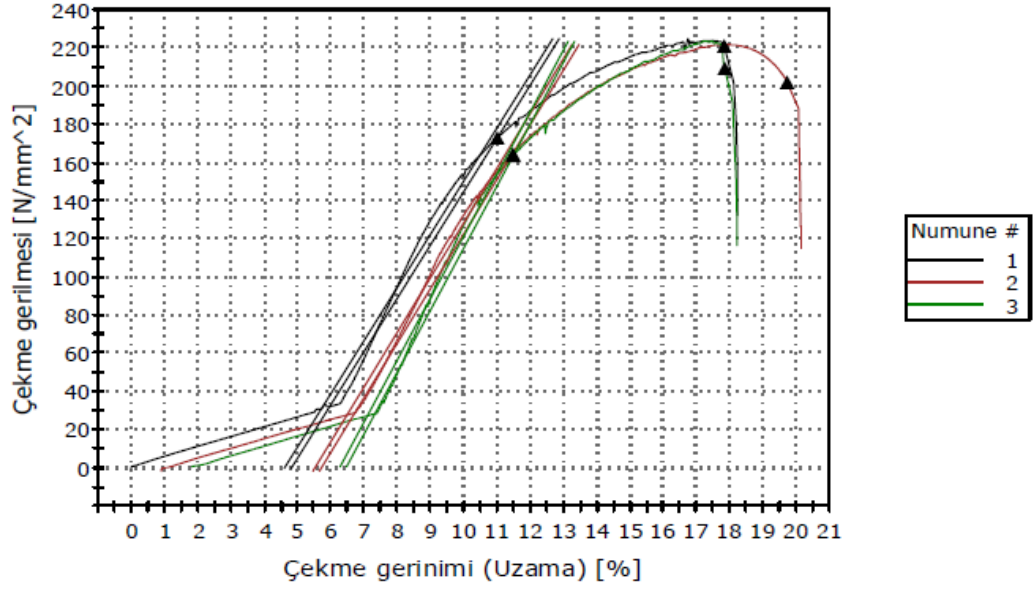
Şekil 6.104 : 19 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.20. 20 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı ve pulse frekans değerleri sabit tutularak, koruyucu gaz debisi 20 lt/dk olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 20 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.105’te verilmiştir.

Test Grafiği

Numune 1 ile 3 arası



Şekil 6.105 : 20 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.61’de verilmiştir.

Tablo 6.61 : 20 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
166	222	10	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.62’de verilmiştir.

Tablo 6.62 : 20 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

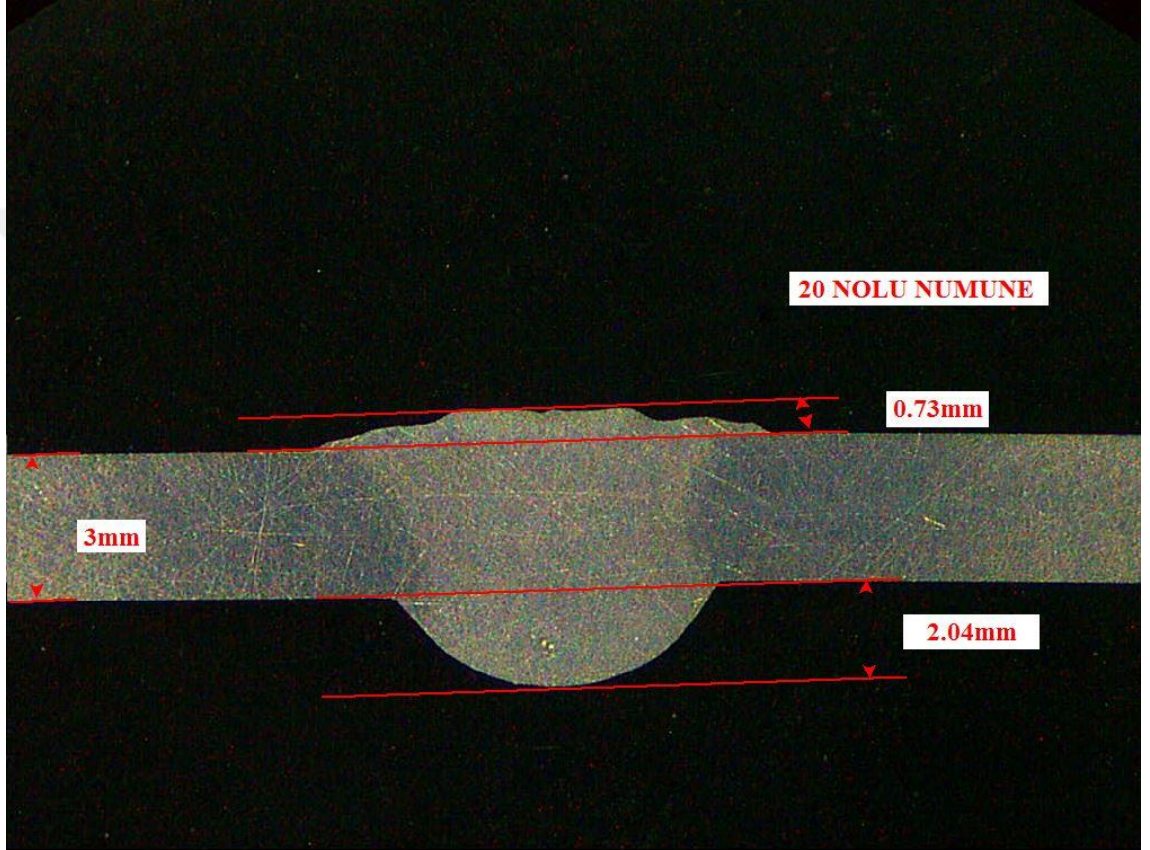
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
33	30	33	27	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.63’te verilmiştir.

Tablo 6.63 : 20 numaralı numune sertlik testi sonuçları

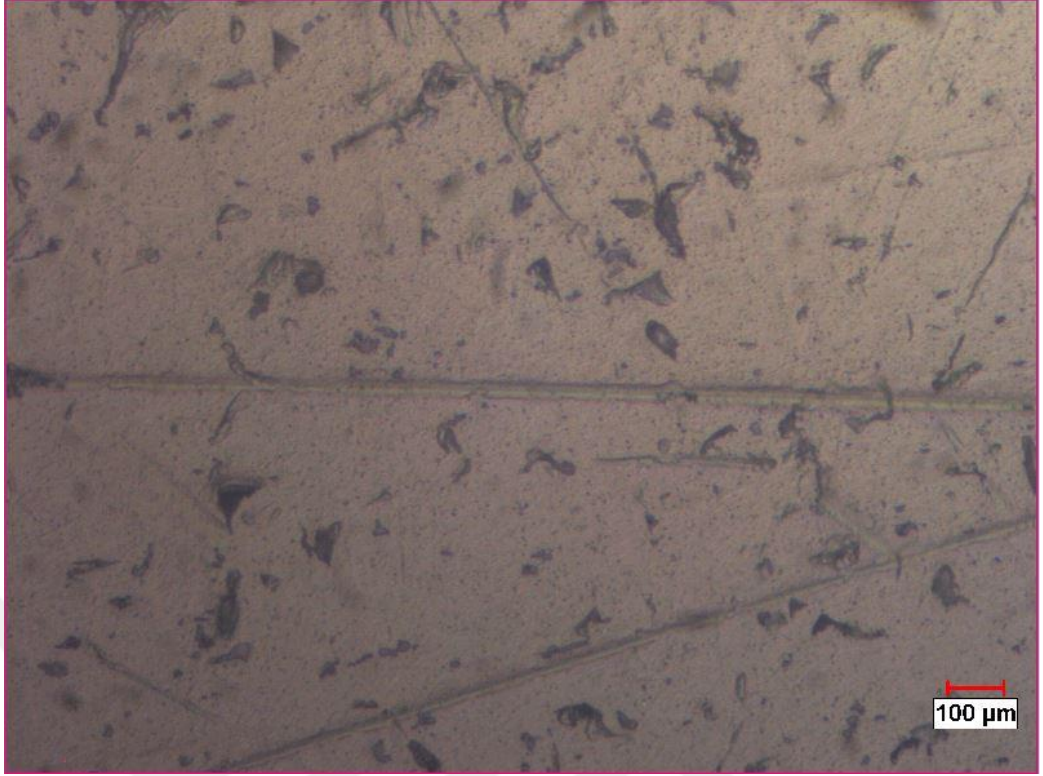
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
58.5	67,1	71,6

Makrografi görüntüsü Şekil 6.106’da verilmiştir.

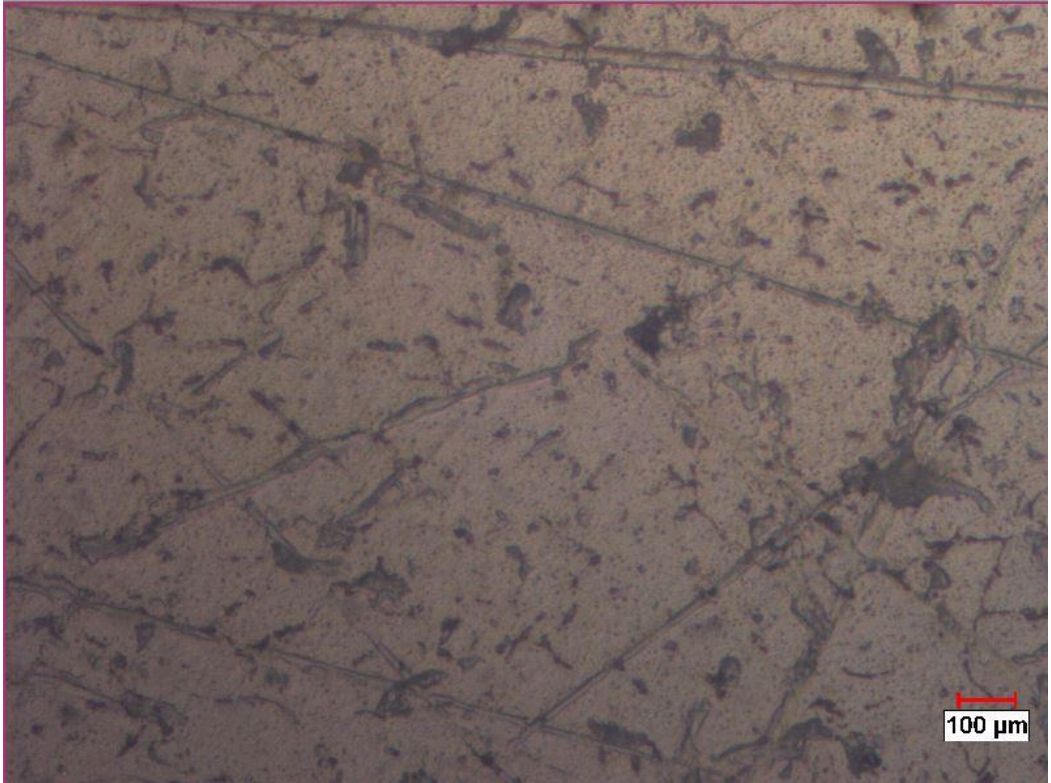


Şekil 6.106 : 20 numaralı numune makrografi görüntüsü

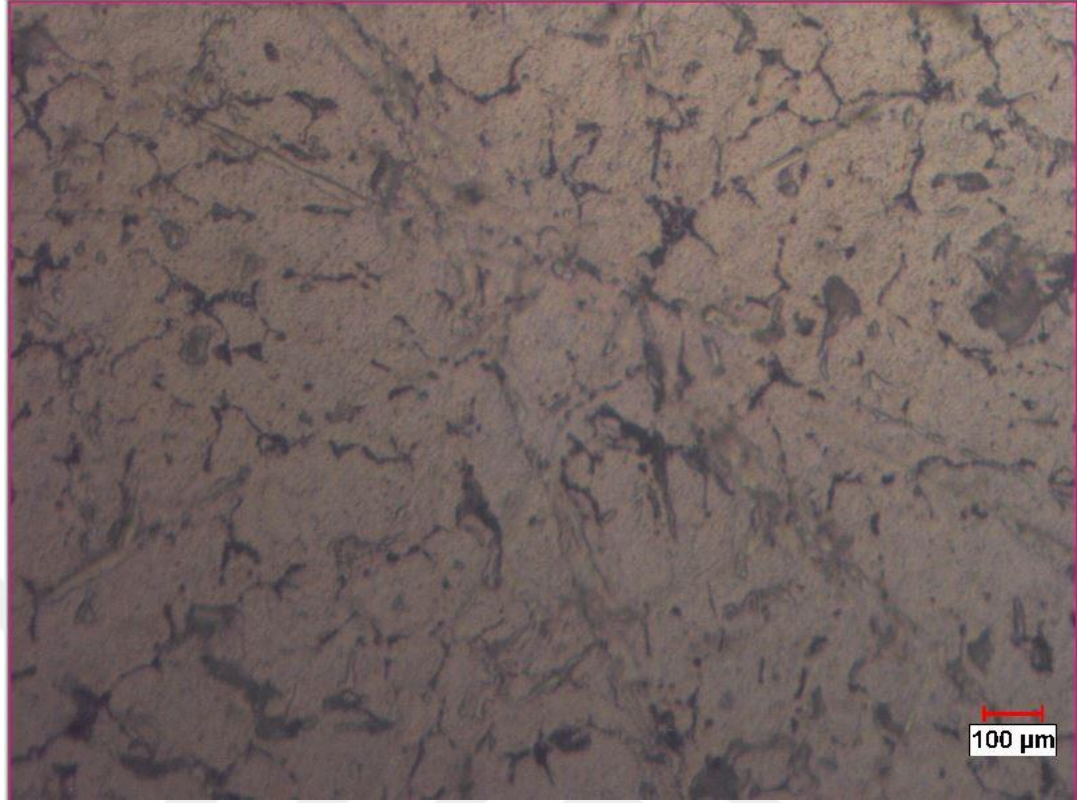
Mikrografi sonuçları Şekil 6.107’de ana malzeme, Şekil 6.108’de ITAB ve Şekil 6.109’da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.107 : 20 numaralı numune ana malzeme mikrografi görüntüsü



Şekil 6.108 : 20 numaralı numune ITAB mikrografi görüntüsü

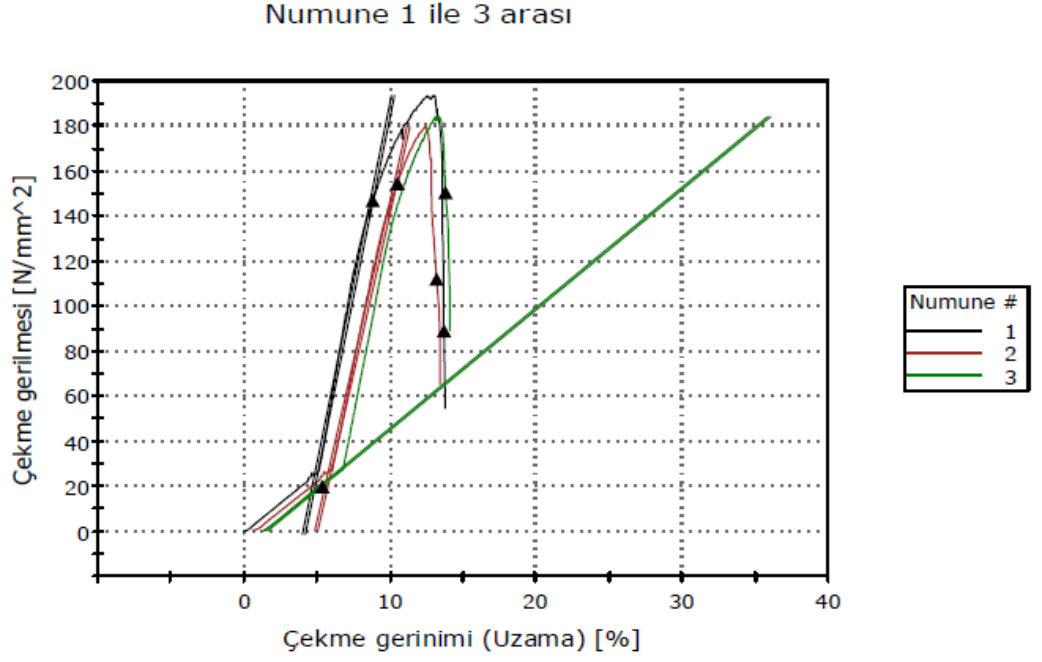


Şekil 6.109 : 20 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.21. 21 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı ve gaz debisi sabit tutularak, pulse frekansı 0,74 MHz olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 21 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.110'da verilmiştir.

Test Grafiği



Şekil 6.110 : 21 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.64’te verilmiştir.

Tablo 6.64 : 21 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
150	185	5	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.65’de verilmiştir.

Tablo 6.65 : 21 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

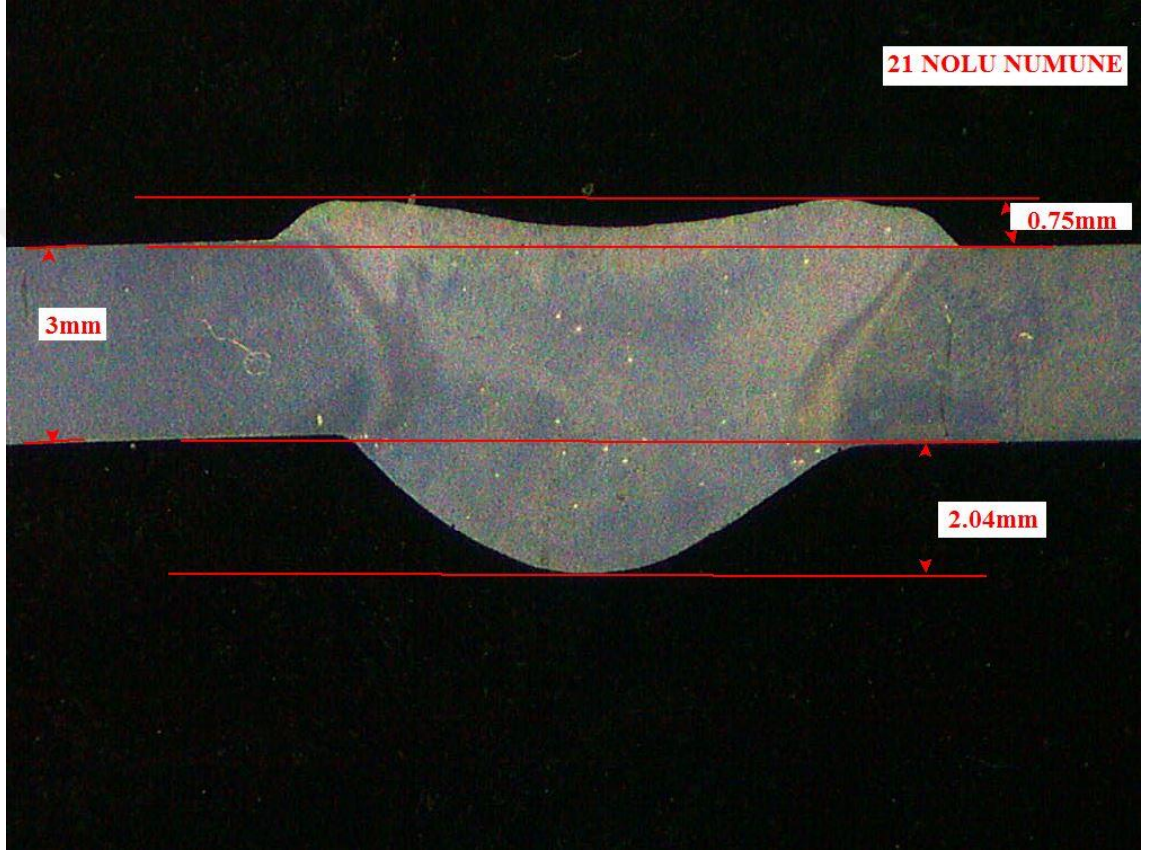
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	27	33	27	27	30

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.66’da verilmiştir.

Tablo 6.66 : 21 numaralı numune sertlik testi sonuçları

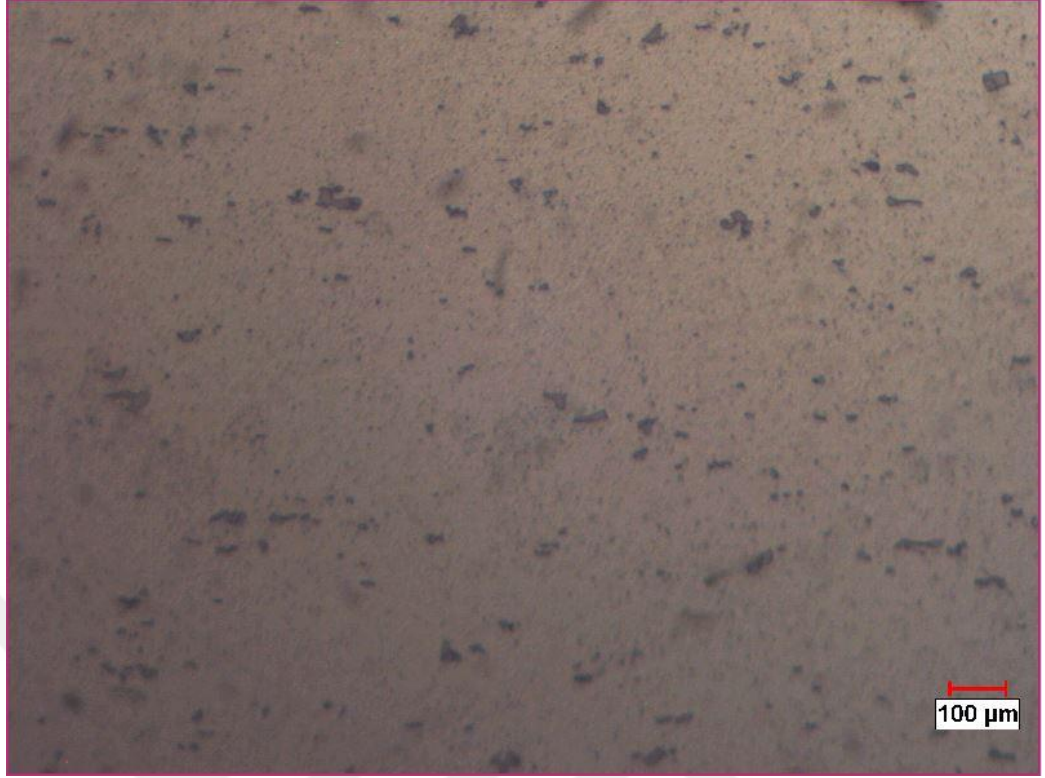
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
63,5	73,8	82,7

Makrografi görüntüsü Şekil 6.111’de verilmiştir.

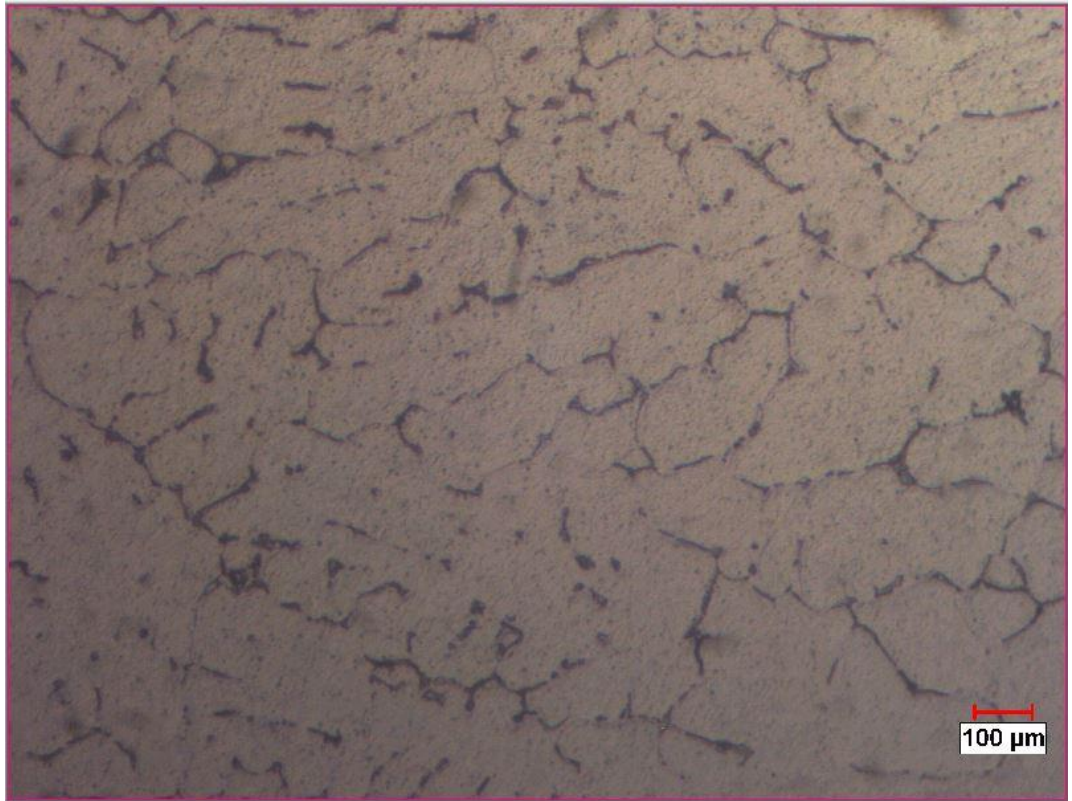


Şekil 6.111 : 21 numaralı numune makrografi görüntüsü

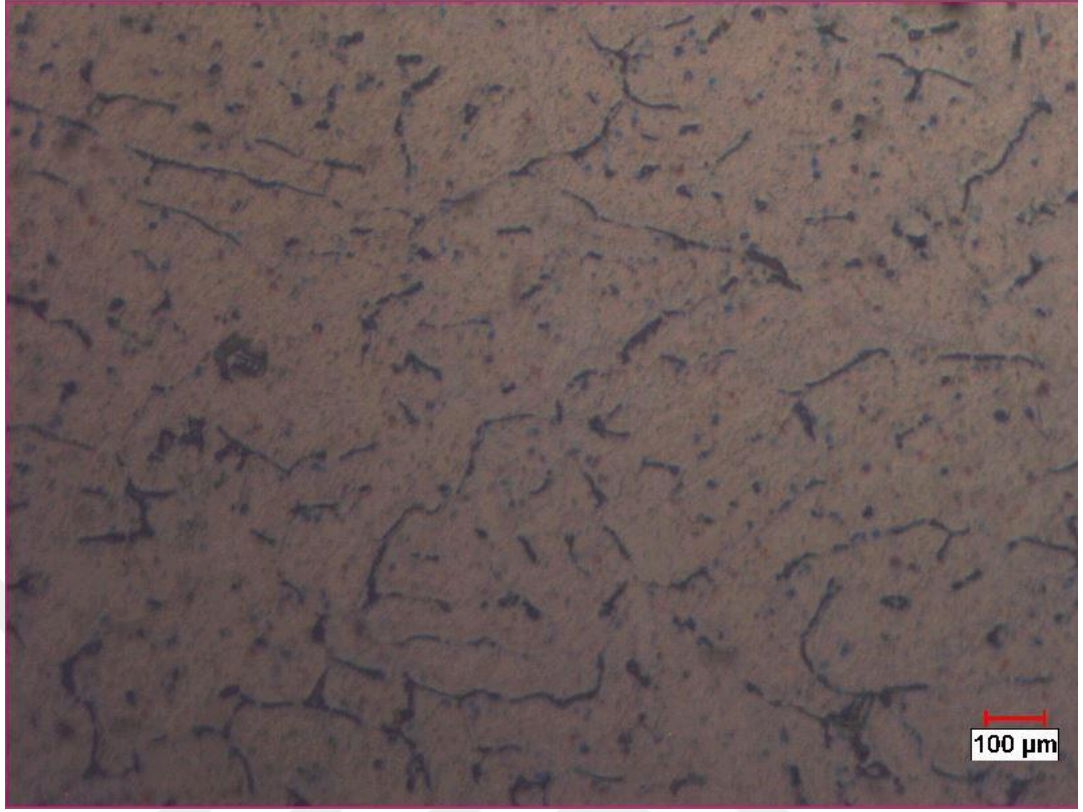
Mikrografi sonuçları Şekil 6.112’de ana malzeme, Şekil 6.113’te ITAB ve Şekil 6.114’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.112 : 21 numaralı numune ana malzeme mikrofrafı görüntüsü



Şekil 6.113 : 21 numaralı numune ITAB mikrofrafı görüntüsü

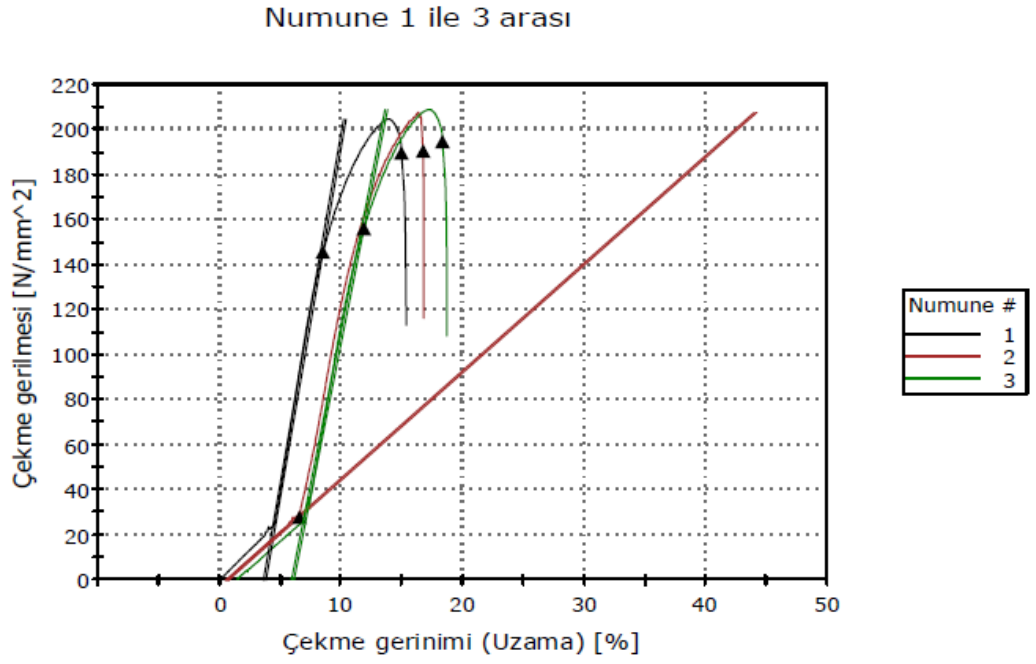


Şekil 6.114 : 21 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.22. 22 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı ve gaz debisi sabit tutularak, pulse frekansı 3,0 MHz olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 22 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.115'te verilmiştir.

Test Grafiği



Şekil 6.115 : 22 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.67’de verilmiştir.

Tablo 6.67 : 22 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
150	206	6	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.68’de verilmiştir.

Tablo 6.68 : 22 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

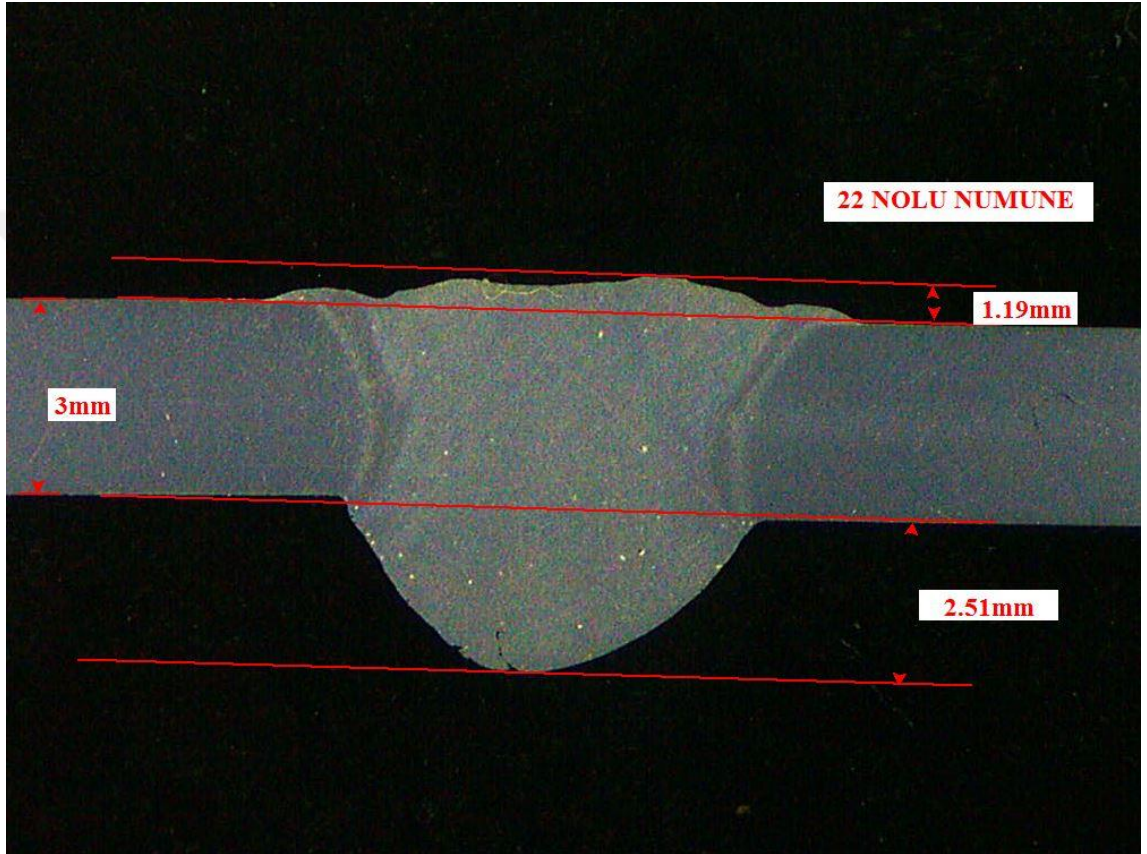
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	27	30	27	30	30

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.69’da verilmiştir.

Tablo 6.69 : 22 numaralı numune sertlik testi sonuçları

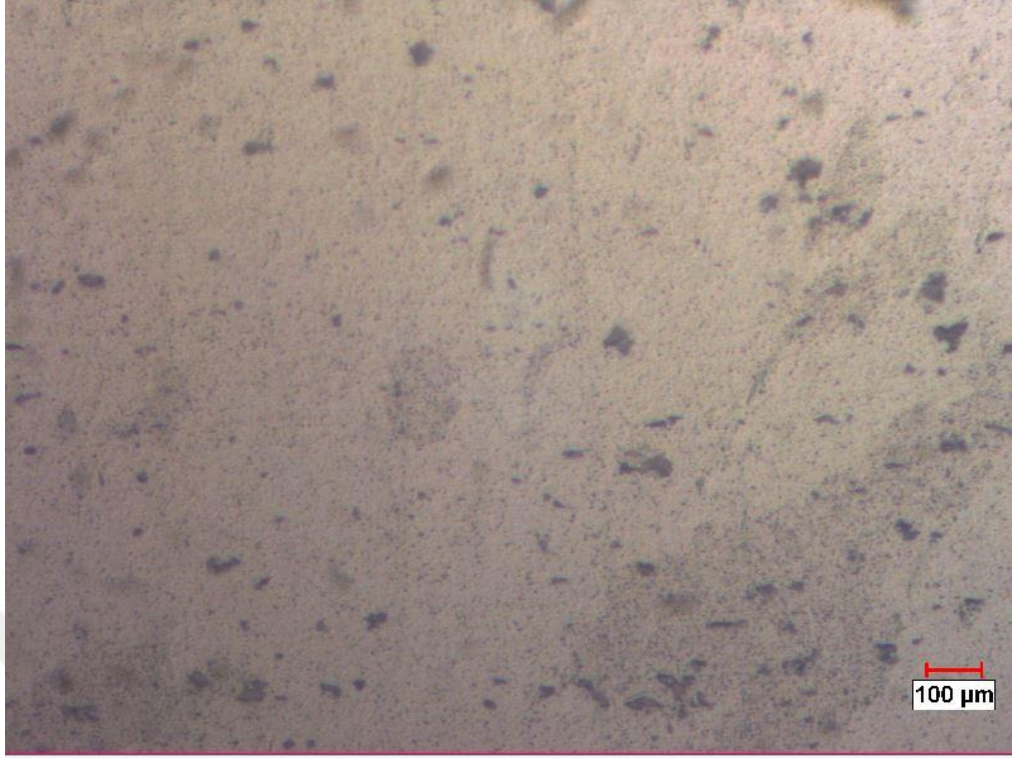
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
62,2	80,5	74,4

Makrografi görüntüsü Şekil 6.116'da verilmiştir.

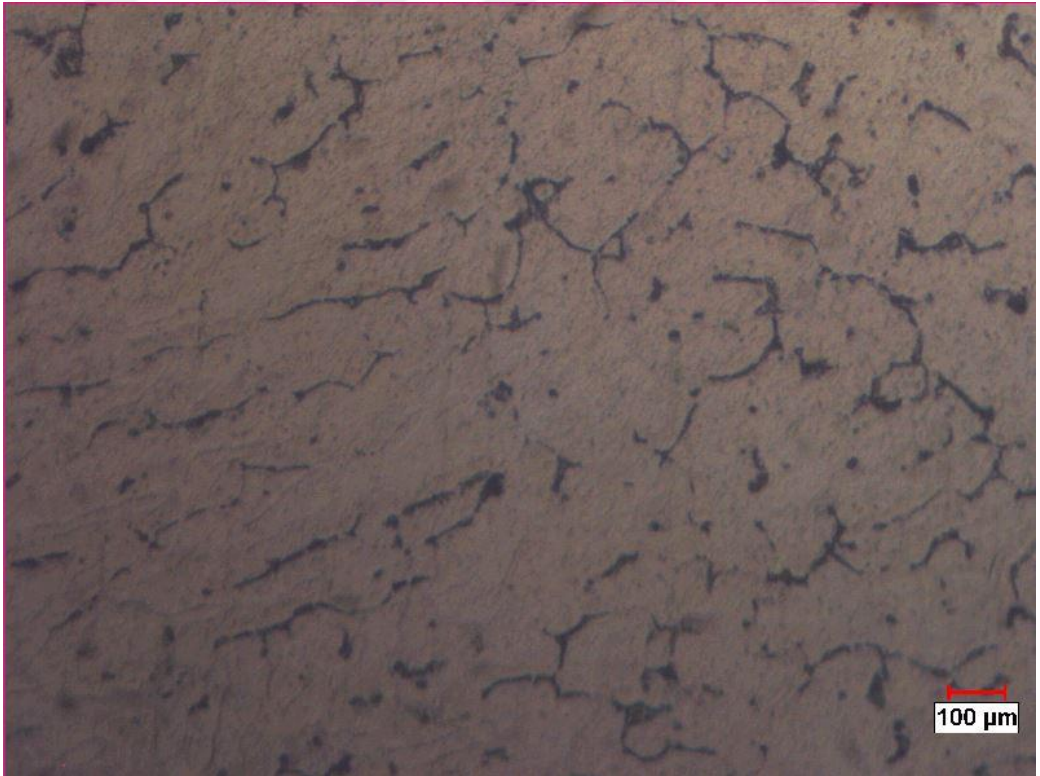


Şekil 6.116 : 22 numaralı numune makrografi görüntüsü

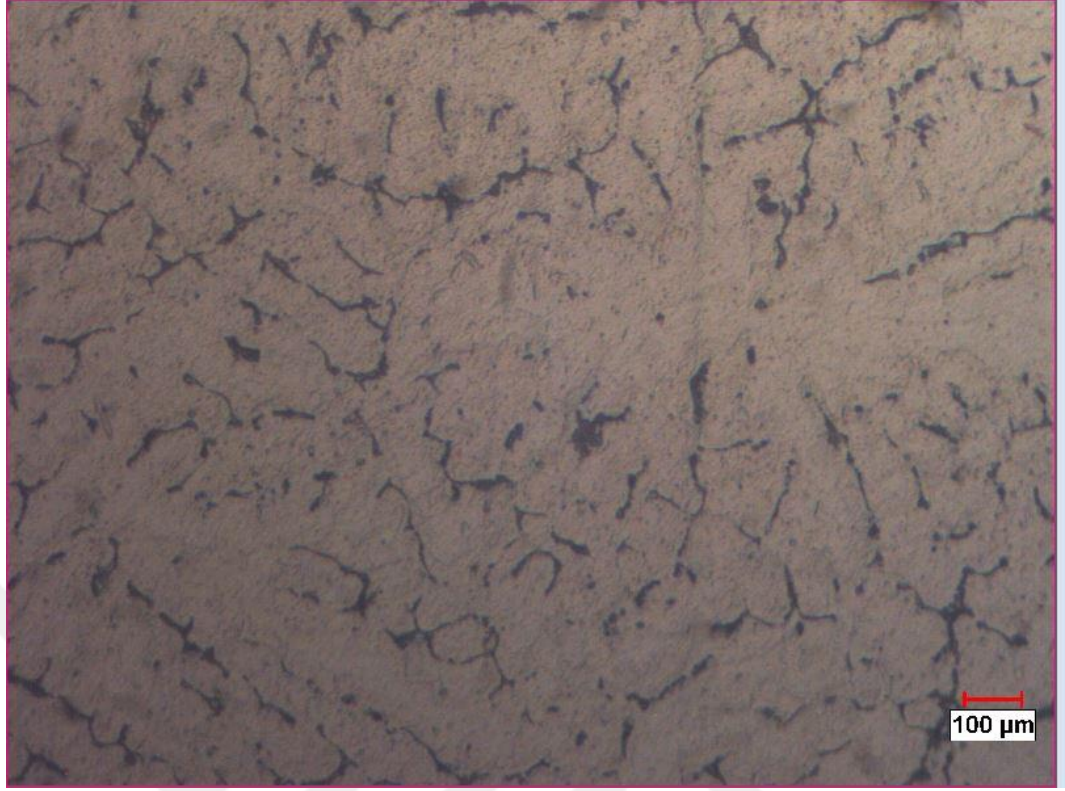
Mikrografi sonuçları Şekil 6.117'de ana malzeme, Şekil 6.118'de ITAB ve Şekil 6.119'da kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.117 : 22 numaralı numune ana malzeme mikrofrafı görüntüsü



Şekil 6.118 : 22 numaralı numune ITAB mikrofrafı görüntüsü

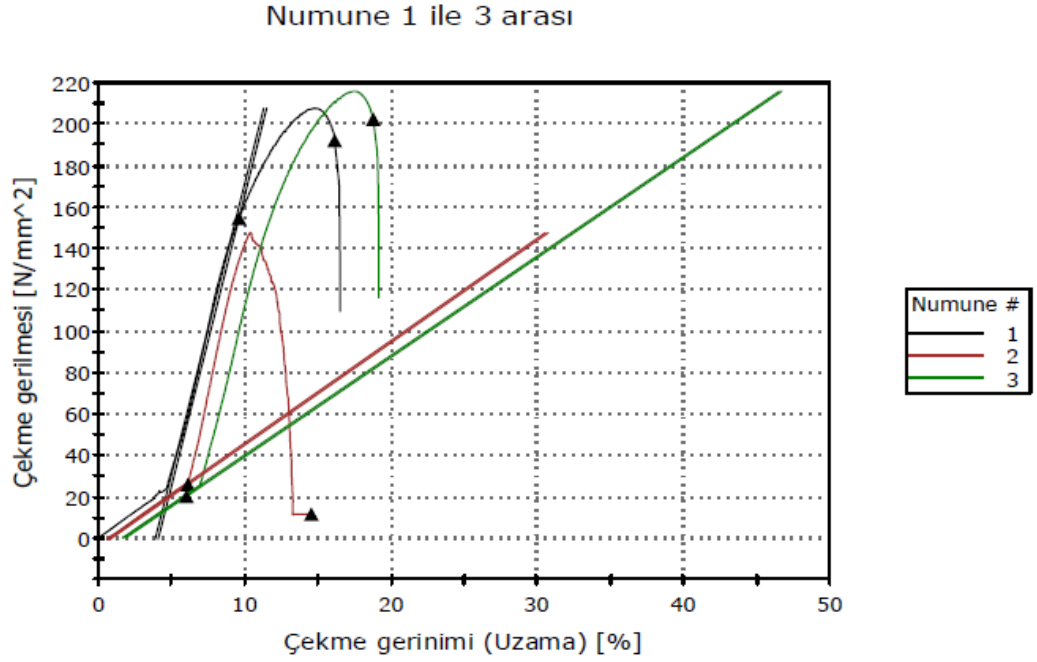


Şekil 6.119 : 22 numaralı numune kaynak dikişi mikrografi görüntüsü

6.2.23. 23 numaralı numunenin test sonuçları

Akım, gerilim, tel besleme hızı ve gaz debisi sabit tutularak, pulse frekansı 0 MHz (sinerjik) olacak şekilde kaynak işlemi yapılan 23 numaralı numunenin çekme testi grafiği Şekil 6.120’de verilmiştir.

Test Grafiği



Şekil 6.120 : 23 numaralı numune çekme testi grafiği

Çekme testi sonuçları Tablo 6.70’de verilmiştir.

Tablo 6.70 : 23 numaralı numune çekme testi sonuçları

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kopma Bölgesi
154	211	11	ITAB

Çentik darbe testi sonuçları Tablo 6.71’de verilmiştir.

Tablo 6.71 : 23 numaralı numune çentik darbe testi sonuçları

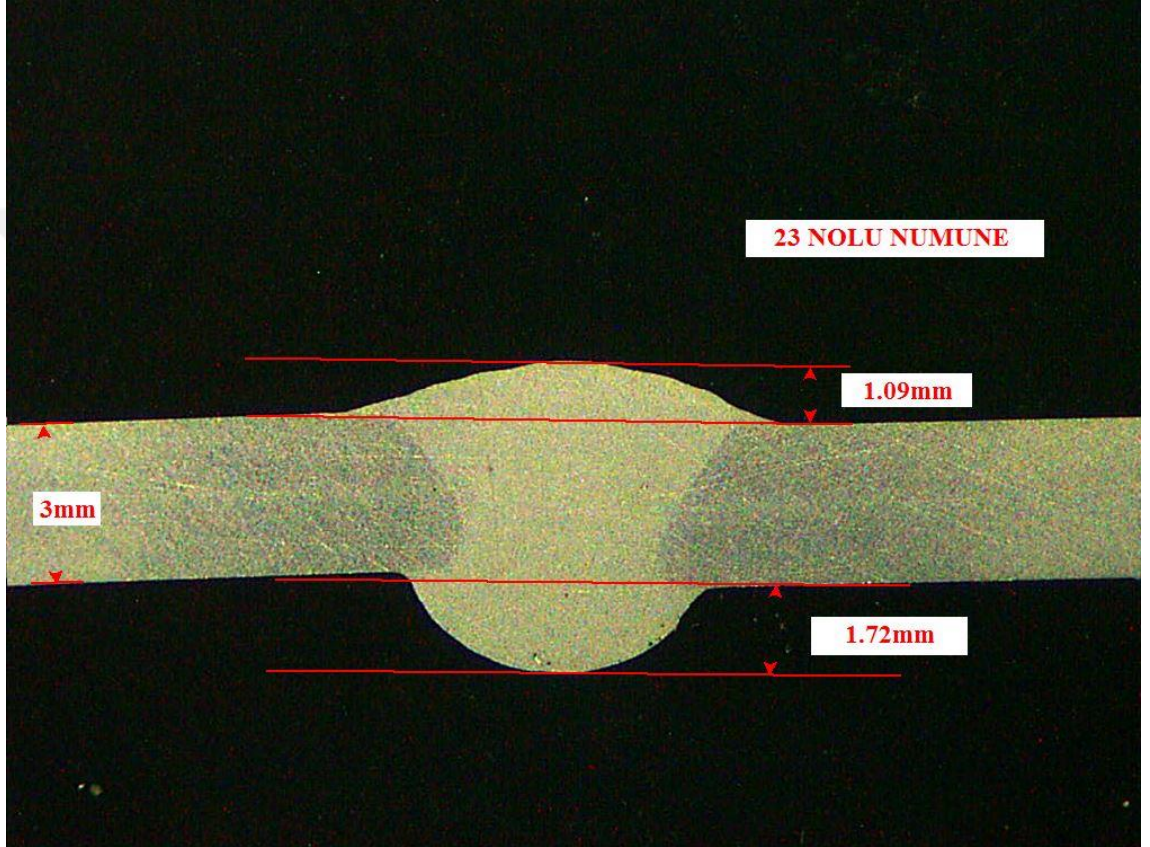
23 °C			-20 °C		
Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme	Kaynak dikişi	ITAB	Ana malzeme
27	33	33	27	33	33

Sertlik testi sonuçları Tablo 6.72’de verilmiştir.

Tablo 6.72 : 23 numaralı numune sertlik testi sonuçları

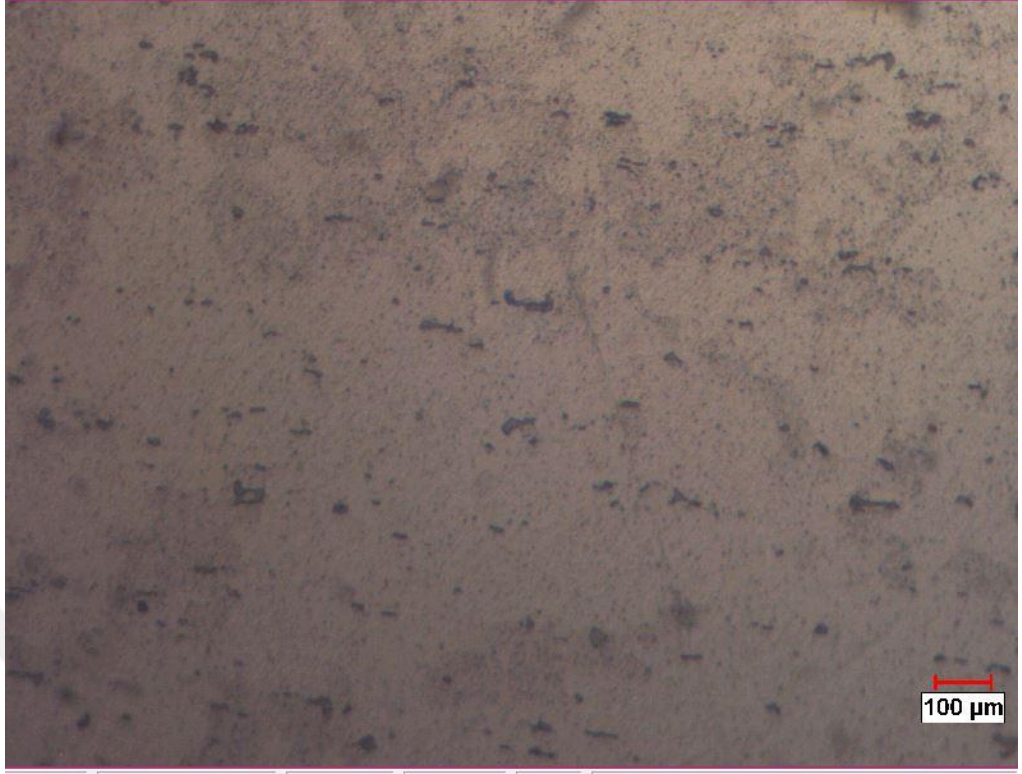
Kaynak Dikişı (HV)	ITAB (HV)	Ana Malzeme (HV)
65,6	82,2	75,6

Makrografi görüntüsü Şekil 6.121’de verilmiştir.

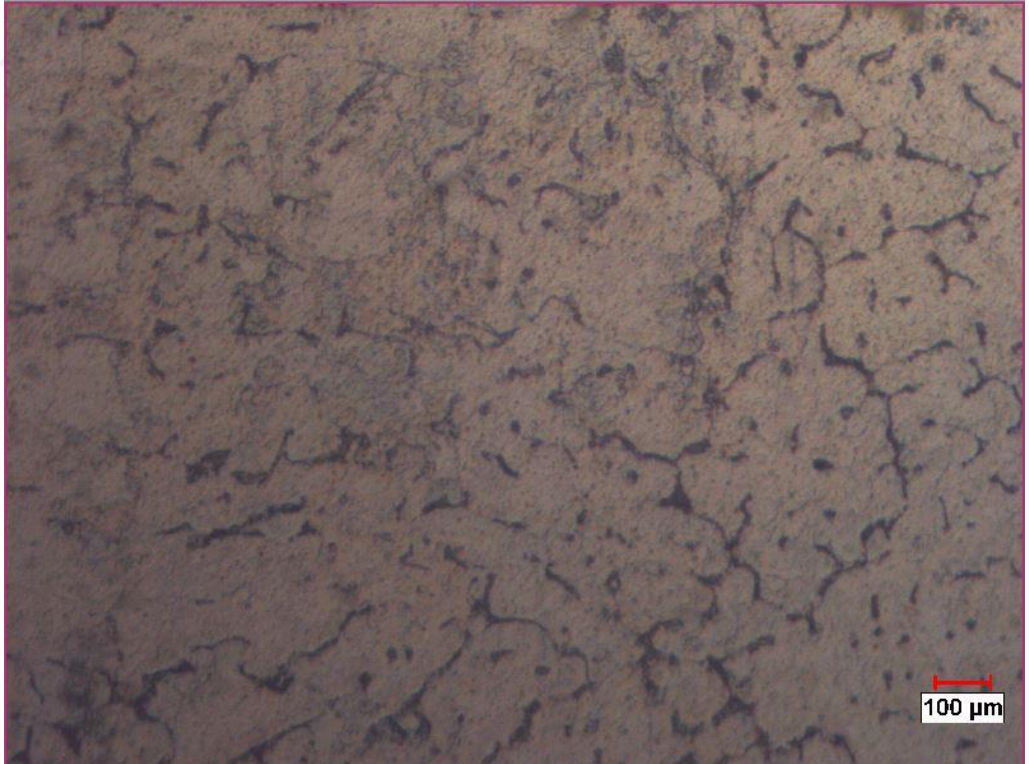


Şekil 6.121 : 23 numaralı numune makrografi görüntüsü

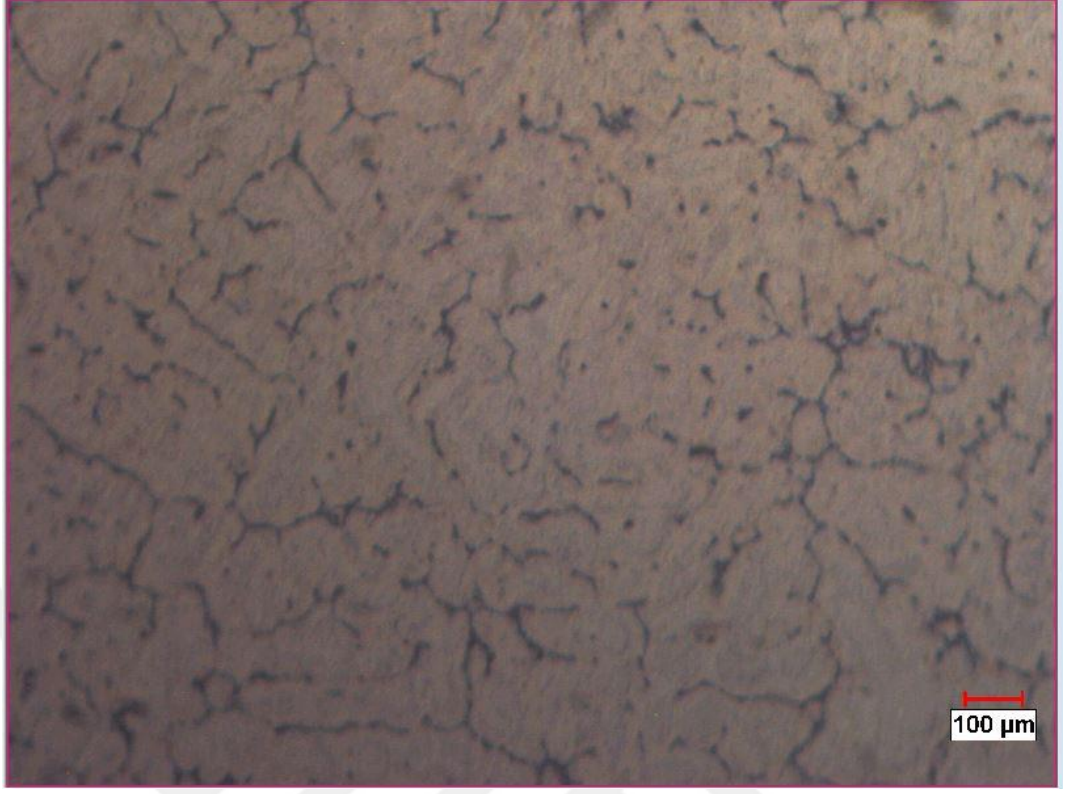
Mikrografi sonuçları Şekil 6.122’de ana malzeme, Şekil 6.123’de ITAB ve Şekil 6.124’te kaynak dikişı olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 6.122 : 23 numaralı numune ana malzeme mikrofrafı görüntüsü



Şekil 6.123 : 23 numaralı numune ITAB mikrofrafı görüntüsü



Şekil 6.124 : 23 numaralı numune kaynak dikişi mikrofafi görüntüsü

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Çalışma kapsamında kaynak makinası üzerinden ayarlanabilen tüm parametreler sabit tutulmuş, sadece bir değişken yaklaşık 3 farklı değerde ayarlanarak kaynak işlemleri tamamlanmış ve numunelere mekanik testler uygulanmıştır. Bu testlerin kapsamında;

- En yüksek akma mukavemeti değeri 186 MPa ile 19 numaralı numunede, en düşük akma mukavemeti değeri ise 0 MPa ile 4 numaralı numunede görülmüştür.
- En yüksek çekme mukavemeti değeri 222 MPa ile 5 numaralı numunede, en düşük çekme mukavemeti değeri 89 MPa ile 4 numaralı numunede görülmüştür.
- En yüksek uzama değeri %17 ile yine 5 numaralı numunede, en düşük uzama değeri %3 ile 4 numaralı numunede görülmüştür.
- Kaynak dikişindeki en yüksek sertlik değeri 69,7 HV ile 4 numaralı numunede görülmüştür.
- ITAB bölgesindeki en yüksek sertlik değeri 85,3 HV ile 17 numaralı numunede görülmüştür.
- En düşük çentik darbe enerjisi değeri 7 J ile 4 numaralı numunede görülmüştür.
- Tüm numuneler ITAB bölgesinden koparken, 4 numaralı numune ise kaynak dikişinden kopmuştur.
- En yüksek kep yüksekliği 1,96 mm ile 3 numaralı numunede, en düşük kep yüksekliği -0,59 mm ile 19 numaralı numunede görülmüştür.

- Makrografi sonuçları incelendiğinde 3 numaralı üründe kök ergime noksanlığı, 19 numaralı üründe ise yetersiz dolgu süreksizlikleri tespit edilmiştir. Diğer numunelerin makrografi test sonuçlarında nüfuziyet noksanlığı görülmemiştir.
- Mikrografi sonuçları incelendiğinde tüm ürünlerde ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişi bölgelerinde benzer iç yapılar görülmüş, bariz farklılıklar görülmüştür.
- Kaynak yönünün mekanik değerler üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Alın kaynağında torç açısının mekanik değerler üzerinde kayda değer açıda etki etmediği görülmüştür.
- Çok düşük kaynak koruyucu gaz debisinin yetersiz kaynak dolgusu süreksizliğine, çok yüksek kaynak koruyucu gaz debisinin kökte sarkmaya sebep olduğu görülmüştür.
- Düşük pulse frekansı ile yapılan kaynak dikişinin yüzeyinde dalgalanmalar gözlenmiş, pulse kapalı konumda (sinerjik) yapılan kaynak dikişinin ise iç bükey kaynak olduğu görülmüştür.

7.2. Öneriler

- Alüminyum ısı iletkenlik katsayısı ve yüzeyindeki alümine tabakasının ergime sıcaklığı sebebiyle çok düşük amperlerde kaynak edilemeyen bir malzemedir. Sonuçlarda görüldüğü üzere 80 A ile yapılan kaynak işlemi ISO 15614-2 ve EN 10042 standartları kapsamında değerlendirildiğinde geçersiz bir birleştirmedir [28,29]. Dolayısıyla kaynak amper değeri malzeme kalitesine ve kalınlığına uygun seçilmelidir.
- İlerleme hızı arttıkça kaynak kökünün kısaldığı ve kep yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Dolayısıyla aşırı kep yüksekliğinden kaçınmak ve yeterli kök nüfuziyeti sağlayabilmek için uygun kaynak ilerleme hızı seçilmelidir.
- Serbest tel boyu kaynak dikiş geometrisi ve estetiği üzerinde etkili olduğu çalışma sonucunda görülmüştür. Özellikle estetik görüntü istenen kaynak dikişlerinde uygun serbest tel boyu seçilmelidir.

- Temizlik yöntemleri arasında hem mekanik değerler hem de estetik görünüm açısından en iyi sonuç kimyasal temizlik sonrası bileştirilen numunede alınmıştır. Alüminyum malzemelerin kaynağında temizlik yapılmadan kaynak işlemi gerçekleştirilmemelidir
- Kaynak yönünün mekanik değerler üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla konstrüksiyon açısından eğer uygunsa her iki yöne kaynak işlemi gerçekleştirilebilir.
- Alın kaynağında torç açısının mekanik değerler üzerinde kayda değer açıda etki etmediği görülmüştür. Dolayısıyla konstrüksiyon açısından eğer uygunsa her iki yöne kaynak işlemi gerçekleştirilebilir.
- Koruyucu gaz debisi mekanik özellikler üzerinde farklı etkiler göstermezken dikiş geometrisi üzerinde bariz farklılıklara yol açmıştır. En uygun kaynak koruyucu gaz debisi seçimi dikiş geometrisi için oldukça önemlidir.
- Alüminyum kaynağında sıklıkla kullanılan pulse, çalışma sonuçlarında da görüleceği üzere dikiş üzerinde direkt olarak etkili bir parametredir. Özellikle sinerjik modda kaynak işleminin gerçekleştirilmesi tavsiye edilmez. Alüminyum malzeme kaynak işlemi için pulse özelliğine sahip cihazlar tercih edilmeli ve uygun pulse frekansları seçilerek kaynak işlemi başlatılmalıdır.
- Bu çalışma kapsamında oluşturulan bütün kaynaklı birleştirmelerin test sonuçları ISO 15614-2 standardına göre değerlendirildiğinde, 4 numaralı numune hariç diğer tüm numunelerin kaynak parametrelerinin, kaynaklı birleştirme işlemi için uygun olduğu görülebilmektedir.

Son olarak bu çalışma sonucunda MIG kaynak yöntemi ile AlMg5 kaynak teli ve II grubu koruyucu gaz kullanılarak EN 6061 T6 kalite alüminyum malzeme uygun parametreler ile başarılı bir şekilde kaynaklanabilir. Kaynağın mekanik özelliklerinde ve kaynak dikişinin görsel özelliklerinde bazı kaynak parametreleri belirgin şekilde rol oynayarak değişkenliklere sebep olurken, bazı parametreler ise kayda değer farklılıklara sebep olmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Mathers, G., (2002), *The Welding of Aluminium and Its Alloys*, Woodhead Inc.
- [2] Davis, J. R., (1993), *Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM Specialty Handbook.
- [3] GSI, SLV., (2013), *Malzemeler ve Kaynak Esnasındaki Davranışları*, ODTÜ Yayınları.
- [4] Erşen, N., Karakuş, S., (1986), *Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı*, Ankara Yayınevi.
- [5] Anık, S., (1960), *Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı*, G.T.Ü. Matbaası.
- [6] Kou, S., (1987), *Welding Metallurgy*, John Willey Publishing Limited.
- [7] Burkin, A. R., (1987), *Production of Aluminium and Alumina*, John Wiley Inc.
- [8] Smith, W. F., (1996), *Principles of Materials Science and Engineering*, Mc Graw-Hill Inc.
- [9] TSE, Türk Standartları Enstitüsü., *Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları-Biçimlendirilebilen Mamullerin Kimyasal Bileşim ve Şekli- Bölüm 1: Sayısal Kısa Gösteriliş Sistemi*, Kabul 08.12.2022, TS EN 573-1.
- [10] TSE, Türk Standartları Enstitüsü., *Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları-Biçimlendirilebilen Mamullerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli- Bölüm 2: Kimyasal Sembol Esaslı Kısa Gösteriliş Sistemi*, Kabul 16.03.2004, TS EN 573-2.
- [11] Griffing, L., (1972), *Welding Handbook, Section Four: Metals and Their Weldability*, American Welding Society Inc.
- [12] Griffing, L., (1972), *Welding Handbook, Section Four: Metals and Their Weldability*, American Welding Society Inc.
- [13] Özeşer, Z., Meydanoğlu, O., Işıksaçan, C., Çöl, M., (2019), Ara Tav İşleminin İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği ile Üretilen 6000 Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Etkisi, 9. Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, 103-106.
- [14] Büyükakkaş, F., (2001), *Çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımlı alüminyum levhalarda proses parametrelerinin özelliklere etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [15] Tülbentçi, K., Kalun, E., Sarı, N.Y., (1997), *MIG-MAG Ergiyen Elektrod ile Gazaltı Kaynak Yöntemi-Seminer Notları*, Kocaeli Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi Eēitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli.
- [16] Patterson, A., Mahin, W., (1990), *Weldability of Materials*, Materials Park Publishing Limited.
- [17] TSE, Türk Standartları Enstitüsü., *Kaynak ve İlgili İşlemeler- Metal Kaynak İşlemlerinin Tarifleri*, Kabul 23.11.2006, TS EN 14610.
- [18] TSE, Türk Standartları Enstitüsü., *Kaynak ve Kaynakla İlgili İşlemler- İşlemlerin Adlandırılması ve Referans Numaralar*, Kabul 24.04.2023, TS EN ISO 4063.
- [19] Eryürek, B., (1998), *Gazaltı MIG/MAG Kaynaēı*, Kaynak Tekniēi Sanayi ve Ticaret A.ř. Yayınları.
- [20] Endlich, W., (1980), *Kleb- und Dichtstoffe in der modernen Technik*, W. Girardet Verlag.
- [21] GSI, SLV., (2019), *Kaynak Mhendisliēi Eēitim Notları*, Ortadoēu Teknik Üniversitesi Yayınları.
- [22] Bray, E., McBride M., (1992), *Nondestructive testing Techniques*, A Willey Inc.
- [23] Url-1 <https://www.teyuchiller.com/tr/what-will-happen-if-the-water-of-spot-welding-machine-water-chiller-unit-becomes-hot_n939>, erişim tarihi: 08.09.2023
- [24] Url-2 <<https://nezirogluhirdavat.com/products/su-sogutma-unitesi-opsiyonel>>, erişim tarihi:13.09.2023
- [25] Ertürk, İ., *Gazaltı Kaynak Yöntemleri*, Kaynak Tekniēi Sanayi ve Ticaret A.ř. Yayınları.
- [26] Lucas, W., (1992), *Shielding Gases for Ark Welding*, Welding and Metal Fabrication Inc.
- [27] Tülbentçi, K., (1998), *MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi*, Artech A.ř. Yayınları.
- [28] TSE, Türk Standartları Enstitüsü., *Metalik Malzemeler için Kaynak Prosedürlerinin şartnamesi ve Vasıflandırılması – Kaynak Prosedürü Deneyi – Bölüm 2: Alüminyum ve Alaşımlarının Ark Kaynaēı*, Kabul 27.03.2007, TS EN ISO 15614-2.
- [29] TSE, Türk Standartları Enstitüsü., *Kaynak – Alüminyum ve Alaşımlarında Ark Kaynaklı Birleştirmeler – Dzgnszlkler için Kalite Seviyeleri*, Kabul 19.11.2018, TS EN ISO 10042.