

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

**METAL MALZEMELERİN ARA TABAKA KULLANILARAK SÜRTÜNME  
KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali ERDOĞAN (132107103)**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Çelik**

**NİSAN-2015**

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

**METAL MALZEMELERİN ARA TABAKA KULLANILARAK SÜRTÜNME  
KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ali ERDOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Bu tez 27 /04/2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

**İmza:.....**

**İmza:.....**

**İmza:.....**

Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK  
(T.Ü)

Prof. Dr. Sedat KOLUKISA  
(T.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ  
(F.Ü)

**DANIŞMAN**

**ÜYE**

**ÜYE**

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah DİKİCİ

Enstitü Müdürü

İmza ve Mühür

Bu çalışma, Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

**Proje No:** YLTUB014-03

**NOT:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"ndaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Bu çalışmada metal malzemelerin ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması incelenmiştir. Sürtünme kaynağında Ti6Al4V ile AISI 310,AISI304, AISI316,AISI316Ti, AISI316L, AISI430, İnconel600 numuneler kaynak edilmiştir. Kaynaklı numunelere mekanik ve metalurjik incelemeler yapılmıştır. Kaynaklı numunelere çekme testi, mikro sertlik, Optik mikroskobu, SEM, analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan sürtünme kaynağı çalışmaları başarılı sonuç vermiştir.

**Anahtar Kelimeler;** Sürtünme kaynağı, ara tabaka, Ti6Al4V,metal tozu

## **ABSTRACT**

### **Investigation of Metal Materials Bonding by Friction Welding by Using Interlayer**

The present study to investigate the joining by friction welding of metallic materials using the intermediate layer. Friction welding Ti6Al4V with AISI 310, AISI 304, 316, aisi316t of AISI 316L, AISI 430, Inconel 600 samples were resource. Welded samples were performed mechanical and metallurgical studies. Welded tensile test specimens, micro hardness, optical microscopy, SEM analyzes were performed. As a result, friction welding work performed was successful.

**Key Words;** Friction Welding, Interlayer, Ti6Al4V, Metal powder.

## **TEŐEKKÖRLER**

Bu yüksek lisan tezin hazırlanmasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Çelik başta olmak üzere, deneysel çalışmalarında yardımcı esirgemeyen Tunceli Üniversitesi Öğr. Gör Ali Kemal Aslan'a ve Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü asistanlarına teşekkür ederim.

**Ali Erdoğan**

**TUNCELİ – 2015**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

<b>ÖZET</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>TEŞEKKÜRLER</b> .....	<b>III</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>IV</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>XII</b>
<b>RESİMLER LİSTESİ</b> .....	<b>XIII</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Kaynaklı Birleştirme Yöntemleri.....	2
1.2.1. Ergitmeli Kaynak Yöntemleri .....	4
1.2.1.1. Oksi-Gaz Kaynağı.....	4
1.2.1.2. Elektrik Ark Kaynağı.....	5
1.2.1.3. Özlü Telle Ark Kaynağı.....	6
1.2.1.4. Gaz Altı Kaynağı .....	6
1.2.1.5. Toz Altı Kaynağı.....	7
1.2.1.6. Elektrik Direnç Kaynağı .....	7
1.2.1.7. Elektron Işın Kaynağı .....	8
1.2.1.8. Plazma Kaynağı .....	9
1.2.1.9. Lazer Işın Kaynağı.....	10
1.2.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri.....	10
1.2.2.1. Ultrasonik Kaynak Yöntemi .....	11
1.2.2.2. Difüzyon Kaynak Yöntemi .....	12
1.2.2.3. Patlamalı Kaynak Yöntemi .....	12
1.2.2.4. Soğuk Basınç Kaynağı.....	13
1.2.2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi .....	14
1.3. Sürtünme Kaynağı .....	15
1.3.1. Sürtünme Kaynağı İşlem Basamakları.....	16
1.3.2. Sürtünme Kaynağı Çeşitleri .....	17
1.3.2.1. Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı .....	18
1.3.2.2. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı .....	19
1.3.2.4. Lineer Sürtünme Kaynağı.....	21
1.3.2.5. Orbital Sürtünme Kaynağı .....	22

1.3.4.	Sürtünme Kaynak Parametreleri .....	22
1.3.4.1.	Çevresel Hız .....	22
1.3.4.2.	Sürtünme Basınç Kuvveti .....	23
1.3.4.3.	Sürtünme Süresi .....	23
1.3.4.4.	Yığma süresi .....	24
1.3.4.5.	Yığma Basınç Kuvveti .....	24
1.3.5.	Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinde Oluşan Fazlar .....	25
1.3.6.	Sürtünme Kaynağı İle Yapılabilen Parça Geometrileri .....	26
1.3.7.	Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilen Malzemeler .....	26
1.3.8.	Sürtünme Kaynağının Uygulanma Alanları.....	29
1.3.9.	Sürtünme Kaynağı Avantajları ve Dezavantajları .....	32
1.3.9.1.	Sürtünme Kaynağı Avantajları .....	32
1.3.9.2.	Sürtünme Kaynağı Dezavantajları .....	33
1.4.	Titanyum ve Titanyum Alaşımları .....	33
1.4.1.	Titanyum Alaşımların Özellikleri ve Kullanım Yerleri .....	34
1.4.1.1.	Ticari Olarak Saf Titanyum.....	34
1.4.1.2.	Alfa Titanyum Alaşımları .....	34
1.4.1.3.	Alfa-Beta Titanyum Alaşımları .....	34
1.4.1.4.	Orta Kararlı Beta Titanyum Alaşımları.....	35
1.4.2.	Titanyum ve Titanyum Alaşımların Kaynak Metalürjisi .....	35
1.5.	Paslanmaz Çelikler.....	36
1.5.1.	Feritik Paslanmaz Çelikler.....	36
1.5.2.	Ostenitik Paslanmaz Çelikler .....	38
1.5.3.	Martenzitik Paslanmaz Çelikler .....	40
1.5.4.	Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler.....	41
1.5.5.	Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler.....	42
1.6.	Titanyum ve Alaşımlarının Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmesi Yapılan Çalışmalar .....	42
<b>2.</b>	<b>MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>52</b>
2.1.	Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	52
2.2.	Deneyde Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinesi.....	54
2.2.1.	Tahrik Bölgesi.....	54
2.2.2.	Hareketli Bölge .....	55
2.2.3.	Hidrolik Sistem .....	56
2.2.4.	Güç Ünitesi .....	56

2.2.5.	Kontrol Ünitesi.....	57
2.3.	Kaynak Yapılacak Numunelerinin Hazırlanması.....	58
2.4.	Sürtünme Kaynağı İşlemi ve Parametreleri .....	59
2.5.	Metalografik İncelemeler .....	61
2.5.1.	Mikro Yapı İncelemeleri.....	62
2.6.	Mikro Sertlik İncelemeleri.....	63
2.7.	Çekme Deneyleri.....	64
2.8.	SEM VE EDX İncelemeleri .....	65
<b>3.</b>	<b>BULGULAR</b> .....	<b>66</b>
3.1.	AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Makro Yapı İncelemeleri .....	66
3.2.	AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri .....	67
3.3.	AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Sonuçları .....	70
3.4.	AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları .....	72
3.5.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonuçları .....	74
3.5.1.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri .....	74
3.5.2.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri.....	74
3.5.3.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği .....	76
3.5.4.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu.....	76
3.6.	AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonucu .....	77
3.6.1.	AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı Sonucu .....	77
3.6.2.	AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri.....	78
3.6.3.	AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği .....	79
3.6.4.	AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu.....	80
3.7.	AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin	



	Mekanik ve Metalürjik Sonuçları .....	82
3.7.1.	AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri .....	82
3.7.2.	AISI 430-Ti6Al4V –Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Mikro Yapı İncelemeleri .....	82
3.7.3.	AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği .....	83
3.7.4.	AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu.....	84
3.8.	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonuçları .....	85
3.8.1.	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri .....	85
3.8.2.	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelmeleri.....	85
3.8.3.	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği .....	86
3.8.4.	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu .....	87
3.9.	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonuçları.....	89
3.9.1.	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri .....	89
3.9.2.	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri .....	89
3.9.3.	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği .....	90
3.9.4.	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu .....	91
3.10.	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Makro Yapı İncelemeleri .....	92
3.11.	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Yapı İncelmeleri.....	93
3.12.	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Grafikleri .....	94
3.13.	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları .....	95
3.14.	SEM ve EDX Sonuçları .....	97
3.14.1.	AISI 316-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin	

	SEM ve EDX Sonuçları .....	97
3.14.2.	AISI 316-Ti6Al4V-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX sonuçları .....	99
3.14.4.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX Sonuçları .....	103
3.14.5.	AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen SEM Ve EDX Sonuçları .....	105
3.14.6.	AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX Sonuçları .....	107
3.14.9.	Inconel600-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Ve EDX Sonuçları .....	112
<b>4.</b>	<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>117</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>120</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>124</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

## Sayfa No

Şekil 1.1.	Kaynak yöntemleri.....	3
Şekil 1.2.	Oksi-Gaz kaynağı.....	5
Şekil 1.3.	Elektrik ark kaynağı.....	5
Şekil 1.4.	Gazaltı kaynağı .....	6
Şekil 1.5.	Elektron ışın kaynağı .....	9
Şekil 1.6.	Plazma kaynağı .....	9
Şekil 1.7	Lazer ışın kaynağı .....	10
Şekil 1.8.	Difüzyon kaynağı.....	12
Şekil 1.9	Patlamalı kaynak yöntemi.....	13
Şekil 1.10.	Sürtünme karıştırma kaynağı işlem prensibi.....	15
Şekil 1.11.	Sürtünme kaynağı .....	16
Şekil 1.12.	Sürtünme kaynağı işlem basamakları .....	17
Şekil 1.13.	Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı.....	18
Şekil 1.14.	Sürekli tahrikli sürtünme kaynağını zamana göre sürtünme parametreleri.....	19
Şekil 1.15.	Volan tahrikli sürtünme kaynağı.....	19
Şekli 1.16.	Volan tahrikli sürtünme kaynağı zamana göre parametre.....	20
Şekil 1.17.	Kombine sürtünme kaynağı .....	21
Şekil 1.18	Kombine sürtünme kaynağını zamana göre parametreleri.....	21
Şekil 1.19.	Sürtünme kaynağı ile yapılan parça geometriler .....	26
Şekil 1.20	Sürtünme kaynağını uygulamaları .....	29
Şekil 2.1.	Sürtünme kaynak makinesi tahrik bölgesi tasarımı.....	55
Şekil 2.2.	Hareketli bölge.....	56
Şekil 2.3.	Sürtünme kaynağına hazırlanmış numune .....	59
Şekil 2.4.	Çekme numunesi teknik resmi .....	64
Şekil 3.1.	AISI 316 Ti6Al4V- Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro sertlik grafikleri .....	71
Şekil 3.2.	AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme deneyi grafiği.....	72
Şekil 3.3.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği.....	76
Şekil 3.4.	AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği .....	77

<b>Şekil 3.5.</b>	AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği.....	80
<b>Şekil 3.6.</b>	AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği.....	81
<b>Şekil 3.7.</b>	AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği.....	83
<b>Şekil 3.8.</b>	AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği.....	84
<b>Şekil 3.9.</b>	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği.....	87
<b>Şekil 3.10.</b>	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği.....	86
<b>Şekil 3.11.</b>	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği.....	91
<b>Şekil 3.12.</b>	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği.....	92
<b>Şekil 3.13.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro sertlik grafikleri.....	95
<b>Şekil 3.14.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme deneyi grafiği.....	96
<b>Şekil 3.15.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	98
<b>Şekil 3.16.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	100
<b>Şekil 3.17.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin edx sonuçları.....	102
<b>Şekil 3.18.</b>	AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	104
<b>Şekil 3.19.</b>	AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	106
<b>Şekil 3.20.</b>	AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	108
<b>Şekil 3.21.</b>	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	110
<b>Şekil 3.22.</b>	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	112

<b>Şekil 3.23.</b> İnconel600-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları .....	114
<b>Şekil 3.24.</b> İnconel600-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları.....	116

## TABLULAR LİSTESİ

## Sayfa No

<b>Tablo 1.1.</b> Malzemelere göre optimum kaynak parametreleri .....	25
<b>Tablo 2.1.</b> Ti6Al4V kimyasal özellikleri .....	52
<b>Tablo 2.2.</b> Paslanmaz çeliklerin kimyasal özellikleri.....	52
<b>Tablo 2.3.</b> İnconel600'ün kimyasal özellikleri.....	53
<b>Tablo 2.4.</b> Ti6Al4V mekanik özellikleri .....	53
<b>Tablo 2.5.</b> Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri .....	53
<b>Tablo 2.6.</b> İnconel600 mekanik özellikleri.....	53
<b>Tablo 2.7.</b> Bakır-Nikel-Mx1480 tozlarının mekanik özellikleri .....	54
<b>Tablo 2.8.</b> Numunelerin kaynak işlemi parametreleri.....	61
<b>Tablo 2.9.</b> Kullanılan dağlayıcılar .....	62

## RESİMLER LİSTESİ

## Sayfa No

<b>Resim 1.1</b>	Toz altı kaynağı .....	7
<b>Resim 1.2.</b>	Elektrik direnç kaynağı.....	8
<b>Resim 1.3.</b>	Ultrasonik kaynak makinesi .....	11
<b>Resim 1.4.</b>	Patlamalı kaynak mikro yapı görüntüsü .....	13
<b>Resim 1.5.</b>	Soğuk basınç kaynağı .....	14
<b>Resim 1.6.</b>	Sürtünme kaynak makinesi.....	18
<b>Resim 1.7.</b>	Hidrolik silindir .....	30
<b>Resim 1.8.</b>	Sürtünme kaynağının otomotiv endüstrisindeki uygulaması.....	30
<b>Resim 1.9.</b>	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş küme dişli parçası.....	31
<b>Resim 1.10.</b>	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş matkap ucu .....	31
<b>Resim 1.11.</b>	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş elektrik konektörler ve geçiş bağlantıları .....	32
<b>Resim 2.1.</b>	Deneyde kullanılan sürtünme kaynak cihazı .....	54
<b>Resim 2.2.</b>	Hidrolik güç ünitesi .....	57
<b>Resim 2.3.</b>	Elektrik panosu ve kontrol ünitesi .....	58
<b>Resim 2.4.</b>	Kesme cihazı.....	59
<b>Resim 2.5.</b>	Numunelerin kaynak cihazına bağlama.....	60
<b>Resim 2.6.</b>	Numunelerin kaynak işlemi sonrası.....	60
<b>Resim 2.7.</b>	Bakalite alınmış numune .....	62
<b>Resim 2.8.</b>	Optik mikroskop .....	63
<b>Resim 2.9.</b>	Mikrosertlik cihazı.....	63
<b>Resim 2.10.</b>	Çekme cihazı .....	65
<b>Resim 3.1.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin makro yapı resmi .....	67
<b>Resim 3.2.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen mikro yapı resimleri .....	68
<b>Resim 3.3.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen mikro yapı resimleri .....	69
<b>Resim 3.4.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen mikro yapı resimleri .....	70
<b>Resim 3.5.</b>	AISI 316 çekme işlemi sonrası fotoğrafları.....	73
<b>Resim 3.6.</b>	AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resmi .....	74

<b>Resim 3.7.</b>	AISI 304-Ti6Al4 V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resmi .....	75
<b>Resim 3.8.</b>	AISI 304 çekme işlemi sonrası fotoğrafları .....	77
<b>Resim 3.9.</b>	AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resmi .....	78
<b>Resim 3.10.</b>	AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resmi .....	79
<b>Resim 3.11</b>	AISI 310'nun çekme işlemi sonrası fotoğrafları.....	81
<b>Resim 3.12.</b>	AIS 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resimleri .....	82
<b>Resim 3.13.</b>	AISI 430 -Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro yapı resimleri.....	83
<b>Resim 3.14.</b>	AISI 430'un çekme işlemi sonrası fotoğrafları.....	84
<b>Resim 3.15.</b>	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resimleri .....	85
<b>Resim 3.16.</b>	AISI 316L-Ti6Al4V- ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resimleri .....	86
<b>Resim 3.17.</b>	AISI 316L'nin çekme işlemi sonrası fotoğrafları .....	88
<b>Resim 3.18.</b>	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resimleri .....	89
<b>Resim 3.19.</b>	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resimleri.....	90
<b>Resim 3.20.</b>	AISI 316Ti'nin çekme işlemi sonrası fotoğrafları .....	92
<b>Resim 3.21.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Makro Yapı Resimleri .....	93
<b>Resim 3.22.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro yapı resimleri.....	93
<b>Resim 3.23.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro yapı resimleri.....	94
<b>Resim 3.24.</b>	İnconel600'ün çekme işlemi sonrası fotoğrafları.....	96
<b>Resim 3.25.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Cu Ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	97
<b>Resim 3.26.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	99
<b>Resim 3.27.</b>	AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	101



<b>Resim 3.28.</b>	AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	103
<b>Resim 3.29.</b>	AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	105
<b>Resim 3.30.</b>	AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafları.....	107
<b>Resim 3.31.</b>	AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	109
<b>Resim 3.32.</b>	AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı .....	111
<b>Resim 3.33.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafları.....	113
<b>Resim 3.34.</b>	İnconel600-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafları.....	115

## SEMBOLLER LİSTESİ

<b>Semboller</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Fe</b>	Demir
<b>Cu</b>	Bakır
<b>Ni</b>	Nikel
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>Cr</b>	Krom
<b>C</b>	Karbon
<b>Mo</b>	Molibden
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>Nb</b>	Niobyum
<b><math>\alpha</math>-<math>\beta</math></b>	Alfa –beta fazları

### **Kısaltmalar**

<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute
<b>EDAX</b>	Energy-dispersive X-ray spectroscopy
<b>EDS</b>	Enerji Dağılım Spektrometresi
<b>ETİAL</b>	Eti Aliminyum
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscopes
<b>EPMA</b>	Electron Probe Microanalyzer
<b>XRD</b>	X-ray Diffraction
<b>MIG</b>	Soygaz altında ergiyen elektrotla kaynak
<b>MAG</b>	CO <sub>2</sub> atmosfer altında ergiyen elektrotla kaynak
<b>TIG</b>	Ergimeyen bir elektrotla yapılan ark kaynağı
<b>ITAB</b>	Isı Tesiri Altındaki Bölge
<b>SDH</b>	Sıkı düzen hegzagonal
<b>HMK</b>	Hacim merkezli kübik

## 1. GİRİŞ

Sürtünme kaynağı katı hal kaynak yöntemleri arasında endüstride sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Sürtünme kaynağı teknolojisi sürekli gelişim gösteren dünyada birçok ülkesinde endüstrisinde uygulama alanı bulmuş ticari ve ekonomik bir yöntemdir. Malzemelerin kaynak edilmesinde kullanılan enerji kaynaklarından biriside sürtünme enerjisidir. Sürtünme enerjisinin kaynak yöntemine uygulanması 15 yy. kadar gitmektedir. Sürtünme kaynağı ile ilgili ilk patent 1981 de Amerikan makinist J.H. Bevington tarafından alınmıştır. Bevington sürtünme ısısından yararlanarak boruların kaynağını yapmıştır. 1924 yılında W.Richter İngiltere'de H. Klopstock Sovyetler Birliğinde paten almıştır. 1941 yılında A.R Nealsonds ve H. Klopstock silindirile parçaların sürtünme kaynağı için birer patent almışlardır. Ayrıca II. Dünya savaşında Almanya'da ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağında sürtünme kaynağı kullanılmıştır. Bu yöntem halen günümüzde sıkça kullanılmakta olup, geliştirilmektedir. Farklı çeşitlerde sürtünme kaynak makinesi vardır. Bunlar lineer sürtünme kaynak makinesi, orbital sürtünme kaynak makinesi, sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi, volan tahrikli sürtünme kaynak makinesi ve kombine sürtünme kaynak makinesi olmak üzere 5 çeşittir. Sürtünme kaynak makinesinin birçok avantajları vardır. En önemli avantajları ise; farklı yapıdaki malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlar ayrıca kaynak işlemi öncesinde kaynak temizliğine gerek yoktur. Titanyum ve alaşımlarının Titanyumun düşük özgül ağırlığı (4,51 g/cm<sup>3</sup>), mükemmel korozyon dayanımı ve yüksek kuvvet/kütle oranı olması kullanım alanını genişletmiştir. Titanyum ve alaşımları endüstride uygulama alanı çok geniştir. Özellikle uzay ve gaz türbin endüstrisinde uygulanmaktadır. Bu yüzden titanyum ve alaşımlarının kaynak işlemleri büyük öneme sahiptir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde titanyum malzemelerin kendi aralarında birleştirme işleminde bir sakınca yok iken ama farklı malzemeler ile kaynak edilirken sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için ve kaynak işleminin yapılabilmesi için birkaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerinden biriside ara tabaka kullanılarak malzemelerin kaynak işleminin yapılmasıdır. Bu işlem iki farklı malzemenin arasına farklı bir malzeme koyarak yapılan birleştirme yöntemidir. Ara tabaka bu iki malzeme arasında bağlayıcı bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu yöntem sürtünme kaynak makinesinde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında endüstride çoğunlukla kullanılan bir malzeme olan Ti6Al4V alaşımının AISI 304, 310, 316, 316L, 316Ti, 430 ve inconel 600 malzemeleri özel olarak yapılmış ve tüm kaynak parametrelerinin PLC Otomasyon sistemi ile kontrol edilebildiği oldukça hassas çalışan doğrudan tahrikli bir sürtünme kaynak makinesi kullanılarak birleştirilmiştir. Yapılan ön çalışmalarda ara malzeme kullanılmadan birçok deneme yapılmış fakat başarılı bir birleştirme elde edilememiştir. Bu nedenle ara tabaka kullanılarak Ti6Al4V alaşımının kaynak edilebilme kabiliyeti incelenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan ara tabaka katı bir kütle halinde değil toz halinde Ti6Al4V alaşımına kaynak edilecek parça alın yüzeyine açılan 4 mm çapında bir deliğin içine doldurularak yapılmış ve başarılı birleştirme sonuçları elde edilmiştir. Geleneksel ara tabaka kullanılarak yapılan birleştirme işlemlerinde öncelikle ara tabaka olarak kullanılacak olan malzeme birleştirme işlemi için kullanılacak malzeme üzerine kaynak edilir ve daha sonra bu ara tabaka malzemesinin boyu kısaltılarak diğer malzeme ile kaynak işlemi yapılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan kaynak işleminde bir parçanın en az iki sefer kaynak işlemine maruz kalması gerekmektedir. Ayrıca ara tabaka olarak kullanılan malzemenin birinci kaynak işleminden sonra tekrar boyunun kısaltılması ve alın yüzeyinin kaynak işlemi için uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada Cu, Ni ve MX1480 tozu aratabaka olarak kullanılmıştır. Kaynak işlemi esnasında punta deliği açılan malzemenin içerisine toz malzeme bırakılmış ve yapılan özel bir zımba tarafından sıkıştırılmıştır. Ayrıca kaynak makinesinde sabit olan tarafa bağlandığı için toz malzeme kaybı olmamıştır. Yapılan kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı özellikleri, çekme deneyleri, mikrosertlik ölçümü ve Elektron mikroskobu ve EDX çalışmaları yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda toz aratabaka kullanılarak Ti6AL4V alaşımının AISI 304, 310, 316, 316L, 316Ti, 430 ve inconel malzemeleri ile başarılı bir şekilde birleştirilebildiği görülmüştür(Dede vd., 2002).

### **1.1. Kaynaklı Birleştirme Yöntemleri**

Kaynak, metalik veya plastik malzemelerin ısı, basınç veya her ikisinin etkisi altında bir malzeme ilavesi ile veya ilave malzeme kullanmadan gerçekleştirilen bir kalıcı birleştirme yöntemidir. Katkı malzemesi olarak birleştirilen numunelerin aynı türden malzeme veya aynı ergime sıcaklığına sahip malzemeler kullanılır. İki metal arasında kristal yapıyı meydana getirmek ve birleşmenin sağlanabilmesi için parça malzemeleri arasında benzerlik olmalıdır. İdeal metalürjik bağın oluşa bilmesi için; absorbe edilmiş gaz,

yağ ve oksitlerden temizlen dirilmiş düz ve uyumlu yüzeyler, empürite ihtiva etmeyen metal ve tek kristalli veya benzer kristaloğrafik yapı ve yönlenmeye sahip iki metal gerekmektedir. Bu şartların laboratuvar ortamında bile sağlanması oldukça güç olup, pratik uygulamada bütünüyle gerçekleşmesi hemen hemen imkânsızdır. Bu yüzden bu güçlükleri aşabilmek için farklı türde kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme yöntemleri ikiye ayrılır; Bunlar Şekil 1.1. de gösterilmiştir. Ergitmeli kaynak yöntemi, ergitmesiz veya katı hal kaynak yöntemi diye ikiye ayrılır (Çiğdem, 2006).



Şekil 1.1. Kaynak yöntemleri

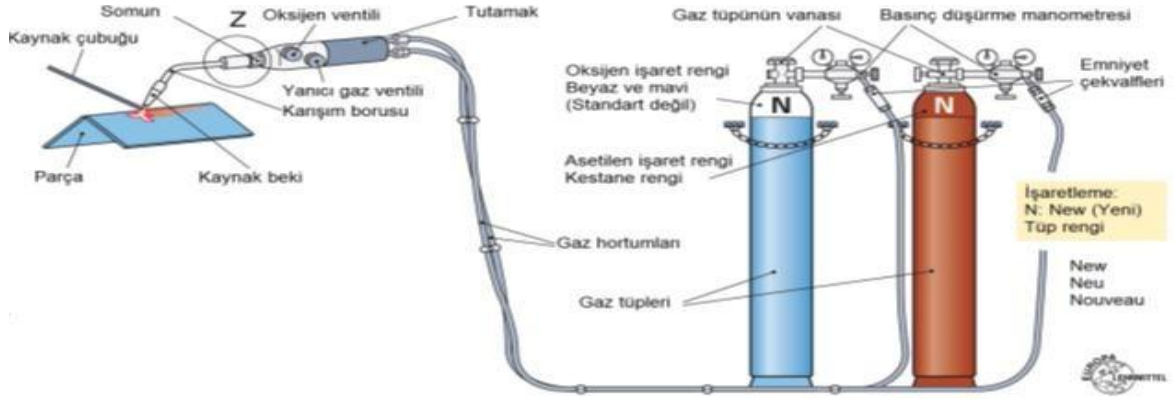
### **1.2.1. Ergitmeli Kaynak Yöntemleri**

Kaynaklanacak numunenin kaynak bölgesinin harici bir ısı kaynağı kullanılarak ergitmeyle yapılan ilave metal kullanılarak veya kullanmadan yapılan işlemdir. Ergitme için gerekli ısının uygulanma şekline, cinsine ve kaynak bölgesinin korunmasına göre aşağıdaki alt sınıflara ayrılır(Çiğdem, 2006).

- Oksi-Gaz Kaynağı
- Elektrik ark kaynak yöntemleri
- Özlü Telle Ark Kaynağı
- Gaz Altı kaynak yöntemleri
- Toz Altı kaynak yöntemleri
- Elektrik Direnç kaynak yöntemi
- Elektron ışın kaynağı yöntemi
- Plazma Kaynak Yöntemi
- Lazer kaynağı yöntemi

#### **1.2.1.1. Oksi-Gaz Kaynağı**

Oksi-gaz kaynağı malzemelerin oksijen-gaz alevi ergitilerek ek yerlerinden birleştirilmesidir. Bu kaynaktaki temel işlem prensibi; aynı tür metalleri bir alev sıcaklığı ile ergiterek ilave metal ve metalsiz yapılan bir birleştirme yöntemidir. Oksi-Gaz kaynağında yanıcı gaz olarak asetilen, propan, metan, bütan ve hidrojen gazları kullanılır. Yanıcı gaz olarak çoğunlukla asetilen gazı kullanılır. Asetilen gazının kullanılmasının nedeni; en yüksek alev gücünü vermesi ve tutuşma hızının yüksek olmasıdır. Bu kaynak yöntemi genelde ince sac kaynaklarından sızdırmazlık gereken yerler ile en fazla kalorifer boru bağlantı kaynak işleminde kullanılır(Anık,199 Gavvas vd., 2012). Şekil 1.2. şematik olarak verilmiştir(Vural, 2010).

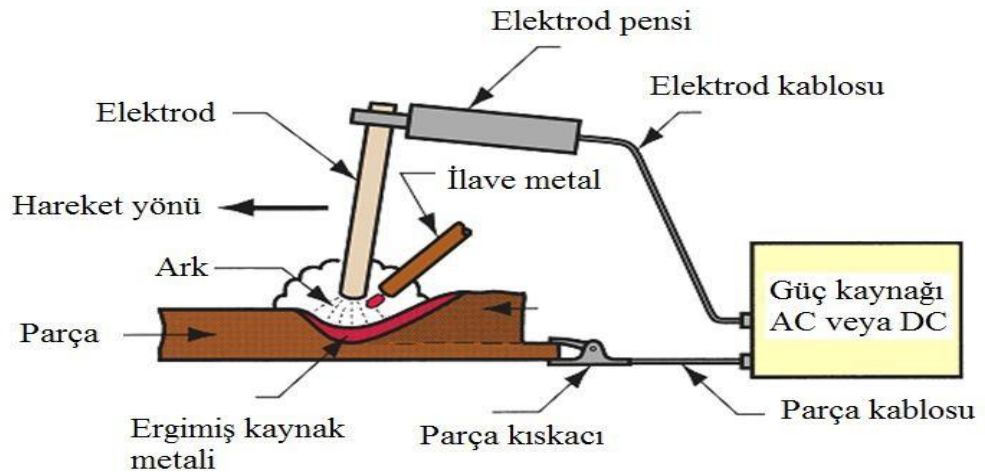


Şekil 1.2. Oksi-Gaz kaynağı (Vural, 2010)

### 1.2.1.2. Elektrik Ark Kaynağı

Kaynak birleşme çizgisinde esas metal ile elektrod ucu arasında bir ark oluşturur. Ark kaynak banyosunu yapılmak üzere esas metali ve elektrodu eritir. Kaynak banyosu elektrottaki örtü nedeniyle oluşan erimiş cüruf tabakası ve gaz tarafından korunur. Akım güç ünitesi yoluyla kontrol edilir. Kaynak işleminde hem doğru akım hem de alternatif akım kullanılır. Birleştirilecek malzemenin cinsine göre kullanılan elektrod tipleri aşağıdaki gibidir(Gourd, 1996). Şekil 1.3. şematik olarak gösterilmiştir(Vural,2010).

- Selülozik elektrod
- Asit elektrod
- Bazik elektrod
- Rutil elektrod



Şekil 1.3. Elektrik ark kaynağı (Vural, 2010)

### 1.2.1.3. Özlü Telle Ark Kaynağı

Özlü telle ark kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen bir özlü tel elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark ve kaynak bölgesini koruma işlevi özlü tel içindeki öz maddesinin yanması ve ayrışması sonucunda oluşan gazlar tarafından veya gazaltı kaynağındaki gibi dıştan beslenen bir koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir. Kendinden korumalı olan (açık-ark özlü kaynak telleri) kaynak işlemini ise daha çok örtülü elektrod kaynak yöntemindeki gaz korumasına benzer. Örtülü elektrodların üzerindeki örtü maddesi elektrodların düz çubuklar olarak üretilmesine ve boy kısıtlamasına neden olur. Özlü tellerde ise bu örtü maddesi boru şeklindeki tel elektrodun içinde olduğu için makaralara sarılı tel şeklinde üretilir ve sürekli kaynak bölgesine beslenebilir(URL-1, 2015 ).

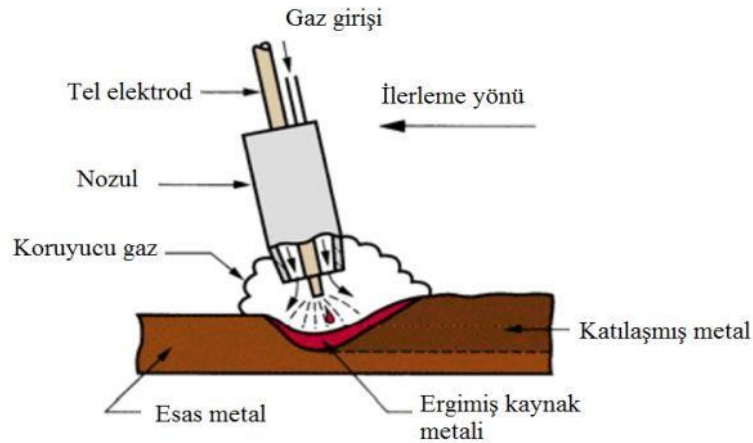
### 1.2.1.4. Gaz Altı Kaynağı

Kaynak bölgesini atmosferden korumak için koruyucu bir gaz ile birleştirme işleminin gaz altında yapıldığı özel bir ark kaynağı çeşididir. Koruyucu gaz, elektrotun oksidasyonunu engeller, arkın iletimini kolaylaştırır, atmosferik havanın ark ve kaynak banyosuna girmesini engeller. Gaz altı kaynağında arkın oluşması için kullanılan elektrot malzemesi ve koruyucu gazın cinsine göre aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir; Şekil 1.4. şematik olarak bir gazaltı kaynak yöntemi verilmiştir.

Ergimeyen bir elektrotla yapılan ark kaynağı (TIG)

Soygaz altında eriyen elektrotla kaynak (MIG)

CO2 atmosfer altında eriyen elektrotla kaynak yöntemi (MAG)(Çiğdem,2006)



Şekil 1.4. Gazaltı kaynağı (URL-2, 2015)



### 1.2.1.5. Toz Altı Kaynağı

Toz altı kaynağında ark ısı ile eriyen elektrod ile malzeme arasında gözle görülmeyecek şekilde birleştirme işlemi yapılır. Ark ve kaynak bölgesi, bir toz yığını altında bulunur. Kaynak banyosu, atmosferin etkilerinden tozun oluşturduğu cüruf tarafından korunur. Bir tel makarası tel ile tarafından sağlanan elektrod, toz yığınının içine girer. Ark, ya esas metale temas yoluyla ya da yüksek gerilim darbeleriyle tutuşturulur ve aynı anda hem esas malzemeyi, hem ilave teli hem de çevresindeki toz halindeki kaynak dekapanını eritir. Eriyen dekapan ile oluşan kaynak gazları basınçları nedeniyle arkın çevresinde bir boşluk oluşturur. Tel bu boşlukta eriri ve damlalar halinde kaynak metaline geçer. Toz dekapanın eriyen kısmı ark ilerledikçe kaynak banyosu çevresinde hemen katılarak curuf oluşturur. Erimeyen dekapan ise, belirli bir mesafe geriden kaynak kafasını takip eden bir emici hortum tarafından çekilerek toz hanesine geri doldurulur(Anık vd., 1999). Resim 1.1.'de toz altı kaynağın şeması gösterilmiştir(URL-3, 2015).

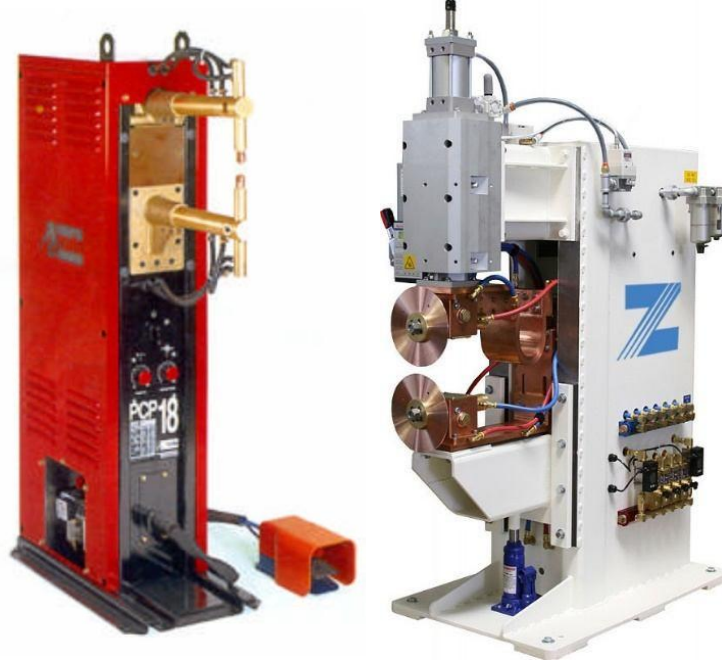


Resim 1.1 Toz altı kaynağı (URL-3, 2015)

### 1.2.1.6. Elektrik Direnç Kaynağı

Direnç kaynağında ısı ve basınç birleşmeyi sağlamak için birlikte uygulanır. Isı birleştirilecek malzemeler ve arayüzey direnci neticesi meydana gelir. Basınç, kaynak süresi boyunca değişim gösterir. Belirli miktardaki basınç başlangıçta iş numunelerin bir arada tutmak ve arayüzeydeki elektrik direncini kontrol etmek amacıyla uygulanır. Kaynak

işleminin aşamaları; parça üzerine baskı sağlanarak akım verilerek kaynak işlemi yapılır. Daha sonra akım kesilir ve boşta devam eder. Amaç soğumayı sağlamak ve kaynak işleminden sonra malzemede meydana gelecek olan çekilmeden dolayı mikro çatlakları engellemektir. Direnç kaynağı uygulama biçimine göre 3 gruba ayrılır; Nokta kaynağı, Dikiş Kaynağı, Alın kaynağı(Çiğdem, 2006). Resim 1.2.'de elektrik direnç kaynağı şeması gösterilmiştir(URL-4, 2015).

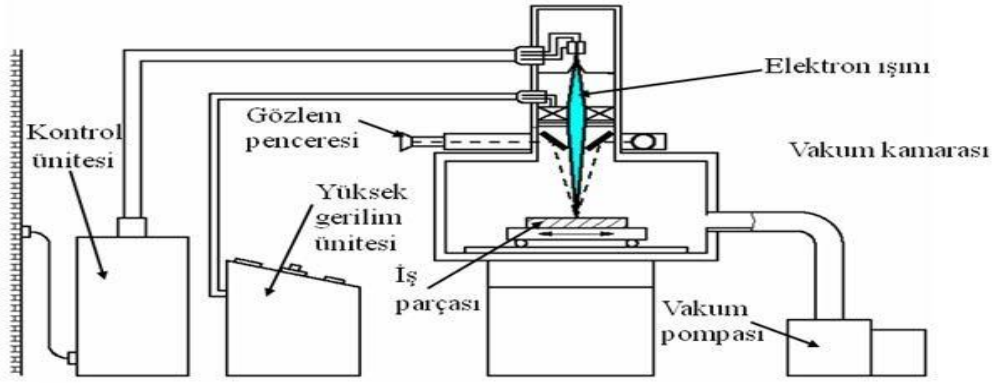


(a) Nokta Direnç Kaynağı (b) Dikiş Direnç Kaynağı

**Resim 1.2.** Elektrik direnç kaynağı (URL-4, 2015)

### 1.2.1.7 Elektron Işın Kaynağı

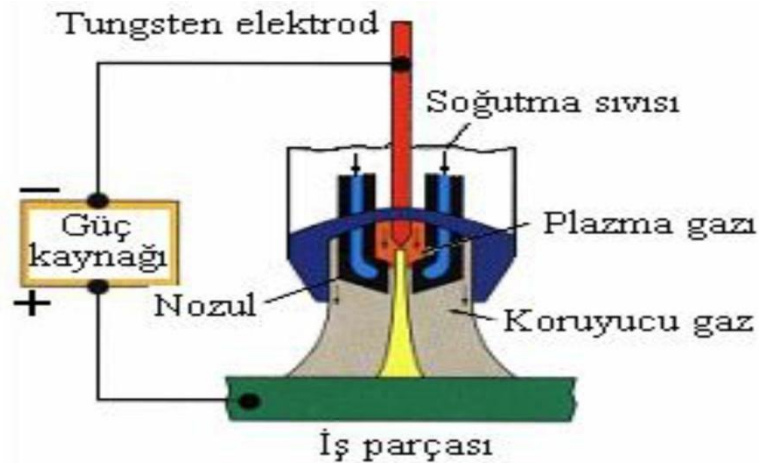
Elektron ışın kaynağı işlemi için güç kaynağı olarak vakum tüplerine benzeyen elektron tabancası kullanılır. Katot çok sayıda elektronu dışarı verir ve bu elektronlar hızlandırılarak 0.25-1 mm çapında yüksek enerji yoğunluklu bir demet şeklinde odaklanır. Elektronların kinetik enerjileri ısı enerjisiye dönüştürülerek iş parçasının ergimesi ve buharlaşması sağlanır: buhar deliğinin önündeki sıvı metal boşluğu doldurmak için akar; bu sebeple dar aralık ilave metal kullanmadan doldurulur. Gerekli görülmesi halinde ilave metal kullanılabilir. Üretim oldukça fleksibil olup kolayca adapte edilebilir. İnce ve kalın kesitler, birbirinden farklı kalınlıktaki kesitler, sertleştirilmiş veya yüksek sıcaklık malzemeleri ve aynı türden olmayan metallerin kaynağında rahatlıkla kullanılabilir(Çiğdem, 2006). Şekil 1.5. şematik olarak gösterilmiştir(URL-5, 2015).



Şekil 1.5. Elektron ışın kaynağı (URL-5, 2015)

### 1.2.1.8. Plazma Kaynağı

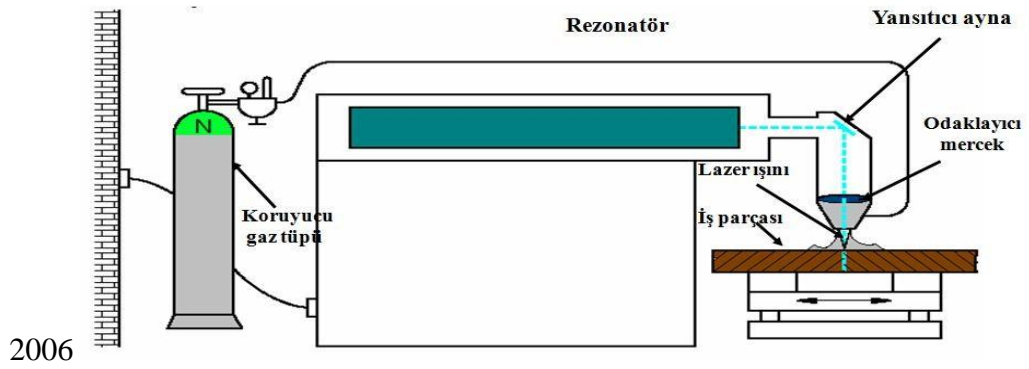
Plazma kaynak yöntemi, TIG kaynağında olduğu gibi erimeyen bir tungsten elektrot ve soy bir koruyucu gaz yardımıyla yapılır. Ancak TIĞ kaynağına göre ark, özel bir torç yapısı tarafından sınırlanmış ve büzülmüştür. Plazma kaynak donanımı, TIĞ kaynak donanımına benzer. Plazma, iyonlaştırılmış bir gaz kütesinin dar bir aralıktan geçirilerek malzeme üzerinde yüksek sıcaklıklarının oluşturduğu bir kaynak yöntemidir. Plazma arkı elektrik arkının yüksek sıcaklıkta iyonize olmasıyla elde edilir. Ark sütununun merkezindeki gaz oluşan sıcaklıklarda ayrışır ve plazma açığa çıkar. Bu gaz ark sütunundan uzağa doğru akarken nötr atomlar oluşturmak üzere yeniden birleşir ve bu sırada ortama ısı enerjisi verir. İki tür plazma kaynak çeşidi vardır; direk plazma kaynağı ve endirek plazma kaynağı olmak üzere iki çeşittir (Anık vd.,1999 Gavas vd.,2012). Şekil 1.6.'da plazma kaynağı gösterilmiştir (Asma, 2014).



Şekil 1.6. Plazma kaynağı (Asma, 2014)

### 1.2.1.9. Lazer Işın Kaynağı

Lazer ışın kaynağı yönteminde ısı kaynağı olarak santimetrekaare alan başına 10 kilovatta üzerine güç yoğunluğu sağlayan odaklanmış lazer ışınları kullanılır. Yüksek yoğunluklu ışın, sıvı havuz ile çevrelenmiş çok ince bir buharlaşmış metal kolunu üretir. Lazer ilerlerken sıvı kanal içine akarak derinlik genişlik oranı 4:1 den yüksek olan bir dikiş meydana getirir. Lazer ışın kaynağı, ilave metal kullanmadan yapılan basit ergitme kaynaklardan biri olup çok verimlidir(Çiğdem,2006). Şekil 1.7. şematik olarak gösterilmiştir(URL-6, 2015).



Şekil 1.7 Lazer ışın kaynağı (URL-6, 2015)

### 1.2.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

Katı hal kaynak yöntemleri olarak da bilinen ergitmesiz kaynak yönteminde ilave dolgu malzemesi kullanmadan ana malzemenin ergime noktasının altında temas yüzeylerinde birleşme meydana gelmektedir. Aslında kaynağı zor olan metaller ve bileşimdeki malzemeler bu tekniklerinde biri ile birleştirilebilir. Basınç ilgili tekniğinin özelliklerine göre kullanılabilir. Bu işlemler özellikle aynı ya da farklı malzemeler arasında yüksek kaliteli birleştirmeler üretmek için ya parçaların deformasyonu veya difüzyon sınırlı kapsamaktadır. Katı hal kaynak birleştirme yöntemleri aşağıda verilmiştir(Kaya, 2010).

- Ultrasonik Kaynak Yöntemi
- Difüzyon Kaynak Yöntemi
- Patlamalı Kaynak yöntemi
- Soğuk Basınç Kaynağı Yöntemi
- Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi
- Sürtünme Kaynak Yöntemi

### 1.2.2.1. Ultrasonik Kaynak Yöntemi

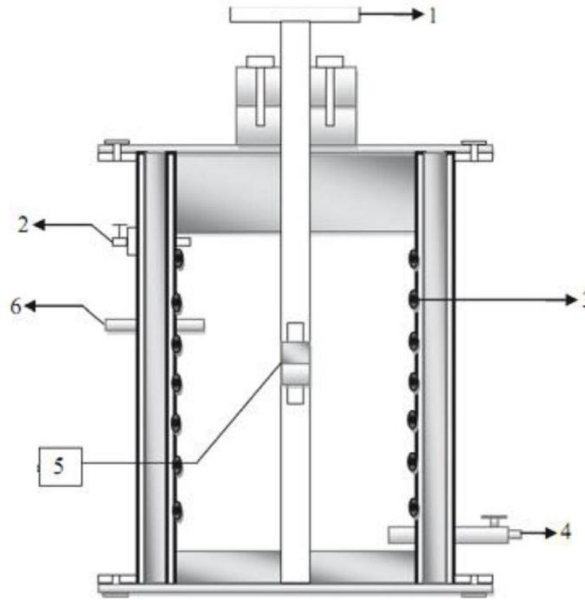
Ultrasonik kaynak yöntemi yaklaşık 30 yıllık geçmişi olan yeni ve modern bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem, kaynak süresinin kısa ve düşük maliyetli olması ve temiz kaynak yapılabilmesi nedeniyle geniş uygulama alanı sahiptir. Ultrasonik kaynak yöntemi ile metal veya metal olmayan malzemelerin birleştirilmesinde dolayı endüstride tercih edilen bir metot haline gelmiştir. Özellikle plastik malzemelerin kaynağında oldukça önemli bir kullanım alanına sahiptir. Ultrasonik kaynakta birleştirilecek parçalar, hareketli ultrasonik frekansla titreşen sonotrot olarak adlandırılan hareketli başlık ile sabit duran bir atlık arasına konur ve plastik deformasyon oluşacak kadar az bir kuvvetle ile bastırılır. Sonotrot tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üsteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak arayüzeylerinde bir sürtünme hareketi oluşturur. Ultrasonik kaynak yönteminde düşük frekans elektrik enerjisi yüksek frekanslı mekanik enerjiye dönüşmektedir. Titreşim oluşumu ses dalgalarında sağlanmaktadır. Mekanik titreşimler birleştirilecek parçaların kaynak bölgesinde kuvvetli bir iç sürtünme ve dolayısıyla anı bir ısı artışına sebep olur. Arayüzeyinde oluşan bir ısı birimiyle temas halindeki ilk temas noktalarında çok küçük bir ergimeye sebep olur. Kısa sürede oluşan ergimeye takiben parçalarda birleşme meydana gelir ve kaynak tamamlanır(Gavas vd., 2012). Resim 1.3.'de şematik olarak gösterilmiştir(URL-7, 2015).



**Resim 1.3.** Ultrasonik kaynak makinesi (URL-7, 2015)

### 1.2.2.2. Difüzyon Kaynak Yöntemi

Difüzyon kaynağı uygun şekilde hazırlanmış yüzeylerin yüksek sıcaklık ve basınç altında yeterli sürelerde birbirleri ile baskı halinde ile gerçekleştirilir. Bu yöntemde meydana gelen deformasyon miktarı sınırlı olup birleşme difüzyonla sağlanmaktadır. Difüzyon kaynağının birinci aşaması birleştirilecek parçaların genelde bir vakum ortamında ısıtılması ve basma kuvvetinin uygulanmasıdır, ikinci aşamada ise metal atomlarının bir parçadan diğerine yayılması ve kuvvetli bir bağın oluşmasıdır. Bazı hallerde, farklı metallerin birleştirilmesi ve kaynak süresinin kısaltılması için ince bir metal ara tabaka da kullanılmaktadır(Çigdem,2006). Şekil 1.8. şematik olarak gösterilmiştir(Ozan vd., 2012).



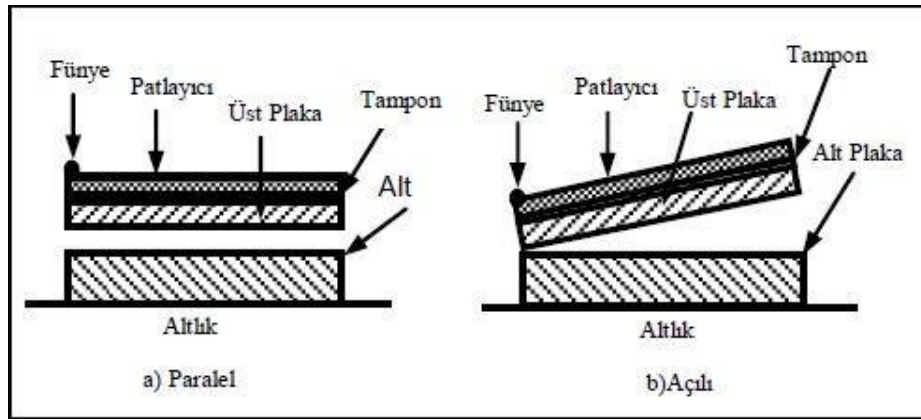
Şekil 1.8. Difüzyon kaynağı (Ozan vd., 2012)

1-Yük; 2- Argon Çıkışı; 3- Isı Bobini; 4- Argon Girişi; 5-Numuneler;6- Sıcaklık Ölçer

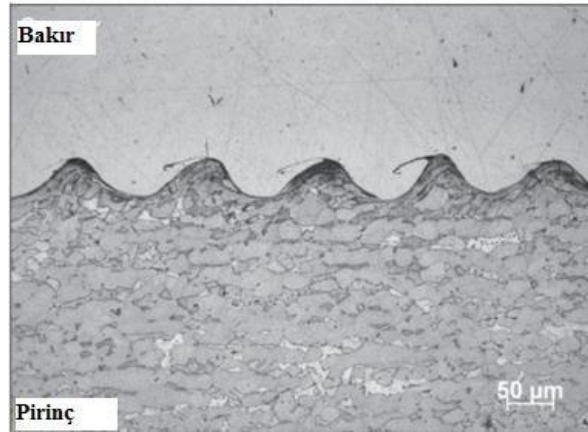
### 1.2.2.3. Patlamalı Kaynak Yöntemi

Prensip bakımından soğuk basınç kaynağına benzer. Her iki yöntemde de dikey bir basınç kuvveti teğetsel bir yükleme ile kombine şekilde etki eder. Bu durum yüksek oksit tabakasının yırtılmasına ve yüzeyin büyümesine neden olur. Gerekli yüksek basınç işlem gören parçalardan patlayıcı madde yüklü birinin patlatılması ile diğerine karşı 2 ve 25 derecelik bir açı ile ve 100- 1000 m/sn hıza kadar hızlandırılması suretiyle ortaya çıkar. Bu anda çarpma basıncı 10-100 k bara kadar çıkar. İki metal parça arasındaki metalürjik bağla elektron paylaşımı oluşturmak için patlama kuvveti oluşturulur. Patlama sırasında oluşan

ısı parçalar arsında ısı transferi için zaman kalmamaktadır. Çarpma yüzeyinde metalde bir plastik deformasyon hasıl olur ve karşılıklı yığılma ile dalgalı bir birleştirme yüzeyi meydana gelir. Birleşme mekanizması mekanik kilitlenme şeklinde olur. Yüzeydeki oksitler (oksit tabakası) birbirine çarpan levhaların arasından jet hızıyla dışarı fırlar. Patlamalı kaynak yöntemi ile nokta ve çizgisel şekilde birleştirmeler elde edilebileceği gibi, geniş levha yüzeylerinin birbirleriyle birleştirilmesi de sağlanır. Birleştirilecek yüzeylerin kir ve oksit tabakadan arındırılmış olması ve metalik temiz bir yüzeyin elde edilmesi kaynak kalitesi için çok önemlidir(Anık, 1993). Şekil 1.9. şematik olarak gösterilmiştir(URL-8, 2015). Resim 1.4.'de mikro yapı resmi gösterilmiştir(URL-9, 2015).



Şekil 1.9 Patlamalı kaynak yöntemi (URL-8, 2015)

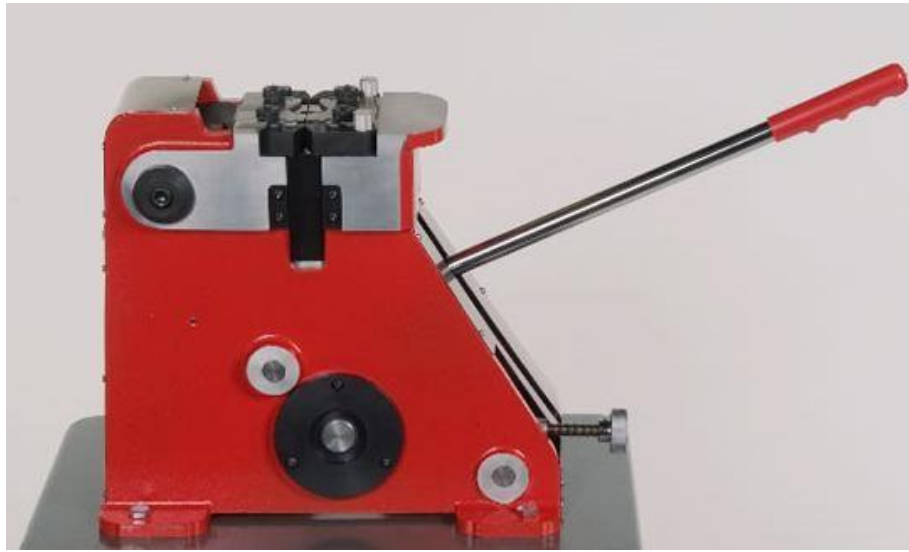


Resim 1.4. Patlamalı kaynak mikro yapı görüntüsü (URL-9, 2015)

#### 1.2.2.4. Basınç Kaynağı

Bu yöntem katı hal kaynak yöntemi olup genellikle oda sıcaklığında veya düşük sıcaklıkta ve basınç altında yapılan bir birleştirme tekniğidir. Kaynak yapılacak parçalardan ergime sıcaklığı düşük olan parçanın yeniden kristalleşme sıcaklığı bu kaynak

yönteminde uygulanacak en yüksek sıcaklık değeridir. Kaynak işlemine başlamadan önce malzemelerin yüzeylerinde bulunan yağ, oksit sülfür tabakalarının temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygun basınçla şekil değiştirmesi sağlanmalıdır. Bu şartlar sağlandıktan sonra kaynak esnasında gevrek örtü tabakası yırtılır ve serbest kalan yüzeyler birbirine değdiğinde, atomlar arası bağ kuvvetleri etkili olur ve bir bağ oluşur. Farklı şekillerde kaynak işlemi gerçekleştirilebilir; bindirme soğuk basınç kaynağı, soğuk basınç alın kaynağı, soğuk haddeleme ile kaplama, akma preslerinde soğuk basınç kaynağı, çekme işlemi ile soğuk basınç kaynağı(Gavas vd., 2012). Resim 1.5. şematik olarak gösterilmiştir(URL-10, 2015).



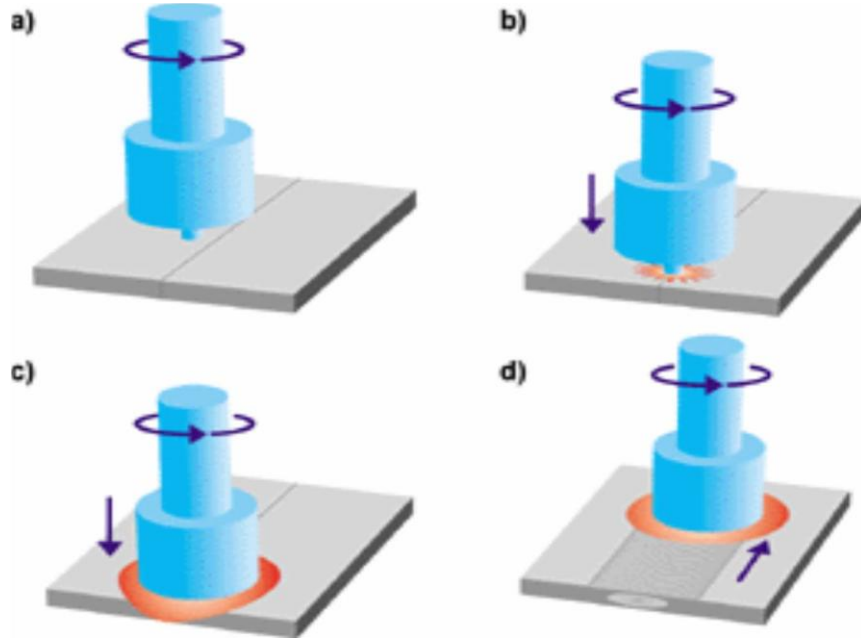
**Resim 1.5.** Soğuk basınç kaynağı (URL-10, 2015)

#### **1.2.2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi**

Sürtünme karıştırma kaynak işlem prensibi; kaynak yapılacak numunenin daha sert bir malzemeden üretilmiş sürtünme aparatının dönen ucu ile kaynaklanacak parçaların birleşme bölgesinde ısı meydana getirilmesi prensibine dayanır. Karıştırıcı uç, daha geniş çaplı bir metal gövdeye bağlı, daha küçük çaplı bir sonda olarak şekillenmiştir. Karıştırıcı uç birleşme bölgesi içine daldırıldığında geniş çaplı omuz diye tarif edilen metal kısım birleştirilecek yüzeylere önce bir temas yapar. Karıştırıcı ucun dalma derinliği kaynak nüfuziyeti miktarını belirler. Tüm katı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi sürtünme karıştırma kaynak yöntemi de uygulayabilmek için özel bir kaynak donanımına ihtiyaç vardır. Sürtünme eleman ile kaynak donanımı diğer katı hal kaynak donanımları ile karşılaştırıldığında şekil olarak bir freze tezgâhına benzemesine karşın üretim için daha



yüksek basma kuvvetleri ile daha yüksek takım dönme hızları ve özel bağlama tertibatlı tabla gerektiren daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Omzun malzemeye teması kaynak bölgesine ilave bir ısı sağlamanın yanı sıra, yumuşayan bölgeye karıştırıcı ucun kesik koni şeklindeki ucu daldırılır. Isıl olarak yumuşayan metal karıştırıcı uca doğru giderek daralan ancak üst yüzeyde omuz ile temas eden daha geniş bir görünüm arz eder. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur. Karıştırıcı uç çevresinde malzeme akışı, karıştırıcı uç arkasında ise malzeme ile dönen uç arasında izafi bir dönüş meydana gelmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı, kendi kendine oluşan bir birleştirme tekniğidir. Şekil 1.10. sürtünme karıştırma kaynağı işlem prensibi şematik olarak gösterilmiştir (Kaluç ve Taban, 2007; Yalçın, 2010).



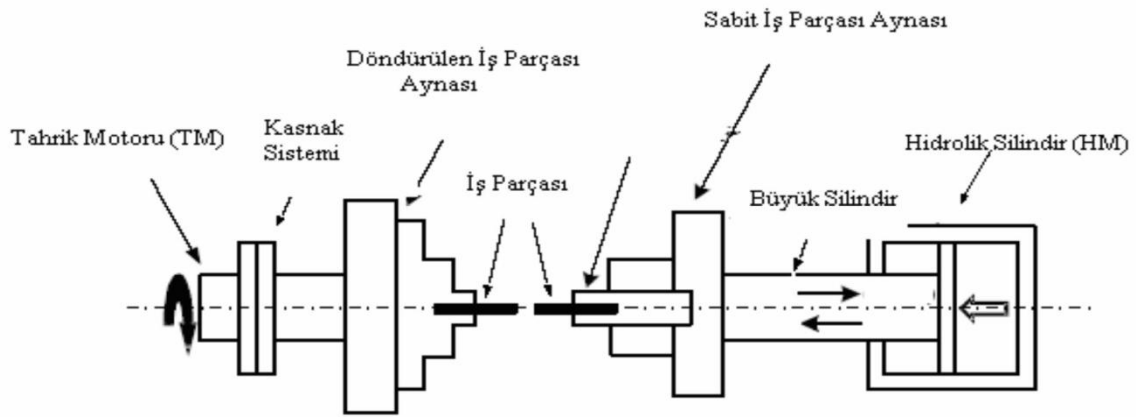
Şekil 1.10. Sürtünme karıştırma kaynağı işlem prensibi

a) SKK takımına ilk dönüş verilmesi b) SKK takımının malzemeye daldırılışı c) SKK takımının omuz kısmının plakaları ön ısıtması d) Yeterli ön ısıtmanın ardından SKK takımına ilerleme verilmesi (Yalçın, 2010)

### 1.3. . Sürtünme Kaynağı

Hiç şüphesiz katı hal kaynak alanımda en başarılı gelişme sürtünme kaynağında meydana gelmiştir. Bu yöntemde kullanılan kaynak makinesi biri motor tarafından tahrik edilen diğeri sabit olan iki ayna ile donatılmış büyük bir tornaya benzer. Birleştirilecek iki

parça aynalara bağlanır ve bunlardan biri döndürülür. Dönen ayna kaynak hızına ulaştığında parçalar hafif bir aksel yük uygulayarak temas haline getirilir. Parçaların karşılıklı yüzeyleri birbirine sürtündüğünden bu sürtünme nedeniyle üretilen ısı yerel sıcak plastik bölge oluşturur. Aksel yük etki yaptığı sürece ısının üretilmesi devam eder ve sonuçta tüm ara yüzey üniform bir sıcaklığa ulaşır. Aynı anda plastik metal çevreden dışarıya doğru bağlantı yüzeyinde oksitleri de taşıyarak akmaya başlar. Yeterli sınıma oluştuktan sonra parçaların göreceli hareketi aniden durdurulur ve aksel yük artırılır. Sonuç olarak Birleşme sağlanmış olur. Şekil 1.11. şematik olarak sürtünme kaynağı gösterilmiştir(Gorud, 1996).



Şekil 1.11. Sürtünme kaynağı(Uzun, 2007)

### 1.3.1. Sürtünme Kaynağı İşlem Basamakları

Sürtünme ısısının meydana gelebilmesi için parçalardan en az birinin hareket ettirilmesi gerekir. Kaynak esnasındaki parçaların hareket şekline göre üç farklı şekilde uygulanır ve isimlendirilirler. Sürtünme kaynağında parçaların hareketleri; parçalardan biri sabit diğeri dönmekte, her iki parça ters yönde dönmektedir, kaynaklanacak parçalar sabit olup arada bir parça dönmektedir. Hareketler sadece dairesel hareketli olabileceği gibi, hem dairesel hem de doğrusal hareketli birlikte de olabilir. Parçalar birbirine sürtünerek aralarında bir ısı açığa çıkacaktır. Kaynak işlemi esnasında ayrıca bir basınç uygulanarak sürtünme ısısı artırılmaktadır. Malzeme uygun plastikliğe geldiği zaman hareket durdurulur ve basınç yükseltilir. Böylece birleşme bölgesinde plastik yığılma meydana gelir. Parçalardan kaynaktan sonra aksel yönde bir kısalma ortaya çıkar. Birleştirme işlemi esnasında parçaların hareketi ve temel adımları ise;

Parçalar birbirlerine yaklaştırılır,

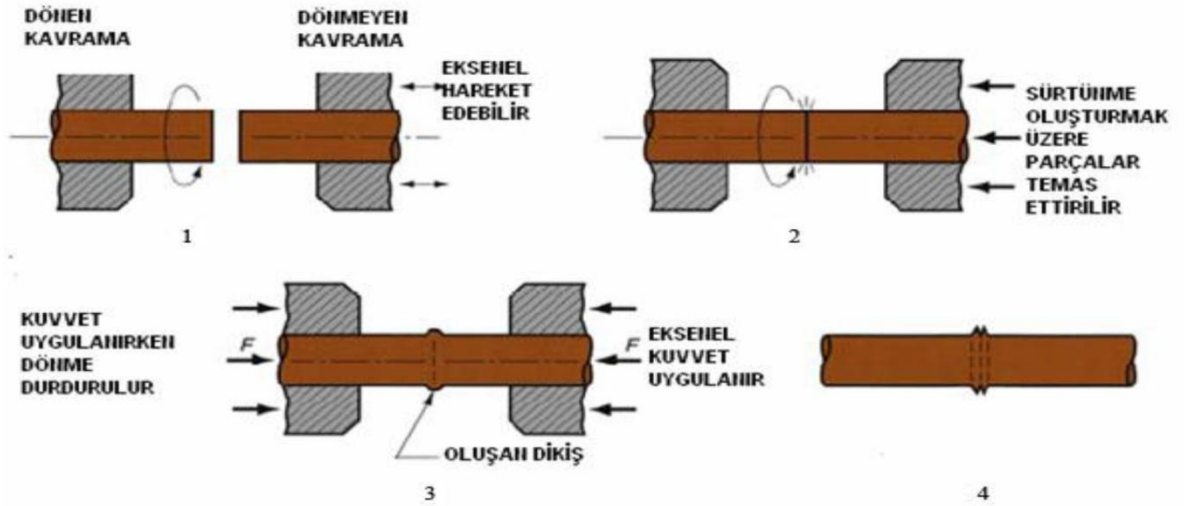
Birisi hareketli dönen diğeri sabit tutulur,

İlk basınç uygulanır ve ısı ortaya çıkar, bu durum sürtünme basıncı olarak adlandırılır.

Bir süre dönme hareketi ve basınç birlikte uygulanır, bu durum sürtünme süresi olarak adlandırılır.

Yeterli ısı oluştuğunda dönme hareketi durdurulur,

İlk basınçtan daha yüksek bir yığıma basıncı uygulanır ve parçalar birleştirilmiş olur(Gavas vd., 2012). Şekil 1.12 işlem basamakları şematik olarak gösterilmiştir(Vural, 2003).



Şekil 1.12. Sürtünme kaynağı işlem basamakları (Vural, 2003)

### 1.3.2. Sürtünme Kaynağı Çeşitleri

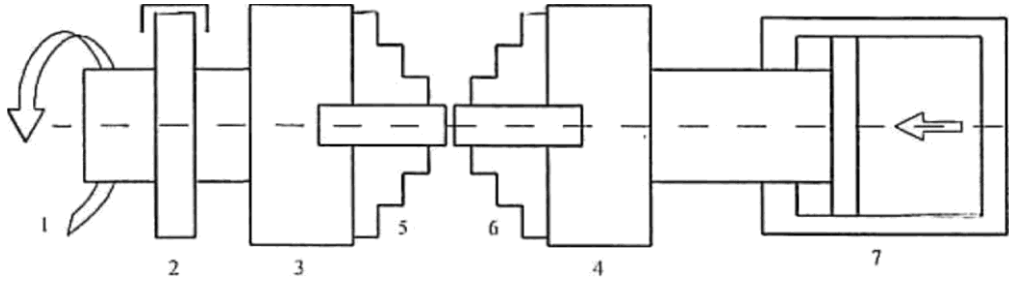
Sürtünme kaynağı gerekli mekanik enerji sağlayan kaynağa göre iki gruba ayrılır. Gelişen teknoloji ile birlikte bu iki yöntemin bir arada kullanılmasıyla birlikte kombine kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar sürekli sürtünme kaynağı, volan tahrikli sürtünme kaynağı ve kombine edilmiş sürtünme kaynağı şeklinde üçe ayrılır. Ayrıca günümüzde simetri eksenine sahip olmayan parçalarında sürtünme kaynak işlemi yapılabilmektedir ve yöntem olarak lineer sürtünme kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Resim 1.6.'de sürtünme kaynak makinesinin resim olarak verilmiştir(Uzku, 1999).



**Resim 1.6.** Sürtünme kaynak makinesi

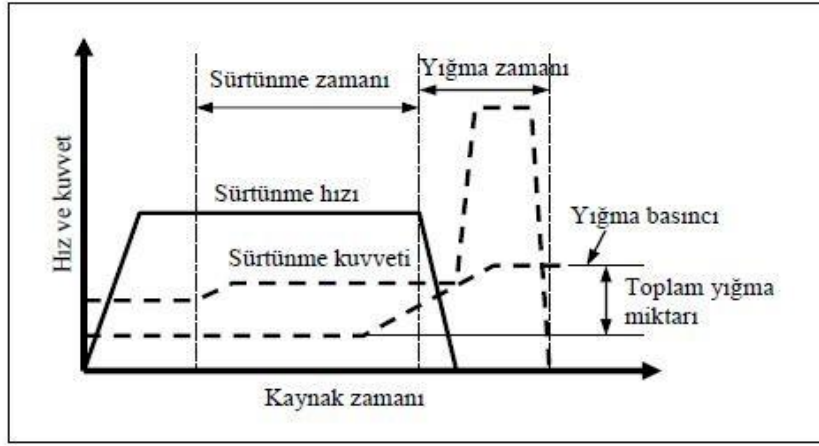
### 1.3.2.1. Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Sürtünme enerjisinin, dönme ile sürekli bir tahrik grubu tarafından sağladığı sürtünme kaynak türüdür. En önemli etkenler; devir sayısı, sürtünme kuvveti, süre ve malzeme bileşimidir. Bu yöntemde parçalardan birisine elektrik motoruyla sürekli dönme hareketi verilirken, diğeri ise hidrolik veya pinömatik olarak baskı kuvvetini sağlar. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı şematik olarak Şekil 1.13. verilmiştir. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı ısıtma ve yığıma olarak iki aşamada gerçekleşir. Birleştirilen yüzeyler plastik şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısıtılır, yüzeylerin basınç altında döndürülmesiyle birbirine sürtünürler. Kaynak yapılacak malzemenin özelliğine göre ön ısıtma yapılabilir. Isıtma aşamasından sonra ki işlem yığıma işlemidir. Sürtünme işlemi tamamlandığı zaman ani fren uygulanır. Frenleme sırasında birleştirilen parçaların yüzeyleri arasında boyun oluşumu ve kaynak işlemi tamamlanır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı bulunan parçaları ve Şekil 1.14. sürekli tahrikli sürtünme kaynağın zamana göre sürtünme parametrelere; sürtünme zamanı, sürtünme hızı, yığıma basıncı görülmektedir (Uzun, 2007; Gavvas, 2012).



**Şekil 1.13.** Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı (Uzun, 2007)

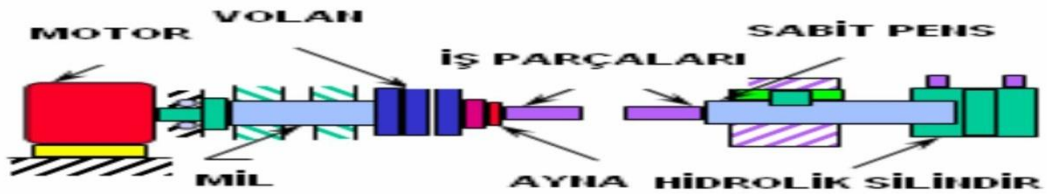
1 tahrik motoru, 2 fren, 3 dönen parçanın bağlandığı ayna, 4 sabit iş parçasını bağlandığı ayna, 5 dönen iş parçası, 6 sabit iş parçası, 7 yığıma silindiri



Şekil 1.14. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağını zamana göre sürtünme parametreleri (Durgutlu, 2003)

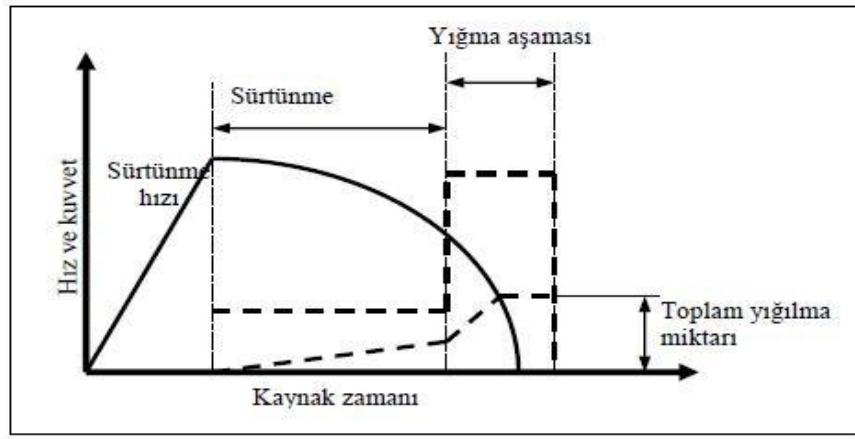
### 1.3.2.2. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Bir elektrik motoruyla ilk hareket verilip volan üzerinde bir dönme hareketi kaynak işlemi için gerekli olan enerji depolanır. Dönen volanda toplanmış olan dönme enerjisi, sürtünme esnasında diğeri üzerinden uygulanan basınçla malzemeler arasında sürtünme ile ısı açığa çıkar ve volan bu esnada yavaşlamaya başlar. Oluşan ısı ve basınçla parçalar birleşmiş olur ve volan üzerinde depolanan enerji bitti için durur. Volanın ataletinden faydalanarak oluşan enerjiden dolayı atalet sürtünme kaynağı olarak bilinmektedir. Volan tahrikli sürtünme kaynak sisteminde sürekli tahrikliden farklı olarak fener mili üzerine bağlanmış bir volan mevcuttur. Kaynak işleminin aşamaları arasında farklılıklar vardır. Hızlanma ve yığılma aşamaları benzer olmasına rağmen volan tahrikli sistemde sürtünme hızı sürekli düşmesine rağmen sürekli tahriklide sabit kalmaktadır. Her iki yöntemin de avantaj ve dezavantaj olmasına rağmen kaynak parametrelerinin hassas bir şekilde kontrol edilmesinden dolayı sürekli tahrikli sistemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.15.'de volan tahrikli sürtünme kaynağı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.15. Volan tahrikli sürtünme kaynağı (Kaya, 2010)

Bir volan tahrikli sürtünme kaynağı ilk sürtünme, ısınma ve yığılma olmak üzere üç aşamadan oluşur. İlk sürtünme parçaların birbirine sürtünmesiyle başlar, momentin maksimum seviyeye çıkıp daha sonra daha sonra sabit bir düzeye inmesiyle sona erer. Isınma esnasında oluşan sıcaklık, yüzeyler arasında birbirine doğru iletilir. Bu esnada parçalar arasında bir miktar aksel kılma az olur. Enerji volandan alındığı için, düşmeye devam eder. Yığılma aşamasında hız belli bir seviyeye düşer, volan tarafından dağıtılan enerji, yüzeylerden ileten miktardan az olur. Hız ve sıcaklık düşerken yığılma başlar. Kaynak bölgesi sertleşirken moment tekrar maksimum seviyeye yükselir. Birleşme bölgesi soğurken hız ve moment tekrar sıfıra düşer. Şekil 1.16.'da volan tahrikli sürtünme kaynağın zamana göre parametre gösterilmektedir. ( Kaya, 2010; Gavas, 2012).

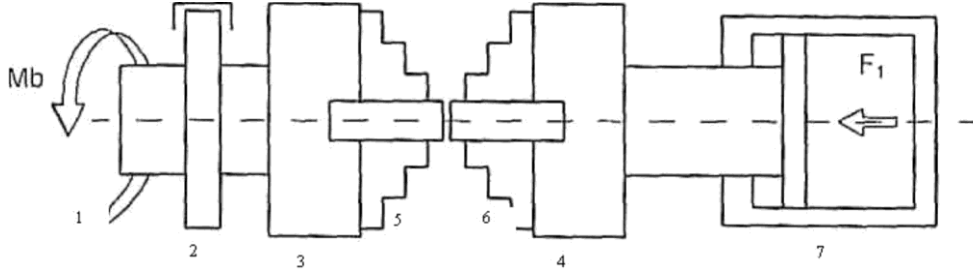


Şekli 1.16. Volan tahrikli sürtünme kaynağı zamana göre parametre (Durgutlu, 2003)

### 1.3.2.3. Kombine Sürtünme Kaynağı

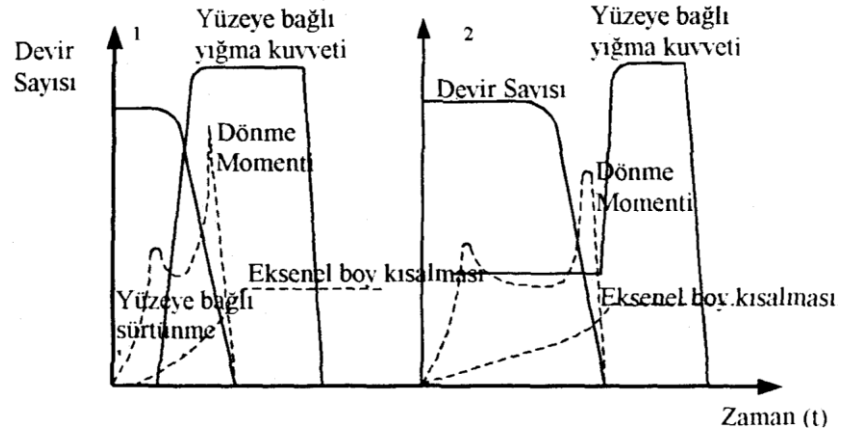
Sürekli tahrikli ve volan tahrikli sürtünme kaynağı sistemin ortaklaşa kullanıldığı bir yöntemdir. Özellikle büyük çaplı parçaların birleştirilmesinde tercih edilmektedir. Kontrol sitemdeki paralel olarak bu sistemlerin de kumandalı bilgisayar kumandalı ve otomatik kontrollü sistemler tarafından yapılmaktadır. İşlemin başlangıcında sürtünme etkisiyle moment eğrisi bir zirve yaptıktan sonra dengeye gelir. Süreç içerisinde oksit tabakalarının parçalanması sonucunda çıplak yüzeyde temaslar sırasında kuvvetli atomsal bağlar oluşmaya başlar. Sürtünme hareketi ile bu bağlar koparılmaya çalışılır. Sonuçta bu temas noktalarında büyük oranda adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık istenilen düzeye ulaşır. Frenleme sonrası moment ve hız sıfıra düşer sonuç olarak kaynak işlemi tamamlanmış olur. Şekil 1.17. kombine sürtünme kaynağı şekli verilmiştir. Şekil

1.18.'de kombine sürtünme kaynak parametresinin zamana göre değişimi verilmiştir(Çelik, 2008;Gavas, 2013).



Şekil 1.17. Kombine sürtünme kaynağı (Uzun, 2007)

1-Tahrik Motoru,2-Fren,3-Dönen iş parçasının bağlandığı ayna, 4-Sabit iş parçasının bağlandığı ayna, 5-Dönen iş parçası, 6-Sabit iş parçası,7-Yığıma silindiri



Şekil 1.18 Kombine sürtünme kaynağını zamana göre parametreleri (Uzkut, 1999)

#### 1.3.2.4. Lineer Sürtünme Kaynağı

Doğrusal sürtünme kaynağı döner sürtünme kaynağına benzer bir katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Ayrıca doğrusal sürtünme kaynağı, döner bir sürtünme kaynağından farklıdır. Bir iş parçasını dönen, hareket eden iş parçasının bağlı hareketi yerine doğrusal harekete salınım tarafından oluşturulur. Kaynak işleminde sürtünme için gerekli olan ısı enerjisi titreşim hareketinden sağlanır. Doğrusal sürtünme kaynağı işlemi ilk önce kaynatılacak olan malzemeler sürtünme kaynağına bağlanır ve daha sonra piston hareketi ile numuneler birbirine yaklaştırılır. İkinci işlem olarak titreşim hareketi ile numuneler birbirine sürtünür daha sonra yığıma basıncı uygulanarak eksenel kısalma meydana gelir ve son olarak titreşim hareketi ani olarak durdurularak ve baskı kuvveti ile

kaynak işlemi tamamlanmış olur. Doğrusal sürtünme kaynağının birçok avantajı vardır. Farklı her türlü metal ve farklı geometrik şekillerin kaynağı mümkündür. Kaynak hazırlık süresinin kısa olması üretimi hızlandırır. Çevreye zararlı değildir. Kaynak işleminde hata az olduğunda ekonomik yönden tasarruf sağlar(URL-11, 2015).

#### **1.3.2.5. Orbital Sürtünme Kaynağı**

Orbital sürtünme kaynağı, döner bir sürtünme kaynağı benzer, fakat döner sürtünme kaynağında farklı olarak her iki kaynatılacak olan parçalar aynı yönde ve aynı hızda döndürülür. Kaynak işlemi, kaynatılacak olan malzemelerin her ikisinin döndürülmesiyle oluşan sürtünme ısı ile ve uygulanan aksenal kuvvet ile kaynak işlemi yapılır. Orbital sürtünme kaynağının avantajı farklı geometrik malzemelerin kaynağı için uygundur. Dezavantajı ise boyut olarak 3 mm kadar orbital eksenli olan malzemelerin kaynağı mümkündür(URL-12, 2015).

#### **1.3.4. Sürtünme Kaynak Parametreleri**

Bütün kaynak yöntemlerinde olduğu gibi bu kaynak yönteminde de kaynak parametrelerini kontrolünü optimum düzeyde olması kaynak kalitesini artıracaktır. Kaynak parametreleri; dönme hızı, sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme süresi, frenleme süresi ve yığma süresidir. Kaynak parametreleri malzeme cinsine göre değişmektedir. Dönme hızı ITAB genişliğine etki eder. Yüksek hızlarda ise kaynak bölgesi aşırı ısınır ve metalürjik dönüşümler meydana gelir. Sürtünme ve yığma basıncı malzemenin geometrisine ve malzemenin özelliklerine göre değişiklik gösterir. Sürtünme basıncı ara yüzeyindeki oksit filmlerini elimine edecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkilerini kesebilecek ve yüzeylerde düzenli bir ısıtma sağlayacak biçimde seçilmelidir. Yığma basıncı malzemenin akma sınırına bağlıdır. Sürtünme zamanının az ya da çok olması kaynak bölgesinin ısınmasını etkileyeceği için kaynak kalitesini de etkiler.(Ateş vd., 1989)

##### **1.3.4.1. Çevresel Hız**

Sürtünme kaynak yöntemiyle yapılan kaynak işlemlerinde bağlantı kalitesi ve ara yüzey sıcaklığının oluşumu üzerinde etkili olan parametre çevresel hızdır. Yüksek çevresel hız yüksek ara yüzey sıcaklığı üretirken düşük çevresel hız düşük ara yüzey sıcaklığı üreterek başarısız kaynak bağlantısı oluşturmaktadır. Yüksek çevresel hıza bağlı olarak artan deformasyon miktarı ile kaynak süresi kısalır. Çelikler için çevresel hız 1,2-1,8 m/sn



önerilirken, 1,2 m/sn altında ki hızlar çok yüksek momentler oluşturur bundan dolayı uniform olmayan bir yığılma oluşur. Bununla birlikte farklı metaller için düşük çevresel hızlar, gevrek bir intermetalik fazın oluşumunu sınırlayabilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda kaynak bölgesinin aşırı ısınmasından dolayı sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin çok dikkatli kontrol edilmesi gerekir(Güneş, 2010).

#### **1.3.4.2. Sürtünme Basınç Kuvveti**

Sürtünme basınç kuvveti kaynak edilecek parçaların yüzey alanlarının ve malzemenin plastik şekil değiştirme yeteneğine bağlıdır. Sürtünme basıncı temas eden ara yüzeyde oksit tabakalarını yok edecek şekilde, yağı, kiri, yabancı tabakaları ortadan kaldırıp yüzeylerin atmosferle ilişkisini kesecek, düzenli bir ısıtmayı sağlayabilecek şekilde seçilmelidir. Alaşımız ve düşük alaşımlı çeliğe uygulanan basıncı iki katına çıkarmak güç talebini yarı yarıya artırır. Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikte yapılan sürtünme kaynağı için güç gereksinimi başlangıç durumu için 4,8 Kw/cm<sup>2</sup>'dir. Daha hızlı enerji girişi ve yüksek basınç, ısı tesiri altındaki bölgenin genişliğini etkiler. Metal yer değiştirme oranını hızlandırır. Böylece kaynak süresi kısalarak paralel olmayan kenarlı bir ısı bandı oluşturur. Eğimi düşük olan sıcaklık dağılımı iç yüzeyin hızlı soğumasına yol açması ve kaynak yeteneğini azaltan sert yapıların oluşması sebebiyle, hava ile sertleşebilen çeliklerin kaynağında bu durum önemlidir. Sürtünme süresince gerekli olan basınç değeri malzemeye bağlıdır. Atmosfer etkilerini önleyebilmek için iki yüzeyin yakın teması sağlanmalıdır(Dinç, 2006).

#### **1.3.4.3. Sürtünme Süresi**

Sürtünme süresi malzemenin yapısına ve geometrisine göre değişiklik göstermektedir. Sürtünen yüzeylerdeki kalıntıları, pislikleri yok edecek ve plastik deformasyon için uniform bir kaynak bölgesi sıcaklığı oluşturacak düzeyde olmalıdır. Kaynak bağlantısı için belirli bir minimum bir ısıtma süresi değeri aşılmamalıdır. Buna karşın sürtünme süresi uzun olması kaynak ısı bölgesinin genişlemesine ve boyun bölgesinin sürtünme süresi, sürtünme basıncı ile orantılı olacak şekilde seçilmelidir aşırı yığılmasına neden olacaktır(Ersözlü, 2011).

#### **1.3.4.4. Yığma süresi**

Yığma süresi malzeme çifti ara yüzeyinde gerekli plastik deformasyonu oluşturmak ve sürtünme kaynağının oluşum mekanizmalarından biri olan difüzyonu hızlandırmak için yığma basınç kuvvetin uygulandığı süredir. Ancak parametre optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalarda, yığma süresi malzemenin soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Bu da kaynak edilecek parçanın çapına bağlı olarak genellikle sürtünme süresinin iki katı olacak şekilde hesaplanır. Yığma süresinin uygun zamandan az olması soğuma esnasında malzemelerde mikro çatlak oluşumuna izin vermeyecek şekilde belirlenmelidir. İstenilen özelliklerdeki kaynağı elde edilmesini engeller(Asma, 2014).

#### **1.3.4.5. Yığma Basınç Kuvveti**

Sürtünme periyodu sonrasında özellikle çelikler için bir yığma basıncının uygulaması bağlantı kalitesini artırır. Yığma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır ve aşırı kaynak yağlanmasına sebep olacak kadar yüksek elverişsiz şekillendirmeye dolası ile yetersiz birleşmeye sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Yığma basınç kuvveti sürtünme periyodu sonrasında malzeme çifti arasında difüzyon mekanizmasını hızlandırmak amacıyla uygulanır. Yığma basıncı malzemelerin birleştirebilmeleri için bu malzemelerin sıcak dövme mukavemetin altında olmamalıdır. Buna karşın yığma basıncı çok yüksek alınırsa aşırı metal deformasyonu oluşur ve bu aşırı yığılma sırasında kaynak bölgesinde metalik olmayan inklüzyonlar arzu edilmeyen enine akış göstererek yeniden şekillenir. Bu durum kaynağın kırılma tokluğunu ve yorulma dayanımını olumsuz etkiler. Genel olarak, yığma basınç kuvveti paslanmaz çelikler için sürtünme basınç kuvvetinin iki katı olarak tavsiye edilirken, düşük karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığma basıncı 75-140 MPa, orta ve yüksek karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığma basınç kuvveti 100-420 MPa arasında seçilir. Tablo 1.1 de malzeme türlerine göre optimum kaynak parametreleri gösterilmiştir(Dinç, 2006).

**Tablo 1.1.** Malzemelere göre optimum kaynak parametreleri (Dinç, 2006)

MALZEME	Çap(mm)	Sürtünme kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )	Yığıma kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )	Sürtünme Süresi (sn)	Yığıma süresi (sn)	Çevresel Hız (m/sn)
Alaşımız ve Düşük Alaşımlı çelikler	20	20-80	80-200	1-100	250	0,5-5
C 60	20	50-80	150-250	3-6	2-3	3,5-6
42 CrMo4	20	50-80	150-250	3-6	2-3	1,5-3
Yüksek alaşımlı çelikler	20	40-100	120-400	3-120	2-10	0,5-5
5X5CrNi18 8	20	60-80	250-300	6-10	2-3	1,5-3
S6-5-3	20	60-100	190-250	10-15	2-3	1,5-3
Yüksek sıcaklığa Dayanımlı alaşımlar	20	60-180	180-600	5-150	2-15	0,5-5
-Nimonic 80	20	60-100	180-400	5-10	2-3	1,5-3
Inconel 713C	20	60-100	400-500	5-10	2-3	1,5-3
Hafif ve ağır metaller	20	10-80	20-250	1-8	2-5	0,5-4
E – Cu	20	10	20-60	1-6	2-5	4
TiAl6V4	20	20-30	60-80	2-8	2-5	1-4
Al 99.5	20	10-30	30-80	0,1-4	2-5	2-4
AlMgSiO.5	20	30-80	50-150	0,1-6	2-5	0,5-2
Pb	20	50-70	70-100	2-4	2-5	1,5-2

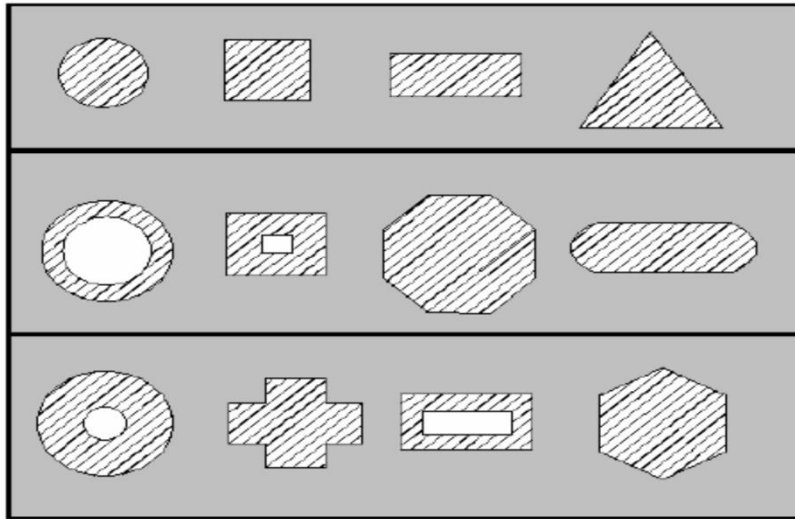
### 1.3.5. Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinde Oluşan Fazlar

Sürtünme kaynağı yapılan kaynak ile birleştirilmiş malzemelerin ergitme bölgesinde ve difüzyon kaynağında olduğu gibi kaynak malzemelerin karıştığı bölge ve bu bölgenin etrafında her iki malzeme tarafında ısıdan etkilenmiş alan mevcuttur. Metaller arası fazın oluşması, yüksek karbonlu alaşımsız çeliklerde karbon miktarın azalması, içyapı da yeniden kristalleşme, ergitme sıcaklığı malzemelerin kendinden daha az olan ötektik alaşımların oluşması, içyapıda tane irileşmesinin oluşması, çeliklerde martenzitik içyapı dönüşümüdür. Bu durumlar kaynak bağlantılarının mekanik özellikleri olumsuz yönde etkiler. İntermalik fazlar sert ve gevrek olduklarından kalınlıkları belli genişliği aşınca buldukları tabaka boyunca aşırı gevrekleşme gösterirler. Alaşımsız çeliklerde karbon azalması bölgesel olarak mukavemet değerinin azalması demektir. Bu şekilde oluşan yumuşak bölgelerin kaynak bağlantılarının mukavemeti de az olacaktır. İçyapıda rekristalizasyon veya tanelerin irileşmesi yumuşak bölgelerin oluşmasına neden olur. Martenzitik dönüşüme uğrayan bölgeler de belirli bir büyüklük ve sertliği aşınca intermetalik fazlarda olduğu gibi gevrekleşmeye neden olur. Sürtünme kaynağını kısa sürmesi ve bu sırada sıcaklık artarken daha sonrada şişirme esnasında plastik

deformasyonların meydana gelmesi diğer kaynak metotlarına göre malzeme içyapı dönüşümü azaltıcı bir yönde avantaj sağlar(Meriç vd., 2008).

### 1.3.6. Sürtünme Kaynağı İle Yapılabilen Parça Geometrileri

Sürtünme kaynağında parça geometrisi genel olarak aksel simetriye sahip ve dairesel kesitli parçaların birleştirilmesinde kullanılırken cihazların otomasyonu ve bilgisayarlı kontrol imkânları daire dışı kesitli parçaların birleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Sürtünme kaynağı ile hem içi dolu hem de içi boş kesitlerin kaynağı yapmak mümkündür. Dolu kesitli parça için çap değeri 1 mm den 300 mm ye kadardır. Parçalar eğer boş ise, birbirine benzer büyüklükteki kesit alanlarına sahip olanları sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Geçmişten bugüne kadar yapılan çok sayıdaki denemeler sonucunda sürtünme kaynağı ile birçok basit biçimli parçanın birleştirilmesine imkân ortaya çıkmıştır. Uygun otomasyon teknolojisinin gelişmesiyle sürtünme kaynağı cihazındaki dönel aynanın istenilen pozisyonda frenlenmesi sayesinde, dönel simetrisi olmayan kesitli parçaların da alın kaynağının yapılabileceği ve meydana gelebilecek açılmalarda çarpılmaların önlenebileceği ortaya konmuştur. Şekil 1.19. de sürtünme kaynağı ile yapılabilen parça geometrileri gösterilmiştir(Dinç, 2006; Çelik, 2008).



Şekil 1.19. Sürtünme kaynağı ile yapılan parça geometrileri (Dinç, 2006)

### 1.3.7. Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilen Malzemeler

Malzeme karakteristikleri hakkındaki bilgiler, metalik malzemenin ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygun olup olmadığı için çok net değildir. Metalik malzemelerin veya kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunluğu

hakkındaki değerler deneysel çalışmalar ve pratik uygulamalar sonucu elde edilmiştir. Her yeni malzeme ve malzeme kombinasyonlarında sürtünme kaynağına uygunluk birleştirilecek parçalar için optimum kaynak parametrelerin belirlenmesi amacıyla n deneyler ile belirlenmektedir. Bu uygunluk durumları deneysel sonuçlar olduğundan dolayı değişmez sonuçlar değillerdir. Yeni bilgiler söz konusu olduğundan yeniden tanımlanabilir ve düzeltilebilir. Birleştirilecek malzemelerin sürtünme kaynağına uygunluğu için malzemenin mukavemeti ve sıcak Şekil değiştirme kabiliyeti önemli iki faktördür. Malzemenin mukavemeti sürtünme kaynağı esnasında aksenal basınc ve dönme momenti ile aşırı deformasyonun oluşumunu önleyecek miktarda yüksek olmalıdır. Bununla birlikte, birleşmenin kalitesi açısından birleştirilecek malzemelerin sıcak Şekil değiştirme kabiliyeti yeterli düzeyde olmalıdır. Kolaylıkla seri imalata uygulanabilen sürtünme kaynağında birçok metalik malzeme uygulamalar ve deneysel sonuçlar ile elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme kaynağının özelliği eriteme kaynağının uygulanmadığı birçok malzeme ve malzeme kombinasyonlarında başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için olan kısıtlamalar sürtünme kaynağı için geçerli değildir. Bunun nedeni kaynak sıcaklığını düşük, kaynak süresinin az ve birleştirmenin kuvvet altında yapılmasıdır. Buna rnek olarak çeliğin alüminyum ve bakır ile toz metalürjisinde üretilen parçaların seramiklerin alüminyum ile sert ve diğer ağır metallerin sürtünme kaynağı ile birleşimi gösterilebilir. Uygulanan malzemeler ise; karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler, al esaslı çelikler, reaktif malzemelerdir. Tablo 1.4. sürtünme kaynağı uygulanan malzemeler gösterilmektedir(Uzkut, 1999;nal, 2003).

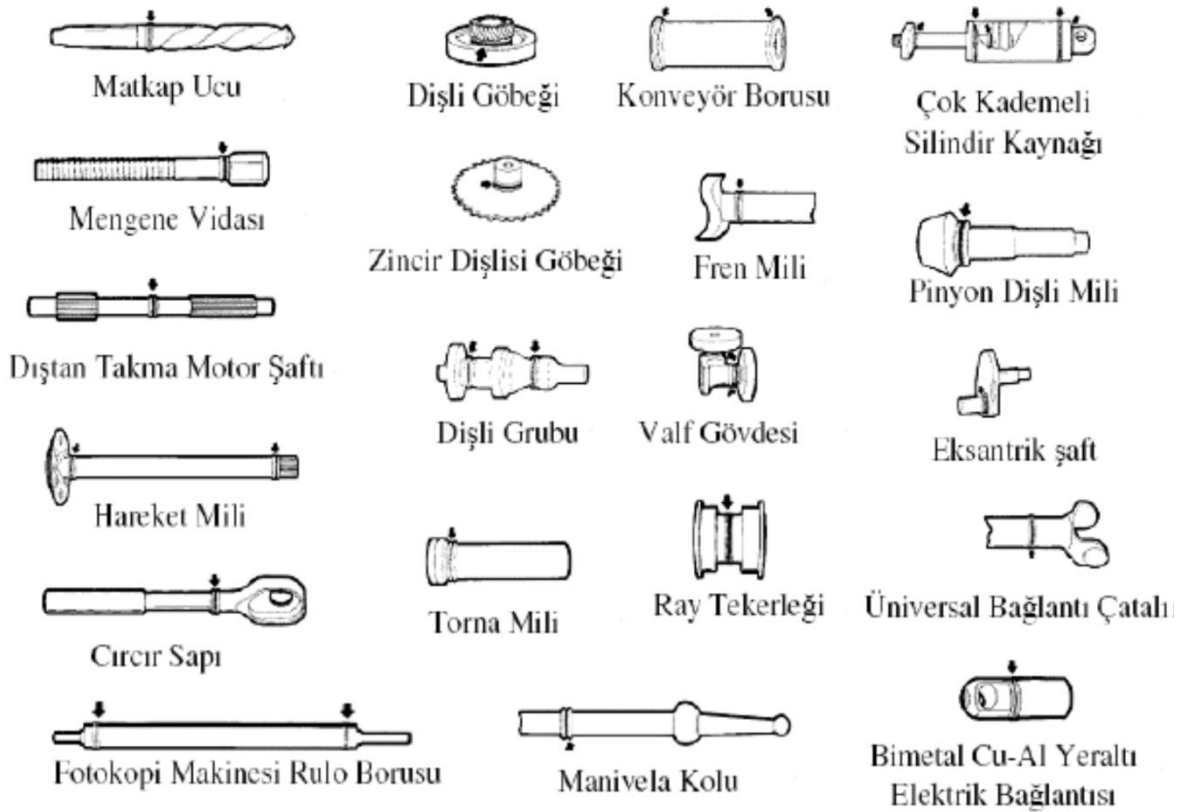
**Tablo 1.4.** Sürtünme kaynağı uygulanan malzemeler

Sürtünmeli Kaynak Yapılabilirlik Tablosu	Zirkonyum Alaşımları	Vanadyum	Tungsten Karbür	Tungsten	Titanyum Alaşımları	Titanyum	Tantalyum	Takım Çelikleri	Paslanmaz Çelik	Sinterlenmiş Çelik	Maraging Çelik	Otomat Çeliği	Karbon Çeliği	Alaşım Çeliği	Gümüş Alaşımları	Niobyum	Niobyum Alaşımları	Nimonic	Nikel Alaşımları	Nikel	Monel	Molibdenum	Magnezyum Alaşımları	Magnezyum	Kurşun	Sinterlenmiş Demir	Bakır-Nikel	Bakır	Kolombium	Kobalt	Seramik	Dökme Demir	Karbürler	Bronz	Sarı-Prinç	Alüminyum Alaşımları	Alüminyum			
	Alüminyum	■				■																																		
Alüminyum Alaşımları									■																															
Sarı-Prinç																																								
Bronz																																								
Karbürler																																								
Dökme Demir																																								
Seramik																																								
Kobalt																																								
Kolombium																																								
Bakır	■																																							
Bakır-Nikel																																								
Sinterlenmiş Demir																																								
Kurşun																																								
Magnezyum																																								
Magnezyum Alaşımları																																								
Molibdenum																																								
Monel																																								
Nikel																																								
Nikel Alaşımları	■																																							
Nimonic		■																																						
Niobyum																																								
Niobyum Alaşımları																																								
Gümüş																																								
Gümüş Alaşımları																																								
Alaşım Çeliği	■																																							
Karbon Çeliği																																								
Otomat Çeliği																																								
Maraging Çelik																																								
Sinterlenmiş Çelik																																								
Paslanmaz Çelik																																								
Takım Çelikleri																																								
Tantalyum																																								
Toryum																																								
Titanyum																																								
Titanyum Alaşımları																																								
Tungsten																																								
Tungsten Karbür																																								
Uranyum																																								
Vanadyum																																								
Valf Malzemesi																																								
Zirkonyum Alaşımları																																								

■ İyi Kaynak Sonucu  
■ Kırılgan  
□ Mümkün Değil / Herüz Test edilmedi.

### 1.3.8. Sürtünme Kaynağının Uygulanma Alanları

Sürtünme kaynağı yıllardır çevreye zararlı olmayan ve güvenilir bir kaynak yöntemi olarak kabul edilmektedir. Seri imalatta kullanılır, ayrıca az sayıda parçalar içinde ekonomik olarak kullanılabilir. Sürtünme kaynağı özellikle seri üretim için uygundur. Bu yöntemde göreceli olarak yüksek olan donanım maliyeti işlenen malzemenin fazla ve kullanılan iş gücünün az olmasıyla dengelenmektedir. İşlem çok yönlü ve donanım kolayca ayarlanabilir. Bu avantajlarından dolayı günümüzde sürtünme kaynağı endüstrinin birçok alanında uygulama alanı bulmuştur. Sürtünme kaynağı endüstride en çok kullanım alanları; makine imalat ve yedek parça endüstrisi, otomotiv endüstrisi, havacılık ve uzay endüstrisi, takım endüstrisi, elektrik ve elektronik endüstrisi, kimya endüstrisi, onarım amaçlı birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 1.20 de sürtünme kaynağı uygulamaları verilmiştir. (Anık ve Vural, 1993)



Şekil 1.20 Sürtünme kaynağını uygulamaları

Makine İmalatı ve Yedek Parça Endüstrisi; Dişli çarklar, piston kolları, hidrolik silindir, radyal pompa pistonlar, piston kolları, sonsuz vidalı miller, valfler, miller, borular, flanşlar üretiminde kullanılır. Resim 1.7.'de sürtünme kaynağının makine imalatında kullanım alanlarına örnek verilmiştir(Ünal, 2003;Ersözlü, 2011).



**Resim 1.7.** Hidrolik silindir (URL-13, 2015)

Otomotiv Endüstrisinde; subaplar, subap yuvaları, kardan milleri, vites kolları, aks bağlantıları, fren milleri, şanzıman parçaları, ön ısıtma odaları, boru milleri, taşıyıcı ak milleri üretimi yapılmaktadır. Resim 1.8.'de sürtünme kaynağının otomotiv endüstrisinde uygulaması verilmiştir(Uzkut, 1999).



**Resim 1.8.** Sürtünme kaynağının otomotiv endüstrisindeki uygulaması (Çelik,2008)

Havacılık ve Uzay Endüstrisi; itme jetleri, yanma odaları, miller, türbinler, rotorlar, borular, fittingler, flanşlar. Sürtünme kaynağında üretimi yapılmaktadır. Resim 1.9. sürtünme kaynağı ile imal edilmiş uygulamalar gösterilmiştir(Uzun, 2007).





**Resim 1.9.** Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş küme dişli parçası (URL-14, 2015)

Takım endüstrisi; raybalar, matkapların uçları, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler. Sürtünme kaynağı ile üretimi yapılmaktadır. Resim 1.10.'da sürtünme kaynağı ile imal edilmiş matkap ucu gösterilmiştir(Dinç, 2006).



**Resim 1.10.** Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş matkap ucu (URL-15, 2015)

Elektrik, elektronik ve kimya endüstrisi; gaz analizleri için alıcı kameralar, kramatograflar için ayırma sütunları, röntgen cihazı tüpleri için döner anot milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları, devre kontakları, geçiş parçaları, tesisat borularının üretimi. Sürtünme kaynağı ile yapılmaktadır. Resim 1.11.'de uygulamalara örnek verilmiştir. (Ünal,2003)



**Resim 1.11.** Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş elektrik konektörler ve geçiş bağlantıları (Dinç, 2006)

Onarım amaçlı; sürtünme kaynağı yüklemelerden dolayı aşınmış, plastik deformasyona uğrayarak eğilmiş parçaların atılması yerine onarılıp çalışır hale getirilmesinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır(Güneş, 2010).

### **1.3.9. Sürtünme Kaynağı Avantajları ve Dezavantajları**

Sürtünme kaynağı, aynı kesit şekli ve alanı parçaların birleştirilmesi için oldukça kullanışlı bir kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağında ilk olarak elektrik enerjisi ile mekanik enerjiye dönüştürülür ve daha sonra işlem sürtünme ile ısı oluşur. Dolgu malzemesi ya da akışkan gaz gerekli değildir kaynak işleminde. Genellikle herhangi biri ile ilave malzemeye ihtiyaç duyulmaz, ancak bazen kaynak sırasında bazı numuneler havanın hareket ettirilmesi için kullanılabilir örneğin titanyum gibi reaktif metaller de kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağı birçok avantajı ve bunun yanında da bazı dezavantajları vardır (Kearns, 1980).

#### **1.3.9.1. Sürtünme Kaynağı Avantajları**

Sürtünme kaynağında yüzey temizlenmesine gerek yoktur. Çünkü sürtünme sırasında yüzeylerdeki kiri, pası, oksit filmleri ve yağ tabakalarını dışarı atar.

Sürtünme kaynağında işlemi sırasında parçanın ara yüzeyinde çok küçük bir alanda ısı oluşur. Bunun sonucunda ITAB bölgesi çok küçük olur.

Farklı birbirine benzemeyen metallerin kombinasyonun da birleştirmesinde kullanılan iyi bir üretim yöntemidir. Bunun nedeni; sürtünme kaynağı işlemi sırasında dar bir alanda ısınmanın olması ve erimenin oluşmamasıdır.

Sürtünme kaynağında koruyucu gaza ya da dolgu metaline ihtiyaç duyulmaz.

Kaynak parametrelerini kolaylıkla kontrol edilebilir.

Kaynak sırasında ve sonrasında hızlı ısı değişikleri ile değişimler kaynak bölgesinde ince taneli bir yapı oluşumuna sebep olur.

Kaynak süresi kısa, birleştirme sıcaklığı düşüktür

Birçok durumunda sürtünme kaynağı sırasında birleştiren malzemeler saf metal kadar mukavemetli olur.

Sürtünme kaynağı yöntemi seri üretime kolaylıkla uygulanabilir, otomasyona uygundur.

Diğer kaynak yöntemlerine göre daha az enerji ihtiyaç duyan kaynak yöntemidir.

### **1.3.9.2. Sürtünme Kaynağı Dezavantajları**

Genel olarak kaynak yapılan parçaları döneel akseneel simetriye sahip olmalıdır.

Gelişmiş düzenli ısınma için sürtünme kaynağında kaynak yapılacak parçaların hazırlanması ve hizaya getirilmesi kritik öneme sahiptir. Özellikle büyük çaptaki parçaların kaynağı zordur.

Diğer kaynak yöntemlerine göre pahalıdır. Bunun nedenini sürtünme kaynağında ilk kurumu maliyeti yüksektir.

Kaynak sonrası parçalarda gevrekleşme olabilir.

Kaynak sonrası parçaların boyunda belirli bir kısalma söz konusu olduğundan, malzeme sarfiyatı söz konusudur.

Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde kaynak sonrasında sertleşme söz konusu olur.

### **1.4. Titanyum ve Titanyum Alaşımaları**

Hafif bir metal olan titanyum, pahalı olmasına rağmen yüksek dayanımı sahiptir. Bu nedenle uçak ve uzay sanayinde alüminyum alaşımlarıyla rekabet edebilmektedir. Titanyum üstün kimyasal direnci nedeniyle klor ve inorganik klorürü çözeltiler gibi birçok kimyasal ortamda başarıyla kullanılmaktadır.

Titanyum metalinin pahalı olmasının nedeni, bileşiklerinden saf halde elde edilmesinin zorluğudur. Titanyum yüksek sıcaklarda oksijen, azot, hidrojen, karbon ve demirle birleştiğinden, dökümü ve talaşsız işlenmesi için özel yöntemler gerekmektedir.

Titanyum oda sıcaklığındaki SDH kristal yapısı, 883°C'ta HMK yapıya döner. Alüminyum, oksijen gibi elementler  $\alpha$  fazını kararlı hale getirerek  $\alpha$  fazının  $\beta$  fazına dönüşüm sıcaklığını yükseltir. Vanadyum ve molibden gibi diğer elementler  $\beta$  fazını kararlı hale getirerek, bu fazın kararlı olduğu sıcaklığı düşürür. Krom ve demir gibi elementler  $\beta$  fazının kararlı olduğu sıcaklığı düşürerek oda sıcaklığında iki fazlı bir yapı oluşturan ötekteoid tepkimeye neden olur(Smith, 2006).

#### **1.4.1. Titanyum Alaşımların Özellikleri ve Kullanım Yerleri**

Ticari üretimde yaklaşık 25 türde titanyum alaşımı bulunmaktadır. Alaşımlar mikro yapılarına göre dört genel gruba ayrılabilir. Bunlar; Ticari olarak saf, alfa, alfa-beta, orta kararlı-beta alaşımlardır.

##### **1.4.1.1. Ticari Olarak Saf Titanyum**

Ticari olarak saf titanyum alaşımların çekme dayanımları 240 ile 550 MPa arasında değişir. Saflığın değişimi dayanımdaki farklıklara sebep olur, özellikle de ara yer atomların ve demirin etkisiyle. Bu elementler oranı arttıkça ticari olarak saf titanyumun dayanım artışı soğuk şekil verme ile arttırılabilir. Ti-0,2Pd ticari olarak saf alaşımlar içinde sayılabilir. Paladyumun ilavesi bazı koşullarda korozyon dayanımını arttırır ama mekanik özellikler üzerinde hiç bir etkisi yoktur. Ticari saflıktaki titanyum alaşımları kullanım yerleri; uçak dış sacı, ısı değiştiriciler, 480 °C kadar yenime dirençli parçalarda kullanım alanına sahiptir.

##### **1.4.1.2. Alfa Titanyum Alaşımları**

Alfa Titanyum alaşımları mikro yapılarında yüksek oranda alfa fazı ve bazı durumlarda da bütünüyle alfa fazı içerir. Alfa alaşımları yüksek sıcaklık dayanımı veya sürünme dayanımı istenen uygulamalarda daha çok kullanılırlar. Alfa alaşımları cryogenic uygulamalarda (-253°C'ye kadar soğuk endüstrisi) kullanılırlar. Alfa titanyum alaşımların kullanım alanları; gaz türbini gövdesi ve halkaları, Kimyasal işlem cihazlarında genel olarak kullanılmaktadır.

##### **1.4.1.3. Alfa-Beta Titanyum Alaşımları**

Alfa beta alaşımları tavllanmış koşulda ya da çözelti ısı işlemi ve yaşlandırılmış koşullarda kullanılabilir. Isıl işlem gördükten sonra bu alaşımlar yüksek dayanım/yoğunluk

oranı ve tavlandıklarında mükemmel kırılma tokluğu gösterirler. Genelde kullanılan alfa-beta titanyum alaşımı Ti-6Al-4V dir. Alfa- Beta titanyum alaşımlarının kullanım alanları; uçak türbin diskleri ve kanatları, 315°C kadar çalışan uçak parçaları, kimyasal işlem cihazları parçalarında genel olarak kullanılır.

#### **1.4.1.4. Orta Kararlı Beta Titanyum Alaşımları**

Ti-15V-3Al-3Sn, Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr içeren orta kararlı beta titanyum alaşımlarıdır. Bu tek fazlı beta koşulunda beta alaşımlarının üstün şekillendirilebilme özellikleri vardır. 480°C den 595°C ye kadar yaşlandırma ile ince alfa fazı ilk oluşmuş beta fazının tane sınırlarına çökmesine neden olur. Bu şekilde çok iyi bir dayanım elde edilir. Düşük yaşlandırma sıcaklıklarıyla süneklik ve tokluk oldukça düşer. Orta kararlı beta titanyum alaşımlarının kullanım alanları; 315 kadar yüksek dayanım ve tokluk istenen uçak parçaları, dövme parçaları, uçak iskeleti yüksek dayanımlı bağlantıları, perçinler yaylar, petrol sanayi ve borular(URL-16, 2015).

#### **1.4.2. Titanyum ve Titanyum Alaşımların Kaynak Metalurjisi**

Titanyum ve Titanyum alaşımların kaynak yapısı, erime sıcaklığın üstünde bir sıcaklığa ısıtıldığında, erime bölgesi tek fazlı sıvı olarak görünür. Soğuma sırasında hacim merkezli kübik tek fazlı katı beta titanyum kristalleri bu erime bölgesinin etrafında oluşmaya başlar. ITAB' ın daha soğuk bölgelerinde sıvı kaynak metalinden başka, katı alfa-beta fazlarının bir karışımı ya da saf titanyumda ve alfa alaşımlarında sıkı düzen hegzagonal yapıda tek fazlı alfa bulunabilir. Bölgesel soğuma bittiğinde, sıvı erime bölgesinin beta taneleri şeklinde soğuması ile direkt beta tanelerinden sıcaklıktan etkilenmiş bölgenin içine doğru çok eksenli olur. Beta tanelerinin erime bölgesiyle aynı zamanda soğumamasının sonucu olarak kaba yapıda beta tane yapısı oluşur. Kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini kötüleştirir. Katılaşmış kaynak soğudukça katı hal faz dönüşümleri erimiş bölgede ve ITAB'da oluşur. Kaynak soğuma hızındaki artış daha ince taneli bir alfa oluşturur ve daha da hızlı bir soğuma hızı martenzit oluşmasına neden olur.

Kaynak sonrası uygulanan ısı işlemlerin etkisi ise, kaynak sonrası ısı işlemler alfa ve alfa beta titanyum alaşımlarında sadece gerilme giderme değil aynı zamanda kaynak bölgesinin sünekliğinin ve tokluğunun artırılması yönünde olmaktadır. Beta titanyum alaşımlarında kaynak sonrası ısı işleme alfa çökmesi (yaşlandırma) sonucu dayanım artışını sağlar. Martenzitin temperleme sıcaklıkları 540°C de başlar(URL-17, 2015).

## 1.5. Paslanmaz Çelikler

İçerisinde yaklaşık olarak %11 krom bulunan çeliklerde bir oksit tabakası bulunur. Bu tabaka yüzeye belirli bir kuvvetle tutturulmuştur ve yoğun, gevrek olmayan bir yapıdadır. Bu sebepten dolayı bu malzemeler kimyasal reaksiyonlara girmeye isteksiz olduğu için; indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dirençleri yüksektir. Oksijen bulunmayan ortamlarda oksit tabakası oluşabilir. Korozyon dayanımını artırmak için krom miktarı artırılabilir veya molibden, nikel gibi alaşım elementleri eklenebilir. Ayrıca azot, silisyum, alüminyum, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, bakır, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama yapılarak korozyon direnci artırılabilir. Bu yöntemlerle makina imalatçıları, farklı kullanım amaçları için en uygun mekanik özelliklere sahip paslanmaz çeliği seçebilirler. Örneğin; Niyobyum ve titanyumla yapılan alaşımlama taneler arası korozyon direncini artırır. Azot miktarı arttıkça, mukavemet özelliğinde iyileşme görülür ayrıca malzemenin korozyon dayanımı artar. Selenyum ve kükürt kullanılarak yapılan alaşımlama çeliklerin, işlenebilme özelliğini artırır. Paslanmaz çeliklerde karbon miktarı %0,02 ile 1 arasında değişkenlik gösterir, yüzde olarak düşük karbon içeren çelikler daha tipiktir, yüksek oranda karbon içeren çeliklerde martenzitik çelik olarak adlandırılır. Paslanmaz çelikler yapısında karbon elementi içerirse, krom karbür yapısı oluşur ve bu yapı tane sınırlarında krom karbür olarak kendini gösterir, bu nedenle kafes içinde çözünmüş krom miktarı %12'lik sınırın altına düşebilir ve malzemenin korozyona dayanım özelliği yok olur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon miktarı arttıkça; Krom miktarı da artırılmalı veya Karbür yapma eğilimi kromdan fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözünmüş kromun azalması engellenmelidir. Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Çeliklerde krom ve nikel iç yapının ferritik veya östenitik olmasının belirlenmesinde rol oynar. Schaeffler diyagramı çeşitli paslanmaz kalitelerinin bileşim açısından yerini gösterir. Ferrit stabilizatörleri; ferrit faz alanını genişleten titanyum, vanadyum, silikon, krom, molibden, niyobyum gibi karbür oluşturan metallerdir. Ostenit stabilizatörleri ise; ostenit faz alanını genişleten nitrojen, nikel, mangan, karbon ve gibi elementlerdir. Paslanmaz çelikler 3'e ayrılırlar bunlar martenzitik, ferritik, östenik dir.

### 1.5.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik çelikler hem oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda hacim merkezi

kübik kristal yapısına sahiptirler ve ostenit ferrit dönüşümü göstermezler. Bu yüzden Ferritik çeliklerin içyapılarını ve mekanik özelliklerini ısı işlemlerle değiştirmek mümkün değildir. Ferritik çeliklerin tavllanmış halde akma gerilmeleri 275 ile 350 MPa arasında değişmektedir. Düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri nedeniyle, makina parçası olarak kullanımları özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitlerde kullanımı oldukça sınırlıdır. Başlıca avantajlarından biri Atmosferik korozyona ve oksidiyona karşı olan dayanımlarıdır. Ferritik çelikler manyetikler ve ısı işlemlerle mekanik özellikleri değiştirilemediğinden iyi bir dayanıma sahip olmaları için ince taneli bir içyapı göstermeleri önemlidir. Ferritik çelikler %10,5 ile %30 arasında krom ve az miktarda nikel, karbon, azot gibi ostenit yapıcı elementler içerirler. Kuvvetli ostenit yapıcı olan karbon belirli bir limit değere ulaştıkça kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar ve perlitik veya martenzitik paslanmaz çelikler meydana gelir. Diğer bir taraftan karbon yüzdesi artırıldığı zaman ferritik içyapı arzu ediliyorsa, krom yüzdesinin de artırılması gerekir. Ferritik çeliklerin kullanım yerleri krom miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu bakımdan ferritik çelikler başlıca üç ana gruba ayrılabilir; Krom miktarı %11-13 arasında olanlar (405 ve 409 kaliteleri), Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar (430 ve 434 kaliteleri) Yüksek kromlular %19-30 (süper ferritikler 442 ve 446 kaliteleri) Krom miktarı düşük olan birinci grup orta derecede oksidasyon ve korozyon dayanımı ile birlikte düşük fiyat ve iyi imal edilebilirlik özelliklerine sahiptir. 409 kaliteli olan ferritik çelik Otomotiv ve egzoz üretiminde en çok tercih edilen gruptur. Orta derecede krom içeren mutfak gereçleri ve otomotiv endüstrisinde kullanılan sac yapımında kullanılan ikinci grup, düşük tokluğa sahiptir. Ayrıca bu grubun kaynak kabiliyeti sınırlıdır. Yüksek kromlu üçüncü grup ise süper ferritikler olarak adlandırılırlar. Bu grubun korozyon ve oksidiyona dayanımı yüksektir. Genellikle düşük karbon ve azot içeren süper ferritik çeliklere, kaynaklı konstrüksiyon dayanımını arttırmak ve gevrekleşme hassasiyetini azaltmak amacıyla titanyum ve niyobyum gibi stabilizatör elementler katılır. Süper ferritikler yerel korozyon söz konusu olduğunda (örneğin suda çözünmüş klorüre karşı) ostenitik çeliklere göre daha yüksek dayanım gösterirler. Bu sebepten buhar kazanları, ısı değiştiricileri, klorür taşıyan boru hatları ve deniz suyu uygulamalarında kullanımları yaygındır. Hacim merkezli kübik bir kafes yapısına sahip olan ferritik çelikler, düşük sıcaklıklarda gevrek davranış gösterirler. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda tutma süresine de bağlantılı olarak aşağıda açıklanan üç gevrekleşme olayı görülebilir: 400-550°C arasında uzun süre kalmış veya yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklıklara yavaş soğutulmuş %15'ten fazla krom içeren soğutulursa bu etki giderilmiş olur. Çelikler 600-800°C arasında uzun süre tutulursa

Paslanmaz çeliklerde çökelmelerin yol açtığına 475°C gevrekleşmesi görülür. Bunu gidermek için gevrekleşmiş çelik 650-750°C arasındaki bir sıcaklığa ısıtılıp hızla soğutulması gerekir. Yüksek kromlu ferritik çelikler ve bazı ostenitik çelikler 600-800°C arasında uzun süre işleme tabi tutulursa bu çeliklerde sigma arafazı oluşabilir. Soğuk şekil verme işlemi bu dönüşümü kolaylaştırır. Sigma fazı 950°C üzerinde yapılacak bir tavlama ve bun tavlamaadan sonra yapılacak su verme işlemi ile yok edilebilir. 950°C'nin üzerinde tane irileşmesi görülür ve tane sınırlarında krom karbür çökeltileri ortaya çıkar. Karbür oluşumunu engellemek için Titanyum veya tantal/niyobyum gibi stabilizatörlerin eklenir ve böylece karbür oluşumu engellenebilir. Stabilize edilmemiş çeliklerin kaynak bağlantılarında 700-800°C arasında bir tavlama işlemine tabi tutulursa, krom karbürleri küreleştirdiği gibi olası martenzit fazını da tempereleyerek tokluğun daha fazla düşmesi önlenir. Ayrıca tane sınırları yakınındaki krom dağılımı yayınma ile bir miktar üniform hale getirilebilir ve %11 olan pasiflik sınırına ulaşılmış olur. Bundan dolayı ostenitik çeliklerde kaynak bağlantıları ferritik çeliklerdeki kaynak bağlantılarına göre daha az risklidir. Bu sebepten şu önlemlerin alınabilir. Başlangıç tokluğunu artırmak için 150-200°C arasında ön ısıtma ve kaynak sonrası 700-800°C sıcaklık aralığında bir tavlama işlemi yapılmalıdır. Düşük ıslarda kaynak işlemi gerçekleştirilmelidir. Böylece karbür çökmesi ve tane irileşmesi önlenir.

### **1.5.2. Ostenitik Paslanmaz Çelikler**

Ostenik çeliklerin kullanım alanları oldukça yaygındır. Ayrıca bu çeliklerin alaşımlama kabiliyetleri yüksektir. Manyetik olmayan bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezle kübik kafese sahiptirler. Ostenitik içyapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemleri uygulanamaz. Tavllanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile çok iyidir. Bu çeliklerin mukavemet değerleri sadece soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Ostenitik paslanmaz çelikler genellikle %16-%26 krom, %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel ostenit oluşturucularıdır. 2XX serisinde, en çok %7 nikel, %5 ile %20 arasında mangan bulunur ve azotun ostenit içinde çözünebilirliği sayesinde dayanım artırılabilir. Kristal kusurların içine yerleşen azot, ostenit paslanmaz çeliklerde içyapının mukavemetini artırır. 3XX serisi ise en çok %2 mangan ve 2XX serisine göre daha fazla nikel içerir. 301 ve 304 kaliteleri en az alaşımlı olan türlerdir ve 3XX serisinin temel alaşımları olarak kabul edilirler. Mükemmel şekillendirilebildiği, sünekliği ve yüksek korozyon dayanımı ile 304 kalite ostenitik çelik



en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler içinde yer alır. Tavlanmış 3XX serisi çeliklerin akma dayanımı 200-275 MPa arasında iken yüksek azotlu 2XX serisinde akma dayanımı 500 MPa değerine kadar yükselir. Bu çeliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, ostenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. 316 ve 317 kaliteli çelikleri üretebilmek için 304 kalite çeliklere molibden katılır ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım yükseltilir. Yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar kullanılır. Yüksek oranda nikelli alaşımlar ise indirgeyici asidik ortamlarda tercih edilirler. Ancak bu amaçla, kuvvetli bir ostenit yapıcı olmasına karşın karbon miktarı artırılmaz, çünkü bu element karbür oluşturarak korozyon dayanımını zayıflatır. Bunun yerine nikel den yararlanır çünkü nikel aynı zamanda oksitleyici ve indirgeyici asitlere de dayanıklıdır. Yüksek oranda nikel, yaklaşık %6 azot ve %20 azot içeren alaşımlara süper ostenitikler de denir. 321 ve 347 kalitelerde karbonu stabilize etmek ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta taneler arası korozyon dayanımını yükseltmek amacıyla titanyum ve niyobyum eklenir. “L“ ve “S” uzantılı alaşımlarda (304L, 309S gibi) karbon miktarı düşük tutulmuştur böylece taneler arası korozyon dayanımı artırılmıştır. Ostenitik paslanmaz çeliklerde soğuk şekillendirmeden yararlanılarak mukavemet artırılır. Bu çeliklerde pekleşme, ferritiklerden daha fazladır. Bu arada şekil değiştirme martenziti de oluşabilir ve malzeme manyetiklik özelliği kazanır. Mukavemeti artırmak için bir diğer yol da alaşımlama yapmaktır. Karbon ve azot alaşımlamasıyla mukavemet değerleri artırılabilir bu yöntem en etkin yöntemlerden biridir. Kükürtsüz olan korozif ortamlarda ostenitik çelikler, ferritiklerden daha daha iyi mukavemet değerlerine sahiptir. Bu çeliklere molibden katılması ile organik ve çeşitli mineral asitlere karşı dayanımları artırılır. Tam ostenitik çelikler ısıya ve asitlere dayanıklıdır ayrıca bu çeliklerin yüksek sıcaklık özellikleri iyidir. Ancak sıcak yırtılma eğilimi gösterirler. Ostenitik çelikler diğer çeliklere göre daha fazla sünek ve toktur, ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük, genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için kaynak işlemi gerçekleştirilirken düşük ısılarla bu işlem gerçekleştirilmelidir. Ostenit fazı içeren çeliklerde en büyük sorun, krom karbür çökmesidir. Kritik sıcaklıklar olarak belirlenen 400°C ile 850°C arasında yüksek enerjili tane sınırları boyunca ayrışarak yan yana dizilen kromca zengin karbürler, malzemenin korozif ortamlarda bulunması halinde taneler arası korozyona ve tane ayrılmasına sebep olurlar. Bunun nedeni karbür bünyesine geçen krom nedeniyle, katı

çözüldüğü krom miktarının korozyona dayanıklılık sınırının yüzde on ikinin altına düşmesidir. Bunu engellemek için; Çeliğe stabilizatörler katılır. Böylece çeliğin içyapısı kararlı hale getirilir. Bu stabilizatörler niyobyum, titanyum gibi karbon ilgileri kromunkinden fazla olan elementlerdir. Bu sayede karbon, yüksek sıcaklıklarda dahi kromkarbür oluşturmayacak şekilde bağlanır. ELC (extra low carbon - çok düşük karbonlu) çelikler kullanılabilir. Ostenitik çeliklerde 650°C sıcaklıkta yaklaşık %0.05 oranında karbon çözülebilir. Karbon oranı bu değerden az olursa çözünen karbon, karbür oluşturamaz. Çözme tavı uygulanabilir. 1050- 1150°C arasında tavlayarak çökelmiş karbürler çözündürülür ve hızlı soğutma sağlanarak yeniden çökmenin önüne geçilir.

### **1.5.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler**

Yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları yüzey merkezli kübik kafese sahip ostenitin hızlı soğutma sonucu hacim merkezli tetragonal kafese sahip martenzit yapıya dönüşümüyle martenzitik çelikler elde edilir. Bu çeliklerin içyapısında tavllanmış halde yumuşak ferritik faz da bulunur. Bu gruptaki çelikler %16 ile % 18 krom içeren 440A, 440B ve 440C kaliteleri hariç, en çok %14 krom içerebilirler. Bunun yanında 440 serisi dışında ( bu seri , % 0,60 ile % 1,20 oranında yüksek karbon içerir.) karbon miktarları orta derecedir veya düşüktür. Martenzitik çeliklerde krom ve karbon miktarları martenzit oluşumunu sağlayacak şekilde dengelenirler. Temperleme özelliklerini ayarlamak üzere vanadyum, volfram, niyobyum, silikon, ilave edilebilir. Korozyon dayanımını iyileştirmek ve tokluğu artırmak için az miktarda nikel ilavesi yapılabilir. İstenen içyapı ve özellikleri elde etmek için martenzitik çeliklerin alaşım çeliklerine benzer biçimde yani ostenitleme, suverme ve temperleme gibi ısıl işlemlere tabi tutulmaları gerekir. Ostenitleme işleminin sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasında değişmektedir. Bu sıcaklıkta çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikler karbon miktarına göre değişim göstermektedir. Elde edilen sertlik ve mukavemet, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Bileşimindeki krom miktarı %16 ve karbon miktarı % 0,6-%1,1 olan çelikler 60 HRC sertlik ve 1900 MPa akma dayanımı gösterebilirler. Bu çeliklerin sertliğinin yüksek oluşu, aşınma dayanımına yükseltir.

%1,1 karbon içeren 440C kalitesi yüksek aşınma dayanımına sahipken, %0,1 karbon içeren 410 kalitenin aşınma dayanımı düşüktür. Korozyon dayanımını ve tokluğunu artırmak için alaşıma molibden ve nikel eklenir. Nikel içeren martenzitik çeliklerde karbonun görevini nikel üstlenir. Bu şekilde karbonun olumsuz etkileri (karbür çökeltileri, aşırı sertlik gibi) ortadan kaldırılabilir. Nikel aynı zamanda yüksek miktarda kromun

etkisini dengeleyerek içyapıyı serbest ferritlerden korur. Ayrıca sertleşme kabiliyeti ve su verme derinliği arttığından, iri parçalarda ıslah işlemleri uygulanabilir. Molibden ve nikel ilavesi sınırlı tutulmalıdır aksi takdirde su verme sonrasında martenzite dönüşmemiş artık ostenitler oluşur. Bu nedenle korozyon dayanımı ancak orta düzeyde kalır. Martenzitik çelikler 650°C ye kadar; yüksek çekme, sürünme ve yorulma dayanımı gerektiren, orta derecede korozyif ortamlarda yapılacak olan uygulamalarda rahatla kullanılabilirler. Örnek olarak düşük ve orta miktarda karbon içeren 410 kalite çelik ve türevleri, buhar ve gaz türbinlerinde ve jet motorlarında kullanılır. 420 ve benzeri alaşımlar vana parçalarında bıçak ve diğer kesici aletlerde, dişli, rulman ve millerde tercih edilir. Martenzitik çelikler petrokimya ve petrol makina teçhizatında da kullanılır. 420 kaliteye ek olarak, 440 ve benzeri alaşımlar cerrahi ve dişçilik aletlerinin, makas, yay, kam ve rulman bilyalarının en çok tercih edilen malzemeleridir. Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavllanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavllanmış olarak alınan ürünler şekil verildikten sonra su verme ve temperleme işlemine tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellik kombinasyonlar elde edilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısı işlem sıcaklıklarına tam olarak uyulması çok önemlidir(URL-18, 2015).

#### **1.5.4. Çökme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler**

Çökme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılır.

Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038°C olan östenitleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutulurlar ve daha sonra 482-621°C sıcaklık arasında yaşlandırma işlemine tabi tutularak sertleştirilebilirler. Bu tür çelikler %0,07 'den daha az miktarda karbon içerdiği için, oluşan martenzit yapı çok sert değildir, asıl sertlik yaşlandırma reaksiyonu ile elde edilir.

Yarı-östenitik paslanmaz çelikler östenitleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmazlar. Bunun sebebi martenzit dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığından daha düşük değerlerde olmasıdır. Karbonun veya diğer alaşım elementlerinin karbürler ya da metaller arası bileşikler şeklinde çökebilmesini sağlayabilmek için bu tür çeliklere 732-954°C sıcaklıklar arasında kondisyonlama ısı işlemi uygulanmalıdır. Bu sayede alaşım elementleri çözüldükten ayrılarak östeniti stabilize edecek ve martenzit dönüşümü sıcaklığının yükselmesine neden olacaktır. Böylece çeliğin

oda sıcaklığına doğru soğutulması işlemi sırasında martenzit yapı oluşur. 454-593°C arasında gerçekleştirilen bir yaşlandırma işlemi sonucunda gerilmeler ortadan kalkacak ve martenzit temperlenerek sertlik, tokluk, süneklik ve korozyon dayanımı artacaktır.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen östenitik paslanmaz çelikler çözeltilmeye alma sıcaklığından itibaren hızla soğuttuktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile östenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısıl işlemi uygulandıktan sonra sertleştirilebilirler. Bu işlem 982-1121°C sıcaklıklar arasındaki çözeltilmeye alma ısıl işleminden sonra yine bu sıcaklıklar arasında 704-732°C'a doğru yağda veya suda hızlı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık aralığında 24 saat süren bir yaşlandırma işlemi içerir (Odabaş, 2007).

### **1.5.5. Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler**

Çift fazlı paslanmaz çelikler günümüzde en hızlı gelişen paslanmaz çelik gruplarından biridir. Bu çelikler yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya sahiptirler. Çift fazlı paslanmaz çelikler daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilim korozyon çatlamaına karşı daha fazla direnç sağlamaları nedeniyle, konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstüdürler. Çift fazlı mikro yapı,%21-25 Cr ve %5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavlama ve hızlı bir şekilde soğuttularak edilirler(Odabaş, 2007).

### **1.6. Titanyum ve Alaşımlarının Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmesi Yapılan Çalışmalar**

Sassaniv ve Neelam yaptıkları çalışmada; metal ara tabaka ile birbirine benzeyen veya benzemeyen malzemelerin sürtünme kaynak yöntemi kullanılarak kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Farklı ara tabakalar arası malzemeler ile nikel-çelik ve titanyum-bakır, bronz-prinç malzemelerle sürtünme kaynağında kaynak işlemi yapıldı ve başarılı kaynak işlemi gerçekleştirildi. Kaynaklı parçalarda kaynak bölgesine metalürjik ve mekaniksel analizler yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılmasının amacı farklı yapıdaki malzemelerin ara tabaka kullanılarak birleştirilmesini geliştirmek için yapılmıştır( Sassaniv ve Neelam, 1988).

Vairis ve Frost yaptıkları çalışmalarda; yeni bir yüksek frekanslı bir doğrusal sürtünmeli kaynak makinesi geliştirmişleridir. Yapılan bu kaynak makinesinde Titanyum alaşımlarının farklı parametrelerde kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Kaynak

koşullarının yapılan deneyler sonucunda güç giriş frekansına ve genliğe bağlı olduğu anlaşılmıştır. Yapılan mekanik testler sonucunda ise genliğin artması aynı zamanda sürtünme basınca bağlı olduğu anlaşılmıştır( Vairis ve Frost, 1998).

Vairis ve Frost yaptıkları çalışmada; Doğrusal sürtünme kaynak makinesi kullanılarak Ti6Al4V alaşımının kaynak edilebilirliği ve yığma basıncın etkisi araştırılmıştır. Yığma basıncı doğrusal sürtünme kaynağında önemli bir parametre olduğu gösterilmiştir. Kaynak yapılan parçalarda çapak oluşumu ve aksenal kısalma makroskopik muayene ile doğrulamaktadır. Yapılan bu çalışma birleştirilen parçaların ara yüzde meydana plastik deformasyona uğrayan bölge ve malzemenin maruz kaldığı gerilmeyi incelemek için yapılmıştır(Vairis ve Frost, 1999).

Ünal yaptığı bu çalışmada; ferritik (AISI 430), martenzitik (AISI 440) ve östenitik (AISI 304) paslanmaz çeliklerin AISI 4340 çeliği ile farklı devir sayılarında sürtünme kaynağı ile birleştirebilirlikleri ve kaynaklı numunelerin yorulma dayanımları incelenmiştir. Deney çalışmalarında sürekli tahrik sürtünme kaynağı makinesi kullanılarak 1500, 1800 ve 2100 dev/dk. İşlem parametrelerinde sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin kaynak ara bölgeleri optik ve sem mikroskopları ile incelenmiştir. EDAX analizleri yapılmış ve mikro sertlik dağılımları vickers sertlik değerinde ölçülmüştür. Sürtünme kaynağında birleştirilen numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme deneyleri ve yorulma deneyleri uygulanmıştır. Yorulma deneyleri dönerek eğimli yorulma deneyi cihazında yapılmıştır. Ayrıca yorulma numunelerin kırık yüzeyleri sem mikroskobunda incelenerek kırılma tipi belirlenmiştir(Ünal, 2003).

Silva ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Ti-6Al-4V+%10 TiC malzemesinin dönel sürtünme kaynağında kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Kaynaklı numunelerin birleşme noktalarındaki metalürjik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda ek yerlerindeki gerilme dayanımı, düşük dönme hızı ve basınçtan yararlanılarak iyileştirilmiştir. Dönme hızı ve basınç yüksek seçildiğinde daha geniş ve imce dönüşmüş bölgelere rastlanmıştır(Silva vd., 2004).

Dinç yaptığı bu çalışmada; AISI 304 paslanmaz çeliği ve AISI 1040 karbon çeliklerin sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Böylece maliyeti yüksek olan AISI 304 çeliğinin sarfiyatından tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. Kaynak sırasında, kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı ile kaynak yerlerinin sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Kaynak sonrası numunelere çekme, sertlik deneyleri uygulanmış, mikro yapı incelemeleriyle birlikte EDS analizleri yapılarak optimum kaynak parametreleri

saptanmıştır. Ayrıca numunelere uygun şartlarda ısıl işlem uygulanarak tane yapıları ve mekanik özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır. Sonuç olarak bu iki çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceği görülmüştür(Dinç, 2006).

Mohandas ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında farklı saf metallerin sürtünme kaynağında birleştirilmesini incelemiştir. Farklı metallerin birleştirilmesi sanayide büyük önemli ihtiyaçlardan biridir. Farklı metaller kombinasyonları Fe-Ti, Cu-Ti, Fe-Cu, Fe-Ni ve Ni, Cu-Fe, Cu malzemelerin kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Ti, Ni mühendislik uygulamada en yaygın kullanılan malzemelerdir. Alaşım malzemeler için sürekli sürtünme kaynağında sürtünme süresi malzeme üzerindeki mikro yapı ve çekme özellikleri incelenmiştir( Meshramv vd., 2006).

Çalığülü, ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilen AISI 420/AISI 1010 çelik çiftinde çevresel hızın (devir sayısı) mikro yapı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sürtünme kaynakları, özel olarak hazırlanmış sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde, 50 MPa'lık yığma basıncında, 6 sn'lik sürtünme süresinde, 30 MPa'lık sürtünme basıncında, 4sn'lik yığma süresinde, 1800, 2000 ve 2200dev/dak'lık devir sayılarında yapılmıştır. Kaynak sonrası birleşme ara yüzeyinde meydana gelen mikro yapı değişiklikleri SEM ve EDS analizleri ile incelenmiştir. Ayrıca kaynak sonrası numunelere mikro sertlik testleri uygulanmıştır. Yapılan deney ve incelemeler sonrasında bütün kaynaklı numunelerde, artan devir sayısına paralel olarak malzemelerin mikro yapı özelliklerinin değiştiği gözlenmiştir. 2200 dev/dak'lık devir sayısı uygulanarak yapılan sürtünme kaynağının, mikro yapı açısından kaynak kalitesi en yüksek birleştirme olduğu görülmüştür(Çalığülü, vd., 2007).

Meriç ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş farklı malzemelerin kaynak bölgesinin incelenmesi araştırılmıştır. Yaptıkları bu çalışmada kullandıkları malzemeler AISI 304–SAE 1040; AISI 304–SAE 1020; ETİAL F1–SAE 1040; SAE 1040–SAE 1020; AISI 304–ETİAL F1; ETİAL F1-BS EN Cu-OF malzeme çiftlerinin sürtünme kaynağı gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesinin metalürjik ve mekanik özelliklerinden sertlik belirlenmiştir. Mikro sertlik değerlerindeki değişimler ve içyapılar da incelenmiştir(Meriç vd., 2008).

Çelik yaptığı bu çalışmada; Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan Ck 45 çeliği ve St 52-3 malzemelerinin sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Böylece maliyeti yüksek olan St 52-3çeliğinin sarfiyatından tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. Kaynak sırasında, kızılötesi sıcaklık ölçme cihazı ile yüzey sıcaklıkları

ölçülmüştür. Birleştirilen numunelere çekme, izod darbe deneyleri uygulanmış, mikro sertlik ölçümleri yapılmış, mikro yapı ve kırılma yüzeylerinin SEM incelemeleri ve EDS analizi yapılarak mekanik ve metalürjik özellikleri saptanmıştır. Parametrelerden sürtünme süresi ve yığılma basıncı artırılarak yapılan birleştirmede diğerlerine göre daha iyi bir birleşme kalitesi elde edilmiştir. Bunun sonucunda, farklı iki çeliğin sürtünme kaynağı ile yeterli bir şekilde birleştirilebileceği görülmüştür(Çelik, 2008).

Romero ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda; Ti-6Al-4V alaşımının doğrusal sürtünme kaynak edilebildiğini, mikro yapının ve mekanik özelliklere yığılma basıncın etkisi araştırmışlardır. Kaynakla birleştirilen numunelere çeşitli mekanik ve mikro yapı testleri uygulanmıştır. Mikro yapı incelemeleri için enerji dağıtıcı sinkrotron X ışını difraksiyon taraması kullanılmıştır. Deney sonuçlarında kaynak bölgesinin genişliği, kaynak bölgesinde oluşan Titanyum alaşımlarının genellikle dövme basınç artışı ile azaldığı görülmüştür. Böylece dövme basıncı sürtünme kaynak makinesinde önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır(Romero vd., 2009).

Ma vd.(2009) yaptıkları çalışmada; önceden hazırlanan parametreler neticesinde Ti6Al4V alaşımının doğrusal sürtünme kaynak makinesinde kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Kaynaklı numunelerin mikro, darbe tokluğu ve kırılma özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda görülmektedir ki kaynak merkezinde  $\alpha$ - $\beta$  mikro yapıların oluştuğu gözlenmiştir. En yüksek darbe tokluğu olarak  $61,3 \pm 5,8 \text{ J / cm}^2$  ölçülmüştür.

Seli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Alüminyum ile hafif çeliklerin sürtünme kaynağında Al1100 levha ara katman kullanılarak kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Kaynaklı parçalar birçok analiz yapılmıştır; sertlik testleri, bükme testleri, makro yapı, SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 186 Mpa ölçülmüştür bunun nedeni sürtünme süresi artmasıyla gerçekleşmiştir. Kırık yüzeyler kaynak ara yüzeyinde oluşmuştur buda kaynak bölgesinin güçlü bir bağ olduğunu göstermektedir. Güçlü bağın oluşması ise birleşme bölgesinin kenetlenmesi ve dar intermetalik faz oluşumudur. Bu çalışmada FD yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılması kaynak işlem parametrelerinin gelişimine rehberlik yapar ve sürtünme kaynak sürecinin daha iyi anlaşılmasını sağlar( Seli vd., 2010).

Kaya yaptığı çalışmada; AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği ile St 60 genel yapı çeliğinin sürtünme kaynak kabiliyeti araştırılmıştır. Böylece maliyeti yüksek olan AISI304 östenitik paslanmaz çeliğinin sarfiyatından tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. Kaynak

sonrası numunelerin mekanik davrandığını belirlemek amacıyla çekme, sertlik deneyleri uygulanmış, deney numunelerinin mikro yapı incelemeleriyle birlikte EDS analizleri yapılarak optimum kaynak parametreleri saptanmaya çalışılmıştır(Kaya, 2010). Ting ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda; 304 paslanmaz çelik ile Ti-15-3 titanyum aşımın elektron ışın kaynağında bakır ara katman kullanılarak kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Birleşme bölgesi mikro yapıları optik mikroskop, taramalı mikroskop ve X-şın difraktometresi ile incelenmiştir. Buna ek olarak birleşme bölgesinin mekanik özellikleri çekme tesiti ile değerlendirilmiş ve ortalama mikro sertli ölçülmüştür. Kaynaklı bölge ve saf metallerde arasında iyi bir difüzyon oluşmuştur. Mikro yapılar bakıldığında paslanmaz çelik tarafında ve kaynak bölgesine yakın bölgelerde TiFe<sub>2</sub> intermetaliklerin olduğu ve katı bakır parçacıklar görülmüştür. Titanyum alaşım tarafında ve kaynak bölgesinde Ti-Cu ve Ti-Fe-Cu katmanların içerdiği görülmüştür ve en yüksek sertlik değeri ölçülmüştür(Ting vd., 2010).

Wen-Ya Li vd. (2010) yaptıkları çalışmada; farklı işlem parametrelerinde doğrusal sürtünme kaynağı kullanılarak Titanyum alaşımlarının sayısal simülasyon kullanarak kaynak edilebilirliğini araştırılmıştır. TC4 Titanyum alaşımının kaynak işleminde kullanılan sayısal modelleme olarak 2B modelli ABAQUS / Explicit kullanılarak yapılmıştır. Birleşmiş parçaların termo-mekanik analizi ise Johnson-Cook malzeme modeli ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerdeki aksel kılınmanın ve sıcaklık değerlerinin işlem parametrelerinin etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Sürtünme işlemi sırasında sıcaklığın çok küçük zaman aralığında aniden arttığı daha sonra yavaş yavaş arttığı ve son olarak ta üniform bir şekilde devam ettiği görülmüştür. Yaptıkları çalışma göstermektedir ki doğrusal sürtünme kaynağında işlem parametreleri önemli bir etkiye sahiptir.

Turner vd. (2011) yaptıkları çalışmada; Doğrusal sürtünme kaynak yöntemi titanyum alaşımların kaynak edilebilirliği ve sayısal, analitik olarak modellenmesi araştırılmıştır. Sivil uçak-motor yeni nesil kanatları dişlerin üretimi için model olarak deneysel çalışmalarda pilot ölçekli Ti6Al4V alaşımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemimdeki ısı transferi etkilerini yağın olarak anlamak için termokulplar takıldı. İşlem parametreleri ise genlik, frekans ve uygulanan basınç deneysel ve modelde birbiriyle aynı olduğu gösterilmektedir.

Reddy ve Ramana (2012) yaptıkları çalışmada; Yüksek alaşımlı çelik ile düşük alaşımlı çeliğin sürekli tahrik sürtünme kaynağında nikel ara katman kullanılarak kaynak



edilebilirliğini araştırmışlardır. Yüksek alaşımlı çeliğin çerisinde bulunan elementler sayesinde sertliği, sünek ve darbe dayanıklı iyi ama bunun yanında birleşme yani yayılması düşük olduğu gözlenmiştir. Nikel birleşmede iyi yayılması mekanik özellikler üzerinde iyi sonuçlar vermiştir. Kaynak işlemleri her iki şekilde yapılmıştır ara katman kullanılarak, iki ara katman kullanmadan birleştirilmiştir. Sonuç olarak ara tabaka kullanılan kaynak işlemlerin mekanik özellikleri kullanılmadan yapılan kaynak işlemlerin mekanik özelliklerinde daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Li vd. (2012) yaptıkları çalışmalarda; Nikel ara tabaka kullanılarak TİNİ şekil hafızalı metal alaşım ve paslanmaz çelik lazer kaynağı ile kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları bu araştırmada kaynak yapılan numunelerin mekanik ve mikro özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, nikel arata bakanın kalınlığı lazer kaynaklı birleşiklerde mekanik özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Yapılan mikro testler sonucunda nikel arata bakanın kalınlığı artması kaynak içerisinde nikel artmasına ve intermetalik bileşikler (Fe<sub>2</sub> ve TiCr<sub>2</sub>) oluşmuştur. İntermetalik bileşik tabaksı birleşme bölgesinde meydana gelmiştir. Mekanik testler sonucunda maksimum çekme mukavemeti ve birleşme bölgesindeki uzama 372 MPa ve %4,4 olarak ölçülmüştür. Çalışma sonunda anlaşılmaktadır ki Nikel ara katmanın artırılması kaynak birleşme özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Winiczenko ve Kaczorowski (2012) yaptıkları çalışmada; dökme demir ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynak makinesinde farklı malzemelerin kaynak edilebilirliğini incelemiştirlerdir. Dökme demir-östenik paslanmaz çelik, dökme demir-Arcmco demir, dökme demir- düşük karbonlu çelik malzemeler arasında kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak yapılan numunelere çekme testi ve sertlik testleri uygulanmıştır. Birleşim bölgesinin kırık yüzeyleri ise elektron mikroskobu, tarama elektron mikroskobu uygulanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde birleşme bölgesi çekme mukavemeti aynı saf malzeme mukavemeti gibi olduğu görülmektedir. Kaynaklı parçalar mikro yapıları incelendiğinde dökme demir –paslanmaz çelik içerisinde Cr, Ni ve C atomlarının kaynak ara yüzeyinde yayıldığı görülmektedir.

Kırık ve Özdemir (2012) yaptıkları çalışmalarda; sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI/Dupleks paslanmaz çelik çiftinden sürtünme süresinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sürtünme kaynakları tarafından imal edilen PLC kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde yapılmıştır. Kaynak bağlantıları; devir sayısı 1700 dev/dk sürtünme basıncı 30 MPa, yığılma basıncı 60 MPa, yığılma süresi

4sn. ve sürtünme süresi 3,5,7,9 ve 11sn'lik sürtünme süreleri seçilerek gerçekleştirilmiştir. Kaynak sonrası birleşme ara yüzeyinde meydana gelen yapısal değişiklikler SEM ve EDS analizleri yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca, kaynaklı bağlantıların mekanik davranışlarını belirlemek için mikro sertlik ve çekme testi uygulanmıştır. Mikro yapı ve mekanik test sonuçlarından, sürtünme süresinin bağlantı mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı, 1700 dev/dak devir sayısı ve 3sn'lik sürtünme süresi kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıda gerçekleştirildi.

Zhang vd. (2012) yaptıkları çalışmada; nikel ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynak makinesinde molibden ve bakırın birleştirme işlemleri ve uygun işleme parametreleri araştırılmıştır. Kaynak edilen parçalar mikro işlemleri için SEM, EPMA ve XRD kullanılarak difüzyon birleştirme işlemi etki eden parametreler incelenmiştir. İncelemeler sonucunda kaynaklı parçalarda Mo-Cu ve Cu-Ni bileşikler oluşmuştur. Nikel ara tabakanın artırılması birleştirme sıcaklığın düşmesine sebep olmuştur. Kaynaklı parçalarda kopma Mo/Ni ve Ni/Cu ara yüzeyinde oluşmuştur. Maksimum çekme 97 MPa mukavemeti 880 C ve 30 sn uygulanan kaynak parametrelerinde gerçekleşmiştir.

Wang vd. (2013) yaptıkları çalışmada; nikel ara tabaka kullanılarak alüminyum ve magnezyum parçalarının lazer ark kaynak makinesinde kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Kaynak yapılan numunelerin mikro ve intermetalik bileşikler üzerindeki birleştirme etkisi analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Mg ve Al arasında bir geçiş bölgesi, Mg-Mg<sub>2</sub>Ni ötetik ve Al-Al<sub>3</sub>Ni peritektik oluşmuştur. Kaynak birleşme bölgesinde nikel arata bakanın kullanılması birleştirmeyi güçlendirmiştir. Sonuç olarak malzemeler ara tabaka kullanılarak kaynak edilmiştir.

Tomashchuk vd. (2013) yaptıkları çalışmada; bakır ara tabaka kullanılarak paslanmaz çelik ve titanyum alaşımının elektron ışığın kaynağı kullanılarak farklı kaynak parametrelerde kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Birleştirilecek olan numuneler ise AISI 316 östenitik paslanmaz çelik ile titanyum alaşımı ve bakır folyo ara tabaka kullanılarak kaynak edilmiştir. Kaynaklı parçaların mekanik ve metalürjik analizleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen birleşmenin kuvvetli olması ara tabakanın kalınlığına bağlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca eritilmiş bölgedeki titanyum difüzyonu artması kaynak mukavemetini de artırmaktadır.

Zhang vd. (2013) yaptıkları çalışmada; Titanyum alaşımların doğrusal sürtünme kaynak makinesinde kaynak edilebilirliği ve sıcaklığın mikro yapı ve mikro sertlik

üzerindeki etkisini incelemiştir. TC4 ve TC17 titanyum alaşımları farklı birleşme sıcaklıklarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kaynak bölgesi mikro yapı tamamen dönüşmüştür ve kaynak ara yüzeyinde  $\beta$  transus sıcaklığı aşılmıştır. TC4 tarafında  $\alpha$  ağırlıklı olarak ve rastgele dağılımlı martenzit faz oluşmuştur, TC17 tarafında ise tek  $\beta$  fazı oluşmuştur. Sonuç olarak TC4 tarafında kaynak bölgesinde  $\alpha$  fazı  $\alpha+\beta$  fazına dönüştüğünden sertlik bir azalmaya neden olur, TC17 alaşımın kaynak bölgesindeki faz değişimi  $\alpha-\beta$  olduğu için sertlik değeri arttığı görülmüştür.

Arıcı (2013) yaptığı bu çalışmada; Ni3Al metaller arası bileşiğin kendisiyle ve 316L paslanmaz çelik ile sürtünme kaynağı yapılmıştır. Farklı sürtünme hızları, sürtünme basınçları ve sürtünme süreleri denenerek optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir ve bulunan kaynak parametrelerinin kaynak ara yüzeyine, mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Kaynakların birleşme ara yüzeyinde değişen şartlarda meydana gelen değişimleri incelemek için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca birleşme ara yüzeyine dik doğrultuda mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır ve ölçülen değerler malzeme ara yüzeyinde meydana gelen mikro yapısal değişimlerle ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Aynı zamanda malzemelerde kaynak kısımlarının kesme mukavemeti ölçülerek mukavemetin şartlara göre nasıl değişiklik gösterdiği incelenmiştir. Sonuç olarak Ni3Al alaşımının kendisiyle ve 316L paslanmaz çelik ile sürtünme kaynağında değişen işlem parametrelerinin kaynak ara yüzeyi mikro yapısını, sertliğini ve mukavemetini etkilediği görülmüştür.

Kumar ve Balasubramanian (2013) çalışmalarında SUS 304 HCU östenitik paslanmaz çelikler boruların sürtünme kaynağıyla birleştirilmesi ve mikro yapı ve çekme özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Sürtünme kaynak parametreleri kullanılarak östenit paslanmaz çelik boruların kaynak edilmiştir. Cu düşük sıcaklıkta ötektik oluşturabilir ama sürtünme kaynağında bu olay ortadan kalmaktadır.

Song vd., (2014) yaptıkları çalışmada; Farklı titanyum alaşımların doğrusal sürtünme kaynağında kaynak edilebildiğinin moleküler dinamiğinin simülasyonu yapılmıştır. Denede Ti ve Ti-Al alaşımı kullanmışlar ve yapılan birleşmelerde sıcaklık değişimi, plastik deformasyon ve atomik difüzyon davranışını analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında görülmektedir ki sürtünme sırasında hızla arttığı daha sonra zamanla azaldığı görülmüştür ve Titanyum atomların daha yüksek difüzyon kabiliyeti olduğu anlaşılmıştır.

Zhao vd., (2014) yaptıkları çalışmada; ara yüzey yapısı ve niyobyum ara tabaka kullanılarak titanyum alaşımlı ve paslanmaz çelik arasındaki sıcak haddeleme birleştirilmiş

bağlantıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Birleşme sıcaklığın 800 C ve 900 C olduğu zaman niyobyum ve paslanmaz çelik ara yüzeyinde intermetalik bileşikler oluşmamıştır. 1000 C veya 1050 C ara yüzeyde Fe-Nb intermetalik tabakalar oluşmaktadır. Bağlama sıcaklığı 1050 C olduğu zaman çatlama paslanmaz çelik ve intermetalik tabaka arasında oluşmaktadır. Maksimum çekme mukavemeti 417,5 Mpa olduğu durum bağlanma sıcaklığının 900 C ve haddelemenin 38 mm/s de deney sonuçlarında görülmüştür.

Ren ve Liu (2014) yaptıkları çalışmada; bakır ara katman kullanılarak kaynak ark nokta kaynağında magnezyum ve çelik malzemelerinin kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Birleştirme işlemi farklı malzemelerin mekanik ve metalürjik muayene kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak bakır ara katmanın kullanılması magnezyum ve çelik parçalarını birleşmesini sağlamıştır. Kaynak ara yüzeyinde  $Al_3Cu_4Fe_3$  ve  $Fe_4Cu_3$  intermetalik fazların oluşmuştur. Bakır ilavesi artması, kaynak sıcaklığın artması kaynak bileşim ara yüzeyini etkilemektedir. Yapılan bu çalışma magnezyum alaşımlarının çelik ile kaynak edilebileceği anlaşılmıştır.

Muralimohan vd., (2014) yaptıkları çalışmada; Nikel ara tabaka kullanılarak paslanmaz çelik ile ticari saf titanyumun sürtünme kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğini ve uygun işlem parametreleri incelenmiştir. Kaynak bağlantıları mikro optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı X ışını spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Metalografik incelemelerde görülmüştür ki, titanyum/nikel ve nicel/paslanmaz çelik ara yüzleri ve iyi bir difüzyon kaynak bölgesinde tespit edilmiştir. Sürtünme zamanı ve yığma basıncın kaynak bağlantılarının metalürjik ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak görüldü, atomlar iyi bir şekilde dağıldığını ve Fe-Ti arasının bileşikler oluştuğu gözlenmiştir. Sürtünme zamanının ve ara katmanın artmasıyla ısıdan etkilenen bölge azalmaktadır. Mikro sertlik analiz sonuçlarında, birleştirme bölgesinde katı çözümlü sertleşmesi görülmüştür. Yığma basıncı arttıkça çekme dayanımında arttığı görüldü. Maksimum çekme mukavemeti 289 Mpa, 320 Mpa yığma basıncında elde edilmiştir. Çekme testi sonucunda kopma titanyum tarafında olduğu görülmüştür.

Tomashchuk ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda; saf vanadyum ara tabaka kullanılarak AISI 316L paslanma çelik ile Ti6Al4V alaşımı farklı lazer kaynağı ile kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Üç farklı lazer kaynağı işlemi yapılmıştır: Tek-geçişli kaynak, üç malzeme-iki geçiş ve çift nokta kaynak içeren. En uygun kaynaklar için mikro,

faz içeriği ve mekanik özelliklerinin araştırılması yapılmıştır. En yüksek mekanik özellik iki geçişli kaynak işleminde meydana gelmiştir. Yapılan kayna işlemi başarıyla sonuçlanmıştır.(Tomashchuk vd.,2015)

Kumar ve Balasubramanian (2015) yaptıkları çalışmada; Bakır ara tabaka kullanılarak Ti6Al4V titanyum alaşımı ile 304L paslanmaz çeliğın sürtünme kaynak makinesinde kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Ti6Al4V titanyum alaşımı ile 304L paslanmaz çelik ara tabaka olmadan birçok kaynak işlemi yapılmıştır ama sonuç olarak birbirleri arasında birleşme sağlanamamıştır. Kaynak yapılacak olan bu iki numune ara tabaka kullanılarak kaynak edildi. Kaynak birleşme bölgesi mekanik açıdan analiz edildi. Mikro yapısal analiz ve element analizi EDS tarafından yapılmıştır ve ara yüzeydeki intermetalik bileşikler XRD analiz ile tespit edilmiştir.

Zakipour vd., (2015) yaptıkları çalışmada; farklı paslanmaz çelikler ile titanyum alaşımların sıvı hal difüzyon birleştirme işlemi üzerindeki ara katman kalınlığı etkisini araştırmıştır. Sıvı hal difüzyon kaynak makinesinde yapılan birleştirme işleminde ara tabaka olarak bakır, kaynak yapılacak numuneler ise 316 ile Ti6Al4V alaşımı kullanılmıştır. Kaynak parametreleri ise birleştirme sıcaklığı 1100 ve birleştirme zamanı 60 dakika seçilmiştir. Birleşme bölgesi mikro elektron mikroskobu ve enerji dağıtıcı spektroskopi tarayarak detaylı analiz edildi. Mikro sertlik ve kayma direnci testleri de birleşme bölgesinin mekanik özelliklerini karakterize uygulanmıştır. Sonuç olarak ara katman kalınlığı difüzyon bölgesinde artığı ve kaynak dikişii genişliğinin artmasına neden olduğunu gösterdi. Cu<sub>2</sub>Ti ve CuTi intermetalik bileşiklerin oluşması kopma mukavemetinin düşmesine neden olmuştur. Maksimum kesme kuvveti 284 Mpa ile aratabaka kalınlığın 50 mm yapılan birleşme sonucunda elde edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, kaynak yapılmış malzemelerin özelliklerini, kaynak işlemine hazırlık sürecini, malzemelerin mekanik özelliklerini ve kaynak işleminin nasıl yapıldığı ve dataların hangi yöntemler kullanılarak sağlandığı konularına değinilmiştir.

### 2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deneylerde kullanılacak olan numuneler piyasadan hazır olarak temin edilmiştir. Sürtünme Kaynağında kullanılacak malzemeler ve ara tabaka olarak kullanılan tozların kimyasal özellikleri ve mekanik özellikleri Tablo 2.1.-2.7.'de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan malzemeler; Ti6Al4V, AISI304, AISI310, AISI316, AISI316L, AISI316Ti, AISI430, Inconel600. Deneyde kullanılan ara tabaka tozlar; Bakır tozu, Nikel tozu ve MX-1480 tozlarıdır. Tüm malzemeler 8 mm çapında çubuk malzeme kullanılarak kaynak yapılmıştır. Kaynak işlemi öncesi ve sonrasında herhangi bir ısıl işlem yapılmamıştır.

**Tablo 2.1.** Ti6Al4V kimyasal özellikleri

Malzeme Adı	Al	V	C	Fe	O	N	H	Ti
Ti6Al4V	5,5-6,75	3,5-4,5	0,1	0,4	0,2	0,05	0,015	89,464

**Tablo 2.2.** Paslanmaz çeliklerin kimyasal özellikleri

Malzeme Adı	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%Ti
AISI 304	0,08	2,0	0,045	0,03	0,75	18-20	8-10	-	-
AISI 310	0,08	2,0	0,045	0,03	0,75	25	20	0,75	-
AISI 316	0,08	2,0	0,045	0,03	1,0	16-18	10-14	2-5	-
AISI 316L	0,03	2,0	0,045	0,03	1,0	16-18	10-14	2-5	-
AISI 316Ti	0,08	2,0	0,045	0,03	1,0	16-18	10-14	2-5	0,7
AISI 430	0,12	1,0	0,045	0,03	1,0	16-18	0,75	-	-

**Tablo 2.3.** İncel600'ün kimyasal özellikleri

Malzeme Adı	%Ni+Co	%Cr	%Fe	%C	%Mn	%Si	%S	%Cu	%si
İncel600	72	17,5	8,23	0,15	1,0	0,1	0,015	0,5	0,5

**Tablo 2.4.** Ti6Al4V mekanik özellikleri

Malzeme Adı	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma gerilmesi (MPa)	Sertliği HB	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Erime sıcaklığı (C)	%Uzama	Elastisite Modülü (GPa)
Ti6Al4V	950	880	334	6,7	1650	14	113.8

**Tablo 2.5.** Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri

Malzeme Adı	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Sertliği (HB)	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Erime Sıcaklığı (°C)	% Uzama	Elastisite Modülü (GPa)
AISI 304	505	215	123	16,2	1400-1453	70	193-200
AISI 310	500-900	210	192	14,2	1450	40	200
AISI 316	580	290	79	16,3	1370-1400	50	193
AISI316L	515	205	149	16,3	1375-1400	60	193
AISI316Ti	550	220	95	14,6	1371-1421	40	200
AISI 430	517	345	85	26,1	1425-1510	25	200

**Tablo 2.6.** İncel600 mekanik özellikleri

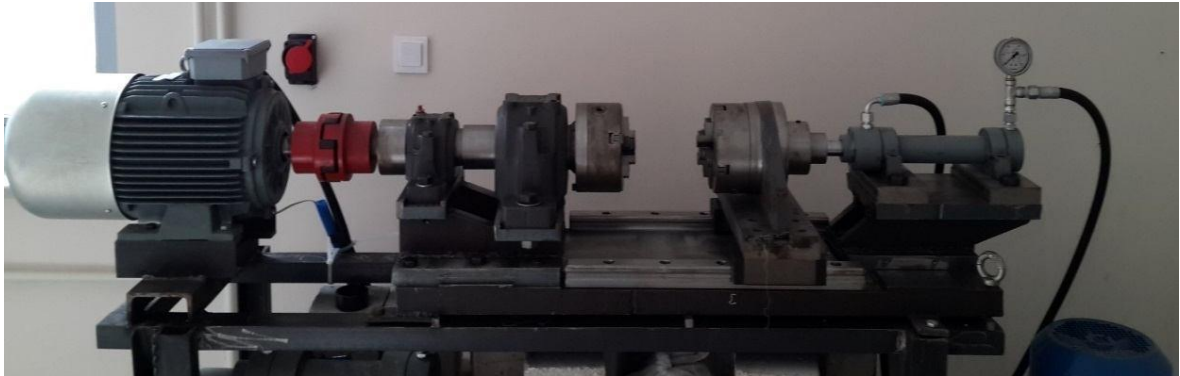
Malzeme Adı	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Sertlik (HRB)	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Erime Sıcaklığı (C)	% Uzama	Elastisite Modülü (GPa)
İncel600	880	758	65-85	9,8	1354-1413	30-60	207

**Tablo 2.7.** Bakır-Nikel-Mx1480 tozlarının mekanik özellikleri

Malzeme Adı	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Sertlik (HRB)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Erime Sıcaklığı (°C)	% Uzama	Elastisite Modülü (GPa)
Bakır	220-345	69-310	87,4	398	1357	6-55	130
Nikel	483	152	80	67-91	1435-1446	48	190-220
MX-1480			110		1000		

## 2.2. Deneyde Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinesi

Kaynak işlemi Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan PLC kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynağı cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu makine özel olarak tasarlanıp üretilmiştir ve bütün kaynak parametreleri PLC ünitesi üzerinde bulunan dokunmatik ekran üzerinden kumanda edilebilmektedir. Resim 2.1.'de deneyde kullanılan sürtünme kaynağı gösterilmiştir.



**Resim 2.1.** Deneyde kullanılan sürtünme kaynak cihazı

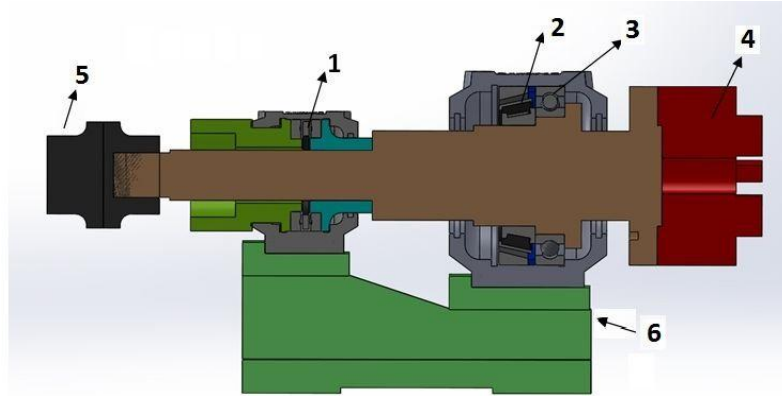
Sürtünme Kaynak cihazı mekanik kısım 3 bölümden oluşmaktadır, bunlar tahrik bölgesi, hareketli bölge ve baskı bölgesidir. Tüm bölümler titreşimi önlemek için tek parçadan oluşan 50 mm kalınlıkta St52 malzemeye civata kullanılarak sabitlenmiştir.

### 2.2.1. Tahrik Bölgesi

Tahrik bölgesi sürtünme kuvvetini sağlayan bölgedir. Bu bölgenin tasarlanırken maksimum 5000 dev/dak hızlarda çalışmak üzere tasarım yapılmıştır. Ayrıca parça üzerinde dönme hareketi esnasında parça üzerinde eksenel ve radyal kuvvetlerde oluşmaktadır. Bu nedenle kaynak işlemi esnasında oluşacak eksenel ve radyal kuvvetlere



karşı mukavemetli olan bir mil tasarımı ve rulmanlar seçilmiştir. Kaynak işlemi esnasında parça üzerinde aksel kuvvet 100 KN'a kadar çıkabilmektedir. Bilyeli rulmanlar bu baskı kuvveti karşısında kırılabilir. Daha büyük rulmanlar kullanılarak bu sorun çözülebilmektedir. Fakat maliyetin arttığı ve sistemin büyüdüğü görülmektedir. Bu nedenle aksel bir rulman kullanılarak. Kaynak işlemi esnasında oluşan aksel kuvvetler aksel rulman kullanılarak giderilmiştir. Dönme hareketi için 7,5 kW gücünde 3 fazlı bir asenkron elektrik motoru kullanılmıştır. Motor tahrik miline kaplin kullanılarak monte edilmiştir. Kaplin kullanımındaki amaç montaj işlemi esnasında oluşabilecek aksel kaçıklığını engellemek, ilk hareketin yumuşak bir şekilde hareket miline aktarılmasını sağlamak, kaynak işlemi esnasında oluşan değişken kuvvetlerin neden olduğu titreşimleri sönmölmektir. Ayrıca frenleme işlemi esnasında sistemin daha titreşimsiz durmasını sağlamaktır. Kaynak edilecek parçanın daha sıkı bir şekilde tutulmasını sağlamak için 4 ayaklı aynalar kullanılmıştır. Şekil 2.1.'de de tahrik bölgesi gösterilmiştir



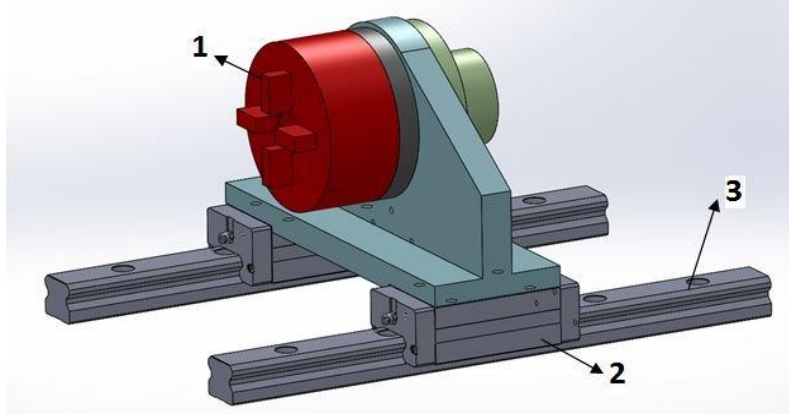
1.Eksenel Rulman 2.Konik Rulman 3.Radyal Rulman 4.Ayaklı Ayna 5.Kaplin 6.Kaynaklı Destek Parçası

Şekil 2.1. Sürtünme kaynak makinesi tahrik bölgesi tasarımı

### 2.2.2. Hareketli Bölge

Sabit olan parçanın Z ekseninde ileri geri hareketini sağlamak ve hidrolik piston tarafından sağlanan baskı kuvvetinin dönen parçaya aktarımını sağlamak için şekil 2.2.'de gösterildiği gibi hareketli bir bölge tasarlanmıştır. Parçasın gövdeye bağlantısı ağır tip lineer kızaklar kullanılarak yapılmıştır. Lineer kızak kullanımındaki amaç hareket esnasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerini minimuma indirmek ve hassas bir şekilde Z ekseninde boyunca baskı kuvvetini dönen parçaya iletmektir. Ayrıca lineer kızakların montajı M12 civata kullanılarak için makineye montajı yapılmıştır. Lineer kızak kullanımı işçilik

maliyetlerini düşürmektedir. Kaynak işlemi esnasında oluşan kuvvetlerden dolayı lineer kızaklar vidalı bağlantılarından dolayı az seviyede dahi olsa hareket etmektedirler bunu engellemek için, kızaklar tabla üzerinde 5 mm'lik bir kanal açılmıştır ve kızakların alt kısmı tek taraflı olarak bu kanala baskı yapacak şekilde montajı yapılmıştır.



1) 4 ayaklı sabit ayna 2)Araba 3)Lineer Kızak

Şekil 2.2. Hareketli bölge

Baskı bölgesi kaynak işleminde hareketli bölgeye baskı kuvvetini sağlayan bölgedir. Bu kısım üzerinde hidrolik bir silindir bulunmaktadır. Kaynak işlemi esnasında parçaların birbirine tam aksenal olarak baskı yapabilmesi için Hidrolik silindirin merkezi kaynak edilecek parçaların merkezi ile aynı seviyededir.

### 2.2.3. Hidrolik Sistem

Sürtünme kuvveti ve yığıma kuvvetinin sağlanması için hidrolik bir sistem kullanılmıştır. Sürtünme kaynak makinelerinde sürtünme ve yığıma kuvvetini sağlamak için elektromekanik silindirlere kullanılmaktadır. Bu silindirlere yük hücresi de entegre edilebilmekte ve daha hassas uygulamalar içinde kullanılmaktadır. Fakat uygulanabilirliği ve yapılabilirliğinin daha kolay, daha az maliyetli ve daha uzun süre dayanıklı olması açısından makine üzerinde hidrolik bir sistem kullanılmıştır.

### 2.2.4. Güç Ünitesi

Hidrolik sitem güç ünitesi dişli bir hidrolik pompa, pompayı tahrik eden motor, yön valfi, basınç transmitteri oransal vanadan meydana gelmektedir. Sitemin maksimum basınç değeri 200 bar olacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Pompanın debisi ise 16 lt/dk'dır.

Elektrik motoru gücü 7,5 kW'dir. Kaynak işlemi esnasında sürtünme işleminden yığıma işlemine 0,2 saniyede geçebilmek için elektrik motoru gücü yüksek olarak seçilmiştir. Hidrolik sistem uzun süre çalıştığında ısınacağı için güç ünitesine sulu soğutucu entegre edilmiştir. Resim 2.2.'de hidrolik güç ünitesinin resmi gösterilmiştir.



**Resim 2.2.** Hidrolik güç ünitesi

### **2.2.5. Kontrol Ünitesi**

Kontrol ünitesi sürtünme kaynağı ile ilgili tüm parametrelerin ayarlandığı, hidrolik sistem ve elektrik motorunun kontrol edildiği kısımdır. Resim 2.3.'de kontrol ünitesi ve iç kısmı gösterilmiştir. Kontrol ünitesinde FATEK FBS20MA model bir PLC kontrol cihazı bulunmaktadır. Kaynak parametrelerinin PLC'ye aktarılması için dokunmatik bir ekran kullanılmıştır dokunmatik ekran üzerinden sürtünme süresi, sürtünme basıncı, yığıma süresi ve yığıma basıncı parametreleri girilebilmektedir. Ayrıca hidrolik güç ünitesi motoru ve makine üzerindeki elektrik motorunun çalıştırılması durdurulması bu panel üzerinden yapılmaktadır. Sürtünme hızının ayarlanması ise Medel Elektronik marka MAVS-A2-7.5 model invertöre bağlı bir potansiyometre tarafından yapılmaktadır. Elektrik motorunda invertör kullanılmasıdaki amaç dönüş hızının ayarlanabilmesidir. İnvörtör ile frekansı değiştirilerek 150 Hz ye kadar çıkabilmektedir. Kullanılan motorun 380 volt akımda dönüş hızı 1500dev/dak'dır. İnvörtör kullanımı ile bu değer 4500 dev/dak'ya kadar çıkmaktadır. Motorun dönüş hızı PLC ekranında görülmektedir. Sürtünme süresi bittiği zaman motor PLC tarafından durdurulmakta ve yığıma işlemi yapılmaktadır.



**Resim 2.3.** Elektrik panosu ve kontrol ünitesi

Motorun frenleme işlemi ise invertör tarafından yapılmaktadır. İntvertör panelinde yapılan ayarlamalar ile frenleme hızı 0,5 saniyeye kadar düşürülmektedir. Fakat frenleme zamanının kısa olması invertör üzerinde elektriksel hatalara neden olmakta ve sistem kendini korumaya almaktadır. Ayrıca yüksek frenleme süresi kaynak bölgesinde mikro çatlaklara yol açacağından, elektrik motoru üzerine elektromekanik bir fren eklenmiştir. Bu frenleme sistemi ile birlikte motorun durma süresi 0,1 saniye değerine inmiştir. Sistem manuel olarak da çalışmaya olanak sağlamaktadır. Acil durumlara karşı kumanda paneli üzerinde bir acil stop butonu bulunmaktadır. Kaynak için kullanılan bütün parametreler 0,1 hassasiyetinde ayarlanabilmektedir.

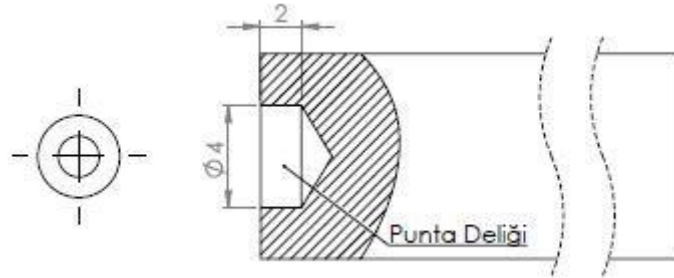
### **2.3. Kaynak Yapılacak Numunelerinin Hazırlanması**

Deneylerde piyasadan temin edilen 8mm çapında 3 metre boyunda çubuk malzemeler Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm laboratuvarında bulunan “Metkon Metacut” marka hassas numune kesme cihazında, numuneler 8mm çapında 30mm boyunda kesilmiştir. Resim 2.4. kesme cihazı gösterilmiştir. Daha sonra malzemeler yüzeyleri torna tezgâhında alın tornalama yapılmıştır. Bunun sebebi yüzeylerin pürüzsüz ve tam birleşmenin olmasıdır. Ti6Al4V ile birleştirilecek olan numuneler ise; Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan üniversal torna tezgâhında her bir numuneye 4mm çapında, 2mm boyunda delik delinmiştir. Torna tezgâhındaki işlem

bittikten sonra açılan bu deliklere ara tabaka olarak kullanılacak olan bakır, nikel, MX-1480 tozları ile özel bir baskı aparatı ile açılan deliklere doldurulmuştur. Ayrıca baskı aparatının yerine deliklerin içine konulan tozlar kaynak işlemin sırasında dağılmaması için tozların üzerine birer damla alkol damlatılmıştır. Şekil 2.3.'de sürtünme kaynağına uygun şekilde hazırlanmış numuneler gösterilmiştir.



**Resim 2.4.** Kesme cihazı

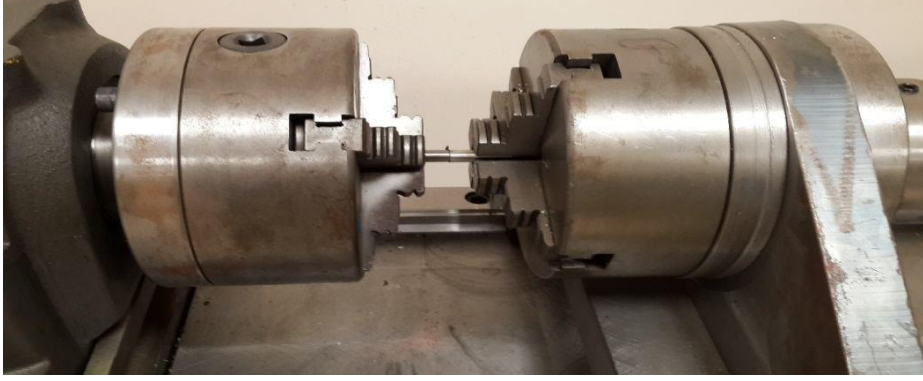


**Şekil 2.3.** Sürtünme kaynağına hazırlanmış numune

## **2.4. . Sürtünme Kaynağı İşlemi ve Parametreleri**

Hazırlanan numuneler Tunceli üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan PLC kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde yapılmıştır. Sürtünme kaynak cihazının dönen kısmına Ti6Al4V malzeme olan numune bağlanmıştır, sabit kısmına ise diğer numuneler bağlanmıştır. Numuneler bağlandıktan sonra kaynak işlemi yapılmıştır. Resim 2.5.-2.6. sürtünme kaynak cihazına bağlanma şekli ve kaynak numunelerin birleşmiş resmi verilmiştir. Yapılan ön denemeler ve literatür araştırmasında sonra birleştirilecek olan numuneler için uygun

parametreler belirlenmiştir. Tablo 2.8. numunelere uygulanan parametreler ve kullanılan ara tabaka tozlar verilmiştir.



**Resim 2.5.** Numunelerin kaynak cihazına bağlama



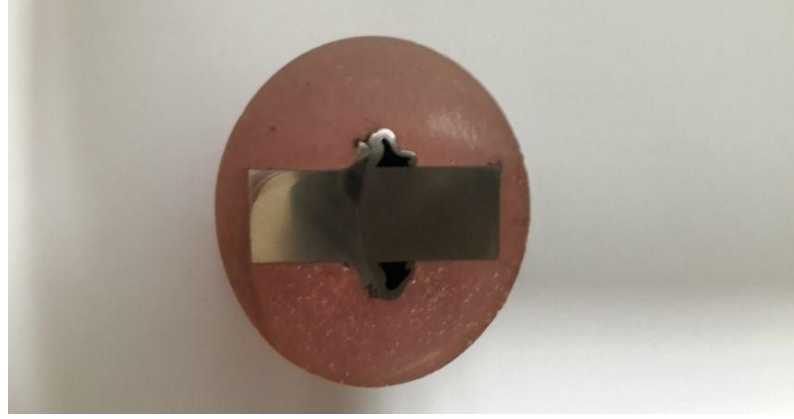
**Resim 2.6.** Numunelerin kaynak işlemi sonrası

**Tablo 2.8.** Numunelerin kaynak işlemleri parametreleri

Kaynak Yapılan Numuneler	Kullanılan Ara Tabaka	Sürtünme Süresi (sn)	Yığıma Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığıma Basıncı (MPa)	Dönme Hızı (devir/dk)
Ti6Al4V-316	Cu	5	15	100	250	2850
Ti6Al4V-316	Ni	5	15	112	275	3000
Ti6Al4V-316	MX-1480	15	15	112	275	1500
Ti6Al4V-316L	Cu	5	15	100	250	2850
Ti6Al4V-316Ti	Cu	5	15	100	250	2850
Ti6Al4V-310	Cu	7	15	75	175	1800
Ti6Al4V-430	Cu	7	15	75	175	1800
Ti6Al4V-304	Cu	11	15	75	175	1800
Ti6Al4V-İnconel600	Cu	4	15	100	250	2850
Ti6Al4V-İnconel600	Ni	4	15	112	275	3000

## 2.5. Metalografik İncelemeler

Kaynak işlemleri yapılan numuneler, kaynak işlemleri sonrası numunelerin kaynak bölgesinin yapısını incelemek için metalografik işleme tabi tutulmuştur. Metalografik işlemin uygulanması için kaynak yapılan numuneler hassas kesme cihazında küçültülmüştür. Daha sonra bu numuneler soğuk bakalite işleme tabi tutulmuştur. Resim 2.7.'de bakalite alınmış numune gösterilmektedir. Bakalite alınan numuneler, mikro yapı ve mikro sertli incelemeleri için Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü laboratuvarında "METKON" marka parlatma cihazı ve zımpara ile sırasıyla 180-400-600-800-1000-1200-2000'lük su zımparası parlatma işlemleri yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra 1µm,3µm pasta ve çuha ile parlatılmıştır. Parlatma ve sulu zımparadan sonra yüzeyleri etil alkol ile temizlenmiştir. Daha sonra bu numuneler kimyasal dağlama yöntemi kullanılarak 30'sn süre ile dağlanmıştır.Ti6Al4V için farklı bir dağlayıcı, paslanmaz için farklı bir dağlayıcı hazırlanmıştır. Tablo 2.9. hazırlanan dağlayıcılar dağlayıcıların formülleri verilmiştir.



**Resim 2.7.** Bakalite alınmış numune

**Tablo 2.9.** Kullanılan dağlayıcılar

<b>Dağlanan Malzeme</b>	<b>HNO<sub>3</sub> (ml)</b>	<b>HF (ml)</b>	<b>HCl (ml)</b>	<b>H<sub>2</sub>O (ml)</b>	<b>Laktik Asit (ml)</b>
Ti6Al4V	4	1,5	-	94	-
Paslanmaz Çelik	10	-	20	-	30

### 2.5.1. Mikro Yapı İncelemeleri

Kaynaklanmış olan numuneler dağlandıktan sonra, Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümün laboratuvarında bulunan “Nikon Eclipse MA 100” marka optik mikroskobu (Resim 2.8.) ile kaynaklanmış olan numunelerin farklı büyölükte mikro yapı fotoğrafları alınmış, kaynaklı numunelerin kaynak bölgesi, yapısal değişimler ve ısı tesiri altında kalan bölgelerdeki değişimler incelenmiştir.





**Resim 2.8.** Optik mikroskop

## **2.6. Mikro Sertlik İncelemeleri**

Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan “Mitutoyo HMV 112” marka (Resim 2.9.) cihaz ile mikro sertlik incelemeleri yapılmıştır. Mikrosertlik işlemi bütün kaynaklı numuneler için 1 kg yük altında 10 sn uygulanarak vickers cinsinden ölçülmüştür. Sertlik değerli kaynak bölgesinin merkez olarak yatay doğrultuda 0.5 mm ara ile 10 farklı noktadan ölçülmüştür.

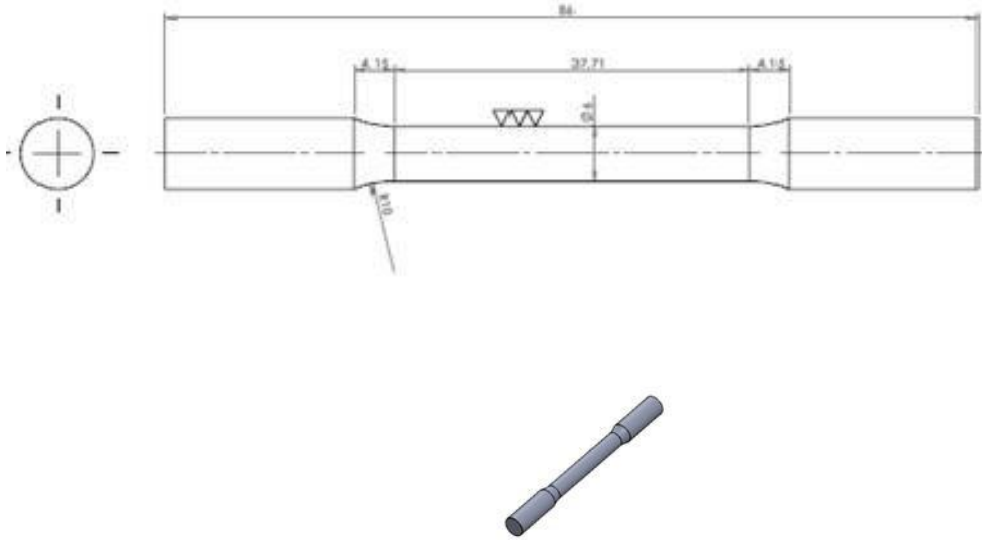


**Resim 2.9.** Mikrosertlik cihazı

## 2.7. Çekme Deneyleri

Çalışmada kaynak yapılan numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme deneyi yapılmıştır. Kaynaklı çekme numuneleri ASTM E 8M-04 standartlara uygun bir şekilde universal tornada işlenerek çekme numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 2.4. 'de çekme numunelerin standartlara uygun şekli verilmiştir.

Çekme deneyi Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 100 kN kapasiteli "AG-IC SHIMADZU" marka çekme cihazı kullanılarak çekme deneyleri yapılmıştır.( Resim 2.10.) Çekme cihazı bünyesinde bulunan TRAPEZIUM-X program sayesinde çekme mukavemeti, % uzama, gerilme değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2.4. Çekme numunesi teknik resmi



**Resim 2.10.** Çekme cihazı

## **2.8. . SEM VE EDX İncelemeleri**

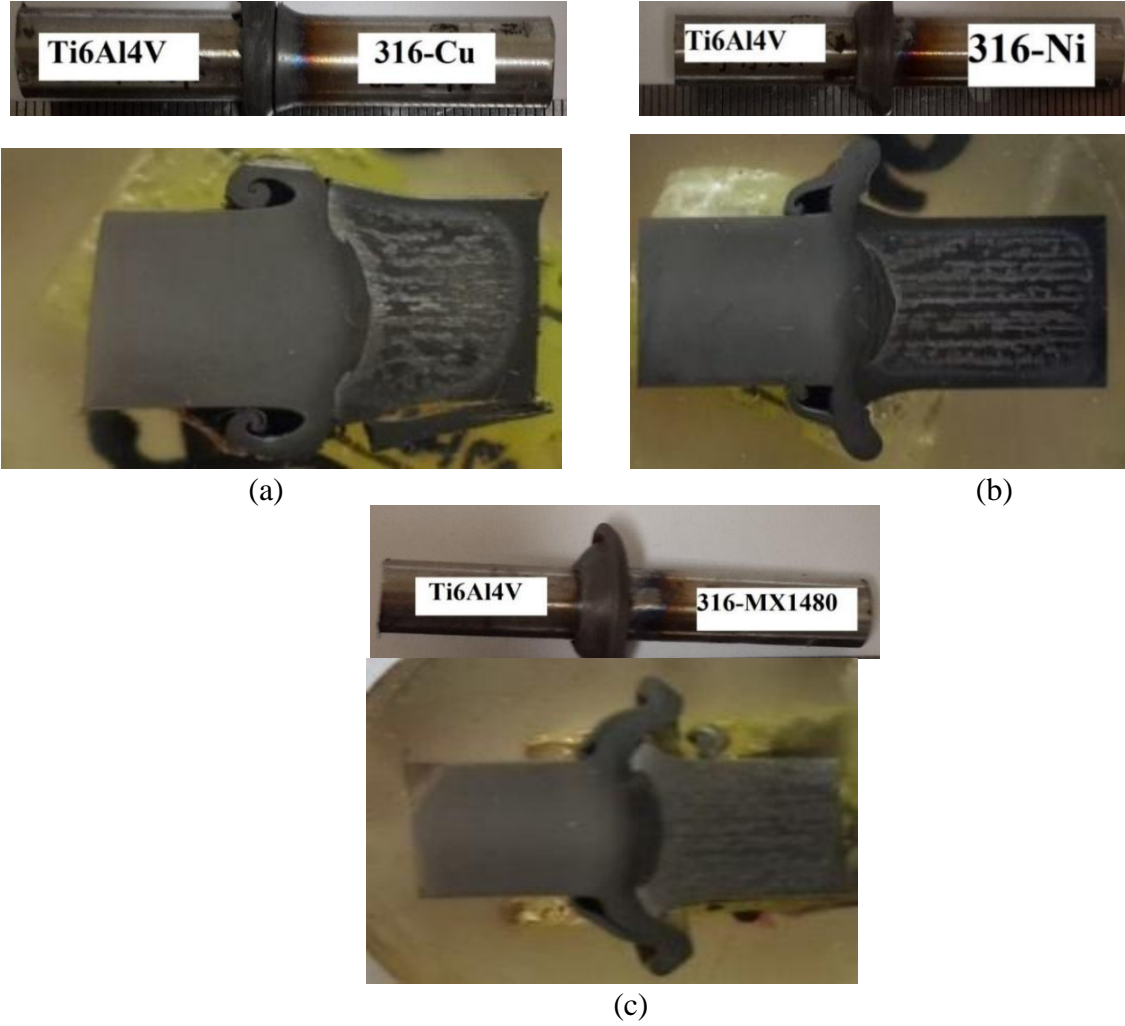
Kaynak işlemi bittikten sonra kaynaklı numuneler taramalı elektron mikroskobu incelemeleri için hazır hale getirildi. Hazırlanan kaynaklı numunelerin ara yüzeyleri ve farklı bölgelerinden taramalı elektron mikroskop incelemeler yapılmıştır. Ayrıca uygun görülen bölgelerden ve noktalardan EDX incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemeler İnönü Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Birimi Elektron Mikroskop Laboratuvarındaki Jeol-5600 marka elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR

Ti6Al4V alaşımı Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak AISI 316-304-310-430-316L-316Ti ve inconel600 malzemeleri başarılı bir şekilde kaynak işlemi yapılmıştır. Bu malzemelerin Ti6Al4V alaşımı ile birleştirilmesi için birçok deneme yapılmıştır. Denemeler özellikle ara tabakasız olarak yapılmış fakat kaynak bölgesinde oluşan sert ve gevrek fazlar nedeni ile başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Deneylede kullanılan her malzeme için 3 ayrı toz tabakası kullanılarak birçok deneme yapılmıştır. Cu tozu kullanılarak yapılan denemelerde bütün malzemeler ile başarılı bir şekilde birleştiği görülmüştür. Ni tozu sadece AISI 316 ve Inconel 600 malzemelerin birleştirilmesinde başarılı olmuştur. Mx1480 ise AISI 316 'nın birleştirilmesinde başarılı olmuştur.

#### 3.1. AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Makro Yapı İncelemeleri

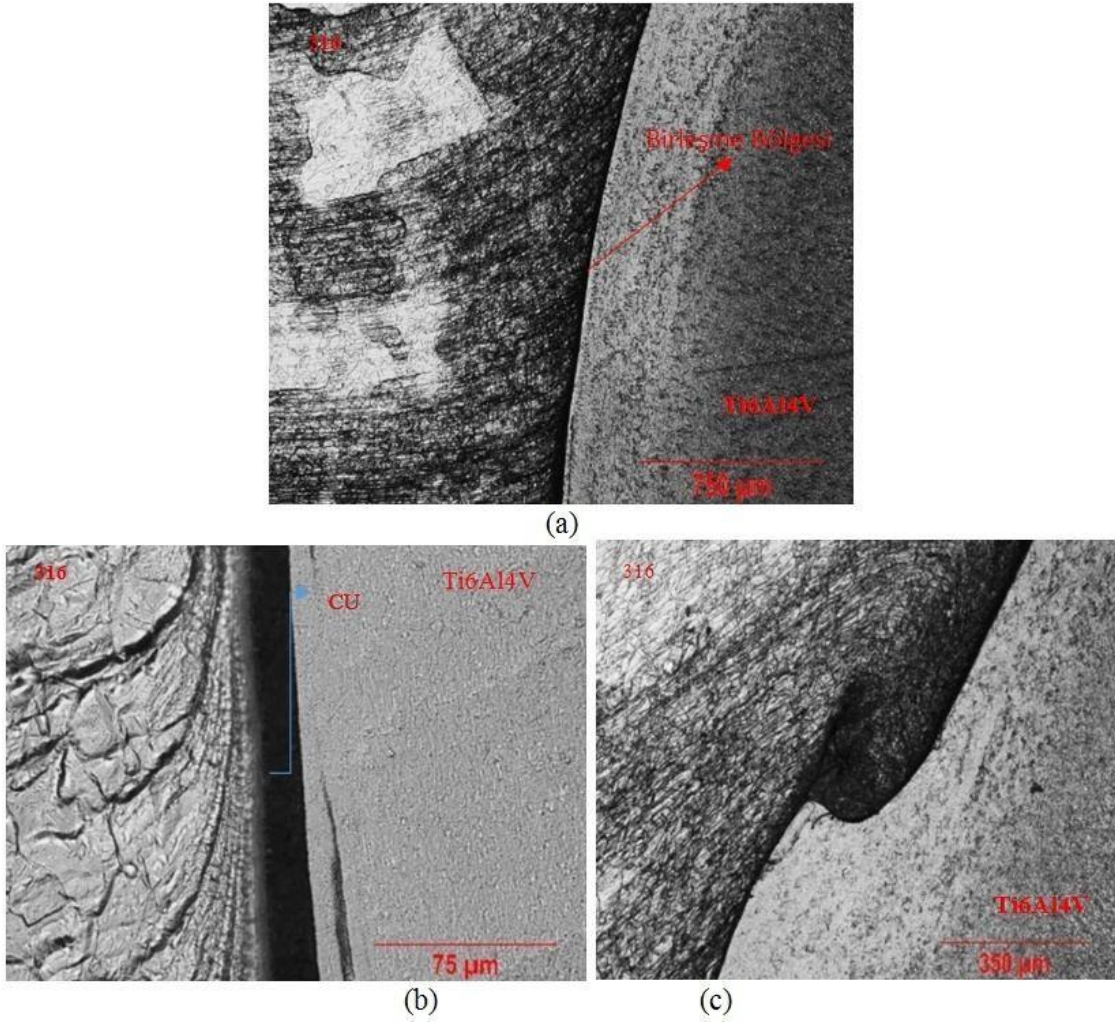
Resim 3.1.'de Cu, Ni, Mx1480 ara taba kullanılarak yapılan kaynakların kaynak işlemi yapıldıktan sonra makro yapı fotoğrafları gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi Cu kullanılarak yapılan kaynakta oluşan boyun bölgesi diğerlerine göre oldukça küçüktür. Numunelerin kaynak kesitlerine bakıldığında ara tabaka, ITAB ve termo mekanik olarak etkilenmiş bölge rahatlıkla görülebilmektedir. Birleştirme işleminden sonra numunelerde bir miktar kısalma meydana gelmiştir. Cu ara tabaka için bu değer %1.58, Ni için %6.4, Mx1480 için %9.4 olarak ölçülmüştür. En fazla boy kısalması Mx1480 ara tabaka kullanılarak yapılan birleştirmede görülmüştür. Bu boyun oluşumunda sürtünme süresi, sürtünme basıncı ve dönüş hızının önemli bir miktarda etkisi bulunmaktadır. Cu ara tabaka kullanılarak yapılan birleştirmede sürtünme basıncı 100 MPa, sürtünme süresi 5 sn. devir 2850 d/dk olarak seçilmiştir. Diğer numunelerde bu değerler Ni ve Mx1480 ara tabaka için sırası ile sürtünme süresi Ni için 5 sn. Mx1480 için 15 sn. sürtünme basıncı 112 MPa ve dönüş hızları Ni için 3000d/dk Mx1480 için ise 1500 d/dk olmuştur. Kaynak parametrelerinden de anlaşılacağı gibi Cu ara tabaka kullanılarak yapılan birleştirmede daha az enerji girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Cu'nun daha düşük sıcaklıkta şekillenme kabiliyeti nedeni ile istenilen birleşme sıcaklığına daha kısa sürede ulaşılmıştır. Bu nedenle en az boyun bölgesi Cu ara tabaka kullanılarak kaynakta meydana gelmiştir. Makro yapı resimlerinde de bu durum görülmektedir.



**Resim 3.1.** AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin makro yapı resmi

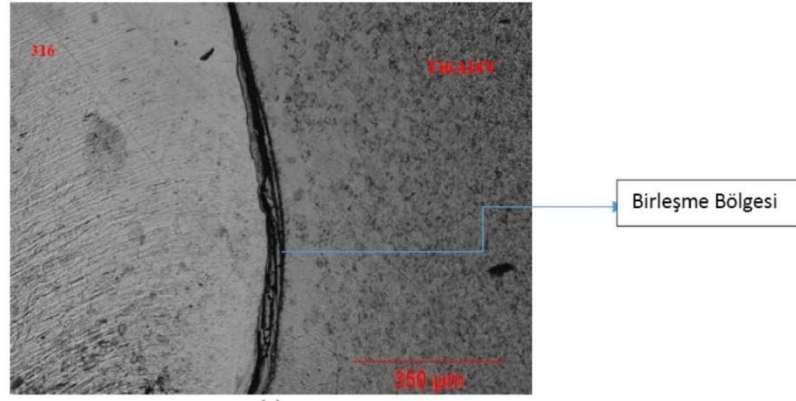
### 3.2. AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri

AISI 316 ve Ti6Al4V alaşımının toz ara tabaka kullanılarak yapılan kaynağın mikroyapı resimleri 3.2.'de görülmektedir. Mikro yapı resimlerinde birleşme bölgesi termo mekanik etkilenmiş bölge ve yeniden kristalleşmiş bölge açık bir şekilde görülmektedir. Cu ara tabakanın kalınlığı kesit boyunca çok büyük değişiklikler göstermemektedir. Tüm birleşme yüzeyleri boyunca homojen bir şekilde dağılmıştır. Ara tabakanın kalınlığı 20 mikron olarak ölmüştür. Yalnız AISI 316 tarafı kaynak işleminden önce 4 mm çapında delindiği için delik çevresi boyunca bir birleşme hattı oluşmuş ve bu bölgeden düz malzeme kesitine geçerken Cu ara tabaka kalınlığı artmıştır. Resim 3.2.a 'da bu durum gösterilmektedir.

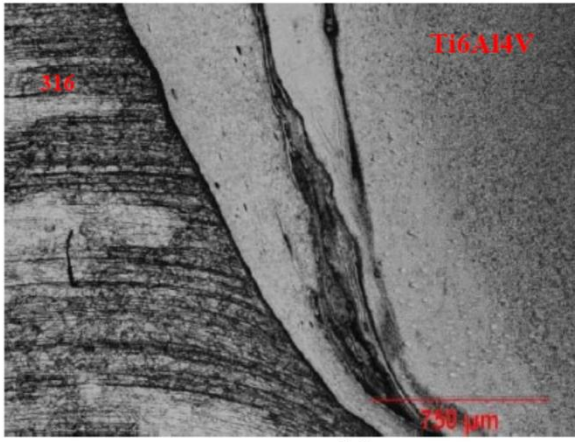


**Resim 3.2.** AISI 316-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen mikro yapı resimleri

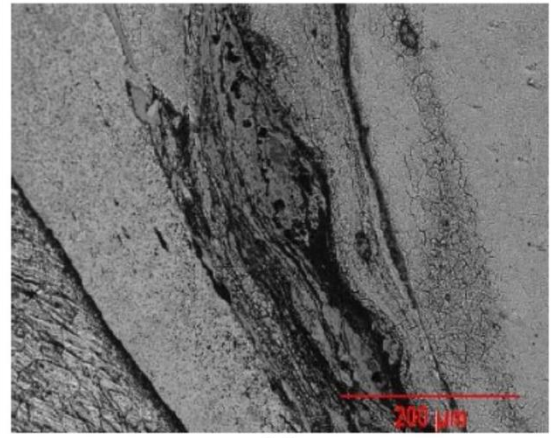
AISI 316 Ni ara taba kullanılarak Ti6Al4V alaşımın birleşme bölgesi mikro yapı fotoğrafı Resim 3.3. gösterilmiştir. Ni ara tabakanın kalınlığı 48 mikron ölçülmüştür. Birleşme bölgesi boyunca düzenli bir şekilde devam etmemektedir. Ti6Al4V alaşımında yer yer kopmalar meydana gelmiş ve nikel bu kopma boşluklarına girerek malzemenin birleşmesini sağlamıştır.



(a)



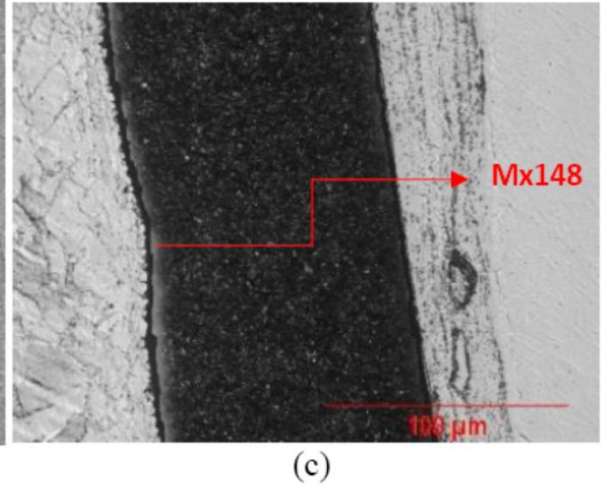
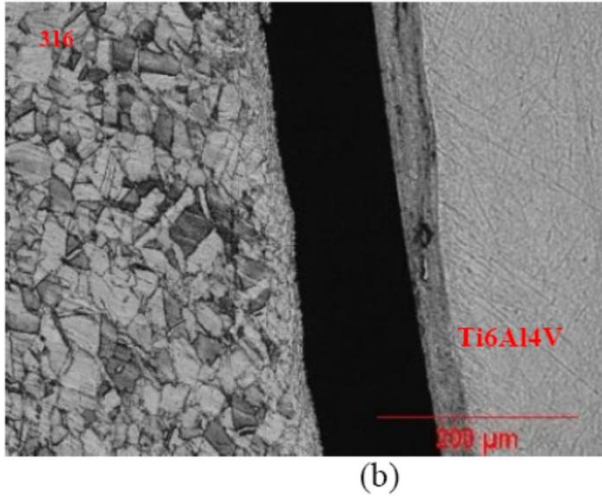
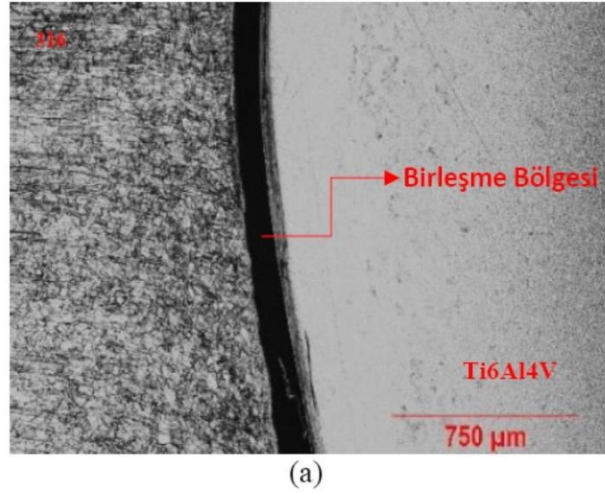
(b)



(c)

**Resim 3.3.** AISI 316-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen mikro yapı resimleri

AISI 316 ve Ti6Al4V alaşımının toz ara tabaka kullanılarak yapılan kaynağın mikro yapı resimleri Resim 3.4.'de görülmektedir. Mikro yapı resimlerinde birleşme bölgesi termo mekanik etkilenmiş bölge ve yeniden kristalleşmiş bölge açık bir şekilde görülmektedir. Mx1480 ara tabakanın kalınlığı kesit boyunca çok büyük değişiklikler göstermemektedir. Tüm birleşme yüzeyleri boyunca homojen bir şekilde kalmıştır. Ara tabakanın kalınlığı 160 mikron olarak ölçülmüştür. Yalnız AISI 316 tarafı kaynak işleminden önce 4 mm çapında delindiği için delik çevresi boyunca bir birleşme hattı oluşmuş ve bu bölgeden düz malzeme kesitine geçerken Mx1480 ara tabaka kalınlığı artmıştır. Resim 3.4.c'de bu durum gösterilmektedir.

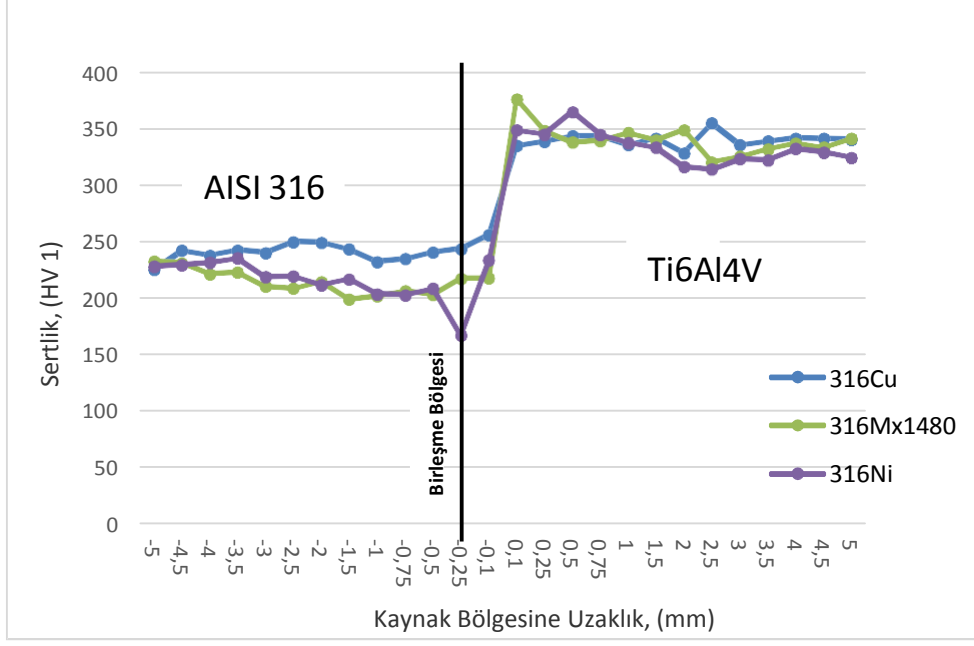


**Resim 3.4.** AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen mikro yapıresimleri

### **3.3. AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Sonuçları**

AISI 316 ile Ti6Al4V alaşımını mikro sertlik ölçüm sonuçları Şekil 3.1. gösterilmiştir. Kaynak bölgesine kadar malzeme sertliklerinde büyük bir değişim olmamıştır. Ara bölgeye yaklaşıldığında bir miktar sertlik artışı meydana gelmiştir. Bu miktar önemli seviye değildir. Grafikten anlaşılacağı üzere malzemelerde birleşme bölgesi etrafında fazla ısı oluşmadığı ve malzemelerin mekanik olarak oluşan bu ısıdan etkilenmediği görülmüştür. Ara bölgedeki mikro sertlik değerleri Cu ara tabaka için 256 vickers, Mx1480 için 218 vickers ve Ni için 167 vickers olarak ölçmüştür. En yüksek ara tabaka sertliği Cu ile yapılan birleştirmede görülmüştür.

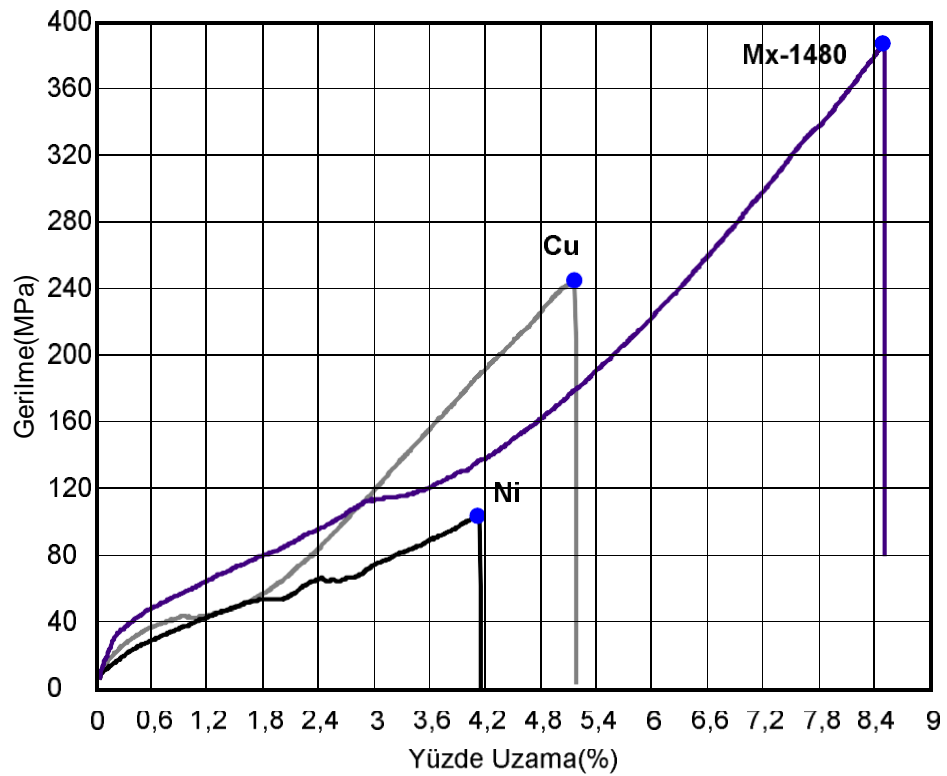




**Şekil 3.1.** AISI 316 Ti6Al4V- Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro sertlik grafikleri

### 3.4. AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

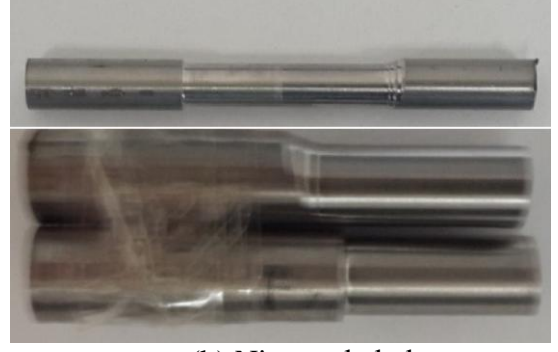
Şekil 3.2.'de AISI 316 ile Ti6Al4V alaşımının Cu, Ni, Mx1480 tozu kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme deney grafiği gösterilmektedir. Çekme işleminden sonra numunelerin çekme fotoğrafları Resim 3.5.'de gösterilmiştir. Mx1480 tozu kullanılarak yapılan kaynak işleminde 386 MPa ile en yüksek mukavemet değerini vermiştir. Bu numunenin yüzde uzama miktarı %8,45'dir. Bunu sırası ile 244 MPa %5,13'lük uzama ile Cu ara tabakalı kaynak ve 103 MPa %4,09 uzama ile Ni ara tabakalı kaynak izlemiştir.



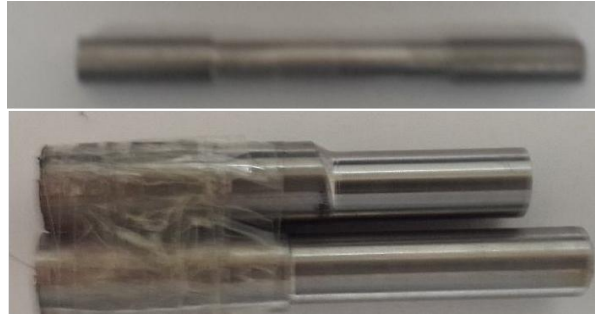
Şekil 3.2. AISI 316-Ti6Al4V-Cu-Ni-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme deneyi grafiği



(a) Cu ara tabakalı



(b) Ni ara tabakalı



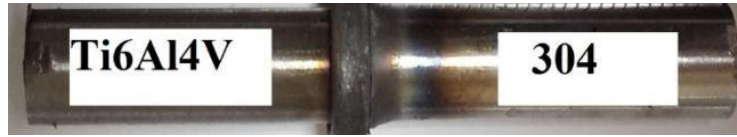
(c) Mx1480 ara tabakalı

**Resim 3.5.** AISI 316 çekme işlemi sonrası fotoğrafları

### 3.5. AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonuçları

#### 3.5.1. AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri

Resim 3.6.'da Cu ara tabaka kullanılarak AISI 304 ile Ti6Al4V alaşımının sürtünme kaynağı makro ve ara kesit fotoğrafı görülmektedir. Kaynak işlemi parametreleri Tablo 2.8. de gösterildiği gibi yapılmıştır. Sürtünme zamanının 5 sn olduğu durumda kaynak işlemi başarısız olmuştur. Sürtünme zamanı 11 sn ve 1800 devir/dk hızda kaynak işleminde malzemeler başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Boyun bölgesi ise Ti6Al4V alaşımı tarafında olmuştur. Kaynak sonrası meydana gelen boyun kısalması %0.89 mertebesinde olmuştur. Kesit görüntüsüne bakıldığında AISI 304 tarafı çok az miktarda deforme olduğu için açılmış olan punta deliği yapısını korumuş ve sağlam bir birleşme bölgesi elde edilmiştir.

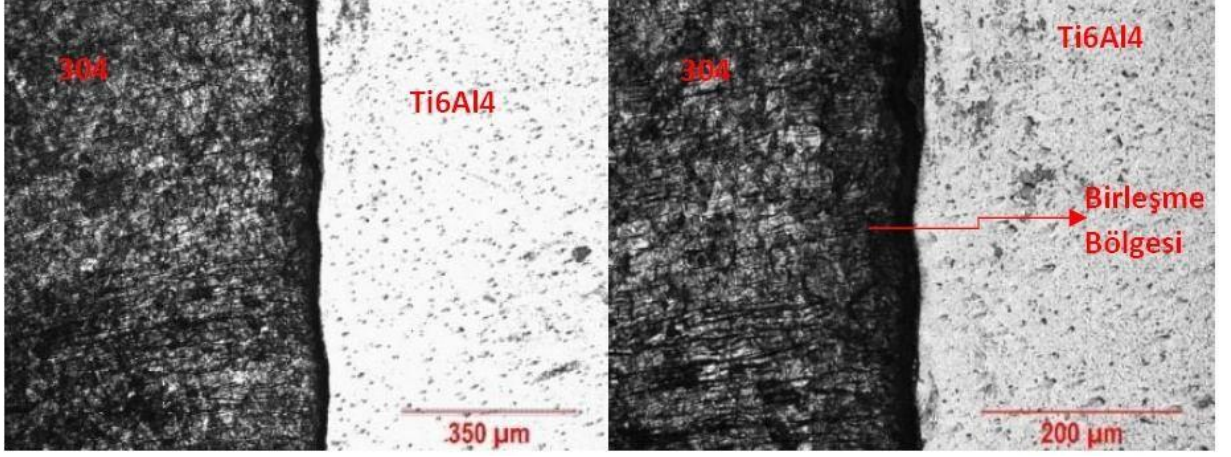


Resim 3.6. AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resmi

#### 3.5.2. AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri

Şekil 3.7'de Cu ara tabaka kullanılarak AISI 304 ile Ti6Al4V kaynak bölgesi gösterilmiştir. Fotoğraftan anlaşılacağı üzere tüm kaynak kesiti boyunca birleşme işlemi sağlanmış ve karşının bölgesi kalınlığı 20 mikron civarında olduğu görülmüştür. AISI 304

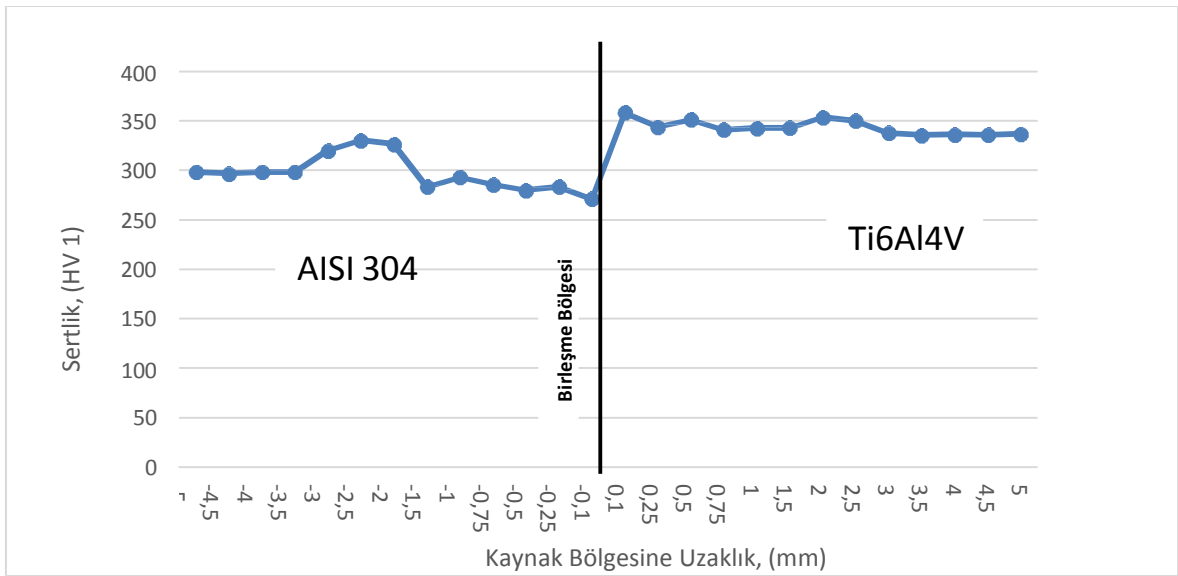
tarafında termo mekanik olarak etkilenmiş bölge görülmektedir. Fakat Ti6Al4V tarafında boyun bölgesi oluştuğu için termo mekanik bölge açık bir şekilde görülmemektedir.



**Resim 3.7.** AISI 304-Ti6Al4 V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resmi

### 3.5.3. AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği

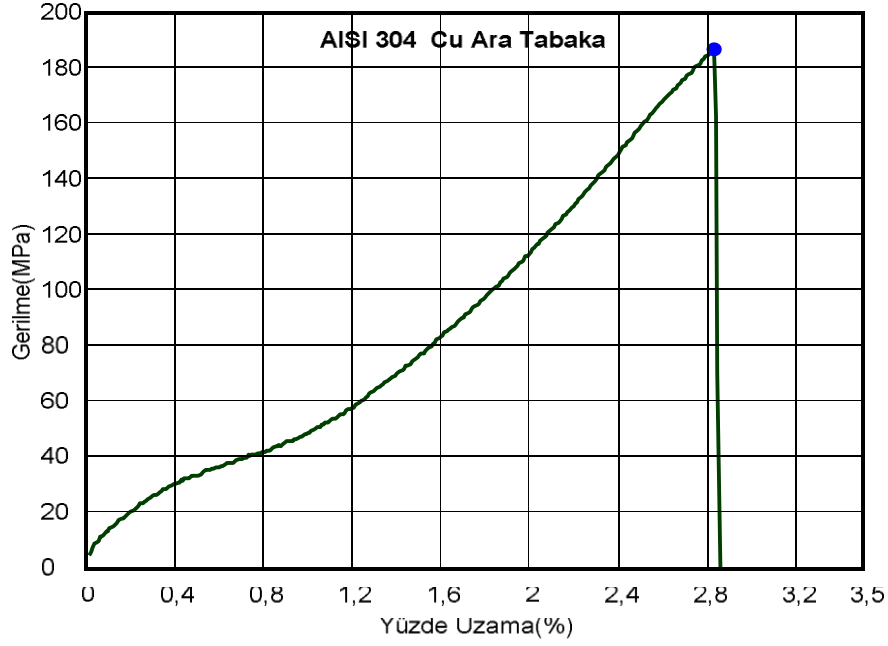
Şekil 3.3.'de AISI 304 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak edilen numunenin mikro sertliği grafiği gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynaklı malzemelerin sertlik değerinde fazla bir değişimi olmamıştır. Kaynak birleşme bölgesi ara kesit kalınlığı az olduğu için ara tabaka sertliği ölçülememiştir. Grafiğe bakıldığında, AISI 304 tarafında en yüksek sertlik değeri 330 vickers ölçülmüştür. Ti6Al4V tarafında ise en yüksek değer 358 vickers ölçülmüştür.



Şekil 3.3. AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği

### 3.5.4. AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu

Cu ara tabaka kullanılarak kaynak edilen Ti6Al4V alaşımının ile AISI 304 ortalama çekme grafiği Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 40 MPa değerine kadar malzeme elastik özellik göstermektedir. Bu değerden sonra 187 MPa değerinde kopma meydana gelmiştir. Kopma ara bölgeden olmuştur. Malzeme kopma yüzüne kadar %2,8 seviyesinde uzamıştır. Bu değer bakırın çekme mukavemeti olan 220 MPa altındadır. Bunun nedeni ara tabaka kalınlığının 20 µm civarında olmasıdır. Çekme işlemi sonrası fotoğrafları Resim 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği



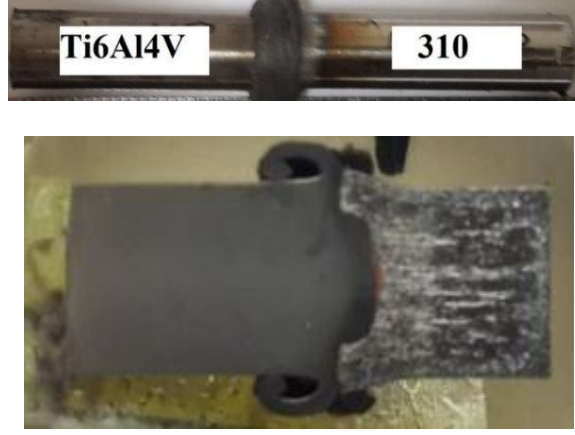
Resim 3.8. AISI 304 çekme işlemi sonrası fotoğrafları

### 3.6. AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonucu

#### 3.6.1. AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı Sonucu

Resim 3.9.'da bakır ara tabaka kullanılarak AISI 310 ile Ti6Al4V alaşımının sürtünme kaynağı makro ve ara kesit resimleri gösterilmektedir. Kaynak işlemi parametreleri Tablo 2.8.'deki değerlere göre yapılmıştır. Makro ve ara kesit fotoğraflarından da anlaşılacağı gibi birleşme işlemi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Boyun bölgesi Ti6Al4V alaşım tarafında oluşmuştur. Kaynak işlemin sonunda meydana gelen boy kısalması yaklaşık olarak %2.5 mertebesinde olmuştur. Kesit görüntüsüne bakıldığında

deforme olan bölge fazla olmadığı ve bakır ara tabakanın kaynak bölgesi boyunca difüzyon bir şekilde yayıldığı gözlenmiştir.

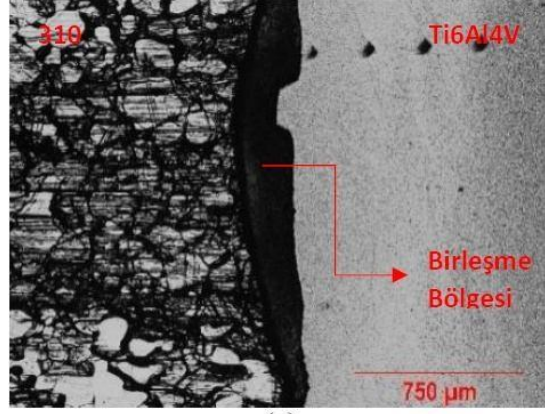


**Resim 3.9.** AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resmi

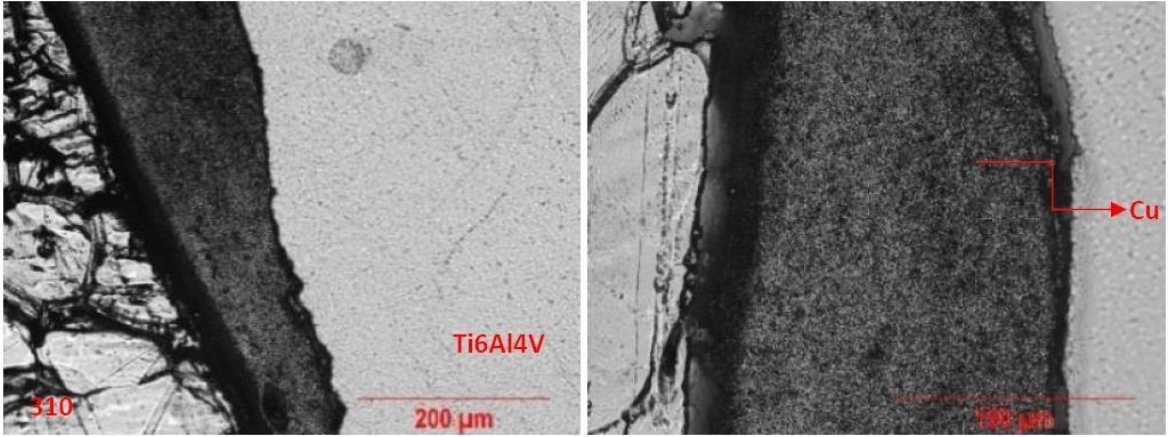
### **3.6.2. AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri**

Resim 3.10.'da Cu ara tabaka kullanılarak AISI 310 ile Ti6Al4V alaşımının kaynak bölgesi gösterilmiştir. Mikro yapı resimlerine bakıldığında birleşme bölgesi, termomekanik bölge ve yeniden kristalleşme bölgeleri açıkça görülebilmektedir. Kaynak bölgesi kesiti boyunca birleşmenin sağlandığı görülmektedir. Kaynak bölgesi ara kesit kalınlığı üst bölgede 80  $\mu\text{m}$  ile orta kesitte 200  $\mu\text{m}$  civarında ölçülmüştür.





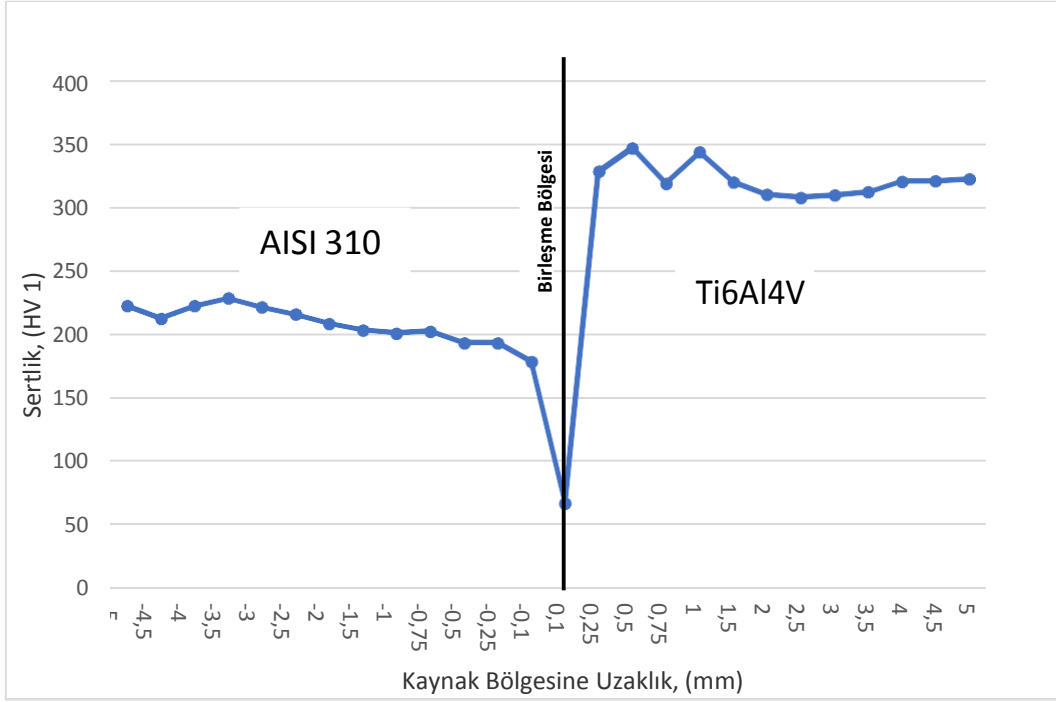
(a)



**Resim 3.10.** AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resmi

### **3.6.3. AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği**

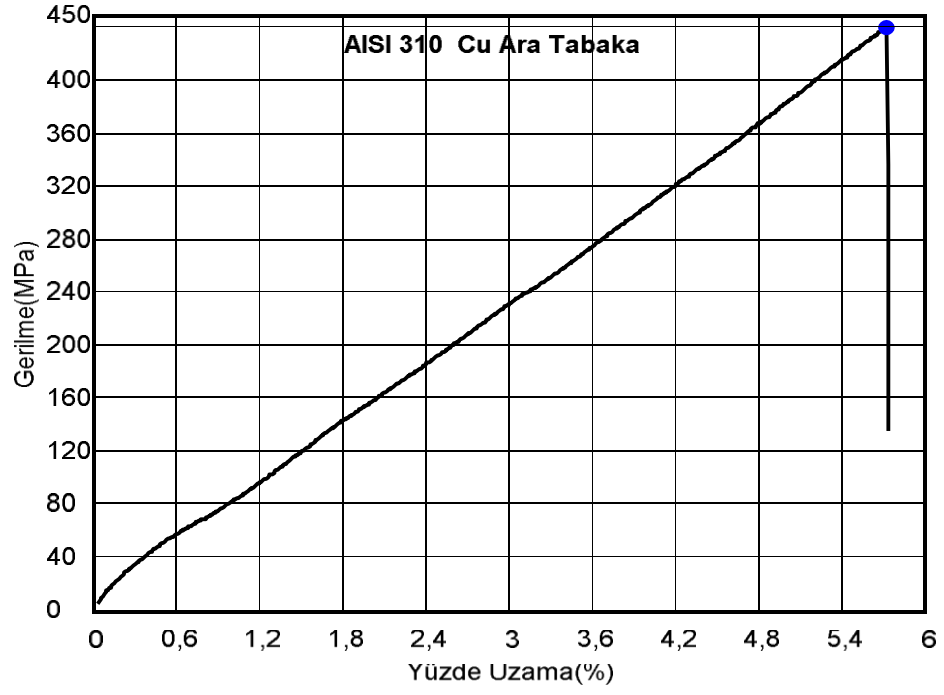
AISI 310 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak edilen malzemelerin Şekil 3.5.'de mikro sertlik grafiği gösterilmiştir. Mikro sertlik grafiği incelendiğinde kaynak işlemi sonucunda numunelerin sertlik değerlerinde fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi malzemelerin birleşme bölgesi etrafında fazla ısı oluşmadığı ve malzemelerin mekanik olarak oluşan bu ısıdan etkilenmediği görülmüştür. Grafikte kaynak birleşme ara bölgesinin sertlik değeri 67 vickers olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5. AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği

### 3.6.4. AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu

Cu ara tabaka kullanılarak kaynak edilen Ti6Al4V alaşımının ile AISI 310 ortalama çekme grafiği Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 45 MPa değerine kadar malzeme elastik özellik göstermektedir. Bu değerden sonra 440 MPa değerinde kopma meydana gelmiştir. Kopma ara bölgeden olmuştur. Malzeme kopma yüzüne kadar %5,5 seviyesinde uzamıştır. Bu değer bakırın çekme mukavemeti olan 220 MPa üstündedir.. Bunun nedeni ara tabaka kalınlığının 200 µm civarında olması ve ara kesit kalınlığının fazla olmasıdır. Sürtünme kaynak işlemi sürtünme zamanını ve yığılma basının etkisi ile çekme dayanımı artmıştır. Resim 3.11.'de çekme sonrası numunenin kopma resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği



Resim 3.11 AISI 310'nun çekme işlemi sonrası fotoğrafları

### 3.7. AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalürjik Sonuçları

#### 3.7.1. AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri

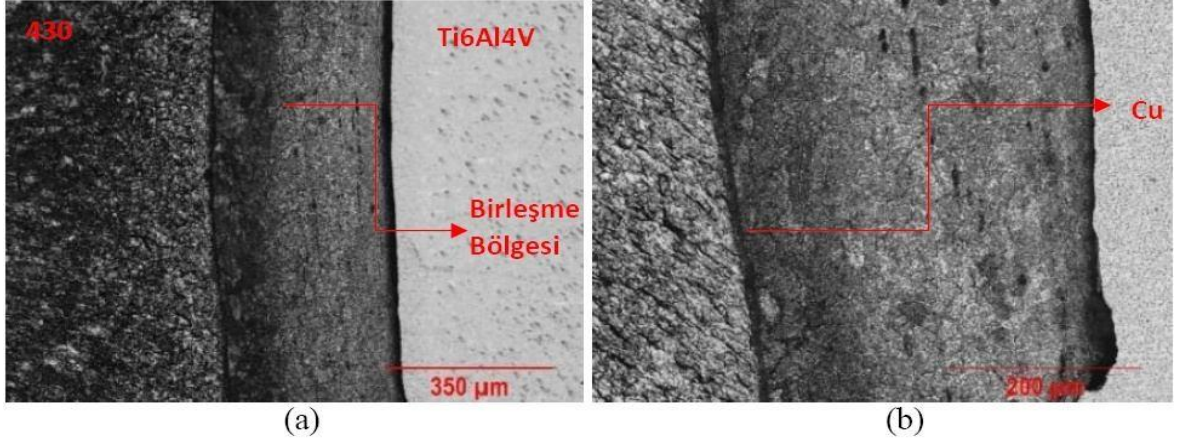
AISI 430 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak yapılan numunelerin makro yapı ve ara kesiti resimleri Resim 3.12.'de gösterilmektedir. Resimlerde görüldüğü gibi kaynak işleminin başarılı bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Makro yapı incelendiğinde boyun bölgesi AISI 430 tarafında olduğu görülmektedir. Kaynak sonrası boy kısalması % 3 civarında olduğu ölçülmüştür. Ara kesit resmi incelendiğinde kaynak bölgesi, deforme olmuş bölge açıkça görülmektedir. Cu ara tabakanın kaynak kesiti boyunca dış tarafa doğru yayıldığı ve kalınlığını azaldığı görülmektedir.



**Resim 3.12.** AIS 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resimleri

#### 3.7.2. AISI 430-Ti6Al4V –Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Mikro Yapı İncelemeleri

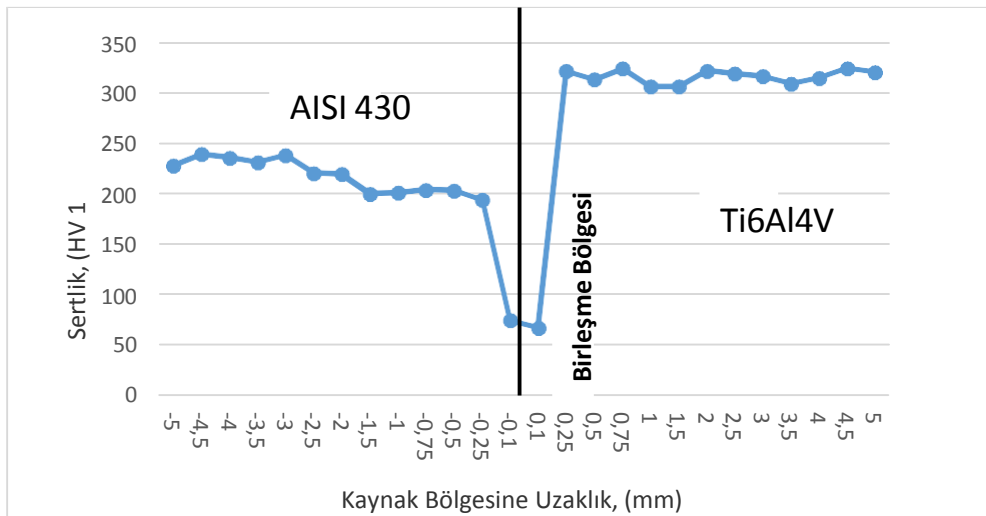
Resim 3.13.'de Cu ara tabaka kullanılarak AISI 430 ile Ti6Al4V alaşımın mikro yapı resimleri görülmektedir. Mikro yapı resimlerine bakıldığında akaynak ara bölgesi kesit kalınlığı kaynak bölgesi boyunca çok değişmediği görülmekte ve ara tabakanın düzenli bir şekilde yayıldığı görülmüştür. Kaynak ara kesit kalınlığı 350 µm ölçülmüştür. Mikro yapı resimleri incelendiğinde kaynak ara bölgesi,termomekanik bölge ve yeniden kristalleşme bölgeleri net bir şekilde görülmektedir.



**Resim 3.13.** AISI 430 -Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro yapı resimleri

### 3.7.3. AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği

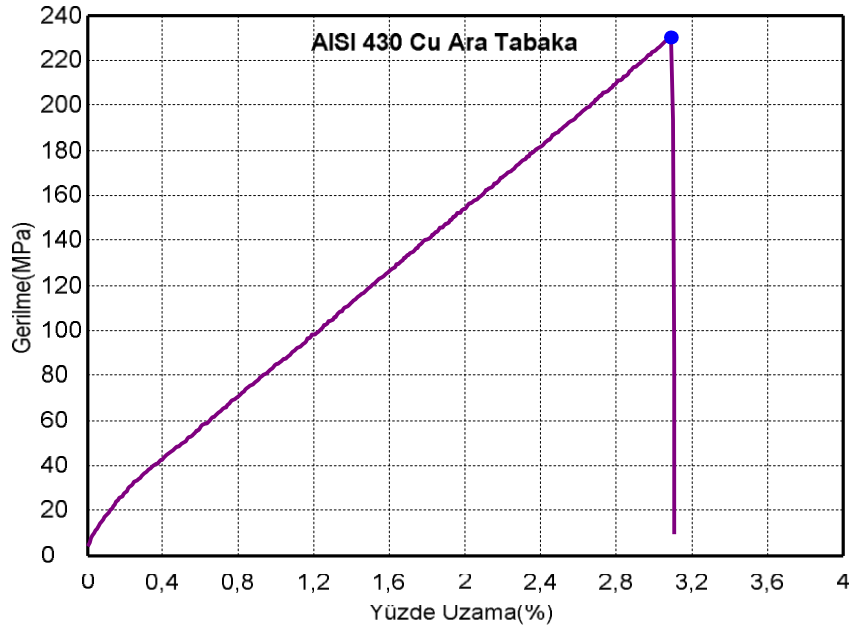
AISI 430 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak yapılan malzemelerin Şekil 3.7. de mikro sertlik grafikleri gösterilmiştir. Mikrosertlik grafiği incelendiğinde kaynaklı numunelerin sertlik değerlerinde fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi de birleşme bölgesine ısı girdisinin az olmasıdır. Devir sayısı 1800 d/dak olduğu için kaynak bölgesine ısı girdisi az olmuştur. Grafiğe bakıldığında AISI 430 tarafında ölçülen en yüksek sertlik değeri 238 vickers ölçülmüştür. Ti6Al4V tarafında ise 324 vickers ölçülmüştür. Birleşme bölgesinde ara kesit kalınlığı fazla olduğu için kullanılan bakır ara tabakanın sertlik değeri ölçülmüştür.



**Şekil 3.7.** AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği

### 3.7.4. AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu

AISI 430 ile ti6al4v alaşımını Cu ara tabaka kullanılarak yapılan kaynaklı numunelerin çekme grafiği Şekil 3.8. gösterilmektedir. Yaklaşık olarak 40 MPa değerine kadar malzeme elastik özellik göstermiştir. Malzeme 230 MPa civarında kopma meydana gelmiştir. Malzeme % 3.1 civarında uzama meydana gelmiştir. Çekme mukavemeti bakır ara tabaka çekme mukavemet 200 MPa değerinin üstünde çıkmıştır. Bunun sebebi ara tabaka kalınlığının fazla olması ve ara tabakanın ara kesit boyunca üniform bir şekilde yayılması etkili olmuştur.



Şekil 3.8 AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği

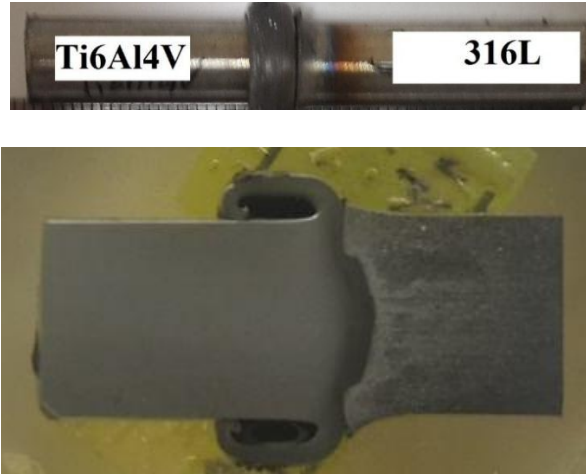


Resim 3.14. AISI 430'un çekme işlemi sonrası fotoğrafları

### **3.8. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalurjik Sonuçları**

#### **3.8.1. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri**

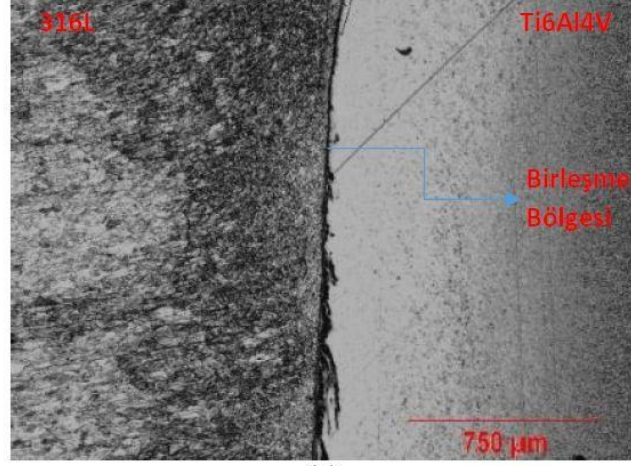
Resim 3.15’de AISI 316L ve Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak yapılan kaynaklı numunelerin makro yapı ve ara kesit resimleri gösterilmektedir. Resimde görüldüğü üzere kaynak işlemi sonrası boyun bölgesi Ti6Al4V alaşımın olduğu tarafta görülmektedir. Bunun nedeni işe kaynak işleminde kullanılan malzemelerin farklı fiziksel yapıda olmasıdır. Kaynak işlemi sonunda numunelerde % 5,08 değerinde boyda kısalma meydana gelmiştir. Ara kesit resmi incelendiğinde kaynak işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği ve kaynak ara bölgesi, deforme olmuş bölge açıkça görülmektedir.



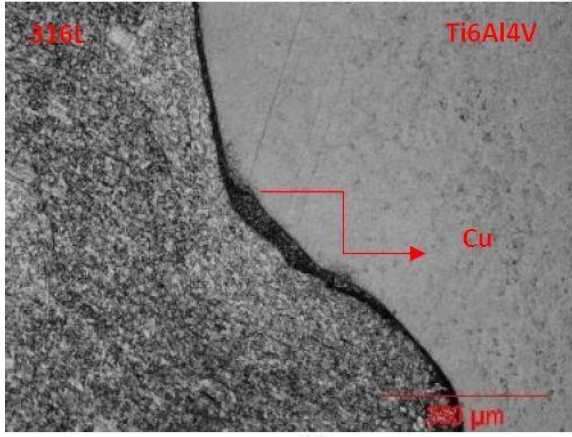
**Resim 3.15.** AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resimleri

#### **3.8.2. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri**

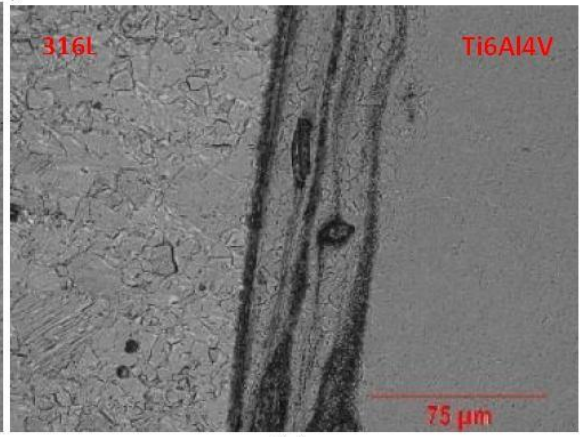
Bakır ara tabaka kullanılarak AISI 316L ile Ti6Al4V alaşımının kaynak işlemi sonrası mikro yapı resimleri Resim 3.16.'da görülmektedir. Mikro yapı resimleri incelendiğinde kaynak işlemin başarılı bir şekilde gerçekleştiği ve kaynak ara kesiti bir hat boyunca oluştuğu görülmektedir. Kaynak ara bölgesi bakıldığında yer yer kopuklukların oluştuğu bu boşluklarda da kullanılan ara tabakanın doldurduğu görülmektedir. Mikro yapı resimlerine bakıldığında ITAB açıkça görülmektedir. Kaynak ara kesiti kalınlığı yaklaşık 10  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür.



(a)



(b)



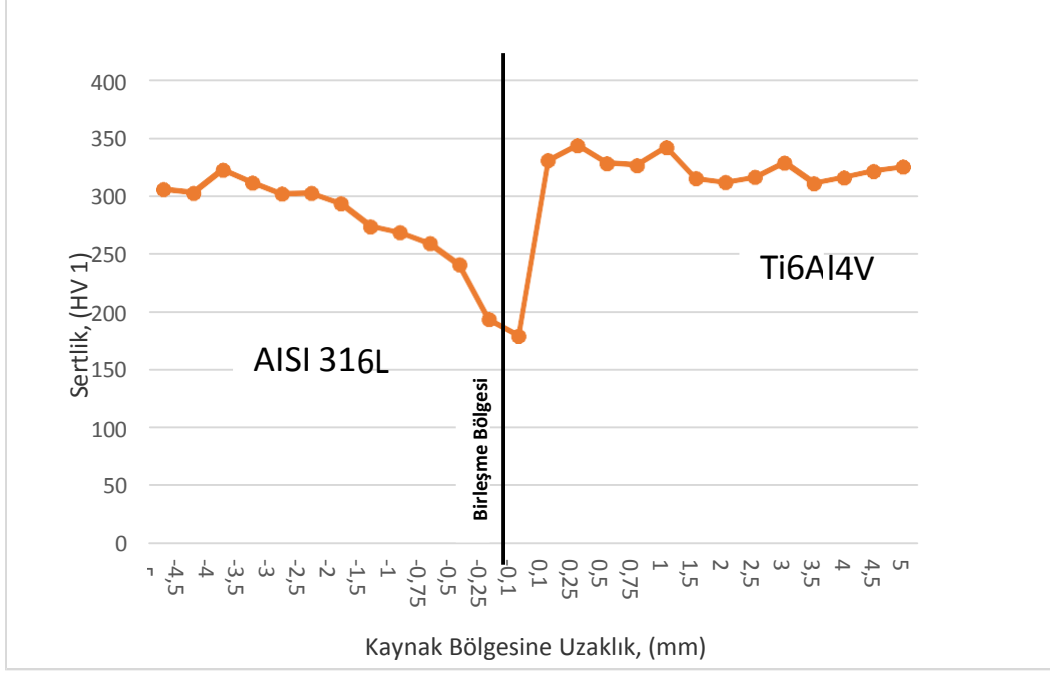
(c)

**Resim 3.16.** AISI 316L-Ti6Al4V- ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapıresimleri

### **3.8.3. ASI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği**

Şekil 3.9.'da AISI 316L ile Ti6Al4V alaşımının Cu ara tabaka kullanılarak kaynak yapılan numunenin mikrosertlik grafiği gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde Ti6Al4V alaşımın olduğu tarafta sertlik değerlerinde fazla bir değişim yoktur. AISI 316L tarafında kaynak ara kesitine doğru sertlik değerinde azalma görülmektedir. Bunun sebebi kaynak bölgesinde oluşan sıcaklıktan dolayı malzemede iç gerilmenin azalmasıyla dolaylı kaynaklanmaktadır. Kaynak birleşme bölgesinde ara tabakanın sertlik değeri ölçülmüştür.

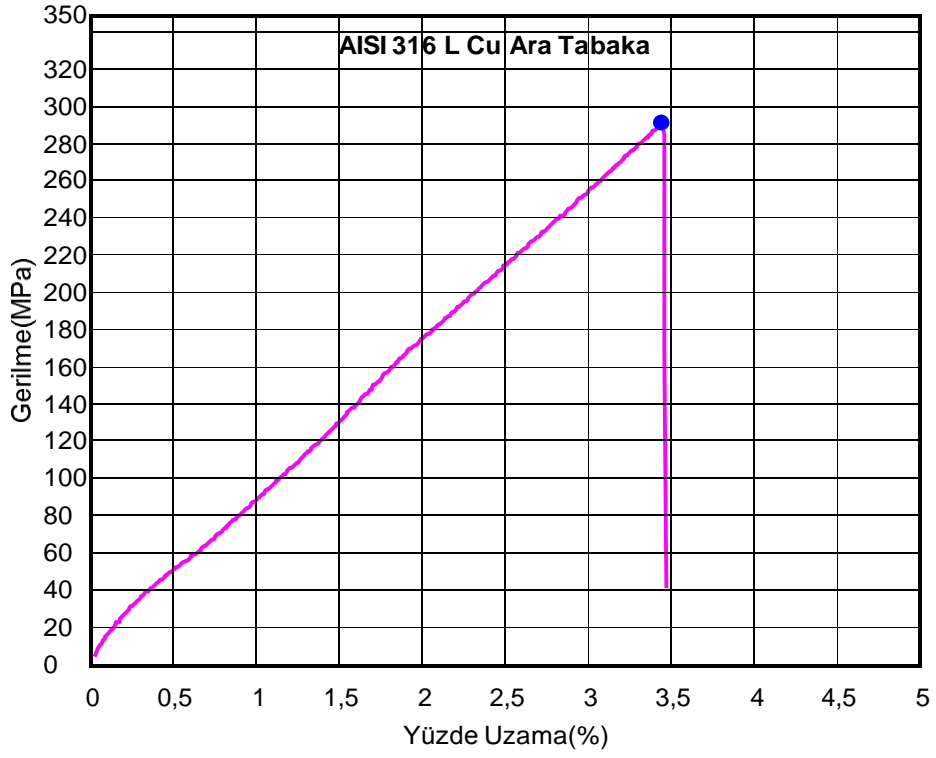




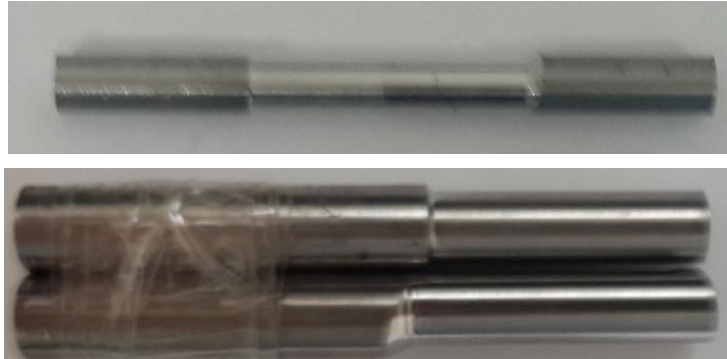
Şekil 3.9. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği

### 3.8.4. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu

Şekil 3.10'da AISI 316L ile Ti6Al4V alaşımını bakır ara tabaka kullanılarak yapılan kaynak numunelerin çekme mukavemeti görülmektedir. Malzemede elastik değişim yaklaşık olarak 42 Mpa değerinde olmuştur. Bu değerden sonra malzeme 291 MPa değerinde kopmuştur. Malzeme %3.5 civarına kadar uzama meydana gelmiştir. Çekme mukavemet değeri kullanılan Cu ara tabakanın çekme mukavemeti değeri olan 200 MPa değerinin üstünde çıkmıştır. Bunun sebebi bakır ara tabakanın kaynak kesiti boyunca düzenli bir şekilde yayılmasıdır. Başka bir nedeni ise kaynak işleminde kullanılan sürtünme süresi parametresini az olmasından dolayı ani soğumanı gerçekleşmesi buda çekme mukavemetini arttırmıştır. Resim 3.17.'de numunelerin çekme işlemi sonrası fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği

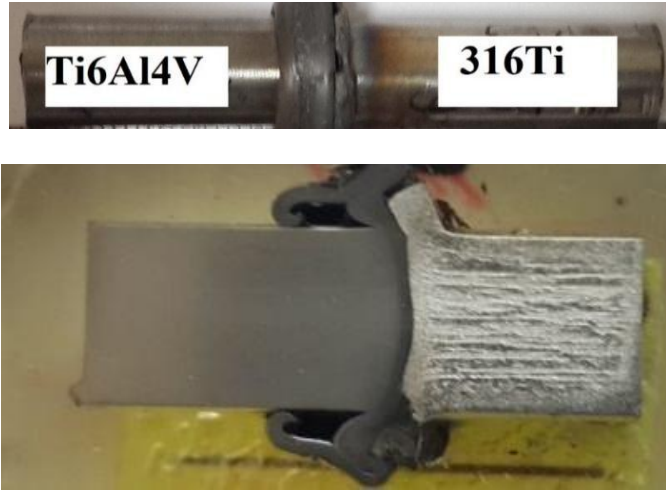


Resim 3.17. AISI 316L'nin çekme işlemi sonrası fotoğrafları

### 3.9. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mekanik ve Metalurjik Sonuçları

#### 3.9.1. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Makro Yapı İncelemeleri

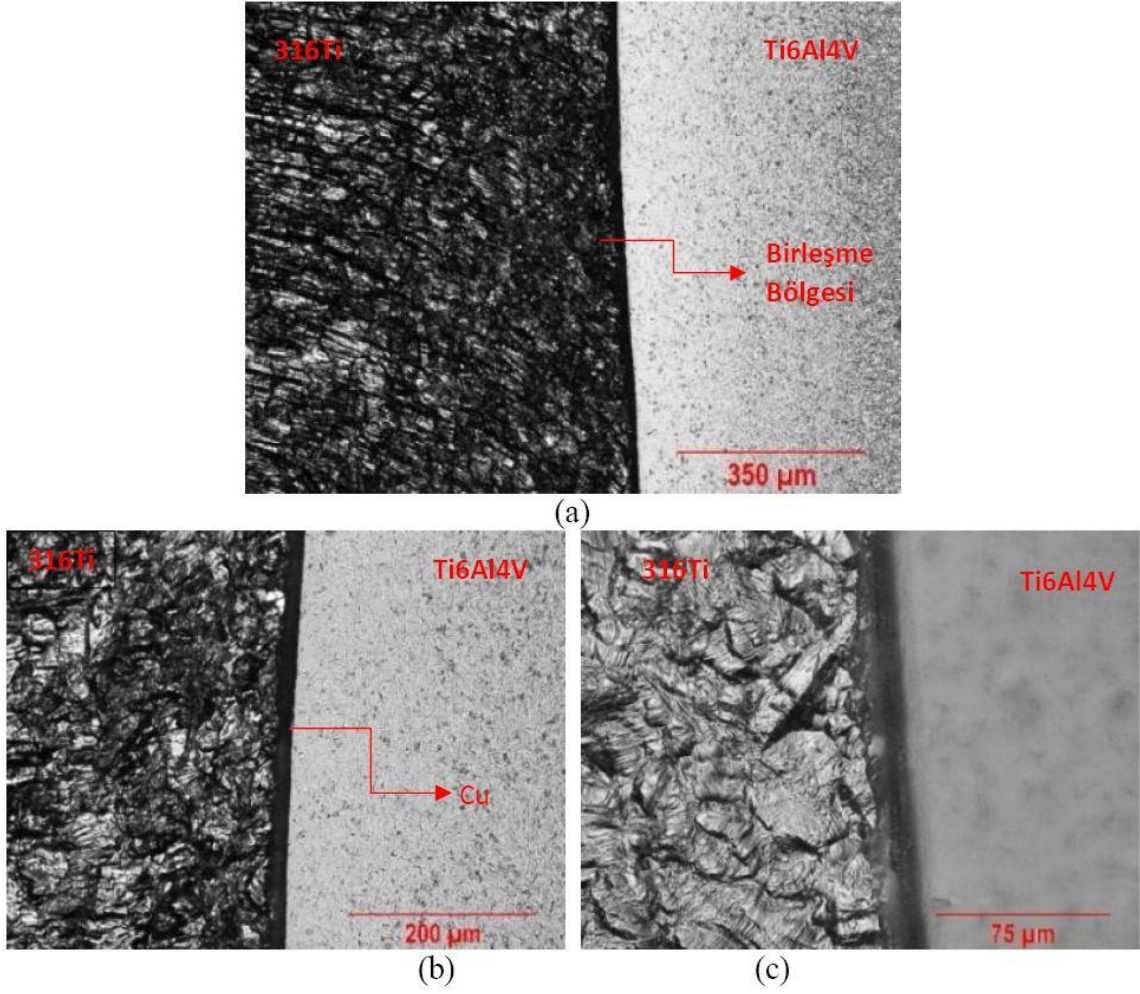
Resim 3.18.'de AISI 316Ti ile Ti6Al4V alaşımının Cu ara tabaka kullanılarak kaynak işlemi sonrası numunelerin makro yapı ve ara kesit resimleri gösterilmektedir. Makro yapı resmi incelendiğinde kaynak işlemi sonrası boyun bölgesi Ti6Al4V alaşımının tarafında olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Ti6Al4V alaşımının fiziksel özelliklerinde ve uygulanan kaynak işlemi parametrelerinden etkisi olduğu görülmüştür. Kaynak işlemin sonunda kaynaklı malzemede boyca kısalma % 6,1 değerinde ölçülmüştür.



**Resim 3.18.** AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin makro yapı resimleri

#### 3.9.2. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Yapı İncelemeleri

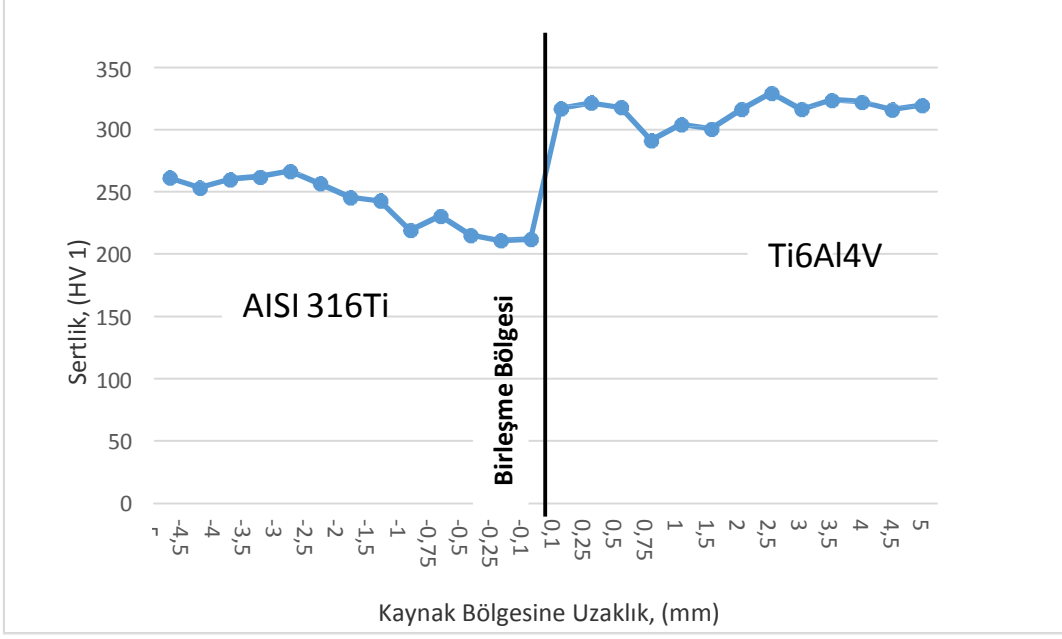
AISI 316Ti ile Ti6Al4V alaşımının Cu ara tabaka kullanılarak kaynak edilen numunelerin mikro yapı resimleri Resim 3.19.'de gösterilmiştir. Mikro yapı resmi incelendiğinde kaynak ara kesiti kaynak boyunca düz bir şekilde ve homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Kaynak ara kesit kalınlığı yaklaşık olarak 28  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Mikro yapı resimlerinde birleşme bölgesi açık bir şekilde görülmektedir.



**Resim 3.19.** AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro yapı resimleri

### 3.9.3. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Mikro Sertlik Grafiği

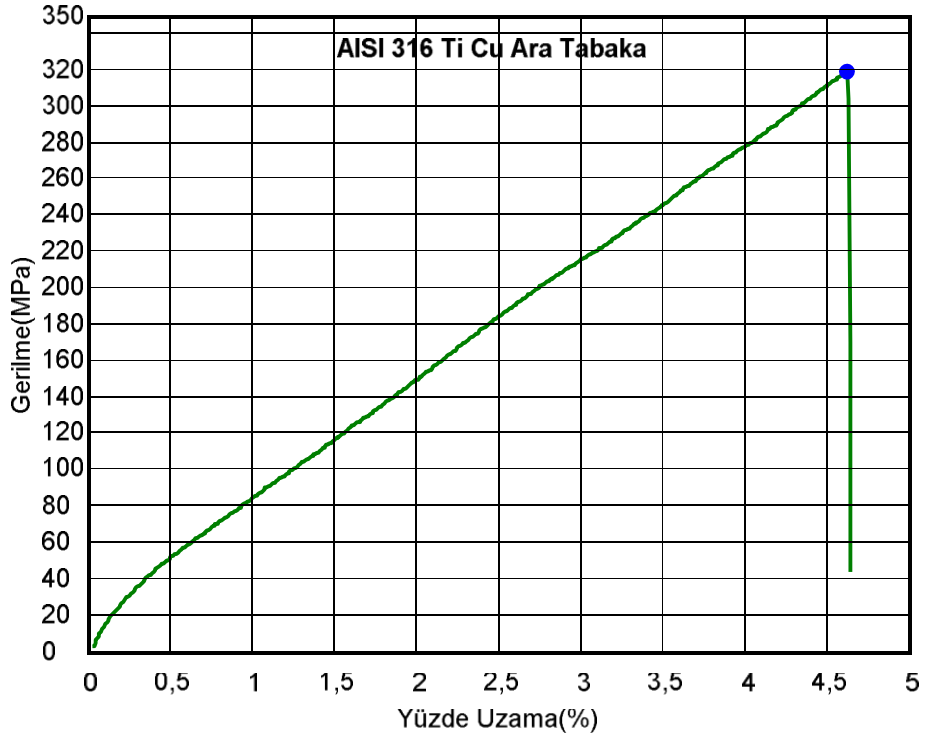
Şekil 3.11.'de 316Ti ile Ti6Al4V alaşımının Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen malzemelerin mikrosertlik grafiği gösterilmiştir. Ti6Al4V tarafında birleşme bölgesine kadar büyük oranda sertlik değişimi olmamıştır. Ortalama sertlik değeri 310 HV civarındadır. Ara bölge dar olduğu için sertlik ölçümü yapılamamıştır. AISI 316Ti tarafında ise birleşme bölgesinden ana malzemeye doğru 3 mm mesafeye kadar sertlik değeri artmıştır. Daha sonra 212,2 HV başlayarak 266,8 HV kadar artmıştır ve ana malzeme sertliği ortalama 260 hv civarında olduğu görülmüştür. Kaynak bölgesinden başlayarak ana metale doğru 3 mm mesafe kadar sertlik artışın nedeni kaynak bölgesinde oluşan ısının malzeme içerisindeki iç gerginlikleri azaltarak sertliğin düşmesine neden olmuştur.



Şekil 3.11. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin mikro sertlik grafiği

### 3.9.4. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Çekme Deneyi Sonucu

Şekil 3.12.'de AISI 316Ti ile Ti6Al4V alaşımının Cu ara tabaka kullanılarak kaynak yapılan numunelerin çekme grafiği gösterilmektedir. Çekme grafiğine bakıldığında 45 MPa değerinde malzeme elastik değişim göstermektedir. Kaynaklı numunenin kopma mukavemeti 320 MPa civarında ölçülmüştür. Malzemede meydana gelen % uzama ise 4,6 olarak ölçülmüştür. Kaynaklı numune ara tabaka olarak kullanılan bakırının çekme mukavemeti değeri olan 200 MPa üzerinde bir değerde ölçülmüştür. Resim 3.20.'de numunelerin çekme sonrası fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin çekme deneyi grafiği

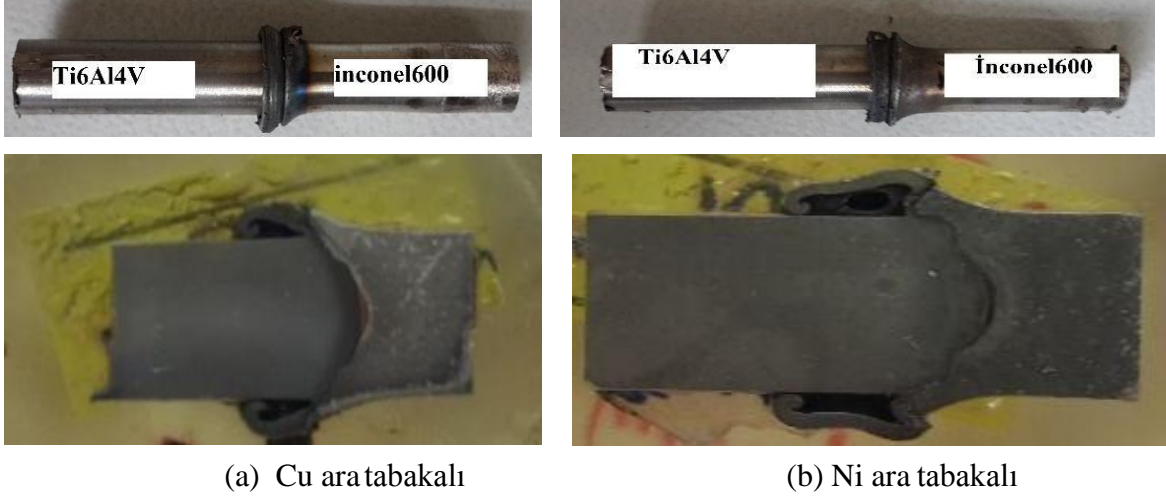


Resim 3.20. AISI 316Ti'nin çekme işlemi sonrası fotoğrafları

### 3.10. İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Makro Yapı İncelemeleri

Resim 3.21.'de bakır ve nikel ara tabaka kullanılarak kaynak edilen inconel600 ile Ti6Al4V alaşımının malzemelerin makroyapı resimleri gösterilmektedir. Makro yapı resimleri incelendiğinde boyun bölgesi Ti6Al4V tarafında olduğu görülmektedir ve her iki ara tabaka içinde boyun bölgesi bir birine yakın olduğu görülmektedir. Kaynak sonrası numunelerde boy kısalması bakır ara tabaka için, %3,1 değerinde kısalma olmuştur. Nikel

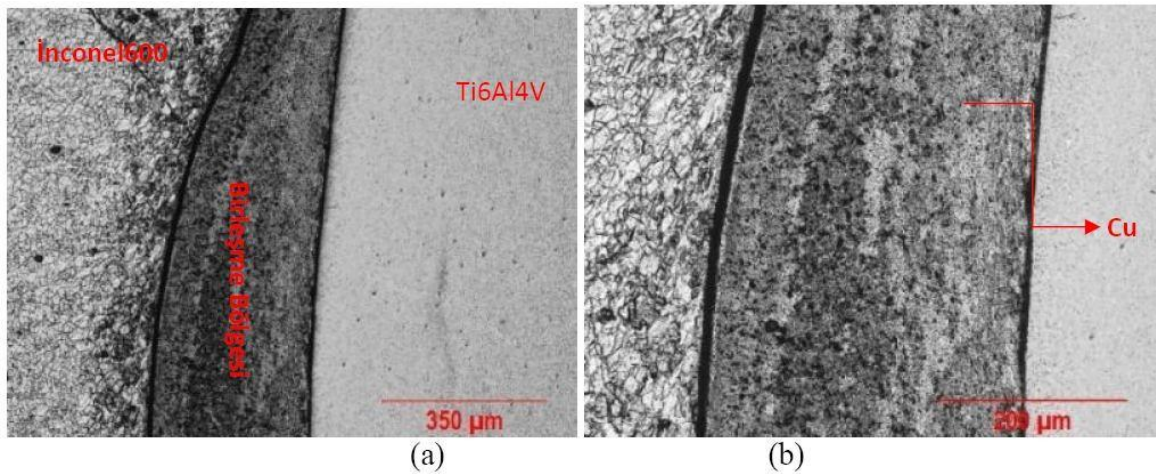
ara tabaka için, % 3,67 değerinde kısalma olmuştur. Makro ve kaynak ara kesit resimlerine bakıldığında kaynak birleşme bölgesi, deforme olmuş bölge ve termo mekanik bölgeler açıkça görülmektedir.



**Resim 3.21.** Inconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Makro Yapı Resimleri

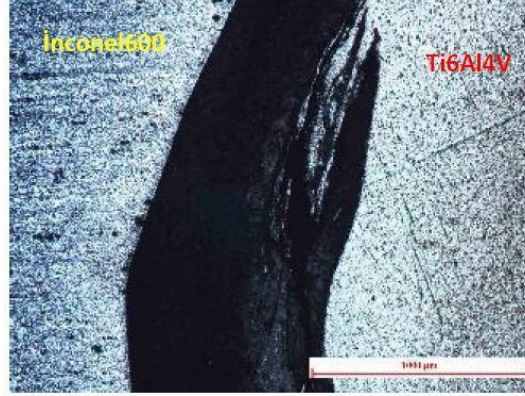
### 3.11. Inconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri

Resim 3.22.'de Inconel600 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak edilen malzemelerin mikro yapı resimleri gösterilmiştir. Mikro yapı resimleri incelendiğinde; kaynak birleşme bölgesi, ITAB ve yeniden kristalleşme bölgeleri açıkça görülmektedir. Kaynak ara kesiti kaynak boyunca düz ve homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. Kaynak ara kesit kalınlığı yaklaşık olarak 290  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

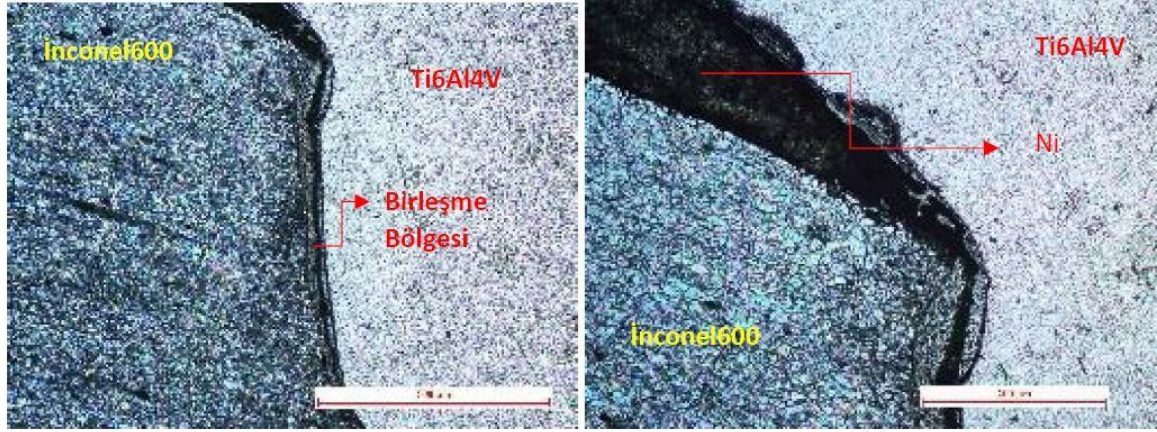


**Resim 3.22.** Inconel600-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro yapıresimleri

İnconel600 ile Ti6Al4V nikel ara tabaka kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunenin mikroyapı resmi Resim 3.23.'de gösterilmiştir. Mikroyapı resmi incelendiğinde termo mekanik bölge, kaynak ara bölgesi ve yeniden kristalleşme bölgeleri açıkça görülebilmektedir. Kaynak ara kesitin birleşme bölgesine artığı gözlenmiştir ve bazı bölgelerde kaynak işlemi sırasında uygulanan yığıma basınç kuvvetinin fazla olmasından dolayı yırtılma meydana gelmiştir. Kaynak ara kesit kalınlığı 200  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür.



(a)



(c)

(c)

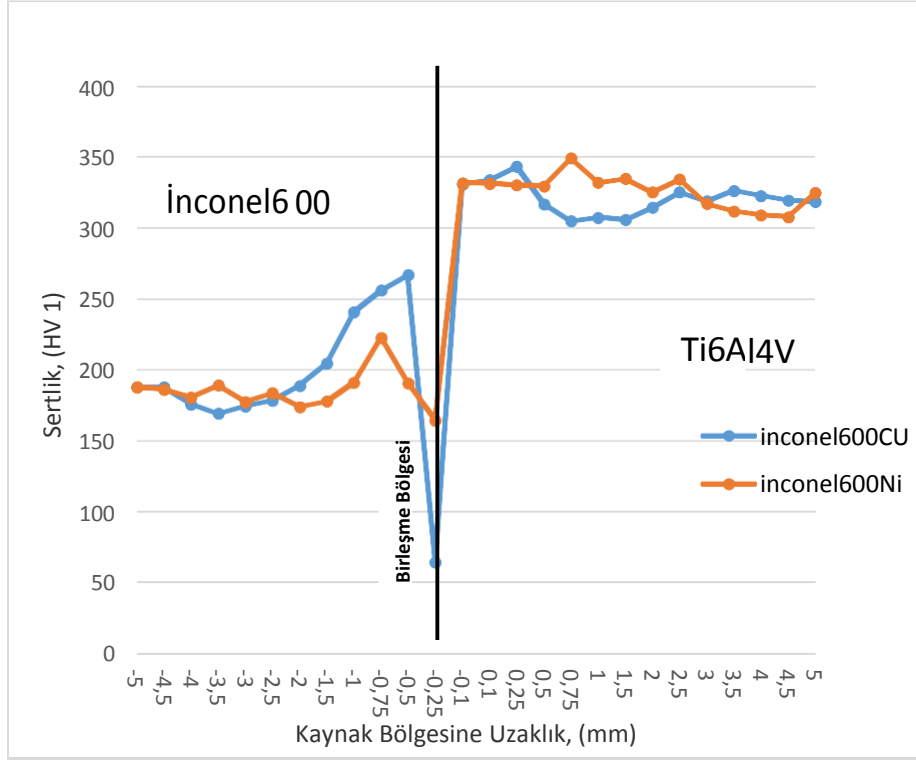
**Resim 3.23.** İnconel600-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro yapı resimleri

### 3.12. İnconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Grafikleri

İnconel600 ile Ti6Al4V alaşımını bakır ve nikel ara tabaka kullanılarak kaynak edilen malzemelerin mikrosertlik grafiği şekil 3.13'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde her iki ara tabakalı malzemelerde kaynak bölgesi yaklaştıkça sertliklerinde artış meydana gelmiştir. Bakır ara tabakalı numunenin ara bölgede mikro sertlik değeri 267,7 HV ölçülmüştür. Nikel ara tabakalı numunenin mikro sertlik değeri 223 HV olarak



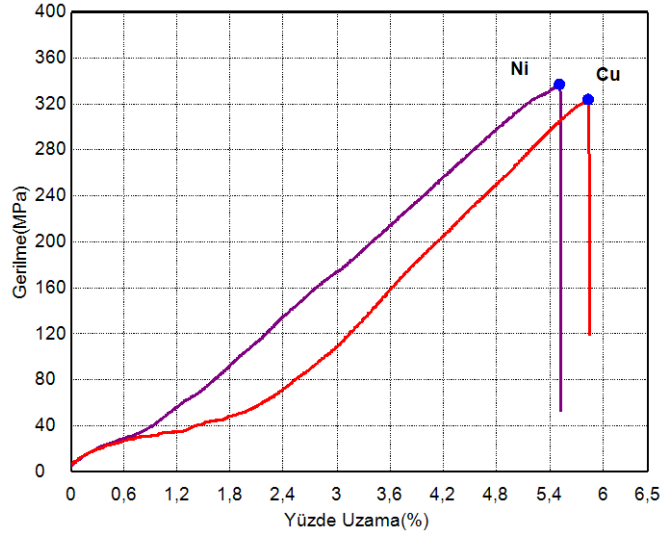
ölçülmüştür. Her iki malzemenin birleşme ara bölgesi ara kesit kalınlığı geniş olduğu için ara tabakalıların mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu değerler Ni ara tabaka için 165 vickers, Cu ara tabaka için 65 vickers ölçülmüştür.



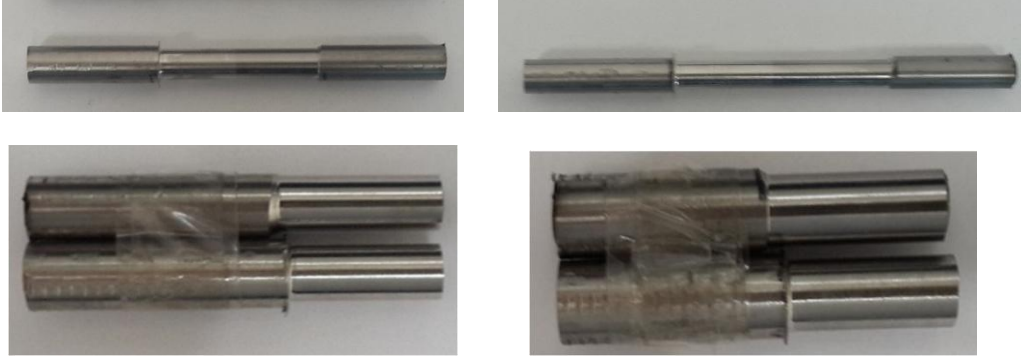
Şekil 3.13. Inconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin mikro sertlik grafikleri

### 3.13. Inconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 3.14.'de Inconel600 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ve nikel ara tabaka kullanılarak kaynak edilen numunelerin çekme deneyi grafikleri gösterilmiştir. Çekme deneyi grafiği incelendiğinde bakır ara tabakalı numunede 40 MPa civarında elastik değişim olmuştur. Bakır ara tabakalı kaynaklı numune 323 Mpa değerinde kopmuştur ve % uzama değeri 5,8 ölçülmüştür. Nikel ara tabakalı kaynaklı numune incelendiğinde 40 MPa civarında elastik değişim gözlenmiştir. Bundan sonra malzeme 336 MPa civarında kopma meydana gelmiştir ve malzeme yüzde uzama ise 5,5 değerinde ölçülmüştür. Nikel ara tabakalı malzemenin çekme mukavemetinin bakır ara tabakalı numunenin çekme mukavemetinden yüksek çıkması, Tablo 2.8. kullanılan yığılma basıncının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Numunelerin çekme işlemi sonrası fotoğrafları Resim 3.24.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.14.** Inconel600-Ti6Al4V-Cu-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin çekme deneyi grafiği



**(a)** Cu ara tabakalı

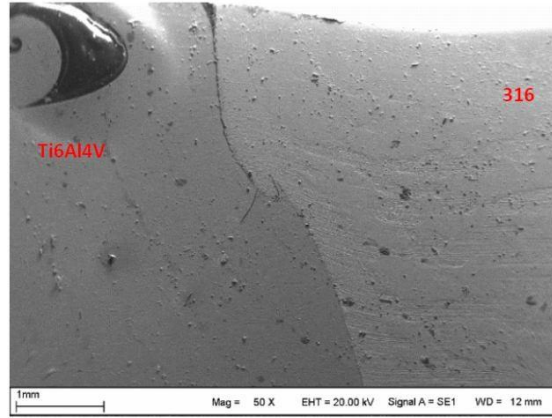
**(b)** Ni ara tabakalı

**Resim 3.24.** Inconel600'ün çekme işlemi sonrası fotoğrafları

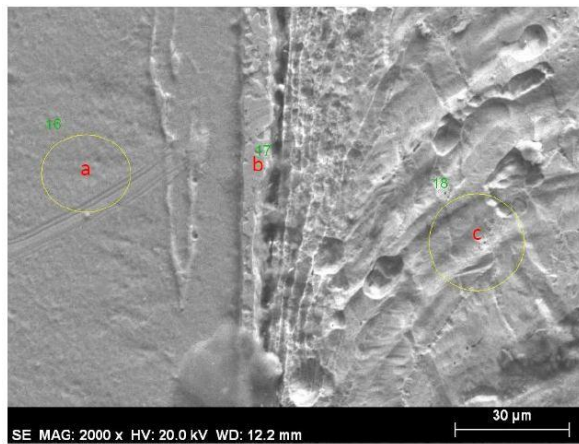
### 3.14. . SEM ve EDX Sonuçları

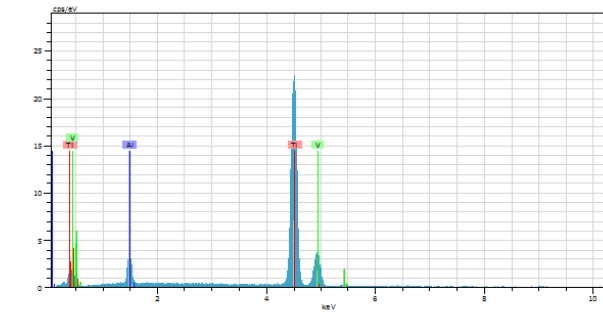
#### 3.14.1. AISI 316-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX Sonuçları

Resim 3.25.'de AISI 316 ile Ti6Al4V alaşımın ara tabaka elektron mikroskobu fotoğrafı görülmektedir. Resimde anlaşılacağı gibi birleşme bölgesi tüm yüzey boyunca açık bir şekilde görülmektedir. Ara bölge incelendiğinde kalınlığının 15 mikron mertebesinde olduğu gösterilmiştir. Kullanılan bakır ara tabaka EDX analizleri sonucunda anlaşılacağı %30 seviyesinde kalmıştır. Ayrıca ara tabaka olarak kullanılan Cu'nun hem titanyum hem de demir ile birleşik olduğu görülmektedir. Şekil 3.15'de EDX sonuçları gösterilmiştir.



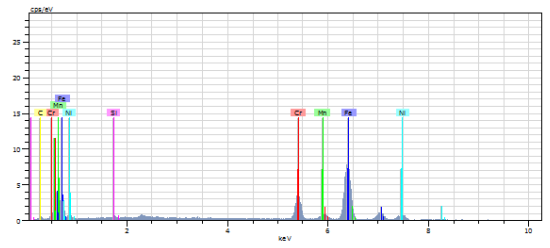
**Resim 3.25.** AISI 316-Ti6Al4V-Cu Ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı





16 Date:06/03/2015 15:56:01 HV:20.0kV Puls th.:6.62kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
Al	13 K-series	5.74	6.28	10.62	0.3
Ti	22 K-series	85.36	93.32	89.02	2.9
V	23 K-series	0.37	0.40	0.36	0.1
Total:		91.47	100.00	100.00	

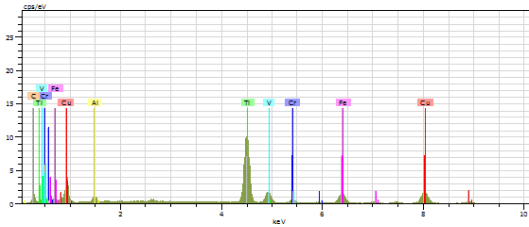


18 Date:06/03/2015 15:57:02 HV:20.0kV Puls th.:5.74kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6 K-series	2.53	2.70	11.30	0.5
Si	14 K-series	0.41	0.44	0.78	0.1
Cr	24 K-series	13.62	14.49	14.03	0.4
Mn	25 K-series	3.37	3.59	3.29	0.2
Fe	26 K-series	63.92	68.01	61.34	1.8
Ni	28 K-series	10.13	10.78	9.25	0.4
Total:		93.99	100.00	100.00	

(a)

(b)



17 Date:06/03/2015 15:56:32 HV:20.0kV Puls th.:5.73kcps

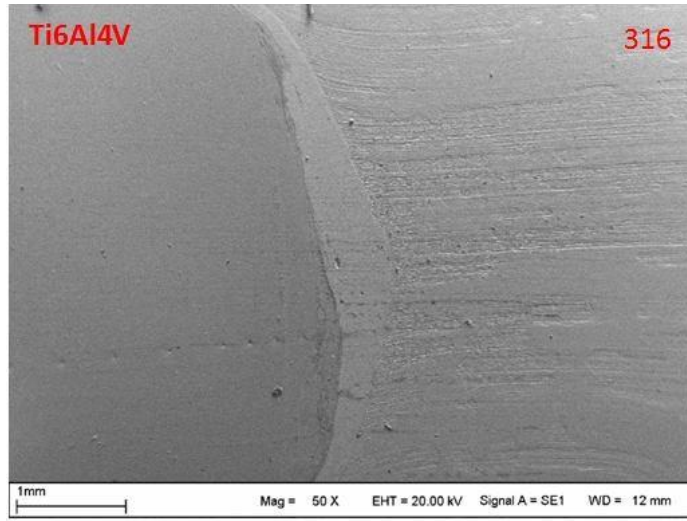
El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6 K-series	5.78	6.04	21.92	1.0
Al	13 K-series	2.10	2.20	3.55	0.1
Ti	22 K-series	42.16	44.08	40.12	1.7
V	23 K-series	0.30	0.31	0.27	0.1
Cr	24 K-series	2.62	2.74	2.29	0.4
Fe	26 K-series	12.68	13.26	10.34	0.4
Cu	29 K-series	30.00	31.37	21.51	0.9
Total:		95.64	100.00	100.00	

(c)

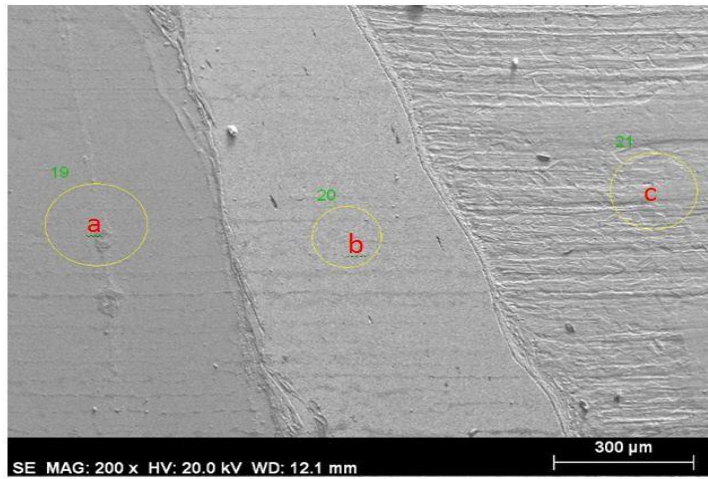
Şekil 3.15. AISI 316-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

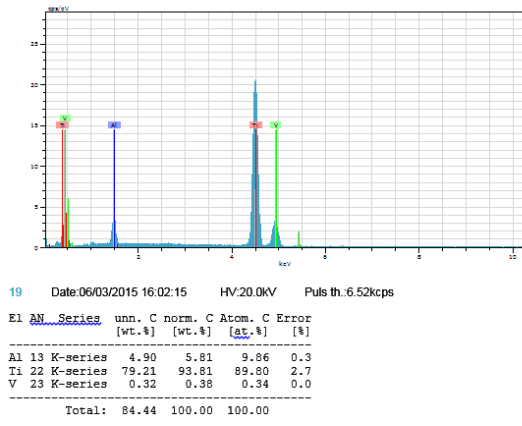
### 3.14.2. AISI 316-Ti6Al4V-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX sonuçları

Resim 3.26.'da AISI 316 Ti6Al4V alaşımının nikel ara tabaka kullanılarak yapılmış olan birleştirmenin sem fotoğrafı görülmektedir. Cu ara tabaka kullanılarak yapılan kaynağa göre Ni ara tabakanın daha geniş olduğu açıkça görülmektedir. EDX sonuçları incelendiğinde % 94 oranında nikelden meydana geldiği görülmektedir. Şekil 3.16'da EDX sonuçları verilmiştir.

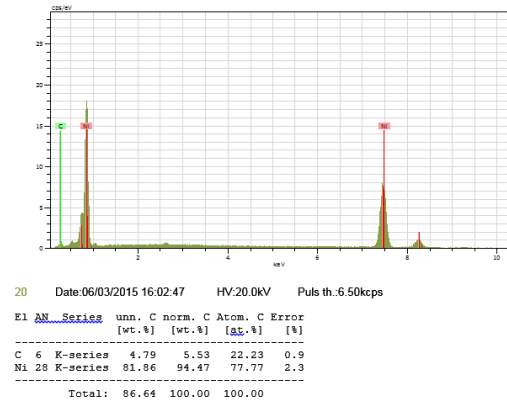


**Resim 3.26.** AISI 316-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı

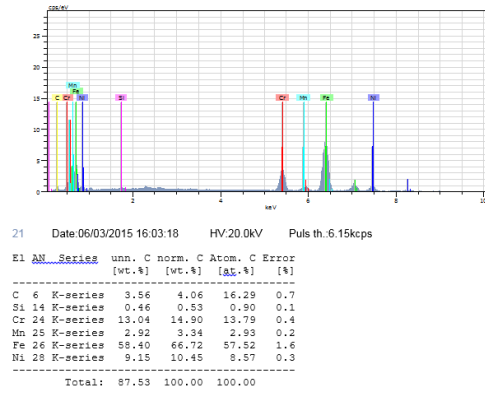




(a)



(b)

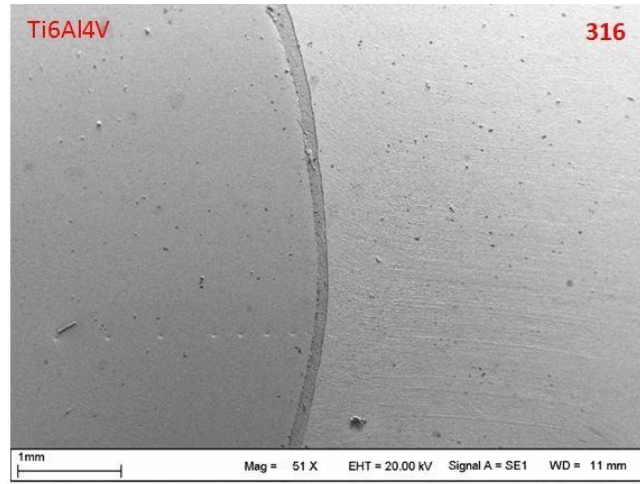


(c)

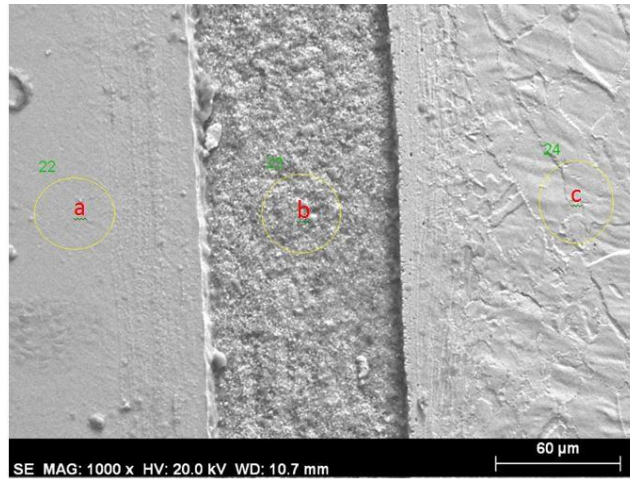
Şekil 3.16. AISI 316-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

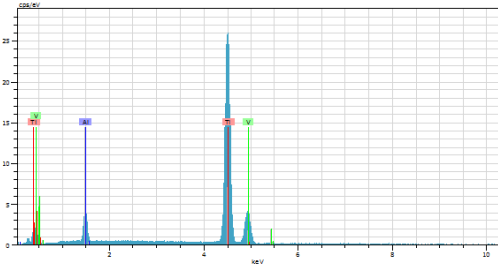
### 3.14.3. AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX sonuçları

AISI 316 ile Ti6Al4V alaşımını Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen malzemelerin sem fotoğrafları Resim 3.27.'de gösterilmiştir. Mx1480 ara tabakanın oldukça düzenli bir şekilde tüm yüzey boyunca dağıldığı görülmektedir. Kullanılan toz ara tabaka kaynak işlemi esnasında sıcaklık ve basınç etkisiyle birleşmiştir. Şekil 3.17'de EDX sonuçları verilmiştir.



**Resim 3.27.** AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı

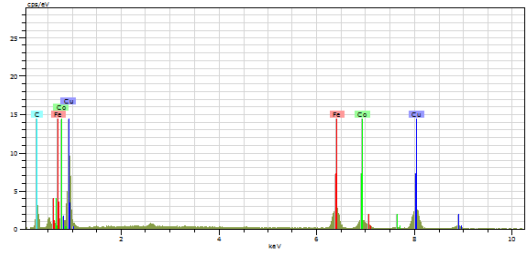




22 Date:06/03/2015 16:08:52 HV:20.0kV Puls th.:7.70kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
Al	13 K-series	5.41	5.80	9.85	0.3
Ti	22 K-series	87.52	93.84	89.93	2.9
V	23 K-series	0.33	0.36	0.32	0.0
Total:		93.27	100.00	100.00	

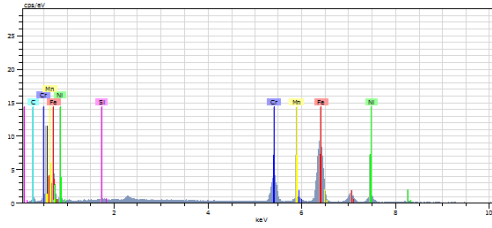
(a)



23 Date:06/03/2015 16:09:18 HV:20.0kV Puls th.:5.57kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6 K-series	15.21	17.46	51.66	2.4
Fe	26 K-series	18.57	21.31	13.56	0.6
Co	27 K-series	10.81	12.41	7.48	0.4
Cu	29 K-series	42.54	48.82	27.30	1.2
Total:		87.13	100.00	100.00	

(b)



24 Date:06/03/2015 16:09:43 HV:20.0kV Puls th.:6.70kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6 K-series	2.93	3.24	13.35	0.6
Si	14 K-series	0.30	0.33	0.58	0.0
Cr	24 K-series	13.23	14.61	13.92	0.4
Mn	25 K-series	3.19	3.53	3.18	0.2
Fe	26 K-series	60.85	67.22	59.62	1.7
Ni	28 K-series	10.02	11.07	9.34	0.3
Total:		90.52	100.00	100.00	

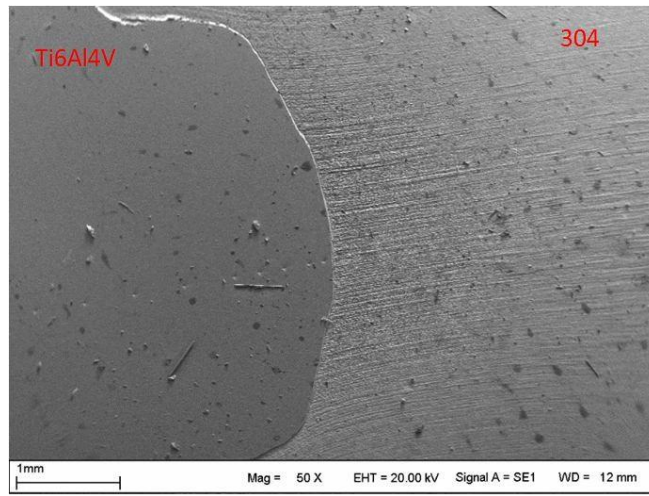
(c)

Şekil 3.17. AISI 316-Ti6Al4V-Mx1480 ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin edx sonuçları

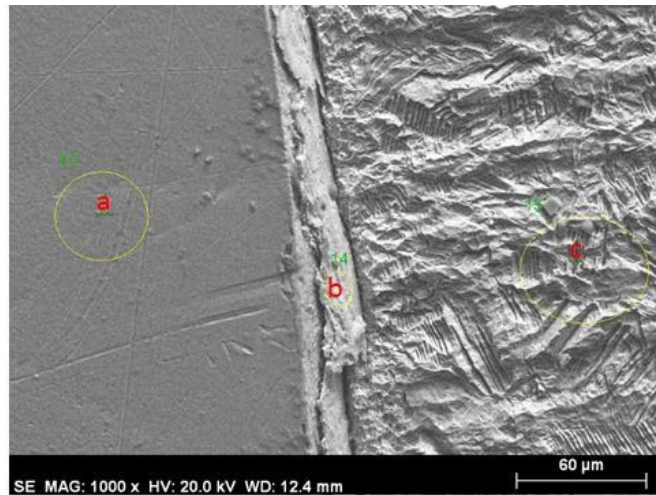


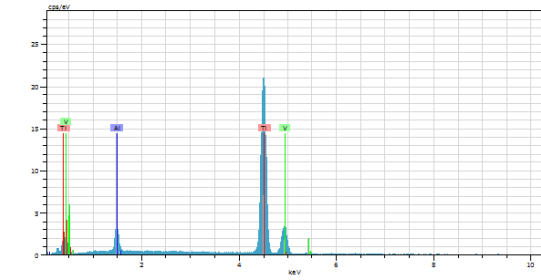
### 3.14.4. AISI 304-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX Sonuçları

Resim 3.28.2de AISI 304 ile Ti6Al4V alaşımın Cu ara tabaka kullanılarak kayna edilen numunelerin sem fotoğrafları gösterilmektedir. SEM resimleri incelendiğinde kaynak bölgesinin açılan punta deliğın çevresinde oluştuğu gözlenmiştir. Kaynak işlemi kesit boyunca düz bir şekilde meydana gelmiştir ve ara kesit kalınlığı 15 mikron civarında oluşmuştur. EDX analizleri incelendiğinde kaynak ara kesit bölgesinde bakır oranı % 39 civarında ölçülmüştür. Şekil 3.18.'de EDX sonuçları gösterilmiştir.



Resim 3.28. AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı

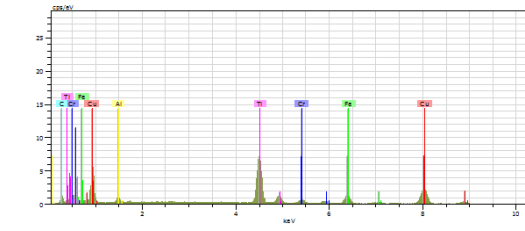




13 Date:06/03/2015 15:50:45 HV:20.0kV Puls th.:6.58kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
Al	13 K-series	5.10	5.90	10.02	0.3
Ti	22 K-series	80.89	93.73	89.65	2.7
V	23 K-series	0.32	0.37	0.33	0.0
Total:		86.30	100.00	100.00	

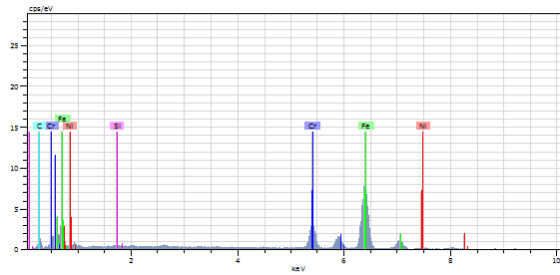
(a)



14 Date:06/03/2015 15:51:15 HV:20.0kV Puls th.:5.37kcps

El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6 K-series	6.43	8.09	28.28	1.2
Al	13 K-series	1.60	2.01	3.12	0.1
Ti	22 K-series	27.97	35.20	30.85	0.8
Cr	24 K-series	3.21	4.79	3.37	0.2
Fe	26 K-series	7.85	10.00	7.52	0.3
Cu	29 K-series	31.72	39.91	26.36	0.9
Total:		79.47	100.00	100.00	

(b)



15 Date:06/03/2015 15:51:45 HV:20.0kV Puls th.:5.52kcps

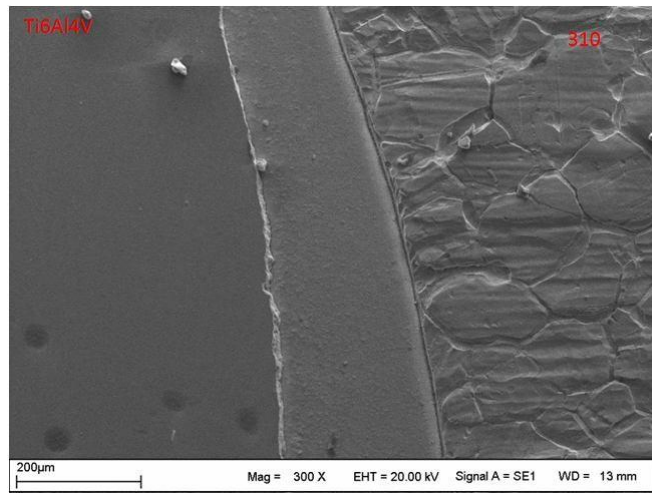
El	AN_Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6 K-series	6.94	8.54	29.89	1.3
Si	14 K-series	0.31	0.38	0.57	0.0
Cr	24 K-series	15.97	19.65	15.89	0.5
Fe	26 K-series	55.39	68.14	51.30	1.5
Ni	28 K-series	2.67	3.28	2.35	0.1
Total:		81.28	100.00	100.00	

(c)

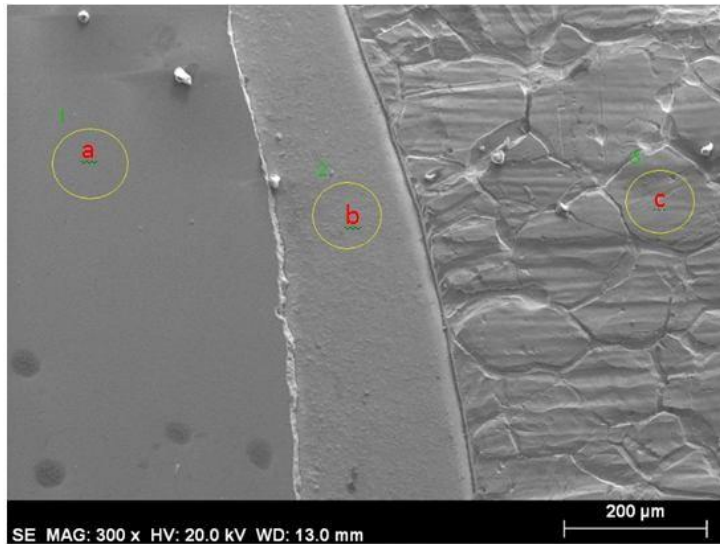
Şekil 3.18. AISI 304-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

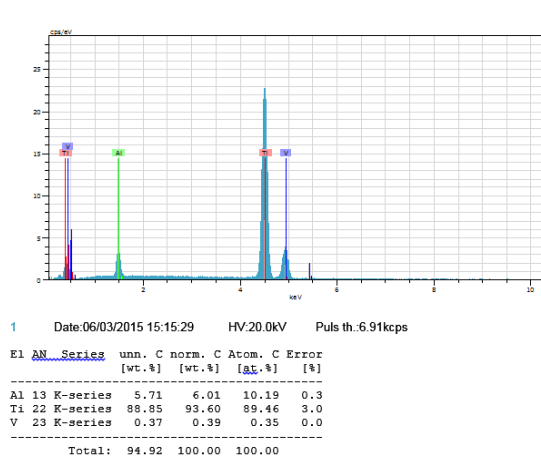
### 3.14.5. AISI 310-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen SEM Ve EDX Sonuçları

Resim 3.29.'da AISI 310 ile Ti6Al4V alaşımın bakır ara tabaka kullanılarak kaynakla birleştirilen numunelerin SEM resimleri gösterilmektedir. SEM resimlerinde anlaşılacağı gibi kaynak işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği ve Cu ara tabakanın düz ve homojen bir şekilde oluştuğu görülmektedir. EDX analizleri incelendiğinde kaynak ara kesit kalınlığının geniş olmasından dolayı sadece %100 Cu atomun oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.19'da numunelerin EDX sonuçları verilmiştir.

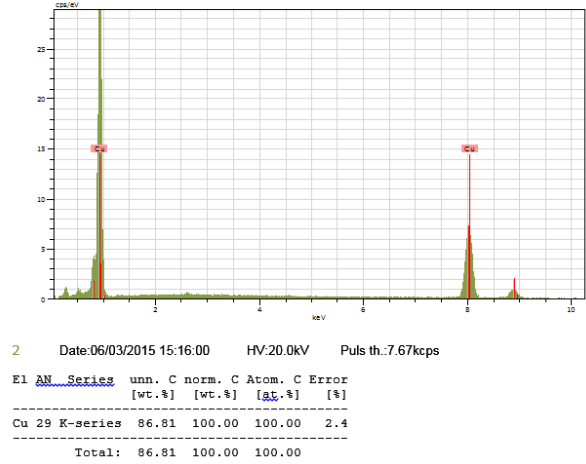


**Resim 3.29.** AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı

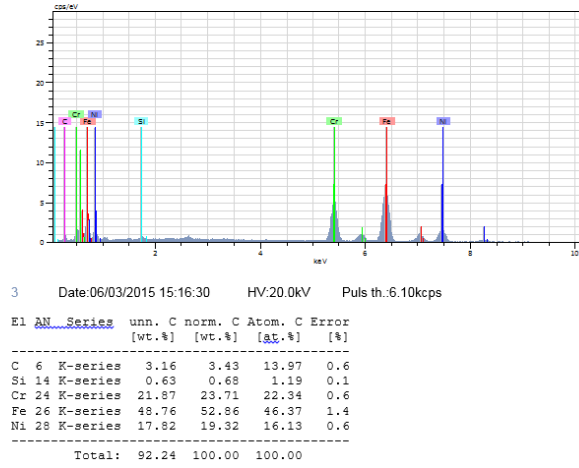




(a)



(b)

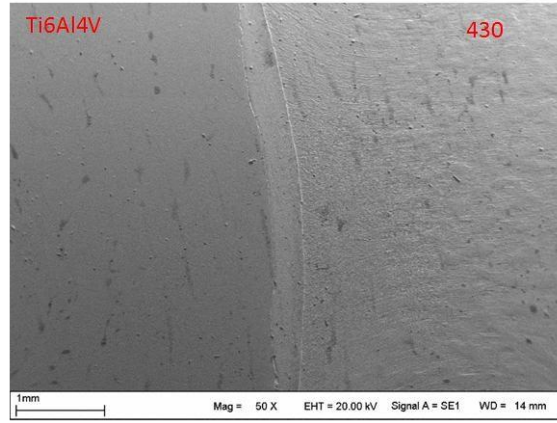


(c)

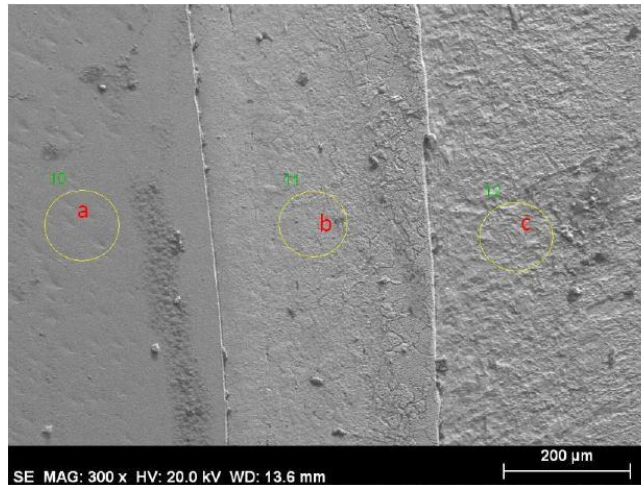
Şekil 3.19. AISI 310-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

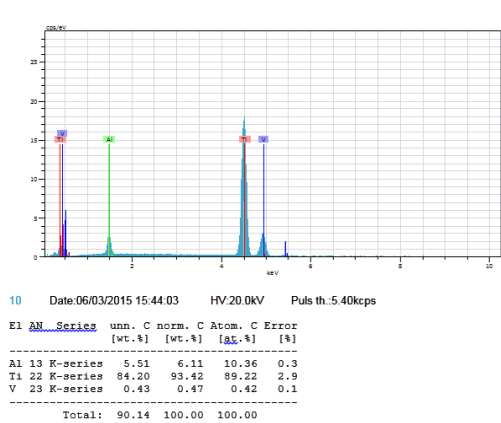
### 3.14.6. AISI 430-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM ve EDX Sonuçları

AISI 430 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin SEM resimleri Resim 3.30.'da gösterilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde kaynak işleminin başarılı bir şekilde olduğu ve kaynak bölgesi boyunca düz bir şekilde ve homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Kaynak ara kesit kalınlığı birleşme bölgesinde geniş bir yer kapladığı sem fotoğraflarında açıkça görülmektedir. Ayrıca EDX analizleri incelendiğinde kaynak ara kesit kalınlığı fazla olmasından dolayı bölgede sadece bakır fazının oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.20.'de numunelerin EDX sonuçları verilmiştir.

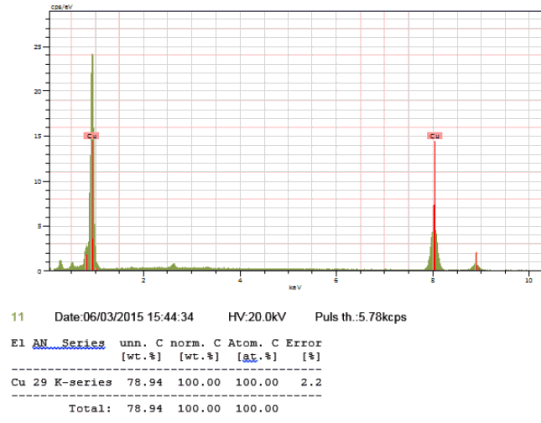


**Resim 3.30.** AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafları

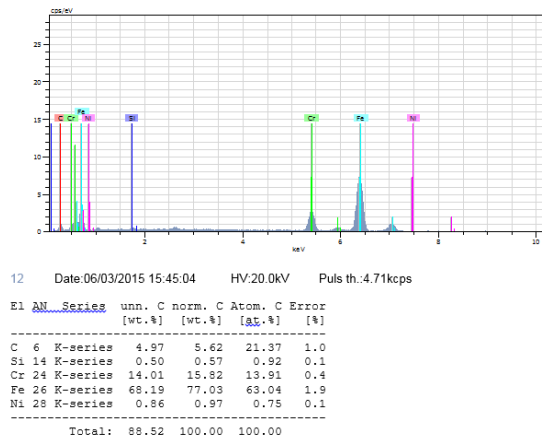




(a)



(b)

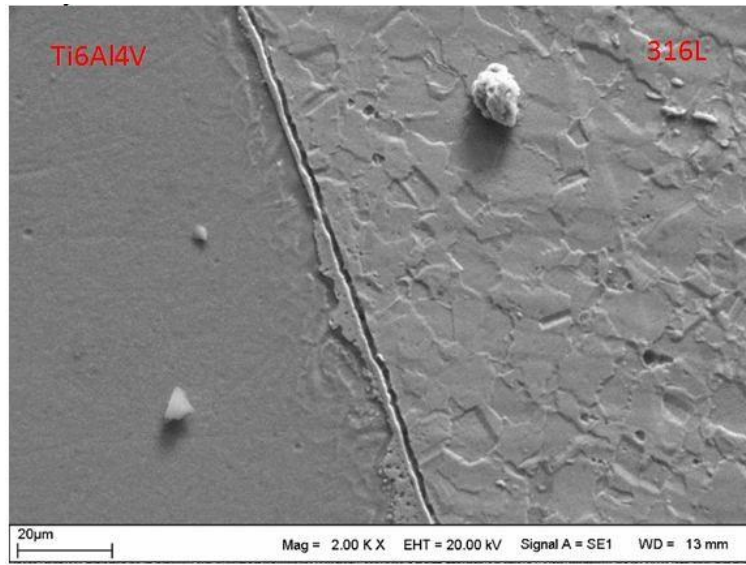


(c)

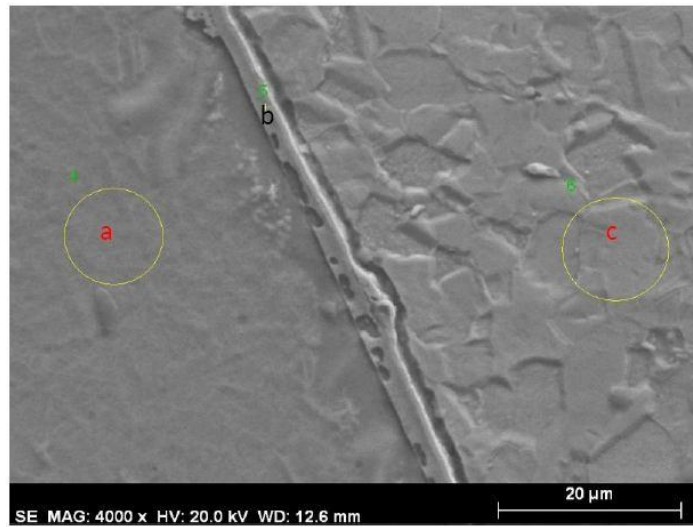
Şekil 3.20. AISI 430-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

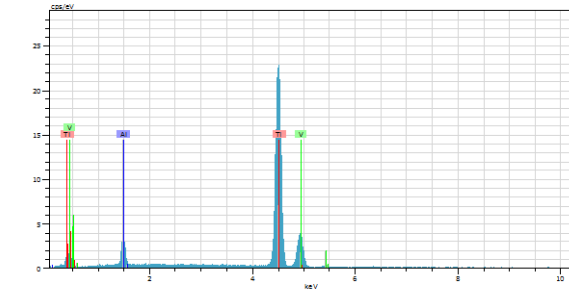
### 3.14.7. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Ve EDX Sonuçları

Resim 3.31.'de AISI 316L ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak edilen numunenin SEM fotoğrafları gösterilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde kaynak bölgesinin bir hat boyunca düz ve homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir. Ayrıca kaynak bölgesinde kaynak ara kesiti ince bir tabaka oluştuğu görülmüştür. EDX analizleri incelendiğinde ara kesiti kalınlığının ince olmasından dolayı farklı yapıda fazların oluştuğu görülmüştür. Numunelerin EDX sonuçları Şekil 3.21.'de verilmiştir. Ayrıca kaynak ara kesitinde en fazla %31Ti ve %43Fe demir elementleri oluşmuştur.



**Resim 3.31.** AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı

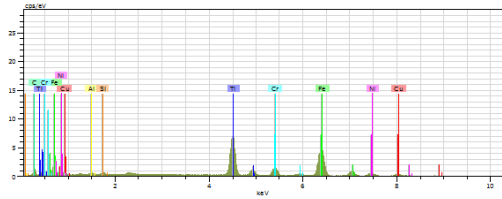




4 Date:06/03/2015 15:28:47 HV:20.0kV Puls th.:6.63kcps

E1 AN_Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Al 13 K-series	5.97	6.44	10.88	0.3
Ti 22 K-series	86.39	93.21	88.80	2.9
V 23 K-series	0.33	0.35	0.32	0.0
Total: 92.69 100.00 100.00				

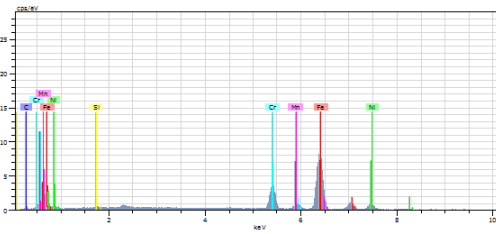
(a)



5 Date:06/03/2015 15:29:17 HV:20.0kV Puls th.:5.52kcps

E1 AN_Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C 6 K-series	4.50	4.90	18.20	0.8
Al 13 K-series	1.16	1.27	2.09	0.1
Si 14 K-series	0.72	0.78	1.25	0.1
Ti 22 K-series	28.64	31.17	29.06	0.8
Cr 24 K-series	8.09	8.81	7.56	0.3
Fe 26 K-series	40.04	43.58	34.84	1.1
Ni 28 K-series	5.25	5.72	4.35	0.2
Cu 29 K-series	3.47	3.78	2.65	0.2
Total: 91.88 100.00 100.00				

(b)



6 Date:06/03/2015 15:29:48 HV:20.0kV Puls th.:5.67kcps

E1 AN_Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C 6 K-series	2.29	2.60	10.95	0.5
Si 14 K-series	0.44	0.50	0.90	0.1
Cr 24 K-series	12.58	14.32	13.91	0.4
Mn 25 K-series	2.72	3.09	2.84	0.2
Fe 26 K-series	59.77	68.03	61.54	1.6
Ni 28 K-series	10.07	11.46	9.86	0.3
Total: 87.86 100.00 100.00				

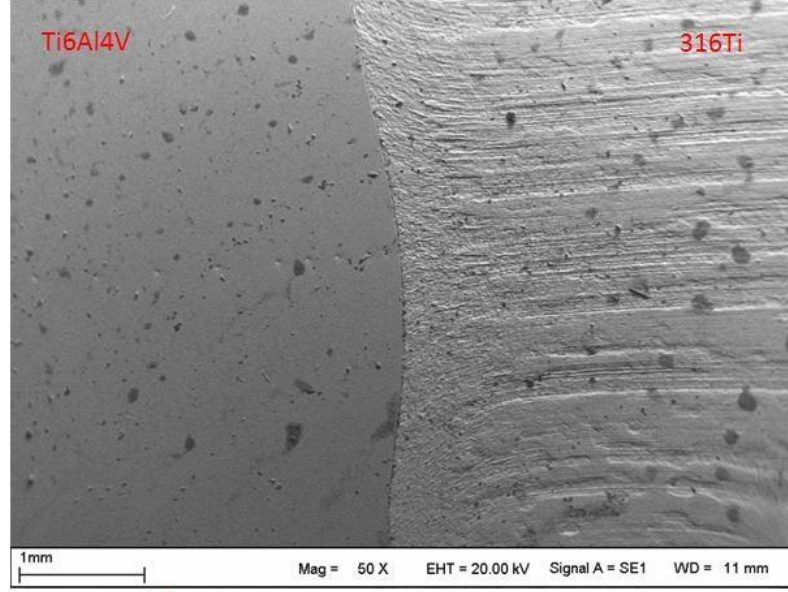
(c)

Şekil 3.21. AISI 316L-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

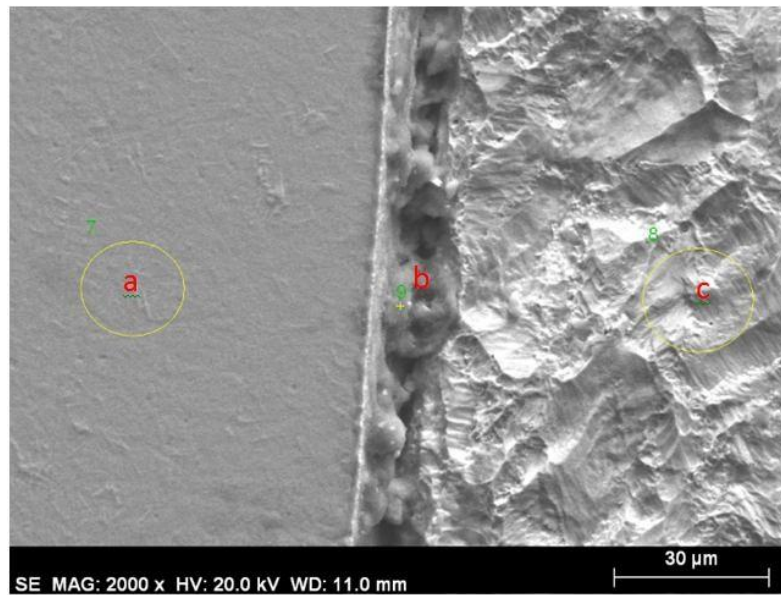


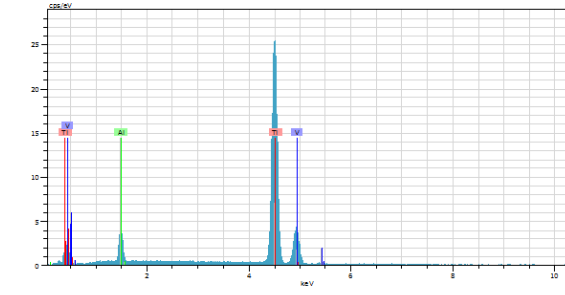
### 3.14.8. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Ve EDX Sonuçları

Resim 3.32.'de AISI 316Ti ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak birleştirilen malzemelerin SEM resimleri gösterilmiştir. SEM analizleri incelendiğinde birleşme bölgesi tüm yüzey boyunca açık bir şekilde görülmektedir. Kaynak birleşme bölgesi ara kesit kalınlığı incelendiğinde 15 mikron seviyesinde ölçülmüştür. EDX analizleri incelendiğinde kaynak ara kesit bölgesinde farklı elementlerin oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.22.'de numunelerin EDX sonuçları verilmiştir.



**Resim 3.32.** AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafı

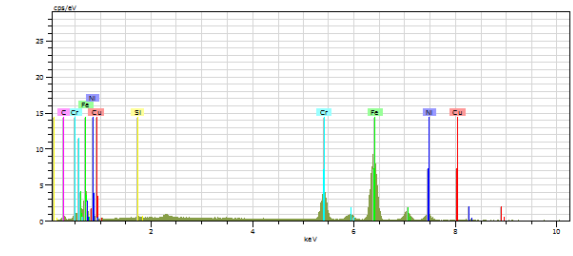




7 Date:06/03/2015 15:37:44 HV:20.0kV Puls th.:7.67kcps

El	AN_Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Al	13 K-series	5.39	6.04	10.24	0.3
Ti	22 K-series	83.47	93.59	89.43	2.7
V	23 K-series	0.33	0.37	0.33	0.0
Total:		89.18	100.00	100.00	

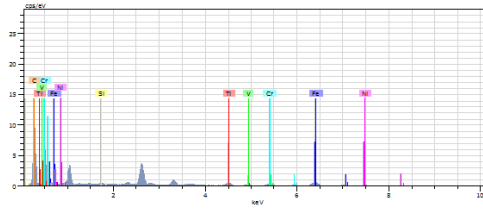
(a)



8 Date:06/03/2015 15:38:14 HV:20.0kV Puls th.:6.57kcps

El	AN_Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6 K-series	3.13	3.82	15.44	0.6
Si	14 K-series	0.28	0.34	0.59	0.0
Cr	24 K-series	14.44	17.60	16.44	0.4
Fe	26 K-series	55.64	67.81	58.96	1.5
Ni	28 K-series	7.76	9.46	7.83	0.3
Cu	29 K-series	0.80	0.97	0.74	0.1
Total:		82.06	100.00	100.00	

(b)



9 Date:06/03/2015 15:38:45 HV:20.0kV Puls th.:4.19kcps

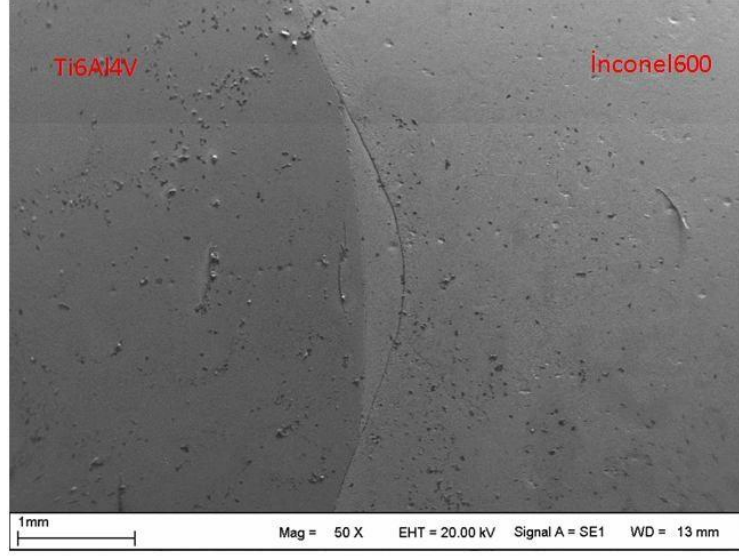
El	AN_Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6 K-series	91.16	91.16	97.84	2.1
Si	14 K-series	0.14	0.14	0.06	0.0
Ti	22 K-series	1.72	1.72	0.46	0.3
V	23 K-series	0.20	0.20	0.05	0.1
Cr	24 K-series	1.42	1.42	0.35	0.3
Fe	26 K-series	4.61	4.61	1.06	0.2
Ni	28 K-series	0.76	0.76	0.17	0.1
Total:		100.00	100.00	100.00	

(c)

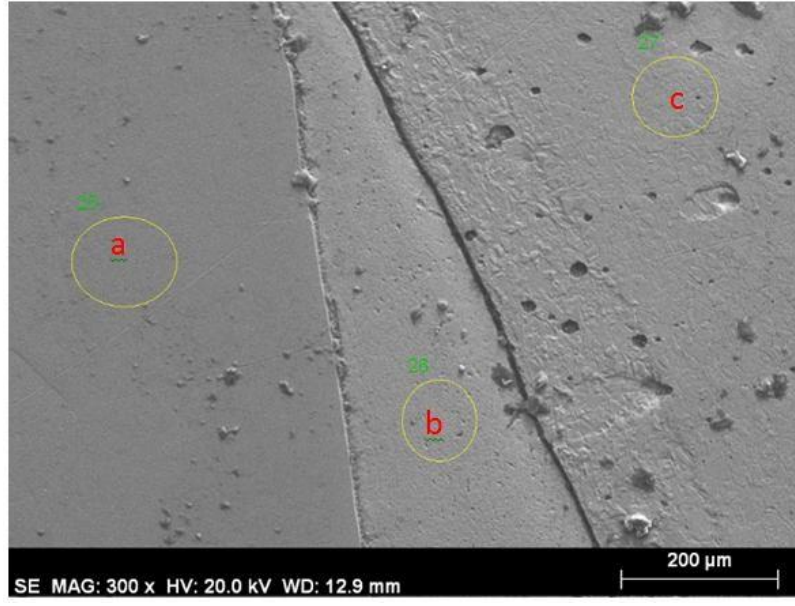
Şekil 3.22. AISI 316Ti-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

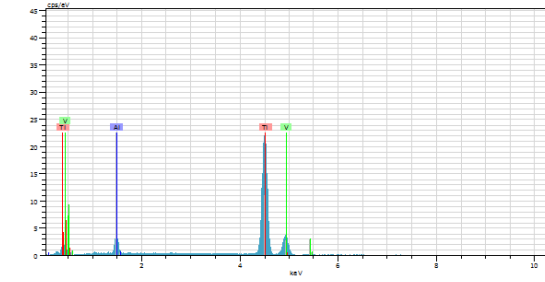
### 3.14.9. Inconel600-Ti6Al4V-Cu Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Ve EDX Sonuçları

Inconel600 ile Ti6Al4V alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak kaynak edilen malzemelerin SEM fotoğrafları Resim 3.33'de gösterilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde kullanılan ara tabaka kaynak boyunca düz ve homojen bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Ayrıca açılan punta deliği etrafında kaynak ara kesitinin arttığı görülmektedir. EDX resimleri incelendiğinde ara kesiti bölgesinde sadece % 93 seviyesinde Cu oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeni ise kaynak ara kesit kalınlığının çok geniş olmasıdır. Şekil 3.23.'de numunelerin EDX sonuçları verilmiştir.



**Resim 3.33.** Inconel600-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafları

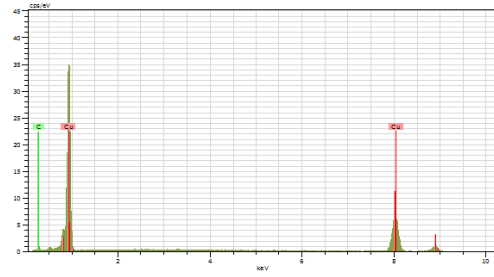




25 Date:06/03/2015 16:16:15 HV:20.0kV Puls th.:6.85kcps

El	AN_Series	unn.	C	norm.	C	Atom.	C	Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[at.%]			[%]
Al	13 K-series	5.26	6.00	10.17	0.3			
Ti	22 K-series	82.07	93.60	89.47	2.8			
V	23 K-series	0.35	0.40	0.36	0.0			
Total:		87.68	100.00	100.00				

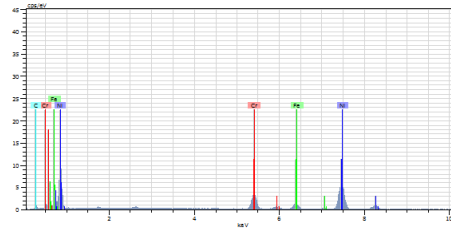
(a)



26 Date:06/03/2015 16:16:41 HV:20.0kV Puls th.:7.65kcps

El	AN_Series	unn.	C	norm.	C	Atom.	C	Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[at.%]			[%]
C	6 K-series	6.18	7.01	28.52	1.2			
Cu	29 K-series	81.90	92.99	71.48	2.3			
Total:		88.08	100.00	100.00				

(b)



27 Date:06/03/2015 16:17:06 HV:20.0kV Puls th.:6.28kcps

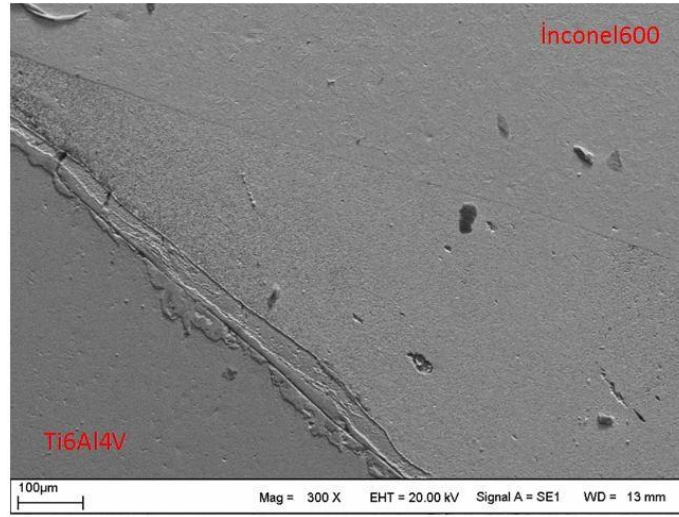
El	AN_Series	unn.	C	norm.	C	Atom.	C	Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[at.%]			[%]
C	6 K-series	4.20	4.92	19.78	0.8			
Cr	24 K-series	13.11	15.35	14.26	0.4			
Fe	26 K-series	7.52	8.80	7.61	0.3			
Ni	28 K-series	60.57	70.93	58.35	1.7			
Total:		85.40	100.00	100.00				

(c)

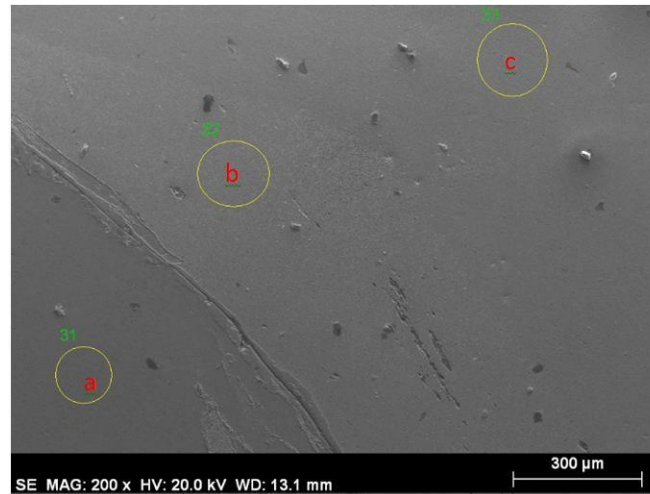
Şekil 3.23. İnconel600-Ti6Al4V-Cu ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

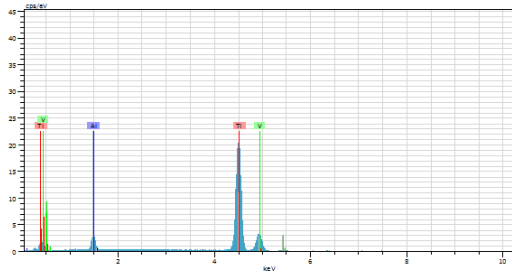
### 3.14.10 Inconel 600-Ti6Al4V-Ni Ara Tabaka Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Ve EDX Sonuçları

Resim 3.34.'de Inconel600 ile Ti6Al4V alaşımının nikel ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunelerin SEM fotoğrafları gösterilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde kaynak işleminin başarılı bir şekilde yapıldığı kaynak birleşme bölgesi boyunca düz ve homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Ni ara tabakanın kaynak ara kesit kalınlığı Cu ara tabaklı numuneni kaynak ara kesit kalınlığından daha geniş olduğu SEM resimlerinde açıkça görülmektedir. EDX analizleri incelendiğinde kaynak ara kesit kalınlığına bağlı olarak kaynak ara bölgesinde sadece %96 Ni elementi oluşmuştur. Şekil 3.24.'de numunelerin EDX sonuçları verilmiştir.



**Resim 3.34.** Inconel600-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin SEM fotoğrafları

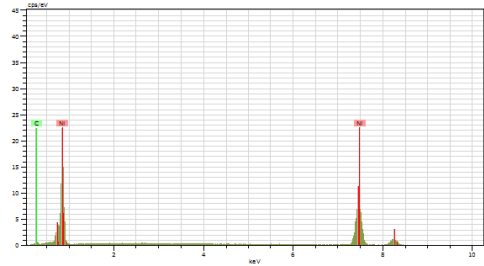




31 Date:06/03/2015 16:26:57 HV:20.0kV Puls th.:6.30kcps

El	AN_Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Al	13 K-series	5.65	5.83	9.90	0.3
Ti	22 K-series	90.90	93.69	89.67	3.2
V	23 K-series	0.46	0.48	0.43	0.1
Total:		97.02	100.00	100.00	

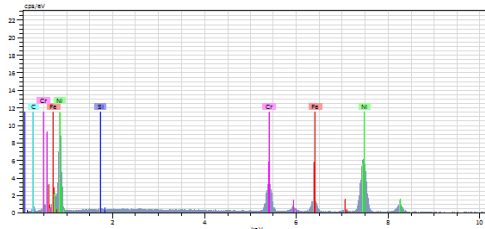
(a)



32 Date:06/03/2015 16:27:22 HV:20.0kV Puls th.:6.13kcps

El	AN_Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6 K-series	3.89	3.98	16.84	0.8
Ni	28 K-series	93.77	96.02	83.16	2.6
Total:		97.66	100.00	100.00	

(b)



33 Date:06/03/2015 16:27:48 HV:20.0kV Puls th.:6.02kcps

El	AN_Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
C	6 K-series	2.83	3.09	13.14	0.6
Si	14 K-series	0.30	0.33	0.60	0.0
Cr	24 K-series	15.20	16.60	16.29	0.5
Fe	26 K-series	8.72	9.53	9.71	0.3
Ni	28 K-series	64.50	70.45	61.26	1.8
Total:		91.55	100.00	100.00	

(c)

Şekil 3.24. Inconel600-Ti6Al4V-Ni ara tabaka kullanılarak birleştirilen numunenin EDX sonuçları

#### 4. SONUÇLAR

1. Yapılan deneyler sonucunda makro yapı, mikro yapı, mikro sertlik, çekme deneyleri ve SEM-EDX incelemeleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.
2. Ti6Al4V alaşımı Cu, Ni ve MX1480 toz ara tabaka kullanılarak AISI 316 malzemesi ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
3. AISI310, 316,316L,316Ti,430, malzemeleri sadece Cu toz ara tabaka kullanılarak birleştirilmiştir.
4. Inconel600 Ni ve Cu toz ara tabaka kullanılarak başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
5. Yapılan birleştirmelerde tüm kaynak yüzeyi boyunca ara tabakanın üniform bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Malzemelerin ara kesit kalınlıkları AISI 316 Cu için 10 mikron, Ni için 48 mikron ve MX1480 için 160 mikron olarak ölçülmüştür. AISI 304 için 20 mikron, AISI 310 için 200 mikron, AISI 430 için 350 mikron, AISI 316 L için 10 mikron, AISI 316 Ti için 28 mikron, Inconel600 Cu ara tabaka için 290 mikron, Ni ara tabaka için 200 Mikron olarak ölçülmüştür.
6. Boyun oluşumu genellikle Ti6Al4V tarafında olmuştur. Bu nedenle kullanılan toz ara tabakanın birleştirme işlemi esnasında kaynak bölgesinden çıkmaması için sürtünme süresi devir attıkça malzemedeki deformasyon miktarı fazla olacağından dolayı 8 mm çapında bir malzeme için, 3000dev/dak için en fazla 4 saniye 1500dev/dak için ise en fazla 15 saniye olmalıdır.
7. Malzemelerin çekme mukavemetleri kullanılan ara tabakanın çekme mukavemeti kadar olmuştur. Fakat yığıma işleminde meydana gelen deformasyon sertleşmesinden dolayı Cu ara tabaka kullanılarak yapılan birleştirmeler için bu değerler. AISI 316 için %5,13'lük uzama ile 244 MPa ile AISI 304 için %2,8'lik uzama ile 187 MPa AISI310 için %5,5'lik uzama ile 440 MPa, AISI 430 için %3,1'lik uzama ile 230 MPa, AISI 316 L için %3,5'lik uzama ile 291 MPa, AISI 316 Ti için %4,6 ile 320 MPa ve Inconel600 için %5,8'lik uzama ile 323 MPa olarak ölçülmüştür. Burada özellikle AISI 310'un göstermiş olduğu mukavemet değeri dikkat çekicidir. Şekil 3.10'da makro yapı ara yüzey fotoğrafında gösterildiği gibi, ara yüzey düzgün bir kesit halinde değil açılmış olan punta deliği çevresinde diğer malzemelerden daha farklı bir kaynak ara yüzeyi görülmektedir. AISI 310 Yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzemedir ve bu nedenle kaynak işlemi

esnasında birleştirme işlemi yapılan diğer numunelere göre deformasyon miktarı daha az olmuştur ve toz malzeme açılmış olan punta deliği içerisinde kalarak malzemeler arasında güçlü bir birleşme olmasını sağlamıştır. Ayrıca bu durum kaynak kesitini daha da arttırarak çekme mukavemetinin daha yüksek çıkmasını sağlamıştır.

8. Ni kullanılarak yapılan birleştirmelerde sadece AISI 316 ve Inconel600 malzemeleri başarılı bir şekilde birleştirilebilmiştir. Malzemelerin çekme mukavemetleri Inconel600 %5,5'lik uzama ile 336 MPa değerinde ve AISI 316 ise %4.09'luk uzama ile 103 MPa değerinde çekme deney sonuçları ölçülmüştür.
9. Birleştirilen numunelerin hepsi kaynak bölgesinden kopmuştur.
10. Ni kullanılarak başarılı bir birleştirme işleminin yapılabilmesi için kaynak işlemi kısa bir sürede yapılmalıdır. Yapılan birleştirmelerde sürtünme süresinin 4-5 sn mertebesinde kısa, dönüş hızının 3000dev/dak, sürtünme basıncının ise 112 MPa seviyesinde olması gerekmektedir.
11. Mikro sertlik sonuçları incelendiğinde Ti6Al4V tarafında sertlik miktarında büyük miktarda farklılıklar gözlenmemiştir. Boyun oluşumu titanyum tarafında olduğu için malzeme üzerine büyük miktarda ısı girişi olmadığı düşünülmektedir. Bu nedenle sertlik değerlerinde sıcaklık yüzünden sertlik azalması meydana gelmediği görülmüştür. Ayrıca birleştirilen malzemelerde ara tabaka sertliği AISI 316 Cu ara tabaka için 256 Vickers, Mx1480 ara tabaka için 218 vickers ve Ni ara tabaka için 167 vickers olarak bulunmuştur. AISI 310 için ara tabaka sertliği 67 vickers, AISI 430 için 67 vickers, AISI 316 L için 180 vickers, Inconel600 Cu ara tabaka için 65 vickers, Ni ara tabaka için 165 vickers olarak ölçülmüştür. AISI 304, AISI 316 Ti ve AISI316 malzemelerinin ara tabaka kalınlıkları sırası ile 20, 28 ve 10 mikron olduğu için sertlik ölçümü bu noktalardan yapılamamıştır.
12. Elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda ara tabaka kalınlığının, kaynak bölgesinde oluşan fazlar üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Yani ara tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 48 mikronun altında kalan değerlerde kaynak bölgesinde birçok sert ve kırılğan fazın oluştuğu görülmüştür. Yani kullanılan ara tabaka özelliğini kaybederek sert ve kırılğan bir yapıya dönüştüğü sonucuna varılmıştır.
13. Toz ara tabaka kullanılarak malzemelerin sürtünme kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilebildiği görülmüştür, bu yöntem sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi zor



olan malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilir seviyededir. Toz ara tabaka kullanarak yapılan birleştirme işleminde geleneksel ara tabaka kullanarak yapılan birleştirme işlemlerine göre daha kısa sürede yapılmaktadır. Malzemelerin kaynak işlemine hazırlanması ve birleştirme işleminin tek seferde yapılması yöntemin avantajını ortaya koymaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anık, S., Anık E.S., Vural, M.,** 1993. “1000 Soruda kaynak teknolojisi”, El Kitabı İstanbul, 204-215s.
- Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M.,** 1999 İmal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 40-50s.
- Arıcı, G.,** 2013 Nikel Alüminatların Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilebilirliklerinin Araştırılması E.O.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Ocak,
- Çalğülü, U., Orhan, A., Gür, A.,** , 2007 Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinde Çevresel Hızın Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi* 19 (4), 583-592
- Çelik, Ö.,** 2008 Sürtünme Kaynağı Yapılmış Farklı Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin incelenmesi, C.B.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek lisans Tezi*, Manisa
- Çiğdem, M.,** 2006.İmal Usulleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 161-207s.
- Daxin R, Liming Liu** 2014 Interface microstructure and mechanical properties of arc spot welding Mg–steel dissimilar joint with Cu interlayer *Materials and Design* **59** 369–376
- Dede, A., Soy, U., Aslanlar, S.,** 2002. Sürtünme Kaynak Yöntemi, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6.Cilt, 1.Sayı
- Diñç, D.,** 2006 A1sı 1040 Ve A1sı 304 Çeliklerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir
- Dong-sheng ZHAO, Jiu-chun YAN, Yu-jun LIU, Zhuo-shang JI** 2014 Interfacial structure and mechanical properties of hot-roll bonded joints between titanium alloy and stainless steel using niobium interlayer *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **24** 2839–2844
- Durgutlu, A.,** 2003. Patlama Kaynağı Yöntemi İle Bakır –Paslanmaz Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi Ve Arayüzeyin Mekanik-Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Gavas,M., Aydın,M., Yaşar, M., Altunpak, Y.,** 2012. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri, Seckin Yayıncılık, Ankara, 469-571s.
- Gourd, L.M.,** 1996 Kaynak Teknolojileri Esasları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 17-33s.
- Hazman S, Mohamad ZN, Ahmad I. Endri R.I, Zainal AA.** 2010 Characterization and thermal modelling of friction welded alumina–mild steel with the use of Al 1100 interlayer *Journal of Alloys and Compounds* **506** 703–709
- Hongyang Wang, Liming Liu , Fei Liu** 2013 The characterization investigation of laser-arc-adhesive hybrid welding of Mg to Al joint using Ni interlayer *Materials and Design* **50** 463–466
- Jian Zhang, Qiang Shen, Guoqiang Luo, Meijuan Li, Lianmeng Zhang** 2012 Microstructure and bonding strength of diffusion welding of Mo/Cu joints with Ni interlayer *Materials and Design* **39** 81–86
- Kaluç,E. ve Taban, E.,** 2007 Sürtünen Elaman İle Kaynak Yöntemi, MMO, Ankara.

- Kaya, N.**, 2010 AISI 304 Paslanmaz Çelik İle Genel Yapı Çeliğinin Sürtünme Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması, G.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara,
- Kearns, W.H.**, 1980 Welding Handbook, Seventh Edition, Volume 3, American Welding Society, Florida,
- Kırık, İ., Ödemir, N.**, 2012 Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmiş AISI 1040/Duplex Paslanmaz Çelik Çiftinde Sürtünme Süresinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 16. Cilt, 2. Sayı, s. 69-75,
- Köylüoğlu, B.**, 2014 Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş SAE 8620 Çeliğine Kriyojenik ve Sementasyon İşlemlerin Etkisi Gazi Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara,
- Kumar M.V, Balasubramanian V..**, 2013 Microstructure and tensile properties of friction welded SUS 304HCu austenitic stainless steel tubes, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* **113** 25-31
- Kumar R., Balasubramanian M.** 2015 Experimental investigation of Ti-6Al-4V titanium alloy and 304L stainless steel friction welded with copper interlayer *Defence Technology* **xx** 1-11
- Li H.M, Sun D.Q, Cai X.L, P. Dong , W.Q. Wang** 2012 Laser welding of TiNi shape memory alloy and stainless steel using Ni interlayer *Materials and Design* **39** 285–293
- Ma, T.J.. Li W.Y Yang S.Y.** 2009, Impact toughness and fracture analysis of linear friction welded Ti–6Al–4V alloy joints, *Materials and Design* **30** 2128–2132
- Meriç, C., Köksal, N.S., Erdoğan, M.T., Okur, A.**, 2008 Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin incelenmesi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* ISSN 1305-1385,4.2 135 – 144
- Meshram S.D., Mohandas T., Madhusudhan RG..**, 2007 Friction welding of dissimilar pure metals, *Journal of Materials Processing Technology* **184** 330–337
- Muralimohan CH., Muthupandi V., Sivaprasad K.** 2014 Properties Of Friction Welding Titanium Stainless Steel Joints Nicel İnterlayer *Procedia Materials Science* **5** 1120 – 1129
- Odabaş, C.**, “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı” Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi Ticaret A.Ş İstanbul,
- Ozan, S., Karaoğlu, S., İpek, R.** 2012. “Partikül Takviyeli Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozitlerin Difüzyon Kaynak Kabiliyetlerinin İncelenmesi,” *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 53, sayı 630, s. 45-53.8
- Reddy MG, Ramana P.V.** 2012 Role of nickel as an interlayer in dissimilar metal friction welding of maraging steel to low alloy steel *Journal of Materials Processing Technology* **212** 66– 77
- Romero J., Attallah M.M., M. Preuss , M. Karadge , S.E. Bray** 2009 Effect of the forging pressure on the microstructure and residual stress development in Ti–6Al–4V linear friction welds *Acta Materialia* **57** 5582–5592

- Sassani F., Neelam J.R.** 1988 The feasibility of using a metal interlayer to friction weld certain similar and dissimilar metals was established [http://www.aws.org/wj/supplement/WJ\\_1988\\_11\\_s264.pdf](http://www.aws.org/wj/supplement/WJ_1988_11_s264.pdf).22.12.2014
- Silva, A., Meyer, A., Santos, Jorge., Kwietniewski, C, Strohaecker, T.,** 2004, "Mechanical and metallurgical properties of friction-welded TiC particulate reinforced Ti-6Al-4V", *Composites Science and Technology*, **64**, 1495
- Smith, W.F.**, 2006 Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 527-531s.
- Song C, Lin T, He P, Jiao Z, Jun T, Yajuan Ji** 2014 Molecular dynamics simulation of linear friction welding between dissimilar Ti-based alloys *Computational Materials Science* **83** 35–38
- Ting W, Bing-Gang Z, Guo-Qing C, Ji-Cai F, TANG Qi** 2010 Electron Beam Welding Of Ti-15-3 Titanium Alloy To 304 Stainless Steel With Copper İnterlayer Sheet *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **20** 1829-1834
- Tomashchuk I., Grevey, D. Sallamand P.**2015 Dissimilar laser welding of AISI316L stainless steel to Ti6–Al4–6V alloy via püre vanadium interlayer *Materials Science&EngineeringA* **622** 37–45
- Tomashchuk I., Sallamand P., Belyavina N., Pilloz M.** 2013 Evolution of microstructures and mechanical properties during dissimilar electron beam welding of titanium alloy to stainless steel via copper interlayer *MaterialsScience&EngineeringA* **585** 114–122
- Turner R., Gebelin J.C, Ward R.M, Reed R.C.** 2011 Linear friction welding of Ti–6Al–4V: Modelling and validation *Acta Materialia* **59** 3792–3803
- Ünal, E.,** 2003 Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 4340 Çeliği İle Paslanmaz Çeliklerin Yorulma Dayanımın Araştırılması, F.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisan Tezi*, Elazığ
- Vairis A, Frost M,** 1988 High frequency linear friction welding of a titanium alloy *Elsevier Science S.A.* **217** 117-131
- Vairis A., Frost M.** 1999 On the extrusion stage of linear friction welding of Ti 6Al 4V *Materials Science and Engineering A* **271** 477–484
- Wen-Ya Li, Tiejun Ma, Jinglong Li** 2010 Numerical simulation of linear friction welding of titanium alloy: Effects of processing parameters *Materials and Design* **31** (2010) 1497–1507
- Winiczenko R, Kaczorowski M,** 2012 Friction welding of ductile cast iron using interlayers *Materials and Design* **34** 444–451
- Zakipour S., M.Samavatian , A.Halvae , A.Amadeh , A.Khodabandeh** 2015 The effect of interlayer thickness on liquid state diffusion bonding behavior of dissimilar stainless steel 316/Ti-6Al-4V system *Materials Letters* **142** 168–171
- Zhang CC, ZHANG TC, Ya-juan JI, Ji-hua HUANG** 2013 Effects of heat treatment on microstructure and microhardness of linear friction welded dissimilar Ti alloys *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **23** 3540-3544

- URL-1** 2015. [http://www.oerlikon.com.tr/ark\\_kaynak\\_yontemleri.html](http://www.oerlikon.com.tr/ark_kaynak_yontemleri.html) 12.02.2015
- URL-2** 2015. <http://www.trdocs.org/docs/index-58376.html> 13.02.2015
- URL-3** 2015. <http://www.makinaturkiye.com/Tozalti-Kaynak-Makinalari/100081/Makina-Ekipmanlar> 10.04.2015
- URL-4** 2015. <http://www.zpunta.com> 10.04.2015
- URL-5** 2015. <http://www.trdocs.org/docs/index-58376.html> 09.03.2015
- URL-6** 2015. <http://www.trdocs.org/docs/index-58376.html> 09.03.2015
- URL-7** 2015. <http://teknoultrasonic.blogspot.com.tr/> 09.03.2015
- URL-8** 2015. <http://izmitemlmetal.com/?p=3373>. 09.03.2015
- URL-9** 2015. [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010492242014000100009&script=sci\\_arttext9](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010492242014000100009&script=sci_arttext9) 10.03.2015
- URL-10** 2015. <http://www.wirefirst.com/newsdetail.php?ID=3264> 11.03.2015
- URL-11** 2015. <http://www.mtiwelding.com/linear-friction-welding.html> 30.03.2015
- URL-12** 2015. <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/> 30.03.2015
- URL-13** 2015. <http://www.donmezhidrolik.com/upload/images/piston3>. 18.03.2015
- URL-14** 2015. [http://www.mtiwelding.com/parts\\_sample/Aerospace](http://www.mtiwelding.com/parts_sample/Aerospace). 17.03.2015
- URL-15**, 2015. [http://www.mtiwelding.com/parts\\_sample/Cutting](http://www.mtiwelding.com/parts_sample/Cutting). 17.03.2015
- URL16**, 2015. <http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/titanyumkaynak.pdf> 16.03.2015
- URL-17** 2015. <http://www.saritas.com.tr/paslanmaz/?tab=Dokuman#!> 18.03.2015

## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Adana İmamoğlu ilçesinde doğdum. İlkokul İmamoğlu ilçesinde, ortaokul ve liseyi Adana'da bitirdim. Üniversiteyi, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladım. 2013 yılında Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında başladım. Halen devam etmekteyim.