

# **Titanyum Alaşımı Borular için Orbital Tungsten Asal Gaz (TIG) Kaynak Proses Parametrelerin Elde Edilmesi**

Gökhan CAN<sup>1</sup>

---

## **ÖNSÖZ**

Orbital kaynağı 1960'lı yıllarda havacılık ve uzay sanayindeki yüksek kaliteli boru kaynağı ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde, birleştirilecek metal borular sabit dururken, ark kaynağı olan tungsten elektrot, parça etrafında önceden tanımlanmış açısız bir hız ile dönmektedir. Tamamen otomatize edilmiş bu yöntem insan faktörünü ortadan kaldırarak birbiriyle tutarlı ve yüksek kalitede kaynaklama işlemini mümkün kılmıştır. Bu çalışmada Orbital Tungsten Asal Gaz Kaynak Güç Ünitesi ve Kaynak Başlığı kullanılarak, ince cidarlı küçük çaplı Ti-3Al-2.5V alaşımı borular üzerinde kaynak proses çalışmaları yapılmıştır. Kaynak kök bölgesinde oksitlenmeyi engellemek için borular içerisinde argon gazı geçirilmiştir. Bu çalışma kapsamında akım rejimi, elektrot mesafesi, kaynak hızı gibi parametrelerin kaynak kalitesi üzerine etkileri incelenmiş ve en iyilenmiş kaynak parametrelerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

---

## **1 GİRİŞ**

Titanyum alaşımları yüksek mukavemet değerleri, ağırlık yönünden hafif olmaları, korozif yanıcılara ve oksitleyicilere karşı yüksek korozyon dayanırlıkları sebebiyle kullanım alanı çok geniştir. Özellikle havacılık endüstrisinde hava araçlarında ve uzay çalışmalarında birçok projede sorunsuz olarak kullanılmaktadır. Yüksek korozyon direnci isteyen yapılarda özellikle saf titanyum malzeme tercih edilmektedir. 300 serisi paslanmaz çelikler titanyuma benzer özelliklere sahip olup ekonomik olarak daha avantajlı olsalar bile, titanyum ve alaşımlarına göre daha ağır oldukları için havacılık sektöründe kullanımları azdır.

Bu çalışmada havacılık ve uzay sanayiinde yoğun olarak kullanılan titanyum boru parçaların orbital kaynak yöntemi ile üretim parametrelerin kaynak kalitesi üzerine etkileri incelenmiş ve en iyilenmiş kaynak parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

## **2 TİTANYUM ALAŞIMLARI: ÖZELLİKLERİ VE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ**

Titanyum alaşımları yüksek mukavemet değerine sahip, ağırlık yönünden hafif, havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılan yakıtlara ve oksitleyicilere karşı yüksek korozyon direncine sahip olup birçok projede sorunsuz olarak kullanılmaktadır.

Titanyum alaşımlarının diğer bir karakteristik özelliği ise ana metalin kaynaklı birleştirmelerde de üstün korozyon direncine sahip olmasıdır. Korozyon sonucu oluşan oksit

---

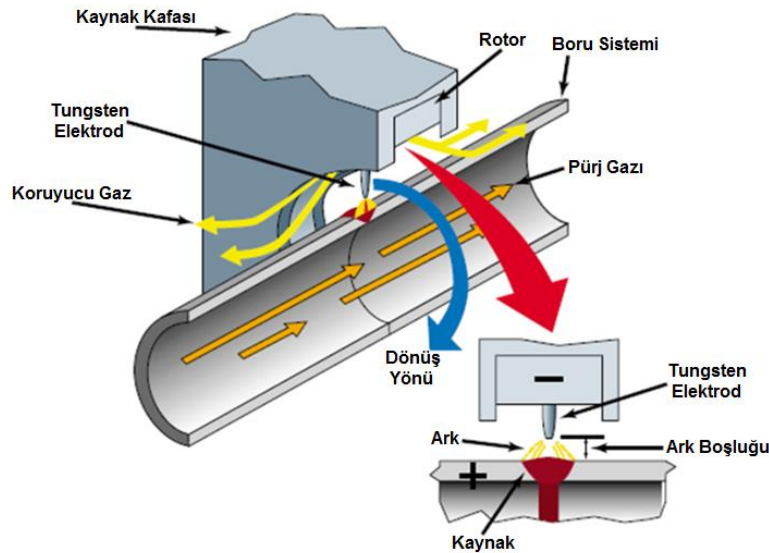
<sup>1</sup> ROKETSAN A.Ş. Özel Üretim ve Test Teknolojileri Birimi, Elmadağ, ANKARA

tabakası titanyum ana metalde ve kaynak noktalarında eşit bir yapıda oluşur ve bu da maruz kalınan dış etkenlerden bağımsız olarak her iki bölgenin de benzer davranışlar göstermesine sebep olur. (Smith, Threadgill and Gittos, 2009).

Endüstriyel saf titanyum yaklaşık olarak %99-99,5 Titanyum ile birlikte belirli miktarlarda demir ve hidrojen, nitrojen, karbon ve yüksek kimyasal afinitesi yüksek oksijen gibi impuriteler içermektedir. Az miktarlarda bulunan impuritelerin titanyumun mekanik özelliklerine etkisi oldukça fazladır. (AWS, 1984; Boyer, Welsh and Collings, 1998, Lathabai, Jarvis and Barton, 2001). Titanyum ve alaşımları düşük termal iletkenlik katsayısına ve lineer termal genleşme katsayısına sahip olduğundan yüksek kaynaklanabilirliğe sahiptir. Ti-3Al-2.5V alaşımları da mukavemet dayanımı, 316°C'ye kadar oksitlenme direnci ve kaynaklanabilirlik açısından sıklıkla kullanılmaktadır.

### 3 ORBİTAL TIG KAYNAK YÖNTEMİ

Orbital TIG kaynak yöntemi Tungsten Inert Gaz kaynak yönteminin benzeri olup çevresel kaynaklı birleştirmelerde kaynak kafasının mekanize olarak kaynaklı üretimi gerçekleştirdiği bir kaynak yöntemidir. Kaynak ile birleştirilecek parçalar sabit durmakta tungsten elektrot mekanize olarak boru etrafında hassas bir şekilde dönerek çevresel kaynak operasyonunu gerçekleştirmektedir. Her kaynağın tekrarlanabilir ve yüksek hassasiyette olabilmesi için, tungsten elektrot tipi ve geometrisi, boru parçalarının kaynak ağız hazırlığı, ark boşluğu, kaynak koruma ve kök koruma gazları vb. kaynak parametrelerinin çok hassas olarak hazırlanması gerekmektedir.



Şekil 1 Orbital kaynak yönteminin şematik olarak gösterimi [2]

## 4 TİTANYUM ALAŞIMI BORU ORBİTAL KAYNAK ÇALIŞMASI

### 4.1. Teknik İsterler

Orbital TIG kaynak yöntemi ile gerçekleştirilen kaynak prosesi sonrasında kaynaklı titanyum boru parçalar için gerekli hedef teknik gereksinimler aşağıda belirtilmiştir.

#### 4.1.1 Patlama Basıncı

Kaynak operasyonu sonrası kaynaklı titanyum alaşımı borular için gerekli çalışma ve patlatma basınç değerleri **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**1’de verilmektedir.

**Tablo 1** Kaynaklı Titanyum Alaşımı Borular için Hedef Çalışma ve Patlama Basınç Değerleri

<i>Dış Çap (mm)</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Patlama Basıncı (bar)</i>
6,35	0,41	>100

#### 4.1.2 Kaçak testi

Kaynak yapılan titanyum alaşımı boruların sızıntı/kaçak değeri  $1 \times 10^{-7}$  scc/s’den düşük olacaktır.

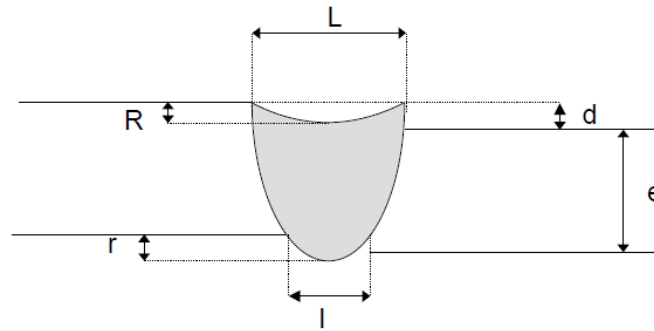
#### 4.1.3 Kabul edilebilir kusurlar

Kaynaklı imalat sonrasında parçalarda oluşabilecek hatalar mevcut olduğundan bu hataların kabul/red ölçütleri ayrıca belirlenmiştir.

##### 4.1.3.1 Gözle Muayene Kabul Kriterleri

Titanyum boruların teknik gereksinimlere göre kaynaklı birleştirme sonrasında gözle muayene kabul kriteri Tablo 2’de belirtilmiştir.

**Tablo 2** Kaynak Yapılan Titanyum Boruların Gözle Muayene Kabul Kriteri



<i>Kep genişliği</i>	L	$\leq 3,0$ mm
<i>Kök genişliği</i>	I	$\leq 2,5$ mm
<i>Çökme</i>	R	$< 0,1$ mm
<i>Nüfuziyetsizlik</i>	-r	None
<i>Aşırı nüfuziyet</i>	r	$< 0,35$ mm
<i>Doğrusal kaçıklık</i>	d	$< 0,20$ mm

#### 4.1.3.2 Radyografik Kabul Kriterleri

Kaynaklı titanyum boruların kaynak dikişinde oluşabilecek iç kusurların kabul kriterleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3** Kaynak Yapılan Titanyum Boruların Radyografik Muayene Kabul Kriteri

<i>Hata Tipi</i>	<i>Kabul Kriteri</i>
<i>Çatlak</i>	İzin verilmez
<i>Nufuziyetsizlik</i>	İzin verilmez
<i>Yanma çentiği</i>	İzin verilmez
<i>Oksitlenme</i>	İzin verilmez
<i>Ø gaz boşluğu/gözenek*</i>	< 0,25 mm
<i>Ø kalıntı (inklüzyon)*</i>	< 0,25 mm

\*İki kusur arasındaki en az mesafe büyük kusurun çapının beş (5) katı kadar olmalıdır. Kaynak dikişinde en fazla beş (5) adet kusura izin verilir.

#### 4.2 Titanyum Alaşımı Boru Malzeme Özellikleri

Havacılık ve uzay uygulamalarının yakıt besleme sistemi üretimleri için titanyum alaşımları içerisinde  $Ti_3Al_{2.5}V$  alaşımları mukavemet dayanımı,  $316^{\circ}C$ 'ye kadar oksitlenme direnci ve kaynaklanabilirlik açısından sıklıkla kullanılmakta olup bu çalışma kapsamında Tablo 4'te özellikleri belirtilen titanyum alaşımı kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda ilgili malzeme tedariki için çalışmalar gerçekleştirilmiş olup malzemeler AMS 4945 şartnamesine uygun olarak tedarik edilmiştir.

**Tablo 4.** Kaynak Yapılan Titanyum Alaşımı Boru Malzeme Özellikleri (6,35 mm)

<i>Malzeme</i>	<i>Dış Çap (mm)</i>	<i>İç Çap (mm)</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>
Ti3Al2.5V (AMS 4945)	$6.35^{+0.007}_0$	$5.537^{+0.038}_{-0.038}$	min. 0,386

#### 4.3 Metot

Titanyum alaşımının TIG yöntemiyle kaynaklanması kaynağın kalitesi için yüksek hassasiyet gerektiren bir çalışmadır, bunun için bütün kaynaklar Şekil 2' de görülen temiz odada yapılmış olup, ortamın nemi (40-50%), sıcaklığı ( $18-22^{\circ}C$ ) ve temizliği (100,000) kontrol edilmiştir. Çalışma kapsamında titanyum alaşımı borular, deneme çalışmaları için 55-60 mm boylarında kesilmiş ve kaynak ağızları, özel ağız düzeltme ekipmanı ile düzeltilmiştir.

Kaynak öncesi temizlik de kaynağın kalitesini ve yapısını oldukça etkilediğinden kaynaklanacak olan titanyum borular öncelikle 1M'lık kostik çözeltiliye daldırılarak yağ alma işlemi gerçekleştirilmiş, sonrasında asidik temizlik yapılmış, son olarak ultrasonik temizleme cihazında durulama işlemleri gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2** Temiz Oda İçerisinde Kaynak Operasyonlarının Yapıldığı Alan

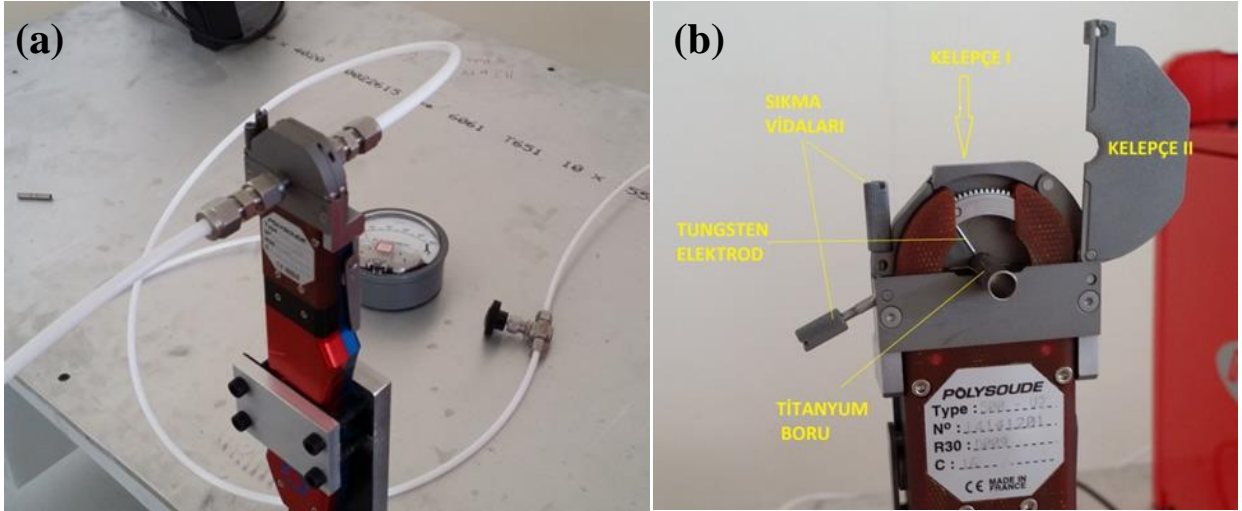
Orbital kaynak çalışmaları Orbital Kaynak Güç Ünitesi ve Kaynak Başlığı kullanılarak yapılmıştır. Her bir kaynak yönteminde kaynak parametreleri ve ortam şartları, kaynak işleminin sonucuna etki eder. TIG kaynağında en önemli parametreler; koruyucu gaz akış debisi, tungsten elektrod, akım türü, kutuplanma şekli, akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır. Kaynak denemelerinde %2 toryum alaşım elementi içeren 1 mm çapında tungsten elektrotlar kullanılmıştır. Kullanılan elektrotların geometrik özellikleri Tablo 5’te verilmiştir. Tungsten elektrot ile titanyum alaşımı boru parçaları arasındaki mesafe 0,8 mm olacak şekilde aparat yardımı ile ayarlanmıştır.

**Tablo 5** Kullanılan elektrotların geometrik özellikleri

Uzunluk (mm)	Çap (mm)	Açı	Tip Çapı (mm)	Yüzey Std veya parlatılmış	Tungsten Alaşımı
13,375±0,1	1	18°±1°	0,15±0,05	Parlatılmış/6-8 RMS	EWTh-2

Titanyum alaşımı boruların kaynağı esnasında kaynak koruma gazı olarak yüksek saflıkta Argon gazı ve kaynak kök bölgesinin oksitlenmesini engellemek amacıyla boruların içerisinde yüksek saflıkta Argon kök koruma gazı kullanılmaktadır.

Kaynak koruma gaz basıncı ayrıca önemli bir parametre olup çalışma için tüp üzerinde bulunan manometreden 6-7 lt/dak olacak şekilde ayarlanmasının uygun olacağı yapılan araştırmalar sonrasında belirlenmiştir. Kök koruma gaz basıncının ise tüp üzerinde bulunan manometreden ayarlanabilmesine karşın çok hassas gaz basınçlarını sağlayabilmek amacıyla Şekil 3’de görüldüğü gibi Magnehelic marka manometreler kullanılarak, kaynak esnasında 400-600 pascal olarak ayarlanması değerlendirilmiştir.



Şekil 3 (a) Kaynak Kafası ve Manometre sistemi, (b) Kaynak Kafası

Kaynak denemelerinde iki Argon tüpü kullanılacak olup bağlantı hortumları ile kaynak güç ünitesine takılmaktadır. Kaynak güç ünitesinden çıkan bir poliüretan hortum kaynaklanacak boruya kök koruma gazı olarak bağlanırken, diğer hortum da kaynak kafasının muhafazasının içerisinde geçerek kaynak bölgesini oksitlenmeye karşı korumaktadır.

Orbital kaynağına başlanırken, kaynak kafasında kelepçe 1 bölgesine boru hizalama aparatı takılır, bu aparatın amacı titanyum boru kaynağı yapılacak bölge ile tungsten elektrotun aynı hizada olmasını sağlamaktır. Hizalama aparatı birinci kelepçeye yerleştirildikten sonra diğer tarafa titanyum boru ikinci kelepçenin olduğu bölüme oturtulur ve ikinci kelepçe kapatılarak sıkılır. Şekil 3(b)'de görülen hizalama aparatı çıkartılarak diğer titanyum boru birinci kelepçeye yerleştirilir ve kapatılarak sıkılır. Bu operasyon sonrası titanyum boruların ağızlarının düzgün bir şekilde karşılıklı geldiği ve boşluk bulunmaması kontrol edilmektedir.

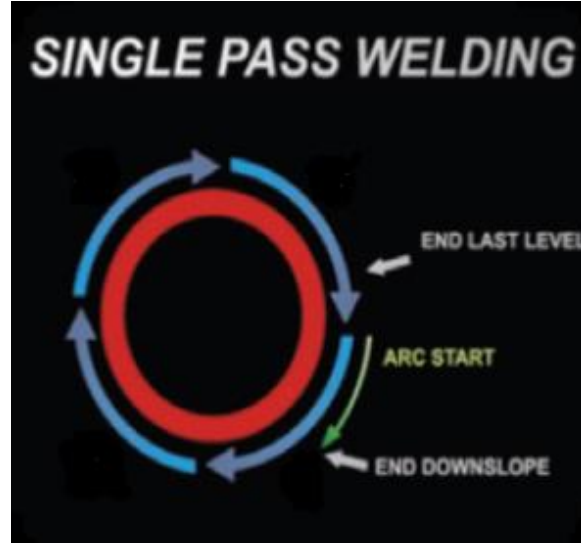
Titanyum alaşımı borular dört farklı kaynak parametresi ile kaynatılmış, kaynak sırasında anlık alınan datalar ile ısı girdileri hesaplanmıştır. Hesaplanan ısı girdi değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6 Kaynak parametre ısı girdisi

	1	2	3	4
<i>Ort. Amper (A)</i>	8,86	9,71	9,43	8,57
<i>Ort. Voltaj (V)</i>	10,20	9,9	9,86	10,12
<i>Ort.Hız (mm/sn)</i>	1,65	1,65	1,65	1,65
<i>Isı girdisi (J/mm)</i>	54,70	58,20	56,35	52,46

Titanyum boru parçalar orbital kaynak kafasına yerleştirildikten ve kök koruma gaz bağlantıları tamamlandıktan sonra güç ünitesi üzerinde ayarlanan program ile dolgu

malzemesi kullanılmadan Şekil 4’ de görüldüğü gibi tek pasoda orbital kaynak operasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4 Titanyum alaşımı boru parçalar tek paso kaynak operasyonu

## 5 DEĞERLENDİRME

### 5.1 Gözle Muayene

Orbital TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan titanyum alaşımı boru parçalar öncelikle gözle muayene edilmiş, kep bölgelerinde herhangi bir düzensizlik tespit edilmemiştir. Ayrıca kaynaklı bölgeler tel erezyon ile kesilmiş ve makro incelenmesi yapılmış olup Şekil 5’ de görüldüğü gibi kök bölgelerinde oksitlenme görülmemiştir.



Şekil 5 Titanyum alaşımı boru kaynakları kök bölgesi

### 5.2 Radyografik Muayene

Kaynaklı boru parçaların iç bölgelerinin incelenmesi için kaynaklı bölgelere ASTM E1444 şartnamesine göre X-ray muayenesi yapılmıştır. X-ray muayene sonucunda parçaların içerisinde kusurların, kabul kriterlerine göre uygun olduğu görülmüştür.

### 5.3 Kaçak Testi

Orbital kaynak yöntemi ile birleştirilen boru parçalara iki farklı yöntem ile Helyum kaçak testi yapılmıştır. İlk önce kaynaklı boru parçaların her iki tarafına ilgili ekipmanlar takılarak boru iç tarafı vakum yapılmış, dış taraftan helyum gazı verilerek iç bölgeye helyum kaçak miktarı ölçülmüştür. Daha sonra boru parçalara helyum koklayıcı ile kaçak testi yapılmıştır. Boru parçaların iç tarafından helyum gazı verilerek dış taraftan helyum kaçak miktarı ölçülmüştür. Her iki yöntem ile yapılan helyum kaçak testi sonrasında üç parametrenin teknik gereksinimi karşıladığı, bir parametrenin ise teknik gereksinimi karşılamadığı görülmüştür. Test sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

**Tablo 7** Helyum Kaçak Test Sonucu

S/N	Vakum Testi	Koklayıcı Testi	Başarım Kriteri
1	$3 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-8}$	
2	$1 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-8}$	
3	$4.5 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-8}$	$<1 \times 10^{-7}$
4	$1,2 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{-7}$	

### 5.4 Çekme Testi

Titanyum alaşımı kaynaklı boru parçalara ASTM E-8M standardına uygun olarak çekme testi yapılmış, test sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Kaynaklı boruların çekme testinde kopmaların, Şekil 6’de gösterilen biçimde, kaynak metalinin hemen yanından ısıdan etkilenmiş bölgeden gerçekleştiği görülmüştür.

**Tablo 8** Orbital kaynaklı boru Çekme Test Sonuçları

S/N	Maximum Yük (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1	6.499	857	792	2.59
2	6.444	849	767	2.92
3	6.495	856	782	3.13
4	6.552	864	790	3.57

Tablo 8’de ki çekme testi sonuçlarına göre yüksek akım verilerek yapılan 2 numaralı deneydeki numunenin mekanik mukavemetinde yaklaşık %2 oranında düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş uygulanan yüksek akım sonucu ortaya çıkan yüksek ısının malzemeyi kristallendirmeye uğratarak tane boyutunun büyümesine, mukavemet ve yüzdece uzama değerlerinde kaybına sebep olmuştur.



**Şekil 6** Çekme test sonrası kopma bölgesi

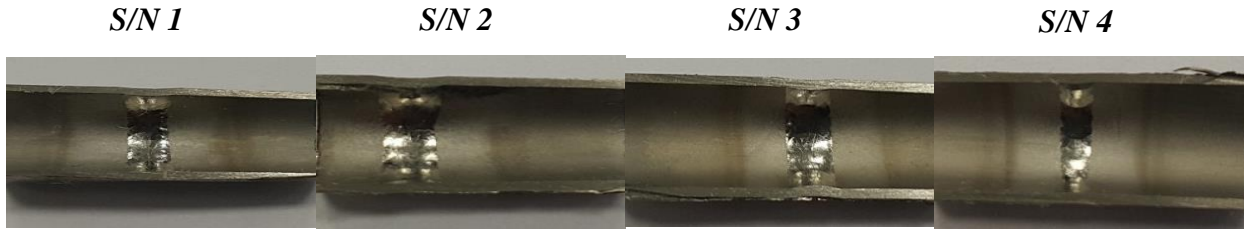


## 5.5 Basınç Testi

Kaynaklı titanyum alaşımı boru parçaları hızlı bağlantı aparatları ile basınçlandırma test ekipmanına yerleştirilerek, basınç testi uygulanmıştır. Boru parçalara en az patlama basıncı olan 100 barda basınçlandırma yapılmış, boru üzerinde herhangi bir deformasyon görülmemiştir. Kaynaklı titanyum alaşımı boru parçanın patlama basıncını belirlemek için sırası ile 120, 140, 160, 200, 250, 300 ve 345 bar basınçta ve 5 saniye süresince basınçlandırma yapılmıştır. 345 Bar basınç altında boru parçaları herhangi bir deformasyona uğramamıştır.

## 5.6 Makro İnceleme

Kaynaklı titanyum alaşımı boru parçaların kaynaklı bölgelerinden ölçüm alabilmek ve kök bölgesinin incelenmesi için basınç testi sonrasında elmas taş ile kesilmiştir. Kaynaklı boru parçaların kök bölgeleri incelenmiş, resimleri Şekil 7’de verilmiştir. Kök bölgelerinde oksitlenme görülmemiştir.



Şekil 7 Titanyum alaşımı boru kaynakları kök bölgesi

Parçalar daha sonra zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra mikroskop altında kaynak bölgesinin boyutsal ölçüleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10 Titanyum alaşımı boru kaynaklı bölge boyutsal ölçüm sonuçları

Kriter	Referans (mm)	1	2	3	4
<i>Kep genişliği (L)</i>	$\leq 3.00$	2,56	2,94	2,75	2,12
<i>Kök genişliği (I)</i>	$\leq 2.50$	2,03	2,48	2,38	1,76
<i>Çökme (’R)</i>	$\leq 0.10$	0,09	0,19*	0,14*	0,09
<i>Nüfuziyetsizlik</i>	Kabul edilmez	Yok	Yok	Yok	Yok
<i>Aşırı nüfuziyet (’r)</i>	$< 0.35$	0,13	0,20	0,15	0,10
<i>Doğrusal kaçıklık (d)</i>	$< 0.20$	0,08	0,09	0,07	0,05

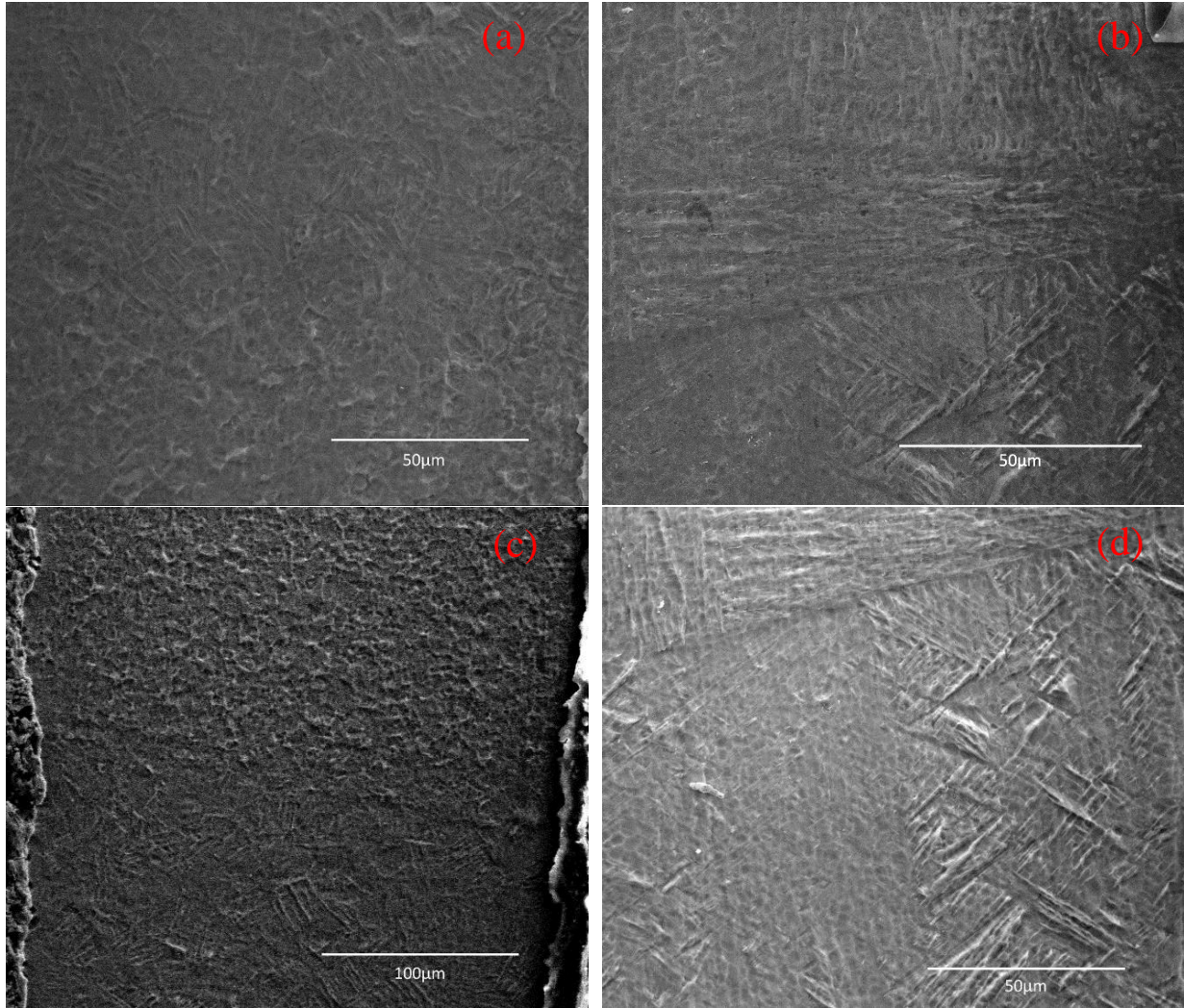
\*Kriter sağlanamadı.

## 5.7 Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 88(a)’da deney sırasında kullanılan Ti3Al2.5V alaşımının mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Esas metal mikroyapısı görüntüsünden, yapının ince es eksenli  $\alpha$ (alfa) tanelerinden oluştuğu görülmektedir. Tablo 11’ de ise ana metalden ve kaynak bölgesinden alınan EDS sonuçları verilmiş olup kompozisyonlar her iki bölgede de yaklaşık aynı çıkmıştır.

Şekil 8 (b) de ise darbeli akım ile birleştirilmiş saf titanyum numunelere ait ana metalden kaynak metaline geçiş mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Bu yapıda  $\alpha'$ 'nın kaba lamelli  $\beta$  fazı ve levhasal tanelerden meydana geldiği, ayrıca dönüşmüş  $\beta$  fazından (iğnemi  $\alpha$ ) oluştuğu görülmektedir.

Kaynak bölgesine ait mikroyapı resimleri incelendiğinde (Şekil 88(c ve d)) kaynak metalinin mikro yapısının iğnemi  $\alpha$  yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu yapının kaynak işlemi sırasında  $\alpha$  fazının  $\beta$  bölgesindeki yüksek sıcaklıktan hızlı soğuması sonucu oluştuğu bilinmektedir. Kaynak metalinden ısının tesiri altındaki bölgeye (ITAB) geçişin keskin bir hat boyunca olmadığı, geçişin hemen hemen homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 8 (a) ana metal (b)kaynak geçiş bölgesi (c&d) kaynak bölgesi mikroyapısı

Tablo 11 Ana metal ve kaynak bölgesinden alınan EDS sonuçları

Element	Ana Metal Analiz Sonuçları (Wt%)	Kaynak Bölgesi Analiz Sonuçları (Wt%)
Ti	93.88±0.32	93.88±0.24
Al	3.87±0.13	3.98±0.05
V	2.25±0,23	2.15±0.19

## 6 SONUÇ

Bu çalışma kapsamında havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılan yakıtlara ve oksitleyicilere karşı yüksek korozyon direncine sahip, Ti-3Al-2.5V titanyum alaşımı boru malzemelerin orbital kaynak yöntemi kaynak parametre çalışmalarının belirlenmesi ve kaynaklı boruların doğrulama çalışmalarına yönelik yürütülen çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Titanyum alaşımı boruların orbital TIG kaynak parametre çalışmalarında dört farklı parametre ile çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda pulse amperi (I-P) ve ana (ground) amperi (I\_G) ana değişkenler olarak belirlenmiştir. Orbital TIG kaynak parametrelerinde, diğer önemli değişkenler ark boşluğu (arc gap), kaynak hızı, ön gaz, son gaz, ön kök koruma gazı, son kök koruma gazı sabit tutulmuştur.

Titanyum alaşımı borulara kaynak sonrası yapılan testlerde; dört farklı parametre ile kaynakları yapılan boru parçaların x-ray muayenesi, kaçak testi, basınç testi uygulanmıştır. 2 ve 3 numaralı parametreler ile yapılan boru kaynakları kep bölgelerinde, çökmelerin (collapse) teknik gereksinimlerde belirtilen değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. 4 numaralı parametre ile yapılan kaynaklı birleştirmede ise kaçak testinde istenilen kriteri sağlayamadığı belirlenmiştir. 1 numaralı kaynak parametresi ile gerçekleştirilen kaynaklı borunun ise teknik gereksinimlerde belirtilen tüm isterleri karşıladığı görülmüştür.

## 7 KAYNAKÇA

- [1] Smith, L.S., Threadgill, P., Gittos, M., 2009, “Weldability of materials: titanium and titanium alloys”, Available at: [http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band\\_3/jk24.html](http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/jk24.html)
- [2] Lathabai, S., Jarvis, B.L., Barton, K.J., 2001, “Comparison of keyhole and conventional gas tungsten arc welds in commercially pure titanium”, Materials Science and Engineering A, Vol. 299, No 1-2, pp. 81-93. doi: 10.1016/S0921-5093(00)01408-8.
- [3] American Welding Society (AWS), 1984, “Metals and their weldability”, 7. ed., Vol. 4, Miami: W.H. Kearns.
- [4] Boyer R., Welsh G., Collings, E.W., 1998, “Materials properties handbook: titanium alloys”. 2nd. ed., ASM International, Ohio, USA.
- [5] Morgan, J., Henon, B. K., 1999, “Discovering applications for orbital fusion welding”, Available at: <http://www.arcmachines.com/appPages/tpj02.html>. Access on Oct 24, 2001.
- [6] Henon, B.K., n.d., “Orbital welding of small diameter tubing”, Available at: <http://www.arcmachines.com/appPages/smalldia02.html>
- [7] Brond, A., Henon, B.K., 1996, “Orbital pipe welding technology for the power generation and offshore industries”, Proceeding of 22th National Meeting on Welding Technology, 10th Latin American Welding Congress, Blumenau, Brazil.