

GR2-GR5 Titanyum alaşımlarının Alüminyum aratabaka kullanılarak difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmesi

Haluk KEJANLI^{1*}, Nida KATI², M. Selçuk KESKİN¹

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

²Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Elazığ

Makale Gönderme Tarihi: 17.02.2017

Makale Kabul Tarihi: 25.02.2017

Öz

GR2 ve GR5 (Ti6Al4V) titanyum alaşımları üstün mühendislik özellikleri nedeniyle özellikle biyomedikal (ortopedi, cerrahi malzemeler ve implantlar), uçak gövde iskeletlerinde, uzay ve metal-malzeme endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Titanyum malzemelerin yüksek süperplastik deformasyon özelliği, çeliğe göre korozyona daha dayanıklı olması, düşük yoğunluğu, yüksek korozyon direnci istenen yerlerde manyetik olmayan bu alaşımların mükemmel yapısı malzeme teknolojisinin gelişmesiyle önemini daha da artırmıştır.

Bu çalışmada GR2 ve GR5 (Ti6Al4V) çubuk malzemeler alüminyum ara tabaka kullanılarak difüzyon yöntemiyle kaynaklanmış ve kaynak sıcaklığının bağlantı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Malzeme çifileri 5 MPa basınçla silisyum çubuklu fırında argon gaz ortamında 55 dk'lık sabit kaynak süresi ve 850–900 ve 950 °C'lık sıcaklıklarda birleştirilmişlerdir. Birleştirilen numunelerin SEM-EDS analizleri yapılmış difüzyondan etkilenen bölgedeki aratabakanın optik mikroskopla metalografik yapısı incelenmiş ve XRD analizi yapılarak olası fazlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bağlantı bölgesinin bindirme-kayma mukavemet ve mikro sertlik değerleri incelenmiş en yüksek mekanik özellikler T3 numunesinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GR2; GR5 (Ti6Al4V); Difüzyon kaynağı; Al aratabaka; Mikroyapı; Mikrosertlik;

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Haluk KEJANLI. kejanlih@dicle.edu.tr; Tel: (412) 248 82 17 (3602)

Giriş

Titanyum malzemeler üstün mukavemet ve yüksek sıcaklık korozyonuna karşı gösterdikleri direnç sebebiyle havacılık endüstrisinde büyük bir pazara sahiptirler (Zhao vd. 2009, Lu 2009, Luo vd.2007). Titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri, hem uzay hem de endüstriyel uygulamalarda kullanılması açısından büyük öneme sahiptir. Alaşımın mikro yapısı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve kırılma tokluğunu kontrol etmede önemli bir faktördür. Ti alaşımlarının özellikleri ısı işlem veya termomekanik işleme geniş bir şekilde değişebilir (Yıldırım ve Çakan, 2011, Dikbaş, 2012).

Difüzyon kaynağı, birbirleriyle birleştirilmeleri ergitme kaynağı ile mümkün olmayan, aralarında seramik ve kompozitlerin de yer aldığı, birçok demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının birleştirilmesini mümkün kılan bir katı hal kaynağıdır. Difüzyon kaynağıyla kusursuz bir ara yüzey ve yüksek sıcaklıkta mekanik direnç elde edilebilmektedir (Tolun ve Çelik, 2013).

Zhao He vd. Ti6Al4V/Cu10Sn bronz alaşımını difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirip mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Mikroyapıda dört farklı redüksiyon bölgesi olduğunu tespit etmişlerdir (Zhao vd. 2009). Antonio vd. Ti6Al4V/TiC/10p kompozit malzemesini difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirip kırılma davranışlarını incelemiştir (Antonio vd. 2006). M.I. Barrena vd. WC-Co/Ti6Al4V çiftini Ag ara tabaka kullanarak difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirip kaynaklı bağlantının karakterizasyonunu incelemiştir. Bağlantı arayüzeylerinde intermetalik fazların oluşumunu sağladıklarını ve güçlü bir kesme dayanımı elde ettiklerini belirtmişlerdir (Barrena vd., 2008). H.Liu vd. saf Titanyum ve hidrojenli Ti6Al4V alaşımını difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirip Hidrojen elementinin etkisine bakmışlardır ve Hidrojen elementinin içeriğinin artması ile boşluk miktarının azaldığını ve difüzyon bağlantı kalitesinin arttığını belirtmişlerdir (Liu H. Vd. 2009).

M.Ferrante ve E. V. Pigoretti Ti6Al4V ve AISI 316L çiftini difüzyon kaynağıyla birleştirip arayüzeyin mikroyapısını ve mekanik direncini incelemiştir. En yüksek kayma gerilmesini 950°C/180 dk ile kaynaklanan numune 382 MPa olarak hesaplamışlardır. Üç farklı kırılma yolu belirlemiş ve her birini karakteristik güç oranlarıyla ilişkilendirmişlerdir (Ferrante ve Pigoretti, 2002). X.H. Lü vd. Ti6Al4V/TAI çiftini difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirip farklı şartlar altında ısı işleme tabi tutmuşlardır. Daha sonra bu numuneleri deneysel ve teorik olarak incelemiştir ve kaynak arayüzeyinde difüzyon atomlarının dağılımını, ölçülen veriler ve teorik olarak hesaplanan verilerle karşılaştırmışlardır (X.H. Lü vd.). Peng He vd. Ti6Al4V ve AISI 304 paslanmaz çeliği difüzyon kaynağıyla Ni aratabaka kullanarak birleştirmişlerdir. Ti alaşımının paslanmaz çeliğe Ni aratabaka ile bağlandığı zaman Ni ve Ti alaşımı arasında bir geçiş tabakası oluştuğunu görmüşlerdir. Yüksek sıcaklık altında Ti/Ni arayüzeyinde, TiNi₃, TiNi ve Ti₂Ni gibi birkaç kırılma tabaka meydana geldiğini ve tabakaların kalın olduğunu; düşük sıcaklık altında zayıf bağlantılarda sadece TiNi tabakasının oluştuğunu belirtmişlerdir (Peng He, 1999; Balasubramanian, 2015).

Boli vd. Bimetalik Al/Ti6Al4V malzemeyi sürtünme karıştırma kaynağı ile imal etmişlerdir ve bu numunelerin antioksidasyon performansını araştırmışlardır, oksidasyon testinden sonra aratabakada Ti/Al inter difüzyonu ve faz tabakalaşmasının meydana geldiğini belirtmişlerdir (Boli vd. 2015). Barrena, M. I. vd. Ti6Al4V ve Al₂O₃ alaşımlarını 60 µm Ag-Cu aratabaka kullanarak katı- hal difüzyon kaynağıyla birleştirmişlerdir. 750 °C, 10-30 dk, 3 MPa tek eksenli yük ve vakum altındaki birleştirme şartlarında yüksek kalitede bağlantı gözlemlenmiştir. Uzun bağlantı zamanının oksit oluşumuna ve kesintili bir bağlantı arayüzey oluşumuna olanak sağladığını belirtmişlerdir. Ti6Al4V-Al₂O₃ bağlantısında bağlantının metal kısmında homojen bir difüzyon arayüzeyi oluşumu meydana geldiğini gözlemlenmiştir (Barrena, 2009).

Alüminyum aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilen GR2-GR4 titanyum alaşımlarının incelenmesi

Çalığılı, U. AISI 1030 düşük karbonlu çelik ile dökme demiri difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirmiş, difüzyon kaynağında grafit nodüllerin davranışlarını incelemiş ve homojen bir grafit dağılımı gözlemlediğini belirtmiştir (Çalığılı U. 2011).

Qiang Shen vd. TC4/OFC çiftini difüzyon kaynak yöntemiyle gümüş ara tabaka kullanarak birleştirmişler ve mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Gümüş aratabaka ilavesinin bağlantı sıcaklığını düşürdüğünü ve bağlantı gücünü geliştirdiğini belirtmişlerdir. Bağlantı sıcaklığının ve bağlantı zamanının artması ile arayüzeyin karşısına kimyasal türlerin atomik göçünün olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaynaklı numunelerin çekme gücünün sıcaklığın artması ile arttığını ve sıcaklığın daha da artması ile azaldığını belirtmişlerdir (Qiang Shen vd. 2014).

Qiang Shen vd. TC4/OFC çiftini düşük sıcaklık difüzyon kaynağıyla saf gümüş aratabaka kullanarak birleştirmişlerdir. Nadir metal malzemeler ve mühendislik malzemelerinde TC4 ve OFC'nin bir gümüş aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde, ortaya çıkan bağlantının bağlanma gücünü geliştirdiğini ve büyük ölçüde bağlantı sıcaklığını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Gümüş aratabaka ilavesinin Ti-Cu intermetalik bileşiklerinin oluşumunu önleyebildiğini ve kaynaklı bağlantının arayüzey bölgesinde AgTi tabakası, Ag aratabakası ve Ag Cu katı solüsyon tabakası oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Ag Cu katı solüsyonunun oluşumunun, mükemmel bir uyumluluğun olduğunu ve kırılğan bileşiklerin yokluğunu gösterdiğini ifade etmişlerdir (Qiang Shen vd. 2015).

Akiomi Koono vd. Ti6Al4V alaşımını Al aratabaka kullanarak difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirmiş ve Alüminyumun aratabaka olarak kullanılmasının temas alanını arttırmasına ve difüzyon işlemini hızlandırmasına yol açtığından bağlantı mukavemetini güçlendirdiğini belirtmişlerdir (Akiomi vd. 1985).

Bu çalışmada, GR2 ve GR5 (Ti6Al4V) çubukların Al aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak sıcaklığının bağlantı karakteristiği üzerine etkisi incelenip kaynaklı bağlantıların; optik mikroskop, EDS ve XRD analizleri yapılarak hedeflenen birleşme parametrelerine ve mikroyapı eldesine ulaşmak amaçlanmaktadır.

Materyal ve Yöntem

Kullanılan Malzemeler

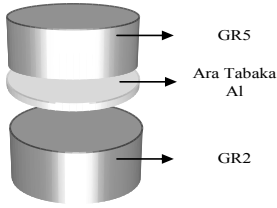
Ticari olarak temin edilen GR2 ve GR5 malzemeleri Ø11 x 11 mm boyutlarında hazırlanmış ve ara tabaka olarak ise 50µm kalınlığında % 99,50 saflıkta alüminyum folyo kullanılmıştır. GR2 ve GR5 numunelerinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.GR2 ve GR5 alaşımının kimyasal kompozisyonu

Elementler (% Ağı.)	Ti	Al	V
GR5	88,74-91	5,5-6,75	3,5-4,5
GR2	99,305		

Difüzyon Kaynağı

Ø11 x 11 mm boyutlarında hazırlanmış olan malzeme çiftleri 1000 ve 2000 grit zımpara ile parlatılarak yüzeyleri difüzyon kaynak işlemi için uygun hale getirilmiştir (Şekil 1). Daha sonra 5 MPa basınç uygulanarak, silisyum karbür çubuklu fırına 3 lt/dk debide % 99,9 saflıkta argon gazı gönderilerek kaynak işlemine başlanmıştır. Fırının kaynak sıcaklığına erişmesi yaklaşık 25 dakika sürmüştür. Kaynak numuneleri fırın istenilen sıcaklığa geldikten sonra fırın içerisine yerleştirilmiştir. Deney numunelerine 55 dakikalık sürelerde 850, 900 ve 950 °C sıcaklıkta kaynak işlemi uygulanmıştır.



Şekil 1. Difüzyon kaynağına hazır numunenin şematik görünümü

Numuneler fırın 250 °C'ye ininceye kadar fırın içerisinde tutulmuş, daha sonra oda sıcaklığında soğuyuncaya kadar bekletilmiştir. Uygulanan kaynak parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kaynak parametreleri

Numune No	T1	T2	T3
Kaynak Basıncı (MPa)	5	5	5
Kaynak Sıcaklığı (°C)	850	900	950
Kaynak Süresi (dk.)	55	55	55

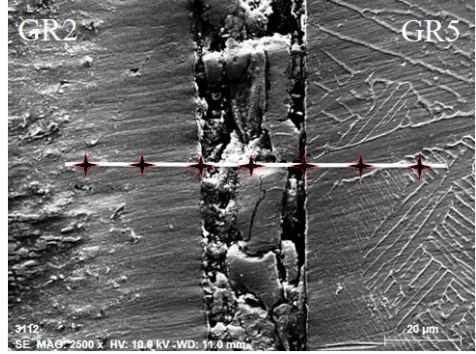
Mikroyapı incelemeleri

Kaynaklı malzemeler ara tabaka yüzeyine dik doğrultuda silisyum diskli hassas kesme cihazında kesilerek, ölçüm yapılacak yüzeyler 400–600–800–1000–1200 ve 2000 gritlik SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Bu işlemden sonra numuneler, 6 ve 3 µm elmas ile parlatılmıştır. Mikroskopik incelemeye hazır hale getirilen numuneler, 6ml HF, 9ml HNO₃ ve 85ml H₂O (Kroll karışımı) çözeltisinde dağlanmış ve su ile yıkayıp yüzeyleri alkol ile temizledikten sonra ölçüme hazır hale getirilmiştir. Bütün numuneler Nikon Epiphot marka optik mikroskopla incelendikten sonra T3 nolu numuneye SEM ve EDS analizi yapılmıştır.

Mikrosertlik ölçümleri

Kaynak arayüzündeki sertlik değişimini görebilmek amacıyla birleştirilmiş malzemelerden (0.05 HV) 50 gr'lık yük altında,

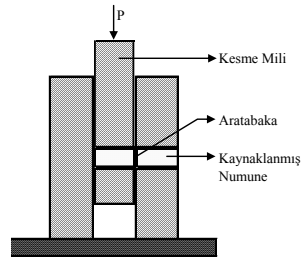
yaklaşık 10 µm aralıklarla 7 farklı noktadan mikrosertlik değerleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinin gerçekleştirildiği numuneye ait fotoğraf Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Mikrosertlik ölçüm noktaları

Bindirme-kayma testi

Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin bindirme kayma deneyleri, Şekil 3'de görülen ve araştırmacı tarafından ASTM D 3165–07 standardına uygun olarak imal edilmiş aparatla otomatik yüklemeli hidrolik test cihazında gerçekleştirilmiştir. Kesme yönü ara tabaka yönüne paralel, kesme kuvveti ise ara tabaka üzerine gelecek şekilde olarak oda sıcaklığında uygulanmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin kayma gerilmeleri elde edilen verilere göre hesaplanmıştır.



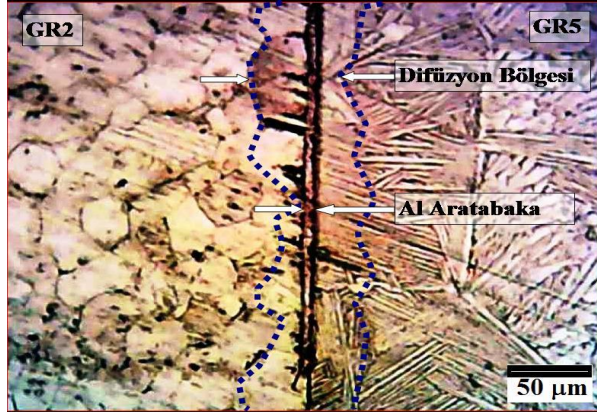
Şekil 3. Bindirme-Kayma Testi Aparatının Şematik Resmi (Kejanlı, 2007).

Sonuçlar ve tartışma

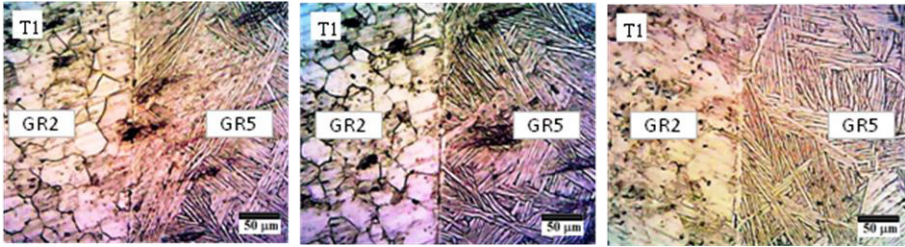
Mikroyapı sonuçları

GR2 ve GR5 titanyum alaşımı Al aratabaka kullanılarak difüzyon kaynak yöntemiyle sorunsuz bir şekilde birleştirilmiştir. Deney numunelerine ait mikroyapı fotoğrafları ve bindirme-kayma test sonuçları incelendiğinde 5 MPa sabit basınçta, 950°C sıcaklıkta ve 55 dakikalık bekleme süresindeki T3 numunesinde

en iyi birleşmenin olduğu gözlenmiştir. Şekil 4'de kaynaklı numunedeki Al aratabaka, difüzyon bölgesi ve ana malzemeler belirgin bir şekilde gösterilmektedir. Kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde, optik mikroskop ve EDS analizi yapılarak bu bölgedeki element içerikleri tespit edilmiştir. Kaynaklı bağlantılara ait optik resimler Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Kaynaklı numunedeki bölgeler



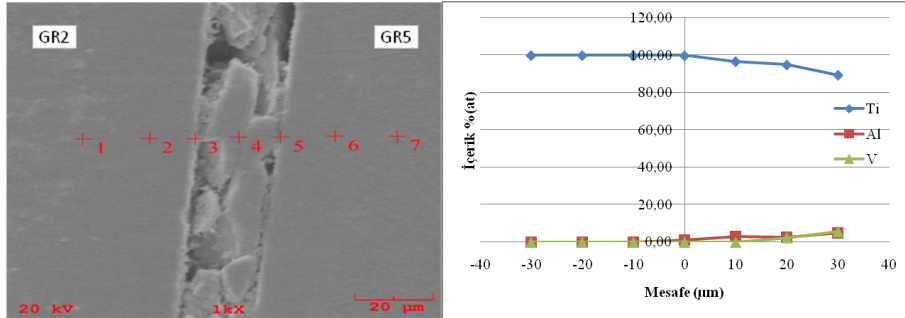
Şekil 5. Numunelere ait optik mikroyapı fotoğrafları

T3 numunesine ait SEM görüntüsü, EDS analiz noktaları ve muhtemel fazlar Şekil 6'da belirtilmiş, Tablo 3'te ise yine T3 numunesinin EDS analiz sonuçlarına göre element içerikleri gösterilmiştir.

Bu görüntü ve analizler incelendiğinde ara tabakadan ana malzemeler yaklaşık olarak 30 µm kadar alüminyum difüzyon olmuş, ana malzemelerden de aratabaka bölgesine titanyumun difüze olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. EDS analiz sonuçları

Analiz Noktaları	Ti	Al	V	Muhtemel fazlar	
	(at. %)	(at. %)	(at. %)		
1	100	0	0	Ti'ce zengin	
2	99,95	0,05	0	Ti'ce zengin	
3	99,84	0,16	0	Ti'ce zengin	
4	100	0	0	Ti'ce zengin	
5	96,72	3,28	0	Ti ₁₂ Al - Ti ₂₀₅ Al ₁₇	
6	94,89	2,78	2,33	Ti ₂₁₆ Al ₁₃	Ti ₆₈₇₅ Al ₂₂₆ V ₁₅₇
7	89,33	5,08	5,6	Ti ₁₁₉ Al ₁₂ V ₇	Ti ₁₈₇ Al ₁₉ V ₁₁



Şekil 6. SEM görüntü ve EDS analizinin yapıldığı noktalara ait element içerikleri

EDS analiz sonuçlarından elementlerin yoğunlaşma görüntüleri ortaya çıkarılmıştır. Al aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilen GR2 ve GR5 kaynaklı bağlantıların ara yüzeyleri ve difüzyon bölgesi incelenmiş ve XRD analizi sonucunda tüm numunelerde yoğun olarak Ti₁₂Al, Ti₂₀₅Al₁₇, Ti₂₀₅Al₁₁₇, Ti₂₁₆Al₁₃, Ti₆₈₇₅Al₂₂₆V₁₅₇, Ti₁₁₉Al₁₂V₇, Ti₁₈₇Al₁₉V₁ ve zengin titanyum fazları tespit edilmiştir.

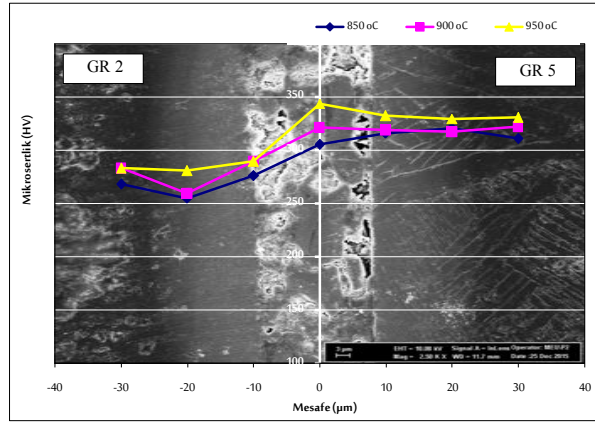
Mikrosertlik sonuçları

Sertlik ölçümleri kaynak ara tabakasından ana malzemelere doğru 3'er adet, birleşme ara yüzeylerinden ise bir adet HV sertlik alınmış sonuçlar Tablo 4'de ve mikrosertlik grafiği de Şekil 7'de verilmiştir.

Alüminyum aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilen GR2-GR4 titanyum alaşımlarının incelenmesi

Tablo 4. Numunelerin mikrosertlik sonuçları (HV)

Mesafe							
Malzeme	-30	-20	-10	0	10	20	30
T1	268,03	255,11	276,3	305,52	316,02	320,29	310,76
T2	283,12	259,43	289,7	321,48	318,76	317,33	322,18
T3	283,12	281,08	289,7	343,9	332,2	329,61	330,76



Şekil 7. Kaynaklanmış numunelerin mikrosertlik grafiği

Tablo 4 ve Şekil 7’deki sonuçlar incelendiğinde, Al aratabakanın bulunduğu noktada ve yine Al aratabakanın difüze olduğu noktalarda sertliğin yüksek çıktığı ve ana malzemelerde ise sertlik değerlerinin, ticari malzemelerin olması gereken sertlik değerlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Difüzyon bölgesinde oluşan yüksek yoğunluklu TiAl fazları numunelerin yeterli sertlik değerlerine ulaşabilmesini sağlamıştır.

Bindirme-kayma test sonuçları

Numunelere ait bindirme-kayma test sonuçları incelendiğinde 5 MPa sabit basınçta, 950°C sıcaklıkta ve 55 dakikalık bekleme süresindeki T3 numunesinde (219 MPa) en iyi birleşmenin olduğu gözlenmiştir, en düşük bindirme –kayma test sonucu ise 850 °C ile birleştirilen T1 numunesinde (197,12) görülmüştür (Tablo 5).

Tablo 5. Numunelere ait bindirme-kayma test sonuçları

	Sıcaklık °C			
	Malzeme	850	900	950
Bindirme-kayma mukavemeti (MPa)	T1	186,11	190,44	197,12
	T2	186,72	191,25	201,58
	T3	187,55	191,89	219

Genel Sonuçlar

GR2 ve GR5 zengin titanyum alaşımlı malzemeler, alüminyum aratabaka kullanılarak, argon koruyucu gaz atmosferinde sabit basınç (5 MPa), sabit süre (55 dk.) ve 850, 900 ve 950 °C sıcaklıklarda difüzyon kaynak yöntemiyle problemsiz bir şekilde birleştirilmiştir.

Kaynaklı bağlantıların ara yüzeyleri ve difüzyon alanları incelendiğinde yapılan XRD analizi sonucunda tüm numunelerde yoğun olarak Ti₁₂Al, Ti₂₀₅Al₁₁₇, Ti₂₀₅Al₁₁₇, Ti₂₁₆Al₁₃, Ti₁₆₈₇₅Al₂₂₆V₁₅₇, Ti₁₁₁₉Al₁₂V₇, Ti₁₈₇Al₁₉V₁ ve zengin titanyum fazları bulunmuştur.

Numuneler incelendiğinde metalografik açıdan en iyi birleşmenin, 950°C sıcaklıkta birleştirilen T3 nolu numunede olduğu görülmüş, tüm numunelerde 30–40µm arasında değişen oranlarda ana malzemelere Al difüzyonu izlenmiştir. Kaynaklanmış malzemelerin mikrosertlik sonuçları incelendiğinde ise ara tabaka bölgesinde oluşan fazlar numunenin yeterli sertlik değerlerine ulaşabilmesini sağlamıştır.

Kaynaklar

- Antonio S., Jorge S., Telmo R. S. (2006). An investigation of the fracture behaviour of diffusion-bonded Ti6Al4V/TiC/10 p, *Composites Science and Technology* 66, 2063–2068.
- Balasubramanian, M., (2015). Application of Box-Behnken design for fabrication of titanium alloy and 304 stainlesssteel joints with silver interlayer by diffusion bonding, *Materials and Design*, 77, 161-169.
- Barrena M.I., Gómez de Salazar J.M., Merino N., Matesanz L., (2008). Characterization of WC-Co/Ti6Al4V diffusion bonding joints using Ag as interlayer, *Materials Characterization* 59, 1407–1411.
- Barrena M.I., Matesanz L., Gómez de Salazar J.M., (2009). Al₂O₃/Ti6Al4V diffusion bonding joints using Ag-Cu interlayer, *Materials Characterization*, 60, 1263–1267.
- Bo Li, Shen, Y., Lei Luo, Weiye Hu (2015). Fabrication and anti-oxidation properties of Al/Ti-6Al-4V bimetallic clad-sheet by multi-pass friction stir welding, *Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture*, 229(6), 1078–1082.
- Caligulu, U. (2011). The Investigation of Graphite Distribution on Diffusion Bonding of the AISI 1030 Low Carbon Steel with Nodular Cast Iron, *Mp-Materials Testing-Materials and Components Technology and Application*, 53 (10), 654-661.
- Dikbaş H., (2012). Ti6Al4V/Ti6Al4V malzeme çiftinin PTA kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi, Doktora tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ferrante M., Pigoretti E. V., (2002). Diffusion bonding of Ti-6Al-4V to AISI 316L stainless steel: mechanical resistance and interface microstructure, *Journal of Materials Science*, 37, 2825 – 2833.
- Kejanlı, H., (2007). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu alaşımlarının sıvı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Koono A., Yamamoto A., Yamada, T., Takeda, (1985). Diffusion bonding of Ti-6Al-4V alloy with an Interlayer of Al, *Japan Welding Society*, 1, 145-151.
- Liu H., Cao J., He P., Feng J.C., (2009). Effect of hydrogen on diffusion bonding of commercially pure titanium and hydrogenated Ti6Al4V alloys, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 1108-1113.
- Lu J. (2009). Corrosion of titanium in phosphoric acid at 250 °C, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, 552-556.
- Luo J., Li M., Pan H., Su S. (2007). Effects of deformation parameters on microstructure of Ti60 titanium alloy, *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 17(1), 53-58.
- Peng He, Jiuhai Zhang, Ronglin Zhou, Xiaoqiang Li, (1999). Diffusion bonding technology of a titanium alloy to a stainless steel web with a Ni interlayer, *Materials Characterization*, 43, 287-292.
- Qiang Shen, Huiying Xiang, Guoqiang Luo, Chuanbin Wang, Meijuan Li, Lianmeng Zhang, (2014). Microstructure and mechanical properties of TC4/oxygen-free copper joint with silver interlayer prepared by diffusion bonding, *Materials Science & Engineering*, A596, 45–51.
- Guoqiang Luo, Yiyu Wang, Chuanbin Wang, Lianmeng Zhang, (2015). Low Temperature Diffusion Bonding of Ti-6Al-4V to Oxygen Free, *Science&Engineering*, A596, 45–51.
- Qiang Shen, Huiying Xiang, Meijuan Li, Copper with High Bonding Strength Using Pure Ag Interlayer, *Rare Metal Materials and Engineering*, 44 (11), 2607-2611.
- Semiati S.L., Seetharaman V., Weiss I., (1998). Hot workability of titanium aluminide alloys-an overview, *Materials Science and Engineering A*, 243, 1-24.
- Tolun F., Çelik S., (2013). Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş bakır ve porselenin sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve yapısal analizleri, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, Cilt 15(1) 92-104.
- X.H. Lü, Y.Q. Yang, X. Luo, B. Huang, Y.C. Lü, Y. Chen (2007). Experimental and theoretical study of diffusion bonding in fabricating Ti matrix composite, *Materials Science and Engineering A*, 458, 202-209.
- Yıldırım M.M., Çakan A., (2011). Mühendislik Malzemeleri III, AC Kardeşler Matbaa Yayıncılık, ISBN 978-605-61590-8-4, 96-112, Kütahya.
- Zhao H., Cao J., Feng J. (2009). Microstructure and mechanical properties of Ti6Al4V/Cu-10Sn bronze diffusion-bonded joint, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, 414-417.

Joining of GR2-GR5 Titanium alloys with Aluminum interlayer by diffusion welding method

Extended abstract

In this study, the effect of the joint temperature of the GR2 and GR5 (Ti6Al4V) alloys and the weld temperature on the joint were investigated using the Al intermediate layer.

Today, Titanium and Titanium alloys are increasingly used in the metal material industry. Non-magnetic Titanium has the characteristics of higher melting temperature, high formability, high strength, good toughness, low density (4.54 g / cm³), biocompatibility and good corrosion resistance to steel (therefore used in the space industry) and high performance is often required in applications .

For this reason, GR2 and GR5 alloys which are widely used in this study are used. The results of the experiments showed that the final joints consisted of Ti base materials and Ti-Al solid solution. It has been found that the intermetallic TiAl phase deposited on the surface of the Al intermediate layer has no detrimental effect on the strength of the joints. For this reason the Al layer is used as an intermediate layer. The diffusion source material facilitates its assembly by rapid deformation of the microstructure and minimal deformation. The process depends on a number of parameters, especially the combination temperature, atmospheric, time, pressure and surface roughness.

Common alloy problems (brittle phase formation and limited mutual solubility), large differences between melting points, differences in the thermal conductivities of the parent metals, oxidation, are known to be the main factors affecting the integrity of the source region of the unique metal fusion source. Within the confines of the fusion welding process, fusion welding problems can be removed at different metal welding locations as previously described. Many of the high-performance metals, and their various compositions, can be combined by solid state bonding methods, even if the alloying elements present in these metals are small.

The study was carried out with a diffusion welding apparatus with fixed source pressure specially designed at 850, 900 and 950 ° C under a constant argon atmosphere of 5 MPa, 55 minutes. In the diffusion welding process, the temperature is selected as the variable parameter and the welding pressure and welding time are kept constant. The samples were kept in the oven at an oven temperature of 250 ° C, then kept at room temperature until it cooled down. Microhardness test was also applied to the samples to determine the hardness distribution at the interface.

Hardness measurements were made at 10 microns intervals to determine the hardness changes at the interfaces with the Leica TKF-10 (0.05 HV) under 50 gr load. Microstructure changes after welding were examined by optical microscope and the possible phase constants and the elements passing through the diffusion zone EDS analysis was carried out.

These tests were carried out on all samples and found that the welded T3 specimen welded at 950 ° C had the best bond quality. Al intercalation observed that all the samples were diffused at a rate of 30-40 µm to the main material.

All the samples according to the XRD analysis made, Ti₁₂Al, Ti₂₀₅Al₁₁₇, Ti₂₀₅Al₁₁₇, Ti₂₁₆Al₁₃, Ti₆₈₇₅Al₂₂₆V₁₅₇, Ti₁₁₉Al₁₂V₇, Ti₁₈₇Al₁₉V₁ phases were found intensely.

Keywords: GR2; GR5(Ti6Al4V); Al interlayer; Diffusion source; Micro hardness.

mühendislik dergisi

