



İhsan Kırık

Bingöl University, alihsankirik@gmail.com, Bingöl-Türkiye

Anıl İmak

Bingöl University, aimak@bingol.edu.tr, Bingöl-Türkiye

| | | |
|----------------------|---|---------------------|
| DOI | http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2022.17.3.2A0188 | |
| ORCID ID | 0000-0002-8361-319X | 0000-0001-6091-1584 |
| Corresponding Author | İhsan Kırık | |

Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMI İLE AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada katı hal kaynak metodlarından biri olan difüzyon kaynağı ile Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AISI 304 paslanmaz çeliğinin birleştirilebilirliği incelenmiştir. Üç farklı sıcaklık (900°C, 1000°C, 1100°C), iki farklı tutma süresi (1600 ve 1800 sn) ve sabit basınç (50 N/mm²) altında numuneler birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinin etkilerini incelemek için numunelerin optik ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mekanik olarak mikrosertlik analizleri de yapılmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde difüzyon kaynağı ile birleştirilen numunelerde herhangi bir boşluk ve çatlığa rastlanmamış sorunsuz bir şekilde birleştirilebilirliği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Difüzyon Kaynağı, Ti6Al4V Titanyum Alaşımı, AISI 304 Paslanmaz Çelik, Mikroyapı, Mikrosertlik

INVESTIGATION OF JOINABILITY OF Ti6Al4V TITANIUM ALLOY AND AISI 304 STAINLESS STEEL BY DIFFUSION WELDING

ABSTRACT

In this study, the joinability of Ti6Al4V titanium alloy and AISI 304 stainless steel with diffusion welding, which is one of the solid state welding methods, was investigated. Samples were combined under three different temperatures (900°C, 1000°C, 1100°C), two different holding times (1600 and 1800 sec) and constant pressure (50 N/mm²). Optical and SEM analyzes of the samples were carried out to examine the effects of coupling processes. In addition, mechanical microhardness analyzes were also carried out. As a result of the examinations, no gaps and cracks were observed in the samples joined with diffusion welding, and it was observed that they could be combined without any problems.

Keywords: Diffusion Welding, Ti6Al4V Titanium Alloy, AISI 304 Stainless Steel, Microstructure, Microhardness

How to Cite:

Kırık, İ. ve İmak, A., (2022). Ti6Al4V Titanyum Alaşımı İle AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi. Technological Applied Sciences, 17(3):46-53. DOI:10.12739/NWSA.2022.17.3.2A0188.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Genel olarak yapısal bir mühendislik malzemesi olan Ti6Al4V titanyum alaşımının kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Ti6Al4V titanyum alaşımı yüksek mukavemet, düşük özgül ağırlık, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı, korozyon direnci, iyi sertlik özelliklerinden dolayı hem askeri hem de sivil amaçlı kullanılan uzay ve uçak sanayisinde tercih edilmektedir [1, 2, 3 ve 4]. Östenitik 304 paslanmaz çeliği %15-20 Cr ve %2-10 arasında Ni içermektedir. Paslanmaz çelikler arasında daha az elektriksel iletkenliğe sahip olup yüksek basınç ve yüksek ısıl işleme karşı dayanıklıdır. Aynı zamanda ısı ve korozyon dayanımı olarak ta iyi özellik göstermektedir. Titanyum bazlı alaşımlar ve paslanmaz çeliğin birleştirilmesi iyi korozyon direnci ve mükemmel mekanik davranış nedeniyle nükleer ve havacılık endüstrisinde tercih sebebedir [5].

Difüzyon katı hal birleştirme tekniklerinden biri olup iki metalik yüzeyin basınç ve sıcaklık altında birleştirilmesidir [6 ve 7]. Difüzyonla birleştirme işleminde kaynak sonrası işleme çok az ya da hiç ihtiyaç duyulmadan yüksek kaliteli bağlantıların üretilmesine izin verir [7]. Zaman, sıcaklık, basınç vb. faktörler difüzyon bağlantıların kalitesini etkilemektedir. Uygun bir birleştirme elde etmek için yapıştırma yüzeyleri mümkün olduğunca temiz ve pürüzsüz olmalıdır [8].

Literatürde Ti6Al4V ve AISI 304 çeliğinin katı hal birleştirme yöntemleriyle yapılan birleştirmeleri mevcuttur. Fakat difüzyon kaynağı ile ilgili çalışmaların sayısı azdır, bunlara bakıldığında; Kırık, Armor 500 ve AISI 1040 çeliğini difüzyon kaynağı ile birleştirip, kaynak sıcaklığının mikroyapı ve mekanik davranışlara etkisini incelemiştir. 700, 800, 900 ve 1000°C, 3MPa basınç ve 30dk parametrelerinde meydana gelen yapısal değişiklikleri incelemiştir. Denev sonuçları neticesinde kaynak sıcaklığının bağlantı mukavemetlerine önemli bir etkisini olduğunu tespit etmiş ve 900°C'de birleştirilen numuneden 960 MPa'lık gerilme elde etmiştir [9].

Özdemir ve arkadaşları, Ti6Al4V ve AISI 304 paslanmaz çeliği difüzyonla ara katmana Cu yerleştirerek birleştirmiştir [10]. Difüzyon işlemini argon atmosferinde 1MPa yük altında sırasıyla 820, 850 ve 870°C sıcaklık aralığında 50, 70 ve 90 dakika süreyle gerçekleştirmişlerdir. Birleştirilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Kaya ve arkadaşları, Ti6Al4V ile IF çeliği difüzyon ile kaynak etmişlerdir. Farklı sıcaklıklarda 30 dakika boyunca 5MPa basınç altında difüzyonla birleştirilen bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir [11].

Özdemir ve arkadaşları, sürtünme kaynağı ile birleştirdikleri AISI 304L ve AISI 4340 çeliğinin kaynaklanabilirliğinde dönme hızının etkisini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar neticesinde dönme hızının artmasıyla kaynak ara yüzeyince atılan kütlelerin artması ve ara yüzeyde oluşan tam plastik deforme olmuş bölgenin kalınlığının azaldığını aynı zamanda dönme kuvvetinin artmasıyla çekme mukavemetinin arttığını gözlemlemişlerdir [12].

Çalığılı, Ti6Al4V alaşımının gümüş ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğini incelemiştir. Yapmış olduğu birleştirmelerin sorunsuz bir şekilde olduğunu ve artan süreye bağlı olarak iyi kaynaklı bağlantılar elde ettiğini belirtmiştir [13].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AISI 304 paslanmaz çeliği katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan difüzyon kaynağı ile farklı sıcaklık ve zaman parametrelerinde birleştirilmiştir. Sıcaklık ve sürenin birleştirme bağlantıları üzerindeki etkilerinin

belirlenmesi için mikroyapı analizleri ve mikrosertlik testleri gerçekleştirilmiştir.

Önemli Noktalar (Highlights):

- Farklı özelliklere sahip Ti6Al4V alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilebilirliği güç ve problemlidir. Bu çalışmada titan alaşımı ile paslanmaz çelik sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir.
- Birleştirilen numuneler mikroyapısal özellikleri açısından incelenmiş ve bağlantılarının sorunsuz olduğu görülmüştür.
- Sıcaklık ve sürenin difüzyon kaynağı için önemli parametreler olduğu gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

DeneySEL çalışmalarda kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AISI 304 paslanmaz çeliği çubuklar 10 mm çapında ticari olarak temin edilmiştir. Tablo 1’de bu malzemelerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 1. Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal özellikleri
(Table 1. Chemical properties of Ti6Al4V titanium alloy and AISI 304 stainless steel)

| Malzeme | Alaşım Elementleri (%) | | | | | | |
|----------|------------------------|---------|------|------|------|-------|------|
| | Cr | Ni | C | Mn | Si | P | S |
| AISI 304 | 18-20 | 8-10.5 | 0.08 | 2 | 1 | 0.05 | 0.03 |
| Ti6Al4V | Al | V | C | O | Fe | Ti | |
| | 5.8-6.3 | 3.5-4.2 | 0.02 | 0.18 | 0.15 | Kalan | |

Kaynak işlemi öncesinde çubuk şeklinde temin edilen çubuklar 10x12mm boyutlarında hazırlanmıştır. Difüzyonla birleştirmeden önce birleştirme yapılacak yüzeyler etanol ve aseton ile temizlenmiştir. Difüzyon kaynakları Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında Şekil 1’de gösterilen difüzyon kaynak makinasında yapılmıştır. Tablo 2’de verilen parametreler doğrultusunda Ti6Al4V ve AISI 304’ün birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra numuneler haznedan çıkarılmadan önce oda sıcaklığında soğutulmuştur.

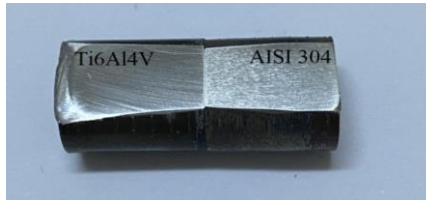


Şekil 1. Difüzyon kaynak makinası
(Figure 1. Diffusion welding machine)

Tablo 2. Birleştirilen numunelerin kaynak parametreleri
(Table 2. Welding parameters of the joined samples)

| Numune | Sıcaklık (°C) | Basınç (N/mm ²) | Süre (sn) |
|--------|---------------|-----------------------------|-----------|
| S1 | 900 | 50 | 1600 |
| S2 | 900 | 50 | 1800 |
| S3 | 1000 | 50 | 1600 |
| S4 | 1000 | 50 | 1800 |
| S5 | 1100 | 50 | 1600 |
| S6 | 1100 | 50 | 1800 |

Difüzyon kaynağı ile birleştirilen numunenin makro görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Kaynak işleminden sonra numunelerin birleşim bölgelerinde meydana gelen yapısal değişikliğin tespiti için numuneler birleşme yüzeyine dik olarak kesilmiştir. Kesme işleminin ardından yüzeyler zımparalanarak 3µm'lik elmas pasta ile parlatılmış ve paslanmaz çelik tarafı elektrolitik ancak titanyum tarafı ise kimyasal olarak sırasıyla 10 ml HNO₃, 20-30ml HCl, 30 ml su ve 1-3ml HF, 2-6ml HNO₃, 1000ml su dağlayıcıları ile dağlanmıştır. Difüzyon kaynağı ile birleştirilen numunelerin birleşim bölgelerinde meydana gelen yapısal değişimi SEM ve EDS analizleri yapılarak belirlenmiştir. Mikrosertlik ölçümleri, Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarında AOB marka cihazda 20gr yük altında 1mm aralıklarla kaynak bölgesine dik kesitte Vickers (HV) biriminde ölçümler alınmıştır.



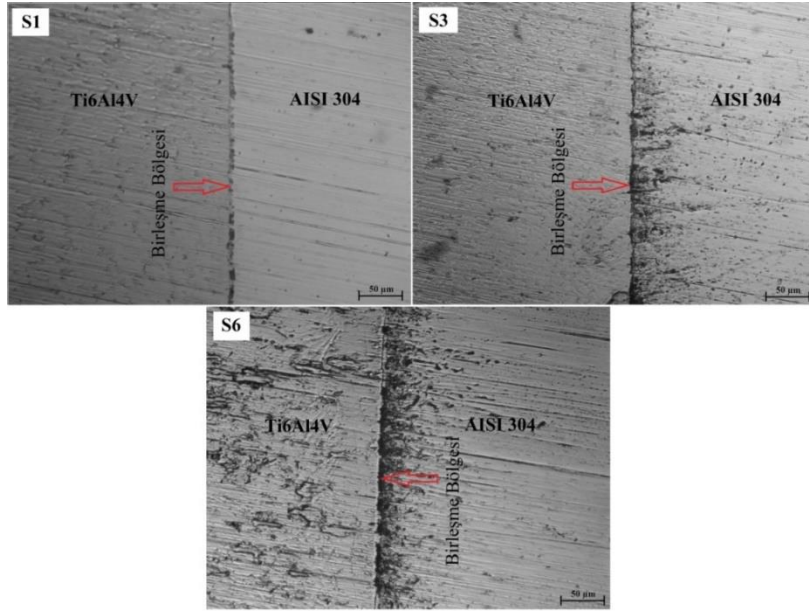
Şekil 2. Difüzyon kaynağı ile birleştirilen Ti6Al4V/AISI 304 makro resmi

(Figure 2. Ti6Al4V/AISI 304 macro picture combined with diffusion source)

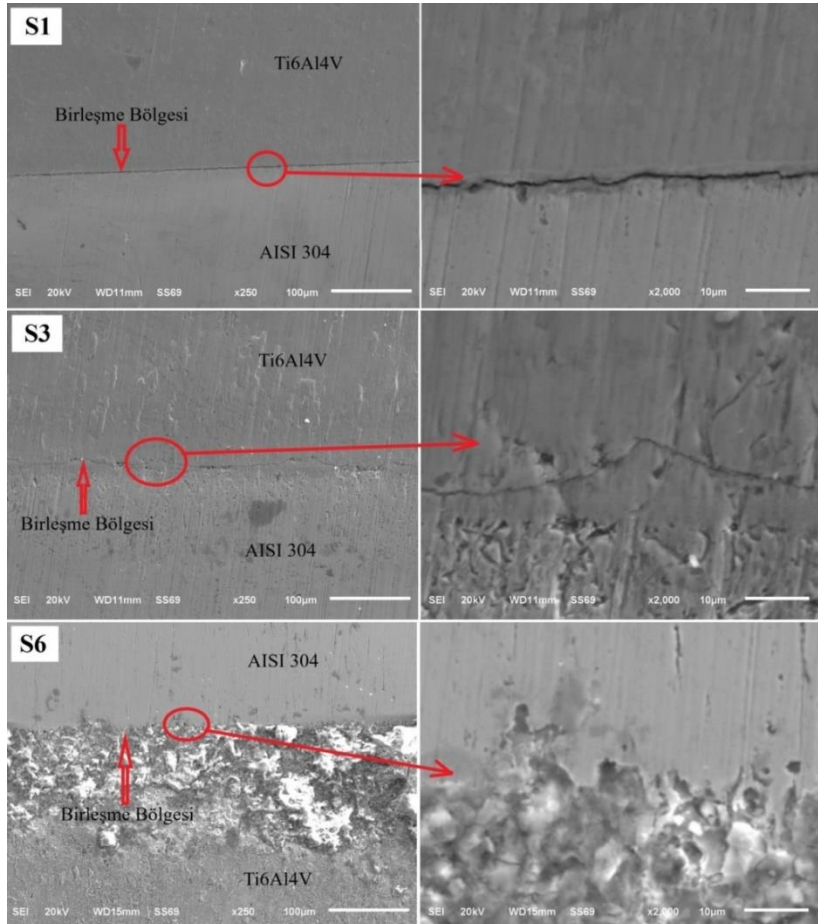
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

4.1. Mikroyapı İncelemeleri (Microstructure Studies)

Difüzyonla birleştirilmiş numunelerin mikroyapı incelemelerinde Şekil 3, difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş S1, S3 ve S6 numunelerinin optik görüntülerini göstermektedir. Görüntülerden de açıkça anlaşılacağı üzere herhangi bir boşluk veya çatlak olmadığı gözlemlenmiş ve sağlam bir birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te ise birleştirilmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. S1, S3 ve S6 numunelerin SEM görüntüsü incelendiğinde S1 nolu numunenin birleşme bölgesinin kalitesinin düşük olduğu ve mikro çatlakların olduğu görülmüştür. Bunun nedeni birleştirme sıcaklığının düşük ve birleştirme süresinin de yeterli olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. S3 nolu numunenin SEM görüntülerinden birleşme kalitesinin iyi olduğu ve birleşme ara yüzeyinin birbiri içerisine geçtiği görülmektedir. Ancak yine de birleşme bölgesinde boşluk ve kalitesiz bağlanma bölgelerinin var olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklık (1100°C) ve yüksek sürelerde birleştirilen S6 nolu numunenin bağlantı kalitesinin yüksek olduğu ve birleşme ara kesitinin birbiri içerisine difüze olduğu görülmektedir.

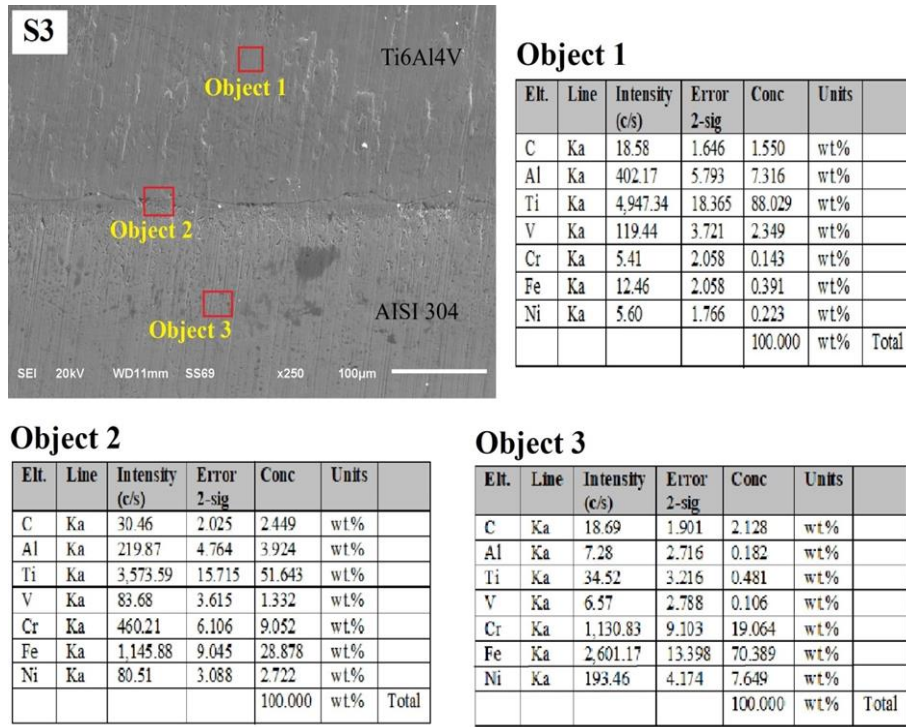


Şekil 3. S1, S3 ve S6 nolu numunelerin optik görüntüleri
(Figure 3. Optical images of samples S1, S3 and S6)



Şekil 4. Difüzyon kaynağı ile birleştirilen S1, S3 ve S6 nolu numunelerin SEM görüntüleri
(Figure 4. SEM images of samples S1, S3 and S6 combined with diffusion source)

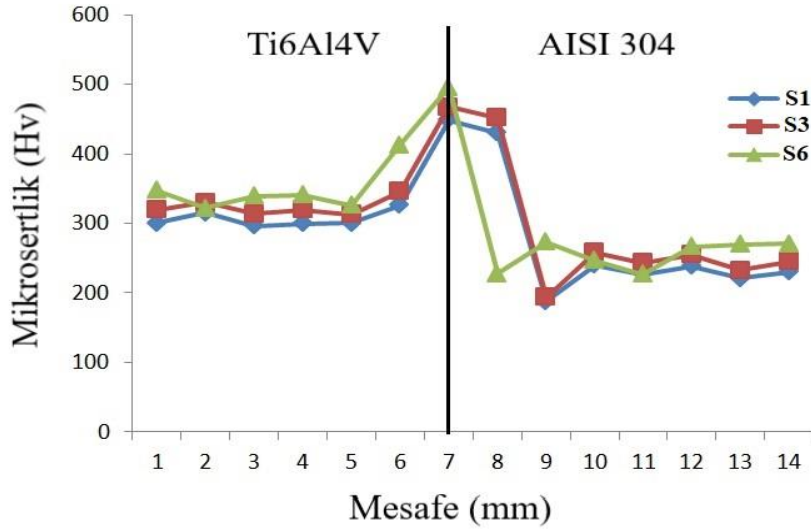
EDS analizi, S3'ün kesiti boyunca Şekil 5'te işaretlenen noktalarda gerçekleştirilmiştir. Bu noktalarda başlıca elementlerden olan C, Al, Ti, V, Cr, Ni ve Fe elementleri tespit edilmiştir. Bu elementlere ait ölçülen konsantrasyon değerleri aşağıda verilmiştir. 1. bölgede tespit edilen Ti değeri 88.029 iken 2. ve 3. bölgede sırasıyla 51.643 ve 0.481 dolaylarında ölçülmüştür. Aynı şekilde V ve Al içinde Ti alaşımından paslanmaz çeliğe doğru bir azalmanın sözkonusu olduğu tespit edilmiştir. Ancak paslanmaz çelik için ise Cr ve Ni değerlerinde bir artmanın olduğu görülmektedir. Bu değişim ile Ti alaşımı ile paslanmaz çelik konsantrasyonunda bulunan elementlerin 100 µm bir mesafe dolaylarında birbiri içerisine düfüze olduğu açıkça ifade edilebilir.



Şekil 5. S3 nolu numunenin EDS analizi sonuçları
(Figure 5. EDS analysis results of sample S3)

4.2. Mikrosertlik Analizi (Microhardness Analysis)

Difüzyonla birleştirilen S1, S3 ve S6 nolu numunelerin sertlik dağılım eğrileri incelendiğinde her üç numunede de birleşme noktasında sertliğin arttığı ve numunelerin mikrosertlik profillerinde benzer eğilimler görülmüştür (Şekil 6). Birleşme bölgesinden AISI 304 tarafına doğru gidildikçe sertlik azalmış ve malzeme 3mm mesafede orijinal sertliğine ulaşmıştır. Ancak birleşme bölgesinden Ti6Al4V alaşımına doğru gidildikçe sertlik 1mm mesafede zirve noktasına ulaşmış ve sonrasında sertlik değerine ulaşmıştır. Maksimum sertlik değeri birleşme çizgisi üzerinde S6 nolu numunede 495.7Hv olarak ölçülmüştür. Birleşme bölgesinde Cr₂C, Cr₇C₆, Cr₂₃C₇ gibi oluşan intermetalik bileşikler nedeniyle birleşme çizgisinde üç numunede de sertlik değerleri en yüksek değere ulaşmıştır. Özdemir ve ark. yaptıkları çalışmada da birleşme bölgesinde, artan sıcaklık ve tutma süresi nedeniyle intermetalik oluşumu ve birleşme bölgesinde oluşan sertlik artışını belirtmişlerdir [10].



Şekil 6. S1, S3 ve S6 nolu numunelerin mikrosertlik sonuçları
(Figure 6. Microhardness results of samples S1, S3 and S6)

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, titanyum alaşımı Ti6Al4V ile AISI 304 paslanmaz çeliği difüzyonla birleştirilmiştir. Farklı sıcaklık (900, 1000 ve 1100°C) ve sürelerde (1600 ve 1800sn) birleştirilen numunelerin optik, SEM ve sertlik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Katı hal kaynak tekniklerinden biri olan difüzyon kaynağı ile iki farklı malzeme, farklı parametrelerde birleştirilmiştir. Optik ve SEM görüntülerinde çatlak veya kusur görülmemiştir.
- Optik ve SEM görüntülerinde birleşme çizgisi belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.
- EDS analizlerinde titanyum alaşımı ve paslanmaz çeliğin birleşim noktasında Cr2C, Cr7C6, Cr23C7 gibi intermetalik bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir.
- Sıcaklık ve sürenin difüzyon kaynağı için önemli parametreler olduğu gözlemlenmiştir. Artan sıcaklık ve süre ile bağlantı kalitesinin iyileştiği tespit edilmiştir.
- Mikrosertlik analizlerinde üç numunede de sertliğin birleşme bölgesinde yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değeri S6 nolu numunede 495.7Hv olarak ölçülmüştür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar çalışmada çıkar çatışması bildirmemiştir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarları bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] He, P., Zhang, J., and Zhou, R., (1999). Diffusion bonding technology of a titanium alloy to a stainless steel web with an



- Ni interlayer. *Materials Characterization*, 43:287-292, DOI:10.1016/S1044-5803(99)00008-X.
- [2] Yeh, M.S. and Chuang, T.H., (1995). Low-pressure diffusion bonding of SAE 316 stainless steel by inserting a superplastic interlayer. *Scripta Metallurgica et Materialia*, 33:1277-1281, DOI:10.1016/0956-716X(95)00364-2.
- [3] Ozdemir, N., Orhan, N., and Aksoy, M., (2003). Effect of graphite shape in vacuum-free diffusion bonding of nodular cast iron with gray cast iron. *Journal of Materials Processing Technology*, 141:228-233, DOI:10.1016/S0924-0136(03)00154-7.
- [4] Cary, H.B., (1999). *Modern Welding Technology*. Prentice-Hall Inc., London, UK.
- [5] Kurt, B., (2007). The interface morphology of diffusion bonded dissimilar stainless steel and medium carbon steel couples. *Journal of Materials Processing Technology*, 190:138-141, DOI:10.1016/j.jmatprotec.2007.03.063.
- [6] Orhan, N., Khan, T.I., and Erođlu, M., (2001). Diffusion bonding of a microduplex stainless steel to Ti-6Al-4V. *Scripta Materialia*, 45:441-446, DOI:10.1016/S1359-6462(01)01041-7.
- [7] Kliauga, A.M., Travessa, D., and Ferrante, M., (2001). Al₂O₃/Ti interlayer/AISI 304 diffusion bonded joint: microstructural characterization of the two interfaces. *Materials Characterization*, 46:65-74, DOI:10.1016/S1044-5803(00)00095-4.
- [8] Hidetoshi, S., Hiroyuki, W., Tshiji, M., and Kenji, H., (2003). Low temperature diffusion bonding in a superplastic AZ31 magnesium alloy. *Scripta Materialia*, 48:1249-1254, DOI:10.1016/S1359-6462(03)00054-X.
- [9] Ihsan, K., (2015) Effect of temperature on microstructure and mechanical behavior of diffusion bonded Armor 500 and AISI 1040 steel. *Materials Testing*, 57(4), DOI:10.3139/120.110716.
- [10] Ozdemir, N. and Bilgin, B., (2009) Interfacial properties of diffusion bonded Ti-6Al-4V to AISI 304 stainless steel by inserting a Cu interlayer. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41:519-526, DOI:10.1007/s00170-008-1493-6.
- [11] Kaya, M., Kılıç, M., Kırık, I., Karakurt, E.M., and Gülenç, B., (2017). Diffusion bonding between Ti-6Al-4V alloy and interstitial free steel. *Materials Science and Engineering Technology*, 48:661-665, DOI:10.1002/mawe.201700003.
- [12] Özdemir, N., Sarsılmaz, F., and Haşçalık, A., (2007). Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel. *Materials and Design*, 28:301-307, DOI:10.1016/j.matdes.2005.06.011.
- [13] Çalığözü, U., (2016). Ti6Al4V alaşımının gümüş ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(3):577-586.