

Ti6Al4V alaşımının PTA kaynağında 1800 W kaynak gücünde birleştirilebilirliğin araştırılması

Halil DİKBAŞ¹, Nida KATI^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Elazığ

² Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Elazığ

Makale Gönderme Tarihi: 14.07.2014

Makale Kabul Tarihi: 21.01.2015

Öz

Bu çalışmada, elektrik enerji endüstrisi, nükleer enerji, petro kimya, otomotiv, uzay araçları ve medikal endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip Ti ve alaşımlarından Ti6Al4V alaşım çifti Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak yöntemiyle kaynak edilmiştir. Plazma transfer ark kaynağında, torçla elektrodun etrafından gelen argon gazı tungsten elektrod ve nozul arasındaki pilot ark sayesinde iyonize olmaktadır. Çalışma esnasında PTA kaynakları, argon koruyucu gaz atmosferinde, sabit 1800 W kaynak gücünde ve 0,50-0,75-1 m/dk. kaynak hızlarında yapılmıştır. Kaynak sonrası ITAB'da meydana gelen mikro yapı değişiklikleri optik mikroskop, SEM, EDS ve XRD analizleri ile incelenmiştir. Malzemenin birleşme mukavemetini belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri Vickers skalasında 50 gr'lık yük altında yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonrasında, mikro ya da makro çatlaklara rastlanmamıştır. Numuneler kaynak dikiş karakterizasyonu açısından değerlendirildiğinde kot farkı altında oluşan kaynak çukurunun tüm numunelerde oluşmadığı, ergimiş bölge genişliğinin ve ITAB'ın kaynak hızındaki artışla ters orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Mikrosertlik değerlerinin ana metalden ergimiş bölgeye ilerledikçe arttığı ve en yüksek değere ergimiş bölgede ulaştığı görülmüştür. Ayrıca mikrosertlik değerlerinin kaynak hızına bağlı olarak ters orantılı arttığı, yüksek kaynak hızında düşük değerde, düşük kaynak hızında ise yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Bütün kaynaklarda, kaynak hızı arttıkça kaynağın mekanik özelliklerinin kötüleştiği tespit edilmiştir. Sabit kaynak gücünde, 0,50 m/dk. kaynak hızıyla yapılan PTA kaynağının, metalurjik açıdan kaynak kalitesi en yüksek birleştirme olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V, Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynağı, Kaynak Gücü, Kaynak Hızı

Giriş

Titanyum ve titanyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek sıcaklıklardaki mükemmel mekanik özellikleri ve yüksek korozyon dayanımlarından dolayı, elektrik enerjisi endüstrisi, nükleer enerji, petrokimya, otomotiv, uzay araçları ve medikal endüstride oldukça fazla uygulama alanına sahiptirler (Akman vd, 2008; Ion, 2005). Ti6Al4V alaşımları uzay araçları endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Akman vd, 2008; Ion, 2005). A.B.D. dünyada üretilen toplam Ti alaşımlarının yarısını kullanmaktadır (Titanium Alloys – Ti6Al4V, 2003; Polmear, 1981). Ti6Al4V alaşımları yüksek sürtünme ve gerilme dayanımları gerektiren, genellikle jet motorlarında kompresörlerin soğutucu parçaları, disk ve fan kanatlarında kullanılmaktadır (Collings, 1984; Ming-chen, 1999). Ayrıca uzay araçlarının yüksek gerilmelere maruz kalan iniş takımları, kanat, uçak şasisi gibi kritik parçalarında Ti6Al4V alaşımı tercih edilmektedir (Applications for Titanium alloys, 2003; Sui Him vd, 2008).

Ti6Al4V bir $\alpha + \beta$ fazlı titanyum alaşımıdır. Mikroyapılarda görülen α -fazı genellikle yapının %60-90'ını oluşturur. α -fazı hexagonal sıkı paketli kristal yapıdaki saf titanyumu karakterize eder ve 882 °C sıcaklıkta erir. Mikroyapılarda görülen β -fazı genellikle yapının %10-40'ını oluşturur. β -fazı kübik hacim merkezli yapıya sahip saf titanyumdur ve 1671 °C sıcaklıkta erir (steelforge, web). Titanyuma alaşım elementlerinin eklenmesiyle mekanik ve fiziksel özellikleri iyileşir. Bunlar içerisinde özellikle Alüminyum, α fazına eğilimlidir. Alaşıma, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo ve V gibi kararlı β fazlı elementler ilave edilince yapı β 'dan α 'nın ergime derecesine iner. Mikro yapı eş eksenli tane ya da β matris içinde uzun α taneleri şeklinde olur (Modgil, 2003).

Plazma transfer ark kaynağında, torçla elektrodun etrafından gelen argon gazı tungsten elektrod ve nozul arasındaki pilot ark sayesinde iyonize olmaktadır. Böylece iletken hale gelen

plazma gazı nozulun dar uç kısmından geçerek dar bir sütun halinde parçaya iletilmektedir. Koruyucu gaz ise nozulun dış çevresinden kaynak bölgesine iletilerek kaynak banyosunu korumaktadır. Soğutma sisteminden gelen soğutucu sıvı ise özel kanallardan geçerek torca gitmekte ve buradaki ısıyı alarak, tekrar soğutucuda, kapalı devre, soğutmaktadır (plasma, web). Ark kararlılığı ve akım şiddeti yüksek olduğundan daha nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kullanım sırasında ark rahat kontrol altında tutulabilir, aynı zamanda kaynak süresi de azaltılır.

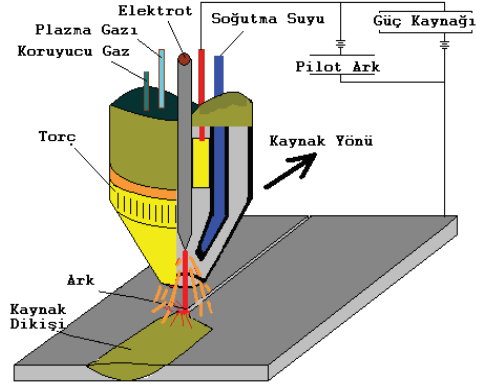
Bu çalışmada, PTA kaynak yöntemiyle Ti6Al4V alaşım çifti sabit kaynak gücünde ve 1-0.75-0.50 m/dk kaynak hızlarında birleştirilmiştir.

Deneyel çalışmalar

Bu çalışmada 80x40x4mm ölçülerinde Ti6Al4V alaşımı kullanılmıştır. Tablo 1'de deneylerde kullanılan Ti6Al4V alaşımının kombinasyonu verilmiştir (Modgil, 2003). PTA yöntemiyle kaynak edilecek Ti6Al4V alaşım çiftlerinin birleşme yüzeyleri birbirine paralel olacak şekilde kesilmiştir. Yüzeyde kalıntı çapakların kalmaması için numunelerin yan yüzeyleri soğutma sıvılı taşlama tezgâhında taşlanarak temizlenmiştir. Şekil 1'de PTA kaynak işleminin şematik resmi görülmektedir. PTA kaynak işleminde kaynak numunelerine uygulanan parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Ti6Al4V alaşımı

Element	Oran (%)
C	< 0.008
Fe	< 0.25
N	< 0.05
O	< 0.2
Al	< 5.5
V	< 3.5
H	< 0.0375
Ti	Diğer

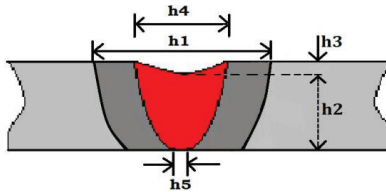


Şekil 1. Plazma transfer ark (PTA) kaynak işleminin şematik görüntüsü (Gür vd, 2009)

Tablo 2. PTA kaynak parametreleri

Numune No	N1	N2	N3
İlerleme hızı (m/dk) V	1	0.75	0.50
Akım (A) U		106	
Gerilim(V) A		17	
Koruyucu gaz (m ³ /h) Ar		30	
Plazma gazı (m ³ /h) Ar		0.5	
Elektrot çapı (mm)		4.7	
Torç ile malzeme arası mesafe (mm)		3≈4	
Torç uç çapı (mm)		3.25	

Kaynak kesiti dört geometrik parametre kullanılarak karakterize edilir. Bunların birincisi ısı etkisi altında kalan bölgeyi de gösteren h_1 , kaynak dikişinin nüfuziyet derinliğini gösteren h_2 , kot farkının altında oluşan kaynak çukurunu gösteren h_3 , kaynak dikişi havuzunu genişliğini gösteren h_4 ve h_5 dikişin nüfuziyetidir. Bu geometrik parametreler Şekil 2'de görülmektedir (Akman vd, 2008).



Şekil 2. Kaynak kesitinin geometrik karakterizasyonu

Metalografik işlemler

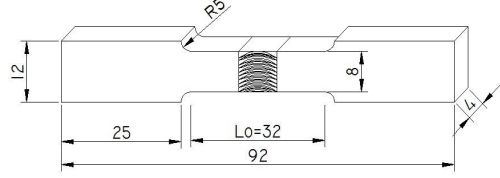
Metalografik incelemelerde kullanılacak numuneler Ti6Al4V alaşımı kaynak bölgesinden kesilip standart metalografik parlatma işlemlerinden sonra 50 ml H₂O + 40 ml HNO₃ + 10ml HF dağıtıcısında 3–5dk. süre ile dağlanmıştır.

XRD analizleri

Deneyde kullanılan Ti6Al4V alaşımının PTA kaynak işleminden sonra kaynak dikişine XRD analizi yapılmıştır. XRD analizi (X-Ray Diffraction) analizleri bakır α ışını tüpüne sahip cihazda 1.5406Å dalga boyunda 2θ açısında, 40kV ve 40mA'de Cu-K α radyasyonu kullanılarak elde edilmiştir.

Çekme deneyi incelemeleri

Malzemenin yük taşıma yeteneği ile yükleme sırasındaki şekil değiştirme davranışını belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi incelemeleri SHIMADZU AG-X 50kN yük kapasitesine sahip çekme cihazında 1mm/dk çekme hızında ve TSE 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme deneyinde kullanılan kaynaklı numune ölçüleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme deneyi numunesi

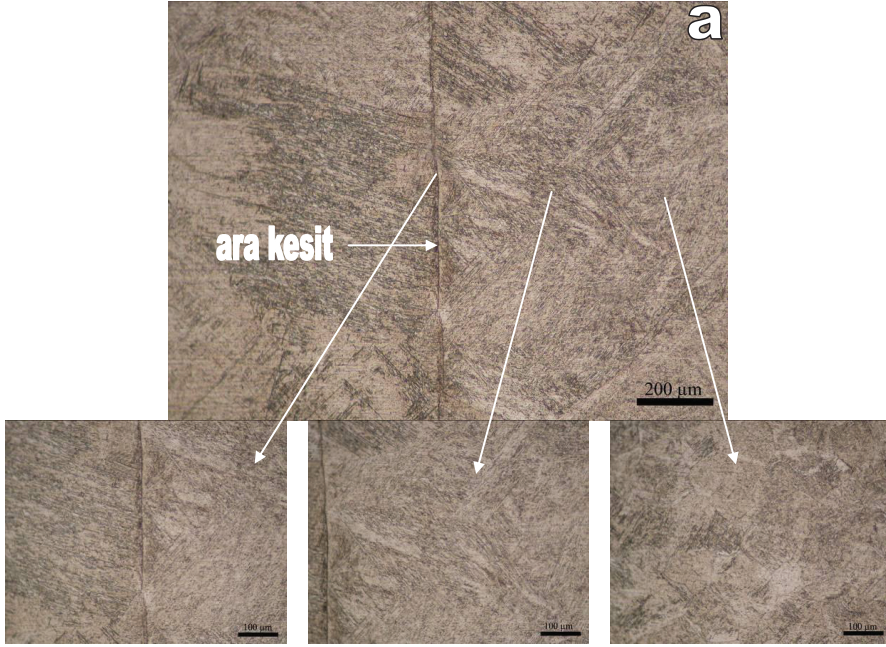
Mikrosertlik incelemeleri

Mikrosertlik değerleri HV sertlik skalası kullanılarak, 250 μ m aralıklarla 10 sn bekleme süresinde ve 50 gr yük ile Future-Tech FM 700 marka mikrosertlik cihazıyla yapılmıştır.

Tartışma

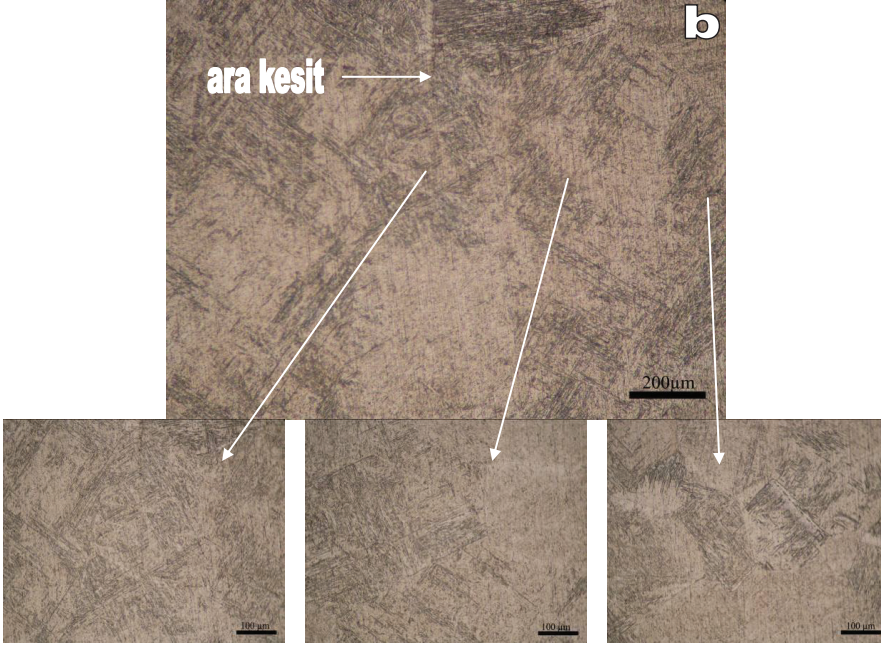
Mikroyapı incelemeleri

Şekil 4.a'da 1800W kaynak gücünde 1 m/dk kaynak hızında (N1 numunesi) yapılan birleştirmenin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Metalografik açıdan birleşmenin tam olduğu, birleşme bölgesinde boşluk veya krater oluşmadığı tespit edilmiştir. Kaynak dikişinin karakterizasyonuna bakıldığında N1 numunesinde h_1 : 32 mm, h_2 : 4 mm, h_3 : 0 mm, h_4 : 11 mm, h_5 : 0 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.a) N1 numunesinden alınmış optik resimler (1m/dk) (Dikbaş, 2012)

Şekil 4.b’de 1800W kaynak gücünde 0.75 m/dk kaynak hızında (N2 numunesi) yapılan birleştirmenin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Metalografik açıdan birleşmenin tam olduğu, birleşme bölgesinde boşluk veya krater oluşmadığı tespit edilmiştir. Kaynak dikişinin karakterizasyonuna bakıldığında N2 numunesinde h_1 : 37 mm, h_2 : 4 mm, h_3 : 0 mm, h_4 : 13 mm, h_5 : 0 mm olarak tespit edilmiştir.

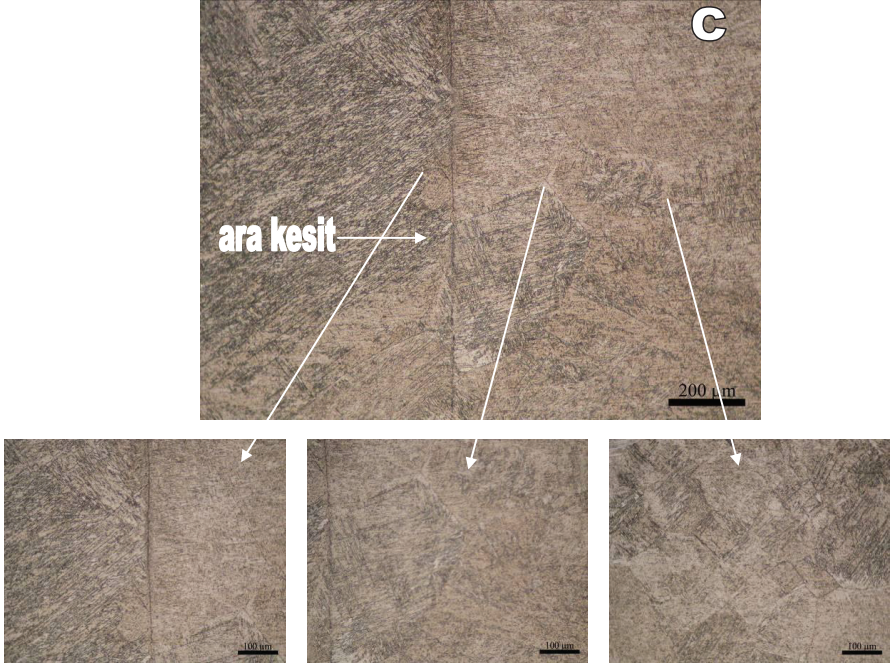


Şekil 4.b) N2 numunesinden alınmış optik resimler (0.75 m/dk) (Dikbaşı, 2012)

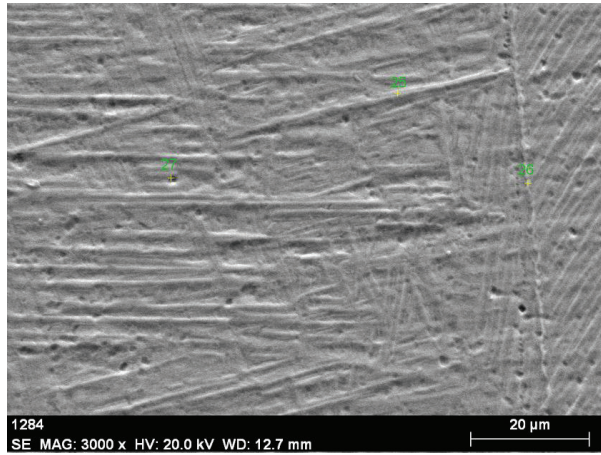
Şekil 4.c’de 1800W kaynak gücünde 0.50 m/dk kaynak hızında (N3 numunesi) yapılan birleştirmenin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Metalografik açıdan birleşmenin tam olduğu, birleşme bölgesinde boşluk veya krater oluşmadığı tespit edilmiştir. Kaynak dikişinin karakterizasyonuna bakıldığında N1 numunesinde h_1 : 43 mm, h_2 : 4 mm, h_3 : 0 mm, h_4 : 17 mm, h_5 : 0 mm olarak tespit edilmiştir.

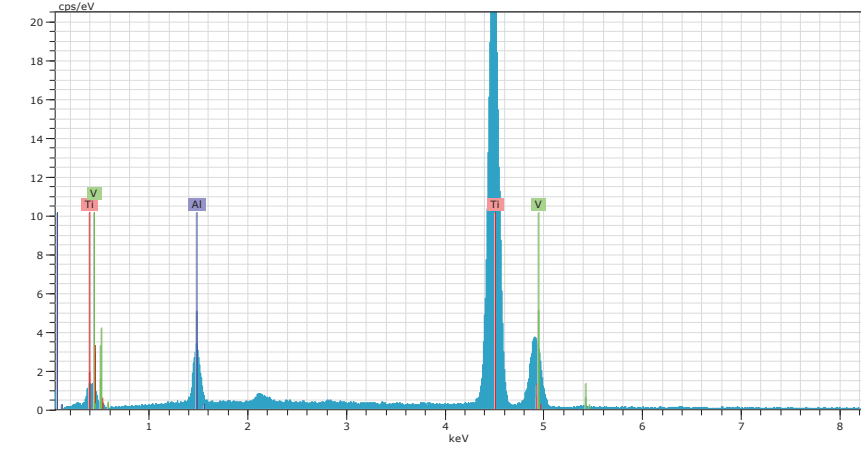
N3 numunesinde ara kesitten ve arakesitten 20 μ m ve arakesitten 55 μ m mesafede alınan EDS sonuçları Şekil 5’de verilmiştir.

Ti6Al4V alaşımının PTA kaynağında 1800W kaynak gücünde birleştirilebilirliğin araştırılması



Şekil 4.c) N3 numunesinden alınmış optik resimler (0.50 m/dk) (Dikbaş, 2012)





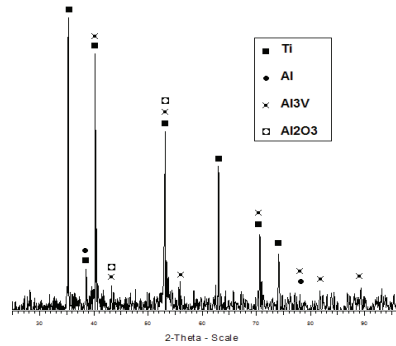
Element	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Al	13	K-series	5.15	6.01	10.19	0.3
Ti	22	K-series	80.25	93.70	89.55	2.7
V	23	K-series	0.25	0.29	0.26	0.0
TOTAL			85.65	100.00	100.00	

Şekil 5. N3 kaynaklı numuneye ait EDS analizi (Dikbaş, 2012)

XRD analizleri

XRD analizleri sonucu elde edilen XRD grafiği Şekil 6'da, fazlar ve kristal sisteminde ki birim hücre parametreleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'de de görüldüğü gibi kaynak dikişinde hexagonal Ti, kübik Al, hexagonal Al_2O_3 , tetragonal Al_3V kristal sistemleri oluşmuştur. Yapıların α , β ve γ açıları Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 6. XRD analizleri grafiği (Dikbaş, 2012)

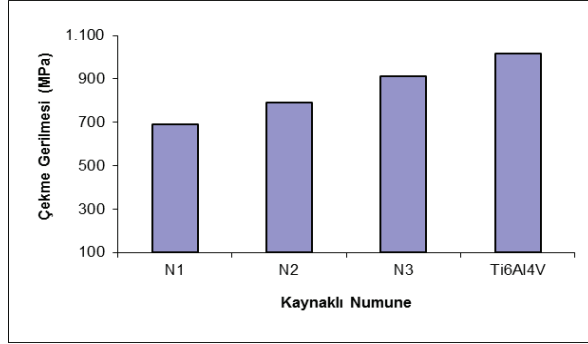
Tablo 3. XRD analizleri bileşikleri ve birim hücre parametreleri

Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim Kafes Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
İsmi	Kapalı Formül		a	B	C	Alfa α	Beta β	Gama Γ		
Titanyum	Ti	Hegzagonal	2.9505	2.9505	4.6826	90.0	90.0	120.0	Basit	2
Aluminyum	Al	Kubik	4.0494	4.0494	4.0494	90.0	90.0	90.0	Yüzey Merkezli	4
Kround	Al ₂ O ₃	Hegzagonal	4.7587	4.7587	12.9929	90.0	90.0	120.0	Basit	6
Aluminyum Vanadyum	Al ₃ V	Tetragonal	3.775	3.7750	8.32	90.0	90.0	90.0	Hacim Merkezli	2

Çekme deneyi değerleri

Çekme deneyi sonuçlarına göre elde edilen sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarına göre N1 numunesinin çekme

gerilmesi 691MPa, N2 numunesinin çekme gerilmesi 789MPa, N3 numunesinin çekme gerilmesi 914MPa ve Ti6Al4V ana malzemesine ait çekme gerilmesinin 1018MPa olduğu tespit edilmiştir.

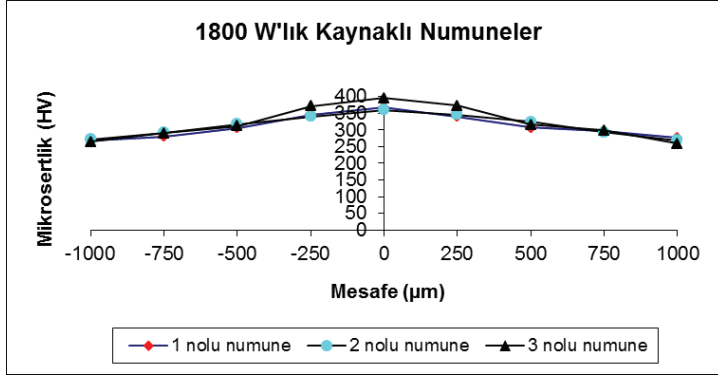


Şekil 7. Çekme deneyi sonuçları

Mikrosertlik değerleri

Elde edilen veriler Şekil 8’de grafik halinde verilmiştir. Şekil 8’de ki mikrosertlik değerleri incelendiğinde N1 numunesinin mikrosertlik değerleri kaynak dikişinde 367HV, ana malzeme yüzeyinde 272HV, ITAB’da 280–345HV; N2 numunesinin mikrosertlik değeri kaynak dikişinde 360 HV, ana malzeme yüzeyinde 270HV, ITAB’da 292-345HV; N3 numunesinin mikrosertlik değeri kaynak dikişinde 395HV, ana malzeme

yüzeyinde 260HV, ITAB’da 290-370HV çıkmıştır. Sertlik deneyi sonuçlarına bakıldığında her iki ana metal tarafında sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu Şekil 8’de açıkça görülmektedir. Fakat kaynak arakesitinde sertlikteki artış göze çarpmaktadır. Bu yükselmenin sebebinin, XRD sonuçları incelendiğinde de görüleceği gibi kaynak arakesitinde oluşan sert fazlar olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Sertlik ölçümü yapılan bölgeler ve mikrosertlik değerleri

Sonuçlar

- Ti-6Al-4V alaşım çifti PTA kaynağıyla Ar atmosferinde birleştirilmiştir. Kaynak dikişinde mikro ya da makro çatlığa rastlanmamıştır.
- Mikrosertlik değerlerinin ana metalden ergimiş bölgeye ilerledikçe arttığı ve en yüksek değere ergimiş bölgede ulaştığı görülmektedir. Ayrıca mikrosertlik değerlerinin kaynak hızına bağlı olarak ters orantılı arttığı, yüksek kaynak hızında düşük değerde düşük kaynak hızında ise yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri N3 numunesinde tespit edilmiştir. Bu sonuç N. Kahraman ve diğerlerinin çalışması ile de uygunluk göstermektedir (Kahraman vd, 2010).
- Kaynak dikişinde hexagonal Ti, kübik Al, hexagonal Al₂O₃, tetragonal Al₃V fazları oluşmuştur.
- Kaynak dikiş karakterizasyonu açısından değerlendirildiğinde kot farkı altında oluşan kaynak çukurunun tüm numunelerde de oluşmadığı, ergimiş bölge genişliğinin ve ITAB'ın kaynak hızındaki artışla ters orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir.
- Çekme deney sonuçlarından en iyi değer N3 numunesinden (914MPa) elde edilmiştir.

Kaynaklar

Akman, E., Demir, A., Canel, E., Sinmazçelik, T., “Laser welding of Ti6Al4V titanium alloys”, Journal of Materials Processing Technology. Protec:12338, No.of Pages 9, 2008.

Applications for Titanium alloys, International Titanium Association, 2003, <http://www.titanium.org>.

Collings, E.W., The Physical Metallurgy of Titanium Alloys, American Society for Metals, 1984

Ding R., Gou Z.X. Wilson A., “Microstructural evolution of a Ti6Al4V alloy during thermochemical processing”, J.Materials Science and Engineering A, 327:233-245, 2002.

Dikbaş, H., “Ti6Al4V/Ti6Al4V malzeme çiftinin PTA kaynağında Kaynak bölgesinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012.

Gür, A.K., Taşkın, M., Orhan, A. Çalgülü, U. ve Dikbaş, H., “Ti6Al4V alaşım çiftinin PTA yöntemiyle kaynak edilebilirliği”, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, Karabük, 13-15 Mayıs, s. 789-793, 2009.

<http://www.steelforge.com/nonferrous/titanium.htm>

<http://www.pro-fusiononline.com/welding/plasma.html>

Ion, J.C., Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure And Industrial Application, Elsevier, Oxford, 2005.

Kahraman, N., Tařkın, M., Gülenç, B., Durgutlu, A., “An Investigation Into The Effect Of Welding Current On The Plasma Arc Welding Of Pure Titanium”, Kovove Mater., 48, 179-184, 2010.

Ming-chen H., “Thermohydrogen treatment of titanium alloys”, J. Aerospace Materials and Technology, (1): 23 27, 1999.

Modgil A., “Effect of High Speed Maching on Surface Topography of Titanium Alloy (Ti6Al4V)” A Thesis Presented to the Graduate School of the University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, University of Florida, 2003.

Polmear, I.J., Light Alloys – Metallurgy of the Light Metals, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1981.

Sui Him M., Guijun B., Janet F., Ian P., “Deposition of Ti–6Al–4V using a high power diode laser and wire, Part I: Investigation on the process characteristics”, Surface Coatings Technology, 202, 3933–3939, 2008.

Titanium Alloys – Ti6Al4V Grade5, 2003 <http://www.azom.com>.

The Investigation of the Joinability on 1800 W Welding Power on the Plasma Transfer Arc (PTA) Welding of Alloys Ti6Al4V

Extended abstract

In this study; Ti6Al4V alloy couple from the Ti and its alloys, which are commonly used in electrical energy industry, nuclear energy, petrochemistry, automotive, space vehicles and medical industry, was welded by using Plasma Transferred Arc (PTA) method. In plasma transferred arc welding; argon gas coming with the torch from the surrounding of the electrode is ionized via the pilot arc between the tungsten electrode and the nozzle. Thus, the plasma gas that has become conductive passes through the narrow end of the nozzle and is transferred to the piece as a narrow column. Shielding gas is transferred from the external environment of the nozzle to the weld zone and protects the welding bath. Cooling liquid coming from the cooling system goes towards the torch by passing through special channels and cools the heat here again in the coolant as a closed circuit. The power source for plasma welding is almost exclusively DC and, as in TIG, the drooping, or constant current, output characteristic will deliver essentially constant current for a given power source setting. The power source is ideal for mechanised welding as it maintains the current setting even when arc length varies and, in manual welding, it can accommodate the natural variations of the welder. The plasma process is normally operated with electrode negative polarity to minimise heat produced in the electrode (approximately 1/3rd of the heat generated by the arc is produced at the cathode with 2/3rds at the anode). Special torches are available, however, for operating with electrode positive polarity which rely on efficient cooling to prevent melting of the electrode. The positive electrode torch is used for welding aluminium which requires the cathode to be on the material to remove the oxide film. AC is not normally used in the plasma process because it is difficult to stabilise the AC arc. Problems in reigniting the arc are associated with constriction by the nozzle, the long electrode to workpiece distance and balling of the electrode caused by the alternate periods of electrode positive polarity. The square wave AC (inverter, switched DC) power source, with an efficiently cooled torch, makes the use of the AC plasma process easier; rapid current switching

promotes arc reignition and by operating with very short periods of electrode positive polarity, electrode heating is reduced so a pointed electrode can be maintained. The plasma system has a unique arc starting system in which HF is only used to ignite a pilot arc held within the body of the torch. Samples were prepared of 80x40x4 mm prior to the work. During the study, PTA weldings were performed under argon shielding gas atmosphere at constant 1800 W welding power and at 0.50-0.75-1 m/min. welding speeds. Microstructure changes, which occurred in HAZ after the welding, were examined by optical microscope, SEM, EDS, and XRD analyses. Samples were prepared by Metallographic in order to perform this analysis. Tensile test was applied in order to determine the joining strength of the material. Tensile tests were performed in the drawing device that has 50kN load and 1mm/min in tensile speed. Microhardness measurements were performed under 50-gr load at Vickers scale. As a result of the examinations performed, no micro or macro cracks were observed. Ti6Al4V alloy couple is combined without a problem by PTA method in Ar atmosphere. Metallographic terms in the area of the merger is complete has been found to be void or craters. When the samples were assessed in terms of weld nugget characterization; it was found that the welding cavity occurred under elevation difference was not observed in all the samples and it increased as inversely proportional to width of the molten area width and the increase in the welding speed of HAZ. According to the XRD analysis results, crystal systems such as Hexagonal Ti, Cubic Al, Hexagonal Al₂O₃, Tetragonal Al₃V formed in welding seam. It was observed that microhardness values increased while progressing from the main metal to the molten area and reached the maximum value at the molten area. Furthermore, it was determined that microhardness values increased as inversely proportional to the welding speed and they were low at high welding speed and high at low welding speed. In all welds, it was observed that as the welding speed increased, mechanical properties of the weld deteriorated. It was found that PTA welding performed at 0.50 m/min. welding speed at constant welding power was the joining with the highest welding quality in terms of metallurgical aspect.

Keywords: Ti6Al4V, Plasma Transfer Arc (PTA) Welding, Welding Power, Welding Speed