

TİTANYUM VE BAKIR ÇİFTİNİN ARA BAĞLAYICILIDİFÜZYON SERT LEHİMLEMESİ İLE FIRINDA BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Nizamettin KAHRAMAN

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Maltepe, Ankara,
TÜRKİYE, nizamet@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, ASTM Sınıf 2 titanyum ve bakır malzemeler gümüş ara bağlayıcı kullanılarak difüzyon sert lehimlemesi işlemine tabi tutulmuşlardır. Birleştirme işlemi argon gazı koruması altında ve fırında gerçekleştirilmiştir. Malzemeler, 700°C'de değişik sürelerde sabit yük altında lehimleme işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen birleştirmelerin mikroyapıları ve sertlikleri incelenmiştir. Ayrıca, birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla lehimli numunelere kenar makaslama testi uygulanmıştır. Mekanik incelemeler sonucunda birleştirme süresinin artmasıyla makaslama dayanımının arttığı görülmüştür. Birleştirme süresinin artmasıyla, lehimlenen numunelerin ve arayüzeyin sertliğinde düşme olduğu gözlenmiştir. Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, birleştirilen her iki malzemenin de tane yapısının her yerde aynı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Titanyum, difüzyon, sert lehimleme, mekanik özellikler.

BONDING TITANIUM TO COPPER BY FURNACE BRAZING METHOD USING SILVER INTERLAYER AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

In this study, ASTM Grade 2 titanium was bonded to copper by using a furnace brazing method. Bonding was carried out by using a silver interlayer at a temperature of 700°C under argon controlled atmosphere for different times. Microstructure and hardness of the bonded area were examined. To determine the mechanical properties of bonding, shear test was carried out on the bonded specimens. The results showed that shear strength of the bonded specimens increase with the increasing holding time while the hardness of the bonded specimens decrease with increasing holding time. In addition, no change in the grain size of the bonded specimens were observed.

Key Words: Titanium, diffusion, brazing, mechanical properties.

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır (1). Daha çok uzay ve uçak sanayinde kullanılan gelişmiş malzemelerin birleştirilmeleri katı hal kaynak teknikleri olarak bilinen ve de difüzyon kaynağını da kapsayan yöntemlerle mümkündür. Bugün farklı metallerin birleştirilmesinde % 40 bu yöntem kullanılırken, bu yöntemle birleştirilmiş malzemelerin yaklaşık % 20'sini de titanyum ve alaşımları oluşturmaktadır (2).

Saf titanyum ve bakır üzerinde kendi içerisindeki difüzyon kaynağını inceleyen Mekeag (3) altı safhalı bir model sunmuştur. Bu modele göre birinci safhada sıcaklık tesiri ile yüzey pürüzlerinin teması sırasında metal oksitleri çözünmekte ve arakesitin her iki tarafında yeniden kristalleşmiş ince bir tabaka meydana gelmektedir. Enerji engelini kıran bu tabakadır. İkinci safhada daha kalın bir tabaka yeniden kristalleşmektedir. Üçüncü safhada ana metal yeniden kristalleşirken, daha alt tabaka kristalleri yok edilir. Dördüncü safhada arakesitleri daha önce kristalleşen taneler yok olurken, küçük fakat görülebilen boşluklar oluşur. Beşinci safhada arakesitteki boşlukların sayıları azalırken boyutları büyür. Altıncı safhada arakesit düzlemine tane sınırı göçü başlar ve tane büyümesi meydana gelir.

Difüzyon kaynağı, benzer olmayan metal ve alaşımlarında, kaynak sonrası birleşme bölgesinde kırılma metaller arası faz oluşumu nedeniyle malzemelerin dayanımlarının azalması durumunda tercih edilmektedir (4,5). Düşük sıcaklıklarda uygulanabilmesi, farklı malzemeleri birleştirebilmesi ve sağladığı diğer üstünlüklerle, alışılmış kaynak yöntemleri ile elde edilemeyecek, kıyas kabul etmeyecek üstünlükler gösteren difüzyon kaynak yöntemi, gün geçtikçe geliştirilmekte ve gelecekte çok daha geniş uygulama alanı bulacak bir birleştirme yöntemidir (6). Difüzyon kaynağının uygulanmasında, özellikle farklı metal ve alaşımlarının birleştirilmesinde genellikle bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleştirmenin oluşumunu kolaylaştırır. Ara tabakalar folyo şeklinde, elektrolitik kaplama ve püskürtme tarzında olabilir (7,8). Ara tabakanın görevleri şu şekilde sıralanabilir; a) fiziksel özellikleri, örneğin ısı genleşme oranları farklı olan parçaları dengeler, b) kırılma, sert metaller arası faz oluşumunu engeller, c) plastik deformasyonla yüzey yaklaşmasını iyileştirir, d) birleştirilecek parçaların hazırlama aşamalarını azaltır ve e) çalışma sıcaklığını düşürürler (7).

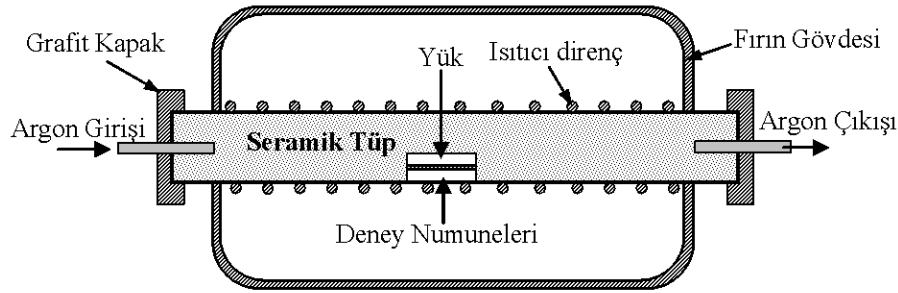
Titanyum, yüksek sıcaklıklarda basınç uygulandığı zaman kendi oksiti de dahil yüzey artıklarını kolayca çözdüğünden difüzyon kaynağı için uygun bir malzemedir. Ancak titanyumda katı çökelti içindeki oksijen, sertliği artırıp kararlı faz oluşturarak kaynağı güçleştirmekte ve yüzeyde çatlaklara yol açmaktadır. Bu nedenle de titanyumun difüzyon kaynağında vakum yada koruyucu atmosfere gerek duyulmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında, titanyumda çözünmeyen argonun arakesite hapsolarak, boşluk oluşmasını önlemek için, Patridge ve Salehi kaynak bölgesinde argonun hareketliliğinin sağlanması gerektiğini söylemektedirler (3).

Difüzyon yardımcısı kullanılmayan kaynakların çoğu 4 saate kadar çıkan sürelerde yapılır. İlave metalle, süre-sıcaklık gereksinimleri ciddi ölçüde azalır. En yüksek kaynak mukavemeti ve bağlantı kolaylığı Ag, Cu, Ag-28 Cu folyo gibi bir aracı tabaka veya difüzyon yardımcısının (ilave metal) kaynak birleştirmesinde kullanılmasıyla gerçekleştirilir (9). Titanyum ve alaşımları 700-860°C'ın üstünde, yani alfa-titanyumun özellikle güçlü bir oksijen çözücüsü olan beta-titanyuma dönüşmesi noktasının üstündeki sıcaklıklarda sertlehimlenirler. Sertlehimlenmiş parçaların yüzeyinde oksit filmi ve alfalaşmış tabaka oluşması, parçaları akan saf argon veya vakumda ısıtmakla önlenir (10).

Bu çalışmanın amacı, ülkemiz endüstrisinde istenilen yeri alamayan ve büyük öneme sahip özellikle gelişmiş ülkelerde yaygın bir biçimde kullanılan, genelde demir dışı bir dolgu metalinin birleştirme malzemesi olarak kullanıldığı (11) fırında difüzyon sertlehimlemesi ile kompozit malzeme üretmektir. Kaynak işlemi öncesinde birleştirilecek malzemeler arasında ilave metal (difüzyon yardımcısı) konulmuş ve elde edilen birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

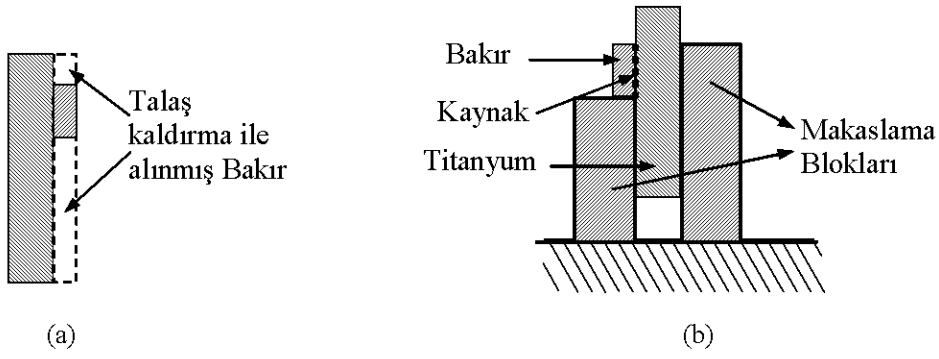
Bu çalışmada, ASTM Sınıf 2 (% 99,2) alaşımsız titanyum ile ticari saflıkta bakır malzeme ve ilave metal olarak da 0,1 mm kalınlığında folyo halinde A 1306 gümüş alaşımı (Çekme mukavemeti 35-40 Kg/mm²) kullanılmıştır. Kullanılan titanyum ve bakır malzemeler levha halinde olup kalınlıkları 5 mm'dir. Levha halinde olan malzemeler kaynak için 15x30x5 mm ebatlarında kesildikten sonra sırasıyla 1200 grit'e kadar SiC su zımparası ile zımparalanarak aseton ile temizlenmişlerdir. Aynı şekilde gümüş folyolar da zımparalanmış ve temizleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaynak yapılacak numuneler arasına gümüş folyo konulmuş ve hazırlanan mekanik bir aparat içerisinde yerleştirilerek torkmetre ile tespit edilmişlerdir. Birleştirilmiş numunelerin hepsine uygulanan yük sabit tutulmaya çalışılmıştır. Sabit bir yük altında olan numuneler Şekil 1'de şematik olarak gösterilen fırına yerleştirilmiş ve argon gazı koruması altında fırın çalıştırılmıştır. Kaynak süresi biten numuneler yine argon gazı kontrolünde oda sıcaklığına kadar kontrollü olarak soğutulmuşlardır.



Şekil 1. Deneysel fırının şematik gösterimi.

Numuneler ilk olarak 650°C'lik bir sıcaklıkta 120 dakika teste tabi tutulmuş ve birleşme sağlanamamıştır. Daha sonra diğer numuneler 700 °C'lik bir sıcaklıkta ve 120 dakika teste tabi tutulmuş ve başarılı bir birleşme elde edilmiştir. Aynı şartlarda hazırlanan diğer numuneler sıcaklıklar sabit olmak üzere (700 °C) 60, 30 ve 15 dakikalık sürelerde teste tabi tutulmuş ve bütün numunelerde birleşme gerçekleşmiştir. Kaynak için her bir numuneden üçer adet hazırlanmış olup hataların en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen birleştirmelere mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ASTM A264'e göre kenar makaslama testi uygulanmış (12), ayrıca kaynaklı bölgenin mikroyapı ve sertlikleri incelenmiştir. Numuneler öncelikle metalografik inceleme için 10x20x10 mm kalacak şekilde talaşlı işlenmişler ve sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik su zımparası ile her defasında 90° döndürülerek zımparalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Zımparalama işlemi biten numuneler 3 µ m'lik elmas pasta ile keçede parlatılmışlardır. Parlatılmış numunelerin fotoğrafları çekildikten sonra 10 mL HF, 30 mL HNO₃ ve 50 mL su ile oluşturulan çözelti ile dağlanmışlardır. Dağlanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri PRIOR marka optik mikroskop yardımı ile x 100, x 400 ve x 700 büyütme oranlarında gerçekleştirilmiştir. Fotoğrafi çekilen numunelerin sertlik ölçümleri 136° ve kare tabanlı Vickers uca sahip INSTRON WOLPERT sertlik cihazı ile yapılmış ve 5 kg yük uygulanmıştır. Ölçümler her bir numuneden ve arayüzeyden (ara tabaka) eşit aralıklarla olmak üzere 3'er adet yapılmış olup ortalamaları alınmıştır.

Bir malzemenin makaslama mukavemetini saptayan kabul edilmiş bir standart deney yöntemi yoktur. En yüksek makaslama mukavemeti genellikle bir zımba-matris tertibinde makaslanmasıyla elde edilir. Bunun için üniform hızlı, yavaş hareketli bir pres tezgahı kullanılır. Zımbalamak için gerekli azami yük gözlenip buradan maksimum makaslama mukavemeti hesaplanır. Bu yöntem yorucu olduğundan en yüksek makaslama mukavemeti olarak en yüksek çekme mukavemetinin ¾'ü alınır (13). Makaslama testi için numuneler Şekil 2 a'da görüldüğü gibi hassas bir şekilde frezede işlenerek hazırlanmışlardır.



Şekil 2. Kenar makaslama testi için hazırlanan numune ve kalıbın şematik gösterimi.

Hazırlanan numunelere uygun toleranslarda Şekil 2 b'de görülen kalıp hazırlanmış ve hazırlanan test numuneleri MFL SYSTEM tipi çekme cihazında 1 mm/dk basma hızında teste tabi tutulmuşlardır. Birleştirilen üçer adet numuneden birer adet olmak üzere toplam üç adet makaslama numunesi hazırlanmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

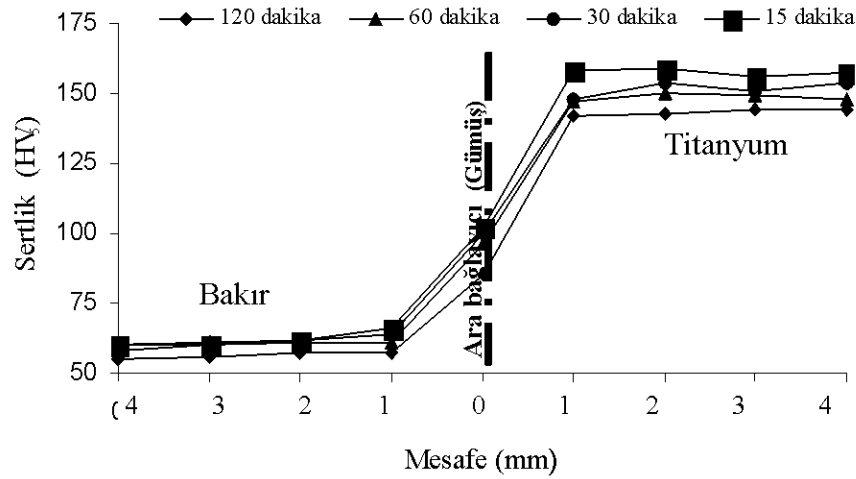
Birleştirilmiş numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan makaslama testleri sonucunda lehimleme süresinin artmasıyla makaslama mukavemetinin arttığı, ancak bu artışın 60 dakika sonrası az olduğu Çizelge 1'de açıkça görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki lehimleme süresini gereğinden fazla uzatmak mekanik özellikleri aynı oranda iyileştirmeye devam etmemektedir. Bunun için bu tür ara bağlayıcı kullanılarak yapılan difüzyon sert lehimlemesinde ideal süre bulunup daha fazla birleştirme ekonomisi sağlanabilir.

Çizelge 1. Kenar makaslama test sonuçları

Difüzyon sert lehimleme süresi	15 Dakika	30 Dakika	60 Dakika	120 Dakika
Makaslama Mukavemeti (MPa)	255,64	263,39	274,38	275,66

Birleştirme amacıyla difüzyon yardımcı olarak kullanılan ara bağlayıcının çekme mukavemeti üretici firma tarafından $\sigma_c=343-392$ MPa olarak verilmektedir. Makaslama esnasında koparılmaya zorlanan bölge, ara tabaka ve hemen bitişiğindeki bölge olduğundan ve de titanyumun bakır malzemeye göre mukavemetinden dolayı kopma işlemleri ara tabaka titanyumda kalacak şekilde bakır ile folyo arasından olmuştur. Literatürde verilen bilgi ışığında (13) makaslama mukavemeti çekme mukavemetinin $\frac{3}{4}$ 'ü kadardır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen makaslama değerleri bu değerlere uygun bulunduğundan sert lehimleme işleminin kabul edilebilir bir birleştirme olduğu görülmüştür. Bulunan makaslama sonuçlarına göre 30 ve 60 dakika süre ile yapılan birleştirmeler hem kabul edilebilir değerler arasında olup hem de ekonomik açıdan daha iyidir. 15 dakikalık sürelerde elde edilen birleştirmelerde ise verilere yakın değerler ($\sigma_c =343-392$ MPa ise $\sigma_m \approx 257,51-294$ MPa) bulunduğu Tablo 1'de açıkça görülmektedir.

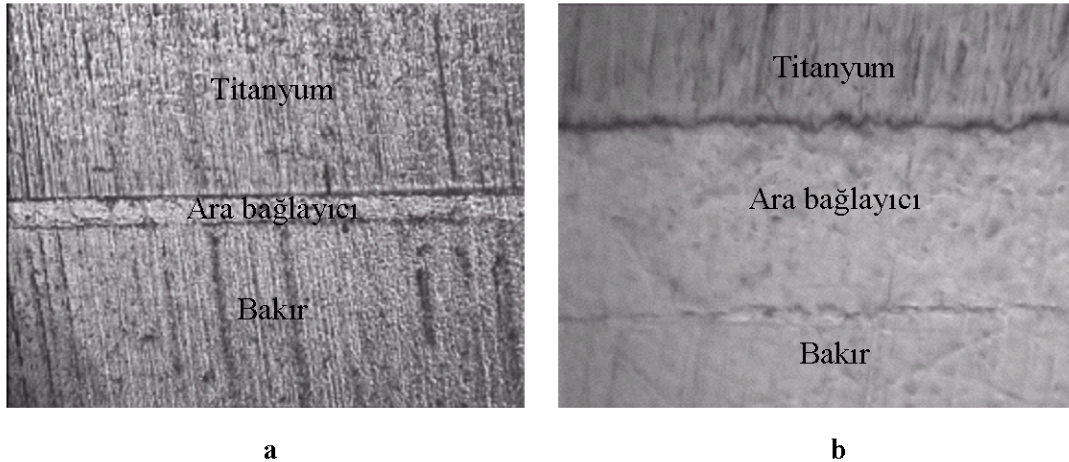
Birleştirilen numunelerden elde edilen ve Şekil 3'de verilen sertlik değerlerine göre, difüzyon sert lehimleme süresinin artmasıyla gerek ana malzemelerde gerekse ara bağlayıcıdaki (folyo) sertlik değerleri çok azda olsa bir azalma göstermiştir. Ancak, sertlik ölçümleri sonucunda kaynaklı numunelerin her yerindeki sertlik değerlerinin aynı olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Değişik sürelerde lehimlenen numunelerin sertlik dağılımı.

Yapılan araştırmalarda da difüzyon kaynağı sonrası sertlik değerlerinde, diğer kaynak türlerinde görülen kaynak ara yüzeyindeki ani sertlik artışı ve ergitme kaynağındaki ısı tesiri altındaki bölgenin gevrekleşmesi gibi sorunlar ile karşılaşılma durumu (4). Bu yüzden kaynaklı numunelerde gözle görülebilir bir çarpılma mevcut değildir.

Şekil 4 a ve b'de görülen fotoğraflar 120 dakika süre ile birleştirme işlemine tabi tutulan numunelerdir. Bu numunelerin görüntüleri parlatma işlemi sonrası (dağlama yapılmadan) elde edilen görüntülerdir. Burada ara bağlayıcı bir tabaka halinde görülmektedir.

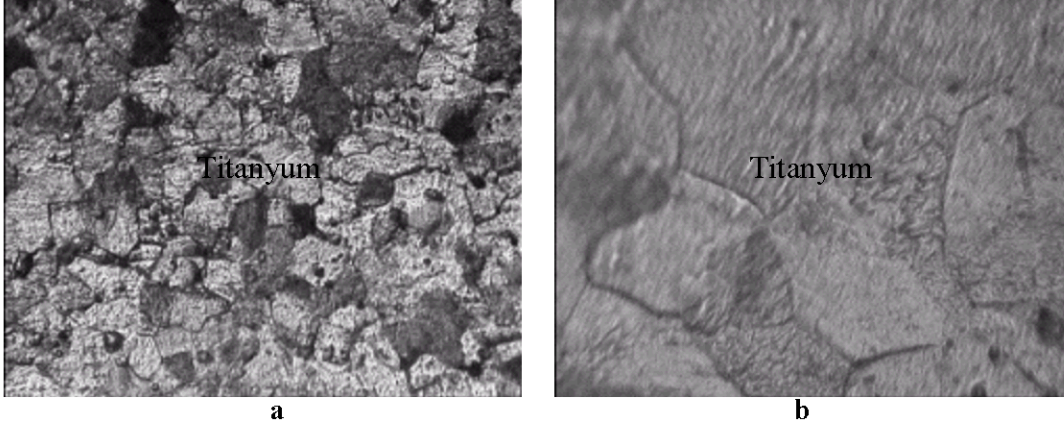


Şekil 4. 120 dakika süre ile lehimlenmiş birleşmenin dağlama öncesi arayüzeyinin optik mikroskop görüntüsü a) x100 ve b) x700.

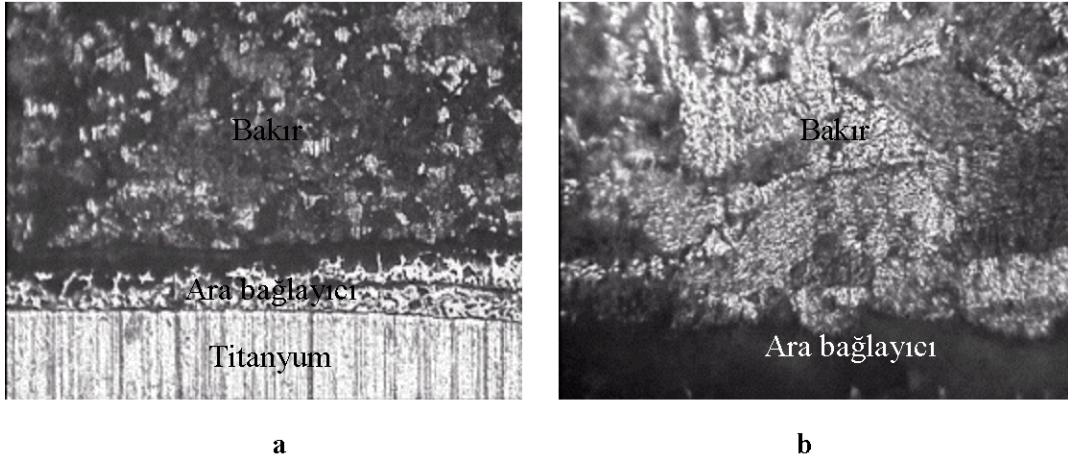
Sert lehimleme ile birleştirilmiş numunelerden çekilen optik mikroskop görüntülerine göre hem bakır hem de titanyum malzemenin her yerinde (ara yüzeye yakın veya uzak bölgelerinde) tane yapısının aynı olduğu görülmüştür. Bu da kaynak esnasında ısı girdisinin homojen olmasına bağlıdır. Lehimlenmiş numunelerden elde edilen optik mikroskop görüntülerinde, dağlama sonrasında ara bağlayıcının oksitlendiği x100 büyütme ile görüntülenmiş bütün fotoğraflarda açıkça görülmektedir. Bunun sebebi olarak, gümüş ara bağlayıcının yüzey alanının diğer iki metale göre (Ti, Cu) az olması ve bunun sonucunda gümüş için gram başına düşen yüzey alanının diğerlerinden oldukça fazla olmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

120 dakika sürede birleştirilmiş numunelerden titanyumun ara yüzeyine yakın bir bölgeden elde edilen görüntülere göre (Şekil 5a) ergitmeli kaynak yöntemlerindeki ergime çizgisinden uzaklaştıkça görülen mikroyapı değişimi burada söz konusu değildir. Birleştirilmiş numunelerin her yerinde tane

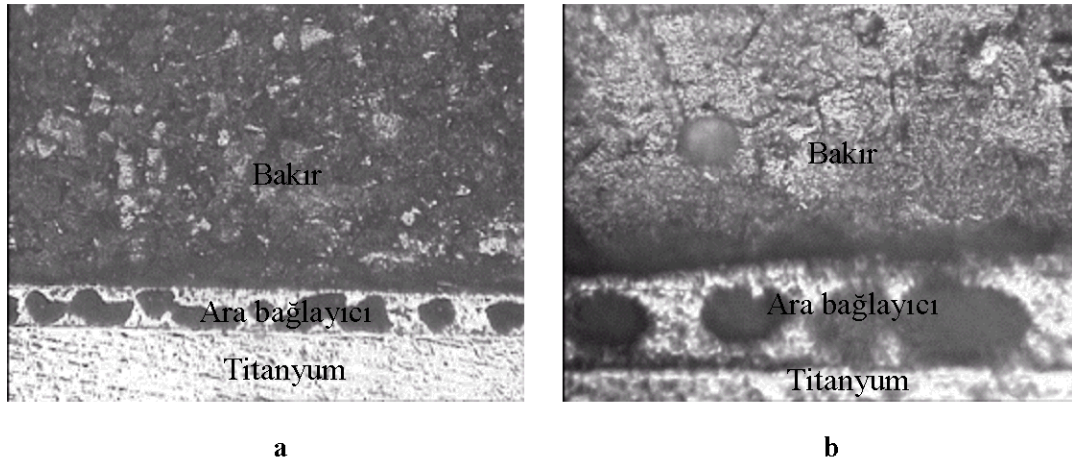
ebatı hemen hemen aynıdır.



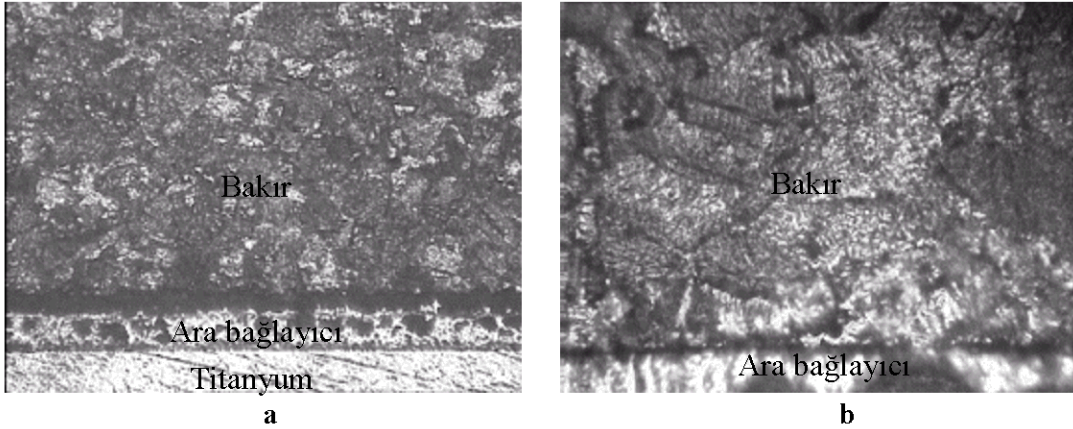
Şekil 5. 120 dakika sürede birleştirilmiş numunelerden titanyumun x100 ve x 700 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.



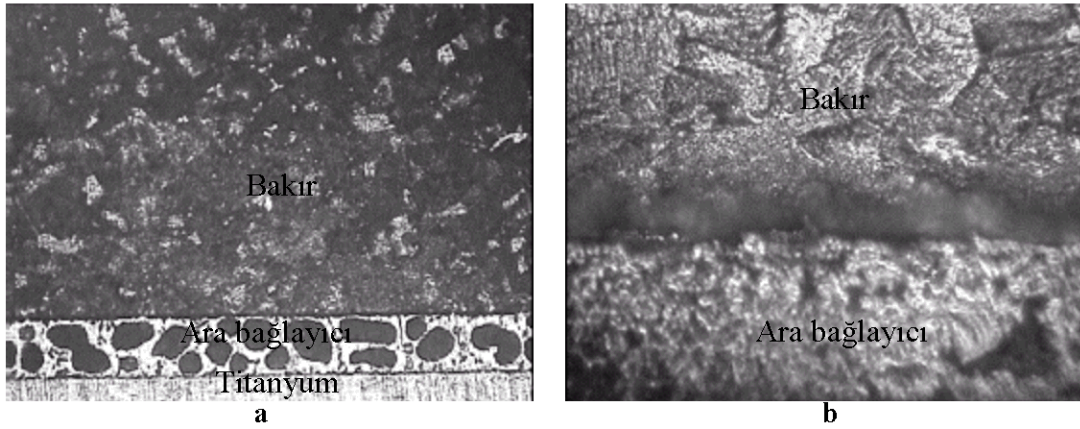
Şekil 6. 120 dakika sürede birleştirilmiş numune ve arayüzeyinin a) x100 ve b) x 400 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 7. 60 dakika sürede birleştirilmiş numune ve arayüzeyinin a) x100 ve b) x 400 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 8. 30 dakika sürede birleştirilmiş numune ve arayüzeyinin a) x100 ve b) x 400 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 9. 15 dakika sürede birleştirilmiş numune ve arayüzeyinin a) x100 ve b) x 400 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.

Değişik lehimleme sürelerinde ve aynı sıcaklıkta yapılan sert lehimleme işlemlerinden elde edilen görüntülere göre x100 büyütmedeki fotoğraflar değerlendirildiğinde lehimleme süresinin azalmasına orantılı olarak ara bağlayıcı folyo kalınlığının arttığı görülmektedir. Paslanmaz çeliğin Ag, Cd, Zn lehimleri ile lehimlenmesine ait deneyler, lehim dikiş kalınlığının azalmasıyla mukavemet değerlerinin arttığını göstermiştir. Çok küçük lehim aralıklarında lehim bağlantısı mukavemetindeki azalma dikışteki hatalarla açıklanmaktadır (14). Görüntülerden lehim ara yüzeyi ve bitişindeki bölgeler dikkatlice incelendiğinde olası kaynak hatalarına (boşluk, curuf kalıntısı, yetersiz koruma vb.) rastlanmamıştır. Görüntülerden elde edilen sonuçlara göre 700°C'de titanyum ile bakır malzemelerin ara bağlayıcı gümüş folyo kullanılarak emniyetli bir şekilde sert lehimleme ile birleştirilmesi mümkündür.

4.SONUÇLAR

* Difüzyon sert lehimlemesi yöntemi ile birleştirilmiş numunelerde kaynak süresinin artmasıyla birleştirilmiş numunelerin her yerinde sertliğin azaldığı tespit edilmiştir.

* Sertlik ölçümü sonucunda, diğer kaynak yöntemlerinde görülen arayüzeydeki ani sertlik değişimi difüzyon sert lehimlemesi yöntemi ile birleştirilmiş numunelerde görülmemiştir.

* Birleştirmelerdeki mikroyapı görüntüleri değerlendirildiğinde, ergitmeli kaynak yöntemlerindeki kaynak metali bölgesinde meydana gelen hatalara (curuf kalıntısı, boşluk vb.) bu yöntemde rastlanmamıştır.

* Kaynak işlemi esnasındaki sıcaklık, alışılmış kaynak yöntemleri ile elde edilen birleştirme sıcaklığından daha düşük olduğundan numunelerde gözle görülebilir bir çarpılma kaydedilmemiştir.

*Kenar makaslama testi sonucunda en iyi mukavemetin 120 dakika süreyle lehimlenen numunede olduğu tespit edilmiştir. Ancak 15 dakika kaynak süresi de yeterli mukavemeti sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Farklı Takım Çeliklerinin Katı Hal Kaynağı, *II. Ulusal Kaynak Sempozyumu bildiri kitabı*, İstanbul, 303-313 (1989).
2. Kurt, A., Türker, M., Aksoy, M., Orhan, N., Toz metal bronz malzemenin düşük karbonlu çeliğe difüzyon kaynağında gözenekliliğin difüzyona etkisi, *2. Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu*, IWTS'98, İstanbul, 130-138 (1998).
3. Porter, D. A., Easterling, K. E., Phase Transformation in Metals and Alloys, New York, *Van Nostrand Reinhold*, 340, 341 (1981).
4. Yılmaz, O., Çelik, H., Difüzyon kaynaklı paslanmaz çelik-bakır ikilisinde kaynak bölgesi etüdü, *MAMTEK'99*, Manisa, 166-174 (1999).
5. Rosen, R. S., Walmsley, D. R., Munir, Z. A., The properties of silver-aided diffusion welds between uranium and stainless steel, *Welding Journal*, AWS, 65(4): 83-92 (1986).
6. Ceyhun, V., Uzkut, M., Şahin, S., Difüzyon kaynağı ve uygulamaları, Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, *Gedik Eğitim Vakfı*, İstanbul, 178-186 (1996).
7. Kurşungöz, N., Kurşungöz, H., Difüzyon Kaynağı, Uluslar arası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, *Gedik Eğitim Vakfı*, İstanbul, 203-211 (1996).
8. Alderon, P. D., Walmsley, D. R., Munir, Z. A., An investigation of diffusion welding of pure and alloyed aluminium to type 316 stainless steel, *Welding Journal*, AWS, 64(4): 104-113 (1985).
9. Oğuz, B., Demirdışı metallerin kaynağı, *Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş.*, İstanbul, 468 (1990).
10. Oğuz, B., Sertlehimleme, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul, 506-523 (1988).
11. Oyama, T., Mizuhara, H., Furnace Brazing, *ASM Handbook*, A.B.D, 6: 130-133 (1993).
12. ASTM A 264 Standard Specification for Stainless Chromium-Nickel Steel-Clad plate, *Sheet and Strip*, February (1995).
13. Oğuz, B., Ark Kaynağı, *Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş.*, İstanbul, 24 (1986).
14. Bodur, H. O., Sert Lehimleme, *Askaynak*, İstanbul, 47-53 (1996).

Geliş Tarihi:09.07.2002

Kabul Tarihi:22.11.2002