

# Difüzyon Sert Lehimlemesi İle Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Behçet GÜLEŇÇ  
Y.Doç. Dr.

Teknik Eğitim Fakültesi  
Metal Eğitimi Bölümü  
Gazi Üniversitesi  
Beşevler-Ankara

*Bu çalışmada, alışımlı kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri çok zor veya imkansız olan titanyum ile düşük karbonlu çelik malzemelerin difüzyon sert lehimlemesi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Kaynak işleminde bir ara bağlayıcı (difüzyon yardımcı) kullanılmış ve birleştirme argon gaz koruması altında ve fırında gerçekleştirilmiştir. Malzemeler, 700 °C'de değişik sürelerde sabit yük altında kaynak işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen birleştirmelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kaynaklı numunelere kenar makaslama testi uygulanmıştır. Mekanik incelemeler sonucunda kaynak süresinin artmasıyla makaslama kuvvetinin arttığı ve de hem kaynaklı numunelerde hem de kaynak ara yüzeyinde sertliğin düştüğü tespit edilmiştir. Optik mikroskop görüntülerine göre lehimleme süresinin artmasıyla ara bağlayıcı folyo kalınlığının azaldığı görülmüştür.*

*Anahtar Kelimeler: Sert Lehimleme, Mikroyapı, Kenar Makaslama Testi.*

## GİRİŞ

Malzemelerin birleştirme teknikleri, malzemenin cinsine, birleştirmenin amacına ve kaynak usulüne göre değişmektedir. Malzemeler kaynakla iki tür yöntemle birleştirilebilirler. Bunlar ergitmeli kaynak yöntemleri ve ergitmesiz kaynak yöntemleri olarak bilinmektedir. Ergitmeli yöntemler elektrik ark, oksijen alevi ve lazer gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Daha çok uzay ve uçak sanayinde kullanılan ve de difüzyon kaynağına da içine alan gelişmiş malzemelerin birleştirilmeleri katı hal kaynak teknikleri ile yapılmaktadır. Farklı metallerin veya farklı malzemelerin birleştirme tekniklerinin yaklaşık % 40'ını difüzyon kaynağı oluşturmaktadır. Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde yine yaklaşık % 20'sini titanyum ve alaşımları oluşturmaktadır [1].

Difüzyon kaynağı ile ilgili ilk teori 1944'te Kinzel tarafından sunulmuştur. Daha sonra Gerken ve Owezaski 1965'te üç safhalı bir mekanizma ileri sürmüşlerdir. Sonraki yıllarda Shwartz, King ve Owezaski birbirlerinininkiyle aynı olan bir model sunarak kendi modellerinin son safhaları ile Gerken ve Owezaski modelinin ilk safhasını birleştirmişlerdir. Bu modele göre ilk safhayı, birleşme yüzeylerinin basınç altında ilk temas sürünme meydana getirmektedir. İkinci safhada, birinci safhada yok edilemeyen arakesit boşlukları yok edilmekte ve arakesit tane sınırları daha düşük

bir enerji seviyesine, yani arakesit düzlemi dışına geçmektedirler. Buradaki hakim mekanizma tane sınırı difüzyonudur. Son safhayı oluşturan üçüncü safhada ise tane içindeki boşlukların hacim difüzyonu ile doldurulmasıdır [2].

Benzer olmayan metal ve alaşımlarda, kaynak sonrası birleşme bölgesinde metaller arası kırılğan bir faz oluşuyor yada yeniden ergime ile malzeme gevrekleşiyorsa veya dayanım azalıyorsa bu gibi durumlara karşı difüzyon kaynak yöntemi tercih edilmektedir [3,4,5]. Difüzyon kaynağı, ısı ve basınç uygulaması gerektirdiğinden, parçanın şekline, ölçülerine ve istenilen atmosfer tipiyle sıcaklığa bağlı olarak bir takım özel ekipmanlar gerektirir. Her malzemeye göre parça büyüklüğü, parça sayısı, kaynak sıcaklığı veya kaynak atmosferi için kullanılan cihazlar farklıdır. Kaynak; vakumda, koruyucu gaz atmosferinde veya son zamanlarda tuz banyosunda yapılmaktadır [5].

Difüzyon kaynağında en önemli kaynak parametreleri; kaynak sıcaklığı, basınç süresi, şekil değiştirme miktarı, yüzey kalitesi ve koruyucu atmosferdir. 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 [5,6]. Difüzyon yardımcı 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 [7].

Birleştirmenin, ilave metalin solidüs sıcaklığının üstünde bir noktada katılaştığı kapiler sert lehimleme süreci, difüzyon sert lehimlemesi olarak adlandırılır [5,8]. Diğer yöntemlerle yapılması zor olan birçok sert lehimleme işlemi difüzyon sert lehimlemesi ile yapılabilir. 1920'lerde başlayan ve 1930'larda ticari olarak kullanılan fırında sert lehimleme işlemi[9] basit biçimli birleştirmelerin kaynağında uygundur. Bu yöntemlerde kutu veya sürekli tip fırınlar (seri üretim için) kullanılır [10]. Fırında sert lehimleme işleminde genelde demirdışı bir dolgu metali birleştirme malzemesi olarak kullanılır. Temizlenmiş parçalar ve lehim dolgu malzemesi birbirlerine montaj edilerek fırın içine yerleştirilir ve sert lehimleme işlemine tabi tutulurlar. Kaynak esnasında fırın içerisine indirgeyici bir gaz gönderilir [9,11].

Titanyum ve alaşımları 700-860°C'in üstünde, yani alfa-titanyumun özellikle güçlü bir oksijen eriticisi olan beta-titanyuma dönüşmesi noktasının üstündeki sıcaklıklarda sertlehimlenirler. Sertlehimlenmiş parçaların yüzeyinde oksit filmi ve alfalaşmış tabaka oluşması, parçaları bir akan saf argon veya vakumda ıstamakla önlenir [7].

Bu çalışmada, alışılmış kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri çok zor veya imkansız olan titanyum ile düşük karbonlu çelik malzemelerin difüzyon sert lehimlemesi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Titanyum ile düşük karbonlu çelik malzemelerin difüzyon sert lehimlemesi ile birleştirildiği bu çalışmada kaynaklı numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

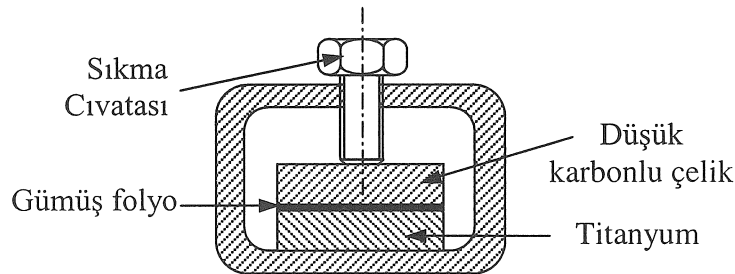
Bu çalışmada, Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen düşük karbonlu çelik (Ç1020) ile ASTM Grade 2 alaşımsız titanyum (% 99.2) ve ilave metal olarak da çelik, sert metal ve bakır malzeme için yüksek gümüşlü, düşük birleşme sıcaklığına sahip A1306 gümüş alaşımı (Çekme dayanımı 35-40 Kg/mm<sup>2</sup>) kullanılmıştır.

Kaynak için kullanılacak titanyum ve çelik malzemeler levha halinde olup kalınlıkları 5 mm'dir. Levha halinde olan numuneler kaynak için 15x30x5 mm ebatlarında kesildikten sonra sırasıyla 1200 grit'e kadar SiC su zımparasi ile zımparalanarak aseton ile temizlenmişlerdir. Aynı şekilde gümüş folyolar da zımparalanmış ve temizleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaynak yapılacak numuneler arasına gümüş folyo konulduktan sonra Şekil 1'de şematik gösterilen mekanik bir aparat hazırlanmış ve numuneler içerisine yerleştirilerek torkmetre ile sabitleştirilmişlerdir. Kaynatılmış numunelerin hepsine uygulanan yük sabit tutulmaya çalışılmıştır. Sabit bir yük altında olan numuneler yatay seramik tüp fırın içerisine yerleştirilmiş ve argon gazı koruması altında fırın çalıştırılmıştır. Kaynak süresi biten numuneler yine argon gazı kontrolünde oda sıcaklığına kadar kontrollü olarak soğutulmuşlardır.

Numuneler ilk olarak 700°C'lik bir sıcaklıkta 120 dakika teste tabi tutulmuş ve başarılı bir birleşme elde edilmiştir. Daha sonra ideal sert lehimleme sıcaklığının tespiti amacıyla diğer numuneler 650 °C'lik bir sıcaklıkta ve 120 dakika teste tabi tutulmuş ve birleşme sağlanamamıştır.

Tablo 1. Kullanılan çelik malzemenin kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri.

Element	C	Mn	Si	P	Fe	Mekanik Özellikleri
Düşük Karbonlu Çelik (% Ağırlık)	0.15	0.30	0.10	0.040	Kalan	Kopma Dayanımı: 42-55 kg/mm <sup>2</sup>



Şekil 1. Deneylerde kullanılan sıkma düzeneğinin şematik gösterilimi.

Literatür araştırması sonucunda sert lehimleme işleminin olmayışının veya bozuk oluşunun nedeni olarak [12] işleme sıcaklığına henüz ulaşılmaması ve ısı kaynağının debisinin yetersiz oluşu gösterilmektedir. Ayrıca "DIN 8505'e göre çalışma sıcaklığı lehimin yüzeyi ısıttığı veya sınır yüzeyi difüzyonu ile sıvı bir faz oluşturduğu en düşük yüzey sıcaklığıdır [13]" bilgisi ışığında kaynak sıcaklığının asgari 700°C olduğu düşünülmüş ve 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 azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen birleştirmelere mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla hazırlanan bir kalıp ile kenar makaslama testi uygulanmış, ayrıca kaynaklı bölgenin mikroyapı ve sertlikleri incelenmiştir. Numuneler öncelikle metalografik inceleme için 10x20x10 mm kalacak şekilde talaşlı işlenmişler ve sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik su zımparası ile metalografik kurallara uyularak zımparalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Zımparalama işlemi biten kaynaklı numunelerin dağlama problemlerinden dolayı çözeltiye daldırılmadan fotoğrafları çekilmiştir. Mikroyapı görüntüleri için PRIOR marka optik mikroskop yardımı ile x100 ve x400 büyütmelerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler daha sonra 3 µm'lik elmas pasta ile DP mikro keçe üzerinde parlatılmışlardır. Parlatma işleminden sonra numuneler öncelikle çelik malzeme için % 2 nital çözeltisi ile dağlanmış ve o şekilde fotoğrafları görüntülenmiştir. Titanyum malzemesinin dağlanması için 10 ml HF 30 ml HNO<sub>3</sub> ve 50 ml su ile oluşturulan bir çözelti hazırlanmış ve kaynaklı numunelerin sadece titanyum taraflarına sürülmüştür. Ancak titanyum üzerine damlatılan

dağlayıcı çelik malzeme üzerine yayılmış ve malzemeye zarar vermiştir. Bunun için her iki malzeme aynı anda net olarak görüntülenememiştir. Fotoğrafi çekilen numunelerin sertlik ölçümleri 136<sup>0</sup> 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.

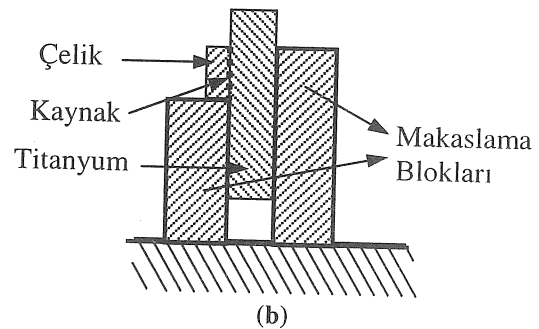
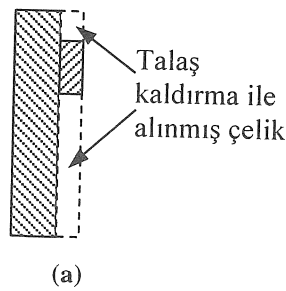
Makaslama testi için numuneler Şekil 2 a'da görüldüğü gibi hassas bir şekilde freze tezgahında işlenerek hazırlanmışlardır. Hazırlanan numunelere uygun toleranslarda Şekil 2 b'de görülen kalıp hazırlanmış ve hazırlanan test numuneleri MFL SYSTEM tipi çekme cihazında 1 mm/dk basma hızında teste tabi tutulmuşlardır.

Testler için toplam üç adet makaslama numunesi hazırlanmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir.

## DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### Sertlik Deneyi Sonuçları ve Tartışılması

Sert lehimleme ile birleştirilmiş numunelerden elde edilen ve Şekil 3'de gösterilen sertlik değerlerine göre, difüzyon sert lehimleme süresinin azalmasıyla gerek ana malzemelerde gerekse ara bağlayıcıdaki (difüzyon yardımcısı) sertlik değerleri bir artış göstermiştir. Ancak, sertlik ölçümleri sonucunda kaynaklı numunelerin her yerindeki sertlik değerlerinin aynı olduğu görülmüştür. 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 karşılaşılması [4]. Bu yüzden kaynaklı numunelerde gözle görülebilir bir çarpılma mevcut değildir.



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

## Makaslama Test Sonuçları ve Tartışılması

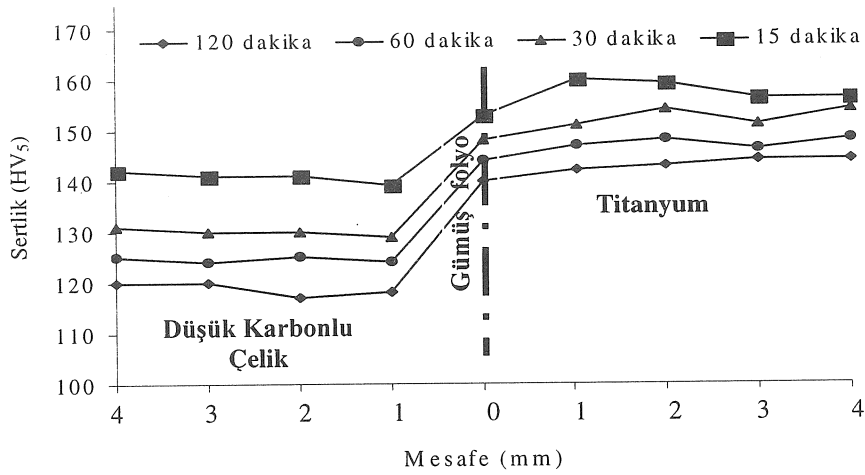
Yapılan deneyler sonucu elde edilen bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde 15 dakika süre ile yapılan sert lehimleme numunesi ile 30 dakika süre ile yapılan numuneler arasında diğerlerine göre daha çok fark olduğu açıkça görülmektedir.

Bu sonuç ile Şekil 3'de verilen bilgiler beraberce değerlendirildiğinde sertlik eğrisinde de 15 dakikalık numune ile 30 dakikalık numune arasındaki sertlik farkının diğerlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki sert lehimleme süresinin artmasıyla sertlik düşmekte buna bağlı olarak makaslama mukavemeti artmaktadır. Makaslama deneyi sonucunda kopma işlemi ara bağlayıcı folyo titanyum malzemede kalacak şekilde

gerçekleşmiştir. Literatür verileri ışığında bir malzemenin makaslama mukavemeti çekme mukavemetinin  $\frac{3}{4}$ 'ü kadardır [14]. Deneyler sonucu elde edilen değerler bu birleştirmelerin sağlıklı olduğunu göstermektedir.

## Mikroyapı Sonuçları ve Tartışılması

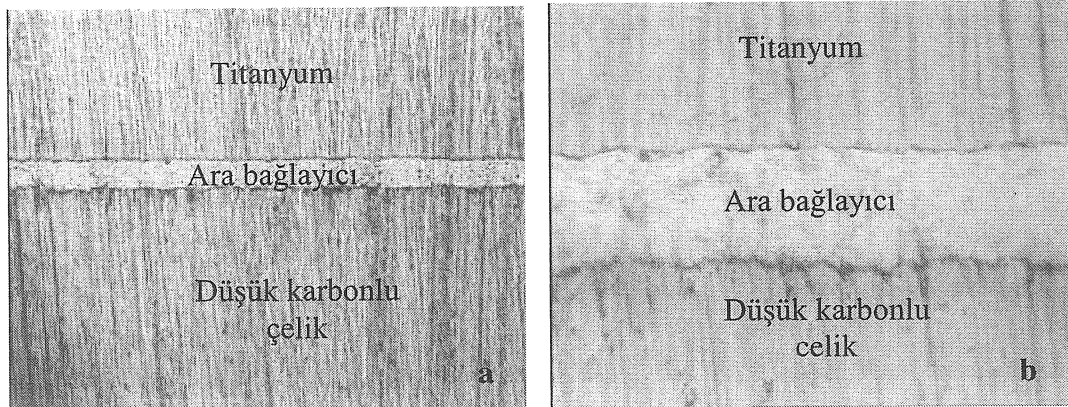
Sert lehimleme ile birleştirilen ve dağlama işlemi yapılmaksızın elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. Burada ara bağlayıcı folyo bir tabaka halinde kendini göstermektedir. Kaynak tecrübelerinden yararlanılarak birleştirmenin gayet iyi olduğu söylenebilir.



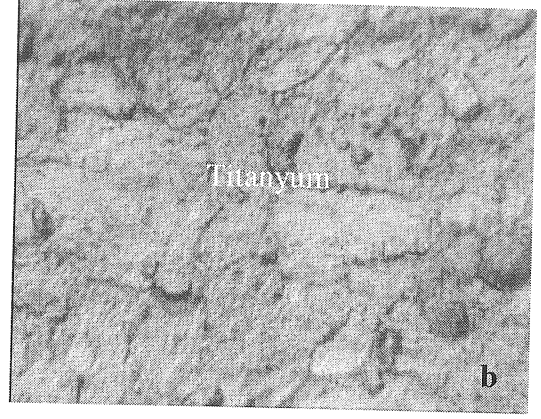
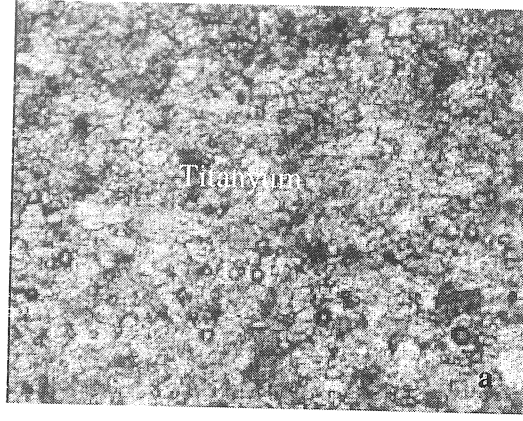
Şekil 3. Birleştirilmiş numunelerde sertlik değişimi.

Tablo 2. Kenar makaslama test sonuçları.

Difüzyon sert lehimleme süresi	15 Dakika	30 Dakika	60 Dakika	120 Dakika
Makaslama Mukavemeti (Kg/mm <sup>2</sup> )	23,03	24,63	25,52	26



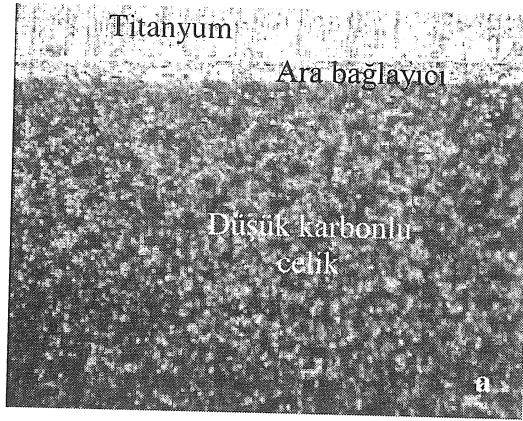
Şekil 4. 15 dakika süre ile birleştirilmiş numunenin dağlama öncesi makro yapısı a) x100 ve b) x400.



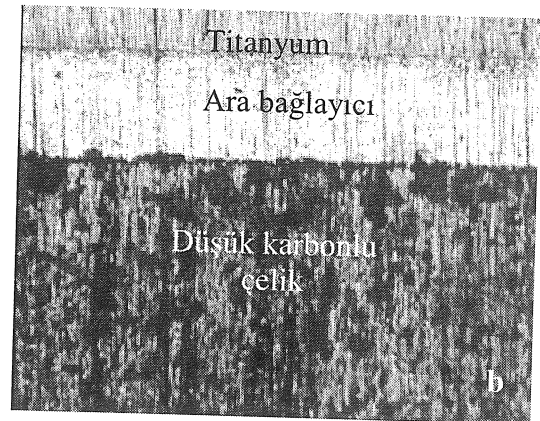
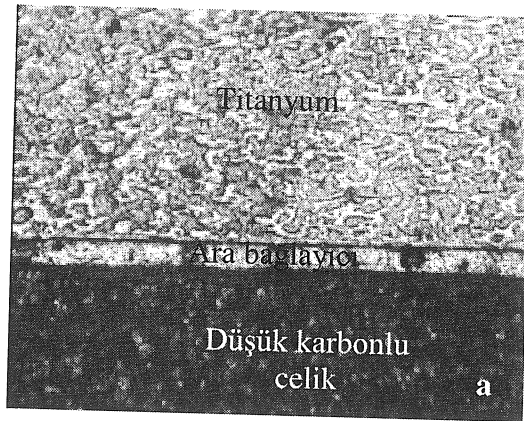
Şekil 5. 15 dakika süre ile birleştirilmiş titanyumun optik mikroskop görüntüleri a )x100 ve b) x400.

Titanyum malzemeden elde edilen görüntülere göre alışılmış kaynak yöntemlerinde elde edilen arayüzeyden uzaklaştıkça değişen mikroyapı burada

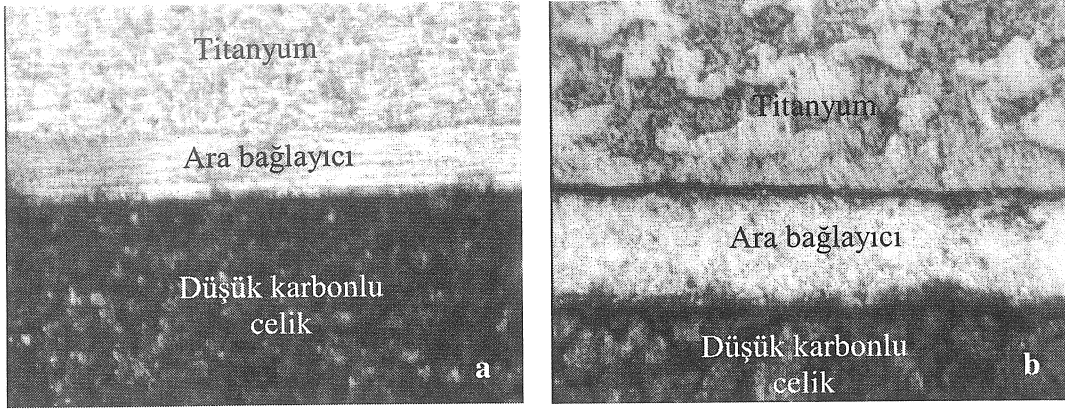
söz konusu değildir. Birleştirme esnasında ve sonrasında meydana gelen ısı farklılıklar bu yöntemle yok edildiğinden görüntü gayet homojen bir tane yapısına sahiptir.



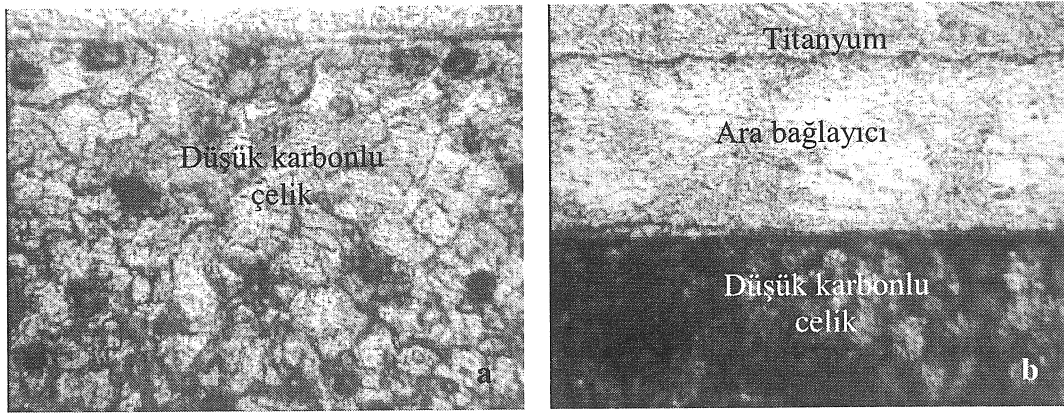
Şekil 6. 120 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirimin ve ara yüzeyinin optik mikroskop görüntüleri a )x100 ve b) x400.



Şekil 7. 60 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirimin ve ara yüzeyinin optik mikroskop görüntüleri a )x100 ve b) x400.



Şekil 8. 30 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirmenin ve ara yüzeyinin optik mikroskop görüntüleri a )x100 ve b) x400.



Şekil 9. 15 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirmenin a) düşük karbonlu çelik x 400 ve b) arayüzeyin optik mikroskop görüntüleri x 400.

Sert lehimleme ile birleştirilen numunelerden elde edilen optik mikroskop görüntülerine göre bütün numunelerin her yerinde (ara yüzeye yakın veya uzak bölgelerindeki) tane yapısının aynı olduğu görülmüştür. Bu da kaynak esnasında ısı girdisinin homojen oluşuna bağlıdır. Elde edilen bütün görüntüler değerlendirildiğinde kaynak süresinin artmasıyla birleştirme yardımcısı olarak kullanılan ara bağlayıcı folyonun kalınlığının azaldığı x400 büyütmedeki bütün fotoğraflarda açıkça görülmektedir. Bu görüntüler; hem sertlik hem de makaslama sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde sert lehimleme süresinin artmasıyla ara bağlayıcı folyonun incelmeye ve buna bağlı olarak da mukavemetin artması sonucu ortaya çıkmıştır.

#### SONUÇLAR

- Kenar makaslama testi sonucunda bütün numunelerden elde edilen verilere göre birleştirmelerin mukavemetinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

- Birleştirilen numunelerden elde edilen bilgilere göre sert lehimleme süresinin artmasıyla sertlik düşmekte buna bağlı olarak makaslama mukavemeti artmaktadır
- Makaslama deneyi sonucunda kopma işlemi ara bağlayıcı folyo titanyum malzemede kalacak şekilde gerçekleşmiştir.
- Kaynak ısı girdisinin malzemenin her yerinde homojen oluşundan dolayı her bir numunedeki mikroyapı (arayüzeyden uzaklaşmaya rağmen) aynı görünümü sergilemektedir.
- Optik mikroskop görüntülerine göre birleştirmelerde sert lehimleme süresinin artmasıyla ara bağlayıcı folyo kalınlığının azaldığı görülmüştür.
- Sert lehimleme süresini gereğinden fazla uzatmak ekonomik açıdan olumlu değildir.

## JOINING OF TITANIUM TO LOW CARBON STEEL BY FURNACE BRAZING AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES

In this study, joining of titanium to low carbon steel, which is very difficult or impossible with conventional techniques, by using diffusion brazing was investigated. Bonding process was carried out by using a silver interlayer under argon gas atmosphere in furnace. The samples were joined under fixed load at 700 °C for different times followed by investigation of mechanical and microstructural properties. Shear tests were applied to determine mechanical properties of the joined samples. Shear test showed that the shear strength is increasing with increased joined time. Shear test also showed that the hardness of constituents and interface decreased after joining process. Optical micrographs indicated that the thickness of interlayer was decreased with increasing the joining time increases.

Key words: Brazing, Microstructure, Shear Test.

### KAYNAKÇA

1. Kurt, A., Türker, M., Aksoy, M., Orhan, N., Toz metal bronz malzemenin düşük karbonlu çeliğe difüzyon kaynağında gözenekliliğin difüzyona etkisi, *IWTS'98*, 130-138, İstanbul.
2. Porter, D. A., Easterling, K. E., *Phase transformation in metals and alloys*, 1984, London, Y.K.
3. Yılmaz, O., Çelik, H., Difüzyon kaynaklı paslanmaz çelik-bakır ikilisinde kaynak bölgesi etüdü, *MAMTEK'99*, 166-174, Manisa.
4. 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*, Vol. 64, Number 4, 104-113, 1985, AWS.
5. Kurşungöz, N., Kurşungöz, H., Difüzyon Kaynağı, *Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu*, Gedik Eğitim Vakfı, 1996, 203-211, İstanbul.
6. Rosen, R. S., Walmsley, D. R., Munir, Z. A., The properties of Silver-Aided diffusion welds between uranium and stainless steel, *Welding Journal*, April Vol. 65, Number 4, 83-92, 1986, AWS.
7. Oğuz, B., Demirdışı metallerin kaynağı, *Oerlikon kaynak elektrotları ve sanayi A.Ş.* 1990, 468, İstanbul.
8. Oğuz, B., Sertlehimleme, *Oerlikon Yayınları*, 1988, 159, 506-523, İstanbul.
9. Oyama, T., Mizuhara, H., Furnace brazing, *ASM Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing, Soldering*, 331-334, 1993.
10. Kalpakjian, S., *Manufacturing processes for engineering materials*, Third edition, Addison-Westley, 1997, 785.
11. Degarmo, E.P., Black, J. J., Kohser R. A., *Materials and Processes in Manufacturing.*, 8 th Edition., Prentice-Hall, Inc 1997, 1041.
12. Lalik, S., (Çeviri) Metallerin işlenmesi için temel el kitabı, Yayımlayan: Arbeitsstelle für Betriebliche Berufsausbildung, Bonn, ABB, Frankfurt.
13. Bodur, H. O., Sert lehimleme, *Eczacıbaşı-Askaynak Kaynak Elektrotları ve Telleri*, Nisan 1996, İstanbul.
14. Oğuz, B., Ark Kaynağı, *Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş.*, 24, İstanbul, 1986.