

PATLAMALI KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN TİTANYUM VE BAKIR LEVHALARIN MİKROYAPI VE KOROZYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Nizamettin KAHRAMAN*, Behçet GÜLENC**

*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Maltepe, ANKARA

**Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü,
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada titanyum ve bakır levhalar patlamalı kaynak yöntemi ile değişik patlayıcı oranlarında birleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda birleştirilmiş numunelerin eğme, sertlik, mikroyapı ve korozyon davranışları incelenmiştir. Eğme testleri sonucunda kaynaklı numunelerin arayüzeylerinde gözle görülebilir ayrılma, çatlak ve yırtık görülmemiştir. Birleştirilmiş numunelerden ölçülen en yüksek sertlik değerleri arayüze bitişik bölgeden ölçülmüştür. SEM çalışmaları sonucunda artan patlayıcı oranı ile birlikte, birleşme arayüzeyinde elde edilen dalga boylarında ve genliğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Korozyon testleri sonucunda kaynaklı numunelerdeki korozyon kaybının deney başlangıcında fazla olduğu, ancak bu kaybın daha sonraki sürelerde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca artan patlayıcı oranı ile birlikte deformasyon miktarı artmış bu artışta korozyon kayıplarının artmasına sebep olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Titanyum, Patlama kaynağı, Mikroyapı, Korozyon

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND CORROSION BEHAVIOUR OF EXPLOSIVELY BONDED TITANIUM AND COPPER PLATES

ABSTRACT

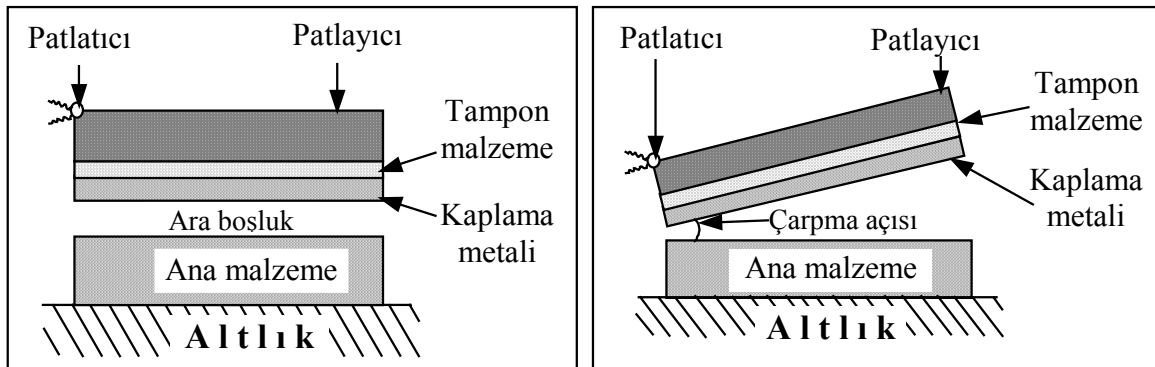
In this study, copper and titanium plates were bonded explosively by using different amount of explosive. Bending tests, hardness tests, microstructural examination were conducted on the samples and corrosion behaviour of bonded plates were examined. Bending test indicated that bonded samples are free from crack, tear and no separation was observed at the bonding interface. The areas next to the bonding interface showed higher hardness than the rest of the sample did. It was seen from the SEM pictures that wavelength and amplitude of the interfaces increased with increasing the amount of explosive. Corrosion test indicated that bonded samples initially showed a high corrosion rate and then it decreased. Corrosion losses increased with increasing deformation because of increasing explosive amount.

Key word: Titanium, Explosive bonding, Microstructure, Corrosion

1. GİRİŞ

Patlamalı kaynak veya kaplama, diğer geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen hem benzer hem de farklı özellikteki metallerin kontrol edilen koşullar altında bir metalik kütlelerin diğer bir metalik kütle üzerinde patlamalı bir etki ile bir bağ oluşturma işlemidir (1,2). Bu kaynak yönteminde

arayüzeyde hiç veya en az seviyede ergime meydana gelip iki parça arasında metalurjik bir bağ oluşur (3). Patlamalı kaynak tekniği benzer veya benzer olmayan metal ve alaşımlarının birleştirilmesinin yanında çok katlı (multilayered) ve tel ile güçlendirilmiş (wire-reinforced) kompozit malzemeler üretmek için de kullanılabilir (4,5). Genel olarak % 5'den fazla genleşen metal ve



Şekil 1. Paralel ve eğik düzlemde patlamalı kaynağın şematik gösterimi (7).

alaşımaları, patlamalı kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirler (6).

Patlamalı kaynak, iki metali birleştirmek için patlayıcıların, patlama enerjisinden yararlanılarak yapılan bir tür kaynak işlemidir. Patlama, parçaların yüksek bir hıza ulaşarak çarpışmaları esnasında metalik birleşmeyle, şekillenmelerini sağlar. Bu işlem, birleştirilecek parçalara herhangi bir ısı uygulanmaksızın yapılır (8,9). Kaynak esnasında oluşan temas basıncı oldukça yüksektir ve üst tabakanın kinetik enerjisi dalgali bir arayüzey oluşturur. Bu darbe iki yüzeyi birbirine mekanik olarak kilitlet. Burada, plastik deformasyon sonucu soğuk basınç kaynağı oluşur (10,11).

Bu kaynak yönteminde çarpışmanın etkisiyle meydana gelen sıcaklığa rağmen normal olarak arayüzeyde çoğu zaman difüzyon meydana gelmez. Ancak bölgesel olarak çok küçük miktarlarda ergimeler olabilir. Difüzyon olmamasının sebebi; sıcaklığın çok dar bir alanda ve çok kısa bir sürede meydana gelmesinden dolayıdır. Ancak bazı durumlarda kaynak esnasında 0.1 µm difüzyon olduğu bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (12).

Yang ve arkadaşları, ticari saflıkta (α -Ti) ile düşük karbonlu çelik malzemeleri patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirerek optik mikroskop, SEM ve TEM incelemesi yapmışlardır. Sonuçta, α -Ti-düşük karbonlu çelik kompozit malzemesinde α -Ti matriksinde ve arayüzeyde adyabatik kesme bantlarının (adiabatic shear band) olduğunu, ancak çelik üzerinde bu bantların oluşmadığını belirtmişlerdir. SEM ile elde edilen görüntülerden, kesme bantlarının genişliklerinin 4-8 µm arasında olduğu ve bu bantların içerisinde deformasyon ikizlenmelerine rastlanmadığı tespit edilmiştir (13).

Trutnev ve arkadaşları, alüminyumun titanyum, çelik ve nikel birleştirilebilirliğini belirlemek üzere bir çalışma yapmışlar ve alüminyumun titanyuma kaynaklanabilirliğinin çelik ve nikelden daha iyi olduğunu ve ara boşluk mesafesi ve patlayıcı miktarının artmasıyla birleşme kalitesinin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca kaynaklı bölgelerdeki sertliğin malzemelerin kaynak öncesi sertliğinden daha fazla olduğunu ve çarpışma esnasında temas eden yüzeylerde çalışma sertleşmesinin olduğu (alüminyum hariç) tespit etmişlerdir (14).

Ma and Zhou, çelik levhaları patlamalı kaynak yöntemi ile titanyum kaplamışlar ve birleşme

arayüzeyinin deforme edilebilirliğini araştırmışlar ve deformasyon özelliği 50-200 µm genişliğinde ve adyabatik kayma bantlarının 1000 µm uzunluğun altında tutularak kontrol edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (15).

Wronka (16), yaptığı çalışmada patlamalı kaynak ile birleştirme işleminde kullanılan parçaların kalınlığının ve altlık tipinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda patlamalı kaynak işleminde bu iki faktörün dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu faktörlerin ilişkisi parça çarpışma geometrisi üzerinde analiz edilmiş ve zayıf şok dalgaları teorisi ve ultrasonik dalga teorilerini ortaya atmışlardır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemiz endüstrisinde istenilen yeri alamayan ve büyük öneme sahip özellikle gelişmiş ülkelerde yaygın bir biçimde kullanılan patlamalı kaynak yöntemi ile kompozit levha üretmektir. Tek malzeme yerine kompozit levha kullanımının nedeni; daha düşük maliyette korozyon direnci, düşük maliyette kabul edilebilir dayanım, geliştirilmiş elektriksel özellikler yada daha iyi aşınma ve erozyon direncidir. Bu amaç ile, bakır levhalar üzerine patlamalı kaynak yöntemi ile titanyum levhalar kaplanmıştır. Kaynak işlemleri, alt malzeme ile kaplama levhası arasında 5⁰'lik eğim verilerek değişik patlayıcı oranlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen birleştirmelerin mikroyapı ve korozyon dayanımları incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada 100 x 150 x 1,5 mm ebatlarında Ti 6Al 4V titanyum ile 100x150x2 mm ebatlarında ticari saflıkta (%99,98) bakır sac levhalar patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde patlayıcı oranının birleşme arayüzeyine etkisini görmek amacıyla literatürde verilen bilgiler ışığında 5⁰'lik eğik geometri ile değişik patlayıcı oranları kullanılmıştır. Birleştirme işlemleri esnasında patlayıcı olarak M.K.E. Barutsan A.Ş'nin ürettiği Elbar-5 (% 90 amonyum nitrat, % 4,5 motorin ve % 3 TNT) toz patlayıcı kullanılmıştır. Patlama esnasında üst levha olarak titanyum kullanılmış ve titanyumun üzerine 1 mm kalınlığında çelik sac tampon konulmuştur. Kullanılan patlayıcı miktarı, patlatma esnasında kullanılan titanyum ile tampon sac levhaların toplam ağırlığıyla orantılı olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Numunelere göre kullanılan patlayıcı oranları.

Numune No	Üst parça ağırlığı (g)			Patlayıcı oranı (R)	Patlayıcı miktarı (g)
	Titanyum	Tampon sac	Toplam ağırlık		
1	100	115	215	1	225
2	100	115	215	1,2	270
3	100	115	215	1,5	322
4	100	115	215	2	430
5	100	115	215	2,5	537
6	100	115	215	3	645

Patlatma işlemleri M.K.E. Barutsan A.Ş.'nin yetkili bir teknik elemanı gözetiminde Ankara-Elmadağ'daki tesislerinin bulunduğu açık arazisinde ve uzaktan manyetolu bir sistem ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, kum havuzu içerisine yerleştirilmiş 1500x2000x150 mm ebatlarında çelik bir altlık tabla kullanılmış olup bakır malzemenin zarar görmemesi için altlık ile bakır malzeme arasına 6 mm kalınlığında lastik bir tabaka yerleştirilmiştir. Patlayıcı, birleştirilecek malzeme ebatlarında hazırlanmış karton kutular içerisine yerleştirilmiş ve ağız kısımları kapatılmıştır. Patlatma işlemleri her patlayıcı oranından üçer adet yapılmıştır ve patlama sonrası malzemeler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Kaynaklı numunelere eğme testi, mikrosertlik testi, korozyon testi ve SEM incelemeleri yapılmıştır.

Patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş titanyum-bakır çifti prEN 910 belirtilen şartlarda (17) eğme testine tabi tutulmuştur. Hazırlanan kaynaklı numunelerin genişlikleri 25 mm ve eğme çapı 15 mm olarak seçilmiştir. Eğme testi için hazırlanan kaynaklı numunelerin tümünde test esnasında titanyum kaplama levhası hem iç kısımda hem de dış kısımda kalacak şekilde eğme işlemleri yapılmıştır. Eğme testlerinde her bir numuneden her iki yöne ikişer adet numune işleme tabi tutulmuştur. Eğme testleri, INSTRON MFL SYSTEM tipi çekme cihazı ile 0,5 mm/dk ilerleme hızında yapılmıştır. Sertlik ölçümleri için hazırlanan numuneler bakalite alındıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Mikrosertlik ölçümleri Ankara Türk Traktör Fabrikası kalite kontrol laboratuvarlarında Zwick marka 3212002/00 tipi cihazda yapılmış ve 200 gram yük uygulanmıştır. Ölçümler birleştirilmiş numunelerin arayüzey ve dış yüzeylerinden 200 µm uzaklıktan ve de birleşmiş durumdaki iki malzemenin her bi-

rinin merkezinden olmak üzere 6 farklı noktadan 3'er adet ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

SEM çalışmaları için patlama yönüne paralel olacak şekilde kesilip bakalite alınan numuneler 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 µm'lik elmas pasta ile kecede parlatılmışlar ve önce bakır 4 g CuSO₄, 20 ml HCl ve 20 ml H₂O ile daha sonra titanyum 45 ml HCl, 15 ml nital, 15 ml HF ve 25 ml su ile oluşturulan çözelti ile dağlanmışlardır. Dağlanmış numunelerin SEM çalışmaları Kırıkkale Üniversitesi'nde bulunan Jeol JSM-5600 tipi cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Patlamalı kaynak işlemi ile birleştirilmiş numunelerdeki korozyon davranışlarının belirlenmesi için TS 8589'da (18) belirtilen şartlarda (suni atmosfer içinde yapılan korozyon deneyleri için genel kurallar) 15x15 mm ebatlarında ve her birinden 9'ar adet olmak üzere toplam 45 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca işlem görmemiş (orijinal) malzemelerden de 9'ar adet (titanyum ve bakır) numune aynı ölçülerde hazırlanmışlardır. Patlamalı kaynak işleminde kullanılan patlayıcı oranlarının farklı olması nedeniyle elde edilen malzemelerin kalınlık farkından dolayı bütün numunelerin yüzey alanları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yüzey alanı hesaplanan numuneler 1/10000 gram hassasiyetli elektronik terazide tartılarak rapor edilmiştir.

Korozyon testi için hazırlanan numuneler içerisinde % 3,5'lik NaCl çözeltisinin (korozyon bilimine deniz suyu olarak bilinen) bulunduğu cam kaplar içerisine konulmuştur. Patlamalı kaynak ile birleştirilmiş numunelerin her yerinde koroziyon etkinin aynı olması için numuneler dikey ile 15-30° açı yapacak şekilde yerleştirilmişlerdir.

Her numune ayrı bir kaba konulmuş ve kaplara, numunelerin hava ile temasını önlemek için numune seviyesinin üzerinde çözelti ilave edilmiştir. TS 8589'da, deneyin toplam süresinin, deneye tabi tutulan malzemelerin cinsine, çevre şartlarına, uygulanan deney metoduna ve deney değerlendirme kriterlerine bağlı olduğu belirtilmektedir. Burada deney süresi olarak 24, 48, 96, 240, 480, 720 ve 2016 saatten birinin seçilmesi uygun görülmektedir. Çalışmalarımızda hata payının en uzun süreli şartlarda daha az olacağı düşünüldüğünden deney süresi olarak 2016 saat seçilmiştir. Bu süre üç eşit parçaya bölünmüş ve (672, 1344 ve 2016 saat) ölçümler bu zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Test süresi biten korozyon numuneleri (her ölçüm için üç numune) buldukları korozif ortamdan çıkartılmış ve standartta belirtildiği gibi temizlenerek kurutulmuştur. Kurulanmış deney numuneleri daha önceden ölçümlerde kullanılan 1/10000 gram hassasiyetli elektronik terazi ile tartılarak ağırlık değişimleri rapor edilmiştir. Korozyon ölçümleri biten kaynaklı numunelerin ağırlık değişimleri 1 cm² yüzey alanı için hesaplanmış ve sonuçlar alınan üç ölçüm sonucunun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. İşlem görmemiş (orjinal) malzemelerin yüzey alanları ise (birleştirilmiş numunelerde her bir malzemenin 0,5 cm²'lik bir kısmı korozyona maruz kaldığından) 0,5 cm² alınarak hesaplanmıştır.

3. DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Titanyum ve bakır levhaların patlamalı kaynak yöntemi ile değişik patlayıcı oranları ile bir-

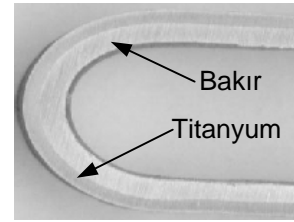
Tablo 2. Patlamalı kaynak ile elde edilmiş numunelerin sertlik değişimi (HV_{0,2}).

Malzeme	Arayüzeyden Uzaklık (µm)	Sertlik (HV _{0,2})				
		R=1,2	R=1,5	R=2	R=2,5	R=3
Bakır 102 HV	1800	107,1	109	114,1	118,2	121,2
	1000	104,1	106,4	107,1	108	108,7
	200	117,9	122	127,4	132,5	137,9
Titanyum 210 HV	200	230,4	238,7	248,2	257	268,4
	750	210,4	214,1	217,3	220,7	224,8
	1300	226,3	233,4	241,9	248,1	253

leştirme çalışmaları yapılmış ve patlayıcı oranı R'nin 1 olduğu durumlarda birleşme sağlanamamıştır. Bu birleştirme işleminde kullanılan patla-

yıcı miktarı az olduğundan patlama enerjisi de az olmuş ve patlayıcı üst parçayı yeterince hızlandıramamıştır. Yeterli hıza sahip olmayan üst parça, alt parça ile gerekli çarpışma basıncını oluşturamamış ve birleşme sağlanamamıştır. Kullanılan diğer patlayıcı oranları ise, (R=1,2-3) birleşme için gerekli basıncı sağlamış ve güvenli bir birleştirme elde edilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi yapılan eğme testleri sonucunda patlamalı kaynak ile elde edilen ve her iki yöne eğme testi uygulanan numunelerin birleşme arayüzeylerinde herhangi bir çatlak, yırtılma ve arayüzeyden ayrılma söz konusu değildir.



Şekil 2. Eğme testi yapılan titanyum-bakır numunenin şematik görüntüsü.

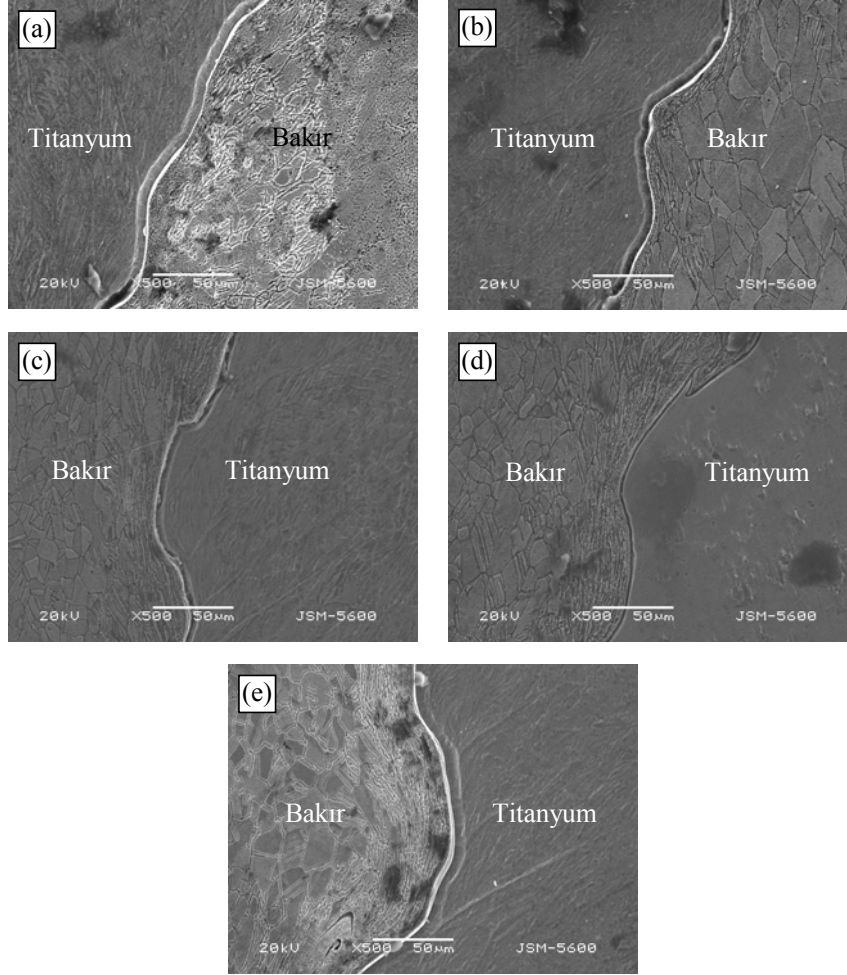
Tablo 2'de sertlik değerleri incelendiğinde patlamalı kaynak ile birleştirilen titanyum ve bakır çiftinin arayüzeyine 200 µm mesafeden ölçülen sertlik değerlerinin diğer ölçüm bölgelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki malzemenin de dış yüzeyinden 200 µm mesafeden ölçülen sertlik değerlerinin her iki malzemenin merkezinden ölçülen sertlik değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, patlamalı

kaynak işlemi esnasında en yüksek hızda çarpışmanın arayüzeyde meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Malzemelerin her yerinden ölçülen

sertlik değerleri işlem görmemiş malzeme sertlik değerlerine göre daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.

Buda patlatma işlemi esnasında meydana gelen soğuk deformasyon kaynaklanmaktadır. Her

kaynak ile birleştirdikleri titanyum ve nikel üzerinde yaptıkları çalışmada en yüksek sertliğin çarpışma yüzeyine yakın bölgede olduğunu ve her iki metalin sertliğinin de ilk sertliklerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebinin de arayüzeyde meydana gelen bölgesel darbe sertleş-



Şekil 3. Değişik patlayıcı oranlarında elde edilen birleştirmelerin SEM görüntüleri.

iki malzemenin orta kısımlarında sertliğin düşük olmasının sebebi ise orta bölgenin çarpışmadan az etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Durgutlu ve Gülenç (19) yaptıkları bir çalışmada patlamalı kaynak ile paslanmaz çelik ve bakır birleşmesi elde etmişler ve en yüksek sertliğin birleşme arayüzeyine yakın bölgede olduğunu, bunun sebebinin de arayüzeyde çarpışma basıncından dolayı meydana gelen soğuk deformasyondan kaynaklandığını belirtmişlerdir. İncelemeler sonucunda artan patlayıcı miktarı ile birlikte, her iki malzemede de sertliğin arttığı görülmüştür. Artan patlayıcı miktarı birleşme arayüzeyinde daha çok sertlik artışına sebep olurken orta kısımlarda bu etki düşüş göstermiştir. Mamalis ve arkadaşları (1) patlamalı

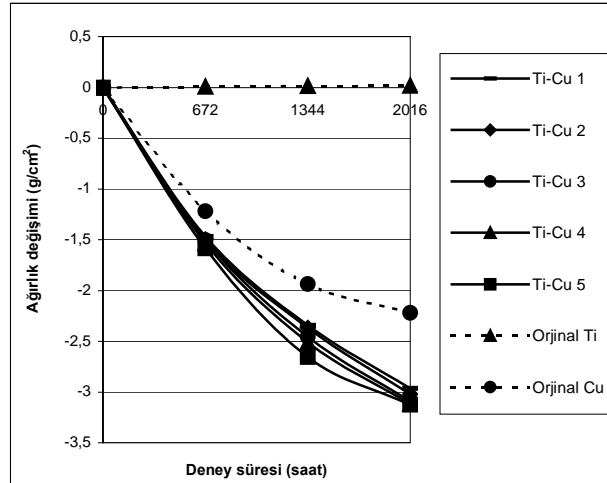
mesinden (localized shock hardening) kaynaklandığını rapor etmişlerdir.

Şekil 3 incelendiğinde patlayıcı oranının (a) $R=1,2$, (b) $R=1,5$, (c) $R=2$, (d) $R=2,5$ ve (e) $R=3$ kullanıldığı birleştirmelerin SEM fotoğrafları görülmektedir. Burada patlamalı kaynak esnasında kullanılan patlayıcı oranının artmasıyla arayüzeyde oluşan dalgaların şekli ve boyutları da artış göstermiştir.

Patlayıcı oranının 1,2 olduğu (a) numunesinde arayüzeyde az bir dalgalanma görülürken patlayıcı oranının 3 olduğu (e) numunesinde ise bu dalga boyu ve genliğinin arttığı açıkça görülmek-

tedir. Yapılan araştırmalarda da patlayıcı oranı arttığında patlayıcının patlama enerjisinden dolayı levhaların çarpma hızı, dolayısıyla çarpma basıncı arttığı, bu basıncın artmasıyla da arayüzeyde oluşan deformasyon miktarı arttığından oluşan dalgaların boyutlarının da arttığı belirtilmektedir (19,20)

Şekil 4’de işlem görmemiş bakır ve titanyum malzemeler ile patlamalı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiş kaynaklı numunelerin korozyon değişim grafiği verilmiştir. Burada işlem görmemiş titanyum malzemedeki ağırlık artışı meydana gelirken, işlem görmemiş bakır malzeme ve birleşmiş durumdaki bütün numunelerde ağırlık kaybının olduğu görülmektedir. İşlem görmemiş titanyum malzemedeki ağırlık artışının sebebi titanyum malzemenin oksijene karşı ilgisinden kaynaklanmaktadır (Titanyumun elektrot potansiyeli – 220 mV). Titanyumun oksijene karşı ilgisi sebebiyle de malzeme yüzeylerinde kararlı ve alttaki metalden kolay ayrılmayan bir oksit tabakası meydana gelmekte ve bu oksit tabakasının varlığı da malzemenin ilk ağırlığına göre artışa sebebiyet vermektedir. Bakır’ın oksijene karşı ilgisi titanyum’a göre daha fazla olmasına rağmen, bakır yüzeyinde oluşan oksit filminin kararlı olmayışından ve alttaki metalden daha rahat ayrılmasından dolayı kısa sürede oksitin bakır yüzeyinden kopması malzemenin ağırlık kaybına sebep vermektedir.



Şekil 4. İşlem görmemiş malzemeler ve birleştirilmiş numunelerin korozyon değişimi.

Şekil 4 incelendiğinde en fazla ağırlık kaybının patlayıcı oranının R=3 olarak alındığı birleştirmelerde olduğu ve bu numuneyi sırasıyla R=2,5, R=2, R=1,5 ve R=1,2 olduğu numuneler

takip etmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki, artan patlayıcı oranı ile korozyon miktarı artmaktadır. Bunun sebebi deformasyonla birlikte korozyon için gerekli olan itici gücün artması ve daha fazla korozyon oluşmasındandır. Ayrıca, işlem görmemiş bakır malzemenin korozyon kaybının patlamalı kaynak ile birleştirilmiş numunelerdeki korozyon kayıplarından az olması, patlamalı kaynak esnasındaki soğuk deformasyonun korozyon hızını arttırdığı sonucunu çıkarmaktadır.

Şekil 4’de göze çarpan bir başka değişim de korozyon hızının deneylerin ilk aşamasında daha fazla olmasıdır. Kaynaklı numunelerde 672 saat sonunda ölçülen ağırlık kaybı yaklaşık 1,5 gram iken, 2016 saat sonunda ölçülen ağırlık kaybı yaklaşık 3 gram olmuştur. Yani deney süresi üç kat artmasına karşın ağırlık kayıpları yaklaşık iki kat artmıştır. Sebebi ilk oluşan korozyon temiz yüzeyde meydana gelir ve hızlıdır. Daha sonra oksit tabakası yüzeyi kaplar ve gerek oksijen geçişini gerekse metal atomlarının oksijene hareketini engeller ve yavaşlama görülür. İşlem görmemiş malzemelerdeki ve kaynaklı numunelerdeki korozyon hızının başlangıçta hızlı olmasının sebebi korozyon ölçümü yapılacak malzemelerin yüzeylerinin temiz olmasından kaynaklanmaktadır. Korozyon testlerinin ileriki safhalarında temiz yüzeyler, yerlerini oksijen ile reaksiyon sonucu meydana gelen bakır oksit ve titanyum oksit’e bırakır ve bu durum korozyon hızını azaltmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarında da (21) korozyon sonucu oluşan ürünlerin metal yüzeyinde birikerek koruyucu bir film oluşturursa korozyon hızında azalma olduğu, ancak çözülebilen korozyon ürünleri metal yüzeyinden uzaklaşırsa koruyucu özelliklerinin yok olduğu belirtilmektedir.

4. SONUÇLAR

Patlamalı kaynak yöntemi ile değişik patlayıcı oranlarında birleştirilen titanyum-bakır levhaların mikroyapı ve korozyon davranışlarının araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelere uygulanan eğme testi sonucunda birleşme arayüzeyinde ayrılma gözlenmemiştir. Bu da birleşmenin iyi olduğunu göstermektedir.
- 2) Kaynaklı numuneler üzerinde yapılan sertlik ölçümlerinde, en yüksek sertlik değerinin iki

malzemenin çarpışmasından dolayı, arayüze bitişik bölgede olduğu tespit edilmiştir.

- 3) Kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik değerleri, orijinal malzemelerin sertlik değerlerinden daha fazla bulunmuştur. Bunun sebebi malzemelere uygulanan soğuk deformasyondur.
- 4) SEM çalışmaları sonucunda artan patlayıcı miktarı ile birlikte birleşme arayüzeyinde oluşan dalgaların boy ve genişliğinde artışlar olduğu görülmüştür.
- 5) Korozyon testleri sonucunda patlatma esnasında meydana gelen soğuk deformasyon miktarının korozyon miktarını artırdığı tespit edilmiştir.
- 6) Anık S., Kaynak tekniği el kitabı, Yöntem ve Donanımlar, Gedik Holding A.Ş., İstanbul, (1991).
- 7) Acarer, M., Gülenç, B., Fındık, F., Patlamalı kaynak işlem parametrelerinin birleşme arayüzeyine etkisi, 8. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, P. Ü. Mühendislik Fakültesi, Denizli, 166-171, Nisan 2000.
- 8) Explosion welding, Fundamentals of process, Welding Handbook, 3, 264-277, (1992).
- 9) Amstead, B. H., Ostwald, P. F. And Begeman, M. L., Manufacturing Processes, Eighth Edition, John Wiley&Sons, 189, 1987.
- 10) Kalpakjian, S., Manufacturing Processes for Engineering Materials, Third Edition, Addison-Wesley, 809-810, 1997.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğünce desteklenmektedir. Ayrıca patlatma işlemlerinde bizlere her türlü desteği sunan MKE Barutsan A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- 1) Mamalis, A. G., Szalay, A., Vaxevanidis, N. M. and Pantelis, D. I., Macroscopic and Microscopic phenomena of Nickel/Titanium "Shape-memory" Bimetallic Strips Fabricated By Explosive Cladding and Rolling, Materials science and Engineering A, 188, 267-275, 1994.
- 2) Balasubramanian, V., Rathinasabapathi, M., Raghukandan, K., Modelling of process parameters in explosive cladding of mildsteel and aluminium, Journal of Materials Processing Technology, 63, 83-88, 1997.
- 3) Lindberg, R. A., Processes and Materials of Manufacture, Fourth Edition, Prentice-Hall, Page 774, 1990.
- 4) Abe, A., Numerical simulation of the plastic flow field near the bonding Surface of explosive welding, Journal of Materials Processing Technology, Volume 85, 162-165, 1999.
- 5) Abe, A., Numerical study of the mechanism of wavy interface generation in explosive welding, JSME International Journal, 40(3), 395-401, 1997.
- 11) Acarer, M., Gülenç, B., Fındık, F., Investigation of cracks and fracture on interfaces of explosive welded metals by using tensile shear and bending test, 5th International Fracture Conference, Fırat University, Elazığ-Turkey, 301-309, September 2001.
- 12) Yang, Y., Xinming, Z., Zhenghua, L. And Qingyun, L., Adiabatic shear band on the titanium side in the Ti/mild steel explosive cladding interface, Acta Mater, 44(2), 561-565, 1996.
- 13) Yang, Y., Xinming, Z., Zhenhua, L. and Qinyun, L., Localized Superplastic Behaviour in α -Titanium at High Strain-Rate, Scripta Metallurgica et Materialia, 33(2), 219-224, 1995.
- 14) Turutnev, V.V., Comparative Assessment of the Quality of the Explosive Joining of Aluminium to Titanium, Steel and Nickel, Svar. Proiz., 7, 33-37, 1973.
- 15) Ma, D. K. And Zhou, J. B., Deformability of the Interface of Explosive Welded Titanium Clad Steel Plate, Rare Metal Materials and Engineering, 28 (1), 26-29, 1999.
- 16) Wronka, B., The Influence of Base Plate Thickness and Anvil on the Characteristics of Explosive Welded Joints, Insight, 41(6), 383-387, 1999.

- 17) TS 282, EN 910, Metalik Malzemelerde Kaynak Dikişleri Üzerinde Tahribatlı Muayeneler-Eğme Deneyleri, 1-5, 1995.
- 18) TS 8589, Suni atmosfer içinde yapılan korozyon deneyleri için genel kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, 1-6, 1990.
- 19) Durgutlu, A. ve Gülenç, B., Patlama kaynağıyla paslanmaz çelik-bakır levhaların kaynaklanabilirliği ve patlayıcı oranının birleşme arayüzeyine etkisi, Politeknik Dergisi, 5(3), 243-247, 2002.
- 20) Acarer, M., Patlamalı kaynakta patlayıcı oranı, ara boşluk mesafesi ve altlık cinsinin çelik/çelik birleştirilmesi kalitesine etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilimdalı, Eylül 2001.
- 21) Yalçın, H. ve Koç, T., Mühendisler İçin Korozyon, T.M.M.O.B. Kimya Mühendisleri Odası Yayını, 1-13, Ankara, 1997.