

PATLAMA KAYNAĞIYLA PASLANMAZ ÇELİK – BAKIR LEVHALARIN KAYNAKLANABİLİRLİĞİ VE PATLAYICI ORANININ BİRLEŞME ARAYÜZEYİNE ETKİSİ

Ahmet DURGUTLU, Behçet GÜLENC
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, paslanmaz çelik ve bakır levhaların farklı oranlarda patlayıcı miktarları kullanılarak patlamalı kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliği ve patlayıcı oranının ara yüzey özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda, patlama kaynağıyla paslanmaz çelik ve bakır malzemelerin birleştirilebildiği ve üst parça ağırlığına göre patlayıcı oranı arttığında ara yüzeyin, doğrusal bir birleşme ara yüzeyinden dalgalı bir hale dönüştüğü görülmüştür. Patlayıcı oranının artışıyla beraber oluşan dalgaların, boylarında ve genliklerinde bir artış olduğu, ayrıca çarpışmadan kaynaklanan soğuk deformasyondan dolayı, ara yüzeye yakın bölgelerin ve levhaların dış yüzeylerinin sertliklerinde bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlama Kaynağı, Patlamalı Birleştirme, Patlayıcı Oranı

WELDABILITY OF STAINLESS STEEL TO COPPER PLATES BY EXPLOSIVE WELDING AND THE EFFECT OF EXPLOSIVE RATIO ON THE JOINT INTERFACE

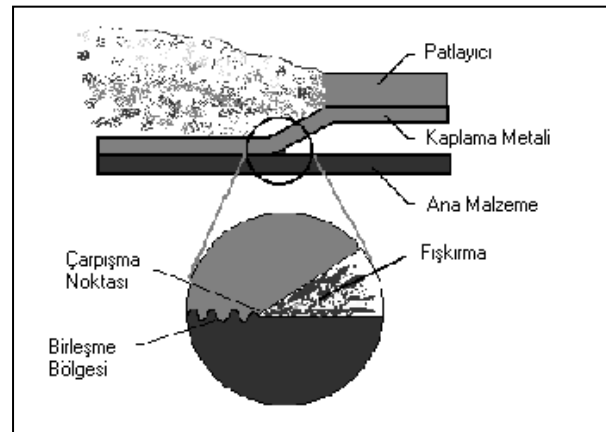
ABSTRACT

In this study, weldability of stainless steel sheet to copper sheet by explosive welding and the effect of explosive ratio on the joint interface have been investigated experimentally. Experimental results show that stainless steel can be bonded to copper sheet by using explosive bonding. The joint interface was transformed from linear to wavy appearance with increasing explosive ratio with respect to upper plate weight. Moreover, with increasing explosive ratio, the wavelength and amplitude of waviness increased. Hardness measurements indicate that the impact force leads to increase in hardness of the zone next to interface and outer surface of the plates.

Key words: Explosive Welding, Explosive Bonding, Explosive Ratio

1. GİRİŞ

Patlamalı birleştirme olarak ta bilinen patlama kaynağı, iki metal arasında yüksek hızdaki eğimli çarpışma sonucu meydana gelir. Patlama kaynağı; patlayıcı ile elde edilen yüksek basınç yardımıyla iki yada daha fazla metali birleştirmek için kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Metal yüzeylerin çarpışması sonucu yeterli bir çarpışma enerjisi meydana geldiğinde, bu yüzeyler oluşan ilk temaslarını birbirleri üzerinde bir akış sergileyerek devam ettirirler ve sonuçta bir katı hal birleşmesi meydana gelir. Bu işlem dışarıdan herhangi bir ısı verilmediği için soğuk teknik olarak tanımlanmasına rağmen işlemin dinamiğinden dolayı kaynak ara yüzeyinde bölgesel yüksek sıcaklıklar oluşabilir. Burada patlayıcının infilakı ile birlikte ısı meydana gelmesine rağmen, metal parçalarda ısı transferi için gerekli zaman yoktur ve metallerde ısı akışı sezilemez (1,2,3). Patlama kaynağı şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.

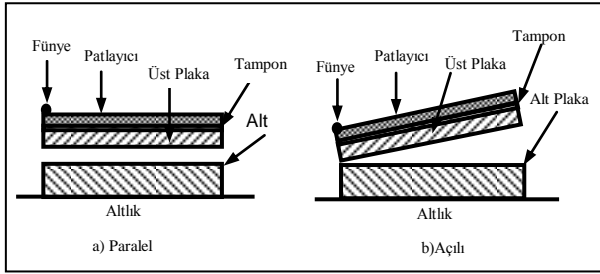


Şekil 1. Patlama kaynağı şematik gösterimi

Eğimli çarpışma, metal yüzeylerinden bir tabakanın metal jeti şeklinde, çarpışma arayüzeyinden uzaklaşmasına neden olur. Çarpışma esnasında yüzeyden metal jeti şeklinde fişkıran bu tabakanın kalınlığı genellikle 0,05mm.’den daha azdır. Bu metal jeti dışarı atılırken aynı zamanda

çarpışan metal yüzeyinin temizliğini de gerçekleştirmektedir. Metal yüzeyinde bulunan oksit, yağ, gibi kaynak için zararlı etkiler oluşan jet ile birlikte dışarı atılmaktadırlar (4,5).

Patlamalı kaynak işleminin kullanılan temel iki geometrik şekli vardır. Bunlar açılı birleştirme ve paralel levha birleştirmeleridir. Bu kaynak yönteminde çoğu kez silindirik ve geniş düz yüzeylerin kaynaklı birleştirmeleri için paralel levha birleştirme geometrileri kullanılmaktadır. Paralel levha birleştirmelerinde, üst levhanın yeterince hızlanabilmesi için ara boşluk mesafesi en az, üst levhanın kalınlığının yarısından büyük olmalıdır (5,6,7). Patlamalı kaynak işlemi temel geometrik şekilleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Patlamalı kaynak işlemi temel geometrik şekilleri

Temiz metal yüzeyleri, patlayıcı tarafından oluşturulan yüksek basınç altında sıkıştırılır. İki malzemenin atomlarının toplam enerjisi birbirine yaklaştıkça azalır ve bir çekici veya bağlayıcı kuvvet ortaya çıkar, bu yüzden malzemeler arasında atomik boyutta bir birleşme meydana gelir. Bu birleşme tüm ara yüzey boyunca ilk çarpışma noktasından itibaren ilerler ve malzemelerde birleşme gerçekleşmiş olur (2,8).

Geleneksel kaynak yöntemleri ile farklı özellikteki malzemelerin farklı metalurjik özelliklerinden dolayı birleştirilmeleri uygun olmayabilir. Patlamalı kaynak yöntemi ısının yokluğu nedeniyle ergitme kaynağı, lehimleme veya sıcak haddeme işlemlerindeki metalurjik karakteristiklerin çoğunu göstermez. Bu kaynak yöntemi, aynı özellikteki iki yada daha fazla metali birleştirmek için kullanılabilir olmasına rağmen en büyük ticari potansiyeli, korozyon dayanımının amaçlandığı kaplamalı metallerin üretimi ve farklı metallerin birleştirilmesi için kullanılabilir olmasıdır (9,10,11).

Patlamalı kaynak işleminde, kaliteli bir birleştirme sağlamak ve arayüzey özelliklerini belirlemek açısından kaynak parametreleri önemli bir yer tutmaktadır. Birleştirme işleminde ara yüzeyi ve kaynak kalitesini etkileyen bazı önemli kaynak parametreleri; ara boşluk mesafesi (s), patlayıcı oranı (patlayıcı kütlelerinin üst parça kütlelerine oranı) (R), patlayıcının patlama hızı (V_d), üst levhanın çarpma hızı (V_p), çarpışma açısı (Q), kaynak hızı (V_c) ve altlık olarak sıralanabilir (12,13).

Patlamalı kaynak işlemi parametrelerinden olan patlayıcı oranının (R), birleşme ara yüzeyine olan etkisi oldukça fazladır. Patlayıcı oranının az veya çok olmasıyla beraber, oluşması muhtemel olan dalgalı arayüzeyin dalgalarının şekil ve boyutlarında önemli oranda değişimler olmaktadır. Bu değişime paralel olarak birleşme ara yüzey alanı ve ara yüzeydeki soğuk deformasyon miktarı etkilenmektedir. Bu çalışmada, bakır ve paslanmaz çelik levhalar farklı oranlarda patlayıcı miktarları kullanılarak birleştirilmiş ve arayüzey incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

2. MALZEME VE DENEYSSEL METOD

Deneysel çalışmada, patlayıcı oranının birleşme arayüzeyine etkisini görmek amacıyla 200x200x1,5 mm ebatlarında, 400 HV sertlik değerine sahip paslanmaz çelik ve 200x200x2 mm ebatlarında, 113 HV sertlik değerine sahip %99,98 saflığında bakır levhalar patlama kaynağı yöntemi ile paralel geometri kullanılarak birleştirilmişlerdir. Kullanılan paslanmaz çelik levhanın kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Paslanmaz çelik levha kimyasal bileşimi

Element	Cr	Ni	Mn	Fe
% Ağırlık	17,99	9,78	1,46	69,58

Birleştirme işleminde patlayıcı olarak M.K.E. Barutsan A.Ş.’nin üretmiş olduğu %90 Amonyum Nitrat, %4,5 Motorin ve %3 TNT’den oluşan Elbar-5 kodlu toz patlayıcı kullanılmıştır. Deneysel olarak üst parça olarak paslanmaz çelik levha kullanılmış olup patlayıcı miktarı, paslanmaz çelik levhanın ağırlığıyla orantılı olarak belirlenmiştir. Tablo 2’de deneysel olarak kullanılan patlayıcı oranı (R) ve miktarları verilmiştir.

Tablo 2. Patlayıcı oranı ve miktarları

Numune No	Üst parça ağırlığı (gr)(m)	Patlayıcı oranı(R)	Patlayıcı miktarı (gr)(m x R)
1	480	1,2	576
2	480	1,5	720
3	480	2	960
4	480	2,5	1200
5	480	3	1440

Deneylerde ara boşluk mesafesi (s), 1,5mm. (üst parça kalınlığı kadar) seçilmiş olup, altlık olarak da 1500x1500x100 mm. ölçülerinde çelik tabla kullanılmıştır. Birleştirme işlemi esnasında levhaların, altlığın akustik özelliğinden zarar görüp ayrılmasını ve geri fırlatmayı engellemek amacıyla alt levha ile altlık arasında 5 mm. kalınlığında plastik bir tabaka kullanılmıştır.

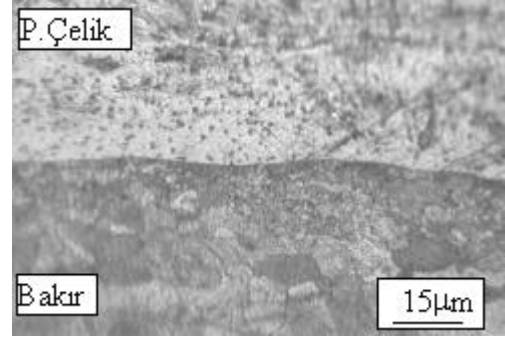
Birleştirme işleminden sonra arayüzeyde oluşması beklenen dalgalı yapıyı görmek amacıyla, patlama yönüne paralel olacak şekilde, birleşmiş olan levhalardan mikroyapı numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin incelenecek olan yüzeyleri zımparalanıp parlatıldıktan sonra Viella dağlayıcısıyla dağlanmış ve birleşme arayüzeyinden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Yine aynı numunelerde, arayüzeyden itibaren dışa doğru soğuk deformasyondan dolayı oluşan sertlik değişimini görmek amacıyla paslanmaz çelik ve bakır malzemelerin farklı noktalarından Vickers sertlik ölçme metoduyla 5 kg. yük kullanılarak sertlik değerleri alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

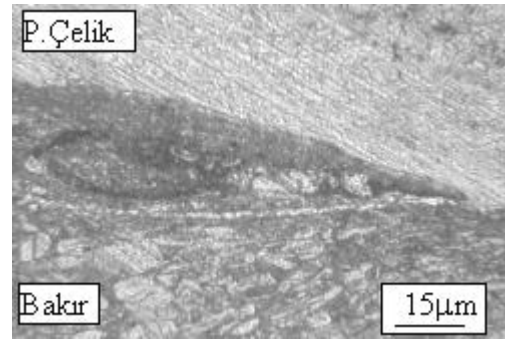
Gerçekleştirilen birleştirme işlemleri sonunda patlayıcı oranı 1.2 olan ve 576 gr. toz patlayıcı kullanılan 1 numaralı deney numunesinde birleşmenin olmadığı görülmüştür. Bu birleştirme işleminde kullanılan patlayıcı miktarı az olduğundan patlama enerjisi de az olmuş ve üst parçayı yeterince hızlandıramamıştır. Yeterli hıza sahip olamayan üst parça, alt parça ile gerekli çarpışma basıncını oluşturamamış ve birleşme gerçekleşmemiştir. Diğer deney numunelerinde ise kullanılan patlayıcı oranı ve dolayısıyla miktarı yeterli gelmiş olup sağlıklı bir birleşme sağlanmıştır. Birleşme işleminin sağlandığı deney numunelerinin ara yüzeyinden alınan mikroyapı fotoğrafları ve sertlik değişimleri aşağıda verilmiştir.

3.1. Mikroyapı Sonuçları

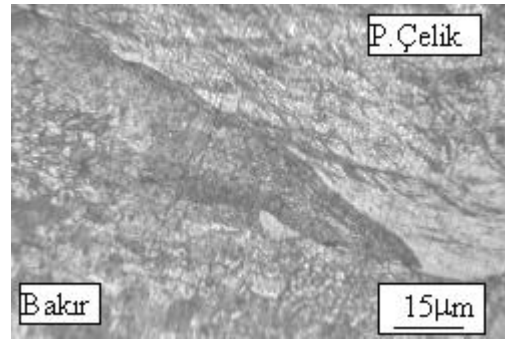
Deney numunelerinin birleşme ara yüzeyinden alınan mikroyapı fotoğrafları Şekil 3'te verilmektedir.



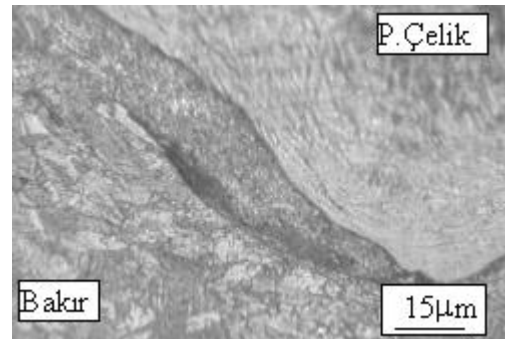
a) 2. Numune R= 1.5



b) 3. Numune R= 2



c) 4. Numune R= 2.5

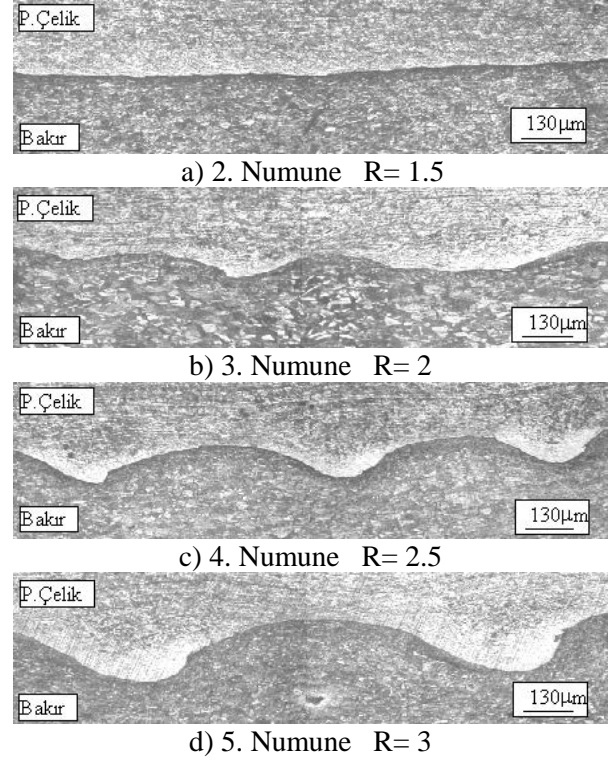


d) 5. Numune R= 3

Şekil 3. Birleştirilen numunelerin arayüzey mikroyapı fotoğrafları

Şekil 3'teki mikroyapı fotoğraflarından da görüldüğü gibi, patlayıcı oranının (R) 1.5 olduğu birleştirme numunesinde (a) ara yüzeyde düze yakın bir dalgalanma mevcuttur. Patlayıcı oranının artmasıyla beraber oluşan bu dalgalanmaların şekli ve boyutları da artış göstermektedir. Patlayıcı oranının en fazla olduğu (R=3) birleştirme olan 5 numaralı numunenin (d) birleşme ara yüzeyine bakıldığında, oluşan dalgalanmanın şekli ve boyutundaki değişim açıkça görülmektedir. Patlayıcı oranının artmasıyla beraber birleşme ara yüzeyi düz bir durumdan dalgalı bir hale dönüşmektedir. Yine mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü gibi patlayıcı oranının artışıyla beraber ara yüzeyde oluşan dalgalanma neticesinde metallerin birbiri içine girmesi ve mekanik bir kilitlemenin oluşumu da söz konusudur. Dalgalanmaların miktar ve boyutlarının artmasıyla beraber ara yüzeydeki birleşme alanı da artış göstermekte olup metal çiftlerinin birbirlerinden ayrılması veya mekanik özellikleri açısından olumlu sonuçlar sağlamaktadır. Genel olarak, patlayıcı oranı arttığında patlayıcının patlama enerjisinden dolayı levhaların çarpışma hızı, dolayısıyla çarpışma basıncı artmaktadır. Bu basıncın artmasıyla beraber ara yüzeyde oluşan deformasyon miktarı artış göstermekte ve oluşan dalgalanmaların boyutları da artmaktadır.

Patlayıcı oranının artmasıyla birlikte, artan patlayıcı miktarının patlama enerjisinin fazlalığından dolayı birleştirilen metal çiftlerinin ara yüzeyinde oluşan dalgalanmadaki farklılık Şekil 4'te görülmektedir. Patlayıcı oranı R=1.5 olan 2 numaralı numunenin (Şekil 4-a) ara yüzeyi yaklaşık düz bir hal almış iken patlayıcı oranının en fazla olduğu (R=3) numune olan 5 numaralı numunenin (Şekil 4-d) yaklaşık olarak genliği 100µm ve boyu 950µm olmuştur. Patlayıcı oranının R=2 olduğu numune olan 3 numaralı numunede (Şekil 4-b) ara yüzeydeki dalgalanmanın genliği yaklaşık 40µm, boyu 380µm olurken, patlayıcı oranı R=2.5 olan 4 numaralı numunedeki (Şekil 4-c) dalgalanmanın genliği yaklaşık 80µm, boyu 650µm olmuştur. Patlayıcı oranının düşük olduğu birleştirmelerde arayüzeyde oluşan dalgalanmanın genliği ve boyu düşük değerlerde olup ara yüzey düz veya düze yakın bir hal almış, patlayıcı oranının artışıyla birlikte ara yüzeyde oluşan dalgalanmanın genliği ve boyu artış göstermiş olup ara yüzey daha dalgalı bir hale gelmiştir.



Şekil 4. Ara yüzeyde oluşan dalgalanma değişimleri

3.2. Sertlik Sonuçları

Patlama kaynağı ile farklı patlayıcı oranları kullanılarak birleştirilen Paslanmaz çelik- Bakır metal çiftlerinin birleşme arayüzeyinden itibaren 200, 1000, 1300 µm mesafelerden sertlik değerleri alınmıştır. Deneyler esnasında 1 numaralı deney parçalarında birleşme gerçekleşmediğinden bu numunedeki sertlik değişimi belirlenmemiştir. Birleşme işlemi gerçekleştirilen metal çiftlerinin arayüzeyden dış doğru değişen sertlik değerleri Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 3. Levha ve Metal Çiftleri Sertlik Değerleri

Numune No	Malzemeler	Levha Sertliği (HV)	Metal Çifti Sertliği(HV)		
			Ara Yüzeyden Uzaklık (µm)		
			200	1000	1300
2	Paslanmaz Çelik	400	420	404	418
	Bakır	113	129	114	129
3	Paslanmaz Çelik	400	425	406	423
	Bakır	113	133	115	132
4	Paslanmaz Çelik	400	433	406	430
	Bakır	113	140	115	140
5	Paslanmaz Çelik	400	440	407	438
	Bakır	113	145	116	143

Yukarıdaki tablodan anlaşıldığı üzere, birleştirilen levhalarda patlayıcı oranı arttıkça arayüzeyde ve dış yüzeyde çarpışma basıncından dolayı meydana gelen soğuk deformasyon sebebiyle sertlik değerlerinde bir miktar artış görülmektedir. Paslanmaz çelik levhanın birleşme öncesi sertlik değeri 400 HV iken 2 numaralı deney numunesinde birleşme sonrası sertlik değeri arayüzeye 200 μm . mesafede 420 HV, 1300 μm mesafede ise 418 HV'e ulaşmıştır. Birleşme arayüzeyine 1000 μm . mesafedeki sertlik değeri, paslanmaz çelik levha kalınlığının yaklaşık orta kısmına tekabül ettiğinden, bu kısımda fazlaca bir soğuk deformasyon olmamış ve sertlik 400 HV'den 404 HV değerine çıkmıştır. Patlayıcı oranının en fazla olduğu birleştirme olan 5 numaralı deney numunesinde ise sertlik değerleri 400 HV'den arayüzeye yakın bölgede 440 HV'e ve dış yüzeye yakın bölgede ise 438 HV değerine ulaşmıştır. Paslanmaz çelik levhada meydana gelen sertlik değişimleri patlayıcı oranıyla doğru orantılı olarak bakır levhada da meydana gelmiştir. Arayüzeye yakın bölgede meydana gelen sertlikteki artışın nedeni, patlama basıncından dolayı yüksek hızla çarpışan levhalarda meydana gelen soğuk deformasyondur. Birleştirilen levhaların dış yüzeylerinde meydana gelen sertlik artışının da sebebi, alt levhanın dış yüzeyinin altlıkla çarpışması ve üst levhanın dış yüzeyinin ise patlayıcının ani şokuna maruz kalmasıdır. Bundan dolayı, meydana gelen deformasyon nedeniyle levhaların dış yüzeylerinde de sertlikte artış görülmekte ve bu sertlik patlayıcı oranının artmasıyla beraber doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Patlayıcı oranının artışıyla beraber meydana gelen çarpışma basıncı artmakta ve buna paralel olarak sertlikte aynı oranda artmaktadır. Birleştirilen levhaların ara yüzey ve dış yüzeylerinde oluşan deformasyon levha kalınlıklarının çok az bir mesafesinde oluşmakta, böylece levhaların iç kısımları normal sertlik değerlerini korumaktadır.

4. SONUÇLAR

1. Paslanmaz Çelik ve Bakır levhalar uygun parametreler dahilinde birbirleri ile patlama kaynağı kullanılarak birleştirilebilirler.
2. Patlama kaynağında patlayıcı oranı (R) arttıkça, ara yüzey düz bir şekilden dalgalı bir şekle dönüşmektedir.
3. Patlayıcı oranı (R) arttıkça, oluşan dalgaların boylarında ve genliklerinde artmalar görülmektedir.

4. Patlama kaynağında patlayıcı oranı (R) arttıkça, birleşme ara yüzeyindeki ve levhaların dış yüzeylerindeki sertlik değerlerinde artış görülmektedir.

Teşekkür: Bu çalışmayı, 07/2001-01 kodlu proje kapsamında destekleyen Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkürlerimizi sunarız.

5. KAYNAKLAR

1. Kearns, W.H., "Explosion Welding", Welding Handbook, AWS, 3, 264-278, 1980.
2. Patterson, R.A., "Fundamentals of Explosion Welding", ASM Handbook, 6, 160-164, 1993.
3. Gupta, R., C. and Kainth, G.,S., "Swinging Wake Mechanism For Interface Wave Generation in Explosive Welding of Metals", Transactions of the ASME, 57, 514-521, 1990.
4. Banker, J.G., Edvard, G.R., "Explosion Welding" ASM Handbook, 6, 303-305, 1993.
5. Nobili, A., "The Explosion Bonding Process", Nobelclad Technical Bulletin, NT 200, Rivesaltes Plant, France. (www.nobelclad.snpe.com).
6. James, F.K., Hay, D.R., "A Mechanism of Explosive Bonding" Metallurgical Transactions, 2, 1953-1958, 1971.
7. Demirkol, M., Aran, A., "Patlamalı Kaynak Yöntemi", II.Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, İTÜ, sayfa 142-151, İstanbul, Kasım 1989.
8. Onaran, K., Erman,B., "Malzemelerin Yapı ve Özellikleri", Cilt 1, İTÜ,1993.
9. Kleven, S., "Ultrasonic Inspection of Explosion Welded Titanium Clad Plate", Materials Evaluation, 557-560, 1996.
10. Gao, W., Gu, L., Sui, Y., Ma, D.; "Bonding Interface of Titanium/Steel Clad Plate by Explosion", Rare Metal Materials and Engineering, 22, 2, 1993.
11. Richman, R.H.; Rao, A.S, Hodgson, D. E. , "Cavitation Erosion of Two NiTi Alloys" , Wear, 157, 401-407, 1992.
12. Acarer, M., "Patlamalı Kaynak İşlem Parametrelerinin Birleşmeye Etkisi", Doktora Tezi, Sakarya Üniv.,Fen Bilimleri Enst., 2001.
13. Balasubramanian, V.; Rathinasabapathi, M.; Raghukandan, K. "Modelling of Process Parameters in Explosive Cladding of Mildsteel

and Aluminium", Journal of Materials Processing Technology, 63,1-3, 83-88, 1997.