



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Patlama kaynağı yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L)-S235JR kompozit malzemelerde patlayıcı oranının mikroyapı ve yorulma özelliklerine etkisi

The effect of explosive ratio on microstructure and fatigue properties of austenitic stainless steel (AISI 316L)-S235JR composite materials joined by explosive welding method

Yazarlar (Authors): Özer PAMUK¹, Ahmet DURGUTLU²,

ORCID¹: 0000-0001-6810-8526

ORCID²: 0000-0003-3839-2903

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Pamuk Ö., Durgutlu A., “Patlama kaynağı yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik (AISI 316 L) - S235JR kompozit malzemelerde patlayıcı oranının mikroyapı ve yorulma özelliklerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 527-534, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.426641

Patlama Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) – S235JR Kompozit Malzemelerde Patlayıcı Oranının Mikroyapı ve Yorulma Özelliklerine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Özer PAMUK^{1*}, Ahmet DURGUTLU²

¹Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Uşak Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 24.11.2016 ; Kabul/Accepted : 01.04.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) ve S235JR levhalar, katı hal kaynak yöntemlerinden olan patlama kaynak yöntemiyle iki farklı patlayıcı oranı (R=1.5-2) kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin birleşme arayüzlerinde meydana gelen değişimleri görmek ve mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla mikroyapı, sertlik ve yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda düşük patlayıcı oranının kullanıldığı numunelerin birleşme arayüzünde oluşan dalgalanmanın çok düşük boyutlarda olduğu görülmüştür. Daha yüksek patlayıcı oranının kullanıldığı numunede ise artan patlayıcı oranı ile beraber arayüzde oluşan dalgalanmaların boylarında ve genliklerinde bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Patlayıcı oranının artmasıyla beraber oluşan deformasyondan dolayı kompoziti meydana getiren malzemelerin sertliklerinde de bir artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Kompozit malzemelere uygulanan yorulma deneylerinde ise patlayıcı oranının artmasıyla beraber kompozitlerin yorulma ömürlerinde bir azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlamalı kaynak, patlama oranı, mikroyapı, yorulma, sertlik.

The Effect of Explosive Ratio on Microstructure and Fatigue Properties of Austenitic Stainless Steel (AISI 316L) – S235JR Composite Materials Joined by Explosive Welding Method

ABSTRACT

In this study, austenitic stainless steel (AISI 316L) and S235JR plates were joined via explosion welding method, which is one of solid state welding methods, and by using two different explosive rates (R=1.5-2). The developed composite materials microstructure was evaluated in order to see changes occurring in the joint interfaces and the hardness, and fatigue tests were carried out to determine their mechanical properties. As a result of the experiment, the fluctuation occurring in the joint interface of samples was observed to be very low for low explosive rate, On the other hand, it was determined that in the sample in which higher explosive rate was used the lengths and amplitudes of waves increased in the joint interface. An increase was determined in hardness of materials forming the composite due to deformation occurring as a result of increase of explosive rate. In fatigue tests applied to composite materials, a decrease was found in fatigue life of composites as a result of increase of explosive rate.

Keywords: Explosive welding, explosion rate, microstructure, fatigue, hardness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Patlamalı kaynak; geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen aynı ya da farklı türdeki metallerin kontrol edilebilen koşullar altında bir metalik kütlenin başka bir metalik kütle üzerinde patlama etkisi ile bir bağ oluşturma işlemidir. Katı hal kaynak tekniklerinden biri olan patlamalı kaynakta patlama ile elde edilen yüksek basınç yardımı ile metal yüzeylerinde meydana gelen

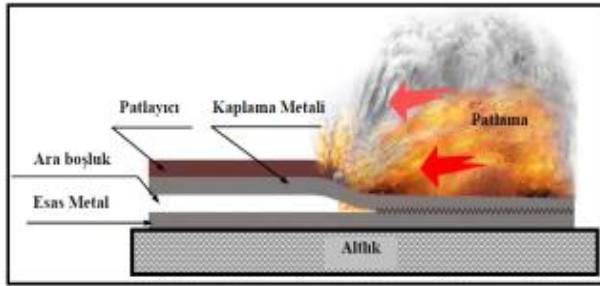
çarpışma neticesinde elde edilen çarpışma enerjisi vasıtasıyla yüzeyler, oluşan ilk temaslarını birbirleri üzerinde bir akış sergileyerek devam ettirmeleri sonucunda bir birleşme meydana gelmektedir. Kaynak sırasında meydana gelen temas basıncı oldukça yüksek olduğu için üst tabakanın kinetik enerjisi dalgalı bir arayüzeyin oluşmasına neden olmaktadır. Bu darbe neticesinde iki yüzey birbirlerine mekanik olarak kilitlenir. Bu kaynak yönteminde kaynak işlemi gerçekleştirilmek için dışarıdan herhangi bir ısı verilmez. Patlayıcının infilak etmesinden dolayı bir ısı ortaya

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : ozer.pamuk@usak.edu.tr

çıkmasına rağmen ısı transferi için yeterli zaman olmadığı için metaller arasında bir ısı akışı meydana gelmez ve çoğu zaman arayüzeyde difüzyon olayı gerçekleşmez [1-5]. Ancak araştırmacılar bazı durumlarda kaynak esnasında 0.1 µm kadar bir difüzyonun gerçekleştiğini belirtmişlerdir [6].

Patlamalı kaynak işleminde birleşimin gerçekleşebilmesi için gerekli olan şartın fişkırmaya çarpması biçiminde oluşan eğimli çarpışma olduğu ileri sürülmektedir. Fişkırmaya mekanizması, kaynaklanan levhaların yüksek hızda çarpışmaları neticesinde levhalar arasından dışarıya çıkmaya zorlanan ve çarpışmanın ucunda şekillenen metalin fişkırmaya için kontrol edilen levha hızı, basınç, çarpışma açısı ve çarpışma noktası hızının bulunduğu eğimli bir çarpışma olarak tanımlanmaktadır [7-9]. Patlama neticesinde oluşan yüksek basınç ile çarpışma noktasındaki temiz metal yüzeyleri yakın temasa zorlanmaktadır. Patlamalı kaynak işlemi iki aşamalı olarak düşünülebilir. Birincisi, fişkırmaya ile yüzey filmlerinin parçalanıp temizlenmesi, ikincisi, yüksek basınç ile atomlar arası kuvvetlerin birleşme arayüzeyi oluşturabileceği konum olan yakın temas için metal yüzeyleri zorlaması [10-12]. Patlamalı kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



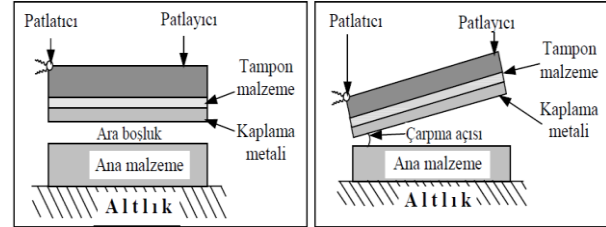
Şekil 1. Patlamalı kaynak yönteminin şematik görünümü
(Explosive welding method schematic view)

Patlamalı kaynak yöntemi aynı ya da farklı türdeki metal ve alaşımlarının kaynağının yanında çok katlı ve tel ile güçlendirilmiş kompozit malzeme üretimi içinde kullanılabilir. Ayrıca bu kaynak yöntemi korozyon dayanımı istenen kaplamalı metallerin üretiminde de kullanılmaktadır [13-15].

Patlamalı kaynak yönteminde paralel düzlemde birleştirme ve açılı (eğik) düzlemde birleştirme olmak üzere iki geometrik şekil vardır. Bu yöntemde bir altlık üzerine sırasıyla, ana malzeme, ara boşluk, ana malzemeye göre eğimli veya paralel yerleştirilmiş kaplama parçası, malzemelerin patlama sırasında hasara uğramalarını engellemek için tampon malzeme, patlayıcı malzeme ve füyne yerleştirilmektedir [16,17]. Patlamalı kaynak işleminin paralel ve açılı (eğik) düzlemde kaynak geometrisi Şekil 2'de gösterilmektedir.

Patlamalı kaynak yönteminde de diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kabul edilebilir nitelikte kaliteli birleşmelerin elde edilebilmesi için kaynak işlemi kontrol altında tutulabilecek işlem

parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Birleştirme işleminde arayüzeyi ve kaynak kalitesini etkileyen bazı önemli kaynak parametreleri; ara boşluk mesafesi (s), patlayıcı oranı (patlayıcı kütlesinin üst levha kütlesine oranı) (R), patlayıcının patlama hızı (V_d), üst levhanın çarpma hızı (V_p), çarpışma açısı (Q), kaynak hızı (V_c) ve altlık olarak sıralanabilir [15,18,19].



Şekil 2. Patlamalı kaynak işleminin paralel ve eğik düzlemdeki şematik gösterimi (Schematic view of explosive welding process on parallel and inclined plane)

Bu çalışmada, gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan ancak ülkemiz endüstrisinde henüz istenilen yeri alamayan patlamalı kaynak yöntemi kullanılarak kompozit malzeme üretilmiş ve üretilen bu kompozit malzemelerin mikroyapıları ile yorulma davranışları incelenmiştir. Tek malzeme yerine kompozit malzeme tercih edilmesinin nedeni; korozyon direnci geliştirilmiş, ısı transfer özellikleri artırılmış, elektriksel özellikleri iyileştirilmiş, kabul edilebilir dayanım değerleri ile iyi aşınma ve erozyon direncine sahip malzemeleri düşük maliyette üretebilmektir. Bu amaçla, S235JR malzeme yüzeyi östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) ile patlamalı kaynak yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Elde edilen malzemeler mikroyapı, sertlik ve yorulma testlerine tabi tutularak kompozitlerin birleşme arayüzeyi özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, sabit ara boşluk mesafesi (s) ve farklı patlayıcı oranları ($R=1.5-2$) kullanılarak patlamalı kaynak yöntemiyle üretilen kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve yorulma özellikleri belirlenmek istenmiştir. Bu amaçla 200x200x1 mm ebatlarında, 195 HV_{0.3} sertlik değerine sahip östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) ile 200x200x3,5 mm ebatlarında, 160 HV_{0.3} sertlik değerine sahip S235JR metal çiftleri patlamalı kaynak yöntemi ile paralel levha geometrisi düzeneği kullanılarak birleştirilmiştir.

Kaynak işlemi sırasında patlayıcı olarak M.K.E Barutsan A.Ş. tarafından üretilen % 92 Amonyum Nitrat, % 5 Motorin ve % 3 TNT içeren Elbar-5 kodlu toz patlayıcı kullanılmıştır. Kullanılan toz patlayıcı miktarı, üst levha olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) levhanın ağırlığı ile orantılı olarak belirlenmiştir. Çizelge 1'de deneyler sırasında kullanılan patlayıcı oranı (R) ve miktarları verilmektedir.

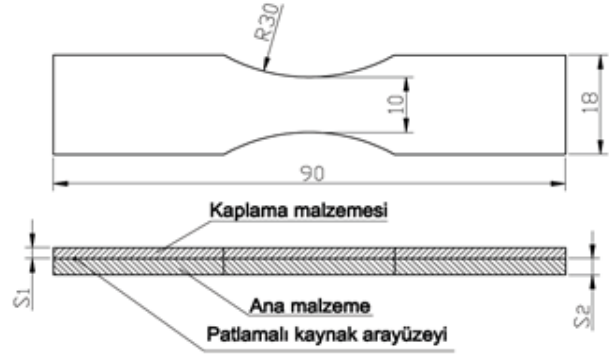
Çizelge 1. Patlayıcı oranları ve miktarları (Explosive ratios and amounts)

Numune No	Ana Malzeme	Kaplama Malzemesi	Patlayıcı	Üst levha ağırlığı (g) (m)	Patlayıcı Oranı (R)	Patlayıcı Miktarı (mxR) g
1	S235JR	Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L)	Elbar-5	314	1.5	471
2				314	2	628

Birleştirme işlemleri kum havuzu içerisine yerleştirilmiş olan ve yüzey düzgünlüğü ayarlanmış 1500x1500x150 mm ebatlarındaki çelik bir tabla üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi sırasında, patlamanın alt parçada oluşturabileceği zararları en aza indirebilmek için çelik tabla ile alt parça arasına 5 mm kalınlığında lastik bir tampon konulmuş ve böylece birleştirilen parçaların altlığın akustik özelliğinden etkilenerek ayrılmalarının ve geri fırlamalarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Ara boşluk mesafesini (s) elde etmek için uygun kalınlıktaki rondelalar kullanılarak alt parçanın üzerinde dört köşesine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve üst levha rondelaların üzerine yerleştirilerek uygun ara boşluk mesafesi ayarlanmıştır. Hazırlanan 210x210x50 mm boyutlarında patlayıcı kutuları üst levha üzerine yerleştirilerek kaynak düzeneği hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan bu kaynak düzeneği elektrikli bir manyeto düzeneği tarafından patlatılarak kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Kaynak işlemi sonrası arayüzeyde meydana gelen değişimleri görmek amacıyla kompozit malzemelerden patlama yönüne paralel olacak şekilde tel erozyon yöntemi ile mikroyapı numuneleri kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen bu numuneler bakalite gömme, zımparalama ve parlatma işlemine takiben viella dağlayıcısıyla dağlandıktan sonra optik mikroskop yardımı ile mikroyapı incelemesine tabi tutulmuştur. Yine aynı numuneler, kaynak işlemi sırasında patlamanın neden olduğu yüksek hızdaki çarpışma neticesinde birleşme arayüzeyinde ve kompoziti oluşturan metal çiftlerinin kesitleri boyunca oluşan sertlik değişimlerini görmek amacı ile sertlik ölçme işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik ölçümleri, Vickers mikrosertlik ölçme yöntemiyle 300g yük kullanılarak her iki malzemede birleşme arayüzeyinden başlayarak metal çiftlerinin yüzeylerine kadar belirli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Her bir noktadan üç adet sertlik değeri alınmış ve ortalama değer sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Birleştirilen kompozit malzemelerin yorulma davranışlarını belirlemek için, patlama yönüne paralel olacak şekilde yorulma deneyi numuneleri ASTM E-466 standardına uygun olarak tel erozyon yöntemi ile kesilerek hazırlanmıştır. Eğmeli yorulma deneyi için hazırlanan numunelerin şematik görünüşü Şekil 3'de verilmektedir. Yorulma deneyleri, eğmeli yorulma deneyleri için özel olarak tasarlanan eğmeli yorulma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Her bir parametreden 3 adet deney yapılmış ve ortalama değer tespit edilmiştir).

Kaynak işlemi sırasında patlama neticesinde parçaların yüzey kısımlarında meydana gelen yüzey durumlarının kompozitlerin yorulma ömürlerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yorulma numuneleri birleştirme sonrası orijinal halleri ile yorulma testlerine tabi tutulmuş olup herhangi bir yüzey veya talaş kaldırma işlemi uygulanmamıştır.

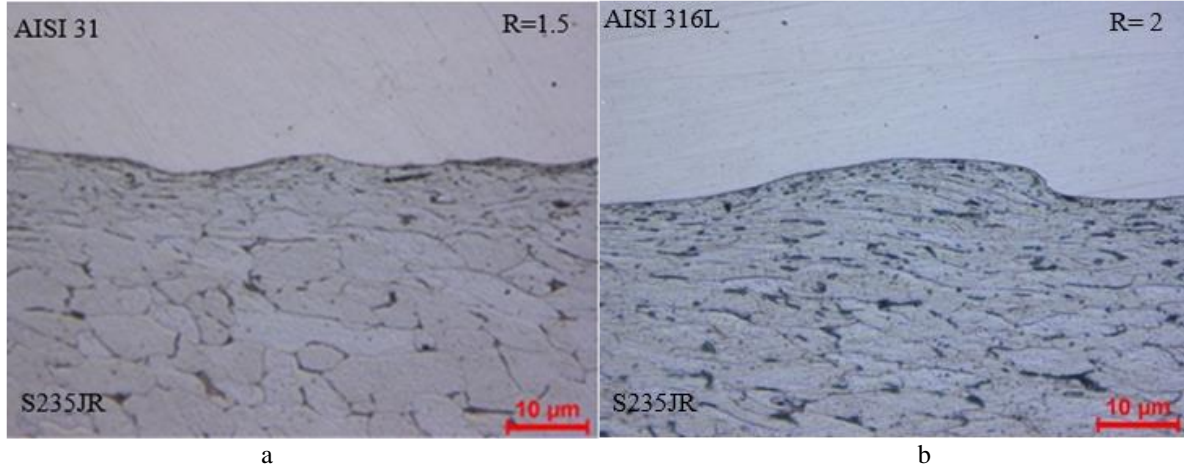
**Şekil 3.** Eğmeli yorulma test numunesi (Bending fatigue test sample)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

AISI 316L–S235JR metal çiftlerinden oluşan kompozitlerin patlamalı kaynak yöntemi ile üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapıları incelenmiştir. Ayrıca numuneler sertlik ve yorulma testlerine tabi tutularak kaynak işlemi sırasında kullanılan kaynak parametreleri ile olan ilişkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca eğmeli yorulma testine tabi tutulan numunelere ait kırık yüzey görüntüleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak x30, x100 ve x250 büyütme oranlarında alınmıştır. Yapılan testler sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.1. Mikroyapı İncelemesi (Microstructure Examinations)

AISI 316L–S235JR metal çiftinden oluşan ve tek bir ara boşluk mesafesi (s) ile farklı patlayıcı oranları (R=1.5-2) kullanılarak patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin birleşme arayüzeylerine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 4. a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Birleştirilen numunelerin arayüzey mikroyapı görüntüleri a-) R=1.5, b-) R=2, (Interface microstructure views of joined samples a-) R=1.5, b-) R=2)

Şekil 4’de verilen kompozit malzemelere ait arayüzey mikroyapı görüntülerinden, patlayıcı oranının ($R = 1.5$) kullanıldığı 1 numaralı numune mikroyapısı (Şekil 4.a) incelendiğinde birleşme arayüzeyinde dalgalı bir yapının meydana geldiği görülmektedir. Ancak arayüzeyde meydana gelen bu dalgalanmanın çok fazla olmadığı ve bunun da sebebinin patlayıcı oranının yeterli düzeyde olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Arayüzeyde meydana gelen bu dalgalanma hiçbir şekilde ana malzemede bir katlanma oluşumuna neden olmamış ve malzemelerde herhangi bir kenetlenme meydana gelmemiştir. Yine bu birleştirmelerden patlayıcı oranının ($R = 2$) kullanıldığı 2 numaralı numuneye ait mikroyapı görüntüsü (Şekil 4.b) incelendiğinde birleşme arayüzeyinde oluşan dalgaların boylarında ve genliklerinde artışların meydana geldiği görülmektedir. Bu durum ise kullanılan patlayıcı oranının birleşme arayüzeyinde dalga oluşumunu sağlayacak seviyede olduğunu göstermektedir. Yine Şekil 4.b’den görüldüğü gibi birleşme arayüzeyinde üst levhadaki fişkırmaman momentumundan kaynaklanan alt levhada oluşan deformasyon yanı sıra alt levhanın uç kısmında başlayan katlanma oluşumu görülmektedir. Her iki numunede patlama neticesinde çarpışmanın neden olduğu deformasyondan dolayı birleşme arayüzeyine yakın bölgedeki tanelerin patlama yönüne paralel bir şekilde uzadığı görülmektedir. Ayrıca yüksek patlayıcı oranının kullanıldığı (Şekil 4.b) numunedeki tanelerin uzamasının ve deformasyon miktarının düşük patlayıcı oranı ile elde edilen numunedekilere nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum artan patlayıcı oranıyla beraber deformasyon oranının arttığını belirtmektedir. Literatürde, patlama kaynak işlemlerinde patlayıcı oranının artmasıyla beraber birleşme arayüzeyinde meydana gelen deformasyon miktarının artabileceği ve oluşan dalgalanmanın genliğinde ve boylarında artışların meydana gelebileceği belirtilmektedir [20].

3.2. Sertlik Sonuçları (Hardness Results)

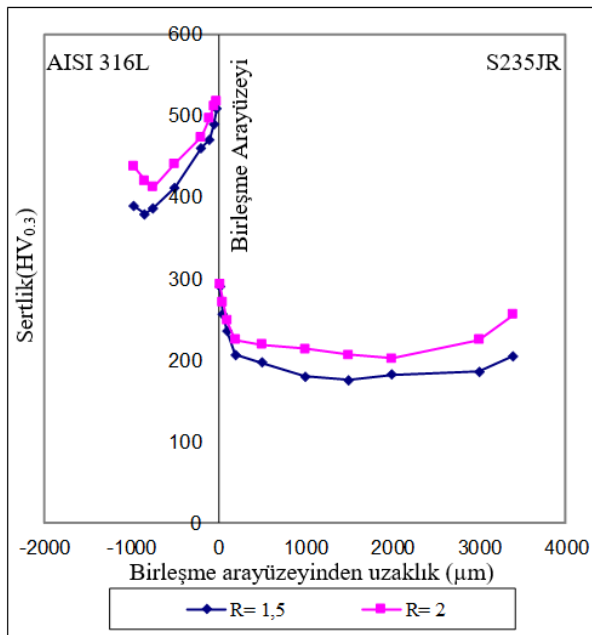
Patlamalı kaynak yöntemi ile sabit ara boşluk mesafesi (s) ve farklı patlayıcı oranları ($R = 1.5-2$) kullanılarak

üretilen AISI 316L-S235JR metal çiftlerine ait kompozitlerin sertlik ölçümleri yapılarak malzemelerin orijinal sertlik değerleri ile mukayese edilmiştir. AISI 316L-S235JR metal çiftinden oluşan kompozite ait sertlik değerlerini belirlemek için 1 mm et kalınlığa sahip AISI 316L levhada, birleşme arayüzeyinden başlayarak malzemenin dış yüzeyine doğru 20, 50, 100, 200, 500, 750, 850, 980 μm mesafelerden ölçümler gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan 3,5 mm et kalınlığına sahip S235JR levha için birleşme arayüzeyinden başlayarak malzemenin dış yüzeyine doğru 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 3400 μm mesafelerden sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kompoziti meydana getiren metal çiftlerinden AISI 316L levhanın başlangıç sertlik değeri 195 $\text{HV}_{0.3}$, S235JR levhanın başlangıç sertlik değeri ise 160 $\text{HV}_{0.3}$ olarak tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere ait sertlik değerleri Çizelge 2’de verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. incelendiğinde patlayıcı oranının ($R=1.5$) olduğu 1 numaralı numunede, kompoziti meydana getiren metal çiftlerinden başlangıç sertlik değeri 195 $\text{HV}_{0.3}$ olan AISI 316L için birleşme arayüzeyine en yakın bölge olan 20 μm mesafedeki sertlik 510 $\text{HV}_{0.3}$ değerine yükselmiştir. AISI 316L’ye ait sertlik birleşme arayüzeyinden levha merkezine doğru gidildikçe azalma göstererek 750 μm mesafede 329 $\text{HV}_{0.3}$ olarak ölçülmüştür. Birleşme arayüzeyinden en uzak mesafe olan ve yüzeye en yakın bölge olan 980 μm mesafede AISI 316L’nin sertliği tekrar 345 $\text{HV}_{0.3}$ değerine yükseldiği belirlenmiştir. Kompoziti oluşturan metal çiftlerinden diğeri olan ve başlangıç sertliği 160 $\text{HV}_{0.3}$ olan S235JR birleşme arayüzeyine en yakın mesafe olan 20 μm mesafedeki sertlik 290 $\text{HV}_{0.3}$ değerine ulaşmıştır. S235JR malzemeye ait sertlik birleşme arayüzeyinden 2000 μm mesafeye gelinceye kadar sürekli azalma göstererek 172 $\text{HV}_{0.3}$ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. Metal çiftlerine ait sertlik değerleri (HV_{0,3}), (Hardness values of metal couples (HV_{0,3}))

Numune No		1	2
Malzemeler		Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) + S235JR	Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) + S235JR
Patlayıcı Oranı		R= 1,5	R= 2
Arayüzeyden uzaklık (µm)	AISI 316L	-980	345
		-850	331
		-750	329
		-500	372
		-200	445
		-100	471
		-50	490
		-20	510
		0	-
		20	290
	S235JR	50	256
		100	236
		200	216
		500	197
		1000	180
		1500	176
		2000	172
		3000	186
		3400	205



Şekil 5. Metal çiftlerine ait sertlik grafikleri (Hardness graphics of metal couples)

Birleşme arayüzeyinden en uzak mesafe olan ve yüzeye en yakın bölge olan 3400 µm mesafede S235JR malzemenin sertliğinin tekrar 205 HV_{0,3}'ye yükseldiği belirlenmiştir. Patlayıcı oranının (R=2) kullanıldığı 2 numaralı numunedeki kompoziti meydana getiren metal çiftlerindeki sertlik dağılımları artan patlayıcı oranına

bağlı olarak 1 numaralı numune ile benzerlik göstermektedir.

Kaynak işlemi sırasında patlayıcının etkisiyle levhalarda meydana gelen çarpışma neticesinde birleşme arayüzeyinde oluşan soğuk deformasyon ile malzemelerde bir deformasyon sertleşmesi meydana gelmekte ve bu durum malzemelerin sertliklerinin artmasına neden olmaktadır. Meydana gelen deformasyonun şiddetinin arayüzeyden merkeze doğru ilerledikçe azaldığı için malzemelerin sertlikleri de azalarak orijinal sertlik değerlerine yaklaşmaktadır. Kaynak işlemi sonrası her iki malzemenin yüzey bölgelerinin sertlik değerlerinde de bir artış meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak, kaynak işlemi sırasında patlayıcının patlaması neticesinde meydana gelen şok dalgasının üst levhanın yüzeyinde meydana getirdiği deformasyon ve alt levhanın dış yüzeyinin altlık ile çarpışması neticesinde oluşan deformasyon olarak düşünülmektedir. Literatürde, patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin sertlikleri üzerine yapılan çalışmalarda, en yüksek sertlik artışının arayüzeye yakın bölgelerde oluştuğunu, iç bölgelere gidildikçe sertlikte azalmaların meydana geldiği belirtilmektedir [21-24]. Yine literatürde, artan patlayıcı oranıyla beraber kompoziti meydana getiren malzemelerin sertlik değerlerinde bir artış meydana geldiğini, bunun nedeninin ise artan patlayıcı oranı ile meydana gelen deformasyon şiddetinin artmasından kaynaklandığı belirtilmektedir [1, 2, 21, 25].

3.3. Yorulma Test Sonuçları (Fatigue Test Results)

Patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen AISI 316L-S235JR metal çiftinden oluşan kompozit malzemeler patlama kaynağı sonrası orijinal halleri ile eğmeli yorulma testlerine tabi tutulmuştur. Böylelikle kaynak işlemi sırasında patlayıcının neden olduğu ve numune yüzeylerinde oluşan yüzey durumunun yorulmaya etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Eğmeli yorulma deneyleri sırasındaki eğilme gerilmesi (σ) deneyler sırasında ölçülen eğilme momenti (Me) kullanılarak aşağıdaki 1 ve 2 numaralı formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımı ile Wöhler eğrileri en yüksek gerilme değerine karşılık gelen çevrim sayıları logaritmik olarak işlenerek çizilmiştir. Birleştirilen kompozit malzemelere ait eğmeli yorulma değerleri Çizelge 3’de

13.63 (kg/cm^2) gerilme değerinde 15400 çevrimlik bir yorulma ömrü sergilediği görülmektedir. Patlayıcı oranının ($R=2$) olduğu 2 numaralı numunede ise 12,22 (kg/cm^2) gerilme değerinde yorulma ömrünün 10620 çevrim değerinde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde artan patlayıcı oranı ile beraber kompozitlerin yorulma ömürlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak patlamalı kaynak işlemi sırasındaki patlama neticesinde, kaplama malzemesi dış yüzeyinde, birleşme arayüzeyinde ve ana malzemenin dış yüzeyinde meydana gelen yüksek deformasyonun neden olduğu malzemedeki iç gerilmeler olarak düşünülmektedir. Birleştirmelerin sertleşen bölgelerinde malzemelerde oluşan deformasyon sebebi ile kalıcı çekme kalıntı gerilmeleri oluşmakta olup bu

Çizelge 3. Kompozit malzemeye ait yorulma değerleri (Fatigue values of composite material)

Numune No		1		2	
Malzemeler		Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316 L) + S235JR		Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316 L) + S235JR	
Patlayıcı oranı		R= 1.5		R= 2	
		Gerilme (kg/cm^2)	Ömür (Çevrim)	Gerilme (kg/cm^2)	Ömür (Çevrim)
Deney numarası	1	13.63	15400	12.22	10620
	2	13.03	14600	15.10	7950
	3	24.23	9500	26.66	6160
	4	30.30	9200	35.76	5150

verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 6’da gösterilmiştir. Bu kompozit malzemeye ait eğmeli yorulma testi sırasındaki çatlak başlangıcı, çatlakın ilerlemesi ve kırılma anını gösteren resimler Şekil 7’de gösterilmiştir.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{Me}{W} \quad (2)$$

Burada;

σ = Eğilme gerilmesi (kg/cm^2),

Me = Eğilme momenti (kg/cm),

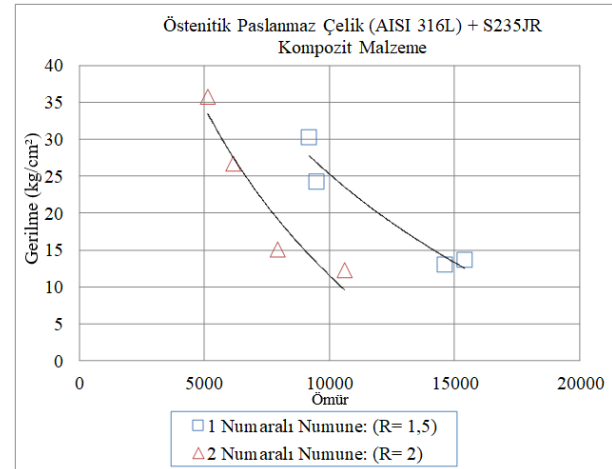
b = Genişlik (cm)

W = Eksenel direnç momenti (cm^3),

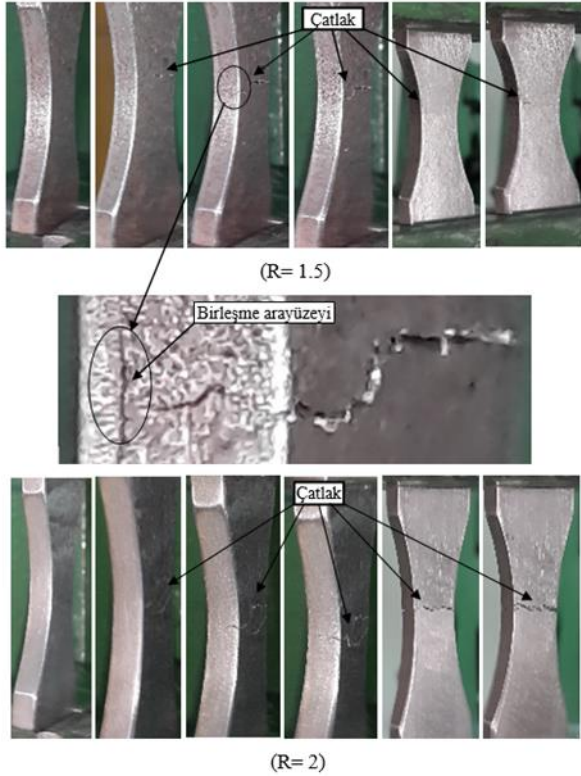
h = Kalınlık (cm)

Çizelge 3’de verilen eğmeli yorulma değerleri ile Şekil 6’da gösterilen eğmeli yorulma grafikleri incelendiğinde, patlayıcı oranının ($R=1.5$) olduğu 1 numaralı numunenin

gerilmeler de malzemelerin yorulma davranışlarını olumsuz yönde etkilemektedirler. Deformasyonun dolayısıyla gerilmelerin fazla olduğu numunelerde yorulma sonucu çatlaklar meydana gelmektedir.



Şekil 6. Kompozit malzemeye ait yorulma grafikleri (Fatigue graphics of composite material)



Şekil 7. Kompozitlerin yorulma deneyi görüntüleri (Fatigue tests pictures of composites)

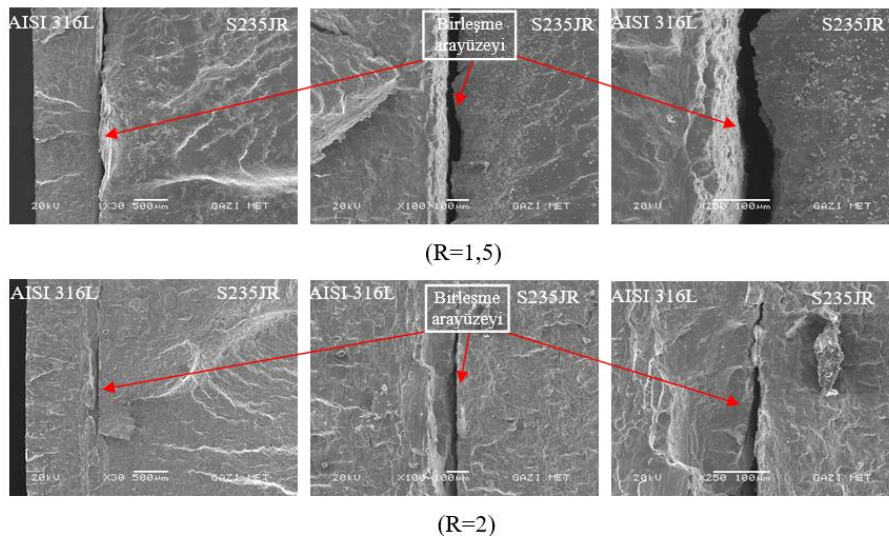
Kompozit malzemelere ait yorulma dayanımları ile sertlik değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde aralarında ters bir orantı olduğu görülmektedir. Artan patlayıcı oranı ile beraber kompoziti oluşturan malzemelerin sertliklerinin arttığı görülmektedir. Ancak artan sertlik oranıyla beraber kompozitlerin yorulma ömürlerinin azaldığı belirlenmiştir. Patlama sırasında meydana gelen deformasyonun, malzemelerde deformasyon sertleşmesine neden olarak sertlik artışına

ve yine oluşan deformasyon ile kompoziti meydana getiren malzemede iç gerilmelerin fazlaşmasına, dolayısıyla yorulma ömrünün azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kaynak işlemi sonrası levha yüzeylerinde meydana gelen ve artan patlayıcı oranı ile beraber artış gösteren düzensizliklerin yorulma deneyi sırasında çatlak başlangıcı için uygun zeminleri hazırlamaları nedeniyle kompozitlerin yorulma dayanımlarında ve ömürlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.

3.4. Kırık Yüzey SEM Sonuçları (Fracture Surface SEM Results)

Patlamalı kaynak yöntemi ile farklı patlayıcı oranları ($R=1.5-2$) kullanılarak üretilen AISI 316L-S235JR metal çiftlerinden oluşan ve eğmeli yorulma testine tabi tutulan numunelerin kırık yüzeylerine ait x30, x100 ve x250 büyütme oranlarında alınmış olan SEM görüntüleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde düşük ve yüksek patlayıcı oranları ile birleştirilen malzemelerin her ikisinin de arayüzlerinde ayrılmaların meydana geldiği ancak yüksek patlayıcı oranı ile birleştirilen numunede bu ayrılmanın daha az olduğu görülmektedir. Yorulma deneyleri esnasında kırılmaların ilk olarak S235JR ana malzemesinde olduğu belirlenmiştir. Eğmeli yorulma deney numunelerinin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntülerinde kompoziti meydana getiren metal çiftlerinden daha düşük sertliğe sahip S235JR levhada oluşan yorulma çatlaklarının daha fazla olduğu ve artan patlayıcı oranı ile bu yorulma çatlaklarının miktarının da arttığı görülmektedir. Oluşan bu yorulma çatlaklarının patlamanın neden olduğu deformasyon neticesinde oluşan gerilim yığılmalarına bağlı olarak meydana geldiği ve numuneye uygulanan kuvvet karşısında malzemenin kırılmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Kompozit malzemelere ait kırık yüzey SEM görüntüleri (Fracture surface SEM images of composite materials)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

1. AISI 316L-S235JR çelik malzemeler uygun kaynak parametreleri ile başarılı bir şekilde patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir.
2. Artan patlayıcı oranı ile beraber birleşme arayüzünün dalgalı bir görünüme geçtiği görülmekte ve oluşan dalgaların boylarında ve genliklerinde bir artış meydana gelmektedir.
3. Malzemelerin birleşme arayüzlerine yakın olan bölgelerdeki taneler meydana gelen deformasyon nedeni ile patlama yönünde olacak şekilde yönelmektedir.
4. Birleştirme işlemi sonrası levhaların sertliklerinde bir artış meydana gelmekte ve en büyük sertlik artışı birleşme arayüzüne yakın bölgelerde gerçekleşmektedir. Kullanılan patlayıcı oranının artışıyla beraber sertlik değerlerinde de bir artış meydana gelmektedir.
5. Birleştirme işlemindeki patlayıcı oranının artışıyla beraber sertlik değerlerindeki artışa bağlı olarak kompozit malzemelerdeki gerilme yığılmalarından dolayı yorulma dayanımları azalmaktadır.
6. Levha yüzeylerinde meydana gelen ve kullanılan patlayıcı oranının artmasıyla beraber artış gösteren düzensizlikler yorulma deneyi sırasında çatlak başlangıçlarını oluşturduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kahraman N., Gülenç B., "Patlamalı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Titanyum ve Bakır Levhaların Mikroyapı ve Korozyon Davranışlarının İncelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 7(2): 45-52, (2004).
2. Durgutlu A., Gülenç B., "Patlama Kaynağıyla Paslanmaz Çelik – Bakır Levhaların Kaynaklanabilirliği ve Patlayıcı Oranının Birleşme Arayüzüne Etkisi", *Politeknik Dergisi*, 5(3): 243-247, (2002).
3. Kearns W. H., "Explosion Welding", *Welding Handbook, AWS*, 3: 264-278, 1980.
4. Patterson R.A., "Fundamentals of Explosion Welding", *ASM Handbook*, 6: 160-164, (1993).
5. Gupta R. C., Kainth G. S., "Swinging Wake Mechanism For Interface Wave Generation in Explosive Welding of Metals", *Transactions of the ASME*, 57:514-521, (1990).
6. Yang Y., Xinming Z., Zhenghua L., Qingyun L., "Adiabatic Shear Band on the Titanium Side in the Ti/Mild Steel Explosive Cladding Interface", *Acta Mater*, 44 (2): 561- 565, (1996).
7. Cown G. R., Bergmann O. R, Holdzman A. H., "Mechanism of Bond Zoneave Formation in Explosive-Clad Metals", *Metallurgical Transactions*, 2: 3145-3155, (1971).
8. Yang Y., Wang Z. M., Zhang S. R., "Some Metallurgical Behaviours of Adiabatic Share on Ti Side in the Ti/Mild Steel Explosive Cladding Interface". *Rareetal Materials and Engineering*, 26: 13-17, (1997).
9. Erza A.A., "Principles and Practice of Explosive Metal Working", *Industrial Newspaper Ltd.*, 276-289, (1973).
10. James F.K., Hay D.R., "Amechanizm of Explosive Bonding", *Metallurgia Transactions*, 2: 1953-1958, (1971).
11. Reid S.R., "A Discussion of theMechanism of Interface Wave Generation in Explosive Welding", *Int. Journal of Mechanical Science*, 6: 399-413, (1974).
12. Yang Y., Li Z.H., Lu P.C., "A Temperature Distrubition Model of Explosive Cladding İnterfaceand Its Aplication". *Rare Metal Metarials and Engineering*, 29 (3): 161-163, (2000).
13. Abe A., "Numerical study of the Mechanism of Wavy Interface Generation in Explosive Welding", *JSME International Journal*, 40 (3): 395-401, (1997).
14. Abe A., "Numerical Simulation of the Plastic Low Field Near the Bonding Surface of Explosive Welding", *Journal of Materials Processing Technology*, 85: 162-165, (1999).
15. Acarer M., "Patlamalı Kaynak İşlem Parametrelerinin Birleşmeye Etkisi", *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2001.
16. James F. K., Hay D. R., "A Mechanizm of Explosive Bolding", *Metallurgical Transactions*, 2: 1953-1958, (1971).
17. Demirkol M., "Patlamalı Kaynak Yöntemi", *II. Ulusak Kaynak Sempozyumu, İTÜ*, İstanbul, Türkiye, 142-151, (1989).
18. 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).
19. Livne Z., Munitz A., "Characterization of Explosively Bonded Iron and Copper Plates", *Journal of Materals Science*, 22: 1495-1500, (1987).
20. Durgutlu, A., "Patlamalı Kaynak Yöntemi İle Bakır-Paslanmaz Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Arayüzeyin Mekanik-Mikroyapı Özelliklerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
21. Yan, Z., Cui L. S., and Zheng, Y. J., "Microstructure and martensitic transformation behaviors of explosively welded NiTi/NiTi laminates", *Chinese Journal of Aeronautics*, 20: 168-171 (2007).
22. Gulbin, V.N., Kobelev, A.G., Borissov, D.E., "Thermobimetals Mechanical Properties Produced by Explosive Welding With Rolling", *Journal de Physique* 4:49-54 (1997).
23. Truetnev, V.V., ve arkadaşları., "Comparative Assessment of The Quality of The Explosive Joining of Aluminium to Titanium ,stell and Nickel", *Svar. Roiz.*, 7:19-21 (1973).
24. Bina, M. H., Dehghani, F., and Salimi, M., "Effect of heat treatment on bonding interface in explosive welded copper/stainless steel", *Materials and Design*, 45: 504-509 (2013).
25. Kahraman, N., "Titanyum levhaların patlamalı kaynak yöntemi ile farklı metallerle birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).