

İki Farklı Çeliğin Kaynağındaki Uyumsuzluğun İncelenmesi

Bahadır UYULGAN

Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.

Hakan ÇETİNEL

Dr. Celal Bayar Üniversitesi Makina Mühendisliği Böl.

Tevfik AKSOY

Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.

ÖZET

Çalışmamızda; 17Mn4 (P295GH) kazan çeliği ve AISI304 paslanmaz çelik, ER309L ostenitik kaynak elektrodu kullanılarak kaynak edilmiştir. Kaynak yöntemi olarak TIG kaynak yöntemi seçilmiştir. Kaynaklı levhalardan çıkarılan numuneler üzerinde sertlik taraması ve çekme deneyi yapılmıştır. Kaynak bölgesinde kırılma tokluğu davranışını incelemek için tek taraftan çentikli eğme deney numuneleri ile J-integrali değerleri ASTM E 1737-96 ya göre hesaplanmıştır. Kaynaklı numune üzerinde değişik bölgelere gerinim ölçer (genlik duygacı) yapıştırlarak tek eksenli çekme yapılmış ve plastik deformasyonun başlamasının engellendiği bölgeler saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaynaklı birleştirme, kırılma tokluğu, plastik deformasyon, uyumsuzluk

ABSTRACT

In our study, 17Mn4 (P295GH) pressure vessels steel and AISI304 stainless steel are welded with ER309L austenitic consumable. Tungsten Inert Gas (TIG) is selected as a method of welding. Hardness and tensile tests are done on specimens of welding plates. J - Integral fracture toughness values are calculated according to the ASTM E1737-96 with Single-Edge bend specimen, to investigate fracture toughness characteristics on weld region. In order to determine the regions where plastic deformation is hindered, uni-axial tensile test was performed on welded tensile specimen with a number of strain gages attached.

Keywords: Weld joining, fracture toughness, plastic deformation, mismatch

GİRİŞ

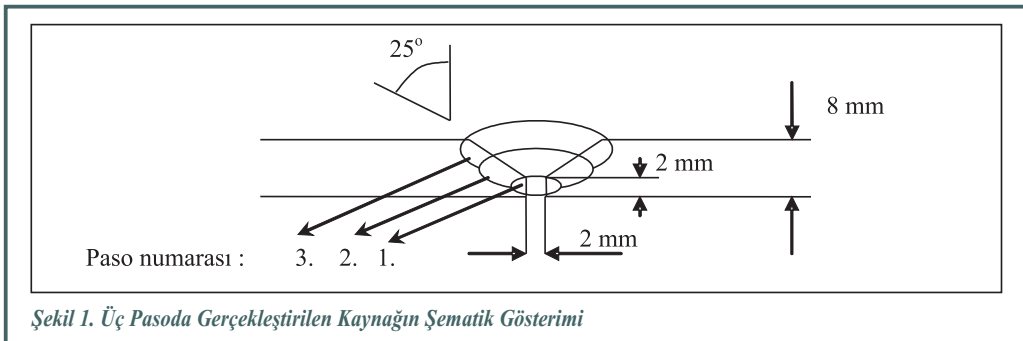
17Mn4 (P295GH); EN 10028 Kısım 2'ye uygun olarak üretilen karbon-manganez çeliğidir ve çalışma sıcaklığı yüksek olan buhar kazanları, basınçlı kaplar, boru devreleri, vs. nin yapımında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ER309L, paslanmaz çeliklerle alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin TIG kaynağında kullanılan ostenitik paslanmaz çelik kaynak telidir ve 300°C'ye kadar işletme sıcaklıklarına maruz kaynaklarda kullanılabilir [1]. AISI 304 (X5CrNi18-10) ostenitik paslanmaz çelik malzemelerin alaşımsız veya düşük alaşımlı çeliklerle kaynağı sık karşılaşılan bir durumdur. Kaynaklı birleştirme işlemi sonrası kaynak bölgesinde farklı akma mukavemetine sahip

bölgelerin bulunması sonucu bir uyumsuzluk ortaya çıkar. Ayrıca ergimiş kaynak metalinin etkisiyle esas metalde ısı tesiri altında kalan bölgeler (ITAB) oluşur. Bu çalışmanın amacı farklı bölgelerde oluşan uyumsuzlukların kırılma mekaniği açısından incelenmesidir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

150 mm x 300 mm ölçülerinde ve 8 mm kalınlığındaki çelik levhalar V kaynak ağzı açılarak TIG (GTAW) yöntemi ile kaynaklanmıştır (Şekil 1).

Kaynak parametreleri olan voltaj, akım ve kaynak hızı her paso için ayrı olarak Tablo 1'de verilmiştir.

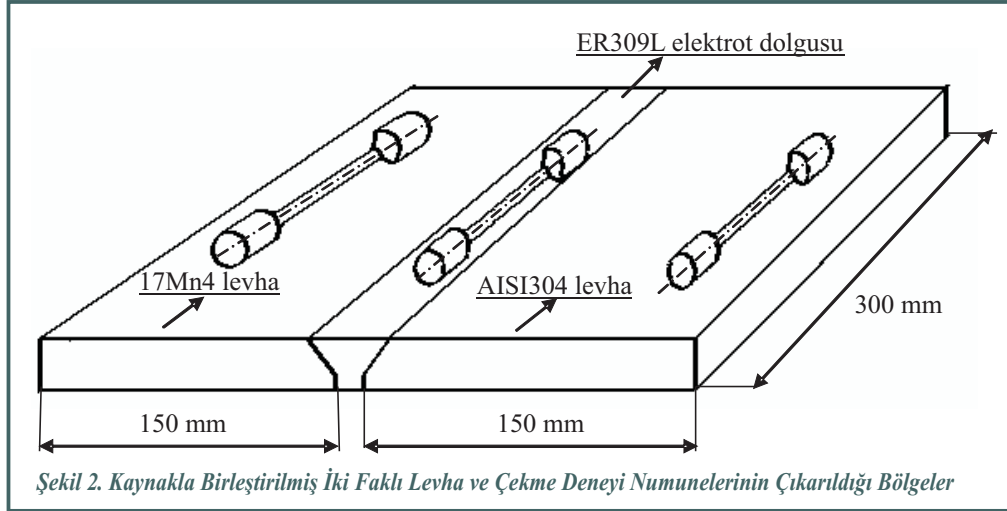


Şekil 1. Üç Pasoda Gerçekleştirilen Kaynağın Şematik Gösterimi

Tablo 1. Kaynak Sırasında Kullanılan Parametreler.

Paso	Voltaj (V)	Akım (A)	Kaynak hızı (cm/dak)
1	13-15	130	12-14
2	14-16	140	12-14
3	14-16	140	12-14

Kaynak bölgesinde karşılaşılan farklı akma mukavemeti değerleri bir uyumsuzluk yaratır. Uyumsuzluk katsayısı M , ($M = \sigma_y^{Kaynak.Metali} / \sigma_y^{Esas.Metali}$) (σ_y : Akma mukavemeti) şeklinde hesaplanabilir [7,8]. Bu hesaplama sonucu AISI304 için $M=1,52$, 17Mn4 için $M=1,14$ uyumsuzluk değerleri bulunmuştur. AISI304 ile kaynak dolgu metali arasındaki



Şekil 2. Kaynakla Birleştirilmiş İki Farklı Levha ve Çekme Deneyi Numunelerinin Çıkarıldığı Bölgeler

Tablo 2. Çekme Deneyi Sonucu Genel Mukavemet Değerleri

		Akma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	Kopma uzaması (%)
Esas Metal (X5CrNi18-10) (AISI 304)	ASTM A240/A240M-04a [3]	≥205	≥515	≥40
	EN 10204 (müşteriye verilen muayene dokümanı) [4]	280	631	57
	Çekme deneyi sonuçları	280	774	68
Kaynak Metali (ER309L)	ESAB marka ER309L elektrot (OK Tigrod 16.53) [5]	430	590	40
	Çekme deneyi sonuçları	425	646	43
Esas Metal (P295GH) (17Mn4)	EN 10028-2 [6]	≥295	≥460 ≤580	≥22
	EN 10204 (müşteriye verilen muayene dokümanı) [4]	476	576	28
	Çekme deneyi sonuçları	373	544	22

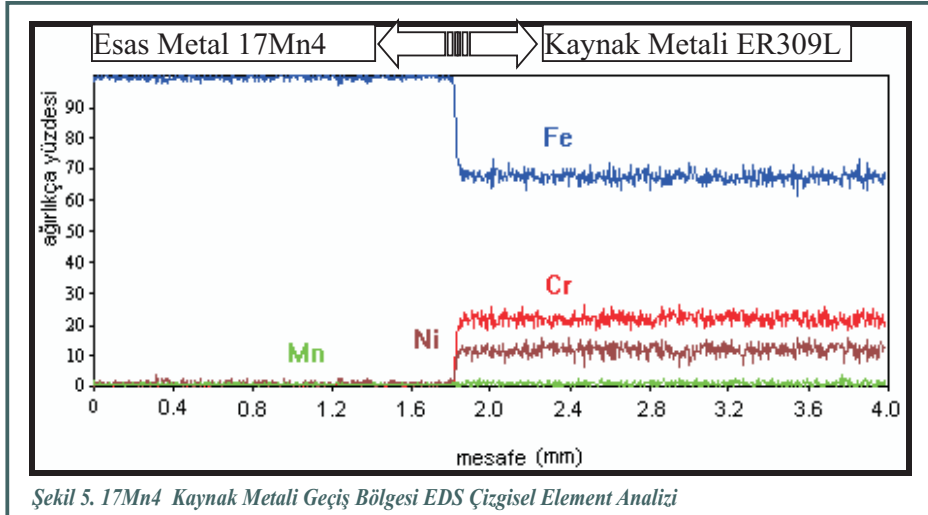
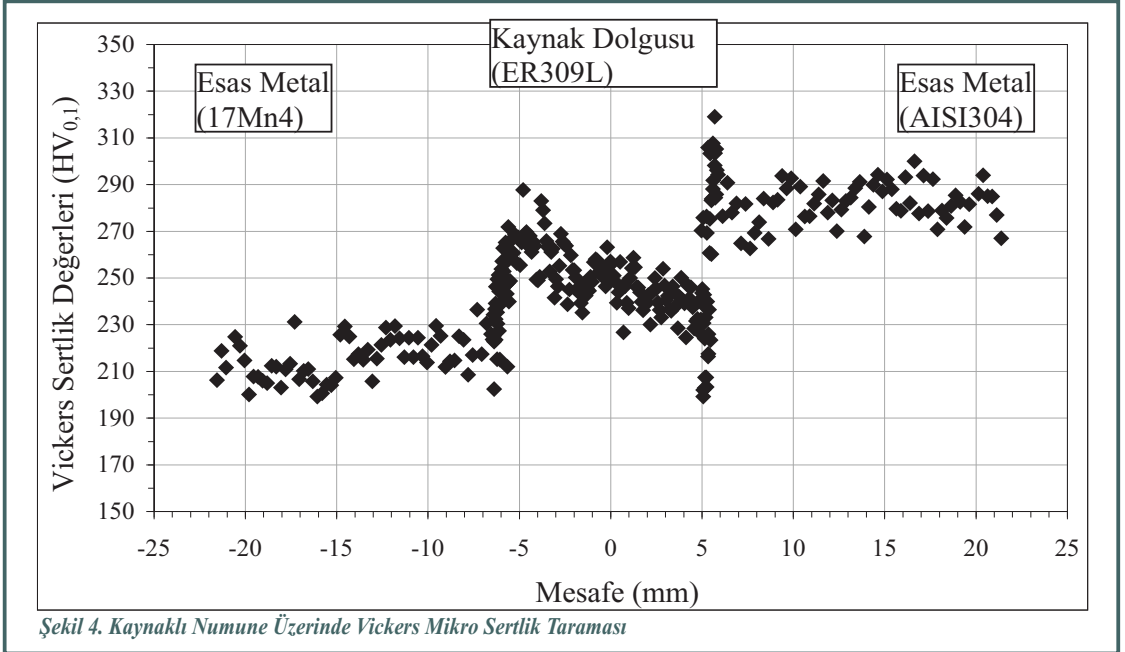
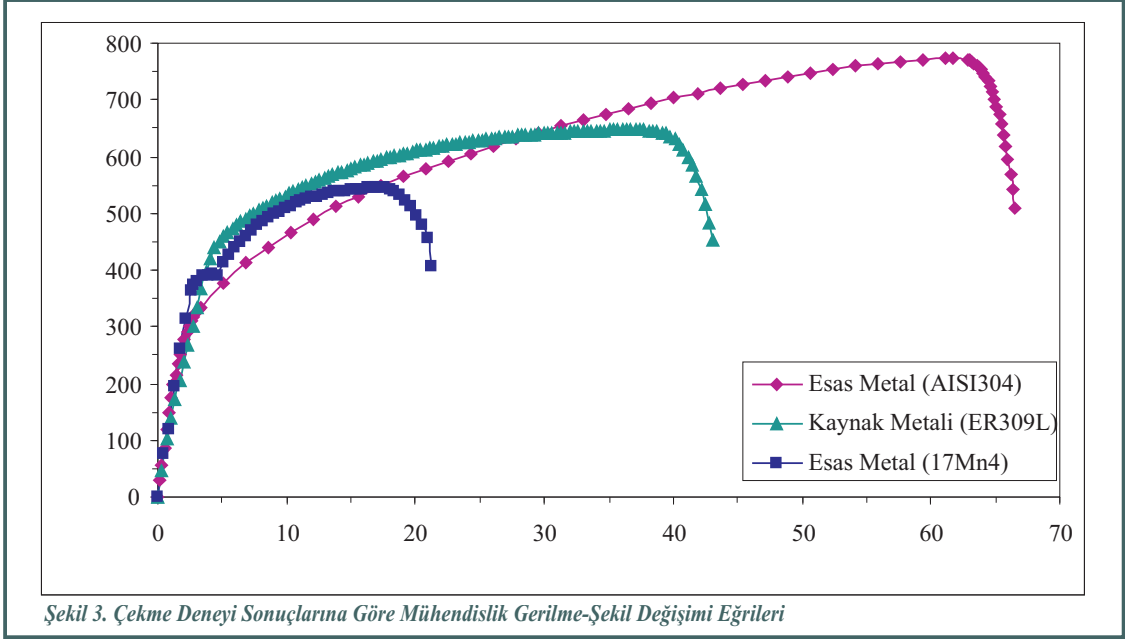
Kaynakla birleştirilmiş levhaların üst ve alt yüzeyleri freze ile düzeltildikten sonra tel erozyon cihazı ile kesilerek çekme ve J kırılma tokluğu değerlerini tespit etmek için ASTM E 1737-96 standardına göre deney numuneleri çıkarılmıştır [2]. Çekme deneyi için kesilen parçalar tornalanarak silindirik çekme deneyi numunesi haline getirildi (Şekil 2).

Çekme deneyleri ve kırılma tokluğu deneyleri SHIMADZU AG50kNG marka universal test cihazı ile gerçekleştirildi. Çekme deneyi sonuçları ile üretici firma verileri Tablo 2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3’de çekme deneyi sonucu elde edilen mühendislik gerilme şekil değişimi eğrileri gösterilmiştir.

uyumsuzluk 17Mn4-kaynak metali arasındaki uyumsuzluktan daha fazladır.

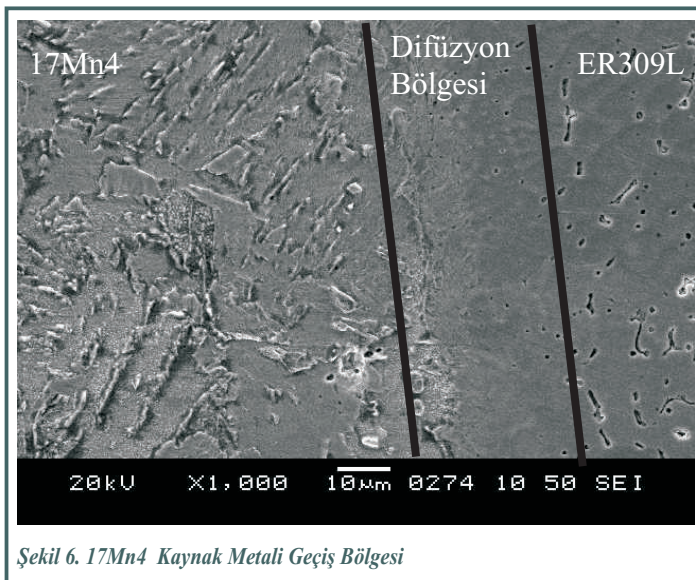
Sertlik ölçümleri SHIMADZU DUH-W201S marka ultramikro sertlik test cihazında Vickers uç ve 1 N yük uygulanarak yapılmıştır (Şekil 4). Sertlik taraması için referans noktası kaynak dolgusunun orta noktası olarak seçilmiş ve uzaklık ölçümleri bu noktaya göre yapılmıştır. Isı tesiri altında kalan bölgelerde sertlik değerlerinin ve buna bağlı mukavemetin nasıl değiştiği ile ilgili bilgi almak amacı ile sertlik taraması yapılmıştır.

Sertlik sonuçlarına göre 17Mn4’ün en düşük, AISI304’ün ise



en yüksek sertliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç çekme mukavemeti ile benzerlik göstermektedir. Isı tesiri altında kalan bölgelerde yani esas metalin kaynak dolgusuna yakın olan kısımlarında sertlik değerlerinin esas metalin sertlik değerleriyle aynı olduğu bulunmuştur. ITAB sertliği esas metalden farklı değildir ve kaynak metaline geçerken sertlik değerleri ani olarak değişmektedir.

Demir, krom, nikel ve mangan elementlerinin elektron mikroskobu altında EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) metodu ile çizgisel taraması yapılmıştır (Şekil 5). Elektron mikroskobunda görüntü üzerinden enerji dağılımı yöntemi ile kaynak metalini ile esas metal arasında 4 mm genişliğinde bir bölgede element taraması gerçekleştirildi. Geçiş bölgesinde taranan elementlerin ağırlıkça yüzdesi çok ani değiştiği için difüzyonun çok dar bir bölgeyi kapsadığı, yani difüzyonun çok sınırlı olduğu görülmektedir. Kaynaklı numunelerin yüzeyleri dağlandıktan sonra elektron mikroskobunda (SEM) çekilen fotoğrafların esas metalin



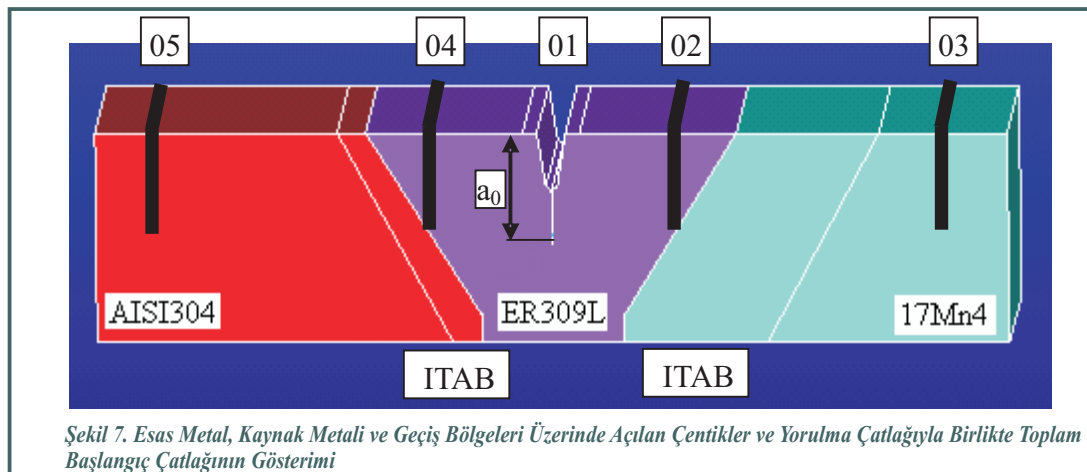
Şekil 6. 17Mn4 Kaynak Metalini Geçiş Bölgesi

kaynak metalinden keskin hatlarla ayrıldığını göstermesi bu durumu doğrulamaktadır (Şekil 6).

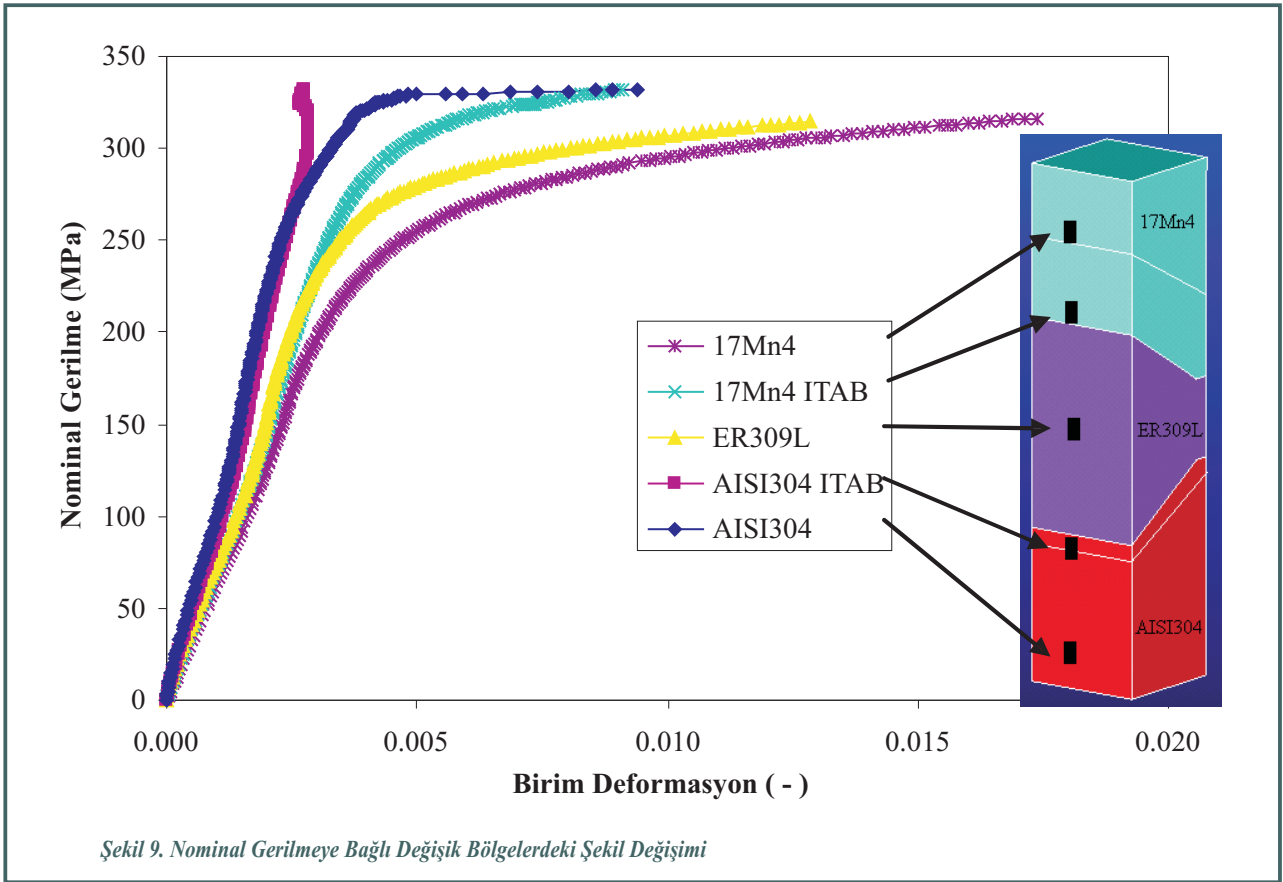
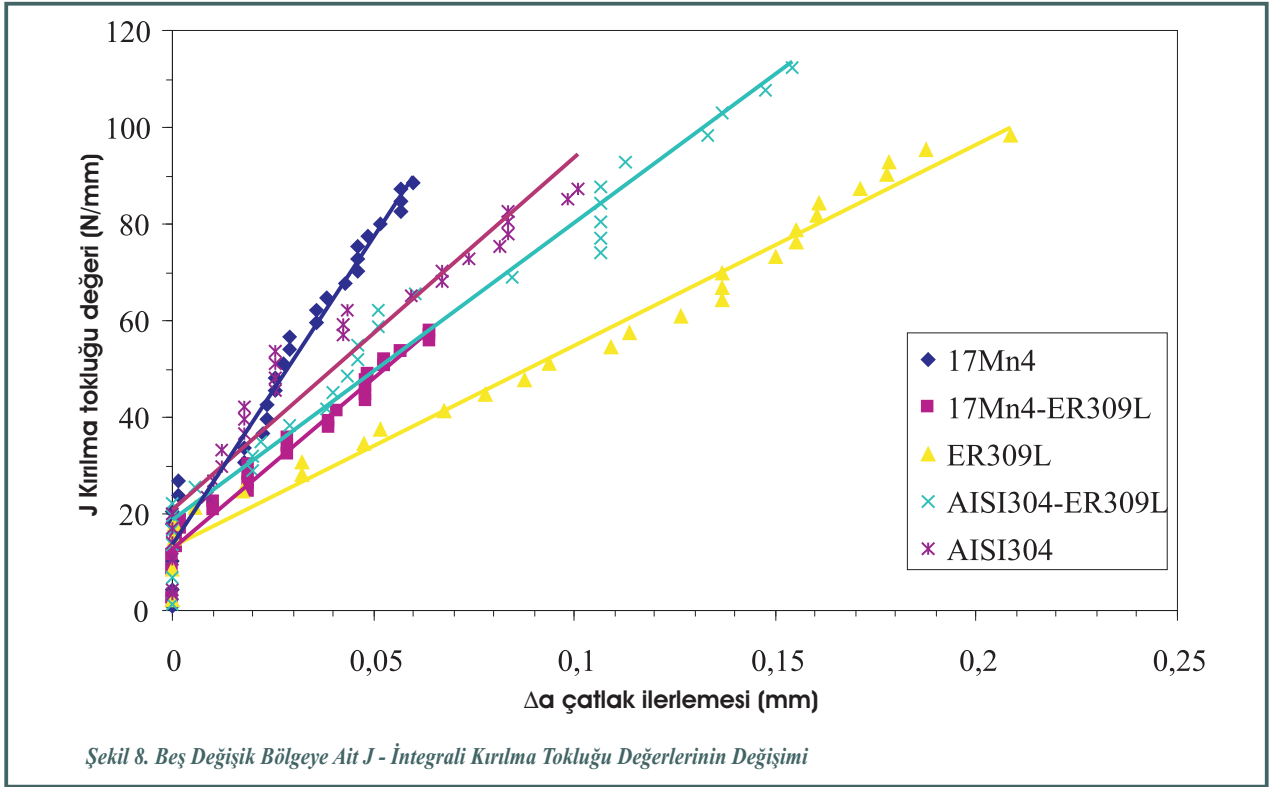
Kırılma tokluğu deneyi için seçilen numuneler üzerinde tel erozyon cihazı kullanılarak V çentikler açıldı. Çentikler değişik numunelerde 5 ayrı bölgede 30° açığa sahip 1 mm genişliğinde 2 mm derinliğinde olacak şekilde açılmıştır (Şekil 7).

Kırılma tokluğu deneyi öncesinde çentiklerin ucunda üç nokta eğme yüklemeli yorulma deneyi ile toplam başlangıç çatlak boyu (a_0) 4 mm olacak şekilde yorulma çatlakları oluşturuldu. Kırılma tokluğu deneyi, yüklem-boşaltma metodu ile yapılmıştır. Komplians metodu olarak da bilinen bu metotta numune üç nokta eğme deneyindeki gibi yüklenir ve yüklem sırasında çatlak ağzı açılma miktarları ekstansometre ile ölçülür. Önceden belirlenen aralıklarla yük bir miktar boşaltılıp tekrar artırılır. ASTM E 1737-96 standardında tavsiye edildiği şekliyle Yük çatlak açılma miktarı eğrileri kullanılarak J kırılma tokluğu çatlak ilerlemesi (Δa) eğrileri elde edilmiştir. Şekil 8’de çatlak içeren beş değişik bölgedeki J kırılma tokluğu - Δa eğrileri görülmektedir.

Kaynaklı birleştirmelerde mukavemet uyumsuzluğu nedeniyle ITAB civarında plastik deformasyonun engellenmesini ölçmeye yönelik beş değişik bölgeye yerleştirilmiş gerinim ölçer ile çekme deneyi yapılmıştır. Nominal gerilmeye bağlı olarak değişen gerinim ölçerden elde edilen şekil değişimi değerleri grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 9). Nominal gerilme; deney yükünün numune kesit alanına bölünmesiyle bulunan gerilme değeridir. Gerinim ölçer (Strain-gage) çok küçük bir elektrik direncidir ve yapıştırıldığı noktadaki elastik şekil değişimi miktarını ölçmede kullanılır. Plastik deformasyonun başlaması ile bu direnç kopar ya da yapıştığı yerden kurtulur. Plastik deformasyonun başlangıcını belirlemek için beş adet



Şekil 7. Esas Metal, Kaynak Metalini ve Geçiş Bölgeleri Üzerinde Açılan Çentikler ve Yorulma Çatlağıyla Birlikte Toplam Başlangıç Çatlağının Gösterimi



gerinim ölçer aynı numune üzerine yapıştırılarak çekme deneyi gerçekleştirildi. Tek eksenli çekme deneyi sırasında gerinim ölçerlerden alınan şekil değişimi değerleri sabit

zaman aralıkları ile çekme cihazı durdurulmadan kaydedilmiştir.

SONUÇ

Kaynaklı birleştirme sonucu yapılan sertlik taraması, esas metalde ısı tesiri altında kalan bölgelerde sertlik değişiminin belirgin olmayacak kadar az olduğunu göstermektedir. Üç değişik biçimdeki metal farklı sertlik değerlerine sahiptir ve birleşim yerlerinde sertlik değerlerindeki azalma ya da artma çok dar bir alanda olmaktadır. Seçilen kaynak parametreleri özellikle 17Mn4 tarafında muhtemel yüksek sertliğe sahip bir bölgenin oluşmasını engellemiştir.

Gerinim ölçerek yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre, Şekil 9'da farklı akma mukavemetlerinin yaratmış olduğu uyumsuzluk etkisiyle plastik deformasyon ilk önce 17Mn4 ve kaynak metalinde daha sonra bu iki bölge arasındaki ITAB da başlamaktadır. AISI304 ile kaynak metali arasındaki ısı tesiri altında kalan bölgede de plastik deformasyonun başlamasının gecikmesi gözlenmektedir. Plastik deformasyonun engellenmesi malzemenin gevrek davranış göstermesine sebep olur. Bu sonuç, esas metalle kaynak metali arasında kalan bölgede malzeme içerisinde var olan veya oluşabilecek bir çatlak malzemenin yüksek yüklerde tehlikeli bir gevrek hasara uğramasına sebep olacaktır.

J-integrali kırılma tokluğu deneylerine göre çatlak ilerlemesine karşı en düşük direnci kaynak metali göstermektedir. Kaynak metali - esas metal geçiş bölgeleri ise kaynak metalinden daha iyi, esas metallere daha kötü bir çatlak ilerlemesine karşı direnç göstermektedir. Bu sonuç, kaynak bölgesinde malzeme içerisinde var olan veya sonradan oluşan bir çatlakın daha düşük yüklerde kolaylıkla ilerleyip malzemeyi hasara uğratacağını gösterir.

Deneyler sonucunda plastik deformasyonun en çok ısı tesiri altında kalan bölgelerde engellendiği ve kaynağın tam ortasının kırılma tokluğu açısından en kritik bölge olduğu görülmüştür. Bu çalışmada seçilen kaynak yöntemi ve parametreleri, özellikle 17Mn4 esas metalinin ısı tesiri altında kalan bölgesinde olası bir martenzit dönüşümü ve yüksek sertliğe sahip bir ITAB oluşumu meydana getirmemiştir.

TEŞEKKÜR

Numune temini ve kaynaklı birleştirme işlemlerinde sağlamış oldukları desteklerden dolayı DESA OTAK Mühendislik ve Taahhüt San. ve Tic. A.Ş. şirketine ve yardımlarından dolayı Mehmet SARIKANAT'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş. Copyright 2001 http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/!PRODUCTS_PKG.product_detail_new?forPC=0&selected_menu=0&selected_submenu=0&lng=trk&subsubcategory_id=53&product_id=406
2. ASTM E 1737 96. (1996). Standard test method for J integral characterization of fracture toughness. West Conshohocken; ASTM Committee, ASTM International.
3. ASTM A240/A240M-04a (March 2004). Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications. West Conshohocken; ASTM Committee, ASTM International.
4. TS EN 10204 (21.6.2007). Metalik mamuller - Muayene dokümanlarının tipleri.
5. **Esab Saldatura S.p.A.** Copyright 2006 ESAB. <http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=121525>
6. TSEN 10028-2 (8.11.2005). Çelik yassı mamuller Basınç amaçlı Bölüm 2: Belirtilmiş yüksek sıcaklık özelliklerine sahip alaşımsız ve alaşımlı çelikler.
7. **C Eripret & P Hornet**, 1997. Fracture toughness testing procedures for strength mis-matched structures, Mis-Matching of Interfaces and Weld, Edited by K. H. Schwalbe & M. Koçak, GKSS Research Center Publications, Geesthacht, FRG. pp. 17-34.
8. **Petrovski, B. & Koçak, M.**, 1994. Evaluation of the fracture behaviour of strength mis-matched steel weld joints with surface cracked tensile panels and SENB specimens. Mis-Matching of Welds, ISIS 17 (Edited by K.-H. Schwalbe & M. Koçak) Mechanical Engineering Publications, London, pp. 511-536.