

# AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ ISPARTA MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ

Journal of Isparta Engineering Faculty of Akdeniz University

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ SEKSİYONU  
MECHANICAL ENGINEERING SECTION

## İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Radyol Pompalarda Dengeleme Delikleri Geometrisinin Verime Etkisi <i>Bei Radial Pumpen Der Einfluss Der Geometrie Der Ausgleichslöcher auf Pumpenwirkungsgrad</i>	Atilla ÜLKO, Otkan ÇUVALCI	1
Al-Mg-Si (Aldrey) Alaşımında Yaşlanma Sertleşmesinin Elektrik ve Mekanik Özelliklere Etkisi <i>Effect of Age Hardening Treatment On Electrical And Mechanical Properties</i>	Tevfik AKSOY, Ali Kemal YAKUT	11
Kömür Yakan Tesislerde Hava Kirliliği ve Asit Yağmuru Kontrolü <i>Pollution and Acid Rain Control for-fired Plants</i>	Fehmi AKDOĞAN	19
Tipik Diyagramlar Kullanarak Düz Borularda Akış Problemlerinin Pratik Olarak Çözümü <i>Practical Solution of Flow Problems In Straight Ducts by Using typical Charts</i>	Hüseyin SALVARLI	31
Virajda Frenlenen Otomobil-Römork İkişisinin Hareket Denklemlerinin Bilgisayar Yardımıyla Çözülmesi <i>A Computer Analysis For The Solution Of The Equations of Motion of an Automobile trailer System Braking on a Curved Road</i>	Mustafa DEMİRSOY, Hasan F. UKTEM	39
Yerel Isı Transfer Hızlarının Ölçülmesi İçin Deneysel Bir Kondensörün Tasarımı <i>The Design of an Experimental Condenser for the Measurement of Local Rates of Heat Transfer</i>	Osman TUTKUN	49
Dizel Motorların Türkiye'deki Uygulanması <i>Application of Diesel Engines In</i>	Mustafa BAYHAN	61
Cerium Metalinin Faz Transformasyonları ve Ceriumun Oksitlenmesi <i>Phase Transformations and Oxidation of Metallic Cerium</i>	Osman YAĞCI	73
Binaların Tavandan Isıtılması ve Bir Uygulama <i>Ceiling heating of Buildings and a Application</i>	Mustafa ACAR	83
Büyük Endüstriyel Kazanlarda Korozyon Kontrolü ve Dizayn Durumları ile İlişkisi <i>Corrosion Control In Large Industial Boilers and its Relation to Design Aspects</i>	Ahmet ÇAKIR	93
Plazma Kaynağı <i>Plasma Schweißen</i>	Süleyman KARADENİZ	109
Ferritik ve Östenetik Sacların Kaynak Konstrüksiyonunda Çatlak İlerlemesi ve Kontrolü ... A.Naci OTMANBULOK, İrfan AY		119
Die Anwendung Des Messverfahrens Der Reaktionskinetischen Grössen Auf Laminar-Durchstömten Adiabatischen Rohrwandreaktor <i>Laminar Akışlı Adyabatik Reaktörde Reaksiyon Kinetiksel Büyüklüklerinin Ölçümü için geliştirilen Yöntemin Uygulanması</i>	Zekâi Kâzım TELLİ, Ali Kemal YAKUT	131

SAYI:3 NİSAN 1987

NO:3 APRIL 1987

## FERRİTİK VE OSTENİTİK SAÇLARIN KAYNAK KONSTRÜKSİYONUNDA ÇATLAK İLERLEMESİ VE KONTROLÜ

A.Naci OTMANBÖLÜK Dokuz Eylül Üniversitesi  
İrfan AY Uludağ Üniversitesi

ÖZ

Bir konstrüksiyonun hesabedilen dayanıklılığı göstermesi istenir. Ancak, gerek malzemenin kendisinde ve gerekse imalat sırasında oluşacak hatalar, özellikle konstrüksiyonun kaynak yapılan yerlerinde oluşan çatlaklar, yapılan konstrüksiyonun ömrüne etki eden en büyük faktörlerdir. Hataların ve çatlakların bir konstrüksiyondaki etkisini tarif edebilmek için uygun inceleme yöntemlerinden COD yöntemi kolay uygulanır. Bu yolla saptanacak  $K_{IC}$  değerlerinin parça boyutu ile olan ilişkisi üzerine yapılan çalışmada, kalorifer tesislerinde ve fabrikalarda baca yapımında kullanılan saçlarda yapılan kaynaklı birleştirme yerlerindeki uygulama gösterilmiştir. Yapılan kaynaklarda "Overcord S" tipi ve "Inox AW +Cb" tipi elektrod'lar kullanılmıştır. COD yöntemi uygulamak üzere hazırlanan ağız açıklığı (Clip-gauge) ölçme aletinde strain gauge'ler kullanılmış ve böylece hazırlanan numunelerde yük altında çatlak ilerlemesi devamlı olarak gözlemlenmiştir. Çizdirilen grafiklerden elde edilen değerlerle yapılan hesaplamalarda, ferritik ve ostenitik yapı malzemelerdeki kritik COD ( $\delta_c$ ) değerleri bulunmuştur. Böylece, kaynaklı malzemelerde özellik değişimi kolay izleme yöntemi olan sertlik değerleri ile kaynak yeri kritik COD ( $\delta_c$ ) değerleri arasındaki bağıntı araştırılmıştır.

### ABSTRACT

It's desired that a construction should show the calculated strength. The failures that will occur either in materials or during the production, especially, occurring cracks in the weld metal zone of a construction are most important factors affecting to the life a construction. The COD method that is an appropriate method for definition of effect of the failures and the cracks in construction and is easy applied. In this study, it has been shown that the relationship between dimensions of specimen and  $K_{IC}$  values determined by the COD method. Besides it has been determined that the COD was applied to the weld zone in steel plates which are used to make the funny of factory and center heating. "Overcord S" and "Inox AW +Cb" electrode types have been used for welding. Strain gauges have been used in preparing the clip-gauge displacement instrument for the COD method and thus the crack propagation can be continuous observed in loading specimens. The critical COD ( $\delta_c$ ) values have been found by obtaining values from the graphics in the ferritic and austenitic structure materials. In this way, it has been studied the relationship between the critical COD ( $\delta_c$ ) values and the hardness values which show to change of behavior in welding materials.

## GİRİŞ

Bu araştırma konusu, 1960'larda uygulama alanına giren kırılma mekanizmasının bir dalını kapsar. Klasik konstrüksiyon hesaplarında ( $\sigma_{em}$ ) emniyetli gerilme, akma ( $\sigma_{ak}$ ) veya kopma ( $\sigma_{kop}$ ) gerilmelerinin uygun bir emniyet katsayısına bölümü ile bulunur. Uygulamada görülmüştür ki bu yolla yapılan hesaplamalarda çok düşük gerilmelerde bile hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlara, malzeme içersindeki yarık ve çatlakların önünde biriken gerilim yığılmaları ve "artık gerilmeler" in ilave katkılarının sebep olduğu son yıllarda iyice açığa çıkan gerçeklerdendir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, malzemelerin "kırılma tokluğu"nu somut olarak elde etme üzerine yoğunlaşmıştır. Sonuçta kırılma mekanizması deneysel yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemli iki tanesi  $K_{IC}$  (Düzlem deformasyon gerilim şiddeti faktörü) ve COD (Crack Opening Displacement) yöntemleridir. J-İntegrali, R eğri analizi v.s. gibi pek çok yöntem üzerinde çalışmalar hızla devam etmektedir (Harrison J.D.,1979).

"K", Malzemelerin kırılma tokluğunu belirtmede kullanılan bir malzeme sabitidir ve "gerilim şiddeti faktörü" olarak adlandırılır. Birimi  $N/mm^{3/2}$  dir.

$$K = \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2} \cdot x$$

ifadesi ile belirtilir. Burada;

- $\sigma$  : Yırtma gerilmesi
- $a$  : Çatlak uzunluğu
- $x$  : Sabit

Bu parametre, belli büyüklükteki çatlakın hangi gerilme yükü altında büyüyecek, kararsız bir şekilde yayılacağını belirtir (Ay,İ.,1985).

Malzemelerin kırılma tokluğu değerlendirilmesinde kullanılan diğer önemli yöntem COD'dur. Çatlak ucunda oluşan plastik deformasyon, çatlakın kütleşmesine yol açar. Bu kütleşme miktarı malzemenin kırılma tokluğu'nun bir ölçüsü olarak kullanılır. Birimi (mm) dir. Son yıllarda geliştirilen amprik formüllerle COD yöntemi kaynaklı yapılarda da uygulanmaktadır. Hatta o derece ki, kaynaklı malzemelerin inhomojen yapıda oluşu, ısınma ve soğuma sırasında oluşan "artık gerilme" içermeleri, lineer elastik kırılma mekanizmasında esas alınan çatlak geometrilerinin, elasto-plastik kırılma mekanizmasında çatlak ucunda meydana gelen plastiklik nedeniyle değişmesi ve karşılığının olmaması yüzünden COD yönteminin kaynaklı yapılarda uygulanmasında bazı zorluklar olmuştur. Bu zorluklar geliştirilen boyutsuz COD ( $\Phi$ ) ifadesi ile aşılmıştır (Harrison, J.D.,1979).

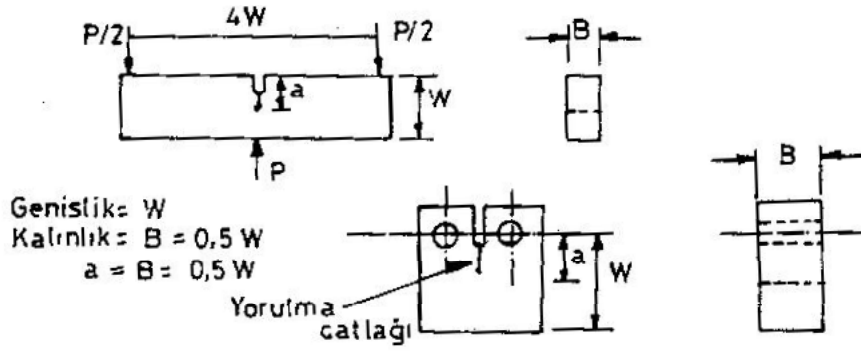
Bu makalede,  $K_{IC}$  ve COD testleri için gerekli genel şartlar ve kaynaklı numunelerin test edilmeleri için hazırlanmasında karşılaşılan özel problemler anlatılmıştır. Ayrıca, el ile yapılan ark kaynaklı iki farklı saç malzemenin kırılma tokluğu değerlendirilmesi için uygulanan COD yöntemi sonuçları verilmiştir.

## $K_{IC}$ VE COD TESTLERİ İÇİN GENEL ŞARTLAR

$K_{IC}$  ve COD metallerin kırılma tokluğu değerlendirilmesinde kullanılan en önemli iki yöntemdir. Bu testlerin yapılmasında ve geçerli olabilmeleri için bazı şartların yerine getirilmesi gereklidir.  $K_{IC}$  ve COD için tavsiye edilen test numuneleri Şekil 1 de görülmektedir.

Şekil 1 de üç noktadan eğmeli test numunesi ve CT (Compact-tension) test numuneleri görülmektedir. Tercih edilen numune boyutu  $a=B=W-a$  olanıdır. Bu boyuta sahip numunelerle optimum kırılma tokluğu değeri, numune kalınlığı (W) nin (1/3) üne isabet eden boyutlar içindeki çatlaklar için geçerlidir. Yüzeğe yakın çatlaklarla ilgili kırılma tokluğu değerleri için  $B=W$  olan yardımcı numuneler kullanılır ve ayrıntılı kırılma mekanizması analizi gerekir (Daves, N.G.,1976).

Kırılmanın nisbeten gevrek olduğu durumlarda ( $K_{IC}$ ) parametresi kullanılır. Bu parametrenin geçerli olabilmesi için, aşağıdaki şartların gerçekleşmesi gerekir. Üç noktadan eğmeli numune kullanıldığında;



Şekil 1.  $K_{IC}$  ve COD için tavsiye edilen test numune ve boyutları

A. NUMUNE BOYUTU İLE İLGİLİ ;

1. Kalınlık  $B \geq 2,5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{ak}} \right)^2$
2. Çatlak uzunluğu  $a \geq 2,5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{ak}} \right)^2$

B. YORULMA ÇATLAĞI İLE İLGİLİ ;

1.  $K_{max}/K_{IC} \leq 0,6$
2. Kavisliği  $\leq$  % 5 Çatlak uzunluğu
3. Eğim  $\leq 10^\circ$

C. YÜK-ÇATLAK AĞZI AÇILMA EĞRİ KARAKTERİSTİKLERİ İLE İLGİLİ ;

1.  $P_{max}/P_Q \leq 1,1$

olmalıdır. Numune boyutu ile ilgili  $B \geq 2,5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{ak}} \right)^2$  şartı, çatlak ucunda meydana gelen plastik bölge boyutu ( $r_p$ ) nin, B ve a numune boyutlarının % 2 sini aşmaması anlamına gelir. Sayet çatlak ucunda önemli derecede plastik deformasyon oluşuyorsa ilgili parametre COD olacaktır. Bu parametrenin geçerli olabilmesi için, üç noktadan eğmeli numune kullanıldığında;

A. NUMUNE BOYUTU İLE İLGİLİ ;

1. Kalınlık  $B = 0,5 W$
2. Çatlak uzunluğu  $a = (0,45 - 0,55) \cdot W$

B. YORULMA ÇATLAĞI İLE İLGİLİ ;

1.  $K_f \leq 0,63 \cdot \sigma_{ak} \cdot B^{1/2}$

Burada

$$K_f = \frac{Y.P}{B.W^{1/2}} (N/mm^{3/2})$$

Y : Kompliyans katsayısı (üç noktadan eğme numuneleri için a/W değerine karşılık gelen değerleri BS 5762 1979 İngiliz standardında verilmiştir) (Crack Opening Displacement (COD) Testing, 1979).

2. Yorulma çatlak uzunluğu 1,25 mm den az olmamalıdır.

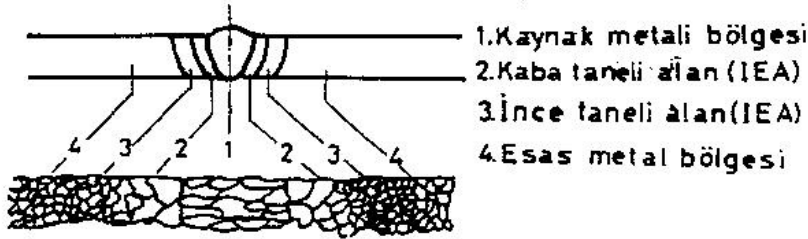
#### YOK-ÇATLAK AĞZI AÇILMA EĞRİ KAREKTERİSTİKLERİ İLE İLGİLİ

BSI standardındaki çatlak yarılması ile ilgili terimler hesaplanmalıdır:

Kırılma tokluğunun konstrüksiyonda kullanılma fikri, bizi en düşük kırılma tokluğuna sahip olan bölgeyi bulmaya zorlar. Özellikle kaynaklı parçalarda, bu bölge tesbit edildikten sonra, çentik açılır, yorulma çatlakları açılır ve daha sonra test yapılır. Elde edilen sonuçlar, kaynak ve çevresinde müsaade edilecek maximum veya kritik çatlak boyutlarını ( $a_{max}$ ,  $a_c$ ) ve emniyetli gerilme değerlerini verecektir.

Kaynaklı parçaların kırılma tokluğu testlerinde karşılaşılan özel problemler:

Kaynaklı parçalarda mikroyapı, kaynak dikişi ve çevresinde ince tabakalar halinde farklılıklar gösterdiğinden, kırılma tokluğu tayini testlerinde problemler doğar. Bu nedenle kaynaklı parçalarda yapılacak sadece tek bir numuneyi test ederek elde edilecek test sonucu, değişik mikroyapının tümünü kapsamaz. Mümkünse her bir değişik mikroyapı için ayrı ayrı değerlendirme yapılmalıdır. Böylece kaynaklı yapının gevrek kırılma açısından en zayıf bölgesi bulunmuş olunur.

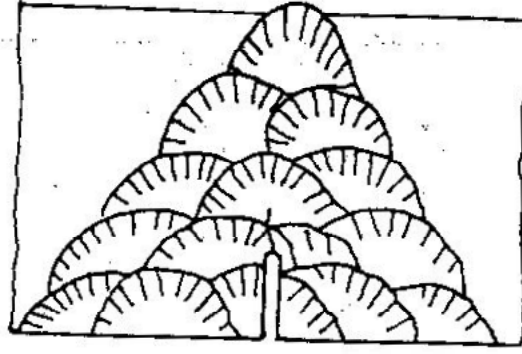


Şekil 2. Kaynak dikişi ve çevresindeki taneli yapı farklılıkları

a) İşletme şartlarında en problemlilik bölge IEA bölgesidir (IEA: Isı etkisi altındaki alan). Fakat oldukça dardır. Açılan çatlak bu bölgenin dışına taşarak kırılma meydana gelebilir. Bu nedenle zayıflığın hakim olduğu bölgenin belirtilmesi fikri daha mantıklıdır.

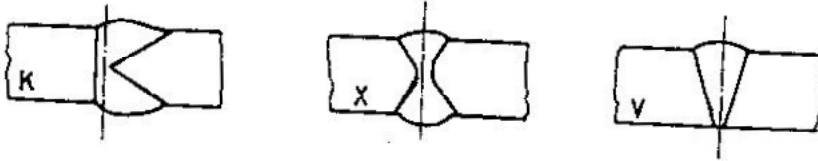
b) Kaynak metal ve çevresinin çok kompleks yapıda oluşu, numuneye çentik ve yorulma çatlak açma yerinin seçiminde sorun yaratır. Genel kanı IEA'nın kaba taneli yakın bölgesini seçmektir. Eğer seçilecek bölge kaynak metal bölgesi ise ve bu bölge dar ise, ek paso yaparak büyütme bir çözüm olabilir. Fakat IEA'daki bir bölgenin büyütülmesi, ancak titreşimli ısıtma ile suni bölge yaratmakla mümkündür. Bu ise ancak küçük numunelerde geçerli olur.

c) Numunelere tabii çatlak teşekkülünü sağlamak için yorulma ön çatlakları açılır. Çentik ucunda açılacak bu çatlaklar düz bir şekilde gelişmeyebilir. IEA bölgesine açılacak çatlakın ucu, kaynak bölgesinde veya esas metal bölgesinde durabilir. Test sonucu IEA bölgesinin değil, diğer bölgelerin kırılma tokluğu değerleri elde edilecektir. Bu nedenle "artık gerilme" ler sebebiyle her an-yön değiştirmeye hazır olan yorulma çatlaklarının yayılması çok sıkı kontrol altına alınmalıdır (Bkz Şekil 3).



Şekil 3. Kaynak metali bölgesinde yorulma çatlaklarının yayılması

d) -Kaynaklı yapıların kırılma tokluğu testinde geometri problemini 'K' tipi özel kaynak ağzı açarak çözmek mümkündür. Bu tip kaynak ağzı birleştirmelerine gerçek işletme şartlarında pek rastlanmaz. Fakat kırılma tokluğu bu tip birleştirmelerde minimum değerde bulunabilir. Zaten ama kırılma tokluğunu minimum değerlerde elde etmektir. X ve V tipi kaynak ağzı birleştirmelerde çekme gerilmesi IEA bölgesine  $45^{\circ}$ - $60^{\circ}$  eğimle geldiğinden kırılma tokluğu değerleri 'K' tipine göre daha yüksek olur (Bak Şekil 4).



Şekil 4. K, X, V tipi birleştirmeler

#### COD İÇİN BİR UYGULAMA

Aşağıda Tablo 1 de kimyasal kompozisyonları ve kaynak elektrot cinsleri belirtilen reaktif kule inalinde kullanılan iki farklı 6 mm kalınlığındaki sac malzemelere el ile ark kaynağı yapıldı. Kaynak iki paso'lu gerçekleştirildi.

BSI 5762 standardında belirtilen esaslara uyularak Şekil 5 de görüldüğü gibi COD testi için numuneler hazırlandı.

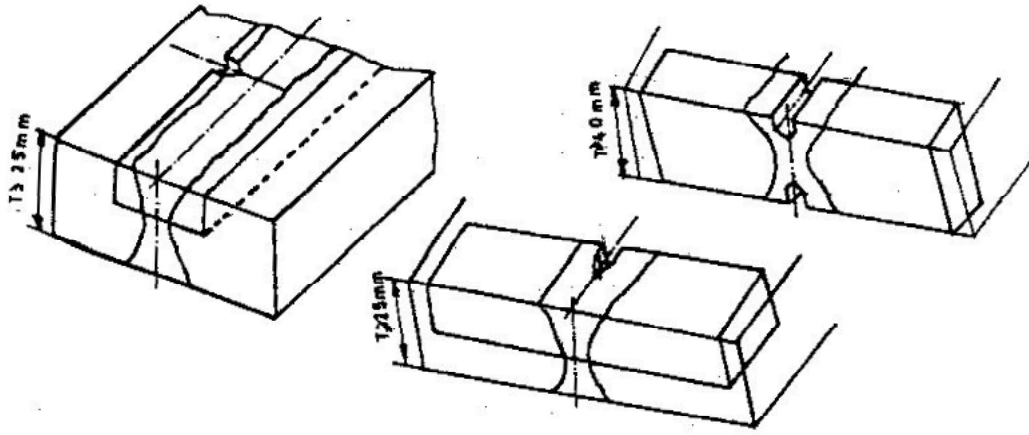
B = 6 mm kalınlığında hazırlanan test numuneleri;

- a. Kaynaksız durumda,
- b. Kaynaklı durumda,
- c. Kaynak sonrası ısıtım işlemi uygulanmış,
- d. K, X, V tipi kaynak ağzı,
- e. Çentik, kaynak metali, IEA ve esas metal bölgesine açılmış durumda,
- f. Farklı ısıtım denemesi,
- g. Çentik ve çentik ihtivali

gibi faktörler baz alınarak COD testi yapıldı. Test sonucu yük-çatlak ağzı açılma (P-v) eğrileri çizdirildi. Bu eğriler BSI 5762 standardındaki eğrilerle kıyaslandı.

Kalerifer baca sacı (DİE 1623)							
%	C	Mn	Si	P	S	Cu	
	0.05-0.09	0.30-0.40	0.010	0.020	0.035	0.030	
Overcord S tipi elektrot							
	0.06-0.10	0.40-0.60	0.30	0.020	0.020	-	
Fabrika baca sacı (DİE X 12 CrNi 18 8)							
%	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
	0.12	0.60	0.60	0.030	0.030	18	9
Inox AM+Cb tipi elektrot							
	0.07	1	-	-	-	18-20	8-10

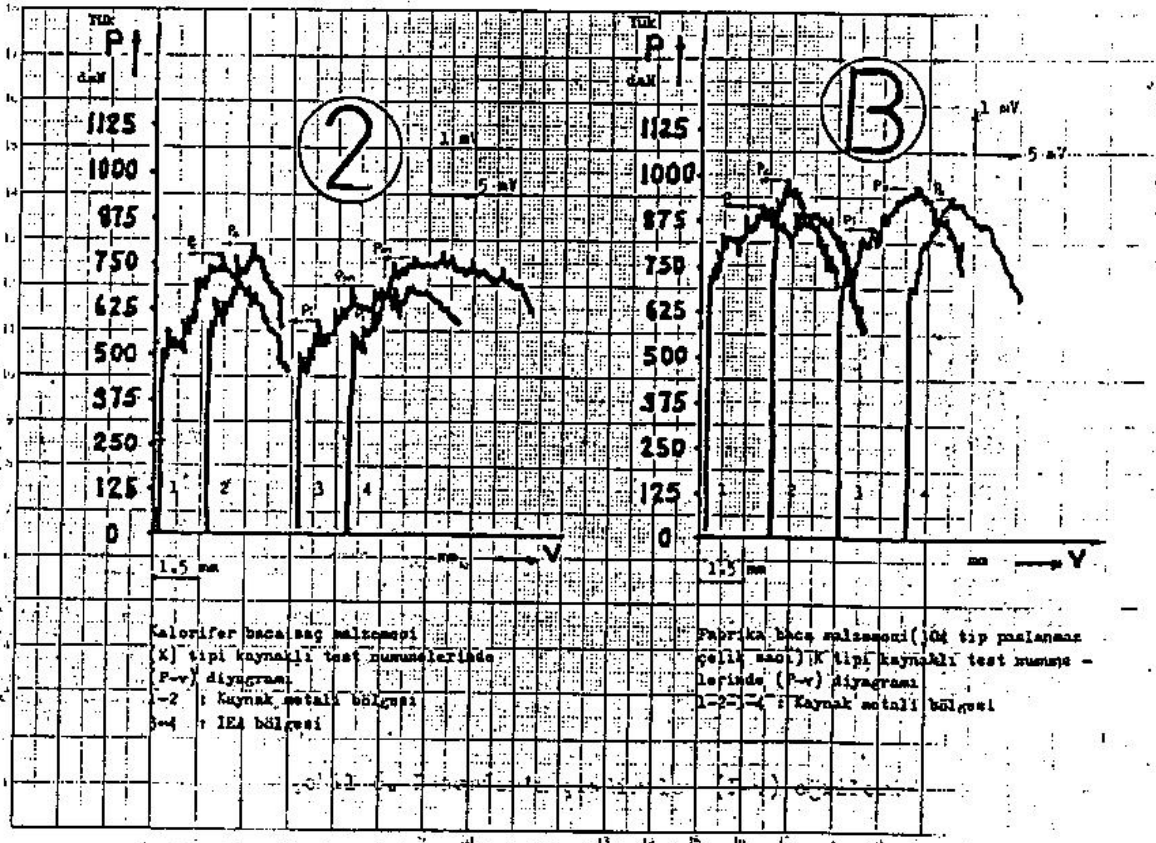
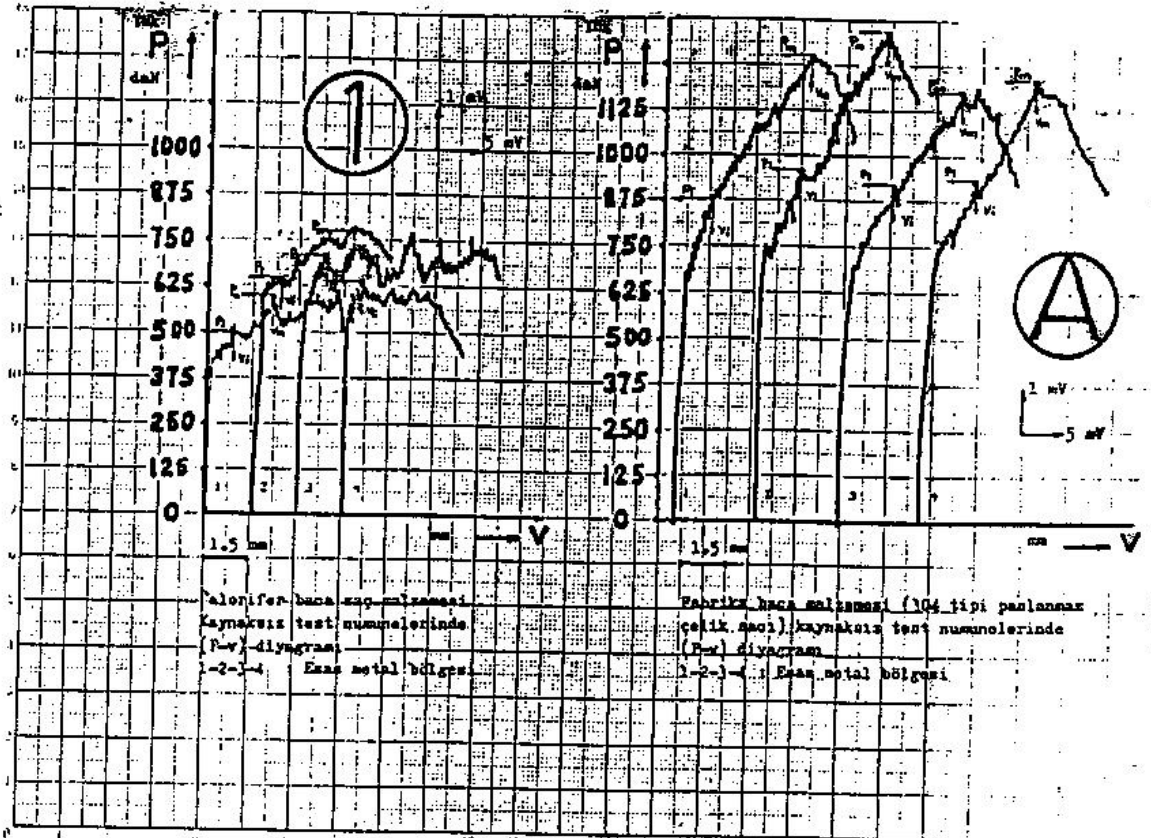
Tablo 1. Reaktif kule imali kaynağında kullanılan sac malzemelerin kimyasal kompozisyonu ve elektrod çinsi



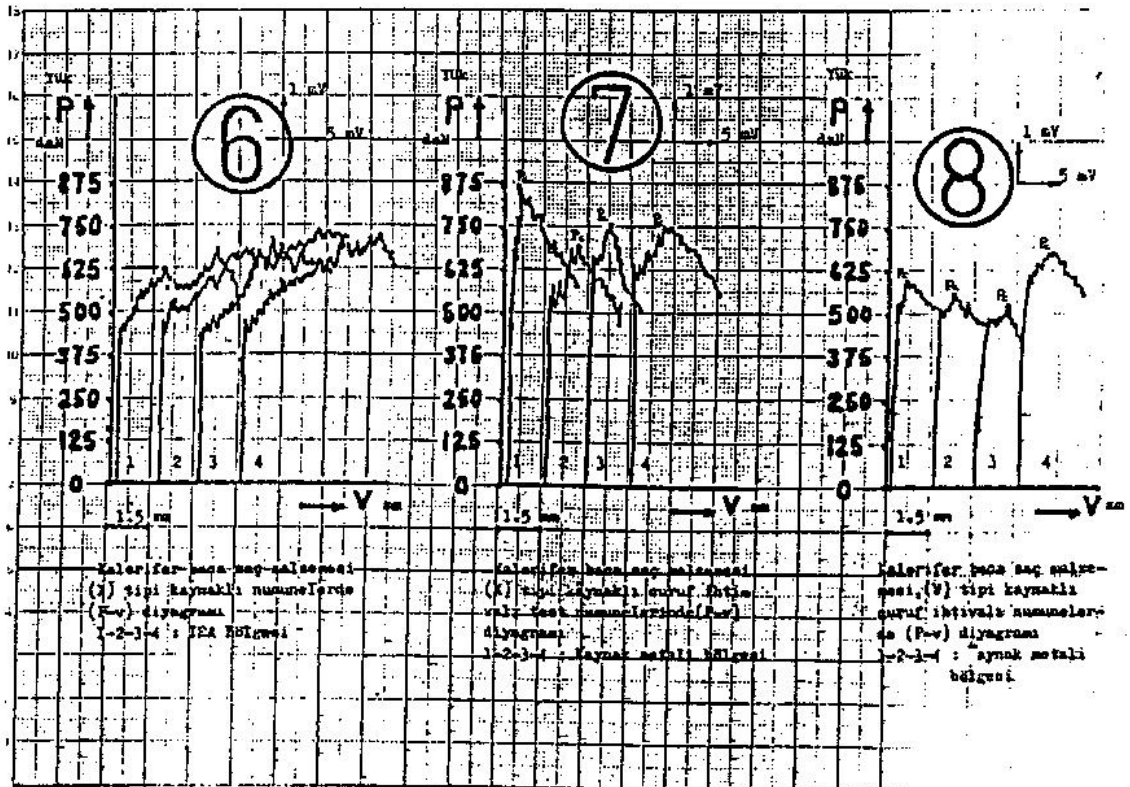
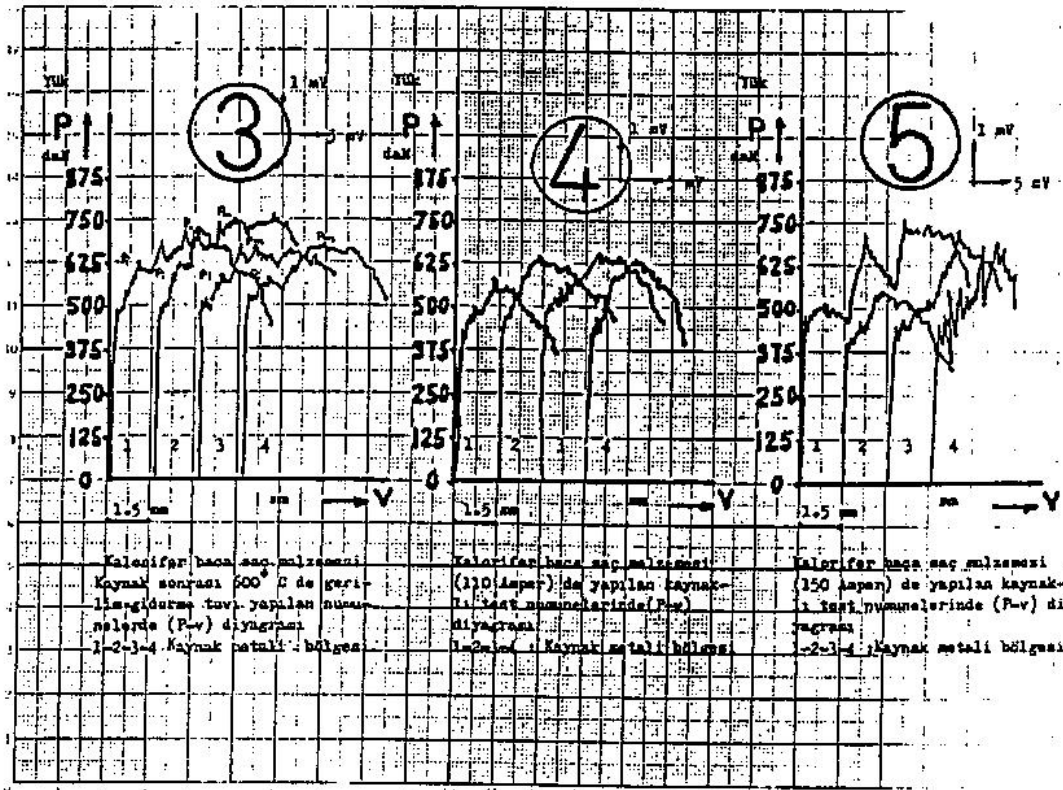
Şekil 5. COD için kaynaklı sacdan çıkartılan test numuneleri

Tablo 1 de belirtilen sac malzemelerin kaynak ve çevresinde gelişecek kararsız çatlak başlangıç noktasında ( $P_V, V_C$ ), yavaş yavaş büyüme gösteren çatlak başlangıç noktasında ( $P_I, V_I$ ) yavaş büyüyen çatlak büyümesinin sona erdiği noktada ( $P_U, V_U$ ) ve çatlak ucunda büyük plastik deformasyon olduğu zamanki çatlak kararsız yayılma noktasında ortalama ( $P_m, V_m$ ) değerleri tesbit edildi (Bkz.Şekil 6).









## SONUÇ

Bir konstrüksiyonun kırılma mekanığı yönünden değerlendirilmesi, bu konstrüksiyonda var olan veya varlığı kabul edilen çatlak veya hatalardan gidilerek yapılır. Bu alandaki yeni görüşlere göre, eğer çatlaklar yeterince küçük ise ve kararsız büyümüyorsa, konstrüksiyondaki varlıkları kabul edilebilir ve hatta eğer bir çatlak tam olarak tesbit edilebilmişse, kararsız büyümesi dahi kabul edilebilir. Kırılma yönünden emniyetli konstrüksiyon prensibine göre, konstrüksiyonun kullanım süresi içinde kritik çatlak büyüklüğüne erişmeyen çatlaklar veya hatalar kabul edilebilir durumdadır. Kontrollü kırılan konstrüksiyon prensibine göre de, bir muayene süresi içinde kritik çatlak büyüklüğüne erişmeyen çatlaklar veya hatalar kabul edilir durumdadır.

Çatlak ve hatalar teknik bir konstrüksiyon da daima vardır. Bunlar imalat sırasında oluşurlar veya doğal olarak malzemenin kendisinde zaten mevcuttur. Hatalar, çatlaklar kadar tehlikeli olmamakla beraber, genellikle malzemenin iç kısımlarında bulduklarından, tahribatsız muayene yöntemleriyle önceden yerleri ve şekillerinin belirlenmesi gerekir.

Kritik COD ( $\delta_c$ ) hesabı için çizdirilen eğrilerden istifade ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) Ferritik yapılı kalorifer baca sacında;

Kaynaksız durumda  $P_c = 500 - 600$  daN

Kaynaklı durumda  $P_c = 500 - 550$  daN

Ostenitik paslanmaz çelik sacında;

Kaynaksız durumda  $P_c = 1000 - 1200$  daN

Kaynaklı durumda  $P_c = 800 - 900$  daN

Bu sonuçlardan, ostenitik paslanmaz çelikte, kaynak işleminden sonra bariz bir kuvvet düşüşü olduğu, ferritik yapılı sac'a göre gevrekleştiği söylenebilir.

b) Kritik COD hesabı için;

$$\delta_c = K^2 \frac{(1+\nu^2)}{2\sigma_{ak} \cdot E} + \frac{0,4(W-a) \cdot V}{0,4W + 0,6a + z^P}$$

formülü kullanılmıştır. Buna göre;

Ferritik yapılı sacın;

Kaynaksız durumda  $\delta_{c \min} = 0,23$  mm

$\delta_{c \max} = 0,38$  mm

Kaynaklı durumda  $\delta_{c \min} = 0,18$  mm

$\delta_{c \max} = 0,28$  mm

Ostenitik yapılı sacın

Kaynaksız durumda  $\delta_{c \min} = 0,40$  mm

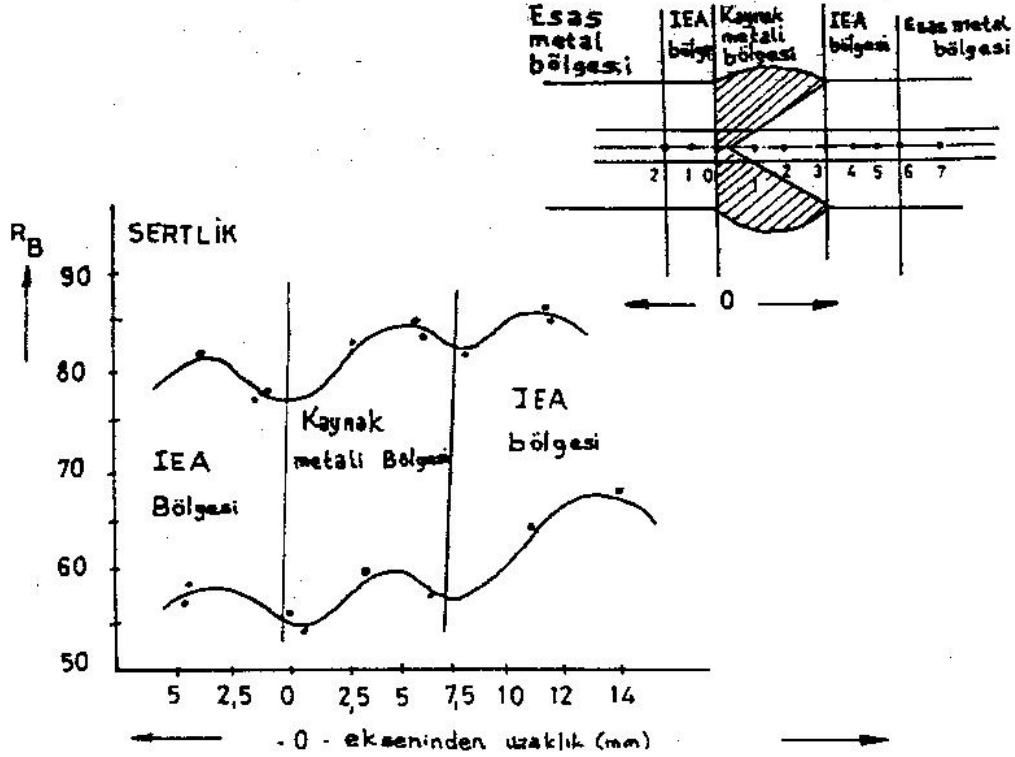
$\delta_{c \max} = 0,80$  mm

Kaynaklı durumda  $\delta_{c \min} = 0,36$  mm

$\delta_{c \max} = 0,58$  mm

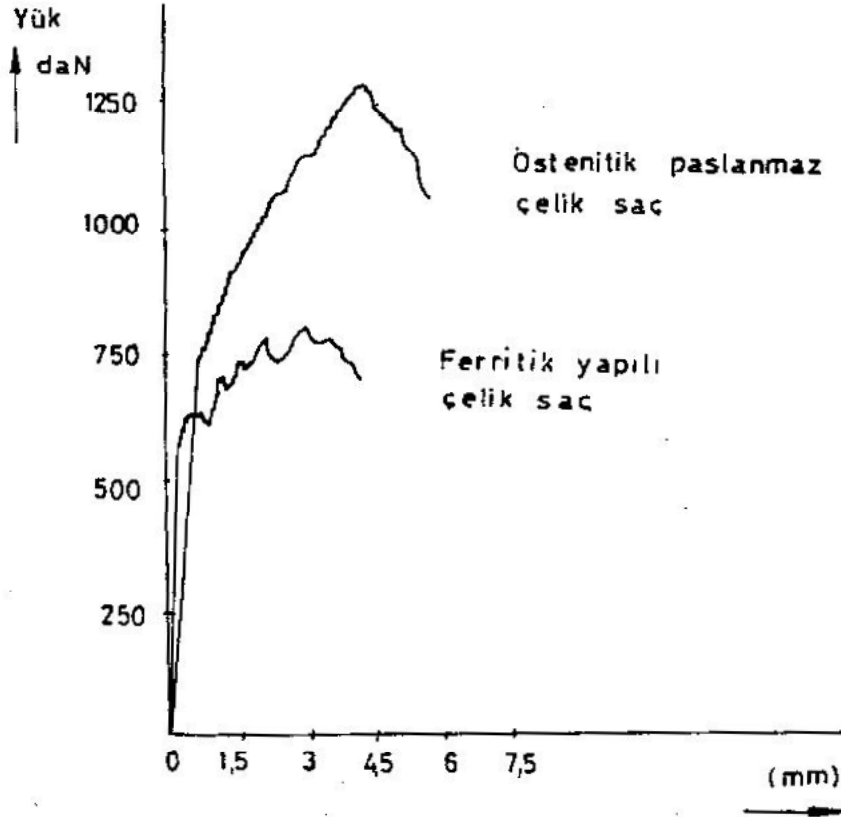
Yukarıdaki kritik COD ( $\delta_c$ ) değerlerinden her iki sac malzemesinde de, kaynak işleminin kırılma tokluğu değerini düşürdüğü gözlenmektedir.

c) Şekil 7 de sertlik ile ( $\delta_c$ ) kritik COD arasındaki ilişki araştırılmış, fakat kaynak krater bölgesinde ve IEA'nın ince taneli uzak bölgesinde sertliğin artmasına karşılık, ( $\delta_c$ ) aynı bölgelerde, kaynak krater bölgesinde düşme, IEA'nın ince taneli bölgesinde artma görülmüştür. Buradan sertlik ile ( $\delta_c$ ) kritik COD arasında bir ilişki olduğu söylenemez.



Şekil 7. Her iki tip çelik sacın "K" tipi kaynak ağızlı birleştirmelerinde "o" eksenine göre sertlik değişimleri

d) Şekil 8 de kırılma analizi eğrileri her iki sac için gösterilmiştir. Şekildeki eğrilerden de görüleceği gibi ostenitik paslanmaz sacın eğrisinin çok düzgün bir yol izlemesi, iç yapısının dislokasyon hareketine izin vermediğini, gayet mukavim ve rijit bir yapı olduğunu gösterir.



Şekil 8. İki farklı çelik sac için KIRILMA EĞRİLERİ (P-v)

#### KAYNAKLAR

- BSI 5762 1979, Crack Opening Displacement (COD) Testing, 1979
- ASTME 399-74, Standard tes method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials
- Harrison, J.D., Daves M.C., Archer, G.L., Kamath, N.S., The COD approach and its application to Welded Structure, ASTM STP 668, 1979
- Dawes, N.G., Contemporary Neasurements of Weld Metal Practure Toughness, Welding J., pp 1052-1057, 1976
- Eryürek, B., Kaynaklı yapıların gevrek kırılmaya karşı tasarımında COD yaklaşımı, Makina ve Mühendis Dergisi, Sayı 308, Sayfa 8-11 Eylül 1985
- Ay, İ., Akdeniz Üniversitesi III.cü Mühendislik Haftası, Isparta Mühendislik Fakültesi, 8-11 Mayıs 1985, sayfa .....