

MAG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ SAE 1020'NİN KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ VE UYUMSUZLUK (MISMATCH) FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ

Cevdet MERİÇ, Mesut TOKDEMİR

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Manisa

ÖZET

Bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılmakta olan SAE 1020 kalitesindeki düşük karbonlu çelik, MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve kaynak bölgesi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, esas metal ile kaynak metali arasındaki uyumsuzluğun mismatch incelenmesidir. Birleştirmeden sonra numunelerin, kaynak bölgelerinin, ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) ve esas metalin mekanik incelemeleri yapılmış, özellikle çatlak ucu açılma ilerlemesi (CTOD) tesbit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kaynak, Uyumsuzluk, CTOD, Düşük karbonlu çelik, MAG

JOINTING PROCESS OF THE SAE 1020 WITH MAG WELD'S REGION HAVE BEEN INVESTIGATED AND FACTOR OF MISMATCH DETERMINED

ABSTRACT

In this study, the jointing process of the SAE 1020 low carbon steel, generally used in the industry, has been done by the MAG weld method. The aim of this study is to examine the mismatch between base and weld metal. After the jointing process, mechanical and metalographical properties of the weld region, HAZ, and the weld metal of the samples considered here were searched, and CTOD (Crack Tip Opening Displacement) was identified.

Key Words : Welding, Mismatch, CTOD, Low carbon steel, MAG

1. GİRİŞ

Metalik malzemeleri birbiriyle birleştirmek ve bu birleştirme sonucunda amacına uygun konstrüksiyonlar meydana getirmek için değişik yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı da ergitme kaynağıyla malzemelerin birbiriyle birleştirilmesidir.

Ergitme kaynağı yöntemiyle yapılan kaynaklı birleştirmelerde, kaynak bölgesi oluşan gerilmeler nedeniyle mukavemet açısından önemlilik arzeder. Oluşan bu gerilmelerin başlıca nedenlerinden biri kaynaklı bölgenin statik ve/veya dinamik yükler altında çalışmasıyla eğilme ve çekmeye maruz kalmasıdır. Diğerleri ise bu bölgede kaynak sırasında oluşan kalıcı iç gerilmelerdir. Bu gerilmelerin tesiri altında kaynaklı bölgede

zamanla çatlakların oluşmasıyla önemli miktarlarda deformasyonlar meydana gelebilir (Tülbentçi, 1990; Güleç ve Aran 1985). Bu çalışmanın amacı kaynaklı bölgede oluşan bu hataların en belirgin nedenlerinden biri olan ana malzeme ile kaynak malzemesi arasındaki mukavemet uyumsuzluğunun incelenmesidir.

2. UYUMSUZLUK FAKTÖRÜ

Bugüne kadar yapılan çalışmalar (Dhooge, 1992; Koçak ve Schwalbe 1994; Bauschke ve ark., 1995) kaynaklı birleştirmelerde, kaynak bölgesindeki ana malzeme ile kaynak metali arasındaki uyumsuzluğun neden olduğu kırılma davranışlarını ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar mukavemet uyumsuzluğunun çekme ve

eğme yükleri altındaki kaynağın kırılma davranışını etkilediğini göstermektedir.

Uyumsuzluk faktörü M (mismatch); kaynak metali akma sınırının esas metal akma sınırına oranı olarak tanımlanır. Bu oranın 1'den büyük olması durumu ($M>1$) over-matching, 1'den küçük olması durumu ($M<1$) ise under-matching diye adlandırılır (Koçak ve Schwalbe, 1994; Koçak ve Denys 1994).

$$M = \frac{\sigma_{KM}}{\sigma_{EM}}$$

σ_{KM} : Kaynak metali akma sınırı

σ_{EM} : Esas metal akma sınırı

Ana metal ile kaynak metali akma sınırlarının uyumsuzluğu malzemelerin elastik-plastik davranışı esnasında kaynak bölgelerinin kırılma eğiliminde ve akma davranışları üzerinde önemli bir etkiye neden olur. Uyumsuzluk faktörü M, 1'den daha büyük seçilir (over-matching). Bunun nedeni kaynak metali bölgesindeki kaynak hatası veya çatlakların varlığının ana malzemedekilerden daha fazla olmasıdır. Genellikle kaynak metali over-matching'i gerilme uygulamasından oluşacak hatalara karşı koruma sağladığı varsayılır. Düşük ve orta mukavemetli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinin yeterli kırılma tokluğuna sahip olması ve M değerinin 1.2 ile 1.3 arasında (over-matching) olması tercih edilir (Eripret ve ark., 1994; Koçak ve Schwalbe 1994).

Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) kaba taneli içyapıya sahip olup gevrek kırılma eğilimi göstermektedir. Undermatching kaynak metali overmatching kaynak metali ile kıyaslandığında, undermatching durumunda ITAB'daki çatlağın kritik CTOD (çatlak ucu açılma deplasmanı)'nin belirgin bir şekilde arttığı görülür. Kırılma davranışında uyumsuzluk etkisi;

- Kaynak tipi
- Kaynak ağız geometrisi (örneğin V veya X)
- Yükleme modu (eğilme veya çekme)
- Yükleme yönü (enine veya kaynak dikişi boyunca)
- Çentik pozisyonu (kaynak metali veya ITAB)
- Uyumsuzluk faktörü (M)
- Numune geometrisi [örneğin : $2H/a$, $2H/(W-a)$, $2H/B$ burada; $2H$ kaynak genişliği, a çatlak boyu, W numune genişliği, B numune kalınlığı.] gibi parametrelere bağlıdır (Bauschke ve ark., 1995).

Tablo 1. Düşük Karbonlu Çeliklerin MAG Kaynağı İçin Önerilen Parametreler (Tülbentçi,1990)

BS7448, ESISP2, ASTM E1290'da tanımlandığı gibi homojen malzemeler için standart CTOD ve J integrali kırılma tokluğu tahmin yöntemlerinin uygulanması daha iyi sonuçlar vermektedir. Mukavemet uyumsuzluğuna sahip kaynak konfigürasyonlarında numunenin (çatlak ucu bölgesi) deformasyon davranışı homojen durumdakine benzemez. Deformasyon davranışı, kaynak ve ana malzemenin çekme özellikleri arasındaki farklardan etkilenir. Bu nedenle mukavemet uyumsuzluğunun eğilme ve çekme yükleri altındaki numunelerin kırılma mekaniği parametrelerine bağlı (CTOD veya J integrali) malzeme tokluğu parametreleri üstündeki etkisi fazladır. Hatalı malzemelerin hata tayin etme metodlarıyla ana metalin, kaynak metalinin ve ITAB'ın tokluk değerlerinin akma mukavemeti üzerindeki uyumsuzluk etkisinin tayin edilmesi gerekir (Pan ve Lee, 1991; Lee ve ark., 1992).

Bütün hata tayini metodlarında malzemelerin homojen olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılır. Gerçekte ise kaynak bölgeleri heterojen yapıya sahiptir. Buna rağmen bu etki göz önüne alınmaz. Bu nedenle kaynakların uyumsuzluğu için tokluk ve uygulanan şekil değiştirme ile hata büyüklüğü arasında bir bağıntı çıkarmak gereklidir (Skorupa, 1992).

Artan akma sınırı gerilmesiyle tokluk azaldığı için verilen bir hata büyüklüğünün yeri (kaynak metali ve ITAB) ve uygulaması için kaynak metalinin optimum mukavemeti ve tokluk değerlerini tanımlamak zordur. Uyumsuz kaynak bölgelerinin tam olarak kırılma karakteristiği sadece uyumsuzluk faktörüne ($M = T_{KM} / T_{EM}$) bağlı değildir (Pan ve Lee, 1991). Daha önceden yorulmalı önçatlak oluşturulan numunedeki çatlak ucu bölgesinde, çatlağın ilerlemesinin 8-10 mm uzaktan ölçülen deplasmanının çatlak ucu ile tam olarak ilişkisi olmadığından mukavemet uyumsuzluğuna sahip kaynak bölgelerinden elde edilen yük-deplasman ($P-\Delta_a$) eğrilerinde CTOD ve J integrali tahmini sonuçlarında önemli hatalar olasılığı vardır. Bu nedenle bu çalışmada üç nokta eğilme numunelerine clipgauge ayakları CTOD (δ_s)'e göre çatlağın ucuna 5 mm aralıkla bağlanmıştır.

3. DENEY NUMUNESİNİN HAZIRLANIŞI

Deney numuneleri, 12 mm kalınlığındaki SAE 1020 kalitesindeki az karbonlu çelik malzemenin,

Yöntem : MAG Kaynağı	Malzeme : Alaşimsız Çelik												
Uygulama : Yarı Otomatik	Tel (Elektrod) : SG 2 DIN 8559												
Birleştirme Türü : Alın Kaynağı	Koruyucu Gaz : SG 2 DIN 8559												
Kaynak Pozisyonu : Oluk													
Ağız Hazırlama													
Malzeme Kalınlığı (mm)	Ağız Türü	Aralık (mm)	Ağız Açısı (°)	Kök Panosu (KP); Dolgu Pasosu (DP); Kaynak Pasosu (KAP)	Tel Çapı (mm)	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Tel İlerleme (m/dak)	Koruyucu (Gaz /dak)	Paso Sayısı	Kaynak Metali (g/m)	Koruyucu Gaz /dak	Kaynak Süresi (dak/m)
10	V-Alın	2,5	50	KP, DP, KAP	1,2	18,5 28	135 290	3,2 9,0	10...1 5	3	591	134	10,6
12	V-Alın	2,5	50	KP, 2DP, KAP	1,2	18,5 29	135 290	3,2 9,0	10...1 5	4	791	168	12,7

Tablo 2. SAE 1020 ve Dolgu Kaynak Metalinin Kimyasal Analizi (% Ağırlık)

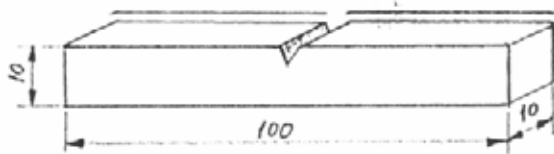
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W
SAE 1020	0.205	0.164	0.427	0.0089	0.0085	0.10	0.0069	0.0022	0.010
Dolgu Kaynak Metali	0.078	0.510	1.13	0.015	0.0038	0.026	0.045	0.011	0.010

Tablo 3. SAE 1020'nin ve Dolgu Kaynak Metalinden Elde Edilen Numunenin Çekme Deneyi Sonuçları

Malzeme	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Sınırı (N/mm ²)	Kopma Uzaması % (l ₀ = 5d ₀)
SAE 1020	375	291	25
Dolgu Kaynak Metali	500	450	22

haddeleme yönüne dikkat edilerek 40x180 mm ve 60 x 180 mm boyutlarında kesilen parçalara 22.5°'lik açıyla V kaynak ağızı açılarak kaynağa hazır hale getirildi. Daha sonra bu parçalar 45°'lik kaynak ağızı oluşturacak şekilde 1.5 mm aralıkla karşılıklı getirilerek Tablo 1'de verilen parametrelere bağlı kalınarak SG2 kaynak teli ile CO₂-Argon koruyucu gaz atmosferi altında kaynatıldı. Kaynak işleminde çarpılmayı önlemek için kaynaktan önce gerekli önlemler alındı. 70x180 mm ve 110x180 mm boyutlarındaki kaynaklı parçaların kalınlığı frezede 12 mm'den 10 mm'ye indirildi.

Parçaların eni de 70 mm'den 55 mm'ye, 110 mm'den 100 mm'ye indirildi. Bu numunelere 5 ayrı bölgeden 45°'lik V çentik ağızı boyutlarında 70 adet çentik darbe numunesi, Şekil 1'de gösterilen 14 adet 10x10x100 mm üç nokta eğilme deneyi numunesi, 1 adet 10x15x100 mm boyutunda mikrosertlik ve ana malzeme ve kaynak bölgesinden olmak üzere birer adet çekme deneyi numunesi hazırlandı. Üç nokta eğilme SENB (Single Edge Notched Bending) numuneleri yorulma cihazında akma bölgesini geçmemek şartıyla periyodik olarak yüklenerek belli bir süre sonunda V çentik ucunda 1-2 mm boyunda yorulmalı ön çatlak oluşturuldu.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan üç nokta yüklemesi numunesi

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4. 1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deney numunelerinin ana malzemesi SAE 1020 olup bu numuneler gaz altı kaynak yöntemlerinden MAG yöntemi ile birleştirilmiştir. Deney numunesi Spektrolab marka spektral analiz cihazında test edilmiş olup SAE 1020'nin ve dolgu kaynak metalinin kimyasal analizi Tablo 2' de verilmiştir.

(TS 138)'e göre hazırlanmış olan numunelerin mekanik değerlerini tesbit etmek amacıyla çekme deney cihazında test edilmiştir. Ana malzeme olarak kullanmış olduğumuz SAE 1020'nin ve dolgu kaynak metalinin çekme deneyi sonuçları Tablo 3'de verilmiş olup çekme deneyinde çene hızı 0,1 cm/d ve kağıt hızı 2 cm/d olarak alınmıştır.

4. 2. Uyumsuzluk Faktörü

Yapılan çekme deneyleri sonucunda dolgu kaynak metali akma sınırının, ana malzeme akma sınırına oranı olan uyumsuzluk faktörü M değerinin olduğu hesap edilmiştir.

$$M = \frac{T_A^{KM}}{T_A^{EM}} = \frac{450}{291} = 1.54$$

Bulunan değer 1'den büyük olduğundan over-matching söz konusu olacaktır. Bu da kaynaklı birleştirmelerde arzu edilen bir durumdur (Koçakve Schwalbe, 1994; Koçak ve Denys, 1994; Bauschke, 1995).

4. 3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

(TS 269)' a göre hazırlanan deney numuneleri 0.2 k sürtünmeli 30 k kapasiteli Wpmvab markalı charpy test cihazında test edildi. Soğutma ortamı için methanol banyosunu soğutan Colara Tauchkuhler marka cihaz kullanıldı.

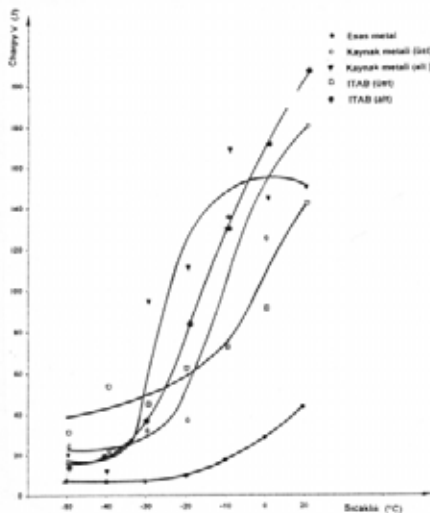
Çentik darbe deneyleri -50 ile 20 °C arasındaki sıcaklıklarda yapılmış olup deneylerden elde edilen numunelerin tokluk değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde;

- Ana malzemenin dolgu kaynak metalinden daha düşük tokluğa
- Kaynak metalinde kök pasosu kapak pasosuna göre daha düşük tokluğa
- ITAB(üst)'ün ITAB(alt)'dan daha düşük tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür.

Tokluk değerinin büyük olduğu üst bölgede sünek, alt bölgede gevrek, geçiş bölgesinde ise karışık kırılma görüldü. Sıcaklıkla malzemenin tokluk değerinin arttığı ve malzemenin sünek kırılma eğilimi gösterdiği tesbit edildi. Plastik şekil değiştirmeler iri taneli yapıdan dolayı ITAB'da yoğunlaşacağından bu bölge tokluk testi için önemlidir (Dhooge,1992).

4. 4. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

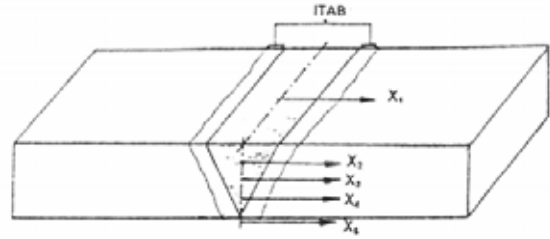
(TS 207)'e göre hazırlanan deney numuneleri Carlzeiss Jena marka mikrosertlik ölçüm cihazında test edildi.



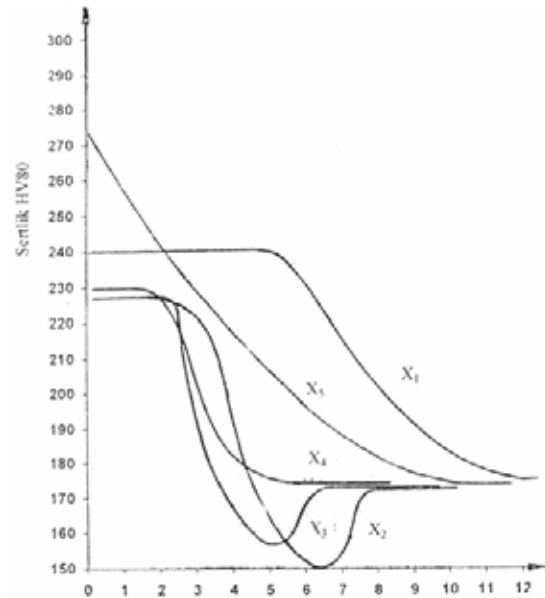
Şekil 2. Çentik darbe deneyi sonuçları
Yüzeyleri çok hassas olarak parlatılmış ve % 5 Nital ile dağlanmış numune üzerinde kaynak metalini ekseninden başlamak üzere üç ayrı bölgede (kaynak metalini, ITAB, ana malzeme) ve yüzeyden

itibaren 2.5 mm ara ile 5 ayrı doğrultuda mikrosertlik değerleri ölçüldü. Ölçüm yapılan doğrultular Şekil 3'de, elde edilen değerlerden oluşan grafik ise Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu deneyde $P = 80$ g'lık yük uygulanmıştır. Görüldüğü gibi kaynak bölgesinde yüksek olan sertlik değerleri ITAB'de giderek azalmakta soğuma hızından dolayı numunenin en üst ve en alt (X_1 , X_5 doğrultusunda) yüzeylerinde normal bir düşme seyri göstererek ana malzeme sertlik değerine ulaşılmaktadır.

X_2 , X_3 , X_4 doğrultularında ITAB'nin ana malzeme tarafında kaba taneli iç yapıdan dolayı sertlik düşmeleri görülmekte daha sonra yükselme seyri ile ana malzeme sertlik değerine ulaşılmaktadır.



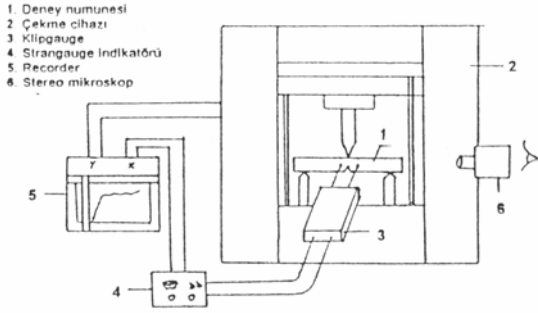
Şekil 3. Deney numunesi üzerinde mikrosertlik ölçümü yapılan doğrultular.



Şekil 4. Çeşitli doğrultulardaki mikrosertlik değerleri

4. 5. Üç Nokta Eğilme [CTOD(δ_5) Çatlak Ucu Açılma Deplasmanı] Deneyi Sonuçları

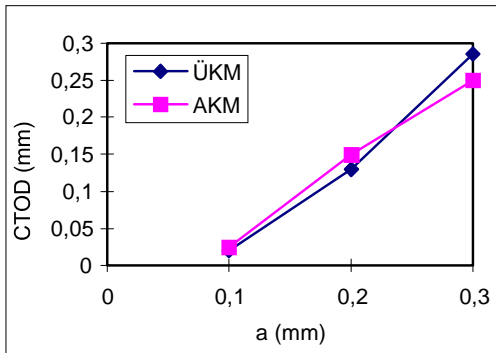
Şematik olarak Şekil 5'de gösterilmiş olan deney üç ayrı cihazın kompakt olarak çalışmasıyla gerçekleştirilmiştir. Instron (Model 1114) marka çekme cihazıyla malzeme üzerine yükleme yapıldı. Bu yükleme Recorder'in Y kanalına aktarıldı. Malzeme üzerine kelepçelerle bağlanan, uçları straingauge indikatörüne bağlanarak, clipgauge üzerindeki Weston köprüsü şeklindeki straingauge çıktıları kuvvetlendirilip Recorder'in X kanalına aktarıldı. Clipgauge ayakları çatlak ucuna 5 mm (δ_5) mesafede bağlandı. Yüke bağlı olarak çatlak ilerlemesini tespit edebilmek için numune stereo mikroskop altında gözlemlendi.



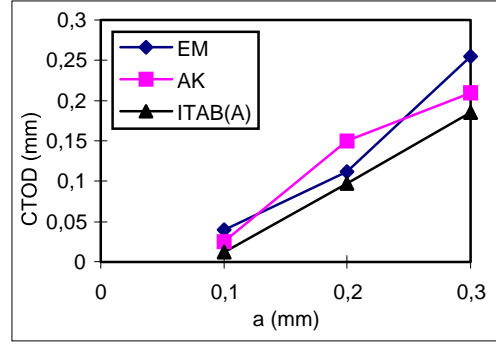
Şekil 5. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi

Deney numunelerinin çekme cihazında yüklenmesiyle clipgauge uçlarındaki çatlak ucu açılma deplasmanı ölçülerek yük-deplasman eğrileri çıkarıldı ve bu eğriler çıkarılırken çatlak ucu ilerlemesi tespit edilip bu eğrilerden CTOD- Δ_a eğrileri elde edilmiş olup Şekil 6, 7, 8, 9'da verilmiştir.

Deneylerin tamamı statik yük altında gerçekleştirilmiş olup, çatlakların kararsız olarak ilerlediği görülmüştür.

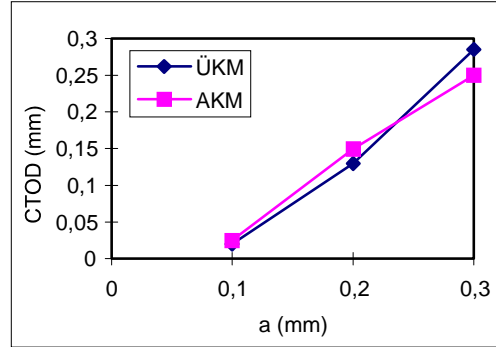


Şekil 6. Ana malzeme, üst kaynak ve ITAB (üst)'nin CTOD(δ_5)-R eğrileri

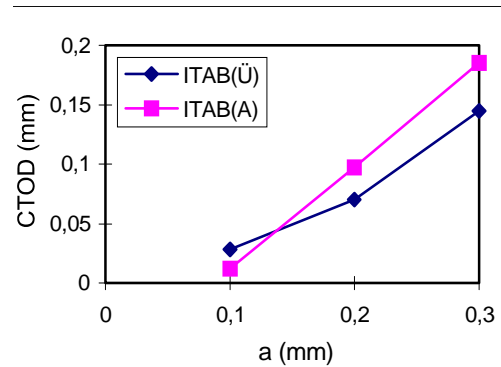


Şekil 7. Ana malzeme, alt kaynak ve ITAB (alt)'nin CTOD(δ_5)-R eğrileri

Yük altında, çentiğin ucundaki çatlak belli bir miktar ilerledikten sonra çatlak ilerlemesi durmakta ve çatlak ucunda plastik deformasyon sebebiyle büyük bir kütleşme olmaktadır. Bunun sebebi çatlak ilerlemesinin düşük deformasyon bölgesinden yüksek deformasyon bölgesine geçmesidir. Kullanmış olduğumuz CTOD (δ_5) ölçüm metodu düşük deformasyon bölgesinde geçerli olup yüksek deformasyon bölgesinde geçerli olmamaktadır.



Şekil 8. Üst kaynak ve alt kaynağın CTOD(δ_5) R eğrileri



Şekil 9. ITAB (üst) ve ITAB (alt)'nin CTOD(δ_5)-R eğrileri

5. SONUÇLAR

Düşük karbonlu bir çelik olan SAE 1020 kalitesindeki malzeme V (45°) kaynak ağızı açılarak MAG kaynak yöntemiyle kaynatılmıştır. Bu kaynaklı parçalardan çekme deneyi, çentik darbe deneyi, mikrosertlik ölçümü ve üç-nokta eğilme deneyi için standarda uygun numuneler hazırlanmış ve bu numuneler yukarıda adı geçen deneylere tabi tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

1. Kaynak metali akma mukavemetinin 450 N/mm², ana malzeme akma mukavemeti ise 291 N/mm² olarak tesbit edilmiş olup uyumsuzluk faktörü M=1.54 olarak bulunmuştur. Bu değer 1'den büyük olduğundan over-match durumu söz konusu olup kaynaklı birleştirmelerde arzu edilen bir durumdur.
2. Çentik darbe deneyinde, sıcaklığa bağlı olarak malzemenin tokluğunun arttığı ve tokluk değerinin büyük olduğu üst bölgede sünek, alt bölgede ise gevrek kırılma eğilimi gösterdiği tesbit edildi. Ana malzemenin dolgu kaynak metalinden, ITAB (üst)'ün ITAB (alt)'dan, kaynağın kök pasosunun kapak pasosundan daha düşük tokluk değerine sahip olduğu görüldü.
3. Mikrosertlik ölçüm sonucunda en yüksek sertlik değeri 280 HV80 olarak kaynak dikişinin kök pasosunda, 240 HV80 olarak kapak pasosunda görülmüş olup bu değerler ITAB'de 150 HV80'e kadar düşmekte daha sonra 174 HV80 olan ana malzeme sertlik değerine ulaşılmaktadır.
4. Üç nokta yükleme (SENB) numunelerinin CTOD (δ_5)-R eğrilerinden yüke bağlı olarak çatlağın ITAB'de daha hızlı ilerlediği tesbit edilmiştir. Dolgu kaynak metalinin sert ve gevrek olan kök pasosunda ise kapak pasosuna göre çatlağın daha hızlı ilerlediği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

Bauschke, H. M., Ros, A. ve Koçak, M. 1995. Weld Strength Mis-Match Effect on CTOD(δ_5)

R-Curves, Proc. of the Second Meeting of the IIW Sub. Comm. X - F " Mis-Match Effect" 24 th April 1995, GKSS Research Center, F. R. Germany IIW Doc. X-F-026-95

Dhooge, A. 1992. Failure Analysis of Welding Structures, Revue de la Soudure-Lastijdschrift 48 (2), 49-56.

Eripret, C., Franco, C., Gilles, P. ve Ignaccolo, S. 1994. On the effect of Mismatching on Structural Resistance of Welds, Proceedings of the 1994 Pressure Vessels and Piping Conference. Part 11 (of 19).

Güleç, Ş., Aran, A. 1985. Malzeme Bilgisi I-II TÜBİTAK Gebze Araştırma Merkezi.

Koçak, M. ve Schwalbe, K. H. 1994. Fracture of Weld Joints: Mis-Match Effect, Proc. of the Intermediate Meeting of the IIW Sub. Comm. X - F "Weld Mis-Match Effect" 28-29 April 1994, Paris IIW Doc. X-F-003-94.

Koçak, M. ve Denys, R. 1994. CTOD and Wide Plate Testing of Welds on Mis-Matched Welded Joints, 10 th European Conference on Fracture (ECF 10) 20-23 September. Berlin, IIW Doc. XI-641-95 IIW Doc. X-F-028-95.

Lee, S., Kim, BC. ve Kwon, D. 1992. Correlation of Microstructure and Fracture Properties in Weld Heat-Affected Zones of Thermomechanically Controlled Processed Steels, Metallurgical Transactions A 23A, (10), 2803-2816.

Pan, Y. T. ve Lee, J. L. 1991. Effects on Inclusions on the Microstructure and Toughness of HAZ in Steels, China Steel Technical Report (5), 9-17 30 ISSN: 1015-6070.

Skorupa, M. 1992. Fatigue Life Prediction of Cruciform Joints Failing at the Weld Toe., Welding Journal, 71 (8), 269-275.

Tülbentçi, K. 1990. MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding, İstanbul.