

ALIN KAYNAKLI YAPISAL ÇELİKLERDEKİ KALINTI GERİLME DAĞILIMININ KONSTRÜKSİYON GÜVENLİĞİNE ETKİSİ

Caner Batıgün¹, C. Hakan Gür²

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/Uygulama Merkezi

bgun@metu.edu.tr¹; chgur@metu.edu.tr²

ÖZET

Plakalar arası alın dikişleri konstrüksiyon bağlantısı olarak başvurulan birleştirme türlerinden birisidir. Bu dikişler plaka kalınlığına, kaynak yöntemine ve ulaşılabilirliğe bağlı olarak farklı kaynak ağız ve paso dizilimi ile kaynak yapılmaktadır. Gerçekleştirilen kaynak işlemi, kaynak dikişi boyunca geometri, ilk sıcaklık, ısı girdisi, tutma koşulları, soğuma koşulları vb faktörlere bağlı olarak bir kalıntı gerilme profili meydana getirmektedir.

Bu bildiriye MAG kaynağı uygulanmış çok pasolu bir plaka alın birleştirme işlemine ait kalıntı gerilme dağılımı incelenecektir. Takiben konstrüksiyon üzerinde alınması gereken önlemler ve konstrüksiyonun yüklenabilirliği üzerindeki kriterler tartışılacaktır.

1. GİRİŞ

Kaynak işlemi, metal kullanan endüstriler dâhilinde en yaygın yararlanılan birleştirme yöntemlerinden birisidir. Uygulama esnekliği ve geniş ölçekteki proses parametresi değişkenliği sebebiyle ince parçalardan kalın yapılara kadar pek çok ölçekteki geometri birbirine kaynakla birleştirilebilmektedir [1].

Bununla birlikte, kaynak metotlarının çoğunluğunun lokal dengesiz ısıtma ve soğuma karakteri sebebiyle yapı içerisinde çarpılma ve kalıntı gerilmeler meydana gelebilmektedir [2-4]. Kaynak işlemine bağlı çarpılma, alt gruplar veya yapı bütünündeki boyutsal toleransların sağlanabilmesi için sonradan gerçekleştirilecek zaman harcayan doğrultma işlemlerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır [4,5]. Diğer taraftan, kalıntı gerilmeler yapı içerisinde görülemeyen yüklerin meydana gelmesine ve dolayısıyla önceden tahmin edilemeyen hasarların meydana gelmesine neden olabilmektedir.

Çelik yapılarda bulunan kalıntı gerilmeler başlıca çelik imalatından gelen kalıntı gerilmeler, kaynak esnasında ve sonrasında meydana gelen kalıntı gerilmeler ile ısıl işlemler sonrasında kalan kalıntı gerilmeler olarak sınıflandırılmaktadır [6]. Bu arada, termal veya mekanik yollarla gerçekleştirilen doğrultma işlemlerinin de ilave kalıntı gerilmeler meydana getirdiği unutulmamalıdır.

Alın kaynaklarındaki kalıntı gerilme dağılımını araştırmaya yönelik pek çok araştırma yayınlanmıştır. Bunların ortak görüşü, gerilmenin kaynak bölgesinde yoğunlaştığı doğrultusundadır. Meydana gelen gerilme dağılımının malzeme, geometri, kaynak parametreleri ve serbestlik koşullarına bağlı olmasını akılda tutarak gerilme profilinin sıcaklık profiline benzer bir eğilim gösterdiği ifade edilmektedir. Kaynak metali üzerindeki gerilme karakterinin çekme, ısıdan etkilenmiş bölgede ise basma karakterinin hâkim olduğu araştırmalarda varılan genel sonuçlardandır [7,8].

Gerilme karakterini detaylı inceleyen araştırmalarda ise plaka kalınlığı doğrultusundaki gerilme dağılımının değişimi, paso sayısının kalıntı gerilme dağılımına etkileri gibi detaylar üzerinde incelemeler yapılmıştır. Sonuçlarda, enine yöndeki kalıntı gerilmelerin boyuna yöndekilere göre çok daha yüksek olduğunun belirlendiği görülmektedir. Plaka kalınlığı arttıkça kalınlık yönündeki gerilme dağılımında bariz farklar meydana geldiği ifade edilmektedir. Çok paso uygulamalarında ise pasolar arasındaki sıcaklığın gerilme dağılımı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu sonucu çıkarılmaktadır [9-11].

Kaynak bölgesindeki kalıntı gerilmelerin mevcudiyeti, geometrik süreksizlikler ve/veya kusurlarla birleştiğinde gevrek kırılma, yorulma sebepli kırılmalar veya gerilmeli korozyon çatlaması gibi birçok hasara neden olabilmektedir. Geometrik kusurların bulunmadığı durumlarda ise malzemenin plastik deforme olabilmesi kalıntı gerilme seviyesinin azalmasına yardımcı olmaktadır [12-14].

Bu bildiriye, ODTÜ kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/Uygulama Merkezi bünyesinde gerçekleştirilen bir çok pasolu alın kaynağı kalıntı gerilme analizine ait sonuçlar konstrüksiyon güvenliği açısından tartışılacaktır.

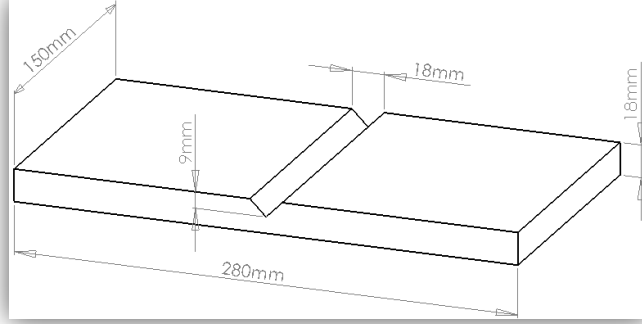
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

18 mm kalınlığında ve 280 x 150 mm ölçülerinde API 5L X70 kalite boru hattı çeliği üzerinde açılan 9 mm derinlikte V kanalı (Şekil 1) üzerinde çok pasolu alın kaynağı işlemi gerçekleştirilmiş ve meydana gelen kalıntı gerilme dağılımı Manyetik Barkhausen Gürültüsü yöntemi ile ölçülmüştür. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. API 5L X70 Malzemeye Ait Kimyasal Bileşim

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	Ti	V	Al
0.0349	0.258	1.66	0.0088	0.0030	0.151	0.0366	0.0492	0.0507	0.0190	0.0525	0.0168

Toplamda üç adet deney seti hazırlanmış ve malzemeler imalattan gelen kalıntı gerilmeleri ortadan kaldırmak ve içyapıyı homojen hale getirebilmek üzere 960°C'da 90 dakika kadar tutularak normalize edilmiştir.



Şekil 1. API 5L X70 Çelik Plaka Deney Numune Ebatları [16]

Deney numuneleri dört köşesinden hareketini engelleyecek biçimde sabitlenerek kaynak işlemlerine tabi tutulmuştur. Kaynak işlemlerinde Metal Aktif Gaz (MAG) Kaynağı yöntemi kullanılmıştır. Deney setlerinden birincisinde 1 ve 2 paso; ikincisinde 1, 2 ve 4 paso; üçüncüsünde ise 3, 5 ve 8 pasolu basamaklı dikişler meydana getirilmiştir. Bu planlama, sonradan uygulanacak Manyetik Barkhausen ölçüm yönteminin kıyaslamalı ölçümünü kolaylaştırmak amacıyla tercih edilmiştir. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Kaynak Parametreleri ve Isı Girdisi

Numune	Paso sayısı	TSH (m/min)	U (V)	I (A)	LKH (m/min)	E / paso (kJ/mm)	Efficiency	H (kJ/mm)
A	2	11,5	29	290	4	1,26	0,8	2,02
B	4	9,0	25	230	6	0,58	0,8	1,84
C	8	6,5	21	170	8	0,27	0,8	1,71

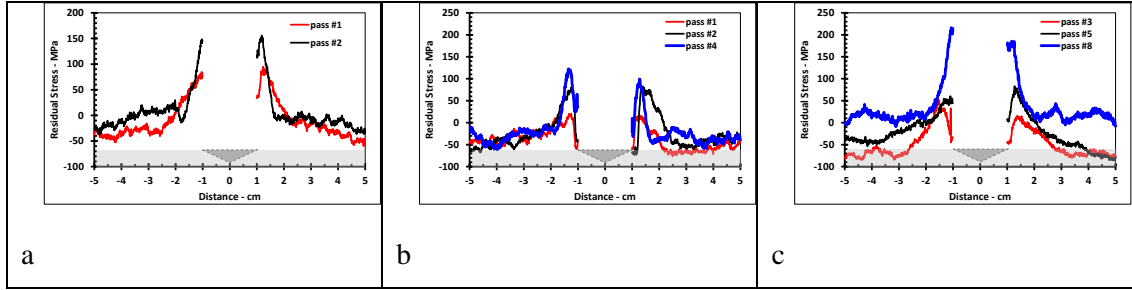
TSH: Tel sürme hızı; *LKH:* Lineer kaynak hızı; *E:* Hat enerjisi; *E:* $(I \times U) / \text{Kaynak hızı}$;

H: Etkin hat enerjisi

Manyetik Barkhausen Gürültüsü ölçüm yöntemini uygulamadan önce bir kalibrasyon çalışması gerçekleştirilmiş ve ölçümlerde elde edilen sonuçlar kalibrasyon değerleri sayesinde gerilme değerlerine dönüştürülmüştür.

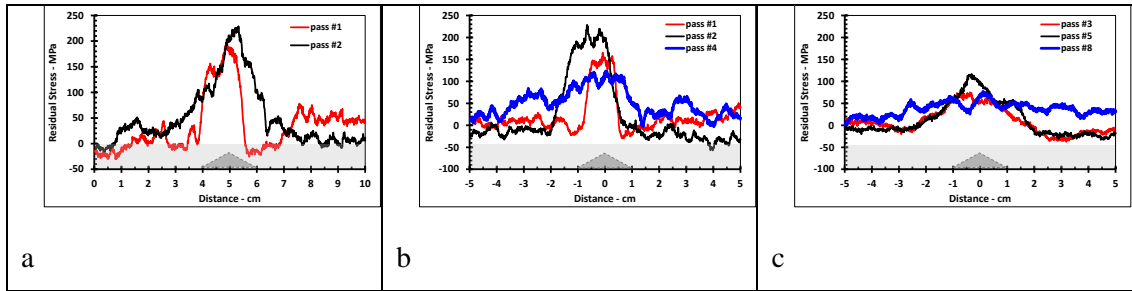
3. SONUÇLAR

Çalışmada kaynaklı numunelerin kaynaksız arka tarafından ve kep kısmının bulunduğu bölgeden kalıntı gerilme ölçümleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve 3’te verilmektedir.



Şekil 2. Kaynaklı Plakaların Kep Tarafı Kalıntı Gerilme Dağılımı [16].

a) 2 pasolu numune sonuçları, b) 4 pasolu numune sonuçları, c) 8 pasolu numune sonuçları.



Şekil 3. Kaynaklı Plakaların Kök Tarafı Kalıntı Gerilme Dağılımı [16].

a) 2 pasolu numune sonuçları, b) 4 pasolu numune sonuçları, C) 8 pasolu numune sonuçları.

Kep tarafında elde edilen sonuçlar, kaynak kepinin düzensiz profili üzerinde ölçüm almanın mümkün olamaması sebebiyle kesintiye uğramaktadır. Özel numune formu sebebiyle kök tarafında yüzey düzgünlüğü sağlanabildiğinden kök tarafından kesintisiz ölçümler alınabilmektedir.

4. TARTIŞMA

Çalışmada elde edilen sonuçlar, nominal akma sınırı 480 MPa olan API-5L X70 çeliğinde verilen koşullardaki kaynak işlemlerinde kalıntı gerilme seviyesinin akma sınırının %50'sine kadar varabildiğini göstermektedir.

Aynı kalınlıktaki plakalar 2, 4 veya 8 paso ile kaynaklandığında, çok büyük hacimli ve çok küçük hacimli pasoların kep tarafında kalıntı gerilme değerleri nispeten yükselmektedir. Diğer taraftan, kök kısmı incelendiğinde, normal ve küçük hacimli kaynak dikişlerinde paso sayısı arttıkça üstteki pasolar, alttakileri normalize etmekte ve kalıntı gerilme değerlerini azaltmaktadır.

Kaynak işlemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi sonucunda kalıntı gerilme seviyesinin pasolar arası sıcaklık ve sabitleme koşullarıyla da yakından bağlantılı olduğu görülmüştür [17].

Bu seviyedeki kalıntı gerilmelerin bağlantı yüklenebilirliği üzerindeki etkileri incelenirken üç faktöre bakılmalıdır: geometri üzerindeki süreksizlikler, tasarım yüklerinin seviyesi, yüklerin değişkenliği.

Süreksizlikler, çentik etkisine sebep olduğundan kaynak bölgesinde plastik deformasyonu kısıtlamakta ve gevrek kırılmaları tetiklemektedir. Dolayısıyla, sünek olarak bilinen malzemelerde bile kaynak bölgesinden başlayan gevrek kırıklar meydana gelebilmektedir. Kaynak bölgesinde özellikle kenar geçişi noktasında karşılaşılan en önemli süreksizlik türü, kenar geçiş keskinliğidir. Bunun yanında yanma çentiği, birleşme hatası vb. süreksizlikler de kaynak geçişinin gevrekleşmesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamda EN ISO 5817 standardında kesin kabul kriterleri bulunmaktadır.

Tasarım yükleri, genelde uygulama standardının öngördüğü emniyet faktörleri ve kaynaklı birleştirmelere ait emniyet yan katsayıları kullanarak güvenli bir değerde tutulmaktadır. Aynı zamanda, malzeme kaynak bölgesinde malzeme mikroyapısı ve geometrisi sebebiyle yeterli deformasyon kabiliyetine sahip olduğunda kalıntı gerilme ve tasarım yükü toplamı malzemeyi deforme edebilmekte ve malzeme üzerindeki kalıntı gerilme seviyesi azalabilmektedir. Bu konuda tehlike arz eden durum kaynak bölgesinin geometri veya iç yapı sebebiyle gevrek karakterde olmasıdır. Özellikle gerilmeli korozyon çatlama olgusu, korozyon ortamı, içyapıda gevrek fazların bulunması ve parçanın yüzeyinde çekme karakterli kalıntı gerilme seviyesinin yüksek olması durumlarının bir araya gelmesi halinde tetiklenmektedir.

Değişken yüklemeler altında kaldığında ise kaynak bölgesinde yorulma çatlağı oluşumu ve ilerlemesi olgusu gündeme gelebilmektedir. Bu kapsamda ömür tayini yapabilmek amacıyla bir IIW yönetmeliği mevcuttur. Yönetmeliği kullanırken, kalıntı gerilme mevcudiyetinin dikkate alınmaması, yükleme ömrü hesaplarında hatalara neden olabilmektedir.

5. SONUÇ

Kaynaklı birleştirmelerde çekme karakterli kalıntı gerilmelerin özellikle kaynak bölgesinde yüksek seviyelere ulaşabildiği görülmektedir. Bu durum, kaynak bölgesindeki süreksizlikler, iç yapıdaki fazlar ve yükleme koşulları ile birleştiğinde tahmin edilemeyen gevrek kırılmalara veya yorulma ömründe azalmalara yol açabilmektedir. Bu nedenle kaynaklı bölgenin mutlaka geometri toleransları dahilinde imal edilmesi ve onaylı prosedür dahilinde çalışılarak, iç yapıda istenmeyen fazların oluşumunun engellenmesi gerekmektedir. Yüksek seviyede güvenlik gerektiren durumlarda ise mutlaka gerilim giderme tavlama işlemi uygulanmalıdır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Y. H. P. Manurung, R. N. Lidam, M. R. Rahim, M. Y. Zakaria, M. R. Redza, M. S. Sulaiman, G. Tham and S. K. Abas, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 111-112 (2013) 89-98.
- [2] M. Peric, Z. Tonkovic, A. Rodic, M. Surjak, I. Garasic, I. Boras and S. Svaic, *Materials and Design* 53 (2014) 1052-1063.
- [3] G. Fu, M.I. Lourenco, M. Duan and S. F. Estefen, *Journal of Constructional Steel Research* 102 (2014) 121-135.
- [4] J. Wang, H. Yuan, N. Ma and H. Murakawa, *Marine Structures* 47 (2016) 42-59.
- [5] M. Islam, A. Buijk, M. Rais-Rohani and K. Motoyama, *Finite Elements in Analysis and Design* 84 (2014) 54-64.
- [6] J. Park, G. An, W. Woo, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, In press (2017) 1-12.
- [7] R. Singh, *Applied Welding Engineering*, 2016, Elsevier, 201-238.
- [8] S. Kou, *Welding Metallurgy*, 2003, J. Wiley, 122-140.
- [9] B. Qiang, Y. Li, C. Yao, X. Wang, Y. Gu, *Journal of Materials Processing Tech.* 251 (2018) 54-64.
- [10] G. Genchev, N. Doynov, R. Ossenbrink, V. Michailov, G. Bokuchava, P. Petrov, *Journal of Constructional Steel Research* 138 (2017) 633-641.
- [11] N. Garipova, C. Batgün, C.H. Gür, *Materials Testing*, 56 (2014) 831-836.
- [12] J. Hensel, T.N. Pagel, J.R. Kornmeier, K. Dilger, *Procedia Engineering* 133 (2015) 244-254.
- [13] Y. Seko, Y. Imai, M. Mitsuya, N. Oguchi, F. Minami, *Procedia Structural Integrity* 2 (2016) 1708-1715.
- [14] J. Toribio, A.M. Lancha, *Transactions on Engineering Sciences* vol 8 (1995) 163-170
- [15] C.H. Gür, G. Erian, C. Batgün, İ. Çam, *Materials Evaluation*, 74 (2016) 418-423.
- [16] G. Erian, Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (2012).
- [17] N. Garipova. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (2016).