

## SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ İNCE CİDARLI ÇELİK YAPILARIN STATİK VE DEĞİŞKEN BURULMA YÜKLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Efe IŞIK<sup>1,2</sup>, Çiçek ÖZES<sup>3</sup>

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tınaztepe Kampüsü, İzmir, TÜRKİYE<sup>1</sup>  
Tel: 0232 453 1717, Fax: 0232 453 8787, E-Posta: [e.isik@tirsankardan.com.tr](mailto:e.isik@tirsankardan.com.tr)

Tirsan Kardan A.Ş., Organize Sanayi Bölgesi, 45030, Manisa, TÜRKİYE<sup>2</sup>  
Tel: 0236 233 0596, Fax: 0236 233 1013, E-Posta: [e.isik@tirsankardan.com.tr](mailto:e.isik@tirsankardan.com.tr)

Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE<sup>3</sup>  
Tel: 0232 301 9200, Fax: 0232 301 9204, E-Posta: [cicek.ozes@deu.edu.tr](mailto:cicek.ozes@deu.edu.tr)

### ÖZET

*Bu çalışmada, ince cidarlı mikro alaşımlı ve alaşımsız çelik yapıların bir katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme kaynağı tekniği kullanılarak kaynak edilebilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda her iki malzeme sürtünme kaynağı ile başarılı biçimde kaynatılmıştır. Bu inceleme çalışması kapsamında, kaynaklı bağlantının makro / mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Ayrıca kaynak dikişinin sertlik dağılımı ve mikro yapı özellikleri hem kendi içinde hem de ana malzeme ile kıyaslanmıştır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ince cidarlı dairesel kesitli bağlantıların burulma yükü taşıma kapasitesi statik burulma testi gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Kaynaklı bağlantıların burulma yorulma davranışı ise farklı burulma yükü seviyelerinde tam dalgalı tam değişken yorulma testleri gerçekleştirilerek belirlenmiştir.*

*Kaynak dikişi boyunca maksimum sertlik değeri 480 Hv1 olarak tespit edilmiştir. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ince cidarlı dairesel kesitli bağlantıların hasar görmeden dayanabileceği burulma yükü, % 90 güvenirlilik aralığında 4.447,55 Nm olarak tespit edilmiştir. 12 adet tam dalgalı tam değişken burulma yorulması testi gerçekleştirildikten sonra kaynaklı bağlantının bir milyon çevrimdeki yorulma dayanımı %90 güvenirlilik aralığında 876,46 Nm olarak belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme kaynağı, ince cidarlı yapılar, burulma, yorulma.

### ABSTRACT

*In this study, micro-alloyed and non-alloyed thin walled steel structures were bonded by a solid state pressure welding technique defined as friction welding. Both materials were friction welded successfully. In the scope of this investigation the macro/micro level properties of the welding joints were examined. Furthermore, the hardness distributions and microstructure of each joint areas were investigated and compared not only within each other but also with the base materials. The torsional load carrying capacity of friction welded thin walled tubular joints were determined by performing static torsion tests. The torsional fatigue behavior of the welded joints were determined by conducting bi-directional fatigue tests at different torque load levels.*

*The maximum hardness value along the welding joint was detected as 480 Hv1. The torsional load carrying capacity of friction welded thin walled tubular joint without any damage was detected as 4.447,55 Nm in 90 % confidence interval. After conducting 12 bi-directional torsional fatigue tests, the fatigue strength of friction welded thin walled tubular joints in 90 % confidence level was detected as 876,46 Nm at 106 cycles.*

**Key Words:** Friction welding, thin walled structures, torsional loading, fatigue.

## 1. GİRİŞ

Sürtünme kaynağı, bir katı hal kaynak tekniği olarak farklı uygulama alanlarında demir ve / veya demir dışı malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir.

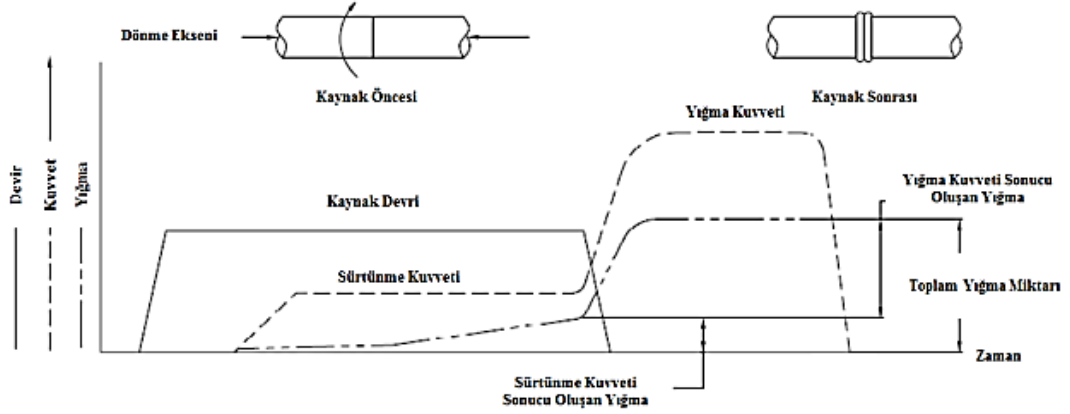
Bu kaynak yönteminde ısı üretmek için birbirlerine göre hareket ve temas halinde olan iş parçaları bir bası kuvveti altında birleştirilmekte ve fazla malzeme kalıcı olarak temas halindeki kaynak bölgesinden uzaklaştırılmaktadır [18]. Sürtünme kaynağı, birçok girdisi ve çıktısı olan, kaynak kalitesinin kaynak parametreleri ile yakından ilişkili olduğu bir kaynak yöntemidir [10].

Devir, sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme süresi, yığma süresi ve yığma miktarı kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesi için hassas ve doğru biçimde tanımlanması gereken önemli proses parametreleridir.

Sürtünme kaynağı kullanımının sağladığı avantajlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Kaynak bölgesindeki mikro yapısal değişikliklerin az olması.
- ITAB bölgesinin daraltılabilmesi.
- Kaynak dikişi mukavemetinin ana malzeme mukavemetine yakın ya da ana malzeme mukavemetinden daha fazla olması.
- Bir katı hal kaynak tekniği olması sebebi ile gözenek ve gaz delikleri gibi kaynak hataların görülmemesi [18].
- Hassas aksenal hizalama ve minimum düzeyde çarpılma [18].
- Dönme eksenine göre iyi açısal oryantasyon kontrolü [18].
- Proses parametrelerinin hassas kontrolü ve izlenebilirliği [18].
- Düşük çevrim süresi ve yüksek üretkenlik.
- Düşük enerji, işçilik ve malzeme sarfıyatı.

Sürekli tahrikli (direct drive) sürtünme kaynağı yöntemi, endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Bu kaynak yönteminde dönen iş parçası, sabit haldeki iş parçasına aksenal olarak uygulanan bir sürtünme basıncı ile sabit ya da değişken devirlerde temas ettirilerek parça yüzeylerinde ısı oluşumu sağlanır. Yeterli miktarda ısı oluşuncaya kadar kaynak bölgesine enerji verilmeye devam edilir. İhtiyaç duyulan enerji seviyesine ulaşıldığında, dönen parça aniden durdurulur ve daha önceden belirlenmiş süre boyunca aksenal olarak yığma basıncı uygulanır [16]. Sürtünme kaynağı prosesi süresince ana kaynak parametrelerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 1'de görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Sürtünme kaynağı prosesinde ana parametrelerdeki değişkenlikler [18]

Birçok araştırmacı, sürtünme kaynağı prosesini anlamak ve kaynaklı bağlantıyı karakterize etmek amacıyla çalışma yapmıştır. Şahin ve Akata benzer malzemeler kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların dayanımını ve özelliklerini incelemişlerdir [16]. Yılmaz ve arkadaşları farklı proses parametreleri kullanılarak kaynak edilen alüminyum – çelik iş parçalarına ait kaynaklı bağlantıların dayanımını ve özelliklerini incelemiştir [17]. Şahin, yüksek hız çeliği – orta karbonlu çelik kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılar için proses parametrelerini belirlemiş ve kaynaklı bağlantının dayanımını çekme, yorulma ve çentik darbe deneyi yaparak incelemiştir [13]. Satyanarayana ve arkadaşları, farklı malzemeler ile gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri üzerinde çalışma yapmış ve kaynaklı bağlantıların korozyona karşı olan direncini incelemiştir [11]. Özdemir, ana proses parametresi olarak iş parçası hızının, AISI 304L ve AISI 4340 çelik malzemeler kaynatılarak gerçekleştirilen bağlantıların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Kaynaklı bağlantıya ait özellikler, mikro ve makro seviyede gerçekleştirilen incelemeler aracılığı tanımlanmıştır [9].

Şahin, sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş paslanmaz çeliklerin bağlantı ara yüz özellikleri ile ilgili de çalışma yürütmüştür. Proses parametrelerinin tanımlanmasının ardından kaynaklı bağlantının dayanımı ve mikro yapısal özellikleri tanımlanmıştır [14]. Daha sonra Şahin ve arkadaşları AISI 1040 çeliği kullanılarak oluşturulan kaynaklı bağlantıların özelliklerini belirlemek amacıyla çalışma yürütmüş ve farklı proses parametrelerinin kaynaklı bağlantı üzerindeki etkisini incelemişlerdir [15].

Hasçalık ve Orhan, sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş Al ve çelik malzemelere ait kaynaklı bağlantılarının özelliklerini ve oksit partiküllerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir [3]. Song ve arkadaşları, sürtünme kaynağı ile kaynatılan alüminyum ve küresel grafitli dökme demir malzemelere ait kaynaklı bağlantıların ara yüzü boyunca ortaya çıkan mukavemet dağılımını üzerinde çalışma yürütmüş ve kaynaklı bağlantının morfolojisini, metaller arası bileşiklerin kompozisyonunu incelemiş, kaynak parametrelerini ve iş parçası geometrisini optimize etmiştir [12]. Çelik ve Ersözlü, içi dolu çelik millere ait sürtünme

kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemiştir. Buna ek olarak, kaynak bölgesindeki sıcaklık değişiminin etkilerini ve proses parametrelerinin kaynak bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisini gözlemlemiştir [1].

Mitelea ve arkadaşları hem yüzeyi sertleştirilmiş hem de farklı çelik malzemelere kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların özelliklerini incelemiştir. Bu çalışma kapsamında kaynağı yapılan malzemelerin özelliklerine ve yüzey sertliklerine göre proses parametreleri optimize edilmiştir [6]. Yukarıda bahsi geçen çalışmalara ek olarak Kimura ve arkadaşları paslanmaz çelik boruların sürtünme kaynaklı bağlantılarının özelliklerini incelemiş ve bağlantı geometrisi ile proses parametreleri tanımlanmıştır. Ayrıca Eberhard ve arkadaşları 12,7 mm et kalınlığına sahip çelik boruların kaynaklı bağlantılarına ait sonuçları yayınlamışlardır [2]. Kimura, Ogawa ve arkadaşlarının 3 mm et kalınlığına sahip çelik borulara ait kaynaklı bağlantıların özelliklerini incelediğini belirtmiştir [7] [5].

Bu çalışmanın temel amacı, sürtünme kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilen sıcak dövme yöntemi ile şekillendirilmiş mikro alaşımlı çelik malzeme ile soğuk çekilmiş dikişli çelik boruya ait ince cidarlı dairesel kesitli kaynaklı bağlantının burulma yükü altındaki davranış özelliklerini belirlemektir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1 Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada mikro alaşımlı bir çelik ve alaşımsız yapısal çelik ana malzeme olarak kullanılmıştır. Her iki malzemeye ait kimyasal kompozisyonlar Tablo 1’de verilmiştir.

Mikro alaşımlı çelik malzeme ile sıcak dövme yöntemi kullanılarak üretilen parça, ihtiyaç duyulan mekanik mukavemet ve mikro yapıya ulaşabilmesi için kontrollü soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Mikro alaşımlı çelik parçaya kaynatılacak diğer parça ise alaşımsız yapısal çelik malzeme kullanılarak üretilen soğuk çekme dikişli borudur. Her iki malzemeye ait çekme mukavemeti değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

*Tablo 1. Ana malzemelerin kimyasal kompozisyonu*

	Mikro Alaşımlı Çelik	Alaşımsız Yapısal Çelik [19]
<b>C</b>	0,38	Maks. 0,22
<b>Si</b>	0,21	Maks. 0,55
<b>Mn</b>	1,44	Maks. 1,60
<b>V</b>	0,07	--
<b>Al</b>	--	Min. 0,02

*Tablo 2. Ana malzemelerin mukavemet değerleri*

	<b>Mikro Alaşımli Çelik</b>	<b>Alaşimsız Yapısal Çelik [19]</b>
<b>Çekme Dayanımı</b>	Min. 850 MPa	Min. 640 MPa

Ana malzemelerin içyapısı çalışma kapsamında incelenmiştir. Soğuk çekilmiş dikişli borunun içyapısında, soğuk deformasyon sonucu oluşan lamelli bir yapı gözlemlenirken, mikro alaşımli parçanın içyapısında ferrit ve perlit gözlemlenmiştir.

## 2.2 Numune Üretimi

Bilgisayar kontrollü sürekli tahrikli bir sürtünme kaynak makinası, 20 adet numunenin kaynak edilmesi için kullanılmıştır.

Kullanılan sürtünme kaynak makinesinin yığma kapasitesi 15 tondur. Kaynak edilen 20 adet numunede en iyi bağlantı karakteristiğinin elde edilebilmesi için optimize edilmiş kaynak parametreleri kullanılmıştır.

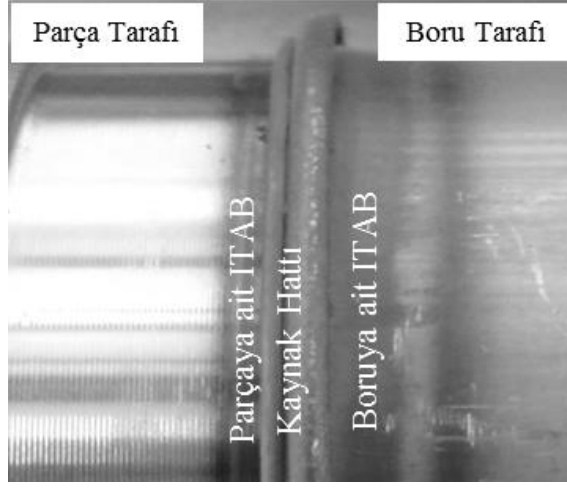
Sürtünme kaynak operasyonu sırasında sıcak dövme operasyonu ile şekillendirilmiş mikro alaşımli parça, dönme hareketi yapabilen ve doğrudan sürtünme kaynak makinası üzerinde bulunan elektrik motoru tarafından tahrik edilen ve doğrusal hareket yeteneğine sahip olan bir ayna üzerine bağlanmaktadır. Soğuk çekilmiş dikişli boru ise bir mengene aracılığı ile tezgâh üzerinde sabitlenmiştir.

## 3. DENEY SONUÇLARI

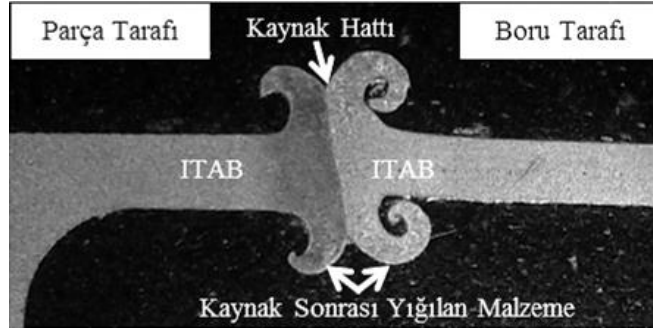
### 3.1 Makro Yapı Analizi ve Proses İçi Kontroller

Kaynak edilen numunelere ait makro yapı ve kesit görüntüsü Şekil 2'de ve Şekil 3'te verilmiştir. Her iki ana malzemenin sürtünen yüzeylerinde, kaynak sonrası dışarı doğru çepeçevre yığılmış fazla malzeme gözlemlenmektedir. Kaynak hattı boyunca çepeçevre dışarı yığılan bu malzemenin miktarı (welding flash), kaynak parametreleri ile olduğu kadar kaynağı yapılacak olan ana malzemelerin mekanik mukavemeti ile de ilişkilidir. Hiç kuşku yok ki dışarı doğru çepeçevre yığılan fazla malzemenin miktarı, sürtünme kuvveti ve basıncı ile yığma süresi ve basıncı artırıldığında artmaktadır.

Kaynak prosesinin kalitesi ise seri imalat şartlarında papatya testi, ezme testi ve eğme testi ile gerçekleştirilmektedir. Bu testlerin tamamında kabul kriteri olarak kaynak hattının sürekliliği esastır ve kaynak hattı boyunca gözlemlenecek her türlü çatlak, ayrılma ya da kopma kaynaktaki kalitesinde problem olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Kaynak dikişinin makro yapısı

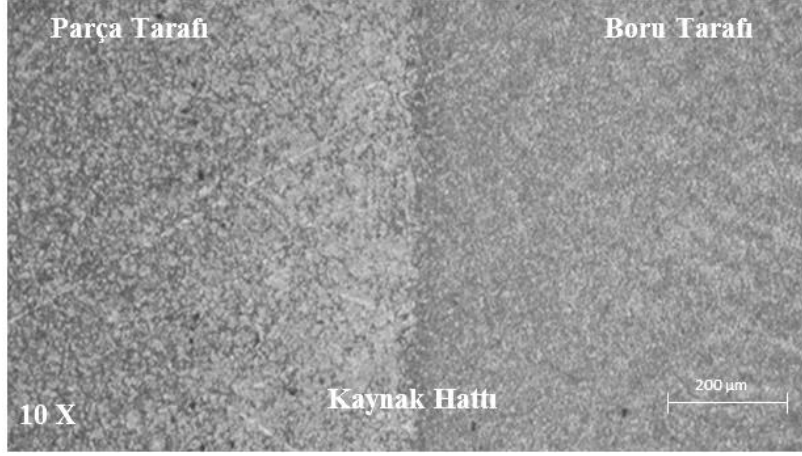


Şekil 3. Kaynak dikişinin kesit görüntüsü

### 3.2 Mikro Yapı Analizi

Kaynak bölgesinin mikro yapısına ait inceleme optik mikroskop altında gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sırasında kaynak dikişinin, ısı tesiri altındaki bölgelerin (ITAB) ve ana malzemelerin içyapılarındaki farklar Şekil 4’te açıkça görülebilmektedir.

Mikro yapı analizleri sonrasında boru tarafında ITAB bölgesi uzunluğunun yaklaşık 2,5 mm, parça tarafında ise yaklaşık 1,5 mm olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme kaynak prosesinin doğası nedeniyle her iki ITAB bölgesinde ana malzeme yapısında gözlemlenen tane yapısına kıyasla daha ince yapıli tane gözlemlenmiştir. Sürtünme ve yığıma basınçları nedeni ile sürtünen yüzeylerdeki kalıcı deformasyon, kaynak hattı boyunca sürtünme nedeni ile oluşan ısı ve kaynak bölgesinin hızlı soğuması tanelerin incelmesinin temel nedenleri olarak sıralanabilmektedir. Buna ek olarak ince tane yapısı, kaynak dikişinin mekanik mukavemetini iyileştirmektedir.



Şekil 4. Kaynak hattının mikro yapısı

### 3.3 Sertlik Dağılımı Analizi

Ardışık olarak kaynatılmış 6 adet numunenin sertlik taraması gerçekleştirilmiştir. Sertlik taraması yatay olarak yapılmış, tarama izleri boru tarafından parça tarafına doğru alınmıştır. Sertlik ölçümü, TS EN ISO 6507-1 no'lu standarda göre gerçekleştirilmiştir. Test 1 N'luk test yükü altında gerçekleştirilmiştir. 6 farklı numuneye ait sertlik dağılım grafiği Şekil 5'de görülmektedir.

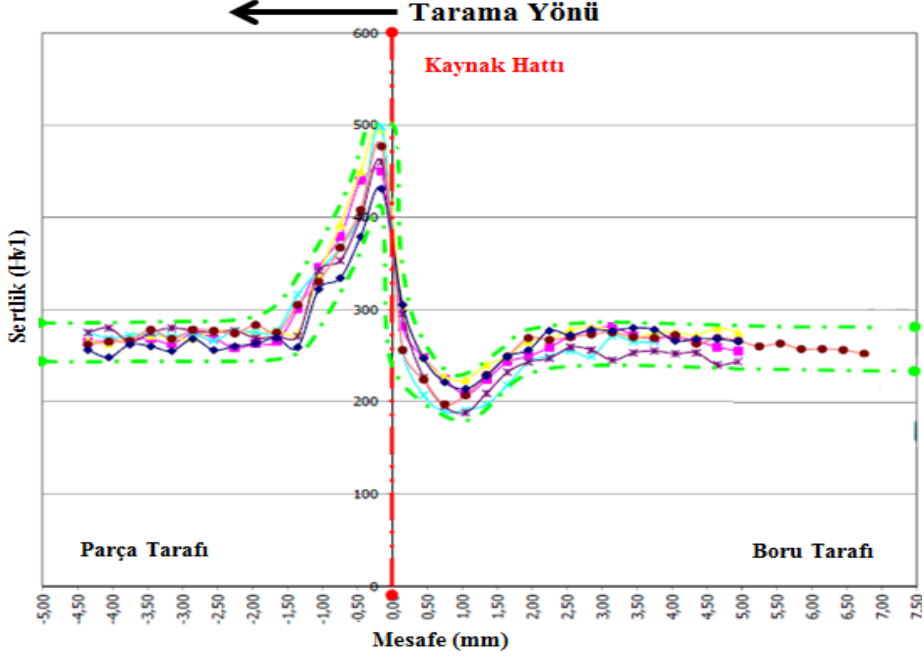
İncelenen 6 adet numune içinde en yüksek sertlik değeri, mikro alaşımlı parça tarafında kaynak ekseninden 0,15 mm uzaklıkta 480 Hv1 olarak tespit edilmiştir. Kaynak hattındaki sertlik, sürtünme kaynağı prosesi sırasında uygulanan aksel kuvvetlerin yarattığı yüksek miktardaki kalıcı deformasyon ve yüksek ısı girdisi nedeniyle ortaya çıkan tane inceliği nedeniyle artmaktadır. Sertlik artışının bir diğer nedeni ise kaynak bölgesinin hızlı soğumasıdır [1, 8].

Kaynak dikişinin boru tarafında ise kaynak hattından 1 mm uzaklıkta sertliğin soğuk çekme dikişli boruya ait sertlik değerinin de altına düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sertlik düşüşünün dekarburizasyon etkisi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.

### 3.4 Statik Burulma Testi

Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ince cidarlı ve dairesel kesitli 6 adet numune, statik burulma testine tabi tutulmuştur. Numuneler, 16 kNm kapasiteli Instron marka burulma test cihazı kullanılarak oda sıcaklığında 50 Nm/saniye burma hızında test edilmiştir.

Statik torsiyon testine tabi tutulan 6 adet numunenin kaynak dikişinin % 90 güvenilirlik aralığında 4.447,55 Nm'lik burulma yüküne hasar görmeden dayanabildiği tespit edilmiştir.



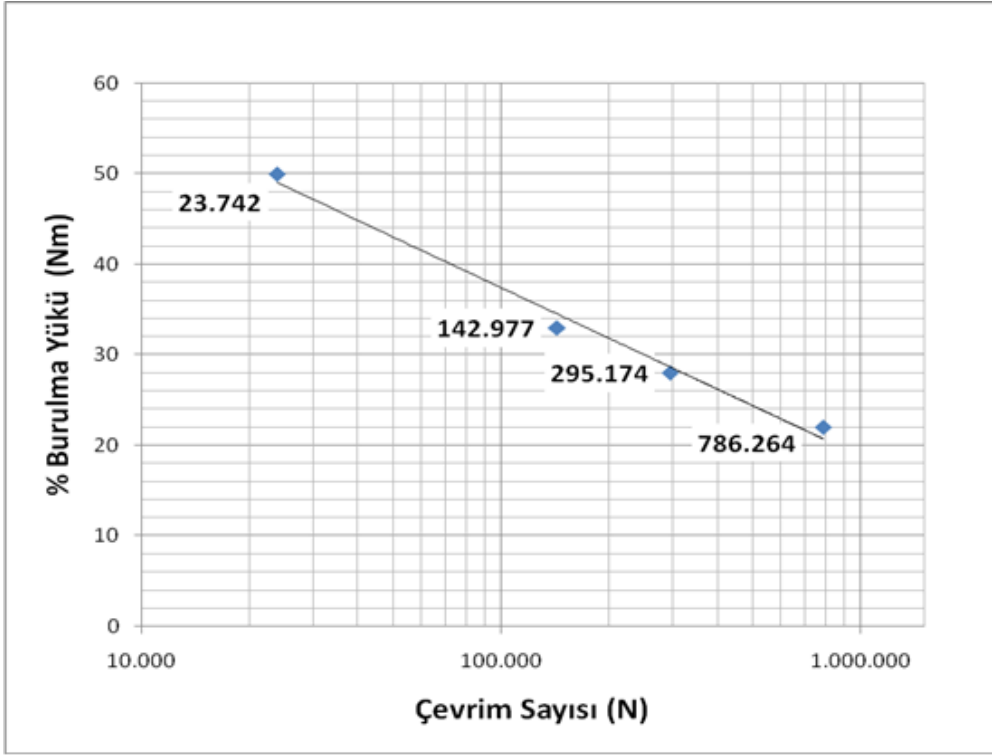
Şekil 5. Kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

### 3.5 Yorulma Testi

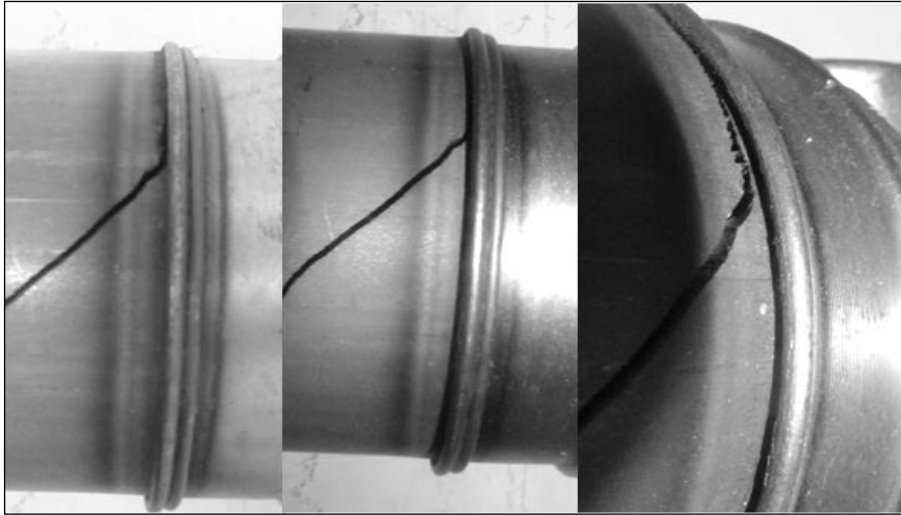
Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ince cidarlı ve dairesel kesitli 12 adet numune, tam dalgalı tam değişken burulma yorulması testine tabi tutulmuştur. Numuneler, 16 kNm kapasiteli Instron marka burulma test cihazı kullanılarak oda sıcaklığında yükleme tekrar hızı minimum 3 Hz. olacak şekilde test edilmiştir.

Kaynaklı bağlantı, dört farklı burulma yükü altında test edilmiş ve testler sonrasında bir milyon çevrimdeki yorulma dayanımı % 90 güvenilirlik aralığında 876,46 Nm olarak tespit edilmiştir (Şekil 6). Yorulma testleri sonrasında kaynaklı bağlantı numunelerinin tamamının yapısal çelik malzemeden üretilen ince cidarlı soğuk çekme dikişli boru tarafında bulunan ısı tesiri altındaki bölgeden (ITAB) hasara uğradığı görülmüştür. Düşük yük yüksek çevrim testleri sonucunda kaynaklı bağlantıda ortaya çıkan yorulma hasarları Şekil 7'de görülmektedir.





Şekil 6. % 90 güvenilirlik aralığında kaynaklı bağlantının yorulma dayanımı



Şekil 7. Kaynaklı bağlantıda görülen yorulma hasarları (Düşük yük - Yüksek Çevrim)

#### 4. SONUÇLAR

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen ince cidarlı kaynaklı bağlantıların incelemesi sonrasında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- İnce cidarlı mikro alaşımlı çelik parça ile alaşımsız yapısal çelik malzemeden üretilmiş soğuk çekme dikişli boru, sürtünme kaynağı yöntemi ile başarılı bir şekilde kaynak edilmiştir.
- İncelenen 6 adet numune içinde kaynak hattı boyunca en yüksek sertlik değeri 480 Hv1 olarak tespit edilmiştir.
- Mikro yapı analizleri sonrasında kaynak işlemi sonucu ortaya çıkan ITAB bölgesi uzunluğunun boru tarafında yaklaşık 2,5 mm, parça tarafında ise yaklaşık 1,5 mm olduğu tespit edilmiştir.
- Burulma yüklemesi altında kaynak dikişinin %90 güvenilirlik aralığında 4.447, 55 Nm'lik burulma momentine hasar görmeden dayanabildiği tespit edilmiştir.
- 12 adet tam dalgalı tam değişken burulma yorulması testi gerçekleştirildikten sonra kaynaklı bağlantının bir milyon çevrimdeki yorulma dayanımı %90 güvenilirlik aralığında 876,46 Nm olarak belirlenmiştir.

#### 5. KAYNAKÇA

[1] Çelik, S., Ersozlu, İ.: Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels, *Materials and Design*, cilt 30, 2009, s. 970-976.

[2] Eberhard, B.J., Schaarf, Jr. B.W., Wilson, A.D.: Friction weld ductility and toughness as influenced by inclusion morphology, *Weld J*, cilt 62 (7), 19983, s. 171-8.

[3] Haşçalık, A., Orhan, N.: Effect of particle size on the friction welding of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced 6160 Al alloy composite and SAE 1020 steel, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Cilt 12, No 2, 2011, s. 303-312.

[4] Kalsi, N.S., Sharma, V.S.: A statistical analysis of rotary friction welding of steel with varying carbon in workpieces, *Int J Adv Manuf Technol*, cit 27, 2011, s. 957-967.

[5] Kimura, M., Ichihara, A., Kusaka, M., Kaizu, K.: Joint properties and their improvement of AISI 310S austenitic stainless steel thin walled circular pipe friction weld joint, *Materials and Design*, cilt 38, 2012, s. 38-46.

[6] Mitelea, I., Budau, V., Craciunescu, C.: Dissimilar friction welding of induction surface-hardened steels and thermomechanically treated steels, *Journal of Material Processing Technology*, cilt 212, 2012, s. 1892-1899.

- [7] Ogawa, K., Nakayama, H., Ohue, Y., Hasui, A.: Fatigue strength characteristics of S35C/S35C friction welded tubular butt joints, J Soc Mater Sci Jpn, cilt 37 (421), 1988, s. 1209-15.
- [8] Özdemir, N., Sarsılmaz, F., Hasçalık, A.: Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel, Materials and Design, cilt 28, 2007, s. 301-307.
- [9] Özdemir, N.: Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function of rotational speed, Materials Letters, cilt 59, 2005, s. 2504-2509.
- [10] Sathiya, P., Aravindan, S., Haq, A.N.: Optimization of friction welding parameters with multiple performance characteristics, Int J Mech Mater Des, cilt 3, 2006, s. 309-318.
- [11] Satyanarayana, V.V., Reddy G.M., Mohandas, T.: Dissimilar metal friction welding of austenitic-ferritic stainless steels, Journal of Materials Processing Technology, cilt 160, 2005, s. 128-137.
- [12] Song, Y., Liu, Y., Zhu, X., Yu, S., Zhang, Y.: Strength distribution at interface of rotary-friction-welded aluminum to nodular cast iron, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, cilt 18, 2008, s. 14-18.
- [13] Şahin, M.: Joining with friction welding of high speed steel and medium carbon steel, Journal of Material Process Technology, cilt 168, 2005, s. 202-210.
- [14] Şahin, M.: Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding, Materials and Design, cilt 28, 2007, s. 2244-2250.
- [15] Şahin, M., Akata, N.E., Gulmez, T.: Characterization of mechanical properties in AISI 1040 parts welded by friction welding, Materials Characterization, cilt 58, 2007, s. 1033-1038.
- [16] Şahin M., Akata, H.E.: Joining with friction welding of plastically deformed steel, Journal of Materials Processing Technology, cilt142, 2003, s. 239-246.
- [17] Yılmaz, A., Çöl, M., Acet, M.: Interface properties of aluminum/steel friction welded components, Materials Characterization, cilt 49, 2003, s. 421-429.
- [18] Recommended practices for friction welding, ANSI / AWS C6.1-89, s.4-10.
- [19] “Steel tubes for precision applications – Technical delivery conditions – Part 2: Welded cold drawn tubes”, DIN EN 10305-2: 2010-05

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi tarafından BAP 2012.KB.FEN.112 no'lu bilimsel araştırma projesi aracılığı ile desteklenmiştir. Yazarlar, katkı ve destekleri için Dokuz Eylül Üniversitesi'ne ve Tirsan Kardan A.Ş. firmasına teşekkür eder.

KAYNAK KONGRESİ IX. ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ  
BİLDİRİLER KİTABI

---