



Sürtünme kaynağı ile AA7075 alüminyum alaşımının kaynak edilebilirliğinin araştırılması

Investigation of weldability of AA7075 aluminum alloy by friction welding

Anıl İmak^{1*}, İhsan Kırık²

¹Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, aimak@bingol.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6091-1584>

²Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine Bölümü, ikirik@bingol.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8361-319X>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş: 23 Ocak 2022
Revizyon 21 Şubat 2022
Kabul: 22 Şubat 2022
Online: 30 Mart 2022

Anahtar Kelimeler:

Sürtünme Kaynağı,
AA7075,
Çekme Testi,
Mikroyapı

ÖZ

Bu çalışmada, AA7075 alüminyum alaşımının sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Alüminyum alaşımlı çubukların, sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde üç farklı sürtünme süresi (4 sn, 6 sn ve 8 sn) uygulanarak birleştirilmiştir. Sürtünme kaynağı ile kaynak edilen numunelerin mikroyapıları incelenmiş ayrıca mekanik özellikleri için ise sertlik ve çekme mukavemetleri incelenmiştir. En yüksek çekme kuvveti 6 sn sürtünme süresi ile birleştirilen numunede 11522,95 N olarak elde edilmiştir. Çalışma sonunda, alüminyum alaşımı AA7075 çubukların sürtünme kaynak yöntemi ile sorunsuz bir şekilde kaynak edilebildiği gözlemlenmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 23 January 2022
Received in revised form 21 February 2022
Accepted 22 February 2022
Available online 30 March 2022

Keywords:

Friction welding,
AA7075,
Tensile Testing,
Microstructure

ABSTRACT

In this study, the weldability of AA7075 aluminum alloy by friction welding method was investigated. Three different friction times (4 sec, 6 sec and 8 sec) were applied to join the aluminum alloy rods with friction welding. The microstructures of the samples welded by friction welding were examined, and their hardness and tensile strength were examined for their mechanical properties. The highest tensile force was obtained as 11522.95 N in the sample combined with 6 sec friction time. At the end of the study, it was observed that aluminum alloy AA7075 rods could be welded without any problems by friction welding method.

Doi: 10.24012/dumf.1062054

* Sorumlu Yazar

Giriş

Yüksek dayanım, iyi şekillendirilebilme, hafiflik ve iyi ısı iletimlerinden dolayı uzay, gemicilik, demiryolları ve otomobil endüstrisi gibi birçok alanda vazgeçilmez metallerden bir tanesidir[1]. Alüminyum alaşımlarının TIG, MIG, lazer, elektron ışın kaynağı gibi ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirmelerinde meydana gelen beklenmeyen fazların ortaya çıkması, tane büyümesi ve bir dizi olumsuz metalürjik değişimlerinin olması bu alaşımların birleştirme yeteneklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu açıdan bakıldığında alüminyum alaşımlarının birleştirmelerinde aşırı dikkat ve kaynak öncesi ve sonrası ısı işlem gibi önlemler alınmalı ya da kaynak işlemi yüksek hızlarda yapılmalıdır. Bu problemler göz önüne alındığında çok farklı malzemeleri bile sorunsuz bir şekilde kaynak edebilen katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı çözüm sunmaktadır[2]. Sürtünme kaynağı, silindirik iki malzemenin aynı eksen üzerinde alın alına temas ettirilerek bir parça dönerken diğerinin hidrolik basınç yardımıyla iki malzemenin sürtünmesi sonucu meydana gelen ısıdan faydalanarak yapılan bir katı hal kaynağıdır[3]. Alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi oldukça yeni bir teknoloji olup birçok araştırmacı için araştırma konusu olmuştur[4],[5].

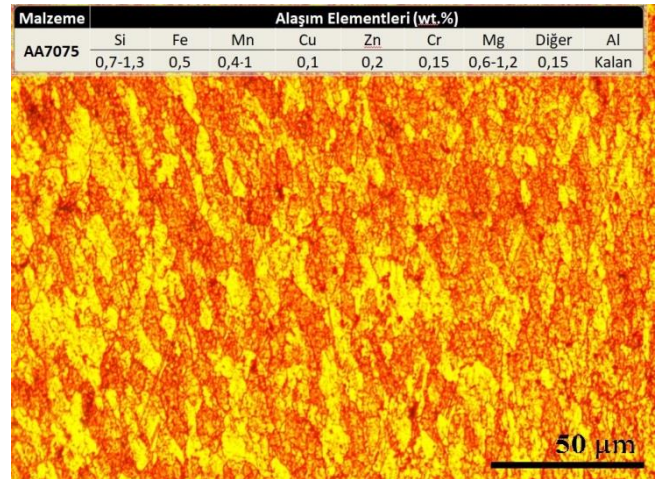
Çetkin, AISI 304/AISI 5140 çelik çiftlerini farklı devir (1500 dev/dak, 1700 dev/dak, 1900 dev/dak) ve sürtünme sürelerini (4 sn, 6 sn, 8 sn) baz alarak sürtünme kaynağı ile birleştirmiştir. Birleştirilen çelik çiftlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma neticesinde 1900 dev/dak devir ve 8 saniye sürtünme süresi ile birleştirilen numune en iyi sonucu vermiştir[6]. Torun vd., 17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 alaşımının sürtünme kaynağını çalışmıştır. Farklı sürtünme süreleri (6 sn, 9 sn, 12 sn, 15 sn) dikkate alınarak yapılan kaynakların mikroyapı ve mekanik davranışlarını incelemiştir. Sertlik bakımından bir birine yakın değerler tespit etmiş ve kesme mukavemeti bakımından ise en yüksek gerilmeyi 15 sn' de gözlemlemiştir[7]. Çetkin vd., sürtünme karıştırma kaynağı ile AA5182/AA7075 alaşımlarını kaynak edip bağlantıların mekanik özelliklerini incelemiştir. Uygun dönme devri, uç geometrisi ve ilerleme hızının kaynak kalitesini arttırdığını belirtmişlerdir[8]. Sarsılmaz, AA7075/AA6061 alaşımlarını sürtünme karıştırma yöntemiyle birleştirmiş kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. İlerleme hızı ve devir sayısının kaynak kalitesini arttırmada önemli bir parametre olduğunu belirtmiştir[9]. Kırık vd., AA 6061 alüminyum alaşımına sürtünme kaynaklı MMC'nin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine takviyenin parçacık boyutunun ve hacim oranının etkisini incelemiştir. Alüminyum matris kompozit ve AA 6061 alüminyum alaşımının birleştirilebileceğini, nihayetinde, takviyenin parçacık boyutunun ve hacim oranının, sürtünme kaynaklı bağlantıların çekme mukavemetinde önemli bir rol oynadığını gözlemlemiştir[10]. Çetkin vd., TIG ve MIG kaynağı ile birleştirilen AA7075/AA5182 alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine kaynak parametrelerinin etkisini incelemiştir. İyi bir kaynak kalitesi için her iki kaynak yönteminin de uygulanabileceğini tek koşulun optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi olduğunu ifade etmişlerdir[11]. Sameer ve Anil, AZ91 magnezyum

alaşımı ve AA 6082-T6 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynaklı farklı bağlantılarının mekanik ve metalürjik özelliklerini incelemiştir. Mg/Al'nin birleşim ara yüzeyinde ince intermetalik katman ve alüminyum ve magnezyumun zayıf yapışmasına sahip kalın intermetalik katman, kenarları değişen farklı bağlantılarda gözlemlemiştir[12]. Radhakrishnan vd., Sürtünme kaynağı işlemi ile imal edilen C44300 borunun AA7075-T651 boru plakasına dişli ve dişli olmayan farklı bağlantıların mukavemet ve sertliklerini incelemiştir. Borunun plakaya dişli ile sürtünme kaynağının, dişli olmayan bağlantıya göre daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu sonucuna varmışlardır[13]. Yang vd., AA6061-T6 dairesel boru ve konik başlık için sürekli tahrik sürtünmeli kaynak işleminin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Dairesel boru ve konik boruların CDFW deneyleri ve çekme testleri sonucunda optimum kaynak parametrelerinin etkinliğini doğrulayan başlık yapmışlardır[14].

Yapılan literatür incelemelerinde AA7075 alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynağıyla birleştirilebilirliği konusunda yok denecek kadar az sayıda çalışmanın var olduğu görülmüştür. Bu çalışmada AA7075 alüminyum alaşımı sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ve sürtünme süresinin mikroyapı ve mekanik üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan AA7075 alüminyum alaşımlı çubuklar 18 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda ticari olarak Byc E-Ticaret Sanayi ve Bilişim Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri ve mikroyapı optik resmi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri ve mikroyapı optik resmi

Sürtünme kaynakları yapılmadan önce AA7075 çubukların birleşme yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Sürtünme kaynakları Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında Tablo 1'de verilen kaynak parametrelerine göre sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde yapılmıştır. Şekil 2'de sürtünme kaynak işlemlerinin yapıldığı kaynak makinesi ve tezgâha bağlanma şekli verilmiştir.

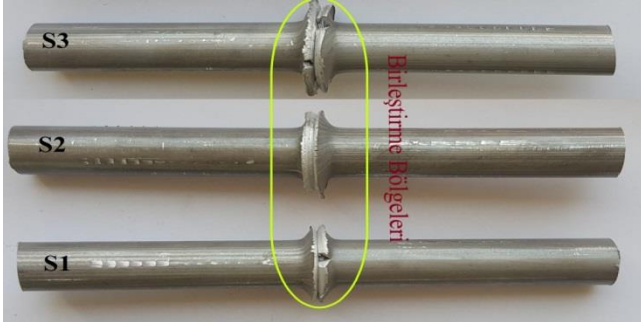
Tablo 1. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin parametreleri

Numune No	Devir Sayısı (dev/dak)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığılma Basıncı (MPa)	Yığılma Süresi (sn)
S1	2000	4	40	80	12
S2	2000	6	40	80	12
S3	2000	8	40	80	12



Şekil 2. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi ve bağlanma şekli

Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde birleştirilen AA7075 alüminyum alaşımı numunelerin birleştirilmiş Şekil 3'te verilmiştir.

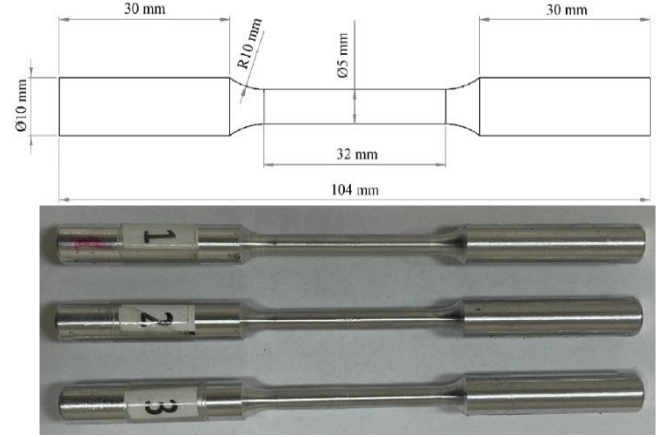


Şekil 3. Sürtünme kaynağında birleştirilen S1, S2 ve S3 nolu numuneler

Kaynak işleminin ardından, alüminyum alaşımli numuneler birleşme yüzeyine dik kesilip birleşme yüzeyinde oluşan yapısal farklılıkları incelemek için, yüzeyleri 80-1200 mesh'lik zımpara ile zımparalanıp daha sonra 3 µm'lik Elmas pasta ile parlatılmıştır. Mikroyapı analizleri için Keller kimyasal dağılayıcısı hazırlanarak dağılama yapılmıştır. Kaynaklı bağlantıların mikroyapı analizleri için optik ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarında AOB marka cihazda 20 gr yük altında 1 mm aralıklarla Vickers (Hv) biriminde ölçüm yaparak gerçekleştirilmiştir.

AA7075 kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek için numunelerin çekme testleri yapılmıştır. Birleştirilen numunelerin flanş bölgeleri taşlanarak temizlenmiş ve tornalama işlemi için hazır hale getirilmiştir. Çekme testi için numuneler Goodway marka iki eksenli CNC torna tezgâhında kesme hızı 200 m/dk, ilerleme 0,1 mm/dev, paso tek seferde 0,2 mm alınarak ASTM E8

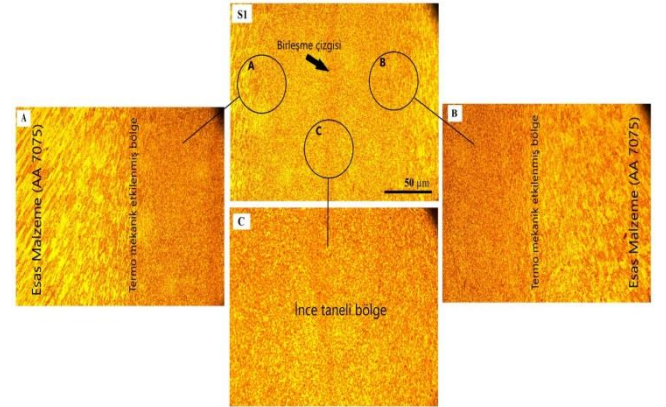
standartlarına göre işlenmiştir. İşlenen numunelerin makro görüntüleri ve teknik resmi Şekil 4'te verilmiştir. Çekme deneyleri, SHIMADZU marka çekme cihazında 50 kN yük kapasitesine sahip, 1 mm/dak çekme hızı uygulanarak yapılmıştır. Çekme testi sonrası numunelerin kırık yüzeyleri incelenip SEM analizleri yapılmıştır.



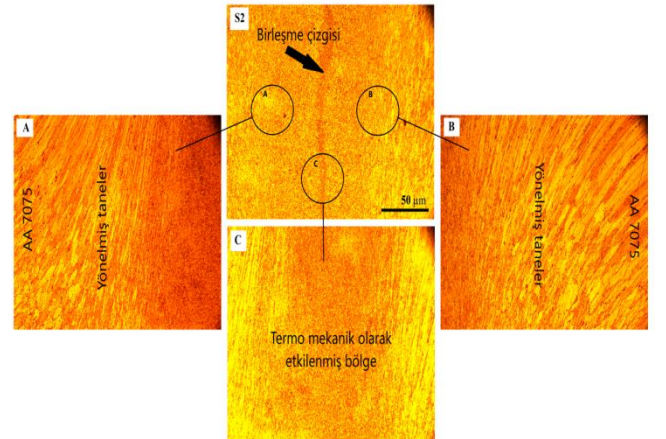
Şekil 4. CNC torna tezgâhında işlenmiş numunelerin makro görüntüsü ve teknik resmi

Bulgular ve Tartışma

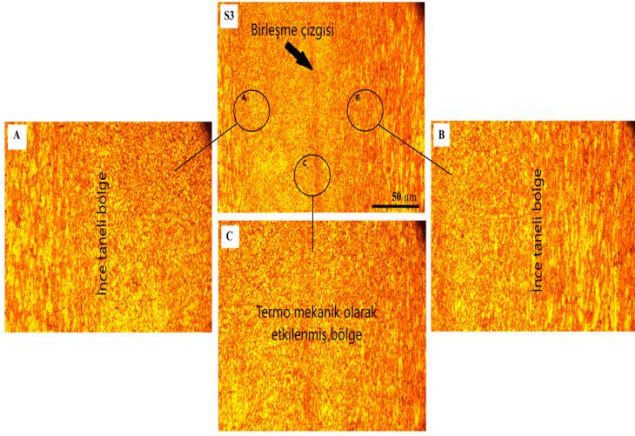
Mikroyapı İncelemeleri



Şekil 5. 4 sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen numunenin optik resmi



Şekil 6. 6 sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen numunenin optik resmi

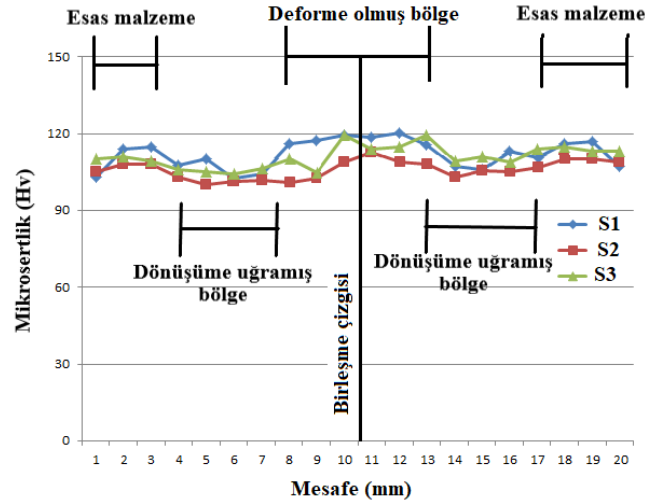


Şekil 7. 8 sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen numunenin optik resmi

Farklı sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen numunelere ait optik resimleri Şekil 5, 6 ve 7'de sırasıyla verilmiştir. Optik resimlerden de açıkça görüldüğü gibi herhangi bir boşluk, çatlak veya bağlantısız bölgenin olmadığı görülmektedir. Ayrıca her üç sürtünme sürelerinde de birleşmenin gerçekleştiği görülmüştür. Optik resimlerinden birleşme bölgesinde termo mekanik etki sonucu incelmış tanelerin varlığı görülmüş ayrıca aksenal basınç altında ve merkezkaç etkisinden kaynaklı tane yönelmelerinin de mevcut olduğu tespit edilmiştir. Birleşme ara kesitinde ince bir birleşme hattının var olduğu da resimlerden açıkça görülmektedir.

Mikrosertlik Analizi

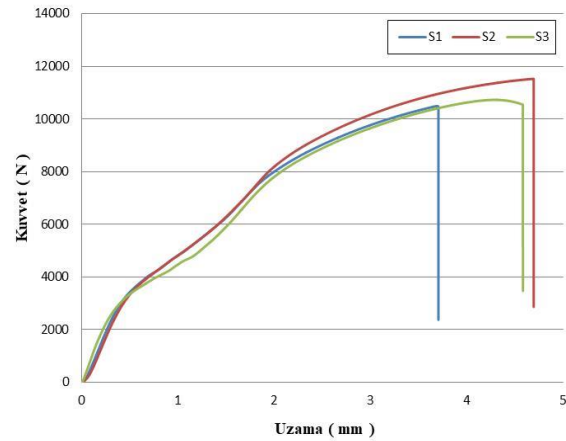
Farklı sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen numunelere ait mikrosertlik ölçümleri kaynak bölgesine dik bir doğru boyunca ölçülmüş ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi kaynak birleşme bölgesinde ve hemen bitişiğinde dönüşüme uğramış bölgede bir birinden farklı mikrosertlik değerleri tespit edilmiştir. Mikrosertlik esas malzemede ortalama 110 Hv civarlarındaiken, birleşme bölgesine hemen bitişik olan deforme olmuş bölgede ortalama 95 Hv civarlarına düşmüş ancak birleşme bölgesinde ortalama 120 Hv olarak gözlemlenmiştir. S1 ve S3 nolu numunelerin birleşme bölgelerinde ölçülen sertlik değerlerinde bir düzensizliğin olduğu görülmektedir. S2 nolu numnede ise sertlik değeri biraz daha istikrarlı seyrettiği görülmüştür. Mikrosertlik değerlerinden düşme olan bölgelerde mikroyapısal bir dönüşümün olduğu açıktır. Bu dönüşümün esas nedeni AA7075'in ara yüzeyinde sürtünmeden dolayı meydana gelen yüksek sıcaklıktan kaynaklı ve hızlı soğuma ile ilişkili yaşlanma olduğu düşünülmektedir. Demir vd., yapay yaşlandırılmış AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri isimli çalışmalarında artan sıcaklık ile AA7075 alaşımının sertliğinde bir artmanın olduğunu tespit etmişlerdir[15].



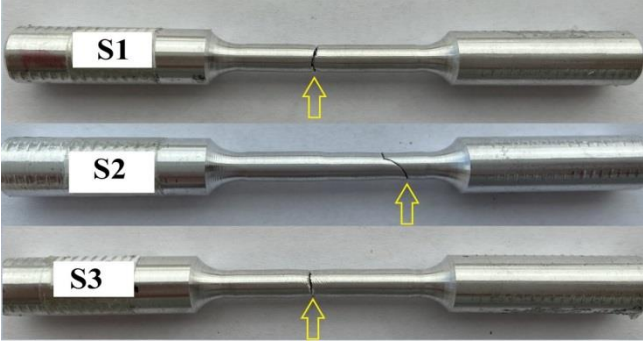
Şekil 8. S1, S2 ve S3 nolu numunelerin mikrosertlik sonuçları

Çekme Testi ve Kırık Yüzey Analizi

Sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilen AA7075 alüminyum alaşım numunelerin kuvvet-uzama diyagramı Şekil 9'da ve yapılan çekme testi sonrası numunelerin makro resimleri Şekil 10'da verilmiştir. Üç numune içerisinde en yüksek çekme kuvveti S2 nolu numunede 11522,95 N olarak elde edilmiştir. Çekme testleri sonrası makro fotoğrafları incelendiğinde S1 ve S3 nolu numuneler kaynak bölgesine yakın ve gevrek kırılma sergilemiştir. Ancak S2 nolu numunede kaynak bölgesi dışında karma klivaj kırılma davranışı sergilemiştir. Sonuçlar neticesinde sürtünme süresinin sürtünme kaynağında önemli bir etkiye sahip olduğu söylenilebilir.

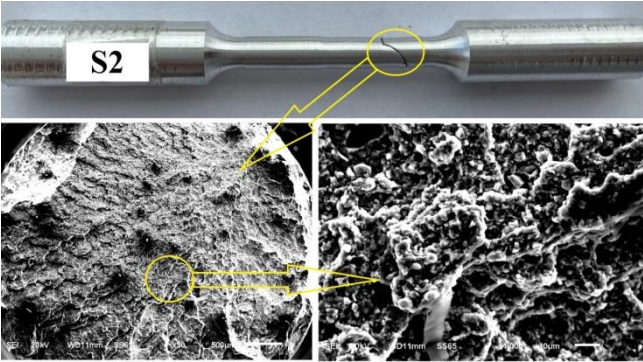


Şekil 9. Kaynaklı numunelerin kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 10. Çekme testi sonrası numunelerin makro resimleri

2000 dev/dak, 40 MPa sürtünme basıncı, 80 MPa yığıma basıncı, 6 sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen S2 nolu numunenin çekme testi sonrası kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 11’de verilmiştir. Numunenin karma klivaj kırılma davranışı sergilediği ve SEM yüzeylerinde ani kopmalar olduğu gözlemlenmiştir[16]. Şekil 11’de de açıkça görüldüğü gibi çekme gerilmesine maruz kalan 6 sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıların neredeyse esas malzemeye yakın bir mukavemette olduğu görülmüştür. Ayrıca kopma sonrası çekilen SEM resminden de kopma yüzeyinin lifli bir görünüme sahip olduğu açıktır.



Şekil 11. S2 nolu numunenin kırık yüzey SEM görüntüleri

Sonuçlar

Bu çalışmada, AA7075 alüminyum alaşımlı çubukların sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilebilirliği incelenmiştir. AA7075 çubukları 4 sn, 6 sn ve 8 sn olmak üzere üç farklı sürtünme süresi parametrelerinde kaynak edilmiştir. Parametrelerin sürtünme kaynaklı birleştirmede etkilerini incelemek için mikroyapı analizleri ve mekanik testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar;

Farklı sürtünme süresi(4 sn, 6 sn ve 8 sn) kullanılarak sürtünme kaynağıyla birleştirilen AA7075 çubukların kaynak bölgelerinde herhangi bir boşluk, çatlak veya birleşmeme sorunuyla karşılaşmamıştır.

Optik resimlerinden birleşme bölgesinde termo mekanik etki sonucu incelmış tanelerin varlığı görülmüş ayrıca aksenal basınç altında ve merkezkaç etkisinden kaynaklı tane yönelmelerinin de mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Mikrosertlik esas malzemede ortalama 110 Hv, birleşme bölgesine hemen bitişik olan deforme olmuş bölgede ortalama 95 Hv’ ye düşmüş ancak birleşme bölgesinde ortalama 120 Hv olarak gözlemlenmiştir. S1 (4 sn) ve S3 (8 sn) nolu numunelerin birleşme bölgelerinde ölçülen sertlik değerlerinde bir düzensizliğin olduğu görülürken, S2 (6 sn) nolu numunede ise sertlik değerinin biraz daha istikrarlı seyrettiği görülmüştür.

Üç numune içerisinde en yüksek çekme kuvveti S2 (6 sn) nolu numunede 11522,95 N olarak elde edilmiştir. Çekme testleri sonrası makro fotoğrafları incelendiğinde S1 (4 sn) ve S3 (8 sn) nolu numuneler kaynak bölgesine yakın ve gevrek kırılma sergilerken, S2 (6 sn) nolu numune kaynak bölgesi dışında karma klivaj kırılma davranışı sergilemiştir.

Kaynaklar

- [1] C. Davis and J. Thomas, “W. M., ” *Welding Journal*, vol. 75, pp. 41, 1996.
- [2] F. Sarsılmaz, N. Özdemir, and I. Kırık, “ Evaluation of microstructure and fatigue properties of dissimilar AA7075/AA6061 joints produced by friction stir welding,” *Kovove Mater.*, vol. 50, pp. 259-268, 2012.
- [3] I. Kırık and N. Özdemir, “PLC kontrollü sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinin tasarım ve imalatı,” *International Conference on Welding Technologies and Exhibition*, 23-25 May 2012, Ankara
- [4] H. Uzun, “Friction stir welding of SiC particulate reinforced AA2124 aluminium alloy matrix composite,” *Materials and Design*, vol. 28, pp. 1140-1146, 2007.
- [5] P. Cavaliere, E. Cerri, and A. Squillace, “ Mechanical response of 2024-7075 aluminium alloys joined by friction stir welding,” *Journal of Materials Science*, vol. 40, pp. 3669-3676, 2005.
- [6] E. Çetkin, “Farklı kaynak parametrelerinde sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI304/AISI140 çelik çiftlerinin mekanik ve mikroyapılarının araştırılması,” *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 9, pp. 1724-1733, 2020.
- [7] O. Torun, I. Çelikten, and B. Baksan, “17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 alaşımının sürtünme kaynağı,” *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 4, pp.201-208, 2017.
- [8] E. Çetkin, Y.H. Çelik, and Ş. Temiz, “Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA5182/AA7075 alaşım bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, ” *DÜMF Mühendislik Dergisi*, vol. 10, pp. 603-612, 2019.
- [9] F. Sarsılmaz, “ Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA7075/AA6061 kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2008.
- [10] I. Kırık, N. Ozdemir, and U Caligulu, “Effect of particle size and volume fraction of the reinforcement on the microstructure and mechanical properties of friction welded MMC to AA 6061 aluminum alloy,” *Kovove Mater.*, vol. 51, pp. 221-227, 2013.

- [11] E. Çetkin, Y.H. Çelik, and Ş. Temiz, "Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of AA7075/AA5182 alloys joined by TIG and MIG welding methods," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 42, pp. 34, 2020.
- [12] M.D. Sameer and K.B. Anil, "Mechanical and metallurgical properties of friction stir welded dissimilar joints of AZ91 magnesium alloy and AA 6082-T6 aluminium alloy," *Journal of Magnesium and Alloys*, vol. 7, pp. 264-271, 2019.
- [13] E. Radhakrishnan, L.A. Kumaraswamidhas, K. Palanikumar, and D. Muruganandam, "Strength and hardness studies of C44300 tube to AA7075-T651 tube plate threaded and unthreaded dissimilar joints fabricated by friction welding process," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, pp. 3424-3433, 2019.
- [14] D. Yang, X. Sun, G. Zhou, H. Jiang, L. Sun, T. He, C. Yu, Y. Wei, and P. Liu, "Optimization of continuous drive friction welding process for AA6061-T6 circular pipe and conical head," *Structures*, vol. 36, pp. 1068-1079, 2022.
- [15] M. Demir, O. Tekin, and A. Demir, "T6 yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanan ekstrude AA 7075 alüminyum alaşımlarının mekanik davranışları," *8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 23-25 October 2020, Bursa
- [16] O. Dedeoğlu, "Otomotiv endüstrisinde kullanılan AL5754 malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi, mekanik ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2019.