

SAF BAKIR VE AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ SÜRTÜNME KAYNAĞI

Osman TORUN^{1*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4976-5533>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.537695>

Anahtar Kelimeler	Öz
Sürtünme Kaynağı Mukavemet AZ91 Magnezyum Bakır Difüzyon	<i>Fiziksel özellikleri ve ergime sıcaklıkları farklı olan malzemelerin geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynaklanması oldukça zordur. Sürtünme kaynağı son yıllarda endüstriyel uygulamalarda özellikle farklı malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılan katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, saf bakır malzeme ve AZ91 magnezyum alaşımı sürtünme kaynak yöntemiyle kaynaklanmıştır. Sürtünme kaynak işlemi farklı sürtünme sürelerinde, sabit sürtünme ve yığıma basıncı, yığıma süresi ve devir altında gerçekleştirilmiştir. Sürtünme kaynağı işlemi için sürekli tahrikli sürtünme kaynağı makinesi kullanılmıştır. Kaynak işleminden sonra, kaynak ara yüzelerinin mikroyapısı, taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Bir matrizen başlayarak diğerine mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaynak bölgesinin mukavemeti özel olarak tasarlanmış bir kesme test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Tarayıcı elektron mikroskobu görüntüleri sürtünme kaynak ara yüzelerinde herhangi bir çatlak, boşluk ve oksit tabakasının olmadığını ortaya çıkarmıştır. Kaynak arayüzeyinde bir difüzyon bölgesi olduğu gözlenmiştir. Kesme testi sonuçları, kaynak ara yüzünün kesme mukavemetinin kaynak süresi arttıkça arttığını göstermiştir.</i>

FRICION WELDING OF PURE COPPER AND AZ91 MAGNESIUM ALLOY

Keywords	Abstract		
Friction welding Strength AZ91 Magnesium Copper Diffusion	<i>It is very difficult to weld materials with different physical properties and melting temperatures by conventional welding methods. In recent years, friction welding is one of the most common solid state welding methods used in the welding of different materials in industrial applications. In this study, pure copper material and AZ91 magnesium alloy were welded by friction welding method. The friction welding process was carried out under constant friction and forging pressure, forging time for different friction times. A continuous drive friction welding machine is used for friction welding. After welding, the microstructure of the welding interfaces was investigated by scanning electron microscopy. Micro hardness measurements were made from one matrix to another. The strength of the weld zone was determined using a specially designed shear test apparatus. The images of the scanning electron microscope revealed that the welding interface does not have any cracks, voids and oxide layers. A diffusion zone was observed at the welding interface. The shear test results showed that the shear strength of the welding interface was increased with increasing of the welding time.</i>		
Araştırma Makalesi	Research Article		
Başvuru Tarihi	: 09.03.2019	Submission Date	: 09.03.2019
Kabul Tarihi	: 12.07.2019	Accepted Date	: 12.07.2019

1. Giriş

Birleştirme işlemi, kaynak, lehimleme, yapıştırma ve mekanik bağlantı gibi pek çok işlemi kapsayan genel bir terimdir. Bu işlemlerin bir veya daha fazlası basit ürünlerin imalatında kullanılmaktadır. Birleştirmenin rolü, otomobil ve uçaklar gibi pek çok farklı birleştirme işlemleriyle montaj edilen daha karmaşık parçaların

üretiminde daha önemlidir. Birleştirme işlemleri, birleştirmede kullanılan dolgu malzemesine, dışarıdan uygulanan ısı ve basınca ve birleştirilecek malzemelerin durumuna göre sınıflandırılabilir. Katı hal birleştirme işlemlerinde dolgu malzemesi kullanılmaz. Birleştirme difüzyon kaynağındaki gibi dışarıdan uygulanan basınç, ısı veya sürtünme kaynağındaki gibi işlem esnasında oluşan sürtünme ısı ve basınç ile sağlanır. Oksi-

* Sorumlu yazar; e-posta : otorun@aku.edu.tr

asetilen, ark ve direnç kaynağı gibi sıvı hal işlemleri birleştirilecek malzemelerin kısmen ergimesini içerir. Bu işlemler oksijen-asetilen, ark kaynağı, ve direnç kaynağındaki gibi ısı ve basınç uygulamalarına ihtiyaç duyarlar. Isı kaynağı kimyasal, elektriksel veya optik olabilir (Öztemiz, 2013). Magnezyum alaşımları düşük yoğunluğa, boyut kararlılığına, iyi işlenebilirliğe ve düşük döküm maliyetine sahip olması nedeniyle son yıllarda akademik çalışmalarda, uzay, otomobil ve elektronik endüstrisinde oldukça fazla ilgi çekmektedir. Bu alaşımların kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla, diğer malzemelerle kaynağı oldukça fazla önem taşımaktadır (Sun, Gu ve Liu, 2004; Fernandes Senthilkumar ve Balasubramanian, 2011; Elthalabawy ve Khan 2011).

Mg alaşımlarının ergitme kaynağı ve katı hal kaynak yöntemleriyle kendi kendine veya farklı malzemelerle birleştirilmesi kullanım alanının artması açısından oldukça önemlidir. Literatürde, Mg alaşımlarının özellikle AZ91 alaşımlarının kaynaklanabilirliği ile ilgili birçok çalışma vardır. AZ91 alaşımları, lazer kaynağı, MIG kaynağı ve TIG kaynağı gibi geleneksel ergitme kaynak yöntemleri ile kaynaklanabilir. Bunun yanında, direnç nokta kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı difüzyon kaynağı gibi katı hal kaynak yöntemleri ile de kaynaklanabilir (Çelikyürek ve Önal, 2016). Diğer yandan, ergitme kaynağı esnasında magnezyumun doğasından kaynaklanan bazı problemler meydana gelmektedir. En önemli problemler, magnezyum alaşımlarının oksijen ve azota afinitesi, buharlaşma sıcaklığı, yüksek ısı iletkenlik ve genişlemedir. Katı hal kaynak tekniklerinde ergime olmaması nedeniyle bu problemlerin çoğu ortadan kalkmaktadır. Sürtünme kaynağı uygulanabilir katı hal kaynak tekniklerinden biridir, metal ve alaşımlarda yaygın olarak kullanılır (Özdemir, 2005; Lee, Kim ve Jung, 2004; Sketchley Threadgill ve Wright, 2002). Bakır ve alaşımları, iyi elektrik ve ısı iletkenliklerinin yanı sıra yüksek korozyon dirençleri ve mekanik özellikleri nedeniyle elektrik endüstrisi için önemli metaller arasında yer almaktadır (Russell and Lee, 2005). Farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesi uçak-uzay, otomotiv, kimya, nükleer, elektrik-elektronik ve enerji gibi endüstrilerdeki birçok uygulama için oldukça önem arz etmektedir (Ouyang, Yarrapareddy ve Kovacevic, 2006; Vaidya ve diğ., 2009; Barlas, 2010). Ancak, birleştirilecek olan malzemelerin sahip oldukları kimyasal, mekanik ve ısı özelliklerindeki farklılıklar, geleneksel ergitme kaynak yöntemlerinin kullanımında bazı zorluklara yol açmaktadır (Ouyang ve diğ., 2006). Özellikle, kaynak bölgesinin mekanik özellikleri üzerine olumsuz etkisi olan sert ve gevrek metaller arası bileşik oluşumu, üstesinden gelinmesi gereken bir başka problem olarak görülmektedir (ASM Handbook, 1997).

Bu çalışmada, döküm AZ91 magnezyum alaşımı ve saf bakır malzeme sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş,

kaynak bölgesi mikroyapısı incelenmiş ve mekanik özellikler belirlenmiştir.

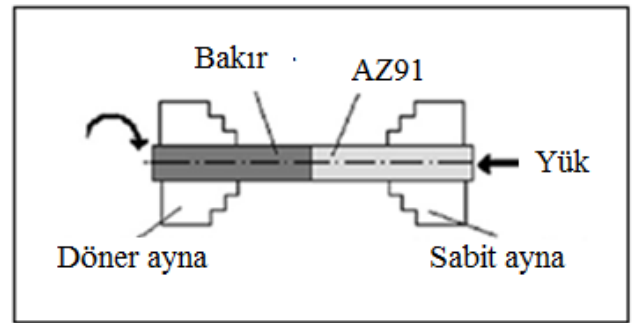
2. Materyal ve Yöntem

Mg-9Al-1Zn (AZ91) alaşımı 750 °C 'de argon ortamında atmosfer kontrollü bir fırında grafit potada eritilmiş ve koruyucu gaz altında 10 mm çapında metal kalıba dökülmüştür. Saf bakır malzeme özel bir firmadan temin edilmiştir. Her iki malzeme 8 mm çapında 40 mm uzunluğunda torna tezgâhında işlenmiş ve kaynak işlemi için uygun hale getirilmiştir. Sürtünme kaynağı işlemleri sürekli tahrikli bir sürtünme kaynak makinesinde, 1000 d/dak. sürtünme hızında, 40 MPa sürtünme basıncı ve 100 MPa yığıma basıncında, farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

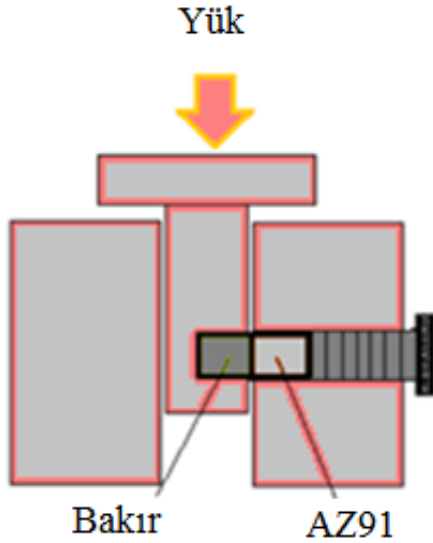
Tablo 1
Deneyde Kullanılan Parametreler

Sürtünme hızı, rmp	Sürtünme basıncı (MPa)	Yığıma basıncı (MPa)	Yığıma süresi (s)	Sürtünme süresi (s)	Boyda kılal. (mm)
1000	40	100	10	8	1,1
1000	40	100	10	10	2,3
1000	40	100	10	12	4,7
1000	40	100	10	14	8,1

Sürtünme kaynağı işlemi Şekil 1' de şematik olarak gösterilmektedir. Her bir deney parametresi için dört adet birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirilen numunelerden bir tanesi mikroyapı incelemeleri için, diğer üç numune ise kaynak bölgesi kesme muavemetini belirlemek için kesme testinde kullanılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Kesme mukavemeti testleri oda sıcaklığında universal elektromekanik çekme-basma cihazında (Shimadzu AG-IS-250) özel olarak tasarlanmış ve yapılmış bir kesme aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Sürtünme Kaynağının Şematik Gösterimi.



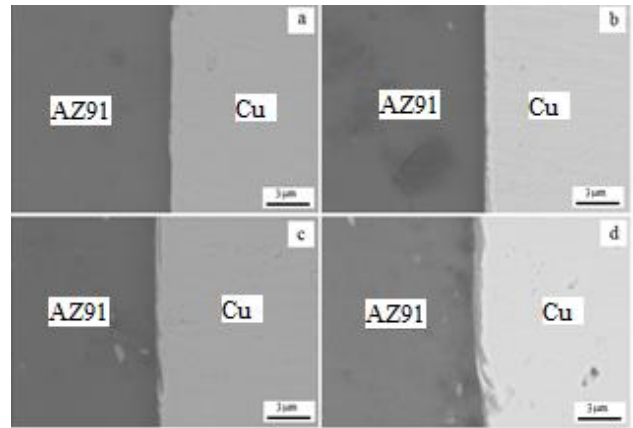
Şekil 2. Kaynak Bölgesi Mukavemetini Belirlemek İçin Kullanılan Keme Testi Aparatı.

Mikroyapı incelemeleri için numuneler kaynak ara yüzüne dik olarak kesilmiş 600, 800 ve 1200 mesh'lik zımparalarla zımparalanmış ve 3 µm'lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Numunelerin kaynak ara yüzleri taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve kaynak ara yüzünde EDS analizleri yapılmıştır. Keme testine tabii tutulan numunelerin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş ve bu yüzeylerden EDS haritalama analizleri alınmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

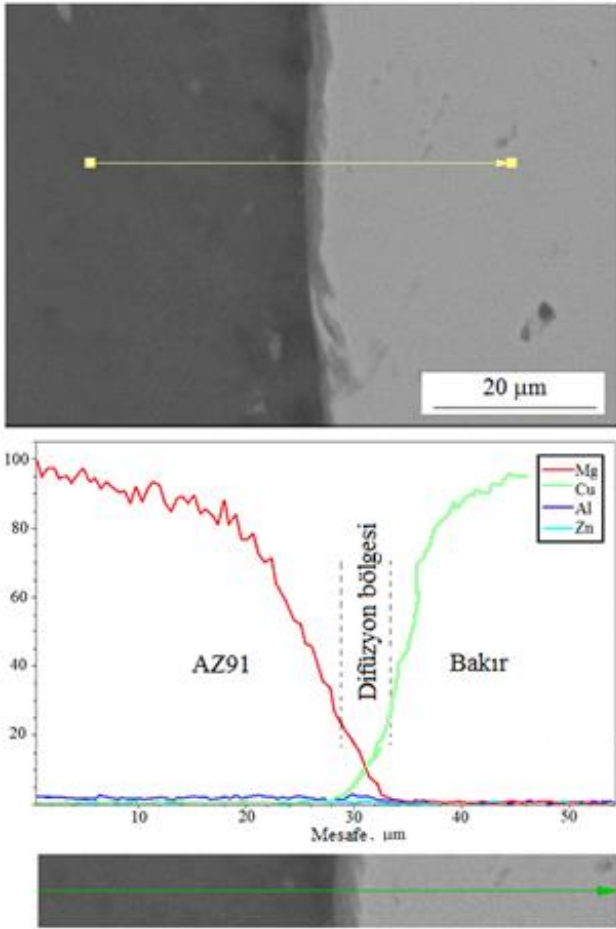
Sürtünme kaynağı esnasında plastik deformasyon oluşması nedeniyle tüm kaynaklı numunelerde flaş oluşumu gözlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi sürtünme süresi flaş oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Sürtünme süresinin artışı ile kaynak bölgesine ısı girdisi artar, bunun sonucunda daha fazla deformasyon ve daha fazla flaş oluşumu meydana gelir. Flaş oluşumunun artması daha fazla aksel kısılmayı (burn-off) beraberinde getirir (Tablo 1). Farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip malzemeler sürtünme kaynağı esnasında farklı deformasyon miktarları sergilerler (Çelikyürek, Torun ve Baksan, 2011). Sürtünme kaynağı esnasında kaynak bölgesinde saf bakır AZ91 alaşımından daha yüksek mukavemete sahip olması nedeniyle, kaynak esnasında saf bakır AZ91 alaşımına göre, çok daha az deformasyona uğramıştır. Kaynak esnasında oluşan flaşın hemen hemen tamamı AZ91 alaşımı tarafından gerçekleştirilmiştir. Birleştirilmiş numunelerin tarayıcı elektron mikroskop fotoğrafları Şekil 3'te verilmiştir. Fotoğraflardan görüldüğü gibi,

farklı sürelerde birleştirilen bütün numunelerde iyi bir birleşme sağlanmıştır. Birleşme arayüzünde çatlak, oksit ve boşluk oluşmamış ve sürekli bir birleşme gerçekleşmiştir. Tüm kaynak süreleri için kaynak ara yüzünde bir difüzyon bölgesi olduğu gözlenmiştir. Kaynak ara yüzünde oluşan difüzyon bölgesinden ve matris malzemelerden EDS analizleri alınmış ve kaynak arayüzünde Cu, Mg, Al ve Zn atomlarının varlığı belirlenmiştir (Şekil 3, 4). Bu durum kaynak arayüzünde her iki malzeme atomlarının birbiri içerisine yayındığını ve bir difüzyon bölgesi oluştuğunu onaylamaktadır.

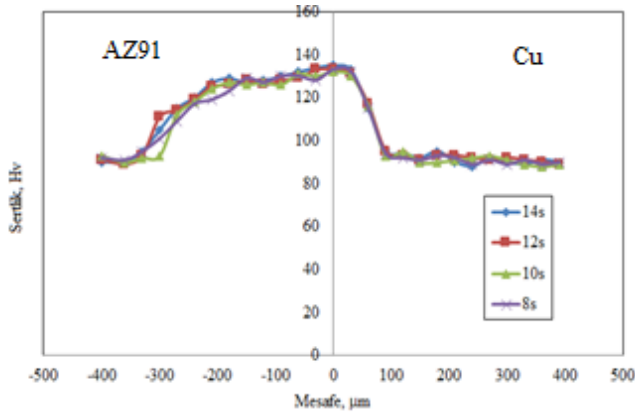


Şekil 3. a)8 b)10 c)12 d)14 s Sürede Kaynaklanan Numunelerin SEM Fotoğrafları.

Kaynaklı numunelerin merkezinden her iki malzeme tarafına doğru mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Kaynaklı tüm numunelerin mikrosertlik profillerinin birbirine benzer olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Ara yüz sertlik değeri yaklaşık 135 HV olarak ölçülmüştür. Bakır malzeme tarafında ve AZ91 alaşımı tarafında kaynak ara yüzüne yakın bölgelerde sertlik değerlerinde bir miktar artış görülmüştür. Bu artışın kaynak esnasında uygulanan yük nedeniyle bu bölgelerde oluşturduğu deformasyon sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. AZ91 tarafında deformasyondan etkilenen bölgenin genişliğinin Cu tarafına göre daha fazla olması sebebiyle, Cu tarafına göre daha geniş bir bölgede sertlik artışı gerçekleşmiştir.



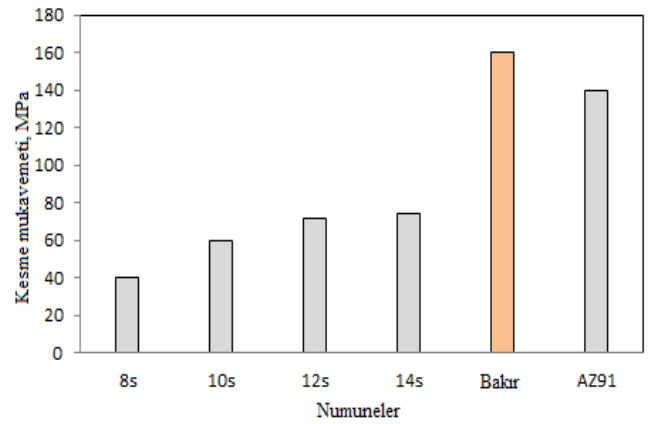
Şekil 4. 14 s Sürede Kaynak Yapılan Numuneden Alınan EDS Analizi. a) SEM fotoğrafı b) EDS çizgi analizi.



Şekil 5. Kaynaklı Numunelerin Merkezinden Her İki Tarafa Doğru Mikrosertlik Değerleri.

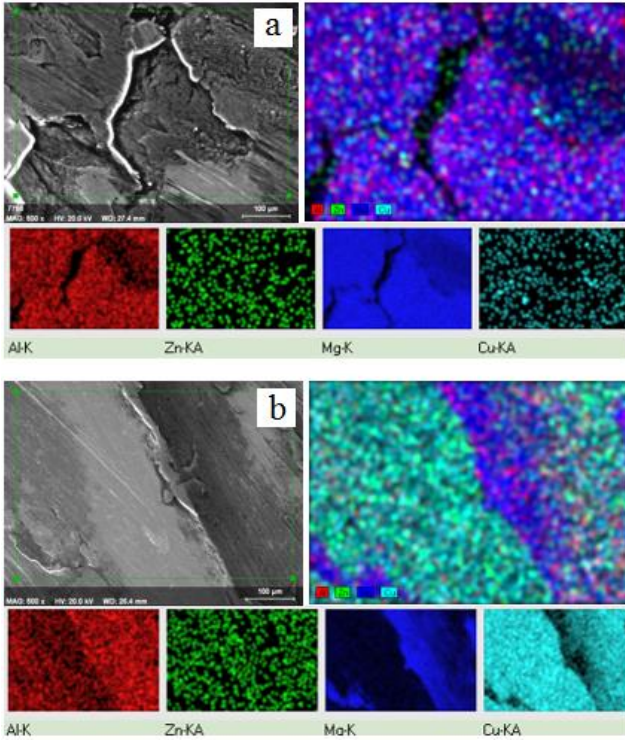
Kaynaklanmış numunelerin kesme testleri özel bir aparatla gerçekleştirilmiştir. Kesme testinde elde edilen değerler kaynak ara yüzeyi kesme mukavemetinin kaynak süresine bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 6' da görüldüğü gibi, 8 s sürede kaynaklanan numunede

kesme mukavemeti yaklaşık 40 MPa iken, 14s sürede kaynaklanan numunede 74 MPa civarındadır. Kaynak süresindeki artışla, kaynak bölgesine giren toplam ısı girdisi artmıştır. Artan ısı girdiği kaynak bölgesi sıcaklığını arttırmış ve malzeme atomlarının daha kolay difüzyonu ve daha fazla atomik bağ yapmasına olanak sağlamıştır. Bunun sonucunda daha iyi birleşme mukavemeti elde edilmiştir. En yüksek kesme mukavemeti değerleri 14 s sürede birleştirilen numunelerde görülmüştür. Kesme testi gerçekleştirilen numunelerin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş ve kırık yüzeylerden EDS haritalama analizleri alınmıştır.



Şekil 6. Kaynaklı Numunelerin Ve Orijinal Malzemelerin Kesme Mukavemetleri.

14 s sürede kaynak yapılan numunenin kesme testi sonrasında kırık yüzey taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları ve EDS haritalama analizleri Şekil 7 'de verilmiştir. Fotoğraflardan görüldüğü gibi, EDS-haritalama analizinde AZ91 tarafı yüzeyinde Mg ve Al atomlarının varlığı gözlenirken, bakır tarafı yüzeyinde Cu Mg ve Al atomlarının varlığı tespit edilmiştir. Bu atomların varlığı kesme esnasında kopmanın ara yüzey ve AZ91 tarafından olduğunu göstermektedir. Hemen hemen tüm kaynak sürelerinde benzer sonuçlar görülmüştür. Ancak, düşük sürede kaynaklanan numunelerde daha çok kopmaların ara yüzeyden olduğu gözlenmiştir. Bu durum, AZ91 tarafından gerçekleşen kırılmaların kesme mukavemeti değerlerinin kaynak ara yüzeyinden gerçekleşen kırılmanın kesme mukavemetinden daha yüksek olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.



Şekil 7. 14s Sürede Kaynak Yapılan Numunelerin Kırık Yüzeylerinin EDS Haritalama Analizi. a) AZ91 tarafı b) Cu tarafı

4. Sonuçlar

Sürtünme kaynağının en önemli parametrelerinden sürtünme hızı, basıncı ve süresi kaynak kalitesini ve kaynak ara yüzey mukavemetini etkiler. Bu çalışmada, AZ91 alaşımı ve saf bakır malzeme sürtünme kaynağı yöntemiyle farklı süreler için gerçekleştirilmiş, çatlaksız boşluksuz ve sürekli bir kaynak bölgesi elde edilmiştir. Mikroyapı çalışmaları kaynak arayüzeyinde difüzyon bölgesi oluştuğunu göstermiştir. Kaynak süresindeki artışla, kaynak bölgesine giren toplam ısı girdisi artmıştır. Artan ısı girdiği kaynak bölgesi sıcaklığını arttırmış ve malzeme atomlarının daha kolay difüzyonuyla, karşı atomlarla daha fazla atomik bağ yapmasına olanak sağlamıştır. Bunun sonucunda daha iyi bağlanma sağlanmış ve daha yüksek bir kesme mukavemeti elde edilmiştir. Dolayısıyla, kaynak süresindeki artışla kaynak bölgesi kesme mukavemeti artmıştır. En yüksek kesme mukavemeti değeri 14 s sürede kaynaklanan numunelerde elde edilmiştir.

Kaynaklar

ASM Handbook (1997). Welding, Brazing, and Soldering, vol. 6. Editor: Baker, H., ASM International, A.B.D.

Barlas, Z. (2009). Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Cu ile CuZn37 Levhaların Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Çelikyürek İ., Torun O. ve Baksan B. (2011) Microstructure and strength of friction-welded Fe-28Al and 316 L stainless steel. *Materials Science and Engineering A* 528 8530– 8536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.021>

Çelikyürek İ. ve Önal E. (2016). Effect of the welding conditions on the microstructure and mechanical properties of friction welded AZ91 Mg alloy. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 17(3), 563-571.

Elthalabawy W. & Khan T. J. (2011). Liquid Phase Bonding of 316L Stainless Steel to AZ31 Magnesium Alloy. *Materials Science Technology*, 27(1), 22-28. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(11\)60020-0](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(11)60020-0)

Fernandus M., Senthilkumar T., and Balasubramanian V. (2011). Developing Temperature -Time and Pressure-Time diagrams for diffusion bonding AZ80 magnesium and AA6061 aluminum alloys. *Materials and Design*, 32, 1651-1656. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.10.011>

Lee, W.B., Kim, Y.J. & Jung, S.B. (2004). Effects of copper insert layer on the properties of friction welded joints between TiAl and AISI 4140 structural steel. *Intermetallics*, 12, 671-678. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2004.02.004>

Özdemir N. (2005). Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed. *Materials Letter*, 59, 2504-2509. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.03.034>

Ouyang, J., Yarrapareddy, E. & Kovacevic, R., (2006). Microstructural Evolution in the Friction Stir Welded 6061 Aluminum Alloy (T6-Temper Condition) to Copper, *J Mater Process Tech*, 172(1), 110-122, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.09.013>

Öztemiz, H. (2013). Bakır ve alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi ve kaynak parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). İnönü üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Russell, A.M., Lee, K.L., (2005). *Structure-Property Relations in Nonferrous Metals*, John Wiley & Sons Inc. Publication, A.B.D.

Sketchley, P.D., Threadgill, P.L. & Wright, I.G. (2002). Rotary friction welding of an Fe₃Al based ODS alloy. *Material Science Engineering*, A329, 756-762. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(01\)01656-2](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(01)01656-2)

Sun, D.Q., Gu, X.Y. & Liu, W.H. (2005). Transient liquid phase bonding of magnesium alloy (Mg-3Al-1Zn) using aluminum interlayer. *Materials Science and Engineering, A* 391, 29-33. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.06.008>

Vaidya, W.V., Horstmann, M., Ventzke, V., Petrovski, B., Kocak, M., Kocik, R. & Tempus, G. (2009). Structure-Property Investigations on a Laser Beam Welded Dissimilar Joint of Aluminium AA6056 and Titanium Ti6Al4V for *Aeronautical Applications Part I: Local Gradients in Microstructure, Hardness and Strength*, *Matwiss u Werkstofftech*, 40(8), 623-633.