



Makale / Research Paper

17-4 PH Paslanmaz Çelik ve Al 7075 Alaşımının Sürtünme Kaynağı

Osman TORUN¹, İbrahim ÇELİKÜREK², Bedri BAKSAN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar, Türkiye
otorun@aku.edu.tr

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Received/Geliş: 21.10.2016

Revised/Düzeltilme: 08.03.2017

Accepted/Kabul: 09.03.2017

Özet: 17 4-PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı özel bir firmadan temin edilmiştir. Numuneler kaynak işlemi için uygun boyutlarda işlenmiştir. Sürtünme kaynağı işlemi, 1000 dak.⁻¹ sürtünme hızı, 150 MPa yığma basıncı ve 50 MPa sürtünme basıncı altında 6, 9, 12, 15 s sürtünme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak bölgesi mikroyapısı ve kırılma yüzeyleri, optik ve taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Mikroyapı çalışmaları kaynak ara yüzeylerinin boşluksuz ve sürekli olduğunu göstermiştir. Kaynak bölgesi ve matrisin, sertlik ve kesme mukavemeti değerleri tespit edilmiştir. Farklı kaynak süreleri için sertlik profilleri birbirine benzerdir. Kaynak bölgesi kesme mukavemeti değerleri kaynak süresinin artışı artmıştır. En yüksek kesme mukavemeti 15 s 'de kaynak yapılan numune elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sürtünme kaynağı, 17 4-PH paslanmaz çelik, Al 7075

Friction Welding of 17-4 PH Stainless Steel and Al 7075 alloy

Abstract: 17 4-PH stainless steel and Al7075 T6 alloy were provided by private firm. Samples were machined to fit size. Friction welding process was performed for 6, 9, 12, 15 s frictions durations under 150 MPa forging pressure and 50 MPa friction pressure at 1000 min⁻¹ friction speed. Microstructure of welding zone and fractured surface were examined with optical and scanning electron microscopy (SEM). Microstructure studies indicated that welding interfaces were continuous and void-free. Hardness and shear strength values of the welding zone and matrix were determined. Hardness profiles for various welding duration were similar to each other. The welding shear strength values increased with increase in the welding duration. The highest shear strength value was obtained from welded sample for 15s.

Keywords: Friction welding, 17-4 PH stainless steel, Al 7075

1. Giriş

Al 7075 alaşımı günümüzde endüstride sıkça kullanılan en güçlü alüminyum alaşımlarından birisidir. Özellikle yaşlanma özelliği ve uygun mukavemet/ağırlık oranı nedeniyle havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2]. Bu alaşımlar ergitme kaynağında katılaşma çatlağına duyarlıdır. Ayrıca alaşım içerisinde bulunan çinkonun kaynak esnasında buharlaşması veya oksidasyon nedeniyle, porozite oluşabilir ve yetersiz ergime meydana gelebilir[3]. Literatürde alüminyum ve alaşımlarının farklı malzemelerle kaynağı ve özellikle çeliklerle kaynağı ile ilgili

Bu makaleye atıf yapmak için

Torun O., Çelikyürek İ., Baksan B., "17-4 PH Paslanmaz Çelik ve Al 7075 Alaşımının Sürtünme Kaynağı" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 201-208.

How to cite this article

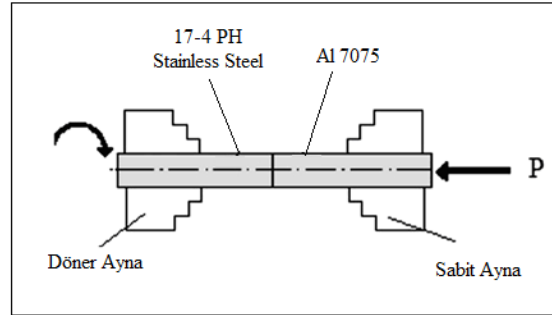
Torun O., Çelikyürek İ., Baksan B., "Friction Welding of 17-4 PH Stainless Steel and Al 7075 alloy" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 201-208.

farklı kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Nokta direnç kaynağı, sürtünme kaynağı, karıştırmalı sürtünme kaynağı, difüzyon kaynağı, patlama kaynağı, lazer ışın kaynağı bunlardan bazılarıdır[4-9]. 17-4 PH paslanmaz çeliği iyi süneklik ve tokluk özelliği yanında, iyi derece korozyon dayanımı gösterir. Bu çelikler, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementlerinin bulunmasından dolayıdır[10]. Günümüzde üretilen 17-4 PH paslanmaz çelikler, yüksek hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında, yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, cıvata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir [11, 12].

Sürtünme kaynağı son yıllarda birçok endüstri alanında oldukça sık kullanılmaya başlanan bir katı hal kaynak tekniğidir. Literatürde aynı malzemelerin kendi kendine ve farklı malzemelerin birbirleriyle sürtünme kaynağı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır[13-16]. Bu çalışmada 17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş ve kaynak süresinin kaynak ara yüzey mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı özel bir firmadan temin edilmiştir. Numuneler kaynak işlemi için sürekli tahrikli kaynak makinesine uygun boyutlarda işlenmiştir. Hazırlanan numuneler sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Sürtünme kaynağı işleminin şematik görünümü Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Sürtünme kaynağı işleminin şematik resmi

Kaynak parametrelerinden sürtünme hızı 1000 dak^{-1} olarak sabit tutulmuştur. Yığma basıncı 150 MPa , sürtünme basıncı 50 MPa olarak seçilmiştir ve dört farklı sürede kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

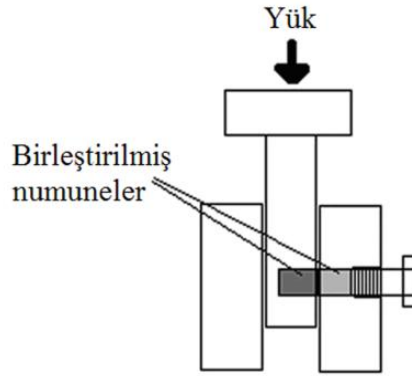
Tablo 1. Sürtünme kaynağı deneylerinde kullanılan parametreler.

Sürtünme Hızı (dak^{-1})	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığma Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (s)	Yığma Süresi (s)	Eksenel Kısılma (mm)
1000	50	150	6	10	0,5
1000	50	150	9	10	1
1000	50	150	12	10	2,2
1000	50	150	15	10	4,2

Her deney koşulu için dört kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynak öncesi boyları ve kaynak sonrası boyları ölçülerek aksenal kısalma (burn-off) miktarları tespit edilmiştir. Kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerden üç tanesi mekanik karakterizasyon için kesme testine tabi

tutulmuş, bir tanesi de mikroyapı çalışmaları için kaynak eksenine dik olarak kesilmiştir. Kaynak bölgesinin mukavemeti kesme testleri ile belirlenmiştir. Kaynak bölgesi kesme mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan, özel olarak tasarlanmış test aparatının şematik görünümü Şekil 2’de verilmiştir.

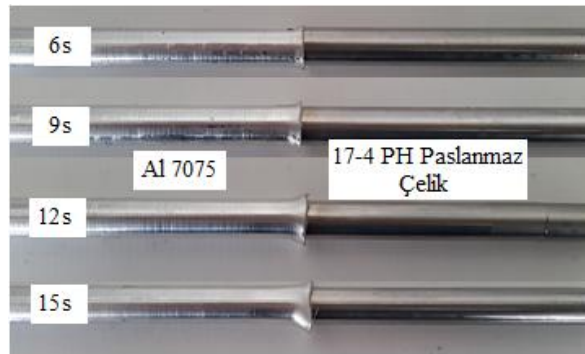
Mikroyapı için hazırlanan numuneler 800 ve 1200 mesh’ lik zımpara ile zımparalanmış, 1µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra numunelerin 17-4 PH Paslanmaz Çelik tarafı H₂O (30 ml), HNO₃ (30 ml), HCl (20 ml) ve HF (20 ml) karışımı dağlayıcı ile Al7075 tarafı keller dağlayıcı ile dağlanmıştır ve mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca numuneler taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır. Kaynaklanmış numunelerde kaynak merkezinden matris malzemesine kadar mikrosertlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2. Kesme test aparatının şematik görünümü

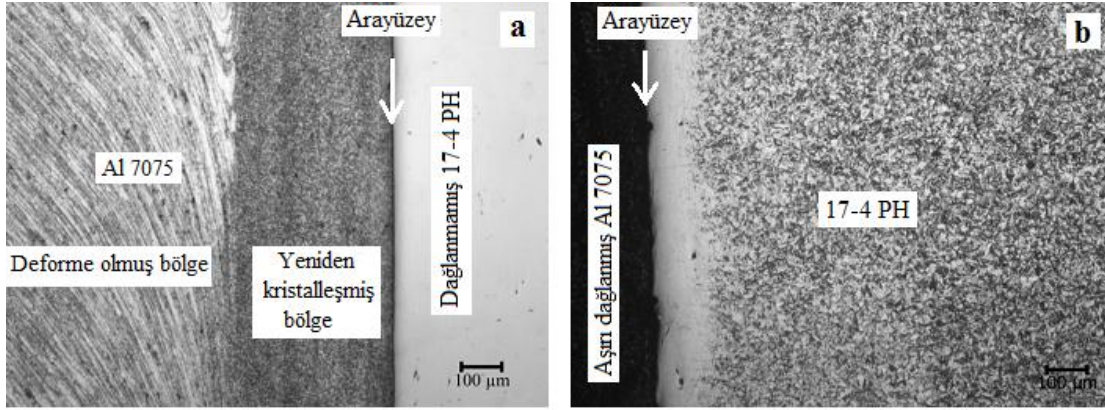
3. Bulgular ve Tartışma

Sürtünme kaynağı yapılan tüm numunelerin makroyapı fotoğrafları Şekil 3’te gösterilmektedir. Tüm numunelerde kaynak esnasında deformasyon nedeniyle flaş oluşumu görülmüştür (Tablo 1). Kaynak süresi flaş oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Kaynak süresindeki artışla, kaynak ara yüzeyinde daha yüksek ısı oluşumu nedeniyle daha fazla deformasyon meydana gelmiştir. Plastik deformasyondaki artışla aksenal kısalma artmıştır. Farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan malzemeler sürtünme kaynağı esnasında farklı deformasyon miktarları sergiler[18]. 17-4 PH Paslanmaz çelik ve Al7075 alaşımının mukavemetleri kıyaslandığında, 17-4 PH paslanmaz çeliğin mukavemeti oldukça yüksektir[9,12]. Bu nedenle kaynak esnasında meydana gelen deformasyon büyük bir kısmı Al7075 alaşımındadır. 17-4 PH paslanmaz çelik tarafında hemen hemen hiç deformasyon meydana gelmemiştir.



Şekil 3. Sürtünme kaynaklı numunelerin makroyapıları.

9 s sürede kaynaklanmış numunenin mikroyapısı Şekil 4'te verilmiştir. Farklı sürelerde kaynaklanan tüm numunelerin kaynak ara yüzeylerinde boşluksuz ve sürekli bir birleşme olduğu gözlenmiştir. Kaynaklı numunelerin Al7075 alaşımı tarafında iki farklı bölge gözlenmiştir: Çok küçük taneli dinamik yeniden kristalleşmiş bölge ve deformasyona uğramış bölge (Şekil 4a). 17-4 PH paslanmaz çelik tarafında herhangi bir deformasyon izine rastlanmamıştır (Şekil 4b). Yeniden kristalleşmiş bölge genişliği kaynak süresindeki artışla artmıştır. 6 s sürede kaynaklanan numunelerde Yeniden kristalleşmiş bölge genişliği yaklaşık 200 µm iken, 15 s sürede kaynaklanan numunelerde yaklaşık 400 µm civarında gözlenmiştir.

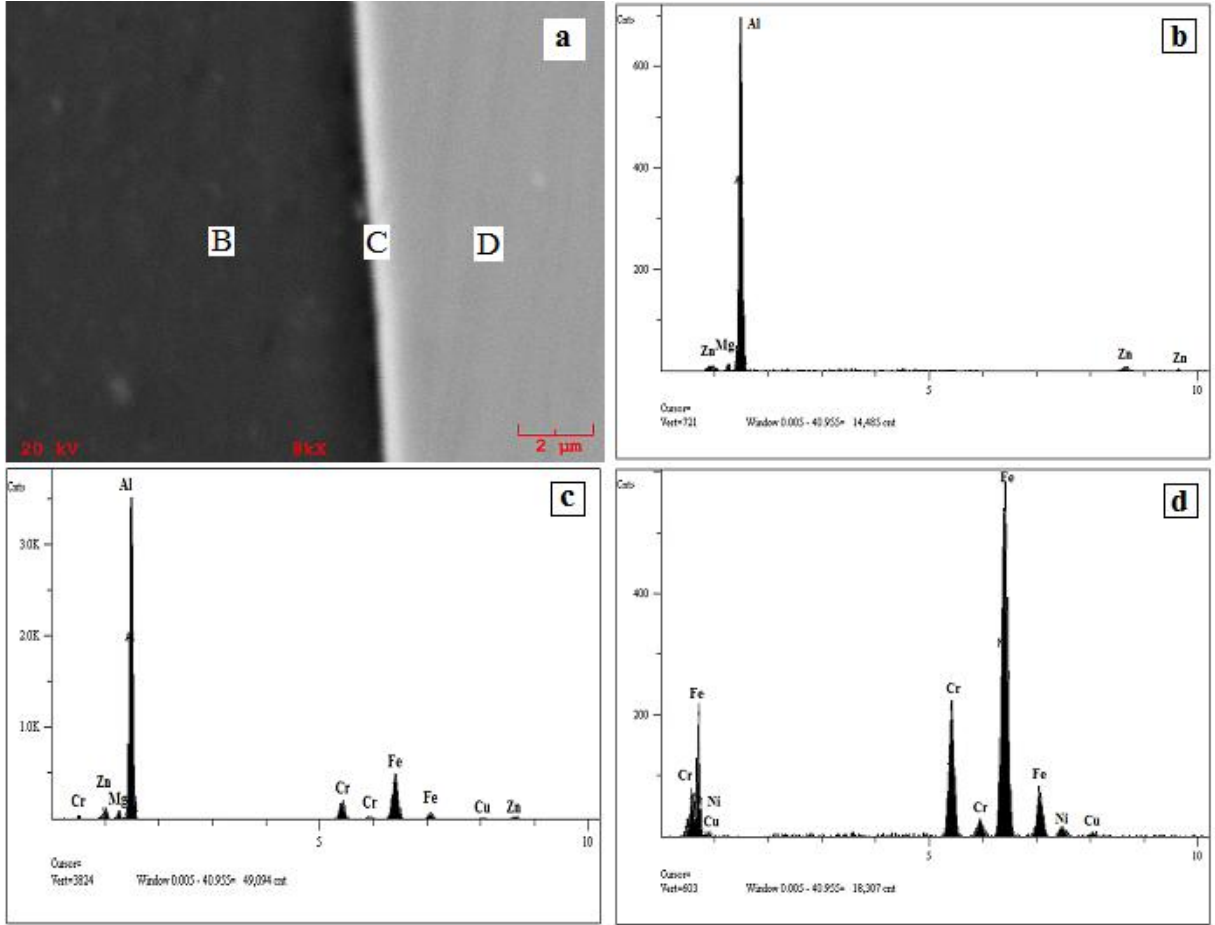


Şekil 4. 9 s sürede kaynak yapılan numunenin optik mikroyapı fotoğrafları. a) Al7075 tarafı
b) 17-4 PH paslanmaz çelik tarafı.

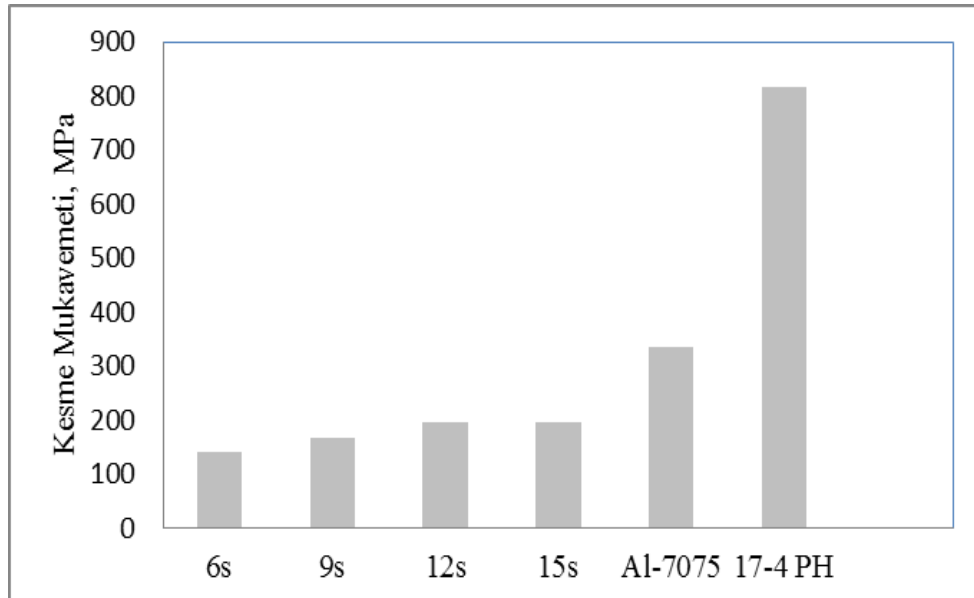
12 s sürede kaynak yapılmış numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikroyapı fotoğrafları şekil 5'te gösterilmektedir. Mikroyapı fotoğrafından numunelerin ara yüzeyinde bir difüzyon bölgesi olduğu açıkça görülmektedir. Kaynak bölgesinde yapılan EDS analizleri Şekil 5. b, c ve d 'de verilmektedir. Şekil 5 c difüzyon bölgesinin bileşimini göstermektedir. Ara yüzeyde oluşan difüzyon bölgesi Al, Fe, Cr, Mg, Zn ve Cu atomları içermektedir. Bu bölgede yaklaşık % 65 Al ve % 25 Fe atomları belirlenmiştir. Cr, Mg, Zn ve Cu atomlarının oranı oldukça düşüktür. Bu atom oranları göz önüne alındığında, ara yüzeydeki difüzyon bölgesinde Fe-Al intermetalik fazı olduğu düşünülmektedir[17].

Kaynaklı numunelerin ve orijinal malzemelerin kesme testleri sonuçları Şekil 6' da verilmektedir. En yüksek kesme mukavemeti 15 s sürede kaynak yapılan numunelerde 197,5 MPa olarak bulunmuştur. Kaynak süresindeki artışla kesme mukavemeti değerlerinde artış gözlenmiştir. Kaynak süresindeki artış, daha fazla bir sürtünme mesafesi sağlar, bunun sonucunda ara yüzey toplam ısı girdi miktarı artar ve ara yüzey sıcaklığını artırır. Bu sıcaklık artışı hem deformasyon miktarını hem de difüzyon hızı artırır ve bunun sonucunda daha iyi bir bağlanma meydana gelir. 12 ve 15 s sürede kaynak yapılan numunelerin kesme mukavemeti değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

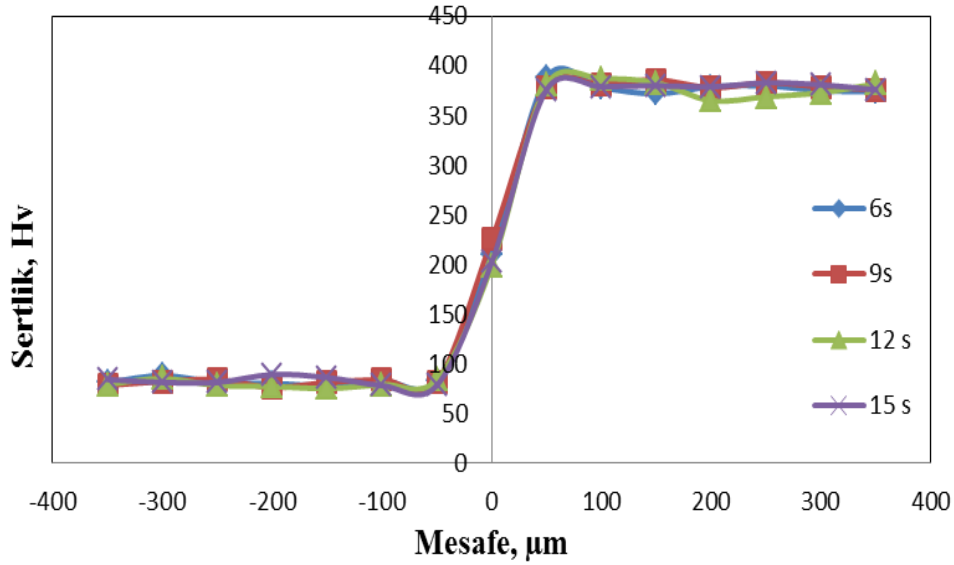
Bu durumda, 12 s kaynak süresinin iyi bir bağlantı için, yeterli ısı girdisi sağladığı düşünülebilir. Kaynaklı numunelerin mukavemeti ile orijinal malzemelerin mukavemeti kıyaslandığında, kaynaklı numunelerin mukavemeti daha düşüktür. Bunun nedeninin kaynaklı numunelerin ara yüzeylerinde oluşan Fe-Al intermetalik fazlarının düşük mukavemeti nedeniyle olduğu söylenebilir. Kaynaklı numunelerin merkezinden her iki tarafa doğru mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Kaynaklı tüm numunelerin mikrosertlik profilleri birbirine benzerdir (Şekil 7). Ara yüzey sertlik değeri yaklaşık 200 HV olarak ölçülmüştür. Al7075 alaşımı tarafında yeniden kristalleşmiş bölge ile matrisin sertliklerinin yaklaşık aynı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. a) 12 s sürede kaynak yapılmış numunenin Taramalı Elektron Mikroskop fotoğrafı. b) B noktasındaki EDS analizi. c) C noktasındaki EDS analizi. d) D noktasındaki EDS analizi.



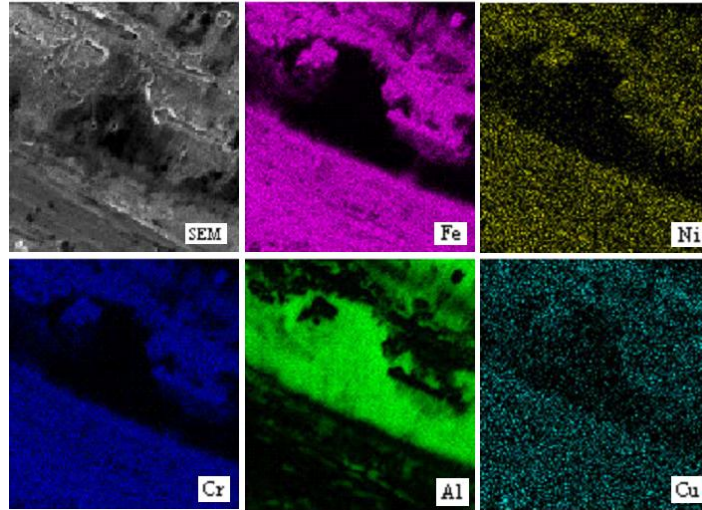
Şekil 6. Kaynaklı numunelerin ve orijinal malzemelerin kesme mukavemetleri.



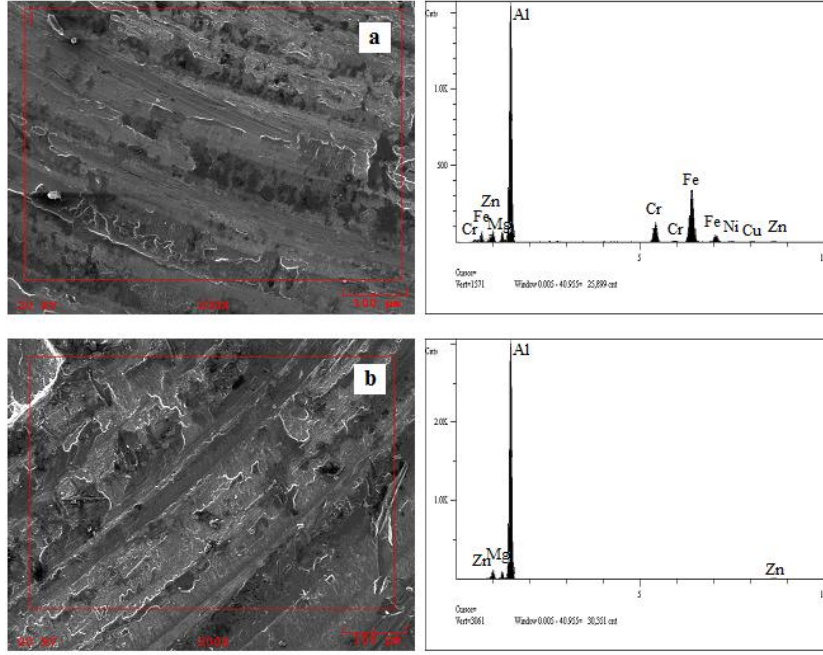
Şekil 7. Kaynaklı numunelerin mikrosertlik değerleri.

Şekil 8 ve 9 'de kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları ve EDS analizleri verilmiştir. 9s sürede kaynak yapılan numunelerin 17-4 PH tarafı yüzeyinde EDS- haritalama analizinde yüzeyde Al, Fe, Cr, Cu ve Ni atomları tespit edilmiştir. Bu atomların varlığı kesme esnasında kopmanın ara yüzey ve Al 7075 tarafından olduğunu göstermektedir.

9s sürede kaynak yapılan ve Şekil 9' de verilen yüzey EDS analizleri de kesme testi esnasında kopmanın ara yüzey ve Al 7075 tarafından gerçekleştiğini onaylamaktadır. Hemen hemen tüm kaynak sürelerinde benzer sonuçlar görülmüştür.



Şekil 8. 9s sürede kaynak yapılan numunelerden 17-4 PH paslanmaz çelik tarafı kırılma yüzeyi EDS haritalama analizi.



Şekil 9. 9 s sürede kaynak yapılan numunelerin kırılma yüzeyi EDS analizi. a) 17-4 PH tarafı b) Al 7075 tarafı.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı sürtünme kaynağıyla farklı sürelerde birleştirilmiştir. Kaynak sonrası mikroyapı incelemelerinde Al 7075 tarafında yeniden kristalleşmiş ve deforme olmuş bölge olarak iki farklı bölge oluşurken, 17-4 PH tarafında belirli bir değişim gözlenmemiştir. Ara yüzeyde bir difüzyon bölgesi olduğu görülmüş ve analiz sonucunda bu bölgenin Al ve Fe zengin bir faz olduğu tespit edilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri tüm kaynaklı numunelerde sertlik profillerinin benzer olduğunu göstermiştir. Kesme testi sonuçları göre en yüksek kesme mukavemetinin 15 s sürede kaynaklanan numunede 197,5 MPa olarak elde edilmiştir. Kaynak süresindeki artışla, ısı girdisi ile doğru orantılı olarak, kesme mukavemeti değerlerinin artmıştır. Kırılma yüzeyi incelemeleri, kesme testi esnasında kopmanın ara yüzey ve Al 7075 tarafından gerçekleştiğini göstermiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Kalahid Rafi H., Janaki Ram G.D., Phanikumar G., Prasad Rao K., " Microstructure and tensile properties of friction welded aluminum AA7075-T6", Materials and Design 31 (2010) 2375-2380.
- [2] Jha Abhay K., Sreekumar K., "Metallurgical studies on cracked Al-5.5Zn -2.5Mg-1.5Cu aluminum alloy injector disc of turbine motor" J Fail Anal Preven, 8 (2008) 327-332.
- [3] Gupta R.K., Ramkumar P., Ghost B.R., "Investigation of internal cracks in aluminum alloy AA 7075", Engineering Failure Analyze, 13 (2006), 1-8.
- [4] Oikawa H., Ohmiya S., Yoshimura T., Saitoh T., "Resistant spot welding of steel and aluminum sheet using insert metal sheet", Sci. Technol Weld Join 2 (1999) 80-88.
- [5] Yılmaz M., Çöl M., Acet M., "Interface properties of aluminum/steel friction-welded components", 49 (2003) 421-429.
- [6] Watanabe T., Takayama H., Yanagisava A., "Joining of Al to steel by friction stir welding", J of Mater Process Technol., 178 (2006) 342-349.
- [7] Karfoul M.K., Tatlock G.J., Murray R.T., "The behavior of iron and aluminum during the diffusion welding of carbon steel to aluminum", J Mater Sci, 42 (2007) 5692-5699.

- [8] Acarer M., Demir H., “An investigation of mechanical and metallurgical properties of explosive welded aluminum dual phase steel”. *Mater Lett*, 62 (2008) 4158-4160.
- [9] Sierra G., Beyre P., Beaume F.D., Stuart D., Fras G., “Steel to Al key-hole laser welding” *Mater Sci. Eng A*, 499 (2007) 197-208.
- [10] Odabaş U., *Paslanmaz Çelikler, Kaynak Yöntemleri*, 2. Baskı, Şubat 2004.
- [11] Ay M., Kalyon A., “CNC Torna Tezgâhında 17-4 PH Paslanmaz Çeliğin İşleme Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *IATS'11*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- [12] Zdzislaw K., Elmekçi E., Balazinski M., Fortin C., “Cutting tool reliability analysis for variable feed milling of 17-4 PH stainless steel”, *Wear* 195 (1996) 206-213.
- [13] Çelikyürek İ., Torun O., Baksan B., “Microstructure and strength of friction-welded Fe-28Al and 316 l stainless steel”, *Materials Science and Engineering A*, 528 (2011) 8530-8536.
- [14] Özdemir N., “Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed”, *Materials Letters*, 59 (2005) 2504-2509.
- [15] Ateş H., Turker M., Kurt A., “Effect of friction pressure on the properties of friction welded MA956 iron-based super alloy”, *Materials and Design*, 28 (2007) 948-953.
- [16] Torun O., Çelikyürek İ., Baksan B., “Friction welding of cast Fe-28Al alloy” *Intermetallics*, 19 (2011) 1076-1079.
- [17] Taban E., Gould J.E. , Lippold J.C., “Dissimilar friction welding of 6061-T6 aluminum and AISI 1018 steel”, *Materials and Design* 31 (2010) 2305-2311.
- [18] Satyanarayana V.V., Reddy G.M., Mohandas T., “Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels”, *J of Materials Processing Technology*, 160 (2005) 128-137.