FARKLI AI-ALAŞIMI LEVHALARIN (AA6061/AA7075) SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINA TEMPER DURUMUNUN ETKİSİ

Güven İpekoğlu

Dr., Mustafa Kemal Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay guvenipekoglu@gmail.com

Gürel Çam*

Prof. Dr., Mustafa Kemal Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay gurelcam@gmail.com

ÖZET

Farklı malzemelerin birbiriyle başarılı bir şekilde birleştirilebilmeleri, mukavemet, ağırlık, korozyon direnci vb. faktörlerin optimize edilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Alüminyum alaşımları, özellikle yaşlandırma sertleştirmesi uygulanabilenler, otomotiv ve uçak endüstrisinde üstün özelliklerinden ötürü kullanım alanı bulmaktadırlar. Alüminyum alaşımlarının tümü hafif olmakla beraber çok değişik özelliklere sahiptirler. Örneğin, AA6061 alaşımı üstün korozyon direncine sahipken, AA7075 alaşımı yüksek mukavemet göstermektedir. Durum böyle olunca, farklı Al-alaşımlarının birleştirilebilirliğinin araştırılması ve yapılan birleştirmelerin kalitesinin artırılması da son derece önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Al-alaşımlarının kaynağında başarılı sonuçlar veren sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile, her biri için iki farklı kaynak parametresi seti kullanılarak, farklı Al-alaşımı birleştirmeler (AA6061-O/AA7075-O ve AA6061-T6/AA7075-T6) elde edilmiştir. Detaylı optik mikroskop incelemeleri, mikrosertlik ölçümleri ve çekme deneyleriyle, elde edilen birleştirmelerin içyapı karakterizasyonu yapılmış ve temper durumunun kaynak kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Al-alaşımları, kaynak performansı

The Effect of Temper Condition on Friction Stir Welding of Dissimilar Al-Alloys (AA6061/AA7075) Plates

ABSTRACT

Successful joining of dissimilar materials is important in order to optimize mechanical properties such as strength, density, corrosion resistance, etc., for several applications. Al-alloys, particularly hardenable ones, are widely utilized in automobile and aerospace industries owing to their excellent properties. Besides all Al-alloys are light-weight they exhibit different properties. For instance, AA6061 alloy display excellent corrosion resistance whereas alloy AA7075 possesses a very high strength. Thus, it is worth to search the joinability of dissimilar Al-alloys plates and their performances.

In this study, dissimilar Al-alloys joints (AA6061-O/AA7075-O and AA6061-T6/AA7075-T6) were produced using friction stir welding, which is well demonstrated to produce reliable joints in similar Al-alloy plates, employing two different sets of weld parameters. Detailed metallography, micro hardness measurements and tensile testing were conducted in order to characterize the joints obtained and to determine the effect of temper condition on joint performance.

Keywords: Friction stir welding, Al-alloys, joint performance

*İletişim yazarı

Geliş tarihi : 02.05.2012 Kabul tarihi : 29.06.2012

İpekoğlu, G., Çam, G. 2012. "Farklı Al-Alaşımı Levhaların (AA6061/AA7075) Sürtünme Karıştırma Kaynağına Temper Durumunun Etkisi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 629, s. 40-47

1. GİRİŞ

deal bir kaynak sonrası kaynak bölgesinin esas malzemeyle aynı özelliklere sahip olması istenir. Ancak, Alalaşımlarının kaynağındaki problemlerden dolayı bu alaşımlarda ideal kaynaklı birleştirmelerin elde edilebilmesi son derece güctür [1]. Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), virmi yıllık bir gelişim sürecinin sonunda özellikle uzay ve hava endüstrisinde Al-alaşımları için uygulanabilir hâle gelmiş ve önemli bir imalat alternatifi olmuştur [2]. Özellikle vaşlandırma sertleştirmesi yapılmış yüksek mukavemetli Alalaşımlarının ergitme kaynak yöntemleriyle kaynaklarında sorunlar olduğu bilinmektedir [1, 3-5]. Ergitme kaynağı sorunlu olan bu alaşımlar için SKK'daki bu gelişme son derece önemlidir. Bu kaynak yöntemi sayesinde ergitme kaynaklarında aşırı derecede çatlak ve porozite oluşumunun söz konusu olduğu Al-alaşımlarında başarılı sonuçlar alınmaktadır [6-9].

Son yıllarda ürün çeşitliliğinin artması ve artan ürün kalitesi talepleri, farklı malzemelerin kaynağını gerektirmektedir. Farklı malzemelerin birbiriyle kaynağı, mukavemet, ağırlık ve korozyon direncinin optimize edilebilmesini sağlar [10]. Fakat, farklı malzemelerin birbiriyle kaynağı geleneksel er-



gitme kaynak yöntemleriyle imkansız ya da son derece zordur. SKK farklı Al-alaşımlarının birbiriyle kaynağında da başarılı bir şekilde kullanılabilme potansiyeline sahiptir [2].

Sürtünme karıştırma kaynağı temel olarak basit bir prensibe dayanan bir katı hâl kaynak yöntemi olup, The Welding Institute (TWI), İngiltere tarafından geliştirilerek 1991 yılında patentlenmiştir [11]. Kaynak işlemi Şekil 1'de gösterildiği gibi alın alına sabitlenmiş iki levhanın ara yüzeylerine daldırılan yüksek devirde dönen bir batıcı ucun kaynak hattı boyunca ilerletilmesi ve açığa çıkan ısı tesiri altında çamur kıvamına gelmiş malzemenin birbiri içine karıştırılarak birleştirilmesi esasına dayanır. Yöntemin uygulanışı hakkında detaylı bilgi literatürde mevcuttur [9,11-13].

Bu çalışmada yukarıda bahsedilenler ışığında 7075 ve 6061 Al-alaşımlarının birbiriyle sürtünme karıştırma kaynakları, farklı iki kaynak parametresi seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede değişen kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Ayrıca, kaynaklar her bir malzeme için O ve T6 olmak üzere farklı iki temper şartında gerçekleştirilerek, değişen temper şartlarının değişik kaynak parametreleri altında kaynak kalitesine etkisi de incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada 3.17 mm kalınlığında 6061-O ve 6061-T6 ile 7075-O ve 7075-T6 Al-alaşımı levhalar kullanılmıştır. Kullanılan Al-alaşımlarının kimyasal bileşimleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir. Kaynak edilecek parçalar lazerle kesim yöntemiyle 300x130 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Kaynak öncesinde kaynak yüzeyleri talaşlı imalat yöntemiyle mekanik olarak temizlenerek 300x125 mm ebatlarına indirilmiştir. Bu farklı Al-alaşımı levhaların kaynak işlemleri (6061-O/7075-O ve 6061-T6/7075-T6), Tablo 3'te verilen kavnak parametreleri kullanılarak, hadde yönüne dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler söz konusu alaşımlar üzerine yapılmış olan önceki çalışmaların sonuçlarına göre belirlenmiştir. Parametre setlerinden biri (1500x400) 6061 Al-alaşımı levhaların kaynağında iyi sonuç veren parametre seti iken diğeri de (1000x150) 7075 Al-alaşımı levhaların kaynağında iyi sonuç veren parametre setidir [14-16]. Benzer levha kavnağında tespit edilen bu iki farklı parametre seti farklı levhaların kaynağında kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Kaynaklar CNC tezgahında, H13 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş omuz çapı 15 mm ve pim çapı 4 mm olarak tasarlanmış ve M4 vida dişi açılmış olan silindirik batıcı uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi sırasında batıcı ucun batma derinliği sabit olacak şekilde dikkatli bir şekilde kontrol altında tutulmuştur.

Kaynaklı parçalardan her birinden kaynağa dik yönde olacak şekilde dörder adet çekme numunesi ve birer adet metalogra-



Malzeme	AI	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	v	Diğer
6061-O	Kal.	0.68	0.6	0.3	0.09	1.1	0.19	0.14	0.03	0.01	0.08
6061-T6	Kal.	0.65	0.54	0.25	0.11	0.9	0.19	0.05	0.07	-	0.01Ni

Tablo 1. Kullanılan 6061 Al-Alaşımı Levhaların Kimyasal Bileşimleri (% ağırlıkça)

Tablo 2. Kullanılan 7075 Al-Alaşımı Levhaların Kimyasal Bileşimleri (% ağırlıkça)

Malzeme	AI	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	v	Zr	Diğer
7075-O	Kal.	0.12	0.24	1.46	0.03	2.48	0.19	5.61	0.03	0.01	0.01	0.02
7075-T6	Kal.	0.05	0.09	1.69	0.02	2.42	0.20	5.60	0.04	0.006	0.005	0.001 B, 0.0018 Pb, 0.004 Ni, 0.0026 Sn, 0.003 Be, 0.08 H ₂ *

 $* \text{ ml H}_2 / 100 \text{g Al}$

Tablo 3. Kaynakların Gerçekleştirilmesinde Kullanılan Parametre Setleri

Parametre Seti										
No	Devir (min-1)	İlerleme(mm/min)								
1	1000	150								
2	1500	400								

fik muayene numunesi çıkarılmıştır. Çekme deneyi numuneleri TS 287 EN 895 standardına uygun olarak hazırlanmış olup (Şekil 2), deneyde kullanılan çene hızı 1 mm/min olarak seçilmiştir. Metalografik muayene numuneleri üzerinde öncelikle detaylı olarak makro ve mikro düzeyde kaynak kesitinin tamamında optik mikroskop incelemeleri yapılmış, sonrasında kaynak kesitinin tam ortasında sertlik ölçümleri yapılarak mikro sertlik profilleri çıkarılmıştır. Sertlik ölçümleri 100g yük altında 20s uygulama süresi ile Vickers yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1 İçyapı İncelemeleri

Şekil 3'te çalışmada kullanılan esas malzemelerin içyapıları görülmektedir. 6061 Al-alaşımının içyapıları incelendiğinde her iki temper şartında da levhaların alfa fazı içerisinde rastgele dağılmış zengin Si ve Fe partikülleri ihtiva ettiği gözlenmektedir. 6061-O levhaların mikro yapısı alfa fazı içerisinde rastgele dağılmış büyük ve yuvarlak Mg_2Si partikülleri içerirken, 6061-T6 levhaların mikro yapısı ise alfa matrisi içerisinde rastgele dağılmış harf-görünümlü Fe₃SiAl₁₂ partikülleri ve yine rastgele dağılmış büyük ve yuvarlak Mg_2Si partikülleri içermektedir [17]. 7075 Alalaşımlarının içyapılarında ise istenmeyen bir şekilde rastgele dağılmış Al_7Cu_2Fe , $Al_{12}Fe_3Si$ ve Mg_2Si gibi kaba taneli bileşenler formunda Fe ve Si açısından zengin partiküller içeren alfa taneleri dikkat çekmektedir [17,18]. 7075-T6 levhalardaki sertleştirici partiküller verilmiş olan büyütmede net olarak görülmemektedir.







Şekil 5. İki Farklı Parametre Setiyle Elde Edilen Farklı Al-Alaşımı Kaynaklı Levhaların (6061-T6/7075-T6) Kesit Görüntüleri



Şekil 6. 6061-O / 7075-O Kaynaklı Numunelerin Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölgeleri: (a) 1000x150 ve (b) 1500x400



Şekil 4 ve 5'te elde edilen kaynaklı levha kesitlerinin makro resimleri verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde, levhaların tavlanmış (O) hallerde 1500x400 parametre setiyle kaynak edilen numune hariç diğerlerinde herhangi bir kaynak hatası dikkat çekmemektedir. Bu numunede ise Şekil 4'te görüleceği üzere tabana yakın bölgede 7075-O tarafında kaynak hatası bulunmaktadır.

Şekil 6 ve Şekil 7, yapılan kaynakların kaynak bölgesinde olusan dinamik olarak veniden kristallesen bölgeleri (DKB) göstermektedir. Her iki malzeme aynı dağlama solüsyonunda aynı sürede farklı miktarlarda hasara uğradığı için optik mikroskopta farklı tonlarda görüntü vermektedirler. Bu görüntülerde koyu renkli bölgeler 7075 alaşımının yoğunluklu olduğu bölgeler, açık renkli bölgeler ise 6061 alaşımının daha yoğunluklu olduğu bölgelerdir. Kaynak bölgesinde, kaynağın süpürme tarafındaki malzeme (6061) daha fazla miktarda bulunmaktadır ve artan devir ve ilerleme hızıyla yığma tarafındaki malzemenin (7075) kaynak bölgesindeki konsantrasyonu artmaktadır. Sekillerden görüleceği üzere, daha yüksek devir ve ilerleme hızı kullanılarak elde edilen numunelerin DKB'si, gerek O temper şartlarında kaynak edilen numunelerde gerekse T6 şartlarında kaynak edilen numunelerde daha fazla 7075 yoğunluklu bölge içermektedir. Bu yoğunluk durumu Şekil 5'te de görülmektedir. Bu durum yüksek devir ve ilerleme hızında iki farklı malzemenin daha fazla karışmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, karıştırma miktarını belirleyen ana parametrenin devir hızı olduğu düşünülmektedir.

3.2 Sertlik Ölçümleri

Kaynaklı numuneler üzerinde yapılan mikrosertlik ölçümleri göstermiştir ki; O temper şartlarında kaynak edilen numunelerde kaynak bölgesinde bir sertlik artışı meydana gelmektedir. Bu sertlik artışı 6061-O tarafına yakın kısımda daha düşük mertebelerdeyken, 7070-O tarafına yaklaşıldıkça daha yüksek seviyelerde sertlik artışı söz konusu olmuştur. 6061-O tarafına yakın kaynak bölgesinde, 6061-O sertlik değeri olan 40 HV'den yaklaşık olarak 66 HV'ye çıkmıştır. Buna karşın diğer tarafta sertlik değeri, 7075-O sertlik değeri olan 60 HV'den yaklaşık olarak 120 HV seviyelerine kadar çıkmıştır. Ayrıca kaynak bölgesinde 6061-O tarafından 7075-O tarafına geciste keskin bir gecis söz konusu olup, cok küçük mesafelerde ani sertlik yükselişi söz konusu olmuştur (Şekil 8). Diğer taraftan, T6 şartlarında kaynak edilen numunelerde kaynak bölgesinde bir sertlik kaybı söz konusudur. O temper sartlarında söz konusu olan keskin geçiş bu numunelerde de söz konusu olmuştur. Bu numunelerde 1000x150 parametresiyle elde edilen kaynaktan çıkarılan numunede gerek 7075-T6 tarafında gerekse 6061-T6 tarafında kaynak bölgesindeki sertlik kaybi 1500x400 parametresine nazaran daha fazladır. Bu numunede kavnak bölgesindeki minimum sertlik değeri 61,9 HV iken, 1500x400 parametre setiyle elde edilen diğer numunede minimum sertlik değeri 73,2 HV'dir. Ayrıca, bu numunelerde kaynak bölgesinin7075-T6 tarafına yakın bir bölgesinde küçük bir aralıkta ani sertlik artışı ve sonra tekrar



Şekil 8. 6061-O / 7075-O Kaynaklı Parçalardan Elde Edilen Numunelerin Sertlik Profilleri



düşüşü söz konusudur (Şekil 9). Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde, O temper şartında kaynak edilen numunelerde ısıdan etkilenen bölgede (IEB) sertlikte belirgin bir değişim olmadığından sertlik değişiminin olduğu bölgenin omuz çapı genişliğinde (yaklaşık olarak 15 mm) olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, T6 şartlarında kaynak edilen numunelerde ise, sertlik değişimi hem karıştırma bölgesi hem de IEB'de gerçekleştiğinden bu genişlik yaklaşık olarak 30 mm'dir.

3.3 Çekme Deneyi Sonuçları

Tablo 4'te kullanılan esas malzemelerin ve elde edilen kaynakların çekme deneyi sonuçlarının bir özeti verilmektedir. Şekil 10'da da, çekme deneyi sonuçları sütun grafik şeklinde verilmektedir. O temper şartlarında kaynak yapılması halinde çekme deneyi numuneleri, kaynak bölgesinin uzağında 6061-O esas malzemeden kopmuştur. Dolayısıyla bu numunelerde ölçülen değerler, 6061-O esas malzeme sonuçlarına eşittir ve kaynak mukavemet performansi 6061-O esas malzeme mukavemetinin yaklasık olarak %100'dür. Bu numunelerde dikkat çeken durum, 1500x400 parametre setiyle elde edilen kaynaktan cıkarılan numunede kaynak hatası olmasına rağmen kopmanın vine kavnak bölgesinden değil 6061 esas malzeme tarafından gerçekleşmesidir. Bu durum numunenin mikrosertlik sonuçlarıyla açıklanabilir. Kaynak bölgesinde mevdana gelmis olan sertlik artışı kaynak bölgesinin mukavemetini 6061-O esas malzeme mukavemetinin üstüne çıkarmıştır. Bu da O şartlarında kaynak edilen numunelerde kaynak bölgesinde hatalarının bu bölgedeki sertlik artışı yoluyla tolere edildiğini göstermektedir. Benzer sonuclar, kaynak bölgesinde mukavemet artışı olan ve çatlak ihtiva eden lazer kaynaklı östenitik-perlitik çelik levhalarda da rapor edilmiştir [19, 20]. Eğer, kaynak bölgesinde sertlik değerinde bir artış olmamış olsaydı, yani bu bölgede sertlik düşüşü söz konusu olsaydı kaynak dikişinde hata olsun veya olmasın kopma kaynak dikişinden gerçekleşirdi.

Bu numunelerde elde edilen % uzama değeri (yaklaşık %14), esas malzemelerin her ikisinin % uzama değerinden düşüktür. Bunun nedeni numune boyunun yaklaşık yarısının yüksek mukavemetli olmasından dolayı deney esnasında plastik şekil değişiminin yalnızca düşük mukavemetli tarafta gerçekleşmesidir. Başka bir deyişle, kaynaklı numunelerin, 6061-O tarafı yaklaşık 116 MPa'da kopma aşamasına geldiğinde, 7075-O tarafi daha yeni yeni akmaya başlamakta (akma sınırı yaklaşık 85 MPa), dolayısıyla numune toplam uzamasına katkısı çok az olmaktadır. Diğer taraftan kaynak bölgesinde meydana gelmiş olan sertlik artışı bu bölgenin mukavemetini artırmaktadır. Dolayısıyla bu bölgenin % uzamaya katkısı cok az olmakta va da olmamaktadır. Yani cekme numunesinin % uzama değerinin hesabında alınan ölçü uzunluğu (ilk boy) 100 mm olmasına karşın numunenin toplam uzamasına asıl katkıyı sağlayan kısmı bu ölçünün çok altındadır (yaklaşık olarak 47 mm). Kaynaklı numunelerin % uzama değerleri

Malaomo vo	Çekme Mukavemeti (MPa) Akma Sınırı (MPa) Uzama (%)												
Kaynak Parametreleri	i O-Temper							T6-Temper					
(min⁻¹, mm/min)	1	2	3	4	Ort.	Verim [*] (%)	1	2	3	4	Ort.	Verim [*] (%)	
	116,8	117,1	116,9	115,2	116,5		335	334	334,2	335,1	334,6		
BM 6061	63,7	63	63,5	64,1	63,6		312,2	310,8	311,2	312,6	311,7		
	28,3	28,8	28,5	28,4	28,5		11,95	11,9	11,54	11,4	11,7		
	203,4	206,8	197,2	206,6	203,5		563,1	559,2	567	564,8	563,5		
BM 7075	85,1	84,6	87	84,3	85,3		494	492,2	502	496,2	496,1		
	19,1	20,3	17,8	18,3	18,9		16,4	14,4	16,3	17,1	16		
	115,1	115,7	115,8	116	115,7	99,3	227,5	233,6	230,6	230,2	230,5	68,9	
1000x150	66,4	68,8	68,5	67,1	67,7	106,4	220,5	219,1	216,1	221,8	219,4	70,4	
	14,2	14,1	14,2	14,2	14,2	49,8	0,77	0,94	0,81	0,79	0,83	7,1	
	115,7	115,5	115,8	115,5	115,8	99,4	254,5	259,9	259,1	258,1	257,9	77,1	
1500x400	67	68,2	68,1	67,8	67,8	106,6	232,4	236	233,8	230,6	233,2	74,8	
	14,4	13,9	13,9	13,6	14	49,1	1,09	1,09	1,04	1,05	1,07	9,1	

Tablo 4. Kaynaklı Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

* Kaynak verimi daha düşük mukavemetli Al 6061 alaşımına göre hesaplanmıştır.



(yaklaşık %14), 6061-O esas malzemenin % uzama değerinin (%28,5) yaklaşık yarısıdır. Kaynaklı levhaların süneklik performansı 6061-O esas malzeme uzama değerinin yaklaşık %50'sidir. Bu sonuç yapılmış olan yaklaşımın doğruluğunu göstermektedir ki, kaynaklı numuneler yaklaşık 47 mm ilk boy üzerinden esas malzeme % uzama değerine göre bir hesap yapıldığında 13,4 mm'lik bir uzama değerine ulaşılır. Geri kalan yaklaşık 0,6 mm'lik uzama değeri de 7075-O esas malzeme tarafından ve/veya kaynak bölgesinin az bir sertlik artışının söz konusu olduğu 6061-T6 tarafından sağlanmaktadır. Benzer sonuçlar, kaynak bölgesinde mukavemet değeri esas levhadan daha yüksek olan lazer kaynaklı çeliklerde de rapor edilmiştir [19,20].

T6 temper sartlarında kaynak edilen numunelerin her ikisinde de herhangi bir kaynak hatası olmamasına rağmen 6061-T6 esas malzemeye göre kaynak bölgesinde bir mukavemet kaybı söz konusudur. Bu numunelerde 1500x400 parametre setiyle elde edilen kaynaktan çıkarılan numunelerin çekme mukavemeti değeri (257,9 MPa), 1000x150 parametre setiyle elde edilen kaynaktan cıkarılan numunelerin cekme mukavemeti değerinden (230,5 MPa) daha iyidir. İçyapı incelemesi kısmında tespit edilmiş olan, 1500x400 parametresinde kaynak bölgesindeki daha yoğun 7075 alaşımının varlığı, bu numunenin neden daha vüksek mukavemet değeri gösterdiğini acıklamaktadır. Ayrıca, bu numunede kaynak bölgesindeki sertlik kaybı da 1000x150 parametre setiyle elde edilen kaynaktan çıkarılan numuneye nazaran daha düşüktür. Sertlik kaybının az olması da direkt olarak mukavemet artışı olarak yansımaktadır. Ancak, bu numunelerde elde edilen çekme mukavemeti değeri 257,9 MPa bile 6061-T6 esas malzeme çekme mukavemeti değerinin (334,6 MPa) altındadır ve bu numunelerin kaynak mukavemet performansı 6061-T6 esas malzemeye göre %77'dir. O temper şartlarında kaynak edilen numunelerin tersine T6 levhaların kaynağında kaynak bölgesinde söz konusu olan mukavemet kaybı, karıştırma bölgesinde mukavemet artırıcı çökelti partiküllerinin çözünmesi ve IEB'de aşırı yaşlanmadan ötürüdür. Dolayısıyla, bu numunelerin % uzama değerleri de çok düşük mertebelerde kalmıştır (yaklaşık %1). Bunun nedeni, kaynaklı numunelerden 6061-T6'nın 7075-T6'ya nazaran düşük mukavemet değeri göstermesi ve kaynak bölgesinde mukavemet kaybıdır. Bir başka deyişle, 6061-T6 çekme mukavemeti yaklaşık olarak 335 MPa iken 7075-T6 bu değerde henüz akma sınırının cok altındadır (akma sınırı yaklaşık 500 MPa). Ayrıca, kaynak bölgesi her iki esas levhadan çok daha düşük sertliktedir. Dolayısıyla bu numunelerde çekme deneyinde plastik şekil değişimine uğrayan ve toplam numune uzamasına asıl katkı sağlayan kısım kaynak bölgesidir (yaklaşık 15 mm). Benzer davranış, lazer ve elektron ışını kaynaklı, kaynak bölgesinde mukavemet kaybı olan, Al-alaşımı levhalarda ve difüzyon kaynaklı Ti-Al birleştirmelerde de rapor edilmiştir [3-5, 21]. Diğer bir bulgu, bu numunelerden 1500x400 parametre setiyle elde edilen kaynaktan çıkarılan numunelerde % uzama değeri diğerine göre çok az da olsa daha yüksek çıkmıştır (%0,83 ve %1,07). Mikro sertlik profilleri incelediğinde 1500x400 parametre setiyle elde edilen numunelerin kısmi olarak daha yüksek % uzama değeri vermesinin sebebinin kaynak bölgesindeki sertlik kaybının daha düşük mertebede olduğu anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sürtünme karıştırma kaynağı farklı Al-alaşımları olan 6061 ve 7075 alaşım levhaların birbiriyle kaynağında, gerek O gerekse T6 temper şartlarında başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.
- 6061 ve 7075 Al-alaşımı levhaların O temper şartlarında kaynağıyla elde edilen birleştirmelerin, kaynak bölgesinde bir sertlik artışı meydana gelmektedir. Dolayısıyla, çekme deneyinde bu kaynaklı levhalar, kaynak bölgesinden uzakta daha düşük mukavemetli 6061-O esas malzemeden kopmaktadır.
- O temper şartında kaynak durumunda kaynak bölgesinde söz konusu olan sertlik artışı, kaynak hatalarını tolere etmekte ve çekme deneyinde numuneler kaynak hatasına rağmen kaynak bölgesinden değil zayıf olan esas malzeme (6061-O) tarafından kopmaktadır.
- 6061 ve 7075 Al-alaşımı levhaların T6 temper şartlarında kaynağıyla elde edilen birleştirmelerin kaynak bölgesinde ise bir sertlik kaybı meydana gelmektedir. Dolayısıyla minimum sertlik kaynak bölgesinde olmakta ve çekme deneyinde kırılma kaynak bölgesinde gerçekleşmektedir.
- O temper şartlarında kaynaklı levhalar, düşük mukavemetli 6061 esas malzeme mukavemetine eşdeğer mukavemet değerleri göstermişlerdir; yani kaynak mukavemet performansı yaklaşık % 100'dür.
- T6 temper şartlarında kaynak durumunda ölçülen en iyi kaynak performansı 1500x400 parametre setiyle elde edilmiş olup, %77 civarındadır.
- Kaynak bölgesinde, kaynağın süpürme tarafındaki malzeme (6061) daha fazla bulunmaktadır ve artan devirle yığma tarafındaki malzemenin (7075) kaynak bölgesindeki konsantrasyonu artmaktadır.
- O temper şartlarında kaynak durumunda sertlik değişimi olan genişlik, yaklaşık olarak batıcı uc omuz çapına eşit olmakta iken (yaklaşık 15 mm), T6 temper şartlarında bu bölge genişlemekte ve yaklaşık iki katına çıkmaktadır (yaklaşık 30 mm).
- Kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinde kaynak bölgesinin sertliğindeki değişim (O temper şartlarında sertlik artışı, T6 temper şartlarında sertlik kaybı) ve plastik şekil değişiminin toplam numune boyunda değil belirli bölgelerde olması nedeniyle bir kayıp söz konusu olmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan levhalar DEÜ 2007.KB.FEN.52 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında temin edilmiştir. Yazarlar kuruma bu kısmi finansal destek dolayısıyla teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- 1. Mathers, G. 2002. "The Welding of Aluminium and Its Alloys," 1-85573-567-9, Woodhead Publishing Ltd., New York, USA.
- 2. Murr, L.E. 2010. "A Review of FSW Research on Dissimilar Metal And Alloy Systems," Journal of Materials Engineering and Performance, vol.19, no.8, p.1071-1089.
- Çam, G., Koçak, M. 2007. "Microstructural and Mechanical Characterization Of Electron Beam Welded Al-Alloy 7020," Journal of Materials Science, vol.42, no.17, p.7154-7161.
- Çam, G., Ventzke, V., Dos Santos, J. F., Kocak, M., Jennequin, G., Gonthier-Maurin, P. 1999. "Characterisation of Electron Beam Welded Aluminium Alloys," Science and Technology of Welding and Joining, vol.4, no.5, p.317-323.
- Çam, G., Ventzke, V., Dos Santos, J. F., Koçak, M. 2000. "Characterization of Laser and Electron Beam Welded Al Alloys," Practical Metallography, vol.37, no.2, p.59-89.
- Mishra, R.S., Ma, Z.Y. 2005. "Friction Stir Welding and Processing," Materials Science and Engineering R: Reports, vol.R50, no.1-2, p.1-78.
- Nandan, R., DebRoy, T., Bhadeshia, H. K. D. H. 2008. "Recent Advances in Friction-stir Welding - Process, Weldment Structure and Properties," Progress in Materials Science, vol.53, no.6, p.980-1023.
- Threadgill, P.L., Leonard, A.J., Shercliff, H.R., Withers, P.J. 2009. "Friction Stir Welding of Aluminium Alloys," International Materials Reviews, vol.54, no.2, p.49-93.
- **9. Çam, G.** 2011. "Friction Stir Welded Structural Materials: Beyond Al-alloys," International Materials Reviews, vol.56, no.1, p.1-48.
- Milles, M.P., Melton, D.W., Nelson, T.W. 2005. "Formability of Friction-Stir-Welded Dissimilar-aluminum-Alloy Sheets," Metallurgical and Materials Transactions A, vol.36A, no.12, p.3335-3342.
- Thomas, W. M., Nicholas, E. D., Needham, J. C., Murch, M. G., Templesmith, P., Dawes, C. J. 1991. International

Patent Application No. PCT/GB92/02203, GB Patent Application No. 9125978.8, Dec. 1991, and U.S. Patent No. 5,460,317, Oct. 1995.

- 12. Thomas, W.M., Nicholas, E.D. 1997. "Friction Stir Welding for the transportation industries," Materials & Design, vol.18, no.4/6, p.269-273.
- Kaluç, E., Taban, E. 2007. Sürtünen Eleman ile Kaynak (FSW) Yöntemi (Sürtünme Karıştırma Kaynağı), MMO/2007/460, TMMOB MMO Yayını, Ankara.
- İpekoğlu, G., Erim, S., Gören-Kıral, B., Çam, G., 2011."Sürtünme Karıştırma Kaynaklı Alüminyum Levhalar," Makina Tek., Şubat 2011, sayı 160, s.100-106.
- 15. İpekoğlu, G., Gören-Kıral, B., Erim, S., Çam, G., 2012. "A Study on the Characterization of Friction Stir welded AA7075 Aluminium Alloy Plates,' 14th International Materials Symposium (IMSP'2012), 10-12 October 2012, Pamukkale University, Denizli, Türkiye.
- 16. İpekoğlu, G., 2011. "Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Sürtünme Karıştırma Kaynaklı AA6061 ve AA7075 Alüminyum Alaşımı Levhalarda İçyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi," Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Vander Voort, G.F. 2006. Atlas of Aluminum Microstructures, in Analytical Characterization of Aluminum, Steel and Superalloys" ed.: MacKenzie, D.S., Totten, G.E., 0-8247-5843-9, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Ayer, R., Koo, J.Y., Steeds, J.W., Park, B.K. 1985. Microanalytical Study of the Heterogeneous Phases In Commercial Al-Zn-Mg-Cu Alloys," Metallurgical Transactions A, vol.16, no.11, p.1925-1936.
- Çam, G., Erim, S., Yeni, Ç., Koçak, M. 1999. "Determination of Mechanical And Fracture Properties of Laser Beam Welded Steel Joints," Welding Journal, vol.78, no.6, p.193s-201s.
- Çam, G., Yeni, Ç., Erim, S., Ventzke, V., Koçak, M. 1998. "Investigation Into Properties Of Laser Welded Similar And Dissimilar Steel Joints," Science and Technology of Welding and Joining, vol.3, no.4, p.177-189.
- 21. Koçak, M., Pakdil, M., Çam G., 2002, Fracture Behaviour of Diffusion Bonded Ti-Alloys with Strength Mismatch, Science and Technology of Welding and Joining, vol.7, no.4, p.187-196.