

AA7075/AA6013 ALAŞIM ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PİM ÇAKIŞMASININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Şefika KASMAN¹ (ORCID: 0000-0002-4722-9203)*
Sertan OZAN² (ORCID: 0000-0003-1932-8308)

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 35397 İzmir, Türkiye

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 66100 Yozgat, Türkiye

Geliş / Received: 22.05.2018

Kabul / Accepted: 03.07.2018

ÖZ

Bu çalışmada, AA7075/AA6013 alüminyum alaşım çiftinin sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle kaynaklanabilme kabiliyeti incelenmiştir. Üst üste bindirilmiş kaynak dikişlerinin ve pim profillerinin etkileşiminin mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çekme ve eğme testleri ile kaynaklı bağlantılar karakterize edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı olan 203 MPa ve en düşük kopma uzaması değeri %2,12 konik pim geometrisine sahip takımın kullanılması ve herhangi bir ofsetin söz konusu olmadığı durumda elde edilmiştir. Kök eğme mukavemeti ile yüzey eğme mukavemeti değerleri ise sırasıyla 288 MPa ve 284 MPa olarak bulunmuştur. Eğme testi sonrasında ölçülen en yüksek kök eğme mukavemeti değeri 293 MPa'dır ve beşgen pim profiline sahip takımın AS yönünde ofsetlenmesiyle imal edilen kaynaklı bağlantıdan elde edilmiştir. Bu kaynaklı bağlantı aynı zamanda kusurlar da içermektedir. Beşgen pim profiline sahip takımlarla yapılan kaynaklı bağlantıların hepsinde çatlak tipi kusurlar tespit edilmiştir ki bu durum çekme testi sonuçlarına da yansımıştır.

Anahtar kelimeler: Pim çakışması, Pim profili, Mekanik özellikler, Sürtünme karıştırma kaynağı

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PIN OVERLAP PHENOMENON ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED AA7075/AA6013 ALLOY COUPLE

ABSTRACT

In this study, the friction stir welding ability of AA7075 / AA6013 aluminum alloy couple was investigated. The interaction between the pin profiles and overlapped welding seams affecting the mechanical properties was investigated. The welded joints were characterized by tensile and bending tests. The highest tensile strength of 203 MPa and the lowest elongation at rupture with a value of 2.12% were obtained in the absence of offset using a tool with conical pin geometry. Root bending strength and surface bending strength values were found to be 288 MPa and 284 MPa, respectively. The highest root bending strength was measured to be 293 MPa; it was obtained from the welded joint manufactured via offsetting the tool with the pentagonal pin profile on the AS direction. This welded joint was found to contain defects. All welded joints joined by tools with pentagonal pin profiles have been found to exhibit crack-type imperfections affecting the tensile test results.

Keywords: Pin overlap, Pin profile, Mechanical properties, Friction stir welding

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90-232-301-9217; e-mail / e-posta: sefika.kasman@deu.edu.tr

*AA7075/AA6013 ALAŞIM ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PİM ÇAKIŞMASININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ***1. GİRİŞ**

Geleneksel ergitme kaynak işleminin sıvı fazda gerçekleşmesi sebebiyle katılaşma hızına bağlı olarak kaynak bağlantılarında ortaya çıkan çatlaklar, gözenekler, boşluklar ve farklı malzemelerin kaynağında dolgu metali uyumsuzlukları [1-3] gibi olumsuzlukları gidermeye yönelik çalışmalar sonucunda sürtünme karıştırma kaynak (SKK) uygulamalarının olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu olumlu sonuçlar üzerine SKK ile ilgili çalışmalar günümüzde otomotiv ve havacılık endüstrilerinde başarılı bir şekilde giderek artan bir ivmeyle uygulanabilmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı 1991 yılında İngiltere'deki Kaynak Enstitüsü (TWI-The Welding Institute) tarafından geliştirilmiş bir katı faz kaynak yöntemidir [4]. Geliştirildiği ilk zamanlarda çalışmalar helisel profilli takımlar ile gerçekleştirilmiş olup kaynaklı bağlantıların mikro yapısal değişimleri ve mekanik özelliklerinin olumlu sonuçlar vermesi üzerine takım özellikleriyle ilgili çalışmalar genişletilmiştir. Bunun yanında en büyük ilerleme farklı malzemelerin kaynağının yapılabilişliğinin sağlanabilirliği üzerine olmuştur [4, 5].

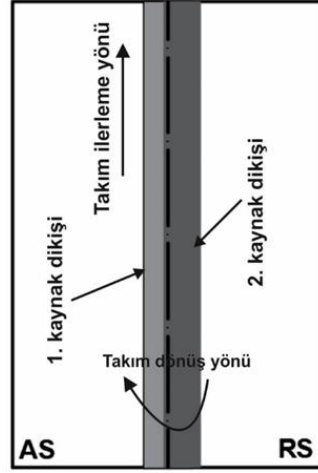
SKK uygulamalarının esasını oluşturan takım iki bölümlerle karakterize edilir; bunlardan en önemlisi pim geometrisi olup diğeri de takım omuz çapıdır [6, 7]. SKK yöntemiyle yapılan kaynak işlemleri için gerekli ısı, takımın omuz kısmının ve pimin dönmesi sonucu kaynaklanacak plakalar ile takım arasında oluşan sürtünmeyle ortaya çıkmaktadır [8]. Bu sebepten takıma ait özelliklerin doğru ayarlanması gerekmektedir. Literatürde SKK yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda takıma ait özelliklerin incelendiği ve kaynak parametreleri ile etkileşiminin mekanik ve mikro yapı özelliklerinde nasıl bir değişkenlik yarattığı ile ilgili incelemelerin yapıldığı görülmüştür [1, 2, 9, 10].

SKK ile yapılmış bir kaynak için mikro yapı, pimin her iki tarafında bulunan ve ana malzemeden başlayarak sırasıyla ısıdan etkilenen bölge (HAZ-heat affected zone) ve termo-mekanik olarak etkilenmiş bölgeden (TMAZ-thermomechanical affected zone) oluşmaktadır [11]. Bunun yanında, pimin plakaların temas bölgesine daldığı ve karıştırma işlemi gerçekleştiği kısım olan karıştırma bölgesi (NZ-nugget zone) ise kaynaklı bağlantının tam merkezinde bulunmaktadır.

Karıştırma bölgesi, yüksek sıcaklık ve plastik deformasyonun ortak etkisi ile dinamik yeniden kristalleşmenin aktif olarak gerçekleştiği bölge olup bu bölgedeki taneler ana malzeme de dâhil olmak üzere diğer bölgelere kıyasla daha küçük ve eş eksenli bir yapıya sahiptir [12, 13]. İdeal bir SKK için NZ, kaynağa ait kusurların görülmediği bir bölge olup kaynak sırasında oluşması muhtemel gerilimleri de içinde barındırmayan bölgedir. Ancak, gerek kaynağa ait parametrelerin gerekse de takım geometrisinin sebep olduğu kusurlar NZ bölgesinde bulunmakla birlikte, tane yapısındaki dönüşümlerde de bu faktörler etkili bir şekilde rol almaktadır. TMAZ, NZ'ye komşu bölgedir ve kaynak işlemi için üretilen ısının bir kısmını içermektedir. Ancak, bu bölgede ısının yeniden kristalleşmeyi başlatacak düzeyde olmaması sebebiyle NZ'den farklı olup bir karşılaştırma yapılırsa taneler daha büyük ve deformasyon yönünde uzamıştır [14, 15]. HAZ, TMAZ ile ana malzeme arasında kalan bölgedir, plastik deformasyonun etkilerini taşımamakla birlikte kaynak sırasında üretilen ısının çok az bir kısmı bu bölgeye ulaşmaktadır [14, 15]. Bu sebeple, SKK etkilerinin çok az görüldüğü bu bölgenin tane yapısı neredeyse ana malzeme ile aynıdır [14, 16].

SKK yönteminin alüminyum alaşımlarının kaynağında özellikle geleneksel füzyon kaynak yöntemleriyle kaynaklanabilirliği güç olan alaşımlar için olumlu sonuçlar verdiği ile ilgili literatürde çalışmalar bulunmaktadır [2, 4-8, 12, 14]. AA7075 alüminyum alaşımının ergitme kaynak yöntemleri ile kaynaklanabilirliğinde özellikle katılaşma hızından kaynaklı çatlakların oluşması sebebiyle bazı problemler ortaya çıkmaktadır [9, 17]. Bunun yanında AA6013 geleneksel ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi mümkün olan bir alaşımdır [16, 18]. SKK ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinin sonuçlarının olumlu olmasından dolayı bu alaşımlar üzerinde çalışmalar giderek yoğunlaşmıştır [7, 19].

Bu çalışmada, SKK ile imal edilmiş kaynaklı bağlantılarda ortaya çıkan kusurların azaltılabileceği düşüncesiyle yeni bir uygulama geliştirilmiştir. İki kaynak dikişinin belli bir oranda üst üste bindirilmesi söz konusu olup kullanılan teknik ve malzeme çifti açısından yapılan çalışma özgün bir değere sahiptir. İlk kaynak dikişi plakaların temas yüzeyi üzerinde gerçekleştirilirken, ikinci kaynak dikişi ilk kaynak dikişinin üzerinde pimin, takımın dönüş yönü dikkate alınarak ilerleyen tarafa (AS) ya da geri çekilen tarafa (RS) belli oranda kaydırılması ile gerçekleştirilir. Kaynak dikişlerinin çakıştırıldığı kaynaklı bir bağlantının şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan deneylerde AA7075 alaşımının AA6013 alaşımıyla SKK kaynağında pim profilinin pim ofset yönüyle etkileşmesinde kaynak bağlantısının mekanik özellikler üzerinde oluşturacağı etkiler araştırılmıştır.



Şekil 1. Kaynak uygulaması için şematik bir gösterim

2. MATERYAL VE METOT

SKK kaynak uygulamaları 100 mm x 225 mm x 5 mm ölçülerindeki AA7075-T651 ve AA6013-T6 alaşımından oluşan plakalara uygulanmıştır. Bu alaşımlara ait kimyasal analiz sonuçları ve mekanik özellikler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Kaynak uygulamaları için üniversal freze tezgâhi kullanılmıştır.

Tablo 1. AA7075-T651 ve AA6013-T6 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu (%ağ.)

	Cu	Si	Mg	Mn	Zn	Ti	Cr	Fe	Al
AA7075-T651	1.45	0.15	2.58	0.06	5.72	0.034	0.2	0.16	Dengede
AA6013-T6	0.9	0.89	0.91	0.55	0.02	0.01	-	0.39	Dengede

Tablo 2. AA7075-T651 ve AA6013-T6 alaşımlarının mekanik özellikleri

	Maks. Çekme Mukavemeti (σ_{uts} , MPa)	Uzama (ϵ , %)
AA7075 –T651	588	14
AA6013 –T6	285	9

Şekil 2a’da görüldüğü üzere, freze tezgâh tablası üzerine yerleştirilen çelik bir altlık üzerine plakalar yerleştirilir. Bu plakaların hem üstten hem de yandan desteklenmesi gerekmektedir. Bunun nedeni, SKK işlemi sırasında takım tarafından uygulanan kuvvet ve ısının etkisi ile plakaların açılmaya çalışmasını önlemektir. SKK uygulamaları öncesinde bu donanımın sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmadaki SKK deneysel uygulamalarının kapsamını, pimin tanımlı bir ofset yönü için kaynak dikişlerinin karşılaştırılması ve pim geometrisi oluşturmaktadır. Bu amaçla Şekil 2b’de görülen üç farklı pim geometrisine sahip takım ve iki farklı pim ofset yönü seçilmiştir. SKK bağlantıları için bu faktörlerin etkileşimlerinin etkilerini araştırmaya yönelik olarak takım dönme hızı ve kaynak hızı sırasıyla 400 dev/dak. ve 80 mm/dak. için sabit tutulmuştur. Bunun yanında takıma, kaynak ilerleme yönü dikkate alınarak 3°’lik bir eğim verilmiştir. Kaynak işlemi için takım dönüş yönü olarak saat yönü dönüş belirlenmiştir. Kaynak uygulamalarında kullanılan takım, sıcak iş takım çeliğinden üretilmiştir ve omuz çapının ölçüsü 18 mm’dir. Pim için seçilen geometriler Şekil 2b’de görüldüğü gibi üçgen (Ü), konik helisel (KH) ve beşgen (B) şeklindedir. SKK uygulamaları için parametreler ve seçilen değerler Tablo 3’de listelenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı kaynak dikişlerinin tanımlı bir mesafe ile AS ve RS yönlerinden birine doğru kaydırılmasıyla karşılaştırılmasıdır. Çakışma mesafesi olarak 1,5 mm seçilmiştir. Tablo 3’de görülen ve kaynak parametrelerinin her bir seviyesinin etkileşimini içeren deney düzenine göre kaynak uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

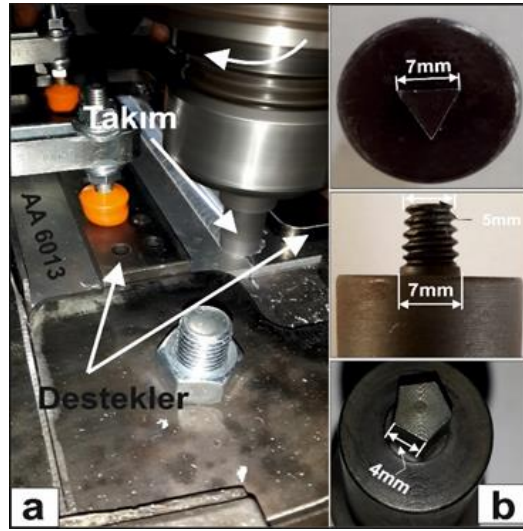
Kaynak bağlantılarının mikro yapı analizleri için standart metalografik hazırlama işlemleri sonrasında Keller solüsyonu ile dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların ve ana malzemelerin mekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik olarak çekme testleri ve üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. ASTM E8/E8M standardına [20] göre hazırlanan üç adet çekme testi numunesi 2 mm/dak.’lık çekme hızında teste tabi tutulmuş olup üç test sonucunun ortalaması ilgili kaynak bağlantısının çekme testi sonucu olarak

AA7075/AA6013 ALAŞIM ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PİM ÇAKIŞMASININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

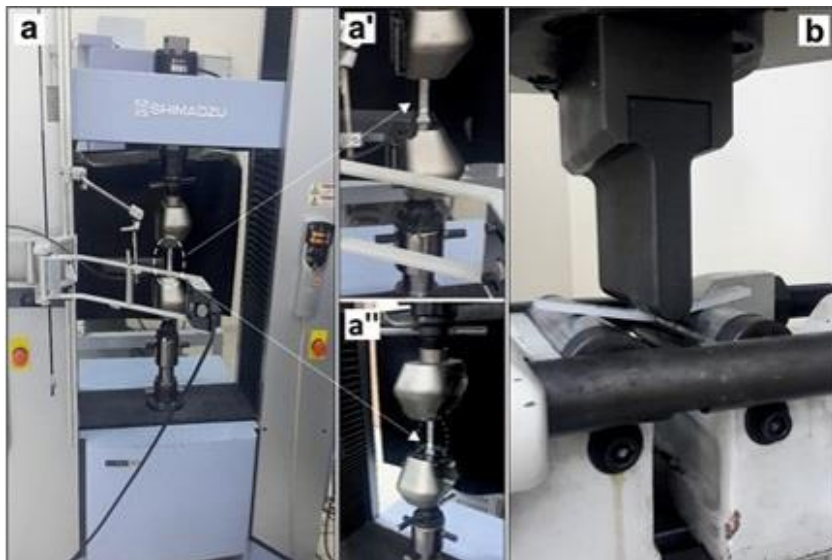
değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, kaynaklı bağlantıların kök eğme (RB) ve yüzey eğme (FB) testleri de gerçekleştirilerek kaynaklı bağlantıların şekillendirilebilirliği araştırılmıştır. Eğme testleri 90°'lik bir açıda gerçekleştirilmiştir. Hem çekme testi hem de eğme testi, Schimadzu marka çekme test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme ve eğme numunelerinin test görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 3. SKK işlem parametreleri

	Sembol	Parametreler için seçilen değerler		
Pim ofset mesafesi ve yönü	PO	0	AS - 1,5mm	RS - 1,5mm
Takım pim geometrisi	PG	Ü	KH	B
Takım dönme hızı (dev/dak.)	TDH	400		
Takım ilerleme hızı (mm/dak.)	TİH	80		



Şekil 2. a) Kaynak için kullanılan bileşenler (altlık, dayamalar ve plakalar); b) Pim geometrisi ve ölçüleri



Şekil 3. a) Çekme test cihazı; a') Çekme testi sırasında numune görüntüsü; a'') Çekme testi sonrasında numune görüntüsü; b) Eğme testi düzeneği

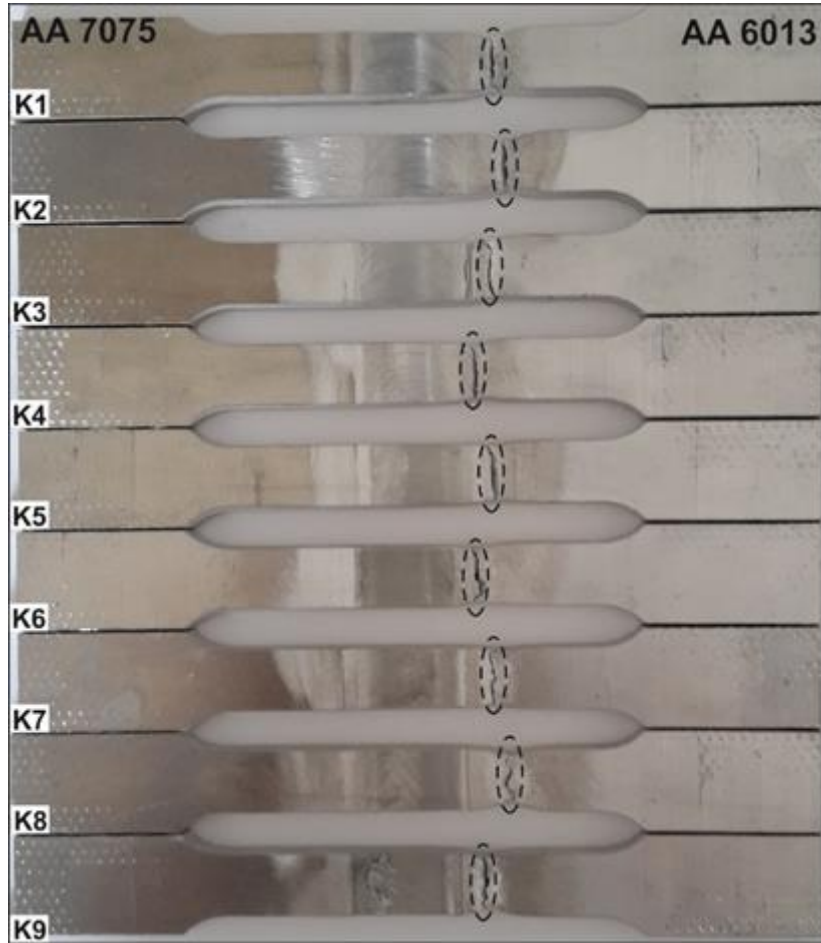
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

AA7075 ve AA6013 alaşımlı levhaların SK kaynağına yönelik yapılan çalışmalar sonucunda kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir. Kaynaklı bağlantıların çekme mukavemetleri AA6013–T6 alüminyum alaşımlı levhanın mukavemeti ile karşılaştırıldığında en yüksek verimin %71 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. SKK işlem parametreleri ve mekanik test sonuçları

Deney No.	İşlem parametreleri		Çekme testi sonuçları		Eğme testi sonuçları	
	PG	PO	σ_{uts}	ϵ	σ_{fb}	σ_{fb}
K1	Ü	0	179 ± 1,42	3,33± 0,46	276,79	250
K2	Ü	AS-1,5	170,83 ± 2,36	3,21 ± 0,21	238,84	232,14
K3	Ü	RS-1,5	186,25 ± 4,02	2,50 ± 0,25	279,02	256,7
K4	KH	0	202,75 ± 0,35	2,12 ± 0,13	287,95	283,58
K5	KH	AS-1,5	197,00 ± 2,63	2,59 ± 0,27	261,16	272,32
K6	KH	RS-1,5	193,25 ± 4,13	2,15 ± 0,15	279,02	279,02
K7	B	0	170,92 ± 0,58	3,57 ± 0,16	232,14	174,11
K8	B	AS-1,5	196,00 ± 1,00	3,39 ± 0,49	292,51	189,73
K9	B	RS-1,5	187,83 ± 1,01	2,74 ± 0,05	250	214,29

Kaynaklı bağlantıların kopma bölgeleri Şekil 4’de kesik çizgili daire içinde gösterilmiştir. Tüm bağlantılar için kopmanın AA6013 alaşımlı plakada AS bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir.

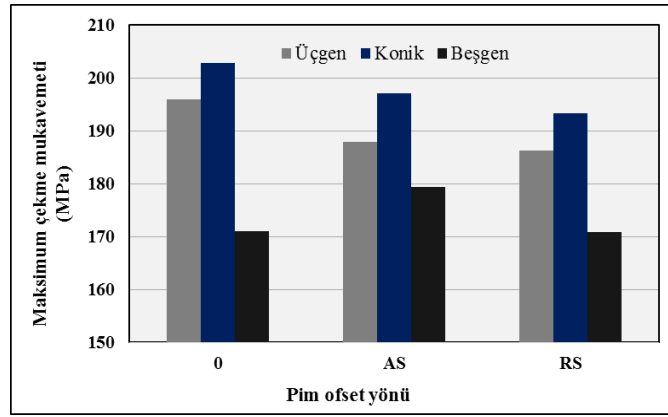


Şekil 4. Kaynaklı bağlantıların çekme testi sonrası kopma bölgeleri

AA7075/AA6013 ALAŞIM ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PİM ÇAKIŞMASININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

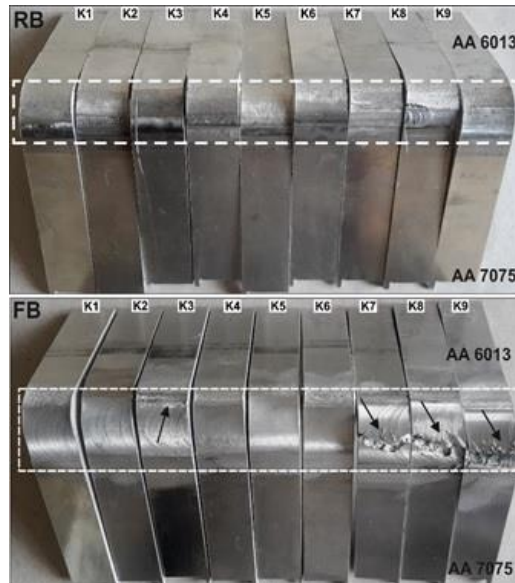
Kopma bölgelerinin detaylı incelemesi sonucunda K8 no.lu kaynak bağlantısında kopmanın ana malzemeye daha yakın bir bölgede meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer kaynaklı bağlantılarda kopmanın HAZ ile ana malzeme arasında gerçekleştiği görülmüştür. AA6013 alaşımlı plakanın çekme mukavemeti 285 MPa'dır. Tüm kaynaklı bağlantılar içinde kusur barındıranlar da dâhil olmak üzere kopmaların HAZ'da ve AA6013 alaşım tarafında olması, kaynağın en zayıf kesitinin bu bölgelerde olduğunu göstermektedir.

Şekil 5'de maksimum çekme mukavemetinin kaynak parametreleriyle ilişkilendirilmesi neticesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Kaynak için kullanılan pim geometrisine göre bir değerlendirme yapıldığında, en yüksek çekme mukavemeti değeri olan 203 MPa, pim profilinin konik helisel olduğu takımların kullanılmasıyla gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılardan elde edildiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte en düşük mukavemet değerleri beşgen profilli pime sahip takımların kullanılması durumunda elde edilmiştir. Her bir takım kendi içinde değerlendirildiğinde, konik helisel pim profiline sahip takımların "çakışmasız" kaynaklı bağlantıları, çakışma yapılan kaynaklı bağlantılara göre daha yüksek mukavemet değerleri sunmuştur. Üçgen ve beşgen profilli takımlar için sırasıyla RS ve AS yönünde gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılar en yüksek çekme mukavemet değerlerini vermiştir. Bunun yanında beşgen ve üçgen profilli pime sahip takımlarla yapılan kaynaklı bağlantılarda pim çakışmasının etkisi oldukça belirgin olmakla birlikte, konik helisel profil için mukavemet değerlerindeki değişim belirgin değildir.



Şekil 5. Kaynaklı bağlantıların çekme testi sonuçları

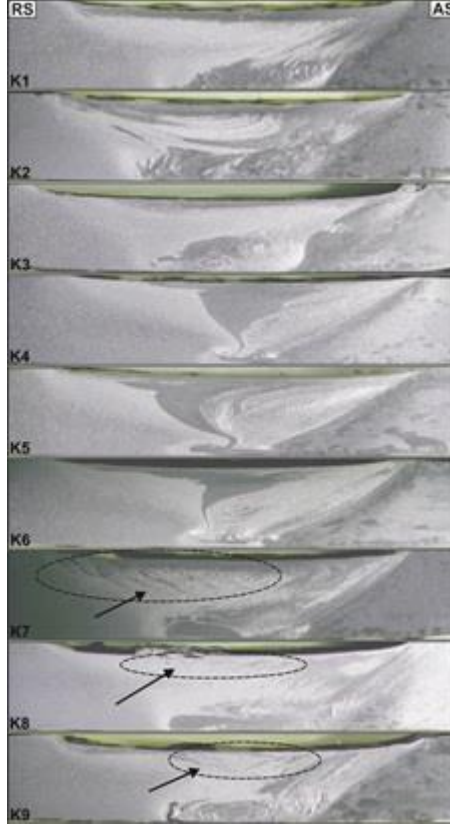
Tablo 4, FB ve RB test sonuçlarını göstermektedir. Beşgen profilli takımlar ile üretilen kaynaklı bağlantılardaki (K7, K8 ve K9) kusurlar, eğme testi sonrasında bağlantıların 90°'lik eğme olmaksızın hasar görmesine sebep olmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Kaynaklı bağlantıların eğme testi sonrası eğilme bölgeleri

Bununla birlikte konik helisel takım ile yapılan kaynaklı bağlantılarda (K4, K5 ve K6) herhangi bir hasar olmaksızın hem FB hem de RB işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Genel itibarıyla tüm kaynaklı bağlantıların RB işlemleri kusur meydana gelmeksizin gerçekleştirilmiştir. Üçgen pim profiline sahip takım kullanılarak yapılan ve RS yönüne ofsetlenmiş kaynaklı bağlantıda FB işleminde kusur oluşmuş ve bu kusur AA6013 alaşım plakasının HAZ bölgesinde meydana gelmiştir. En yüksek eğme mukavemeti RB testi sonrasında ölçülmüş olup bu değer 293 MPa'dır.

Şekil 7'de kaynaklı bağlantıların makro yapı görüntüleri görülmektedir. Üçgen ve helisel profilli pime sahip takımlar ile yapılan kaynaklı bağlantılarda (K1-K6 arası) kusur görülmezken, beşgen profilli pime sahip takımlar ile imal edilen kaynaklı bağlantıların hepsi (K7-K9 arası) kusur içermektedir.



Şekil 7. Kaynaklı bağlantıların makroyapı kesit görüntüleri

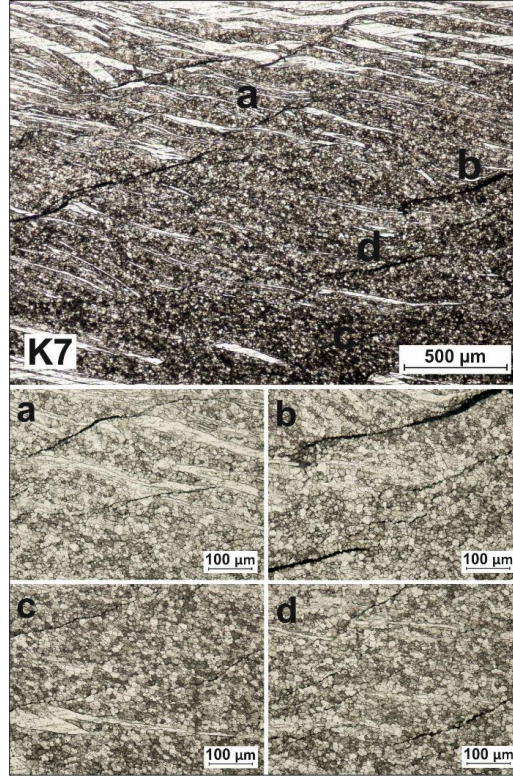
Kusurlu kaynak bağlantıları Şekil 7'de kesikli eliptik daire içinde görülürken detaylı incelemek amacıyla Şekil 8'de görülen optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 8, K7 kodlu kaynaklı bağlantıdaki kusurları göstermektedir. Bu görüntülerde, takımın omuz kısmının kaynak plakasıyla temas ettiği kısımdan başlayarak NZ bölgesinin içine doğru yönelmiş çatlaklı bir yapı görülmektedir. Bu çatlakların sürekli çatlaklar olmadığı ve NZ bölgesinde kesikli bir şekilde dağılım gösterdiği Şekil 8a-d mikro yapılarında tespit edilmiştir. Benzer yapıların, K8 ve K9 kodlu kaynaklı bağlantılarda da mevcut olduğu Şekil 9'da görülebilmektedir. Şekil 9-9a'da kesikli okla gösterilen tünel tipi kusur bölgesel olarak süreklilik göstererek çatlak meydana getirmiştir.

SKK yönteminde kaynak için ısı, sürtünme yoluyla üretilir ve bunu sağlayan bileşenlerden biri takımın omuz kısmı iken diğeri de pimidir. Üretilen ısının şiddeti takım dönme hızıyla doğru orantılı olarak değişirken, birim alana aktarılan ısı ise takım ilerleme hızıyla doğru orantılı olarak değişir. Kaynak için üretilen ısının takım dönme hızı ve ilerleme hızıyla nasıl değiştiği Denklem 1'de [14, 21, 22] verilmiştir.

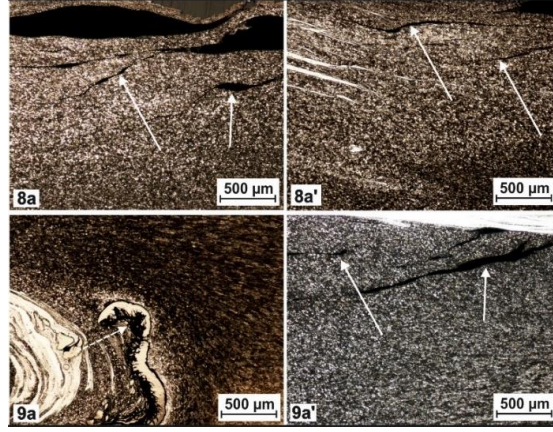
$$(1) \quad Q = \frac{\alpha \cdot q}{T \cdot H} = \frac{4}{3} \pi^2 \alpha \mu P R^3 \frac{TDH}{T \cdot H}$$

AA7075/AA6013 ALAŞIM ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PİM ÇAKIŞMASININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yukarıdaki eşitlikte Q, birim alana giren ısıyı; q, ısı girdisini; α , ısı iletim katsayısını; μ , sürtünme katsayısını; P, basıncı; R, takım omuz çapını; TDH takım dönme hızını ve TİH, takım ilerleme hızını ifade etmektedir [14, 21, 22]. Herhangi bir kaynak uygulaması için α , μ , P ve R sabit iken birim alana etki eden ısı miktarı TDH ile doğru, TİH ile ise ters orantılı olarak değişmektedir. Ancak, herhangi bir uygulama için takım omuz çapının büyük olması, sürtünen yüzey alanının da büyümesiyle üretilen ısıya da artmasını sağlayacağından birim alanda etkili olan ısı miktarında da büyük katkılara sahiptir. Bu çalışmada seçilen takım dönme hızı ve takım ilerleme hızı yazarların daha önce yaptıkları çalışmalarda en iyi kaynak bağlantılarını verdiği tespit edilen değerlere göre belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre, pim geometrisinin üretilen ısıya etkili olduğu görülebilmektedir. Yüksek ısıya yarattığı kusurların etkileri beşgen profilli pim ile yapılan kaynaklı bağlantıların çekme ve eğme mukavemeti değerlerinde görülebilmektedir. Beşgen profilin yüzey alanının yani sürtünme yüzeyinin geniş olması diğer takımlara göre daha büyük ısı üretimi sağlayacağından yola çıkarak kusur oluşumunda etkili mekanizmanın takım pim geometrisi olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, yüksek TİH sebebiyle üretilen ısıya birim alana iletimi yetersiz olur ki bu sebeple metalin pim tarafından taşınımının da yetersiz olduğu düşünülmektedir. Bu tip bir çatlakın oluşmasının metalin uygun olmayan akışı ve taşınımını ile ilgili olduğu sonucu literatürde yer alan çalışmalarla [10, 23-25] uyum göstermiştir.



Şekil 8. Kusur içeren kaynaklı bağlantı-K7



Şekil 9. Kusur içeren kaynaklı bağlantılar-K8 ve K9

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, AA7075–T651/AA6013–T6 alüminyum alaşımlı levhaların SKK ile kaynaklanabilirliğinde pim geometrisi ve pim çakışma yönünün fonksiyonu olarak kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğine yönelik kaynak uygulamaları ve sonuçlarını içermektedir. Kaynak bağlantılarına uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

a) Çekme testleri sonrasında maksimum çekme mukavemeti ve kaynak bölgelerindeki kusurlar esas alındığında en iyi kaynak bağlantısının konik helisel pim profiline sahip takım ile ve en zayıf kaynak bağlantısının beşgen pim profiline sahip takım ile yapılan kaynak uygulamaları sonucu elde edildiği görülmüştür. Her iki durumda da kaynak uygulamaları takımın çakışmasız pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. En yüksek ve en düşük çekme mukavemetleri sırasıyla, 203 MPa ve 171 MPa olarak bulunmuştur.

b) Pim ofset yönünün çekme mukavemeti üzerine etkisi incelendiğinde AS yönünde gerçekleştirilen kaynak bağlantılarının daha yüksek mukavemet değerine sahip olduğu görülmüştür.

c) Kaynaklı bağlantılara kök ve yüzey eğme testleri uygulanmış ve görülmüştür ki maksimum yüzey eğme mukavemet değeri olan 284 MPa konik pim profilli takım ile üretilen kaynaklı bağlantıdan elde edilmiştir ki bu durum çekme testi sonuçlarıyla benzer eğilim göstermiştir. Bu kaynak durumu için elde edilen kök eğme mukavemet değeri 288 MPa'dır. Dokuz kaynak uygulaması içinde maksimum kök eğme mukavemeti 293 MPa ve bu değeri veren kaynaklı bağlantı ise beşgen profile sahip takımın AS yönünde ofsetlenmesi ile üretilmiştir.

d) Beşgen profilli takım ile üretilen kaynaklı bağlantıların hepsinde de çatlak tipi makro kusurlar tespit edilmiştir. Bu durum hem çekme mukavemeti değerlerinde hem de yüzey eğme mukavemeti değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Yüzey eğme testinde kaynaklı bağlantılarda yapılan 90°'lik eğilme testleri henüz tamamlanmadan kırılmalar görülmüştür. Kök eğme testinde ise kaynaklı bağlantılar 90°'lik eğilme testlerini herhangi bir hasar olmadan tamamlayabilmişlerdir.

e) Çekme testi sonrasında kaynaklı bağlantıların hepsinde de kopma AA6013–T6 alüminyum alaşım plakalarda gerçekleşmiştir.

f) Kaynaklı bağlantıların çekme mukavemetleri AA6013–T6 alüminyum alaşım malzemenin mukavemeti ile karşılaştırıldığında en yüksek verimin %71 olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından “2017.KB.FEN.002” numaralı proje desteği ile finanse edilmiştir. Yazarlar, projedeki çalışmaların gerçekleşmesinde sağladığı finansal desteklerden dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerini sunar.

*AA7075/AA6013 ALAŞIM ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE PİM ÇAKIŞMASININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ***KAYNAKLAR**

- [1] AHMADNIA, M., SHAHRAKI, S., KAMARPOSHTI, M.A., “Experimental studies on optimized mechanical properties while dissimilar joining AA6061 and AA5010 in a friction stir welding process”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 87, 2337-2352, 2016.
- [2] AVAL, H.J., “Influences of pin profile on the mechanical and microstructural behaviors in dissimilar friction stir welded AA6082-AA7075 butt Joint”, Mater. Des., 67, 413-421, 2015.
- [3] YAZDIPOUR, A., HEIDARZADEH, A., “Dissimilar butt friction stir welding of Al 5083-H321 and 316L stainless steel alloys”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 87, 3105-3112, 2016.
- [4] DANIOLOS, N.M., PANTELIS, D.I., “Microstructural and mechanical properties of dissimilar friction stir welds between AA6082-T6 and AA7075-T651”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 88, 2497-2505, 2017.
- [5] GUO, J.F., CHEN, H.C., SUN, C.N., BI, G., SUN, Z., WEI, J., “Friction stir welding of dissimilar materials between AA6061 and AA7075 Al alloys effects of process parameters”, Mater. Des., 56, 185-192, 2014.
- [6] PATIL, H., SHARMA, N., PATEL, K., PATEL, A., PATEL, V., PATIL, C., “Effect of Processing Parameters on Properties of Friction Stir Welded Joints of Aluminium Alloys AA7075-T651 and AA6061-T6”, Int J Advanced Design and Manufacturing Technology, 10, 93-99, 2017.
- [7] SN, A., MANGSHETTY, S., “Comparsion of Mechanical and Microstructural Behaviour of Tig Welded and Friction Stir Welded Dissimilar Aa6063 and Aa7075”, 3, 7-12, 2015.
- [8] ALIHA, M.R.M., SHAHHEIDARI, M., BISADI, M., AKBARI, M., HOSSAIN, S., “Mechanical and metallurgical properties of dissimilar AA6061-T6 and AA7277-T6 joint made by FSW technique”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 86, 2551-2565, 2016.
- [9] FARZADI, A., “Correlation between precipitate microstructure and mechanical properties in AA7075-T6 aluminum alloy friction stir welded joints”, Materialwiss. Werkstofftech., 48, 151-162, 2017.
- [10] PADMANABAN, G., BALASUBRAMANIAN, V., “Selection of FSW tool pin profile, shoulder diameter and material for joining AZ31B magnesium alloy - An experimental approach”, Mater. Des., 30, 2647-2656, 2009.
- [11] ZHANG, H.J., WANG, M., Qi, R.L., ZHU, Z., ZHANG, X., YU, T., WU, Z.Q., “Effect of rotation speed on nugget structure and property of high rotation speed friction stir welded Al-Mn aluminum alloy”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 92, 2401-2410, 2017.
- [12] GUPTA, R.K., DAS, H., PAL, T.K., “Influence of Processing Parameters on Induced Energy, Mechanical and Corrosion Properties of FSW Butt Joint of 7475 AA”, Journal of Materials Engineering and Performance, 21, 1645-1654, 2012.
- [13] SAILAJA, C., REDDY, B.R.G., “Effect of Process Parameters on Mechanical Properties of Friction Stir Welding – A Review”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4, 9818-9822, 2015.
- [14] GEMME, F., VERREMAN, Y., DUBOURG, L., WANJARA, P., “Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of AA7075-T6 friction stir welded joints”, Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct., 34, 877-886, 2011.
- [15] PATIL, H., SOMAN, S., “Experimental study on the effect of welding speed and tool pin profiles on AA6082-O aluminium friction stir welded butt joints”, International Journal of Engineering, Science and Technology, 2, 268-275, 2010.
- [16] HEINZ, B., SKROTZKI, B., “Characterization of a friction-stir-welded aluminum alloy 6013”, Metall. Mater. Trans. B-Proc. Metall. Mater. Proc. Sci., 33, 489-498, 2002.
- [17] HAMED, J.A., “Effect of welding heat input and post-weld aging time on microstructure and mechanical properties in dissimilar friction stir welded AA7075-AA5086”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 27, 1707-1715, 2017.
- [18] HARYADI, G.D., KIM, S.J., “Influences of post weld heat treatment on fatigue crack growth behavior of TIG welding of 6013 T4 aluminum alloy joint (Part 1. Fatigue crack growth across the weld metal)”, Journal of Mechanical Science and Technology, 25, 2161-2170, 2011.
- [19] KAFALI, H., AY, N., “Havacılıkta Kullanılan 6013-T6 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağıyla Birleştirilmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18, 38-47, 2014.
- [20] ASTM. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
- [21] MAO, Y.Q., KE, L.M., LIU, F.C., HUANG, C.P., CHEN, Y.H., LIU, Q., “Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of 2060 aluminum lithium alloy”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 81, 1419-1431, 2015.

Ş. KASMAN, S. OZAN

- [22] POURAHMAD, P., ABBASI, M., “Materials flow and phase transformation in friction stir welding of Al 6013/Mg”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23, 1253-1261, 2013.
- [23] ESMAEILI, A., GIVI, M.K.B., RAJANI, H.R.Z., “A metallurgical and mechanical study on dissimilar Friction Stir welding of aluminum 1050 to brass (CuZn30)”, Mater. Sci. Eng. A-Struct. Mater. Prop. Microstruct. Process., 528, 7093-7102, 2011.
- [24] RAJAKUMAR, S., MURALIDHARAN, C., BALASUBRAMANIAN, V., “Influence of friction stir welding process and tool parameters on strength properties of AA7075-T6 aluminium alloy joints”, Mater. Des., 32, 535-549, 2011.
- [25] SANTOS, T.F.D., LOPEZ, E.A.T., DA FONSECA, E.B., RAMIREZ, A.J., “Friction stir welding of duplex and superduplex stainless steels and some aspects of microstructural characterization and mechanical performance”, Materials Research-Ibero-American Journal of Materials, 19, 117-131, 2016.