SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ AA6061-T6 VE AA7075-T6 MALZEME ÇİFTLERİNİN DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

İbrahim Ülke[1] Mustafa Yurdakul[1]

[1]*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, TURKEY*

ibrahimulke@gazi.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8927-0052

ÖZET

Hafif olmalarıyla beraber üstün mukavemet özelliklerine de sahip olmaları alüminyum alaşımlı malzemeleri havacılık ve uzay sanayii için vazgeçilmez malzemeler haline getirmiştir. Ancak genel olarak kaynak kabiliyetlerinin düşük olması bu malzemelerin birleştirilmesinde perçinlerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Perçinler mukavemet açısından oldukça dayanıklı elemanlar olmalarına rağmen, perçin ve perçinleme işleminin yorulma dayanımı gibi çok önemli bazı mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etkileri ihmal edilemez. Bununla birlikte perçinlerin sıklıkla kullanıldıkları havacılık ve uzay sanayiinde imal edilen ürünlerin yapısal ağırlıklarına etkileri, kullanılan perçin sayıları dikkate alındığında ihmal edilemeyecek seviyelere ulaşmaktadır. Yeni geliştirilen bir kaynak yöntemi olan Sürtünme Karıştırma Kaynağı özellikle alüminyum alaşımlı malzemeler gibi düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler için oldukça uygun bir yöntemdir. Farklı cinsten iki malzemenin kaynağını başarılı bir şekilde yapabilmesi bu yöntemin en önemli avantajlarındandır. Yapılan bu çalışma kapsamında her biri 2 mm kalınlığa sahip olan 100 mm × 125 mm boyutlarındaki AA6061-T6 ve AA7075-T6 alüminyum alaşımlı plakaların kendi aralarında ve birbirleriyle sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak alın alına birleştirilmesinde deney parametrelerinin kaynak kalitesine etkileri incelenmiştir. Her biri üçer seviyeden oluşan üç farklı kontrol değişkeni olarak, takım dönme devri 500 dev/dk, 710 dev/dk ve 1000 dev/dk, takım ilerleme hızı 20 mm/dk, 28 mm/dk ve 40 mm/dk ve takım eğim açısı 0°, 0,5° ve 1° seçilmiş ve bu kontrol faktörlerinin etki seviyeleri AA6061-AA6061, AA7075-AA7075 ve AA6061-AA7075

şeklindeki 3 farklı kombinasyon için kıyaslanmıştır. Sonuçların incelenmesi ile elde edilen 6 ayrı sonuç elde edilmiş ve bu bildiride sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Alüminyum, Deney Tasarımı, Sürtünme Karıştırma Kaynağı, En İyileme.*

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF AA6061-T6 AND AA7075-T6 MATERIAL PAIRS COMBINED WITH FRICTION STIR WELDING

ABSTRACT

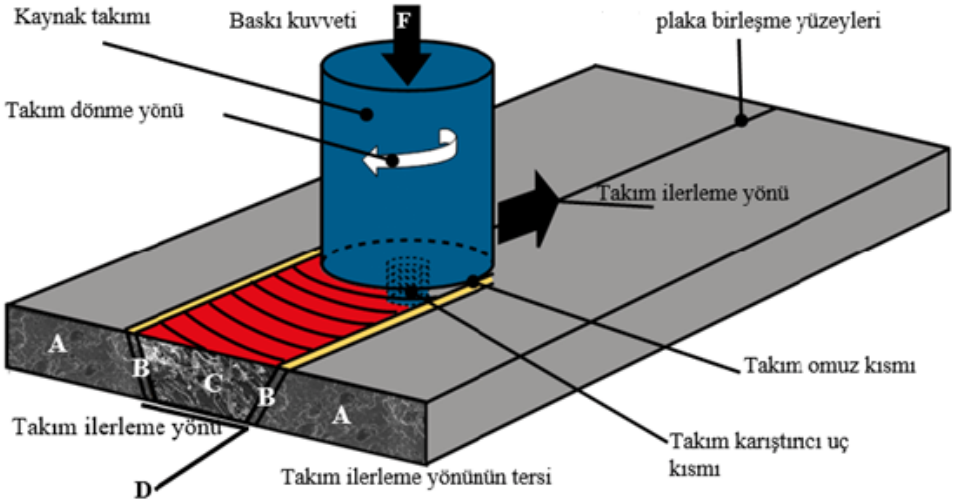
Aluminum alloy materials have become indispensable materials for the aviation and space industry due to their lightness and superior strength. Although rivets are highly durable components in terms of strength, negative effects of rivet and riveting process on some very important mechanical properties such as fatigue strength cannot be neglected. Furthermore, their total weight cannot be neglected considering the number of rivets used. Friction Stir Welding, a newly developed welding method, is a very suitable method especially for materials with low melting temperature such as aluminum alloys. One of the most important advantages of FSW is that it can successfully weld two different materials. Within the scope of this study, the effects of the test parameters on the welding quality were investigated in the friction stirring welding method of AA6061-T6 and AA7075-T6 aluminum alloy plates of 100 mm × 125 mm dimensions, each has a thickness of 2 mm. Three levels of the three control variables are selected as tool rotation speed 500 rpm, 710 rpm and 1000 rpm, tool feed rate 20 mm/min, 28 mm/min and 40 mm/min and tool tilt angle 0°, 0.5° and 1°. The experiments are performed for 3 different combinations as AA6061-AA6061, AA7075-AA7075 and AA6061-AA7075. 135 pairs of plates are joined in accordance with the test plan with 3 repetitions. The analysis of the results of the experiments provided 6 conclusions, which are presented in this paper.

Keywords: *Aluminum, Design of Experiment, Friction Stir Welding, Optimization.*

1. GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), kaynak kabiliyetleri düşük olan birbirinden farklı malzemeleri kaynaklayabilmek için yapılan çalışmalar sırasında 1991 yılında İngiltere-Cambridge'deki The Welding Institute (TWI)'de çalışmakta olan Wayne Thomas ve iş arkadaşları tarafından icat

edilerek patentlenmiş bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi birbirinin aynı ya da birbirinden farklı metallerin füzyon olmadan ve dolgu malzemeleri kullanılmadan birleştirilmesini içermektedir [1]. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 1'de görüldüğü gibidir [2].



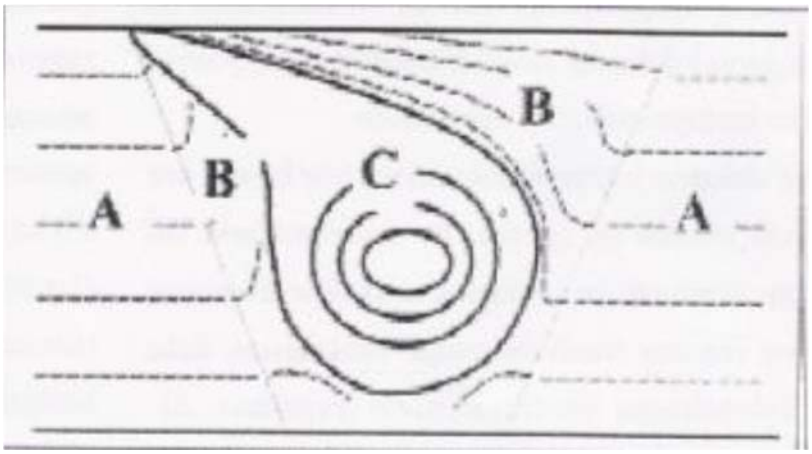
Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik görünümü

Bir katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı hemen hemen bütün temel alüminyum alaşım tiplerine uygulanabilmektedir ve özellikle bu alaşımların geleneksel füzyon kaynaklarında sıklıkla görülen sıcak çatlama, gözeneklilik ve malzeme kaybı gibi pek çok sorunun önüne geçmektedir [3].

SKK başlangıçta kurşun, çinko, magnezyum ve bir dizi alüminyum alaşım gibi nispeten yumuşak iş parçası malzemeleri ile sınırlı olsa da son zamanlarda bakır, titanyum, düşük karbonlu ferritik çelik, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve nikel alaşımları da kaynak yapılmıştır. Prensip olarak, sıcak işlenebilen herhangi bir malzeme bu yöntemle kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte, SKK'da genellikle kaynak yapılan malzemeden daha çok, takım malzemesi sınırlayıcı faktördür [4]. Ancak son yıllarda özellikle freze bıçağı takım uçlarında kaplama olarak kullanılan polikristal kübik bor nitrürden (PCBN) yapılmış sürtünme karıştırma kaynak takımlarından oldukça umut verici sonuçlar elde edilmektedir [5].

TWI tarafından geliştirilen, sürtünme karıştırma kaynağı sonucunda kaynak bölgesinde oluşan iç yapıyı gösteren şema hala tartışılmaya devam edilse de Sürtünme Karıştırma Kaynağı Ruhsatları Kurumu (FSW Licensees Association) tarafından da kabul edilmiştir. Bu şemaya göre alüminyum alaşımların sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi esnasında kaynak bölgesinde 3 farklı oluşum gözlemlenmektedir. Bu 3 oluşum; Isı tesiri altındaki bölge (ITAB), Termomekanik olarak etkilenen

bölge (TEB) ve Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) şeklindedir [1]. TWI tarafından geliştirilen bu şema Şekil 2'de görüldüğü gibidir [1].



Şekil 2. TWI tarafından geliştirilmiş sürtünme karıştırma kaynağında oluşan kaynak bölgesi iç yapısının şematik görünümü (A: ITAB, B: TEB, C: DKB)

Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan bu 3 yapı kısaca şu şekildedir;

Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB): Plastik deformasyonun oluşmadığı bu bölgede kaynak merkezinde oluşan ısının etkisiyle meydana gelen bir etkilenme söz konusudur [1].

Termomekanik Olarak Etkilenen Bölge (TEB): Hem ısı oluşumundan hem de mekanik etkilerden dolayı plastik deformasyonun yaşandığı bu bölgede kaynak bölgesi gibi plastik deformasyona maruz kalmadığı için plastik gerilmeden dolayı yeniden kristalleşme meydana gelmez. Fakat bazı durumlarda bu bölgede kısmende olsa dinamik yeniden kristalleşme meydana geldiği bazı çalışmalarda tespit edilmiştir [6].

Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DKB): SKK'da en yüksek sıcaklık bu bölgede meydana gelir. Yüksek deformasyon ve nispeten yüksek sıcaklık nedeniyle, bu bölgenin mikro yapısını değiştiren dinamik bir yeniden kristalleşme gerçekleşir [6].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Muhamad ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında Al-Ni tozu eklenerek sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmiş AA7075-T6 alüminyum alaşımı ile 304L paslanmaz çelik malzemelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Deney parametresi olarak sabit 25 mm/dk ilerleme hızıyla beraber 200 dev/dk – 800 dev/dk arasında lineer olarak artan 7 farklı takım dönme devrinin tercih edildiği

çalışmada malzeme kalınlıkları 2 mm, takım eğim açısı 3°, pin uzunluğu 1,8 mm, pin batma derinliği 1,9 mm olarak belirlenmiştir. Eşit oranlarda toz eklenen bu çalışmada tozların ortalama çapları ise Al için 45 μm, Ni için ise 10 μm'dir. Çalışmada toz eklenmemiş birleştirmelerde en büyük çekme dayanım değeri olarak 220 MPa değeri elde edilebilmişken, Al-Ni tozu eklenerek yapılan birleştirmelerde en büyük çekme dayanımı değeri 360 MPa'a kadar çıkarılabilmiştir. Çalışma sonunda hem toz eklenmiş numunelerde hemde eklenmemiş numunelerde takım dönme devri arttıkça daha pürüzsüz yüzeyler elde edildiği belirlenmiştir [7].

Kumar ve diğerleri çalışmalarında her biri 6,35 mm kalınlıktaki AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesinde işlem parametrelerini çoklu cevap optimizasyon yöntemi kullanılarak optimize etmeye çalışmışlardır. Taguchi L9 ortogonal diziyi kullanarak yaptıkları deney tasarımında birleştirilen malzemelerin maksimum çekme dayanım değerlerini ve sertlik değerlerini kullanarak takım ilerleme hızını, takım dönme devrini ve takım geometrisini optimize etmişlerdir. Deneysel çalışmalarda takım dönme devir aralığını 800–1000 dev/dk, takım ilerleme hız aralığını 90-110 mm/dk olarak belirlemişlerdir. Deneyler süresince numunelerden maksimum 195,04 MPa maksimum çekme dayanımının elde edildiği çalışmada optimize edilmiş işlem parametreleri 900 dev/dk takım dönme devri, 95 mm/dk takım ilerleme hızı olarak bulunmuşken takım profili kullanılan optimizasyon yöntemine göre değişiklik göstermiştir [8].

Yang ve diğerleri çalışmalarında 10 mm kalınlığındaki AA6061-T6 plakanın sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi sırasında H13 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş farklı profillere sahip 7 tane karıştırıcı uç ile alüminyum alaşımlı plaka arasındaki termo – mekanik etkileşimi incelemişlerdir. Kaynak işleminde kritik noktaların sıcaklığını ve takım mili torkunu ölçmek için özelleştirilmiş bir deney düzeneği kullanılan çalışmada kaynak bölgesinin mikro yapısı ve çekme mukavemeti değerleri dikkate alınmıştır. İşlem parametreleri olarak ise 900 dev/dk dönme devri, 60 mm/dk ilerleme hızı, $2{,}5^0$ takım açısı, 0,15 mm penetrasyon derinliği ve 2 geçişli tarama sabit olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ısı üretiminde en etkili faktörler; omuz ve pim geometrileri ile düşey kuvvet olarak belirlenmiştir ancak dönme devri ve ilerleme hızının ısı oluşumuna etkisi çalışmada dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte omuz ve pimdeki oluklu yapının daha ince tane oluşumuna sebep olurken, düz yüzeylerin karışık tane yapısına sebep olduğu belirlenmiştir [9].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çizelge 1'de kimyasal bileşimleri Çizelge 2'de de mekanik özellikleri verilmiş olan AA6061-T6 ve AA7075-T6 alüminyum alaşımlı plakaların kendi aralarında ve birbirleriyle sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmesinde deney parametrelerinin mekanik özelliklere etkilerinin incelendiği bu çalışmada, değişken olarak seçilen kontrol faktörlerinin etki seviyeleri AA6061-AA6061, AA7075-AA7075 ve AA6061-AA7075 şeklinde 3 farklı kombinasyon için kıyaslanmıştır.

Çizelge 1. AA6061-T6, AA7075-T6 plakaların kimyasal bileşimleri

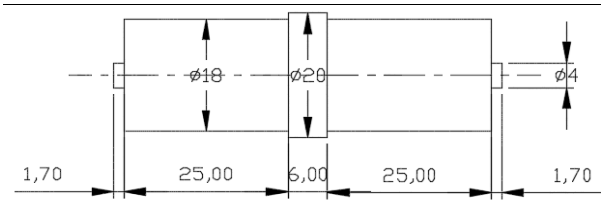
Malzeme	**Alaşım Elementleri (%)**								
	Si	**Cr**	**Mn**	**Mg**	**Cu**	**Ti**	**Fe**	**Zn**	**Al**
AA6061-T6	0,40 - 0,80	0,04 - 0,35	0,00 - 0,15	0,80 - 1,20	0,15 - 0,40	0,00 - 0,15	0,00 - 0,70	0,00 - 0,25	Kalan
AA7075-T6	0,00 - 0,40	0,18 - 0,28	0,00 - 0,30	2,10 - 2,90	1,20 - 2,00	0,00 - 0,20	0,00 - 0,50	5,10 - 6,10	Kalan

Çizelge 2. AA6061-T6, AA7075-T6 plakaların mekanik özellikleri

Malzeme	**Akma Dayanımı (MPa)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**	**Kesme Dayanımı (MPa)**	**Uzama (%)**	**Elastisite Modülü (GPa)**	**Erime Sıcaklığı (°C)**
AA6061-T6	270	310	207	15	69	582
AA7075-T6	480	560	330	8	71,7	466

AA6061-T6 ve AA7075-T6 plakalar 100 mm × 125 mm × 2 mm boyutlarında kesilerek deneyler için hazırlanmıştır. Plakalar kesildikten sonra deneye geçilmeden önce bütün plakalar temiz bezle tamamen silinmiş, birleşme kenarları ve takımla temas edecek plaka yüzeyleri ise saf alkolle temizlenmiştir. Böylece kaynak bölgesindeki yağ ve oksitlerin kaynak içerisine nüfus ederek, kaynak kalitesinin azalması önlenmiştir.

Kaynak işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılacak karıştırıcı takım malzemesi olarak AISI H13 (DIN 1.2344) sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. 21 mm çaplı çubuktan 60 mm uzunluğunda parçalar kesilerek üniversal tornada Şekil 3'te görülen teknik resme uygun olarak $\mp 0{,}05$ mm toleransla işlenilmiştir. Karıştırıcı takım aşınması her ne kadar değişime ihtiyaç duymadan 45 plakayı birleştirecek kadar az olsa da deneylerin güvenilirliğini artırabilmek için her 20 plakada bir karıştırıcı takım değiştirilerek yeni karıştırıcı takım kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 3. AISI H13 HSS malzemeden imal edilen karıştırıcı takım

Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak kalitesini etkileyen pek çok faktör bulunmasına rağmen literatür çalışmalarında bu faktörlerden kaynak kalitesini en çok etkileyenlerin takım geometrisiyle

birlikte, takım dönme devri, takım ilerleme hızı ve takım açısı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada bahsedilen 4 faktörden takım geometrisi sabit tutulmuş ve diğer 3 kontrol faktörü incelenmiştir. İncelenen her kontrol faktörü için 3 farklı seviye belirlenmiş ve bu seviyeler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Performans karakteristiğini en çok etkileyen faktörler ve seviyeleri

Kod	Kontrol Faktörleri	Sembol	Birim	1.Seviye (-1)	2.Seviye (0)	3.Seviye (1)
A	Takım Dönme Devri	TDD	(dev/dk)	500	710	1000
B	Takım İlerleme Hızı	TİH	(mm/dk)	20	28	40
C	Takım Eğim Açısı	TEA	(°)	0	0,5	1
D	Malzeme Çekme Dayanımı	MÇD	MPa	310	435	560

Deneylerde sabit tutulan faktörler ve seviyeleri Çizelge 4'te görüldüğü gibidir. Yapılan deneme çalışmalarında dalma derinliği 0,1 mm'den fazla olduğunda çapak oluşumunun arttığı ve kaynak bölgesinin inceldiği, daha az olduğunda ise plaka altlarında eksik birleşme olduğu gözlemlenmiştir. Dalma-çıkma hızı, tezgâhın en düşük ilerleme hızı olan 14 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. Sabit faktörler ve seviye değerleri

Faktör	Birim	Seviye
Dalma Derinliği	mm	0,1
İlk Dalmada Bekleme Süresi	sn	30
Dalma-Çıkma Hızı	mm/dk	14
Takım Geometrisi	-	Düz silindir
Takım Omuz Çapı	mm	18
Pin Çapı	mm	4
Pin Uzunluğu	mm	1,7

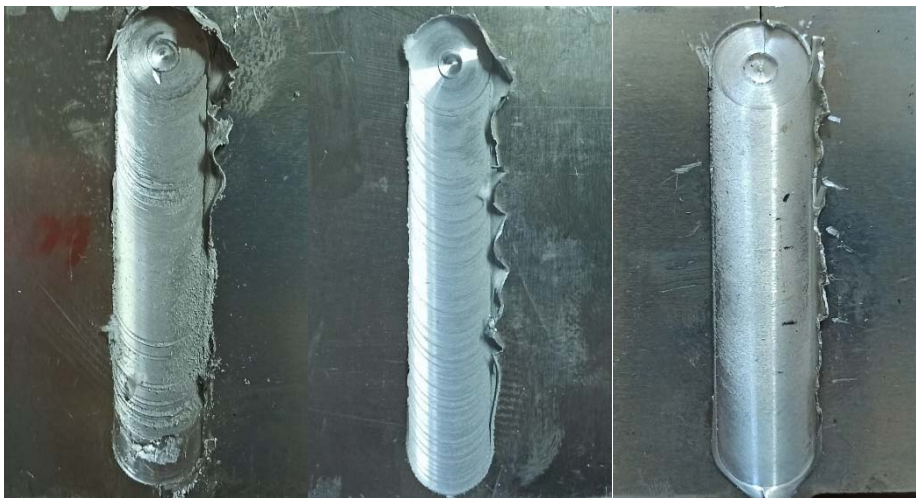
Deney planı Yanıt Yüzeyi deney tasarım yöntemindeki Box-Behnken tasarımı seçilerek Minitab19 programında 3 faktörlü, 3 tekrarlı ve 9 merkez noktalı olarak her bir malzeme kombinasyonu için 45 adet olmak üzere toplam 135 adet deneyi içerecek şekilde hazırlanmıştır.

4. SONUÇ

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

1. AA6061-AA7075 plaka çiftlerinde AA6061 ve AA7075 plaka çiftlerine kıyasla çok daha düşük kaliteli birleştirmelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Resim 1'de de görüldüğü gibi farklı ergime noktalarına sahip olmaları AA6061-AA7075 plaka çiftlerinde birleştirme işlemini zorlaştırmıştır.

Özellikle başlama anındaki bekleme süresinin kaynak kalitesine etkisi, farklı plaka çiftlerinin birleştirilmesinde daha açık görülmektedir.



a) AA6061-AA7075 b)AA6061-AA6061 c)AA7075-AA7075

Resim 1. Aynı işlem parametrelerinin yüzey kalitesine etkisi (710 dev/dk, 20 mm/dk, 0º)

2. Çizelge 7'de de görüldüğü gibi AA6061-T6 – AA7075-T6 plaka çiftlerinin birleştirilmesiyle elde edilen çekme deneyi numunelerinin ortalama maksimum çekme dayanımları her üç takım eğim açısı değeri için de AA6061-T6 plaka çiftlerinden daha yüksek, AA7075-T6 plaka çiftlerinden ise daha düşük çıkmıştır.

Çizelge 7. Farklı takım eğim açılarında ortalama maksimum çekme dayanımları

Takım Eğim Açısı	**Ortalama Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)**			**Ortalaması Alınan Deney Numunesi Sayısı**
	AA6061-AA6061	**AA6061-AA7075**	**AA7075-AA7075**	
0º	143,87	172,55	202,28	12
0,5º	154,48	167,98	211,74	21
1º	165,78	179,16	212,66	12
Tümü	154,66	172,18	209,46	45

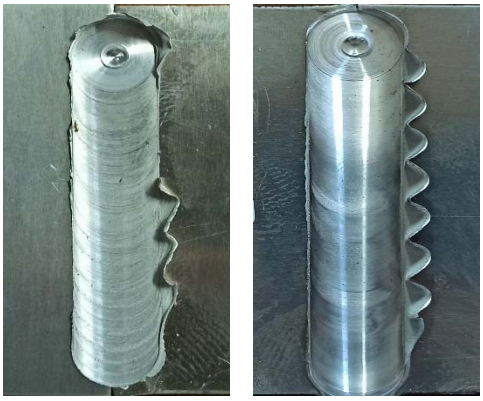
3. Takım eğim açısı arttıkça çıkış deliğinin olduğu kenardaki form bozulma miktarının azaldığı görülmüştür. Takım eğim açısı azaldıkça ve takım dönme devri arttıkça çıkış deliğinin olduğu kenarın formunun daha çok bozulduğu gözlemlenmiştir. Resim 2'deki iki çift örnekte takım eğim açısı arttıkça çıkış deliğinin olduğu kenardaki form bozukluğunun azaldığı, bununla birlikte takım dönme devri azaldıkça da aynı şekilde form bozukluğunun azaldığı görülmektedir.



a)710 dev/dk, 40 mm/dk, 0° b)710 dev/dk, 40 mm/dk, 1° c)500 dev/dk, 28 mm/dk, 0° d)500 dev/dk, 28 mm/dk, 1°

Resim 2. AA7075-AA7075 plaka çiftlerinde çıkış deliği kenar form bozukluğu

5. AA6061-T6 plaka çiftlerinden farklı olarak AA7075-T6 plaka çiftlerinde 500 dev/dk gibi düşük dönme devirlerinde bile kaliteli kaynak yüzeyleri elde edilmiştir. Resim 3'te de görüldüğü gibi düşük ergime noktasına bağlı olarak aynı işlem parametrelerinde AA7075-T6 plaka çiftlerinde AA6061-T6 plaka çiftlerindekinden daha fazla çapak oluşumu gözlemlenmiştir.



a) 6061-T6 plaka çifti b) 7075-T6 plaka çifti

Resim 3. Ergime noktası farklılığına bağlı çapak oluşumu (500 dev/dk, 28 mm/dk, 0°)

6. Resim 4'te görüldüğü gibi başlangıçtaki daldırma işleminden sonraki bekleme süresinin ve daldırma noktasının plaka kenarlarına olan uzaklığının özellikle AA7075-AA7075 plaka çiftinde plaka formunun korunması açısından oldukça önemli olduğu görülmüştür.



a) 1000 dev/dk, 28 mm/dk, 0° (Omuz çizgisi-Kenar uzaklığı:4mm)

b) 500 dev/dk, 28 mm/dk, 0° (Omuz çizgisi-Kenar uzaklığı:2mm)

Resim 4. İlk daldırma noktasının plaka kenarlarına olan uzaklığına bağlı form bozukluğu

5. KAYNAKÇA

[1] GÜLEÇ, E. and M.İ. UYSAL. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI. 2006; Available from: http://www.teknikbelgeler.com/dokuman/belge/surtunmekaristirmakaynagi.pdf.

[2] Karagöz, İ. and M. Öksüz, Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2016. 31: p. 19-28.

[3] Threadgill, P.L., et al., Friction stir welding of aluminium alloys. International Materials Reviews, 2009. 54(2): p. 49-93.

[4] WHAT MATERIALS CAN I JOIN WITH FRICTION STIR WELDING? 2020; Available from: https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-materials-can-i-join-with-friction-stir-welding.

[5] Friction Stir Welding - the ESAB Way. 26.02.2020]; Available from: http://eng.esab.co.kr/Web-App/Upload/2012/04/05/Friction%20Stir%20Welding.pdf.

[6] Bayazid, S.M., M. Heddad, and I. Cayiroglu, A Review on Friction Stir Welding, Parameters, Microstructure, Mechanical Properties, Post Weld Heat Treatment and Defects. 2018.

[7] Muhamad, M., et al., Effects of Al-Ni powder addition on dissimilar friction stir welding between AA7075-T6 and 304 L. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2020. 51(9): p. 1274-1284.

[8] RaviKumar, S., R. KajaBanthaNavas, and P.S. Sujeeth, Multiple Response Optimization Studies for Dissimilar Friction Stir Welding Parameters of 6061 to 7075 Aluminium Alloys. Materials Today: Proceedings, 2019. 16: p. 405-412.

[9] Yang, M., et al., Thermo-mechanical interaction between aluminum alloy and tools with different profiles during friction stir welding. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2019. 29(3): p. 495-506.