



ALÜMİNYUM VE BAKIRIN YÜKSEK DEVİRLİ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA TAKIM POZİSYONUNUN ETKİSİ

THE EFFECT OF TOOL POSITION FOR ALUMINUM AND COPPER AT HIGH ROTATIONAL FRICTION STIR WELDING

Recep ÇAKIR^{1*}, Sare ÇELİK^{2*}

¹Personel Temin Merkezi Komutanlığı, Ankara, Türkiye.

cakirbey2006@hotmail.com

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye.

celik@balikesir.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 23.03.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.44154

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) aynı veya farklı cins malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan katı hal birleştirme yöntemidir. Bu yöntem, ilk olarak ergitme kaynak teknikleri ile birleştirilmesinde zorluklarla karşılaşılacak alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılmakla beraber günümüzde farklı malzeme çiftlerinin başarılı bir şekilde birleştirilmesine de olanak vermektedir. Bu çalışmada, alüminyum (AA1050) ve bakır levhalar, ısı girdisini arttırmak amacıyla yüksek takım dönme hızında (2440 dev/dk.), üç farklı kaynak hızlarında (20, 30, 50 mm/dk.) ve dört farklı takım konumlandırmasında (0-1-1.5-2 mm) SKK ile birleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Mekanik özelliklerinin tespiti amacıyla çekme ve eğme testleri ile mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaynak bölgesi mikroyapıları, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiş ve EDX analizleri yapılmıştır. Kaynak bölgesinde meydana gelen fazları incelemek için yapılan XRD analiz sonuçlarında intermetalik fazlar tespit edilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-Cu parçaların çekme testi sonuçlarında %83.55 kaynak performansı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sürtünme Karıştırma Kaynağı, AA1050, Cu, Mekanik Özellikler, Mikroyapı.

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a solid state welding process used for welding similar and dissimilar materials. This welding technique allows welding of Aluminum alloys which present difficulties in fusion joining and allows different material couples to be welded continuously. In this study, 1050 aluminum alloy and commercially pure copper to increase heat input were produced at high rotation rate (2440 rev/min) with four different pin position (0-1-1.5-2 mm) and three different weld speeds (20-30-50 mm/min) by friction stir welding. The influence of welding parameters on microstructure and mechanical properties of the joints was investigated. Tensile and bending tests and microhardness measurements were used to determine of mechanical properties. Nugget zone microstructures were investigated by optical microscope and scanning electron microscope (SEM) and were analyzed in energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Depending on the XRD analysis results intermetallic phase was observed to form in the interfacial region. In the tensile test results, 83.55% weld performance was obtained in the friction stir welding merge of Al-Cu.

Keywords: Friction Stir welding, AA1050, Cu, Mechanical Properties, Microstructure.

1 Giriş

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), 1991 yılında İngiltere'deki Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından patenti alınmış ve geliştirilmiştir [1]. Son yıllarda metal ve malzeme biliminde büyük gelişmelerin sağlanması ile birlikte malzemelerin birleştirilmesi büyük önem kazanmıştır [2]. Alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmelerinde karşılaşılacak problemlerin azaltılması amacıyla araştırmaçılar, yeni kaynak yöntemleri üzerindeki çalışmalarına yönelmişlerdir [3]. Vakum ortamında yapılan elektron kaynağı dışındaki diğer sıvı hal kaynaklarında porozite (gaz boşluğu) oluşumu ve tüm sıvı hal kaynak yöntemlerinde kaynak dikisi ve ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) çatlak oluşumu ve mukavemet düşüşü bu problemlerden bazılarıdır [4]. Bu sorunlar, özellikle yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış yüksek mukavemetli Al-alışımlarının kaynağında daha bariz olarak karşımıza çıkmaktadır [5]. SKK yeni bir katı hal birleştirme yöntemi olarak önem kazanmış olup özellikle alüminyum alaşımlarında daha iyi mekanik özellikler elde edilebilmesi ve kısa sürede kaliteli birleştirmelerin gerçekleştirilmesi gibi avantajlarından

dolayı günümüzde önemli kaynak yöntemleri arasına girmiştir [6]-[8]. İş parçasına karıştırıcı ucun daldırılması ve belirli bir hızda ilerletilmesi sayesinde meydana gelen sürtünme sonucu lokal olarak ısınan malzeme yumuşar, plastik olarak şekil değiştirir ve takımın basma kuvvetinden dolayı çarpılma olmaksızın birleştirme işlemi gerçekleşir [9]-[11]. Kaynak bölgesi, farklı mikroyapıların olduğu üç belirgin bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler, dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB), termomekanik olarak etkilenen bölge (TEB) ve sıvı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılmaktadır [5]. Yöntemin uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağız hazırlığı gerekmemesi, distorsiyonlar, çekmeler ve sıçramaların olmaması gibi birçok üstünlüğü bulunmaktadır [12]-[15]. SKK son on yıl içinde; alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır ve çelik malzemelerin birleştirilmesinde çok iyi kaynak kalitesi sağlamıştır. Son zamanlarda da farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [16],[17]. Farklı malzeme çiftlerinin hatasız birleştirilmesi özellikle bu malzeme çiftlerinin kimyasal alanda, nükleer alanda, otomotiv sektöründe, güç jeneratörleri ve elektronik

endüstrisinde önemli uygulama alanları bulması yönüyle önemlidir [18],[19]. Bakır ve alüminyum, iyi elektrik ve ısıl iletkenliklerinin yanı sıra yüksek korozyon dirençleri ve mekanik özellikleri nedeniyle elektrik endüstrisi için önemli metaller arasında yer almaktadır. Özellikle yüksek doğru akım dağıtım hatlarında, bu iki metalin birbirine sağlam bir şekilde birleştirilebilmesi için farklı kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliği araştırma konusu olmuş ve bakır/alüminyum birleştirilmesi ile ilgili çalışmalar gündeme gelmiştir [20]. Ancak, alüminyum ve bakır malzeme çiftinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi konusunda fazla çalışma olmadığı [21]-[25] ve yapılan çalışmalarda yeterince yüksek dayanımlara ulaşılamadığı görülmüştür.

Bu çalışmada; 4 mm kalınlığına sahip alüminyum (AA1050) ve saf bakır levhalar yüksek takım dönme hızında (2440 dev/dk.), üç farklı takım ilerleme hızlarında (20, 30, 50 mm/dk.) ve dört farklı takım konumlandırmasında (0, 1, 1.5, 2 mm) sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilmiş ve kaynaklı parçaların mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Yüksek takım dönme hızının seçilmesinde amaç yüksek ısı girdisini sağlamak, karışım bölgesine olan etkisini incelemek ve oluşabilecek intermetalik fazları tespit etmektir.

2 Malzeme ve Metot

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirme işlemi için 4 mm kalınlıkta Alüminyum 1050 ve %99.99 saflıkta elektrolitik bakır kullanılmıştır. Alüminyum ve bakır malzemeler 100x150 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Tablo 1'de alüminyum malzemenin, Tablo 2'de bakır malzemenin kimyasal içeriği, Tablo 3'te mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1: AA1050 malzemenin kimyasal içeriği (%ağırlık).

Al	Fe	Ti	Zn	Mg
99.756	0.207	0.017	0.007	0.006
Cr	Mn	Ni	Si	Pb
0.002	0.001	0.001	0.001	<0.001

Tablo 2: Saf Cu malzemenin kimyasal içeriği (%ağırlık).

Cu	Al	Si	Ni	Fe	Zn	Sn
99.99	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001

Tablo 3: Alüminyum ve bakırın mekanik özellikleri.

Özellikler	Alüminyum (Al)	Bakır (Cu)
Çekme Mukavemeti (MPa)	111.20	231.38
Kopma Mukavemeti (MPa)	63.09	161.21
Uzama (%)	14.98	41.03
Sertlik (HV)	41	88

Cu malzeme ilerleme kenarına, alüminyum malzeme yığma kenarına alın altına, ayrılmayacak şekilde Şekil 1'de verildiği gibi bağlama kalıbına yerleştirilmiştir.



Şekil 1: Bağlama kalıbı.

Birleştirme sırasında parçalarla temas halinde olan karıştırıcı uçta yüksek sıcaklıklar oluşacağından, işlem sırasında aşınma ve sertlik direncini koruyabileceği düşünülerek takım malzemesi (1.3343 tip) yüksek hız çeliği seçilmiştir. Üretimi yapılan karıştırıcı uca sertleştirme ısıl işlemi yapılarak 62 HRC sertlik değeri kazandırılmıştır. Takım omuz çapı 18 mm, pim ise M4x3.87 mm olacak şekilde silindirik olarak imal edilmiştir.

Birleştirme işleminde ön çalışmalar ve literatür araştırması ile belirlenen ve sabit tutulan parametreler ise şunlardır [21]-[25]:

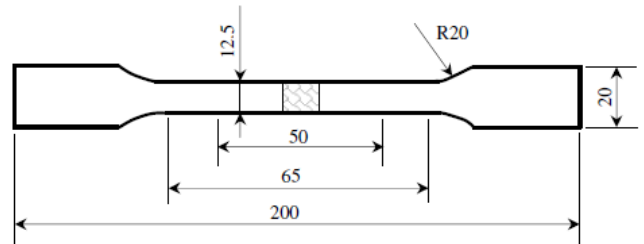
- Takım dönme yönü: Saat yönü(M4 sağ helis)
- Başlık eğim açısı: 1.5°
- Kaynak başlangıcında bekleme süresi: 60 saniye

Deney optimizasyonu için değişik takım dönme ve ilerleme hızlarında deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde karıştırıcı uç alüminyum ve bakır levhaya 0 (sıfır) olarak konumlandırılmıştır. Yapılan birleştirmelerde düşük çekme dayanımları elde edilmiştir. Kaynak yüzey görünümünde sorun olmamakla birlikte içyapıda boşluklar oluşmuştur. Boşluklar ve kaynaklanmanın tam oluşmaması kaynaklı parçaların mekanik değerlerinin düşük olmasına neden olmuştur. Şekil 2'de 0 (sıfır) konumlu kaynak kesit görünümü verilmiştir. Kaynakta boşluklar açıkça görülmektedir. Malzemelerin tam olarak birbirine karışmadığı sonucuna varılmıştır. Daha sonra karıştırıcı ucun pozisyonunun değiştirilmesi ile çalışmalar yapılmıştır. Ön çalışmalardan sonra takım konumlandırılmasının önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülerek, Tablo 4'te verilen kaynak parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 2: "0" konumlu kaynak kesit görünümü.

Elde edilen birleştirmelerin hepsi mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Çekme numuneleri kaynak yönüne dik olarak EN 10002-1 standardına uygun hazırlanmıştır. Deneylerin tamamında çekme hızı 2 mm/dk. olarak belirlenmiştir. Şekil 3'te çekme numunesinin görüntüsü verilmiştir. Her deney için 3 adet çekme numunesi alınarak ortalaması alınmıştır.



Şekil 3: Çekme numunesi.

Tablo 4: Kaynak parametreleri.

Dene y No.	Takım dönme hızı (dev/dk.)	Takım ilerleme hızı (mm/dk.)	Takım kaydırma (mm)	Numune Kod
1	2440	20	1	2440/20/1
2			1.5	2440/20/1.5
3			2	2440/20/2
4		30	1	2440/30/1
5			1.5	2440/30/1.5
6			2	2440/30/2
7		50	1	2440/50/1
8			1.5	2440/50/1.5
9			2	2440/50/2

Numunelerin kaynak kesitine dik olarak üst ve alt yüzeyinden iki sıra Vickers mikrosertlik sertlik ölçümü yapılmıştır. İlk ölçüm üst yüzeyden 0.5 mm aşağıda, ikinci ölçüm alt yüzeyden 0.5 mm yukarıda olacak şekilde alınmıştır. Birleştirme sonrası kaynak bölgelerinde meydana gelen mikroyapı değişikliklerini tespit etmek amacı ile kaynak yönüne dik kesitte numuneler alınarak 220-1200 no.lu zımparalar ile zımparalanmıştır. 3 µm ve 1 µm elmas pasta ile parlatması yapılarak dağlayıcı ile yüzey dağlanmıştır. Dağlama için bakır tarafı için, 100 ml saf su, 4 ml doymuş sodyum klorik, 2 g potasyum dikromat ve 5 ml sülfürik asitten oluşan dağlama reaktifi, alüminyum tarafı için ise keller çözeltisi kullanılmıştır. Ayrıca kaynak bölgeleri SEM ile incelenmiş ve EDX analizleri yapılmıştır. Kaynak bölgesinde meydana gelen fazların tespiti için XRD incelemeleri yapılmıştır.

3 Sonuçlar ve Tartışma

Elde edilen bütün birleştirmelerin kaynak yüzeyleri görüntüleri alınmıştır. Kaynaklı numunelerden alınan kaynaklı parçaların görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Kaynak yüzeyleri incelendiğinde genelde kaynaklarda boşluk, çukur, birleşme yetersizliği gibi kaynak hatalarına rastlanılmamıştır.



(a)

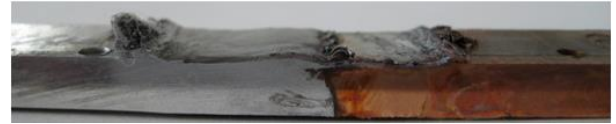


(b)

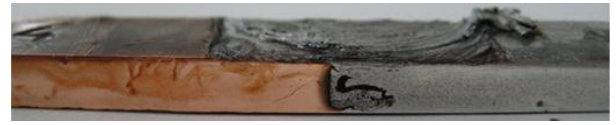
Şekil 4: Kaynak yüzeyleri (a) 2440/50/2 numunesi yüzey,
 (b) 2440/30/1 numunesi yüzey.

Takım konumlandırılması yapılarak SKK işlemi sonrası, numunelerin kaynak esnasında meydana gelen kaynak kesit

görüntüleri incelenmiştir. Şekil 5'te birleştirilen levhalardan kaynak yönüne dik doğrultuda alınan numunelerin kaynak kesit görüntüleri verilmiştir. Bütün numunelerde takım kaydırılmasından (1-1.5-2 mm) dolayı kaynak bölgesi alüminyum tarafında oluşmuştur. Kaynak kesitleri incelendiğinde 2440/50/2 numunesinde karışımın alüminyum tarafında çok fazla oluşmadığı, bu durumun da mekanik değerleri olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5: Kaynak kesit görüntüleri
 (a) 2440/50/2 numunesi, (b) 2440/30/1 numunesi.

Birleştirmelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla yapılan çekme testi sonrası elde edilen kırılma yüzeyleri Şekil 6'da verilmiştir. Çekme deneyi sonucunda kopmalar genellikle kaynak bölgesinde ve alüminyumun ısı tesiri altındaki bölgesinde (ITAB) gerçekleşirken kırılma mekanizması sünek-gevrek olarak gerçekleşmiştir. Kopmaların literatüre uygun olarak alüminyum tarafında olması, kaynak bölgesinin alüminyum tarafında oluşması ve Al ana metalinin çekme mukavemetinin Cu ana metalinden düşük olmasına bağlanmıştır [20]. Kaynaklı numunelerden elde edilen üçer adet çekme testi sonuçları ortalamaları alınarak Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Çekme deneyi sonuçları.

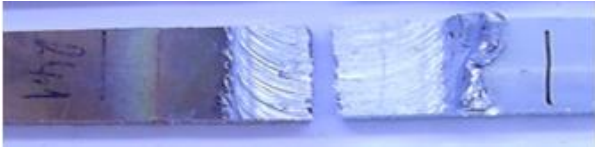
Dene y No.	Dene y numunesi	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Kaynak Performansı (Al. göre %)
	Al	111.20	14.98	-
	Cu	231.38	41.03	-
1	2440/20/1	45.24	1.80	40.68
2	2440/20/1.5	46.93	1.48	42.20
3	2440/20/2	74.03	2.90	66.57
4	2440/30/1	92.91	4.82	83.55
5	2440/30/1.5	90.50	3.60	81.38
6	2440/30/2	84.20	3.92	75.72
7	2440/50/1	77.24	3.53	69.46
8	2440/50/1.5	92.26	4.75	82.97
9	2440/50/2	39.31	1.41	35.35

Çekme testleri sonuçları grafik olarak Şekil 7'de verilmiştir. Ana metallerin çekme mukavemeti Al için 111.20 MPa, Cu için 231.38 MPa elde edilmiştir. En büyük çekme mukavemeti 2440/30/1 numunesinde 92.91 MPa, en düşük çekme mukavemeti 2440/50/2 numunesinde 39.31 MPa değeri elde edilmiştir. 2440 dev/dk.-20 mm/dk. grubunda takım

kaydırmasının artmasıyla çekme mukavemetlerinde artışlar, 2440 dev/dk.-30 mm/dk. grubunda çekme mukavemetlerinde azalmalar, 2440 dev/dk.-50 mm/dk. grubunda ise çekme mukavemetlerinde önce artış sonra azalmalar söz konusu olmuştur. 0 konumlu yapılan birleştirmelerde birkaç geniş Cu parçacık Al matris ile kaynak bölgesinde karışmakta iken 1-1.5-2 mm takım konumlandırmasına irili ufaklı birçok bakır parçacığın Al matris içerisinde karışması mekanik değerlerin yükselmesini sağlamıştır.

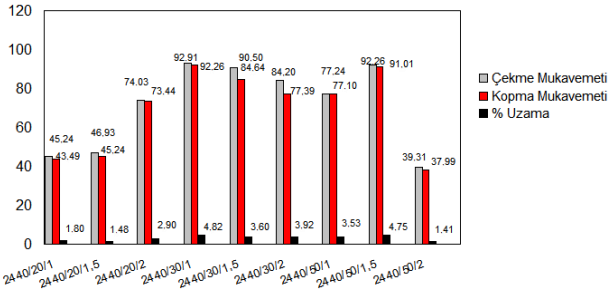


(a)



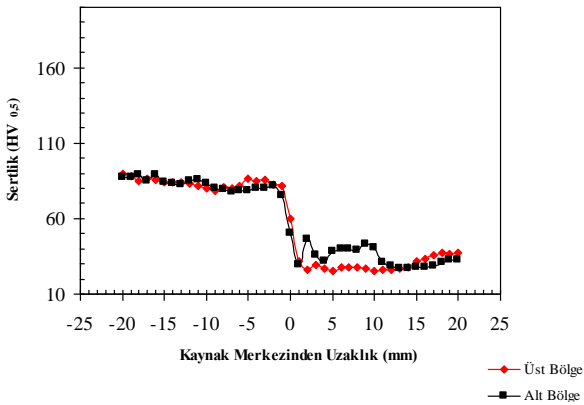
(b)

Şekil 6: Çekme testi sonrası yüzey görüntüleri
(a) 2440/50/2 numunesi, (b) 2440/30/1 numunesi.

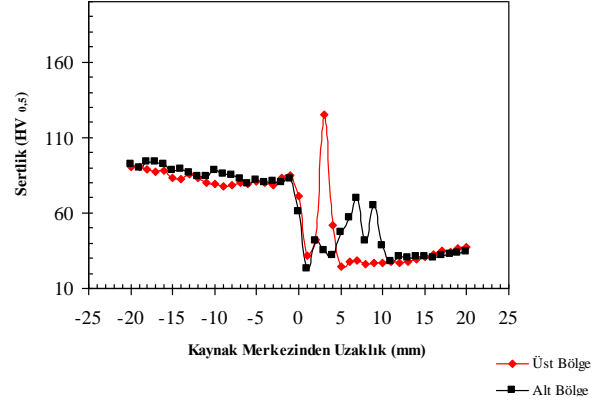


Şekil 7: Çekme deneyi sonuçları grafiği.

En düşük çekme mukavemetine sahip 2440/50/2 numunesi ve en yüksek çekme mukavemetine sahip 2440/30/1 numunesinin kaynak alt ve üst bölgelerinin sertlik değerleri incelenmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9'da kaynaklı numunelerin sertlik değişimleri sırasıyla verilmiştir. Ana metallerin mikrosertlik değerleri ise; Cu ana metali için 88 HV, Al ana metali için ise 41 HV olarak elde edilmiştir.



Şekil 8: 2440/50/2 numunesinin üst ve alt bölgelerinden ölçülen mikrosertlik grafiği.

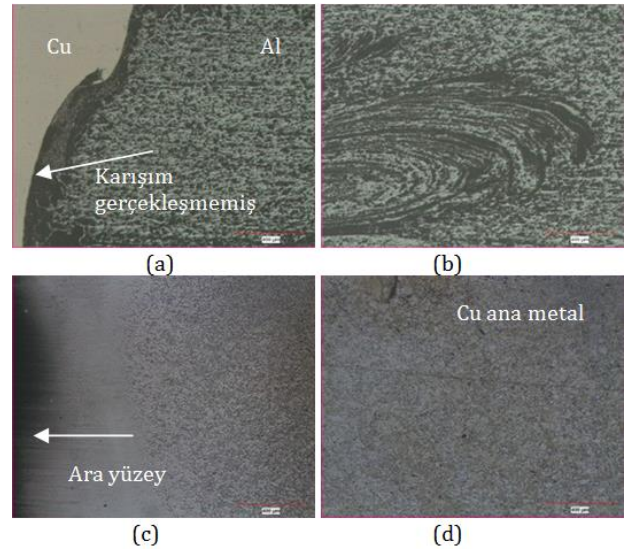


Şekil 9: 2440/30/1 numunesinin üst ve alt bölgelerinden ölçülen mikrosertlik grafiği.

Şekil 8 incelendiğinde 2440/50/2 numunesinin sertlik grafiği incelendiğinde KB'nin sertliğinin 25-81 HV arasında dağılım gösterdiği, ortalama sertliğin 38 HV olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 9'da 2440/30/1 numunesinin sertlik grafiği incelendiğinde KB'nin sertlik değerlerinin 24-124 HV arasında dağılım gösterdiği, ortalama sertliğin 64 HV olduğu ortaya çıkmıştır. Mekanik değerler 2440/50/2 numunesine göre daha yüksektir. Kaynak bölgesinde görülen sertlik artışları, bakırca zengin yapılar ve metaller arası oluşan intermetalik fazlara (CuAl₂, Al₄Cu₉) bağlanırken, kaynak bölgesindeki sertliklerdeki dalgalanmalar ise mikroyapının heterojen olmasına bağlanmıştır.

Kaynak bölgelerinin mikroyapı incelemesinde bütün numunelerin kaynak merkezi, alüminyum tarafı ve bakır tarafı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, kıyaslamak amacıyla çekme dayanımı en düşük ve çekme dayanımı en yüksek olan numunelerin mikroyapıları verilmiştir.

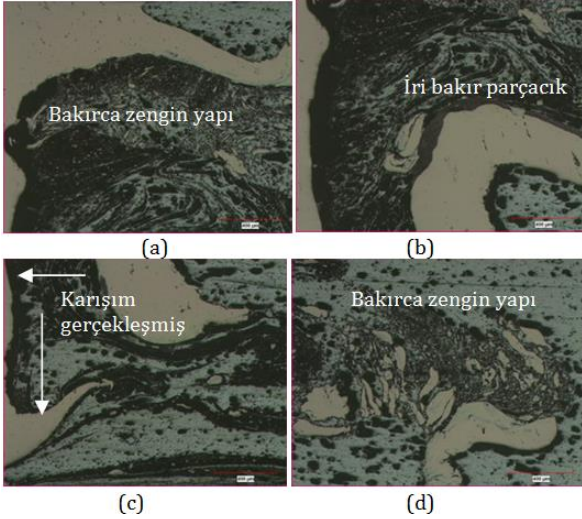
Şekil 10'da 2440/50/2 numunesinin, Şekil 11 ve Şekil 12'de ise 2440/30/1 numunesinin kaynak bölgelerinin mikroyapı görüntüleri görülmektedir.



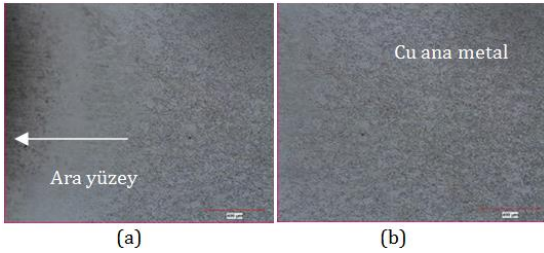
Şekil 10: 2440/50/2 numunesinin kaynak bölgesi
(a) Al tarafı, (b) Al ana metale geçiş,
(c) Al-Cu Geçiş, (d) Cu ana metale geçiş.

Şekil 10'da görüleceği üzere 2440/50/2 numunesinde alüminyum matris içinde bakır parçacıklarının olmayışı ve

karışımın gerçekleşmemesi nedeniyle mekanik değerlerde düşmeler gerçekleşmiştir. Birleşme bölgesi net olarak görülmektedir. Al tarafında bakırca zengin yapılar ve irili ufaklı bakır parçacıklar bulunmamaktadır.



Şekil 11: 2440/30/1 numunesinin kaynak merkezi Al tarafı (a) Üst bölge (b) Orta bölge, (c) Alt bölge, (d) Al ana metale geçiş.



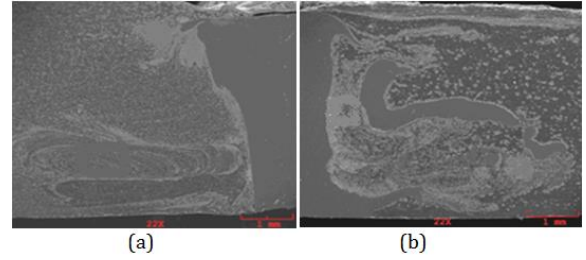
Şekil 12: 2440/30/1 numunesinin kaynak merkezi Cu tarafı (a) Geçiş, (b) Cu ana metale geçiş.

Şekil 11'deki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde 2440/30/1 numunesinde alüminyum matris içine gömülmüş bakır parçacıkların varlığı, yapıda boşlukların olmayışı ve tam bir karışım bölgesinin oluşması mekanik değerleri oldukça yükseltmiştir.

Ayrıca kaynaklı bölgelerin SEM görüntüsü incelendiğinde; 9 no.lu numunede Şekil 13 a'da verildiği gibi karışımın tam olarak gerçekleşmediği, karışımın Al tarafında çok az olduğu, çekme dayanımı yüksek olan 2440/30/1 numunesinde ise Şekil 13 b'de görüldüğü gibi Al tarafında karışımın istenen seviyede gerçekleştiği doğrulanmaktadır. 2440/50/2 numunesinin EDX analiz sonuçlarında da alüminyuma göre bakırın daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar; mikroyapı görüntülerinden elde edilen, çekme dayanımı düşük olan 2440/50/2 numunesinde, çekme dayanımı yüksek olan numuneye göre, kaynak bölgesinde bakır miktarının ve malzemelerin birbirine karışımının daha az olduğunu doğrulamıştır.

Literatür incelendiğinde, alüminyum ve bakır arasında sıcaklık artışıyla beraber Al_4Cu_9 , Al_2Cu , $CuAl$, Al_2Cu_3 , $AlCu_4$ gibi intermetalik fazlar oluşmaktadır [26]. 150 °C'de Al_2Cu , 350 °C'de ise Al_4Cu_9 fazları oluşmaktadır. İntermetalik fazların kalınlığı 10 μm 'lik değere ulaştığında bağlantının mukavemeti keskin bir şekilde azalma göstermektedir [26]. Mekanik özelliklere etkisini tespit etmek amacı ile kaynak esnasında,

kaynak bölgesindeki sıcaklık değişimleri ve bu sıcaklıklarda oluşabilecek fazları tespit etmek amacı ile XRD incelemesi yapılmıştır.



Şekil 13: SEM görüntüler (a) 2440/50/2 numunesi, (b) 2440/30/1 numunesi

Deneyler esnasında kaynak bölgesinin sıcaklık değişimleri incelenmiştir. 1-1.5-2 mm takım konumunda ölçüm yapılan noktadaki maksimum sıcaklıkların en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri, 2440 dev/dk. takım dönme hızında ve 20 mm/dk. takım ilerleme hızında Cu tarafında 280.4- 392.6 °C, Al tarafında 275- 374.1 °C olduğu, 30 mm/dk. takım ilerleme hızında Cu tarafında 207.4-314.4 °C, Al tarafında 235.3-332.6 °C olduğu, 50 mm/dk. takım ilerleme hızında Cu tarafında 242.9- 329.2 °C, Al tarafında 280.5-380.4 °C olduğu tespit edilmiştir.

Bu sıcaklık değerleri parametrelerin büyük bir çoğunluğunda $CuAl_2$ ve Al_4Cu_9 fazların oluşumu için yeterli değerlerdedir [26]. Literatüre dayanılarak yapılan bu değerlendirme, kaynaklı numunelerde yapılan XRD analiz incelemeleri ile doğrulanmıştır. Kaynaklı numunelerin dayanım değerlerinin yüksek olmasını, özellikle yüksek ısı girdisine neden olan kaynak parametrelerinde ara fazların oluştuğu, ancak kırılma boyuta ulaşmadığı şeklinde açıklanmıştır.

4 Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda;

- İlerleme tarafına yerleştirilen saf Cu malzeme ile yığıma tarafına yerleştirilen AA1050 malzeme, 2440 dev/dk. takım dönme hızında, 20, 30, 50 mm/dk. takım ilerleme hızlarında, 1-1.5-2 mm takım konumlandırmasında sürtünme karıştırma kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. "0" takım konumlandırmasında kaynak kesitinde gözle görülür boşluklar ortaya çıkmış ve düşük çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Takım kaydırması yapılarak daha yüksek mekanik değerler elde edilmiştir.
- Çekme testi sonuçları incelendiğinde; en yüksek çekme dayanımı 30 mm/dk. takım ilerleme hızında ve 1 mm takım konumlandırmasında 92.91 MPa olarak tespit edilmiş olup Al ana metaline göre (111.20 MPa) %83.55 kaynak performansı elde edilmiştir.
- Birleştirmelerin sertlikleri incelendiğinde; düşük mekanik özelliklere sahip numunede kaynak bölgesinde ortalama sertliğin daha az olduğu ortaya çıkmıştır. Yüksek mukavemetli numunede sertlik değerleri incelendiğinde kaynak bölgesinde ortalama sertliğin daha fazla olduğu, kaynak bölgesinde görülen sertlik artışlarının, bakırca zengin yapılar ve metaller arası oluşan intermetalik fazlara kaynak bölgesindeki sertliklerdeki dalgalanmalar ise mikroyapının heterojen olmasına bağlanmıştır.
- SEM ve EDX analizlerde, 2440/30/1 numunesinde karışım bölgesinin oluştuğu, 2440/50/2 numunesinde ise karışım

bölgesinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu durum çekme testleri ve sertlik ölçüm sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Çizgisel analizlerde çekme dayanımı düşük olan numunede bakır içeriğinin, çekme dayanımı yüksek olan numuneye göre daha az olduğu görülmüş ve yeterli karışımın gerçekleşmediği doğrulanmıştır.

5. Malzeme çiftinin farklı olduğu birleştirmelerde takım konumlandırmasının mekanik değerleri etkileyen önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. "0" konumlu birleştirmelere nazaran takım kaydırması (1-1.5-2 mm) mekanik değerleri yükseltmiştir.

Not: Bu makale IMSP'2014'de bildiri olarak sunulmuştur.

5 Kaynaklar

- [1] Thomas WM, Nicholas ED, Needham JC, Murch MG, Templesmith P, Dawes CJ. "Friction Stir Butt Welding". The Welding Institute, TWI, International Patent Application No. PCT/GB92/02203 and GB Patent Application No. 9125978.8., 1991.
- [2] Sarsılmaz F, Özdemir N. "Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AA6061/AA7075 Kaynaklı Bağlantıların Yorulma Özelliklerinin Araştırılması". 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [3] Sarsılmaz F. "Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AA7075/AA6061 Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması". Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 2008.
- [4] Çam G. "Al-Alaşımaları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri". TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi, İstanbul, Türkiye, 19-20 Ekim 2001.
- [5] Çam G. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) - Al-Alaşımaları için Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi". *Mühendis ve Makina*, 46(541), 30-39, 2005.
- [6] Lee WB, Jung SB. "The Joint Properties of Copper by Friction Stir Welding". *Materials Letters*, 58(6), 1041-1046, 2004.
- [7] Sarsılmaz F, Özdemir N. "AA1050/AA6061 Alüminyum Alaşım Çiftinin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Karıştırıcı Uç Profillerinin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi". *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6(2), 61-65, 2008.
- [8] Jata KV, Semiatin SL. "Continuous Dynamic Recrystallization during Friction Stir Welding of High Strength Aluminum Alloys". *Scripta Mater*, 43(8), 743-749, 2000.
- [9] Bozkurt Y. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen AA2124/SiCp/25 Kompozit Levhaların Mekanik Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [10] Çam G, Mistikoglu S, Pakdil M. "Microstructural and Mechanical Characterization of Friction Stir Butt Joint Welded 63%Cu-37%Zn Brass Plate". *Weld. Journal*, 88(11), 225-232, 2009.
- [11] Uzun H, Özbekmez R. "Sürtünme Karıştırma Ve Elektrik Ark Kaynak Teknikleri ile Birleştirilen CuZn30 Levhaların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması". *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 9-16, 2008.
- [12] Şık A, Kayabaş Ö. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyumun Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi". *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(12), 30-43, 2003.
- [13] Kurt A, Boz M, Özdemir M. "Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 191-197, 2004.
- [14] Hwang YM, Fan PL, Lin CH. "Experimental Study on Friction Stir Welding of Copper Metals". *Journal of Materials Processing Technology*, 210(12), 1667-1672, 2010.
- [15] Varma RR, İbrahim AB, Mansor, MAB. "Mechanical Properties of the Friction Stir Welded Dissimilar Aluminum Alloy Joints". *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 2(5), 2320-2092, 2014.
- [16] Abdollah-Zadeh A, Saeid T, Sağari B. "Microstructural and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Aluminum/Copper Lap Joints". *Journal of Alloys and Compounds*, 460(1-2), 535-538, 2008.
- [17] Çam G. "Friction Stir Welded Structural Materials: Beyond Al-Alloys". *Int. Mater. Rev.*, 56(1), 1-48, 2011.
- [18] Saeid T, Abdollah-Zadeh A, Sağari B. "Weldability and Mechanical Properties of Dissimilar Aluminum-Copper Lap Joints Made by Friction Stir Welding". *Journal of Alloys and Compounds*, 490(1-2), 652-655, 2010.
- [19] Scialpi A, De Filippis LAC, Cavaliere P. "Influence of Shoulder Geometry on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded 6082 Aluminium Alloy". *Materials and Design*, 28(4), 1124-1129, 2007.
- [20] Barlas Z, Uzun H. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılmış Cu/Al-1050 Alın Birleştirmesinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 857-865, 2010.
- [21] Xue P, Ni DR, Wang DB, Xiao L, Ma ZY. "Effect of Friction Stir Welding Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of the Dissimilar Al-Cu Joints". *Materials Science and Engineering A.*, 528(13-14), 4683-4689, 2011.
- [22] Ouyang J, Yarrapareddy E, Kovacevic R. "Microstructural Evolution in the Friction Stir Welded 6061 Aluminum Alloy (T6-Temper Condition) to Copper". *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1), 110-122, 2006.
- [23] Liu P, Shi Q, Wang W, Wang X, Zhang Z. "Microstructure and XRD Analysis of FSW Joints for Copper T2/Aluminium 5A06 Dissimilar Materials". *Materials Letters*, 62(25), 4106-4108, 2008.
- [24] Xue P, Xiao BL, Ni DR, Ma ZY. "Enhanced Mechanical Properties of Friction Stir Welded Dissimilar Al-Cu Joint by Intermetallic Compounds". *Materials Science and Engineering A.*, 527(21-22), 5723-5727, 2010.
- [25] Genevois C, Girard M, Huneau B, Sauvage X, Racineux G. "Interfacial Reaction During Friction Stir Welding of Al and Cu". *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International*, 42(8), 2290-2295, 2011.
- [26] Çelik S. Koruyucu Gaz Altında Saf Alüminyum ve Bakırın Difüzyon Kaynağı Şartlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, 1996.