



Makale / Research Paper

Kaynak Parametrelerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birbirine Kaynaklanmış Cu/Al-1050 Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Gökhan BAŞAR¹, Selçuk MISTIKOĞLU¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,
31200, Hatay/TÜRKİYE

gokhanbasar_89@windowslive.com, selcukmistikoglu@gmail.com

Özet: Bakır ve alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu çalışmada bu zorlukların üstesinden gelebilmek için Cu ve Al-1050, katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi üç farklı ilerleme hızı (50, 75, 100 mm/dk), iki farklı devir sayısı (1025, 1525 dev/dk) ve iki farklı takım konumlandırmasında (0.75, 1.5 mm) yapılmıştır. Kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mekanik özelliklerinin tespiti amacıyla çekme ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı; Cu; Al-1050; mekanik özellikler; takım konumlandırması.

Effect of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Cu/Al-1050 Joints Produced by Friction Stir Welding

Abstract: There are some difficulties in joining by using fusion welding method of copper and aluminum alloys. In this study Cu and Al 1050 alloys are joined by using friction stir welding process (FSW) which is a solid state welding method to overcome this difficulties. Joining processes were carried out at three different welding speeds (50, 75, 100 mm/min), two different spindle speed (1025, 1525 rev/min) and two different pin position (0.75, 1.5 mm) by FSW. The influence of welding parameters on mechanical properties of the joints was investigated. Tensile tests and microhardness measurements were used to determine of mechanical properties.

Keywords: Friction stir welding; Cu; Al-1050; mechanical properties; pin position.

1. Giriş

Farklı malzemelerin birbirleriyle çözülemeyecek şekilde birleştirilmesi birçok avantajlardan dolayı uçak-uzay, otomotiv, havacılık, ulaşım, kimya, petrokimya, nükleer, güç üretimi, elektrik elektronik endüstrisi uygulamalarındaki önemi git gide artmaktadır [1,2]. Bu farklı malzeme çiftinin sağlam bir şekilde birleştirilebilmesi, mukavemet, ağırlık, korozyon direnci vb. faktörlerin optimize etmek

Bu makaleye atıf yapmak için

Başar, G., Mistikoğlu, S., "Kaynak Parametrelerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birbirine Kaynaklanmış Cu/Al-1050 Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 282-290.

How to cite this article

Başar, G., Mistikoğlu, S., "Effect of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Cu/Al-1050 Joints Produced by Friction Stir Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 282-290.

açısından da oldukça önem arz etmektedir [3]. Bunlar sadece arzu edilen ürün özellikleri gibi teknik avantajlar sağlamaz aynı zamanda üretim ekonomisi bakımından da fayda sağlar. Bu yüzden, farklı çift malzemelerin sağlam bir birleşme tekniği kaçınılmazdır. Bu tür malzemeler kendilerine özgü kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı geleneksel ergitme kaynağı ile birleşimi oldukça zordur [4]. Ergitme kaynağında kaynak bölgesinde mikro seviyede çatlak [5] ,sıcak çatlama, gözeneklilik vb. katılma hataları [6] meydana gelmiştir. Özellikle, kaynak bölgesinin mekanik özellikleri üzerine olumsuz etkisi olan sert ve gevrek metaller arası bileşik oluşumu, üstesinden gelinmesi gereken bir başka problem olarak görülmektedir [2,7].

Alüminyum (Al) ve bakır (Cu), iyi elektrik ve ısı iletkenliğe, yüksek korozyon direncine ve mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı elektrik endüstrisi için önemli metaller içerisinde yerini almıştır [8]. Son zamanlarda, özellikle yüksek doğru-akım dağıtım hatlarında, bu iki metal türünün sağlam bir şekilde birleştirilebilmesi için farklı kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliği üzerine araştırmalar yapılmaktadır [9]. Bir katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağının (SKK), bu amaca yönelik alternatif birleştirme tekniklerinden biri olduğu düşünölmektedir. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) 1970’li yıllarda İngiltere’de The Welding Institute (TWI) adlı kurumda geliştirilmiş ve 1990’lı yıllarda patenti alınmış bir katı hal kaynak yöntemidir [10]. Literatürde alüminyum ve bakır malzeme çiftinin sürtünme karıştırma kaynak parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çok sayıda çalışma olmadığı [1,4,11-13] ve yapılan çalışmalarda yeterince yüksek dayanımlara ulaşılamadığı görölmüştür.

Yapılan bu çalışmada, Sürtünme karıştırma kaynağı ile nispeten sağlam ve kaynak bölgesinde hatasız bir Al/Cu birleştirmenin gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntem ile birleştirmede; iki farklı takım konumlandırması ve üç farklı ilerleme hızı ve iki farklı dönme hızında alın altına birleştirme yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerde, kaynak kalitesini belirlemek amacıyla mikro sertlik ölçümleri, çekme deneyleri yapılmış ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirme işlemi için 4 mm kalınlıkta Alüminyum 1050 ve %99.98 saflıkta elektrolitik bakır kullanılmıştır. Alüminyum ve bakır malzemeler 120x195 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Tablo 1’de alüminyum malzemenin, Tablo 2’de bakır malzemenin kimyasal içeriği, Tablo 3’te mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Al-1050 malzemenin kimyasal içeriği (% ağırlık).

Al	Fe	Ti	Cr	Mg	Cu	Mn	Si
99,49	0.251	0.0262	0.0247	0.00481	0.0255	0.0365	0.124

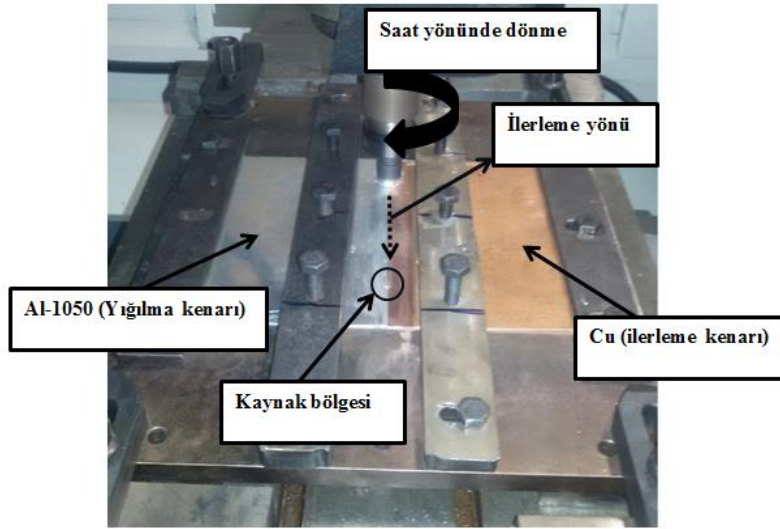
Tablo 2. Saf Cu malzemenin kimyasal içeriği (% ağırlık)

Cu	S	P	Si	Ni	Al	Zn	Fe
99.98	0.00139	0.00285	0.00135	0.00212	0.00209	0.00295	0.00408

Tablo 3. Alüminyum ve bakırın mekanik özellikleri.

Malzeme	Çekme (MPa)	Mukavemeti (MPa)	Kopma (MPa)	Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
Bakır	278.50		190.26		13.89	92
Alüminyum	122.50		70.15		11.81	38

Cu levha ilerleme kenarına, Al-1050 levha ise yığılma kenarına paslanmaz çelikten imal edilmiş bağlama kalıbı üzerine sabitlenmiştir. Cu/Al-1050 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 çeliğinden, diş açılmış karıştırıcı uca sahip olan bir takım kullanılmıştır. Üretimi yapılan karıştırıcı uca sertleştirme ısıl işlemi yapılarak 62 HRC sertlik değeri kazandırılmıştır. Takım omuz çapı 20 mm, pim ise M5x3.80 mm olacak şekilde silindirik olarak imal edilmiştir. Karıştırıcı uç eksenini, birleştirilecek levhaların alın altına temas yüzeyleri eksenini doğrultusunda ve levha yüzeylerine dik olarak sabitlenmiştir. Birleştirmelerde takım saat yönünde döndürülmüştür. SKK ile birleştirme işlemlerinde, karıştırıcı uç Cu ve Al-1050 levha yüzeylerinin içeriye batırıldıktan ve takım omuz kısmı da levha yüzeylerine sürtünmeye başladıktan sonra ön ısıtma yapmak amacıyla 60 saniye beklenmiş, sonrasında takıma ilerleme hareketi verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanması

Optimum kaynak parametrelerin belirlenmesi için değişik takım dönme ve ilerleme hızlarında ön deney çalışmaları yapılmıştır. Bu deneylerde karıştırıcı uç alüminyum ve bakır levhaya 0 (sıfır) olarak konumlandırılmıştır. Yapılan ön deneysel çalışmalarda düşük mukavemet değerleri elde edilmiştir. Kaynak yüzey görüntülerinde çatlak görülürken, içyapıda boşluklar oluşmuştur. Kaynak bölgesinde malzemelerde karışımın gerçekleşmemesi ve boşlukların olması kaynaklı parçaların mukavemet değerlerinin düşük olmasına neden olmuştur. Ön deneysel çalışmalarda sıfır takım konumlandırmasında elde edilen numunelerin görüntüleri Şekil 2’de gösterilmiştir.

Numune Kodu	Görünüm	
	Yüzey	Kesit
1025/50/0		
1025/75/0		

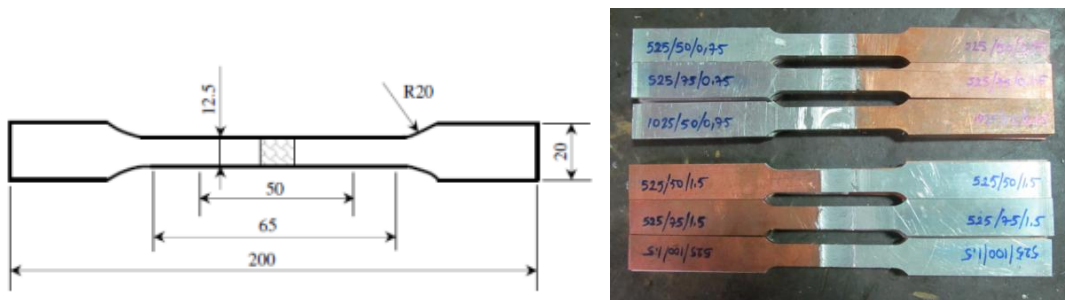
Şekil 2. Kaynak yüzey ve kesit görüntüleri

Şekil 2 incelendiğinde, 1025/50/0 ve 1025/75/0 parametrelerinde birleştirilen kaynaklı numunelerin yzeylerinde makro çatlaklar ve kesit görüntülerinde ise boşluklar oluştuğu belirlenmiştir. Bu kaynak hatalarından dolayı seçilen kaynak parametrelerinin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu parametrelerde birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme mukavemetleri sırasıyla; 1025/50/0 numunesinde 30.65 MPa, 1025/75/0 numunesinde ise 38.42 MPa elde edilmiştir. Makro görüntülerden elde edilen sonuçlar ile çekme testinden elde edilen sonuçlar birbirlerini destekler niteliktedir. Benzer şekilde literatürde yapılan çalışmalarda da kaynak hatalarının çekme mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilediği ifade edilmektedir [2,14]. Daha sonra karıştırıcı ucun konumunun değiştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. n çalışmalardan sonra takım konumlandırılmasının önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülerek, Tablo 4'te verilen kaynak parametreleri belirlenmiştir.

Cu/Al-1050 birleştirmesinin, saf Cu ve Al-1050 ana metallere göre olan kaynak performansının değerlendirilmesi için çekme testleri gerçekleştirilmiştir. 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 geometrik detayları ve görüntüsü verilmiştir. Ana metallere ve birleştirmeye ait üç numunenin ortalamaları çekme testi sonuçları olarak sunulmuştur.

Tablo 4. Kaynak parametreleri.

Deney No	Takım Dönme Hızı (dev/dak)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak)	Takım Kaydırma (mm)	Numune Kod
1	1025	50	0.75	1025/50/0.75
2			1.5	1025/50/1.5
3		75	0.75	1025/75/0.75
4			1.5	1025/75/1.5
5		100	0.75	1025/100/0.75
6			1.5	1025/100/1.5
7	1525	50	0.75	1525/50/0.75
8			1.5	1525/50/1.5
9		75	0.75	1525/75/0.75
10			1.5	1525/75/1.5
11		100	0.75	1525/100/0.75
12			1.5	1525/100/1.5

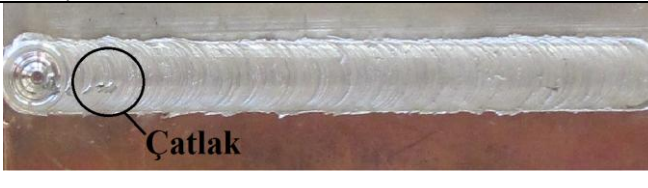
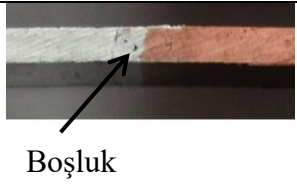
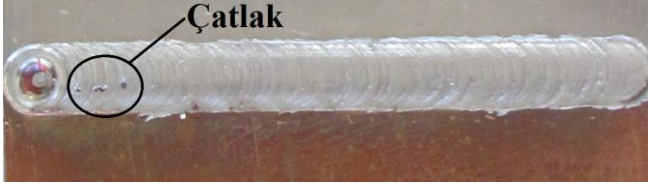
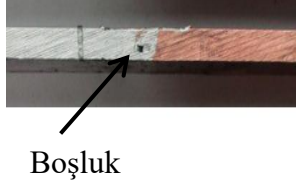






Şekil 3. Çekme numunesi geometrik detayları ve görüntüsü

Birleştirmenin kaynak bölgesindeki Vickers mikrosertlik (HV) ölçümleri için hazırlanan numune yüzeyinin üst ve alt bölgelerinden, kaynak kesitine doğru 1'er mm içeriden ve kaynak yönüne dik doğrultularda sıra-sertlik şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, MICROBUL Low Vickers & Brinell Hardness Tester Load tipi sertlik cihazında 0.5 kg yük ve 30 sn bekleme süresi uygulanarak yapılmıştır. Çekme testi 10 kN kapasiteye sahip AGS-J SHIMADZU marka cihazla gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 4'de verilen kaynak parametrelerine göre birleştirilen numuneler içerisinde en iyi iki ve en kötü iki sonucu gösteren numunelerin kaynak kök ve kesit görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.

Numune Kodu	Görünüm	
	Yüzey	Kesit
1525/50/0.75		
1525/75/0.75		
1025/50/1.5		
1525/75/1.5		

Şekil 4. Kaynaklı numunelerin yüzey ve kesit görüntüleri

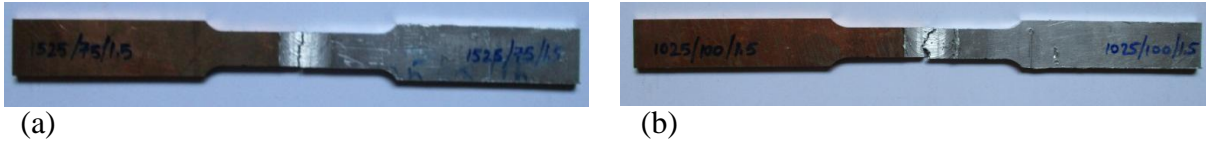
Şekil 4 incelendiğinde, takım konumunun alüminyum tarafına doğru 0.75'ten 1.5'e artmasıyla kaynaklı numunelerin yüzey ve kesitinde boşluk, çukur, birleşme yetersizliği çatlama, ayrılma gibi kaynak hatalarının oluşmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kaynak kesitleri incelendiğinde 1525/50/0.75 ve 1525/75/0.75 numunelerinde karışımın alüminyum tarafında çok fazla oluşmadığı, bu durumun da mekanik değerleri olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır (Tablo 5).

1525/50/0.75 ve 1525/75/0.75 kaynaklı numunelerin kaynak yüzeylerinde çatlakların ve kesit görüntülerinde ise boşlukların oluştuğu belirlenmiştir. Bu parametrelere göre üretilen numunelerin çekme mukavemet değerleri sırası ile 57.89 MPa ve 50.12 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler tüm numuneler içerisindeki en düşük çekme mukavemet değerleri olup bu düşük çekme mukavemet değerleri kaynak dikişinde meydana gelen kaynak hatalarına atfedilmektedir. Zira, kaynak dikişinde kaynak hataları görülmeyen 1025/50/1.5 ve 1525/75/1.5 numunelerin çekme mukavemetlerinin bir miktar artış ile sırasıyla 86.34 MPa ve 99.18 MPa'ya yükseldiği belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme testi sonrasında elde edilen çekme mukavemeti, % uzama ve kaynak performans değerleri Tablo 5'da verilmiştir.

Tablo 5. Çekme deneyi sonuçları

Deney No	Deney numunesi	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Kaynak Performansı (Al göre %)
	Al	122.5	11.81	-
	Cu	278.50	13.89	-
1	1025/50/0.75	63.30	2.94	51.67
2	1025/75/0.75	75.38	3.42	61.53
3	1025/100/0.75	82.31	4.74	67.19
4	1025/50/1.5	86.34	4.62	70.48
5	1025/75/1.5	67.44	3.54	55.05
6	1025/100/1.5	52.83	2.11	43.12
7	1525/50/0.75	57.89	2.62	47.25
8	1525/75/0.75	50.12	1.54	40.91
9	1525/100/0.75	77.33	4.10	63.12
10	1525/50/1.5	83.03	4.80	67.77
11	1525/75/1.5	99.18	5.08	80.96
12	1525/100/1.5	71.12	3.60	58.05

Ana malzemelerin çekme mukavemet değerleri Al için 122.50 MPa, Cu için de 278.50 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti 1525/75/1.5 numunesinde 99.18 MPa, en düşük çekme mukavemeti ise 1525/75/0.75 numunesinde 50.12 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme testi sonucunda kopmaların kaynak bölgesinden gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 5).

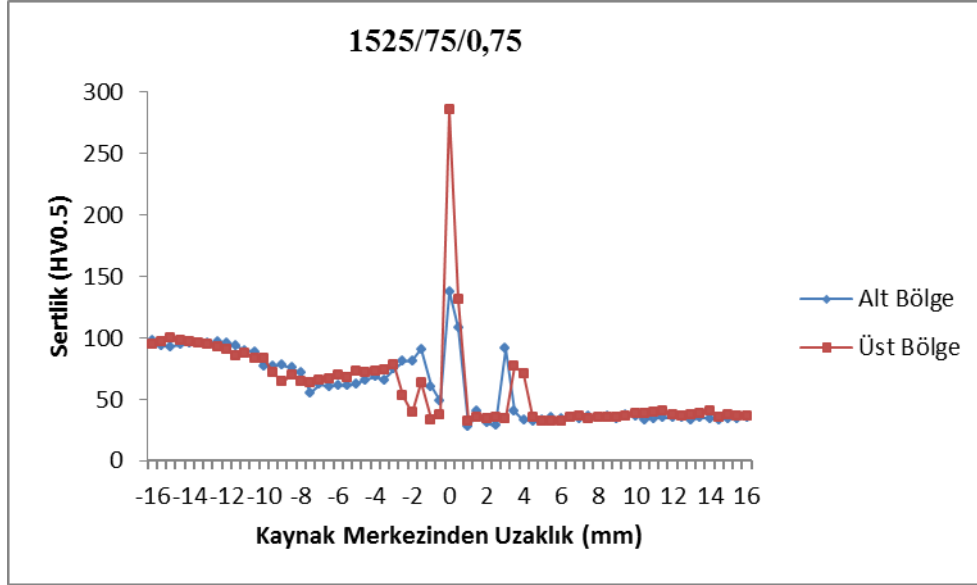


Şekil 5. Çekme testi sonrası yüzey görüntüleri (a) en iyi çekme mukavemete sahip numune (b) en kötü çekme mukavemete sahip numune

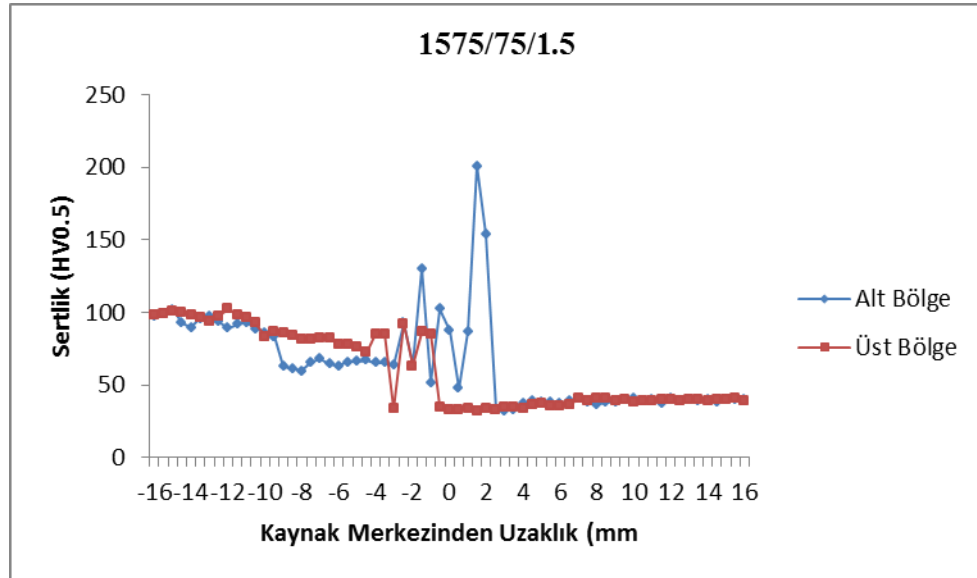
1525 dev/dak devir hızında, 75 mm/dak ilerleme hızında ve 1.5 mm takım konumlandırmasında gerçekleştirilen Cu/Al-1050 alın altına yapılan sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen çekme mukavemeti (98.18 MPa), ve kaynak performansı % 80.96 olarak belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Muthu ve Jayabalan [15] yaptıkları çalışmada saf Cu/AA1100 malzeme çiftinin takım konumlandırması ile gerçekleştirilen sürtünme karıştırma kaynağında çekme mukavemetini 113 MPa ve kaynak performansını da % 70.62, Çakır ve Çelik'de [14] saf Cu/Al-1050 sürtünme karışma kaynağında elde edilen çekme dayanımı değerini 92.91 MPa ve kaynak performansı da % 83.55 olarak tespit etmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen çekme mukavemeti ve kaynak performansı sonuçlarının literatürden elde edilen sonuçlar ile büyük bir paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar katı hal birleştirme yöntemlerinden olan sürtünme ve difüzyon kaynak yöntemleri ile mukayese edildiğinde daha yüksek mukavemet değeri elde edilebildiği tespit edilmiştir. Literatürde, saf Cu/Al-1050 sürtünme kaynaklı birleştirmesinin çekme dayanımı 87 MPa [16], difüzyon kaynağı yapılmış iki farklı çalışmada ise sırasıyla 61 MPa [17] ve 28 MPa [18] olarak belirlenmiştir. Cu/saf Al ultrason kaynağında ise çekme dayanımı 90 MPa yakın bir değer elde edilmiştir [19].

Şekil 6 ve Şekil 7'de en düşük çekme mukavemetine sahip 1525/75/0.75 numunesi ile en yüksek çekme mukavemetine sahip 1525/75/1.5 numunesinin kaynak alt ve üst bölgelerinden elde edilen sertlik değerleri verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, 1525/75/0.75 numunesinin kaynak bölgesinin

sertliğinin 27-285 HV arasında dağılım gösterdiği, ortalama sertliğin 59 HV olduğu bulunmuştur. 1525/75/1.5 numunesinin sertlik grafiği incelendiğinde ise kaynak bölgesinin sertlik değerlerinin 32-200 HV arasında dağılım gösterdiği, ortalama sertliğin 65 HV olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 7). Kaynak bölgesinde görülen bu sertlik artışları, ince taneli alüminyumca zengin yapıya, bakırca zengin yapıya ve metaller arası oluşan intermetalik bileşiklerden oluşurken, kaynak bölgesindeki sertlik değerlerindeki dalgalanmalar ise mikroyapının heterojen olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [2,14]. Ayrıca ana metallerin mikro sertlik değerlerinin Cu metali için 92 HV, Al metali için ise 38 HV olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 1525/75/0.75 numunesinin alt ve üst bölgelerinden ölçülen mikrosertlik grafiği



Şekil 7. 1525/75/0.75 numunesinin alt ve üst bölgelerinden ölçülen mikrosertlik grafiği

4.Sonuçlar

Bu çalışmada, saf Cu levha ilerleme tarafına, Al-1050 levha yığılma tarafına yerleştirilerek saat yönünde 1025, 1525 dev/dak dönme hızlarında ve 50, 75, 100 mm/dak ilerleme hızlarında, 0.75-1.5 mm takım konumlandırmalarında sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle alın altına başarılı bir

şekilde birleştirilmiştir. Takım konumlandırmasının 0 olduğu durumda kaynak kesitinde gözle görülür seviyede boşlukların ve kaynak yüzeylerinde çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. Bu yüzden 0 takım konumlandırmasında diğer takım konumlandırmalarına (0.75, 1.5) göre daha düşük çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Yapılan parametrik çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçları incelendiğinde; en yüksek çekme mukavemeti 1525 dev/dak dönme hızında, 75 mm/dak ilerleme hızında ve 1,5 takım konumlandırmasında 99.18 MPa olarak elde edilmiş olup Al ana metaline göre (122.5 MPa) % 80.96 kaynak performansı tespit edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti ise; 1525 dev/dak dönme hızında, 75 mm/dak ilerleme hızında ve 0.75 takım konumlandırmasında elde edilmiş olup kaynak performansı % 40.91 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre takım aynı ilerleme ve devir sayısında olmasına rağmen takım konumlandırmasının artmasıyla mekanik değerlerde göze çarpan bir şekilde bir artışın olduğu görülmüştür.

Farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesinde takım konumlandırmasının mekanik değerleri etkileyen önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Kaynaklı numunelerin sertlikleri incelendiğinde; düşük mekanik özelliklere sahip olan 1525/75/0.75 numunede kaynak bölgesindeki ortalama sertliğin daha yüksek mekanik özelliklere sahip olan 1525/75/1.5 numunesinin kaynak bölgesindeki ortalama sertliğe göre daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

5. Teşekkürler

Bu çalışma, Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (BAP) tarafından 13261'nolu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, projenin gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Mustafa Kemal Üniversitesi BAP'a, testlerin yapıldığı HATBORU AŞ: (Hatay) ne sonsuz teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- [1] 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*, 2006, 172-1: 110-122.
- [2] Barlas Z., Uzun H., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılmış Cu/Al-1050 Alın Birleştirmesinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2010, Cilt 25, No 4: 857-865.
- [3] Milles M. P., Melton D. W., Nelson T. W., "Formability of Friction-Stir-Welded Dissimilar-aluminum-Alloy Sheets", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2005, vol.36A, no.12: 3335-3342.
- [4] Xue P., Xiao B. L., Ni D. R., Ma Z. Y., "Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al-Cu joint by intermetallic compounds", *Materials Science and Engineering A*, 2010, 575: 5723-5727.
- [5] Pooya, Pourahmad, Mehrdad, Abbasi, "Materials flow and phase transformation in friction stir welding of Al 6013/Mg", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2013, 23: 1253-1261.
- [6] Liu L., Wang H., Song G., Ye J., "Microstructure characteristics and mechanical properties of laser weld bonding of magnesium alloy to aluminum alloy", *J. Mater. Sci.*, 2007, 42: 565-572.
- [7] Wagner F., Zerner I., Kreimeyer M., Sepold G., "Characterization and properties of dissimilar metal combinations of Fe/Al and Ti/Al-sheet materials", *International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics*, Florida, A.B.D., 1301-1310, 2001.
- [8] Russell A. M., Lee K. L., "Structure-Property Relations in Nonferrous Metals", *John Wiley & Sons, Inc., Publication*, A.B.D., 2005.

- [9] Veerkamp W. E., "Copper-to-Aluminum Transitions in High DC Bus System", IEEE Trans Indust Appl, 1997, Cilt 33 No 4: 1027-1034.
- [10] Çam G., "Al-Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 19– 20 Ekim İstanbul, 267–277, 2001.
- [11] Xue P., Ni D. R., Wang D. B., Xiao L., Ma Z. Y., "Effect of Friction Stir Welding Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of the Dissimilar Al–Cu Joints", Materials Science and Engineering A., 2011, 528(13-14): 4683–4689.
- [12] 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, 2008, 62(25): 4106–4108.
- [13] Genevois C., Girard M., Huneau B., Sauvage X., G., "Interfacial Reaction during Friction Stir Welding of Al and Cu", Metallurgical and Materials Transactions A, 2011, Volume 42A-August: 2290-2295.
- [14] Çakır R., Çelik S., "Alüminyum ve bakırın yüksek devirli sürtünme karıştırma kaynağında takım pozisyonunun etkisi", Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 2015, 21(8): 352-357.
- [15] Muthu M. F. X., Jayabalan V., "Tool travel speed effects on the microstructure of friction stir welded aluminum-copper joints", Journal of Materials Processing Technology 217 (2015), pp. 105-113.
- [16] Lee W. B., Bang K. S., Jung S. B., "Effects of Intermetallic Compound on the Electrical and Mechanical Properties of Friction Welded Cu-Al Bimetallic Joints During Annealing", J Alloy Compd, 2005, Cilt 390, No 1-2: 212-219.
- [17] Ay İ., Çelik S., Çelik İ., "Comparison of Properties of Friction and Diffusion Welded Joints Made Between the Pure Aluminium and Copper Bars", BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1999, Cilt 1, No 2: 88-102.
- [18] Enjo T., Ikeuchi K., Akikawa N., "Diffusion Welding of Copper to Aluminum", Transactions of the Japan Welding Society, 1997, Cilt 8, No 1: 77- 84.
- [19] Tsujino J., Ueoka T., "Ultrasonic Butt Welding of Aluminum, Anticorrosive Aluminum and Copper Plate Specimens", Proceeding IEEE 1988 Ultrasonics Symposium, New York, A.B.D., 493-496, 1988.