

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAKLI EN AW - 5005 (Al Mg1) ALÜMİNYUM ALAŞIMI İÇİN OPTİMUM KAYNAK PARAMETRE SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa Kemal KÜLEKÇİ^a, Onur ER^b

^aMersin Üniversitesi, Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 33480, Tarsus-Mersin, Türkiye

^bMersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümü, 33480, Tarsus-Mersin, Türkiye
onurer@windowslive.com, mkkulekci@mersin.edu.tr

(Geliş/Received: 31.03.2011; Kabul/Accepted: 03.04.2012)

ÖZET

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi ile birleştirilen EN AW – 5005 (Al Mg1) alüminyum alaşımlı bağlantılar için optimum kaynak parametre seviyelerinin tayin edilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte SKNK yöntemi ile elde edilen bağlantıların kaynak performansına etki eden kaynak parametrelerinin etkileşimleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilere göre SKNK uygulamasında kullanılan kaynak parametrelerinden takım dalma mesafesinin nokta kaynağı bağlantısı üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Takım dalma mesafesinin artırılması ile birlikte doğru orantılı olarak kaynaklı bağlantının kesme makaslama mukavemetinin de arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada SKNK uygulaması için optimum kaynak parametre seviyelerinin; 2,6 mm takım dalma mesafesi, 1500 rev/min takım devri ve 10 s kaynak süresi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), kaynak, alüminyum, optimum kaynak parametreleri.

DETERMINATION OF OPTIMUM WELDING PARAMETER LEVELS FOR FRICTION STIR SPOT WELDED EN AW – 5005(Al Mg1) ALUMINIUM ALLOY

ABSTRACT

In this study it has been aimed to investigate the optimum friction stir spot welding (FSSW) parameters for EN AW – 5005 aluminium alloy plates. The interactions of welding parameters affecting welding performance of FSSW joints were determined. According to the results of the experimental study it have been determined that FSSW tool penetration parameter has the most significant effect on spot welding joints. The shear strength of FSSW joints was observed to increase as the tool penetration depth increased. The results of the experimental study showed that the optimum welding parameters levels for FSSW were 2,6 mm tool penetration depth, 1500 rev/min tool rotation and 10 s welding time.

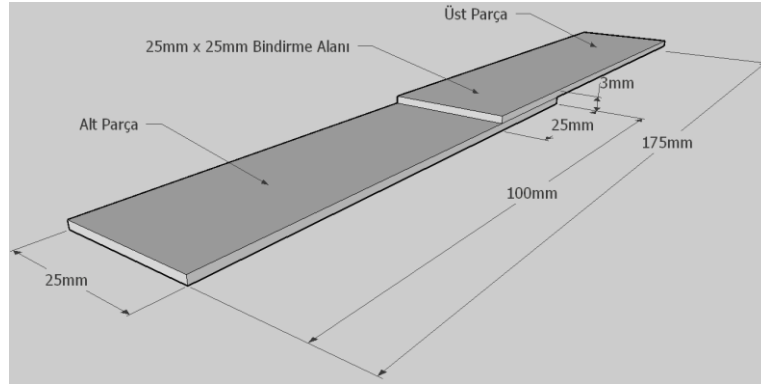
Key words: Friction stir spot welding (FSSW), welding, aluminium, optimum welding parameters.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

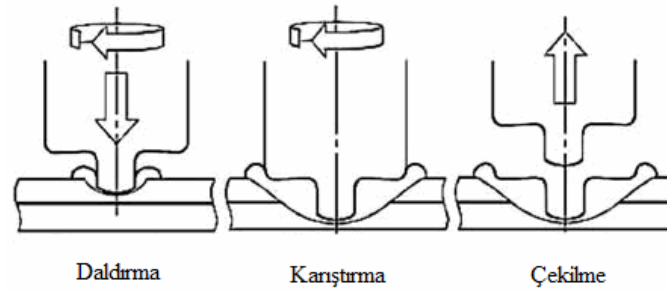
Günümüzde nokta kaynağı otomotiv, elektronik ve uçak endüstrisinde sıklıkla kullanılan bir birleştirme tekniği olmuştur. Bu yaygın kullanım alanından başka, kısa işlem süresi ve otomasyona uygunluğu ile birlikte etkili birleştirme elde etmeye olanak sağlamıştır. Endüstride tek bir üründe yüzlerce hatta binlerce nokta kaynaklı birleştirme unsuru vardır.

Bundan dolayı nokta kaynaklı birleştirmelerin tasarımı ve imalatı nihai ürün güvenliğinin yanında kalitesini de etkilemektedir [1 – 7].

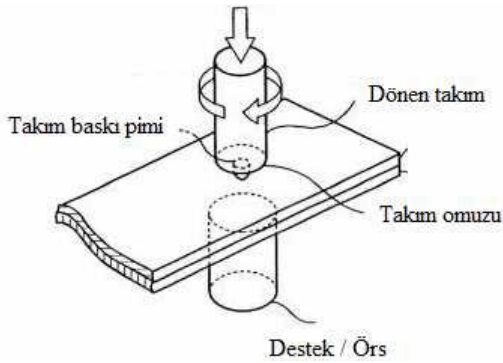
Bununla birlikte, özellikle otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu sağlamak ve araç gövdesinin ağırlığını azaltarak gaz salınım seviyesini en aza indirmek için çeliğin yerine hafif bir metal olan alüminyum ve alaşımlarının kullanımı hızla artmıştır. Çeliğe nazaran



Şekil 1. Numunelerin kaynak pozisyonu ve boyutlarına ait çizim (Welding position and dimensions of the samples)



Şekil 2. SKNK yönteminin şematik gösterimi [8] (Schematic drawing of FSSW application)



Şekil 3. SKNK yönteminde kullanılan donanımlar ve bunların pozisyonları [18] (FSSW equipment and its positions)

2.2.1. SKNK parametre ve seviyeleri (FSSW parameter and its levels)

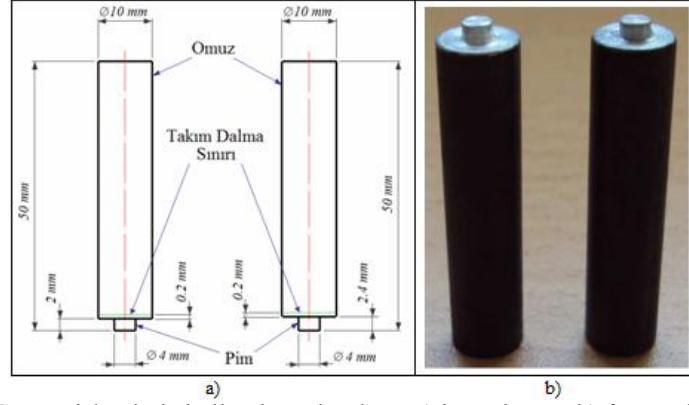
SKNK işlemi sabit ve değişken parametre seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Sabit kaynak parametre seviyeleri; 4 mm takım baskı pimi çapı, düz profilli takım omuz yapısı ve 0,2 mm/s takım dalma (ilerleme) hızı olarak belirlenmiştir. Bu sabit kaynak parametre seviyeleri tüm kaynak işlemi süresince sabit tutulmuştur. Değişken kaynak parametre seviyeleri ise; 2,2 mm ve 2,6 mm takım dalma (ilerleme) mesafesi, 1500 rev/min ve 2000 rev/min takım devri, 5 s ve 10 s kaynak zamanı olarak

belirlenmiştir. Bu sabit ve değişken parametre seviyeleri daha önceden yapılan benzer çalışmalar ve kullanılan kaynak makinesinin çalışma şartları dikkate alınarak tayin edilmiştir.

2.2.2. SKNK takımı (FSSW tool)

SKNK işleminde kullanılan takım için % 0,5 karbon miktarına sahip Ç 1050 takım çeliği kullanılmıştır. Takım çeliği çalışmada öngörülen boyutlarda işlenerek ısıl işleme tabii tutulmuştur. Isıl işlem sonrası takımın mikro sertliği 52 HRC değerine ulaşmıştır. SKNK işlemi için farklı baskı pimi uzunluklarına sahip iki ayrı takım kullanılmıştır. Şekil 4' de çalışmada kullanılan takımlara ait geometri ve boyutları bildiren çizim ile imal edilip ısıl işleme tabii tutulmuş durumdaki fotoğraf görüntüsü verilmiştir.

SKNK işleminde takım, üst üste bindirilmiş numunenin üst kısmından, yani üst parçadan Şekil 4' de görüleceği üzere takım dalma sınırına kadar daldırılmıştır. Bu dalma sınırı takım baskı piminin tamamını ve takım omzunun 0,2 mm' lik kısmı ile sınırlandırılmıştır. Bu şekilde yapılan SKNK işleminde takım baskı pimi uzunluğu ve takım omzunun numuneye dalma uzunluğu toplamı esas alınarak takım dalma mesafeleri olan 2,2 mm ve 2,6 mm ölçüleri kaynak parametre seviyeleri olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. SKNK işleminde kullanılan takımların a) boyutları ve b) fotoğraf görüntüsü
(Dimensions (a) and photography image (b) of tools used for FSSW application)

2.3. Tam Faktöriyel Deneysel Tasarım (Full Factorial Experimental Design)

Deneysel tasarım kavramının bilimsel ifadesi, üretimi geliştirme ve performans sürecini başarılı bir şekilde kurmak anlamına gelmektedir. Deneysel, araştırmacılar tarafından bir sistemi yada belirli bir süreci tanımlamak ve anlamak için kullanılmaktadır. Deneysel tasarım bir süreç yada sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktılarının gözlemlenmesi ve analiz edilmesini mümkün kılıp ürünlerdeki kaliteyi ürünün tasarım aşamasında sağlamayı amaçlamaktadır. Deneysel tasarım ilk olarak 1920'lerde İngiliz istatistikçi R. A. Fisher ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [29 – 31].

SKNK yöntemi ile birleştirilen alüminyum alaşımı malzemelerin kaynak performansını incelemek, optimum SKNK parametre seviyelerini tayin etmek, SKNK parametrelerinin kaynak performansına etkilerini belirlemek ve parametreler arası etkileşimleri araştırmak için tam faktöriyel deney

tasarımı metodu kullanılmıştır. Tam faktöriyel deney tasarımında kullanılan parametre seviyeleri Tablo 3' de verilmiştir.

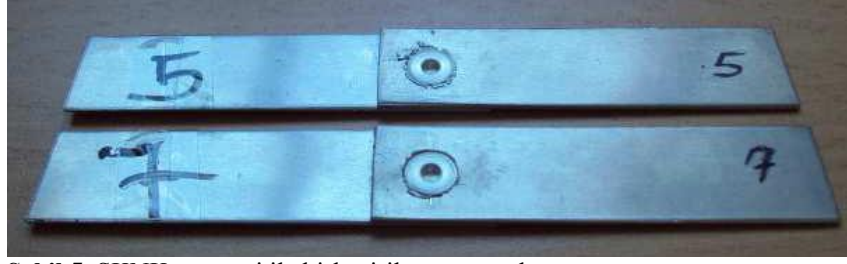
Çalışmada, deneyler tam faktöriyel olarak tasarlanmıştır. Deneyde adları A (takım dalma mesafesi), B (takım devri) ve C (kaynak zamanı) olan üç parametre ve her bir parametreye ait 2 seviye sayısı bulunduğu için, tam faktöriyel (tam eşlendirme) sonucunda $a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ kombinasyon oluşmuştur. Bu nedenle bu deneyler L8 deneyleri olarak adlandırılmıştır. Tam faktöriyel deney tasarımı notasyonuna göre iki seviyeli deneylerde, seviyenin biri alt seviye, diğeri üst seviye olarak adlandırılmıştır. Parametrelere ait alt seviye "1" ve üst seviye "2" işaretleri kullanılarak temsil edilmiştir [32]. Tam faktöriyel deneylerde kombinasyonların tümü denenerak tekrar sayısı 2 seçilmiştir. Bundan dolayı her bir kombinasyondan 2 adet gözlem değeri, yani maksimum kesme makaslama kuvveti alınmıştır. İstatistiksel olarak tasarlanmış L8 deney matrisi Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan parametreler ve seviyeleri (Parameters and its levels used in the study)

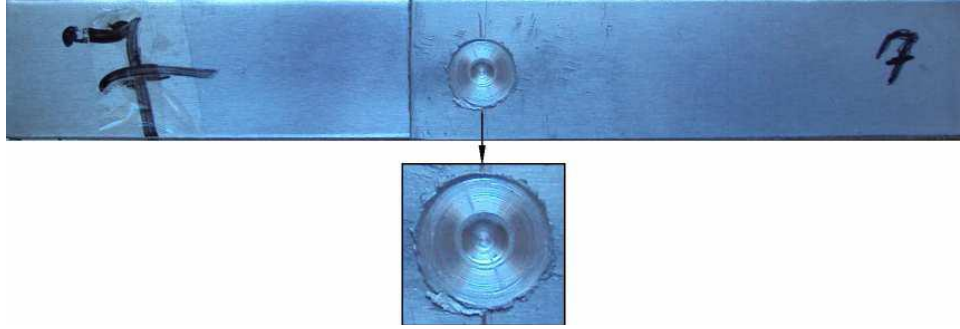
Seviyeler	SKNK Parametreleri		
	(A) Takım Dalma Mesafesi (mm)	(B) Takım Devri (rev/min)	(C) Kaynak Zamanı (s)
Alt	2,2	1500	5
Üst	2,6	2000	10

Tablo 4. İstatistiksel olarak tasarlanmış L8 deney matrisi (L8 experiment matrix designed statistically)

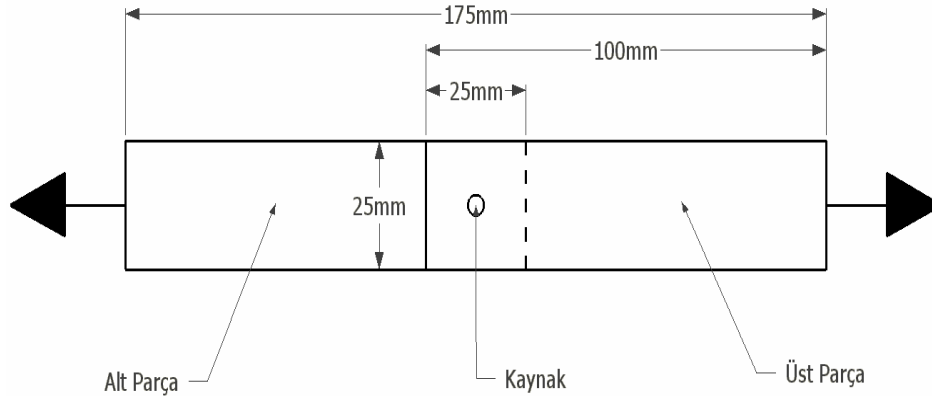
Deneysel No	(A) Takım Dalma Mesafesi (mm)	(B) Takım Devri (rev/min)	(C) Kaynak Zamanı (s)
1	2,2	1500	5
2	2,2	1500	10
3	2,2	2000	5
4	2,2	2000	10
5	2,6	1500	5
6	2,6	1500	10
7	2,6	2000	5
8	2,6	2000	10



Şekil 5. SKNK yöntemi ile birleştirilen numuneler (Friction stir spot welded samples)



Şekil 6. SKNK yöntemi ile birleştirilen numunenin üstten görünüşü (Top view of friction stir spot welded sample)



Şekil 7. Kaynaklı bağlantıların çekme-kesme testi pozisyonu (Tensile-shear test position of the samples)

2.4. SKNK Yöntemi ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantılar (Welded Joints of FSSW)

Şekil 5 ve 6' da sırasıyla SKNK yöntemi ile birleştirilen numuneler ve numunenin üstten görünüşüne ait fotoğraf görüntüsü verilmiştir.

2.5. Çekme-Kesme Testi Deneyi (Tensile-Shear Test)

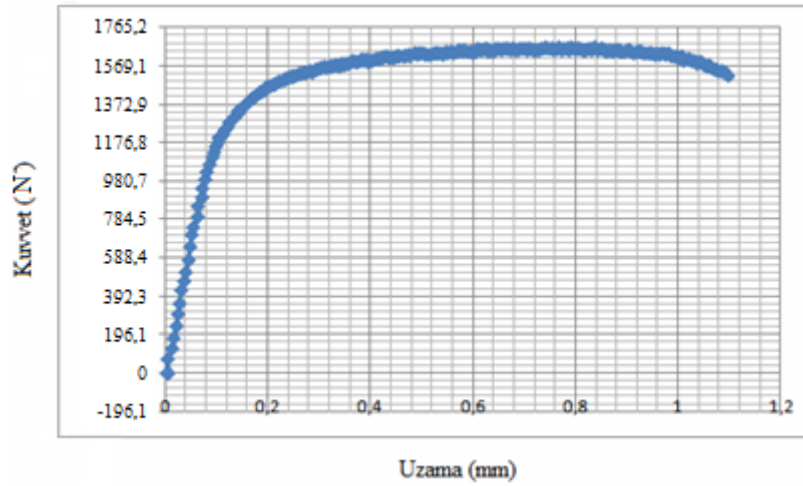
Çalışmada SKNK yöntemleri ile birleştirilen alüminyum alaşımı numunelerin kesme makaslama kuvvetlerini tayin etmek için numunelere çekme-kesme testi uygulanmıştır. Numuneler Şekil 7' de verilen şematik gösterimdeki gibi çekme-kesme testine tabii tutulmuşlardır.

3. BULGULAR (RESULTS)

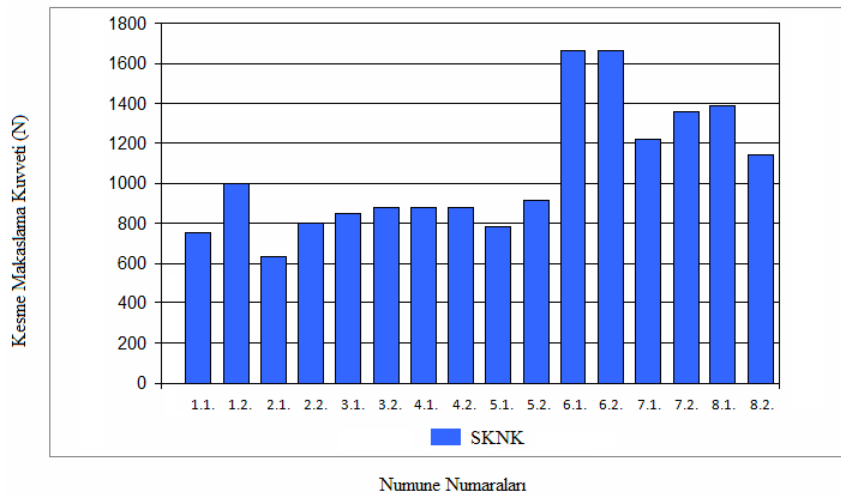
SKNK yöntemi ile birleştirilen numuneler, SKNK parametre ve seviyeleri esas alınarak tam faktöriyel (tam eşlendirmeli) deney tasarımı çerçevesinde belirli bir deney planına göre düzenlenmiştir. Her bir deneyden iki adet numune hazırlanarak çekme-kesme testi deneyine tabii tutulmuştur. Bu numuneler 1.1. ve 1.2. sekinde ikili sayı sistemi ile ifade edilmiştir. SKNK yöntemi ile birleştirilen numunelere ait maksimum kesme makaslama kuvveti değerleri Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. SKNK yöntemi ile birleştirilen numunelere ait çekme-kesme testi değerleri
(Tensile-shear test values of friction stir spot welded samples)

Yöntem	Deney No	(A) Takım Dalma Mesafesi (mm)	(B) Takım Devri (rev/min)	(C) Kaynak Süresi (s)	Maksimum Kesme Makaslama Kuvveti (N)	Ortalama Kesme Makaslama Kuvveti (N)
SKNK	1.1.	2,2	1500	5	750	875
SKNK	1.2.				1000	
SKNK	2.1.	2,2	1500	10	630	715
SKNK	2.2.				800	
SKNK	3.1.	2,2	2000	5	850	865
SKNK	3.2.				880	
SKNK	4.1.	2,2	2000	10	880	880
SKNK	4.2.				880	
SKNK	5.1.	2,6	1500	5	780	845
SKNK	5.2.				910	
SKNK	6.1.	2,6	1500	10	1660	1660
SKNK	6.2.				1660	
SKNK	7.1.	2,6	2000	5	1220	1290
SKNK	7.2.				1360	
SKNK	8.1.	2,6	2000	10	1390	1265
SKNK	8.2.				1140	



Şekil 8. 6.1. Numaralı deney numunesine ait kuvvet – uzama diyagramı (Force – elongation of 6.1. sample)



Şekil 9. Numunelere ait maksimum kesme makaslama kuvveti değişimleri (Cutting shear force values of the samples)

SKNK yöntemi ile birleştirilen ve en büyük kesme makaslama kuvvet değeri elde edilen numunelerden, 6.1. deney numarasına sahip numuneye ait kuvvet – uzama diyagramı Şekil 8’ de görülmektedir.

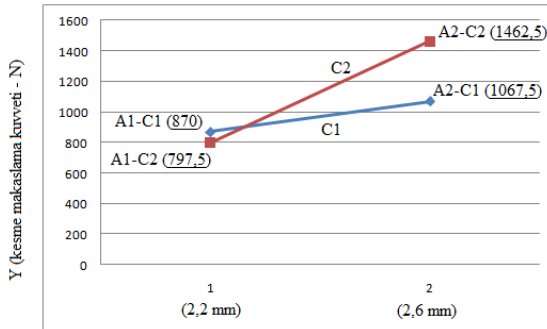
Kaynak performansı hakkında daha iyi bir değerlendirme yapabilmek için SKNK bağlantılarına ait maksimum kesme makaslama kuvveti değerlerini bir arada gösteren grafik Şekil 9’ da gösterilmiştir.

L8 hesap tablosuna göre, parametreler arası etkileşimler incelendiği zaman ise en önemli etkileşimlerin sırasıyla AC (takım dalma mesafesi – kaynak zamanı) ve BC (takım devri – kaynak zamanı) olduğu saptanmıştır. AB (takım dalma mesafesi – takım devri) etkileşiminin ise kaynak performansına etkisi göz ardı edilecek kadar küçük olduğu kanısına varılmıştır. AC etkileşimi tablosu Tablo 6’ da verilmiştir. Tablo 6’ da altı çizili olan ortalama değerler baz alınarak çizilen AC etkileşim grafiği Şekil 10’ da verilmiştir.

Tablo 6. Takım dalma mesafesi (A) – kaynak zamanı (C) etkileşim tablosu

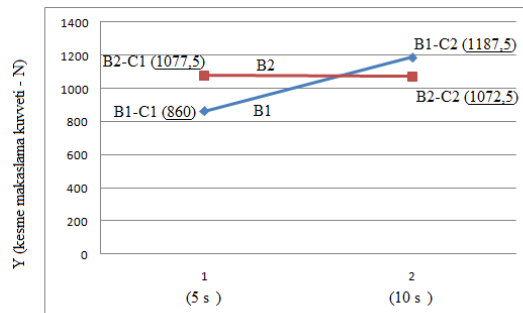
(Interaction table of tool penetration (A) – welding time (C))

A	C	
	1	2
1	875;865 870	715;880 797,5
2	845;1290 1067,5	1660;1265 1462,5



A (takım dalma mesafesi - mm)

Şekil 10. Takım dalma mesafesi (A) – kaynak zamanı (C) etkileşim grafiği
(Interaction of tool penetration (A) and welding time (C))



C (kaynak zamanı - s)

Şekil 11. Takım devir sayısı (B) – kaynak zamanı (C) etkileşim grafiği
(Interaction of tool rotation (B) and welding time (C))

Şekil 10 incelendiği zaman, C'nin kesme makaslama kuvvetine olan etkisinin A'nın seviyesine bağlı olduğu saptanmıştır. Amaç en iyi kaynak performansı için en büyük kesme makaslama kuvveti elde etmek olduğu için grafiğe göre A2-C2 kombinasyonunun kullanılması sonucuna ulaşılmıştır. Bir diğer önemli etkileşim olarak kabul edilen BC etkileşimine ait etkileşim tablosu Tablo 7’ de verilmiştir.

Tablo 7. Takım devir sayısı (B) – kaynak zamanı (C) etkileşim tablosu

(Interaction table of tool rotation (B) – welding time (C))

B	C	
	1	2
1	875;845 860	715;1660 1187,5
2	865;1290 1077,5	880;1265 1072,5

Tablo 7’ de altı çizili olan ortalama değerler baz alınarak çizilen BC (takım devri – kaynak zamanı) etkileşim grafiği Şekil 11’ de verilmiştir.

Şekil 11 incelendiği zaman B'nin kesme makaslama kuvvetine olan etkisinin C'nin seviyesine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. B, 2. seviyesindeyken, C'nin her iki seviyesinde elde edilen kesme makaslama kuvvetlerinin hemen hemen aynı değerde olduğu saptanmıştır.

A1-C1 (A'nın 1. seviyesi olan 2,2 mm ve C'nin 1. seviyesi olan 5 s)
A1-C2 (A'nın 1. seviyesi olan 2,2 mm ve C'nin 2. seviyesi olan 10 s)
A2-C1 (A'nın 2. seviyesi olan 2,6 mm ve C'nin 1. seviyesi olan 5 s)
A2-C2 (A'nın 2. seviyesi olan 2,6 mm ve C'nin 2. seviyesi olan 10 s)

B1-C1 (B'nin 1. seviyesi olan 1500 dev/dak ve C'nin 1. seviyesi olan 5 s)
B1-C2 (B'nin 1. seviyesi olan 1500 dev/dak ve C'nin 2. seviyesi olan 10 s)
B2-C1 (B'nin 2. seviyesi olan 2000 dev/dak ve C'nin 1. seviyesi olan 5 s)
B2-C2 (B'nin 2. seviyesi olan 2000 dev/dak ve C'nin 2. seviyesi olan 10 s)

Ancak B, 1. seviyesindeyken, C'nin seviyesindeki artış kesme makaslama kuvveti değerinde de önemli bir artış sağlamıştır. BC etkileşim grafiğine göre, amaç en iyi kaynak performansı için en büyük kesme makaslama kuvveti elde etmek olduğundan B1-C2 kombinasyonunun kullanılması sonucuna ulaşılmıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Kaynaklı bağlantıların kaynak performansını değerlendirmek için numunelere çekme-kesme testi deneyi uygulanmış ve deney sonucu elde edilen kesme makaslama kuvveti baz alınarak bağlantıların kalitesi hakkında yorum yapılmıştır. Deney sonucunda SKNK uygulanmış numunelerde ortalama 1049,37 N kesme makaslama kuvveti elde edilirken en büyük kesme makaslama kuvveti 6.1. ve 6.2. deney numaralarına sahip numunelerde 1660 N olarak ölçülmüştür. Bu deney numaralarına sahip numunelerin kaynağında kullanılan parametre seviyeleri optimum kaynak parametre seviyeleri olarak belirlenmiştir. Bu parametre seviyeleri; 2,6 mm takım dalma mesafesi, 1500 rev/min takım devri ve 10 s kaynak süresi olarak saptanmıştır.

SKNK uygulamasında kullanılan parametrelerin kaynak bağlantısı üzerine etkileri incelendiği zaman en önemli etkinin takım dalma mesafesi olduğu sonucuna varılmıştır. Takım dalma mesafesinin artırılması ile birlikte doğru orantılı olarak kaynak performansının da arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, bu tanım çalışmada kullanılan iki farklı takım dalma mesafesi aralığındaki parametre değerleri için geçerlidir. Zira, D. Mitlin ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [33], çalışma ile ilgili olarak belirli bir takım dalma mesafesinden sonra kaynaklı bağlantıların mukavemet değerlerinde bir düşüşün vuku bulduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kaynak süresi parametresinin de kaynak performansı üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Ancak bu etkinin takım dalma mesafesi parametresine nazaran daha az bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte takım devri parametresinin kaynak performansı üzerine etkisinin diğer ana etkilere göre oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.

Parametreler arası etkileşimler incelendiği zaman en önemli etkileşimlerin takım dalma mesafesi – kaynak zamanı ve takım devri – kaynak zamanı etkileşimleri olduğu görülmüştür. Kaynak zamanının kesme makaslama kuvvetine olan etkisinin takım dalma mesafesinin seviyesine bağlı olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, takım devrinin kesme makaslama kuvvetine olan etkisinin kaynak zamanının seviyesine bağlı olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmada kullanılan malzemelerin teminini sağlayan Sayın İnşaat Mühendisi Murat ER' e, kaynak

çalışmalarının yapılmasına olanak sağlayan Tarsus E.M.L. müdürlüğü ve başta Sayın Teknik Öğretmen Musa CAN olmak üzere Makine Teknolojisi Bölümü öğretmenlerine, mekanik deneylerin gerçekleştirilmesini sağlayan Sayın Prof. Dr. Abdulkadir EKŞİ' ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Aslanlar, S., "The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry", **Materials and Design**, 27(2): 125-131, 2006.
2. Aslanlar, S., Ogur, A., Ozsarac, U. ve Ilhan, E., "Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding", **Materials and Design**, 29(7): 1427-1431, 2008.
3. Uematsu, Y., Tokaji, K., Tozaki, Y., Kurita, T. ve Murata, S., "Effect of refilling probe hole on tensile failure and fatigue behavior of friction stir spot welded joints in Al-Mg-Si alloy", **International Journal of Fatigue**, 30(10-11): 1956-1966, 2008.
4. Chae, S. W., Kwon, K. Y. ve Lee, T. S., "An optimal design system for spot welding locations", **Finite Elements in Analysis and Design**, 38(3): 277-294, 2002.
5. Buffa, G., Fratini, L. ve Piacentini, M., "On the influence of tool path in friction stir spot welding of aluminum alloys", **Journal of Materials Processing Technology**, 208(1-3): 309-317, 2008.
6. Rogeon, P., Carre, P., Costa, J., Sibilila, G. ve Saindrenan, G., "Characterization of electrical contact conditions in spot welding assemblies", **Journal of Materials Processing Technology**, 195(1-3): 117-124, 2008.
7. Anık, S., Ogur, A., Vural, M. ve Turan, H., "Direnç nokta kaynak elektrodu ömrünün deneysel analizi", **Mühendis ve Makina**, (513): 2002.
8. Lathabai, S., Painter, M. J., Cantin, G. M. D. ve Tyagi, V. K., "Friction spot joining of an extruded Al-Mg-Si alloy", **Scripta Materialia**, 55(10): 899-902, 2006.
9. Kim, D. C., Park, H. J., Hwang, I. S. ve Kang, M. J., "Resistance spot welding of aluminum alloy sheet 5J32 using SCR type and inverter type power supplies", **Archives of Materials Science and Engineering**, 38(1): 55-60, 2009.
10. Badarinarayan, H., Yang, Q. ve Zhu, S., "Effect of tool geometry on static strength of friction stir spot-welded aluminum alloy", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 49(2): 142-148, 2009.
11. Tran, V. X., Pan, J. ve Pan, T., "Effects of processing time on strength and failure modes of dissimilar spot friction welds between aluminum

- 5754-O and 7075-T6 sheets”, **Journal of Materials Processing Technology**, 209(8): 3724-3739, 2009.
12. Lin, P. C., Pan, J. ve Pan, T., “Failure modes and fatigue life estimations of spot friction welds in lap-shear specimens of aluminum 6111-T4 sheets. Part 1: Welds made by a concave tool”, **International Journal of Fatigue**, 30(1): 74-89, 2008.
 13. P. C., Pan, J. ve Pan, T., “Failure modes and fatigue life estimations of spot friction welds in lap-shear specimens of aluminum 6111-T4 sheets. Part 2: Welds made by a flat tool”, **International Journal of Fatigue**, 30(1): 90-105, 2008.
 14. Tran, V. X., Pan, J. ve Pan, T., “Fatigue behavior of aluminum 5754-O and 6111-T4 spot friction welds in lap-shear specimens”, **International Journal of Fatigue**, 30(12): 2175-2190, 2008.
 15. Wang, D. A. ve Chen, C. H., “Fatigue lives of friction stir spot welds in aluminum 6061-T6 sheets”, **Journal of Materials Processing Technology**, 209(1): 367-375, 2009.
 16. Gerlich, A. P. ve Shibayanagi, T., “Grain boundary sliding during friction stir spot welding of an aluminum alloy”, **Scripta Materialia**, 60(4): 236-239, 2009.
 17. Wang, D. A. ve Lee, S. C., “Microstructure and failure mechanisms of friction stir spot welds of aluminum 6061-T6 sheets”, **Journal of Materials Processing Technology**, 186(1-3): 291-297, 2007.
 18. Arul, S. G., Pan, T., Lin, P. C., Pan, J., Feng, Z. ve Santella, M. L., “Microstructures and failure mechanisms of spot friction welds in lap-shear specimens of aluminum 5754 sheets”, **Society of Automotive Engineers**, 1256: 2005.
 19. Senyen, C., “Alüminyum alaşımlarının kaynağında dikkat edilecek hususlar”, **Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, 253-265, 2001.
 20. Gerlich, A., Su, P. ve North, T. H., “Tool penetration during friction stir spot welding of Al and Mg alloys”, **Journal of Materials Science**, 40: 6473-6481, 2005.
 21. Feng, Z. ve Eberhardt, J. J., “Friction stir welding and processing of advanced materials”, **High Strength Weight Reduction Materials 2005 Progress Report**, 122 134, 2005.
 22. Külekci, M. K. ve Sık, A., “Effects of tool rotation and transverse speed on fatigue properties of friction stir welded AA 1050-H18 aluminium alloy”, **Archives of Metallurgy and Materials**, 51(2): 213-216, 2006.
 23. Külekci, M. K., Sık, A. ve Kaluç, E., “Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 36(9-10): 877-882, 2006.
 24. Öcalır, Ş., **Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyum Alaşımı Birleştirmelerde Optimum Parametrelerin Belirlenmesi**, Master, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
 25. Kahraman, B., **Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı(RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı(FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi**, Master, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
 26. Kaluç, E. ve Taban, E., **Sürtünen Eleman İle Kaynak (FSW) Yöntemi**, MMO/2007/460, Ankara, 2007.
 27. Çam, G., Güçlüer, S., Çakan, A. ve Serindağ, H. T., “Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate”, **Mat.-Wiss. U. Werkstofftech**, 40(8): 638-642, 2009.
 28. Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): Al alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi”, **Mühendis ve Makine**, (541): 2005.
 29. Canyılmaz, E. ve Kutay, F., “An alternative approach to analysis of variance in Taguchi Method”, **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 18(3): 51-63, 2003.
 30. Hamzaçebi, Ç. ve Kutay, F., “Taguchi metodu: Bir uygulama”, **Teknoloji**, 6(3-4): 7-17, 2003.
 31. Gökçe, B. ve Taşgetiren, S., “Kalite için deney tasarımı”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6(1): 71-83, 2009.
 32. Şirvancı, M., **Kalite İçin Deney Tasarımı: Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayınları, İstanbul, Türkiye, 1997.
 33. Mitlin, D., Radmilovic, V., Pan, T., Chen, J., Feng, Z. Ve Santella, M. L., “Structure-properties relations in spot friction welded (also known as friction stir spot welded) 6111 aluminum”, **Materials Science and Engineering A**, 441(1-2): 79-96, 2006.

