

## Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Farklı Parametrelerde Kaynak Edilen AA5182/AA7075 Alaşım Çiftlerinin Mekanik ve Mikroyapılarının İncelenmesi

Edip Çetkin<sup>1\*</sup>, Anıl İmak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Batman, Türkiye

<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

\*edipcetkin@hotmail.com , aimak@bingol.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 29.05.2022, Makale kabul tarihi: 26.09.2022

### Öz

Çalışmada, 1000, 1750 ve 2700 d/d devir, 6 ve 12 saniye sürtünme süreleri, konik helisel ve üçgen karıştırıcı uçlar kullanılarak sürtünme karıştırma nokta kaynak (SKNK) tekniği ile AA5182/AA7075 alüminyum alaşım çiftlerinin kaynakları yapılmıştır. Farklı parametrelerde kaynakları yapılan alaşım çiftlerinin, parametrelerinin birleşimleri üzerindeki etkilerini belirlemek için mikroyapı analizler ve mekanik testler yapılmıştır. Bu amaçla kaynak bölgelerinde oluşan mikroyapısal görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerde karıştırıcı uçların alaşım çiftlerinin homojen bir birleşim için önemli bir faktör oldukları görülmüştür. Özellikle konik helisel uç 'un kullanıldığı kaynaklarda, kaynak birleşim bölgesinde malzeme akışı daha düzgün olduğu görülmüştür. Mekanik testler için ise öncelikle sertlik ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümlerde üçgen karıştırıcı uç 'un kullanıldığı kaynaklarda konik helisel uçlara göre daha yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Son olarak kaynaklı numuneler çekme yüküne tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, konik helisel uç 'un 2700 d/d devirde ve 12 saniye sürtünme süresinde yapılan birleştirmelerinin ara kesitinde alınan numunenin mikroyapı görüntüsünde daha düzgün bir birleşimin olduğu ve bunun sonucunda çekme testlerinde de en iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** AA5281, AA7075, çekme deneyi, konik helisel uç, SKNK

## Investigation of Mechanical and Microstructure of AA5182/AA7075 Alloy Pairs Welded in Different Parameters by Friction Stir Spot Welding

### Abstract

In this study, AA5182/AA7075 aluminum alloy pairs were welded by friction stir spot welding (FSSW) technique using 1000, 1750 and 2700 rpm, stirrer times of 6 and 12 seconds and conical helical and triangular stirrer tips. Microstructural analyzes and mechanical tests were carried out to determine the effects of alloy pairs welded in different parameters on their joints. For this purpose, microstructural images formed in the welding zones were taken. In these images, it was seen that the alloy pairs of the stirrer tips were an important factor for a homogeneous joint. It was observed that the material flow was more uniform in the weld joint area, especially in welds where the conical helical tip is used. For mechanical tests, hardness measurements were taken first. In the measurements taken, higher hardness values were measured in the welds where the triangular stirrer tip was used, compared to the conical helical tips. Finally, the welded samples were subjected to tensile loads. As a result, it was seen that there was a smoother union in the microstructure image of the sample taken at the intersection of the conical helical tip's joints made at 2700 rpm and 12 seconds stirrer time, and as a result, the best results were obtained in the tensile tests.

**Keywords:** AA5281, AA7075, conical helical stirrer, FSSW, tensile test

### GİRİŞ

Günümüzün otomobil gereksinimlerinde, dayanıklılık, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik gibi zorlukları karşılamak için kaynak alanında yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de bir katı

hal kaynak çeşidi olan sürtünme karıştırma nokta kaynağıdır (SKNK). SKNK farklı türden malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak çeşididir. SKNK geliştirilmeden önce yoğun bir

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1123093

şekilde direnç nokta kaynağı (DNK) kullanılıyordu. Ancak, çelik ve alüminyum gibi malzemelerin kaynaklanması sırasında elektrot ömrünü sınırlayan yüksek elektrot aşınma oranı, yüksek sıcaklık ve hızlı soğutma hızı gibi kırılğan mikro yapının oluşmasına yol açan sınırlamaları vardır. Bu sınırlamaları önlemek için, sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) işlemi, özellikle düşük karbonlu çelik otomotiv çeliğini kaynaklanmasında kullanılan etkin bir katı hal işlemidir. SKNK, üst üste binme işleminde, bitişik malzemeler arasında bir katı hal birleşiminin yapıldığı ve tek noktadan yapılan bir birleştirme işlemidir. Bu işlem aynı zamanda mekanik perçinleme, sıkma ve geçiş kilidi gibi diğer geleneksel nokta kaynağı işlemleriyle ilişkili sorunları da ortadan kaldırmaktadır (Li ve ark., 2016).

Alüminyum alaşımları geri dönüşümleri kolay olduğu için çevre dostu olarak bilinen malzemelerdir. Alüminyum alaşımlarının füzyon kaynağı ile birleştirilmesinde çeşitli problemler ile karşılaşmaktadır. Bunlardan biri de kaynak işleminde, ciddi çatlamaya yol açan kırılğan intermetalik bileşikleridir. Bu nedenle, sağlam alüminyum bağlantıların üretimi bir zorluk olarak kalmaktadır (Ouyang ve ark., 2006) Alüminyum alaşımları ağırlıktan ciddi anlamda tasarruf sağladığı için otomotiv ve uçak endüstrisinde çokça tercih edilmektedir. Özellikle uçak endüstrisinde ağırlık azaltma çabaları, uçak gövdesi elemanlarında hafif alüminyum alaşımlarının artan kullanımına neden olmuştur. Uçak yüzeyine bağlı yapısal gövde altında, uçak gövdesi işlevini destekleyen birçok bileşen vardır. Tüm iskeleti ve bileşenlerini birleştirmek için civata, vida ve perçin gibi birkaç bağlantı elemanı kullanılmaktadır. Çok çeşitli malzemelerden imal edilen uçak gövdesi, yapısal bileşenlerini birleştirmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak bu birleştirmelerde en çok tercih edilenler, kaynak, yapıştırıcı ve özel hibrid yapıştırma teknikleridir. Bir katı hal kaynak yöntemi olan SKNK, yapıştırıcı ve özel hibrid yapıştırma tekniklerinden, temin edilmesi, uygulanması ve daha pratik olması gibi avantajlarından dolayı daha çok tercih edilmektedir (Li ve ark., 2018, Yuan ve ark., 2012).

SKNK tekniği ile yapılan birleştirme işlemlerinde araştırmacılar, karıştırıcı uçun geometrisi, daldırma uzunluğu, omuz genişliği, sürtünme süresi ve döndürme devri gibi parametreler üzerinde pek çok incelemeler yapmışlardır.

Bunlardan bazıları, Li ve ark. (2016) sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) ile birleştirilen kaynaklı bağlantılarda, ısı girdisini azaltmak ve malzeme akışını arttırmak için bir karıştırıcı pimin ucuna yarıya kadar diş açmışlardır. Bu karıştırıcı pimi, ucu tamamıyla dişli olan başka bir karıştırıcı pim ile karşılaştırmak için alclad 2A12-T4 alüminyum alaşımını, SKNK ile deneysel olarak birleştirmişler ve simülasyon yöntemi ile analiz etmişlerdir. Ucu tam dişli karıştırıcı pime kıyasla yarı dişli karıştırıcı pimin kullanıldığı deneylerde, kaynak sırasında oluşan sıcaklığın daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yarı dişli karıştırıcı pimin daha yüksek malzeme akış hızından dolayı daha büyük bir bağlanma genişliği elde edilmesine katkı sağladığını tespit etmişlerdir. Reimann ve ark. (2017) sürtünme karıştırma kaynağı sonucu, kaynaklı bağlantılarda karıştırıcı pim tarafından kaçınılmaz olarak bırakılan çıkış deliği veya boşlukların onarılması için doldurma sürtünme karıştırma nokta kaynağını kullanmışlardır. Onarım işlemini karakterize etmek için, takım parçalarının konumu, kuvveti ve torku gibi karakteristik işlem parametrelerini incelemişlerdir. Kaynakları, mikroyapısal özellikler, mekanik performans ve termal döngü açısından analiz etmişlerdir. Yarı sabit omuz bobin karıştırıcı pim ile çıkış deliklerini başarılı bir şekilde doldurmuşlardır. Bilinen mikroyapısal özelliklere sahip hatasız kaynaklar elde etmişlerdir. Ding ve ark. (2017) AA5754 alüminyum alaşımını ve kaplanmış çeliği ötektik Al-Si kaplaması boyunca sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirmişlerdir. Çekme makaslama kayma gerilme dayanımının dalma derinliği ile arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca mikroyapılarda, ince silikon parçacıklarının kusurların giderilmesinde önemli bir rol oynayarak mukavemetin artmasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Fereiduni ve ark. (2015) Al-5083 alüminyum ve St-12 alaşım çeliğinin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, karıştırıcı pim dönme devri ve bekleme süresinin birleştirilen ara yüzdeki mikroyapı ve gerilme-kayma dayanımı üzerine etkisini incelemişlerdir. Bekleme süresinin bir fonksiyonu olarak mukavemetin artma eğilimini, bağlantı ara yüzünde ince bir intermetalik (IM) tabaka oluşumu ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. 1100 dev/dak dönme hızıyla karşılaştırıldığında, 900 dev/dak dönme hızının kullanıldığı deneylerde daha güçlü bağlantılar elde etmişlerdir. Colmenero ve ark. (2018)

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1123093

AA1050 alüminyum alaşımını ve saf bakır levhaları farklı karıştırıcı pim dönme devirlerinde ve bekleme sürelerinde sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) işlemi ile birleştirmişlerdir. Kaynak parametrelerini, tepki yüzeyi yöntemi kullanılarak optimize etmişlerdir. Optimum parametrelerle yapılan farklı Al/Cu SKNK bağlantılarının iyi bir çekme/kayma hatası yükü sergilediğini gözlemlemişlerdir. Padmanaban ve ark. (2016) AA6061 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesinde çekme/kayma hasar yükü üzerine işlem parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. SKNK'da karıştırıcı pim dönme devrinin, karıştırıcı pim omuz çapının ve bekleme süresinin hasar yükü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Kim ve ark. (2017) takım geometrisinin ve işlem parametrelerinin, farklı alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) ile birleştirilmesinden işlem parametrelerinin mekanik özellikler üzerine etkilerini incelemişlerdir. İç ve dışbükey olmak üzere farklı omuz profillerine sahip iki karıştırıcı pim ile deneylerini gerçekleştirmişlerdir. İki omuz profilinin aksel kuvvet, malzemelerin karışımı ve eklem mekanik özelliklerinde önemli farklılıklara neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bağlantı mukavemetinin karıştırıcı pim dönme devri ve dalma hızı değişmesine duyarlılığı da omuz profiline oldukça bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Tier ve ark. (2017) AA5052 alüminyum alaşımlarının SKNK ile birleştirilmesinde, farklı karıştırıcı pim dönme devirlerinin kaynaklı bağlantıların mikroyapılarına etkilerini incelemişlerdir. Üç farklı kaynak ara-yüzü gözlemlemişlerdir. Bunlar birincil bağlama, kısmi bağlama ve ikincil bağlamadır. Düşük karıştırıcı pim dönme devirlerinde kaynaklı bağlantıların daha iyi olduğunu ve bunun da mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediğini vurgulamışlardır. Kaçar ve ark. (2011) 5754 alüminyum alaşım malzemesini farklı kaynak parametrelerinde araya Cu malzemesini kullanılarak SKNK ile birleştirmişlerdir. Cu ve kaynak parametrelerin yapılan birleşimler üzerindeki etkisini belirlemek için mekanik deneyler ve mikroyapı incelemeleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda Cu ara tabakasının kullanıldığı birleştirmelerde daha yüksek mekanik değerler elde edildiğini belirtmişlerdir. Bunun birleşim bölgesindeki Cu'nun etkisinden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Siddharth ve Senthilkumar (2018)

Al5086/C10100 malzemeleri farklı dönme devri, farklı dalma mesafesi ve sürtünme sürelerinde SKNK ile birleştirmişlerdir. Yapılan birleştirmelerin mikroyapı analizlerinde yüksek dönme devirlerinde kaynak bölgesinde aşırı malzeme erimelerinin olduğu ve bundan dolayı çekme makaslama değerlerinde düşüşlerin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca 1 mm ve 1.25 mm dalma derinliklerinde uygun birleşmelerin olmadığını ifade etmişlerdir.

Kubit ve ark. (2018) Farklı sürtünme süresi ve dalma derinliklerinde AA7075-T6 alüminyum alaşımını doldurma SKNK yöntemi ile kaynak etmişlerdir. Burada kaynak işleminin son aşamasında karıştırıcı uç ters yönde çalıştırarak plastite olan malzeme karıştırıcı uç boşluğunu doldurmuştur. Yapılan birleştirmelerde uygun uç dalma mesafesini ve sürtünme süresini belirlemişlerdir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde SKNK ile yapılan birçok çalışmanın olduğu görülmektedir. Özellikle karıştırıcı uç ve uç'un dalma derinliği ile alakalı. Bu çalışmada özellikle havacılık sektöründe çokça tercih edilen AA7075 alaşımı ile korozyona karşı dayanımı yüksek olması sebebiyle marina ve kimyasal reaktör proseslerinde kullanımı yaygın olan AA5182 alaşım çiftleri kaynak işlemi için tercih edilmiştir. Katı hal kaynaklarında karıştırıcı uçların önemi çok büyük olduğu için yapılan çalışmada özellikle bu parametreye dikkat edilmiştir. Bu amaçla çalışmada iki tip karıştırıcı uç kullanılmıştır. Bunlar, konik helisel ve üçgen geometriye sahip karıştırıcı uçlardır. Diğer parametreler ise 1000, 1750 ve 2700 d/d devirler ve 6 ve 12 saniye sürtünme süreleridir. Kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra parametrelerin etkisini belirlemek için mikroyapı analizler ve mekanik (sertlik ve çekme deneyleri) testler gerçekleştirilmiştir.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada, AA7075 alaşımının havacılık sektöründeki önemi ve AA5182 alaşımının ise korozyona karşı dayanımları ile marina ve kimyasal reaktör proseslerindeki kullanımları dikkate alınarak kaynak işlemlerinde tercih edilmiştir. Bu malzemeler ticari olarak 210 cm x 150 cm x 3 mm boyutlarında temin edilmiştir. Bu alaşımlara ait kimyasal bileşimler ve mekanik özellikler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir (Çetkin, 2018).

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1123093

**Tablo 1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri (Çetkin, 2018)

Malzeme	Alaşım Elementleri								
	Cu	Cr	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ti	Al
AA5182	0,15	0,10	0,35	0,20	0,25	0,35	4,5	0,10	Kal.
AA7075	1,6	0,23	0,40	0,40	5,6	0,30	2,5	0,20	Kal.

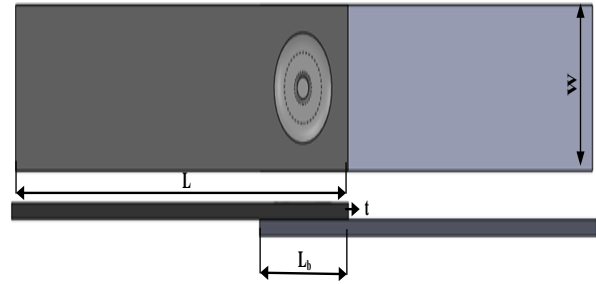
**Tablo 2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri (Çetkin, 2018)

Malzeme	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	R0.2 Akma Dayanımı (MPa)	Elastite Modülü (GPa)	Sertlik (HV)
AA5182	280-350	27	154	69,6	71
AA7075	580-583	10	509-513	72	150

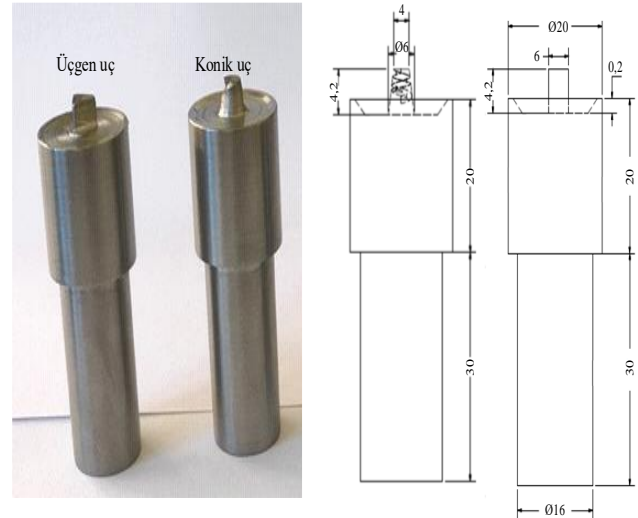
### SKNK Yönteminin Uygulanması

SKNK yöntemi ile kaynaklarının yapılması için ilk önce numune hazırlama işlemi yapılmıştır. Bu amaçla ticari olarak 210 cm x 150 cm x 3 mm boyutlarında temin edilen alüminyum plakaları (AA5182 ve AA7075) 115x30x3 (L\*W\*t) mm ebatlarına kesilmiştir. Şekil 1’de yapılan kaynak işleminin katı modellemesinin görüntüsü verilmiştir. Numune hazırlama işlemi bittikten sonra kaynakların yapılmasında kullanılan uçların üretimine geçilmiştir. Bunun için K100 (X210Cr12) çeliği kullanılmıştır. K100 (X210Cr12) çeliği kimyasal birleşiminde %2 C, %0,25 Si ve %11,5 Cr içermektedir (<https://www.bohlerturkiye.com/tr/products/k100/>). Karıştırıcı uçlar konik helisel ve üçgen geometrik şekilli olmak üzere iki tipte üretimleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de ise kaynak işleminde kullanılan karıştırıcı uçların teknik çizimleri ve makro görüntüleri verilmiştir. Üretim işlemi tamamlandıktan sonra kaynak işlemi esnasında uçlarda herhangi bir aşınmanın meydana gelmemesi için uçlar 850 °C ve 35 dk fırında ısıl işleme tabi tutulmuştur. Numune hazırlama ve kaynak işleminde kullanılan uçlarının hazırlama işlemleri tamamlandıktan sonra literatüre göre belirlenen parametreler ile freze tezgahında kaynakların yapılmasına geçilmiştir. Şekil 3’te kaynak işleminin yapıldığı deneysel kurulumu göstermektedir. Bu işlem için 4.2 mm sabit daldırma derinliğinde 6 ve 12 saniye sürtünme süresi ve 1000, 1750 ve 2700 d/d dönme devirleri parametreler seçilmiştir (Tablo 3’te verilmiştir). Kaynak işlemi için öncelikle karıştırıcı uç freze başlığına takılmıştır. Sonra numunelerin frezenin tablasına sabitleme işlemine geçilmiştir. Bunun için öncelikle  $L_b=30$  mm sabit bindirme

mesafesi ayarlanmıştır. Daha sonra kaynak işlemi esnasında numunelerin kaymaması için freze tezgahının tablasında pabuçlar yardımı ile numuneler sabitlemiştir. Numunelerin sabitleme işlemi tamamlandıktan sonra belirlenen parametrelerde öncelikle freze tezgahında devir sayısı ayarlanmıştır. Son olarak bir kronometre yardımı ile sürtünme süresi takip edilecek şekilde manuel olarak karıştırıcı uç numunelere daldırılmıştır. Şekil 4’te Üçgen profil uç kullanılarak kaynak edilen numunelerin toplu görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 1.** SKNK ile yapılan kaynakların şematik gösterimi



**Şekil 2.** SKNK yönteminde kullanılan karıştırıcı uçların profilleri (Çetkin, 2018)

**Tablo 3.** SKNK işleminde kullanılan parametreler

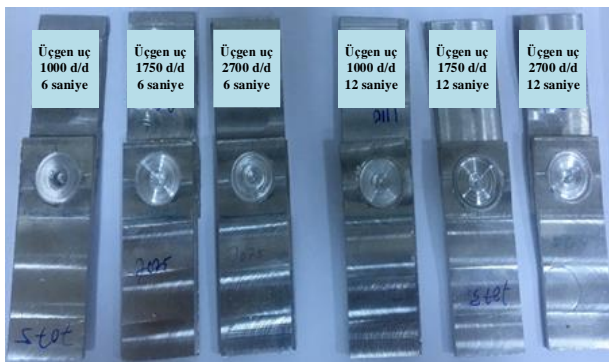
Malzeme	Karıştırıcı uç Profili	n: Dönme devri (d/d)	t: Sürtünme süresi(saniye)
AA5182/AA7075	Konik	1000	6
			12
		1750	6
			12
			6
			12
2700	6		
	12		

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1123093

	1000	6	12
Üçgen	1750	6	12
	2700	6	12
		6	12
		6	12



Şekil 3. Kaynak işlemlerinin yapıldığı Freze tezgâhı



Şekil 4. Üçgen profil uç kullanılarak kaynak edilen numuneler

#### Metalografik ve Mikro Sertlik İncelemeler

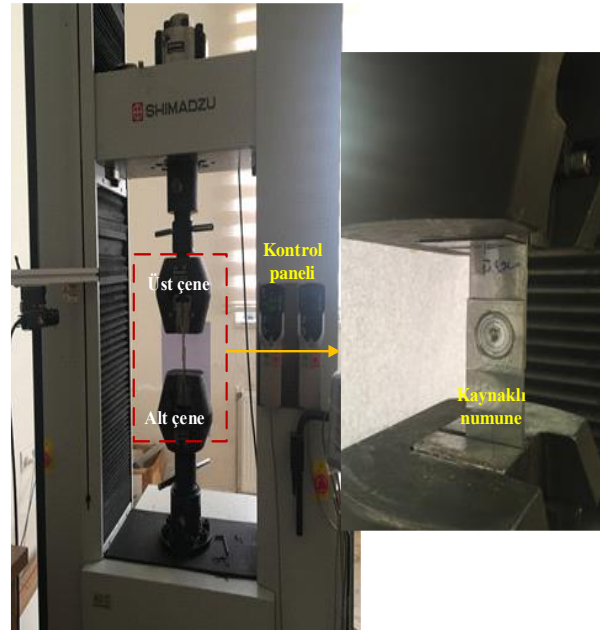
SKNK ile yapılan birleştirmelerde kaynak bölgesinde oluşan mikroyapısal değişimleri gözlemlemek için numunelerin metalografik işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu amaçla

kaynak bölgesinden kesilen numunelerin zımparalama, elmas pasta ile yüzey temizleme ve elmas pasta ile yüzey parlatma işlemleri yapılmıştır. Zımparalama işlemi için sırasıyla 220, 400, 800 ve 1200 gritlik zımparalardan geçilmiştir. Daha sonra 3 mikronluk elmas pasta ile numunelerin son parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma ve zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra numunelerin dağlama işlemi yapılmıştır. Bu işlem için 6 ml nitrik asit, 2 ml HF ve 92 ml saf sudan oluşan dağlayıcı çözeltisi kullanılmıştır.

Kaynak işlemi sırasında oluşan ısıdan dolayı kaynaklı numunelerde farklı mikro-yapısal bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgeler arasında oluşan mikrosertlik değişimleri gözlemlemek kaynaklı bağlantılar için çok önemlidir. Bu amaçla bu çalışmada Vickers (HV0.1) sertlik ölçüm birimi kullanılarak numunelerden 1N yük altında 1 mm'lik aralıklarla mikro-sertlik ölçümleri alınmıştır.

#### Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi

SKNK tekniği ile kaynak edilen AA5182/AA7075 alüminyum alaşım çiftlerinin çekme dayanımlarını belirlemek için her parametreden en az üç numunenin çekme testi yapılmıştır. Deneyler 250 kN yük kapasitesine sahip SHIMADZU marka çekme test cihazında 1mm/dk sabit ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te çekme işlemi esnasında çekilen bir görüntü verilmektedir.

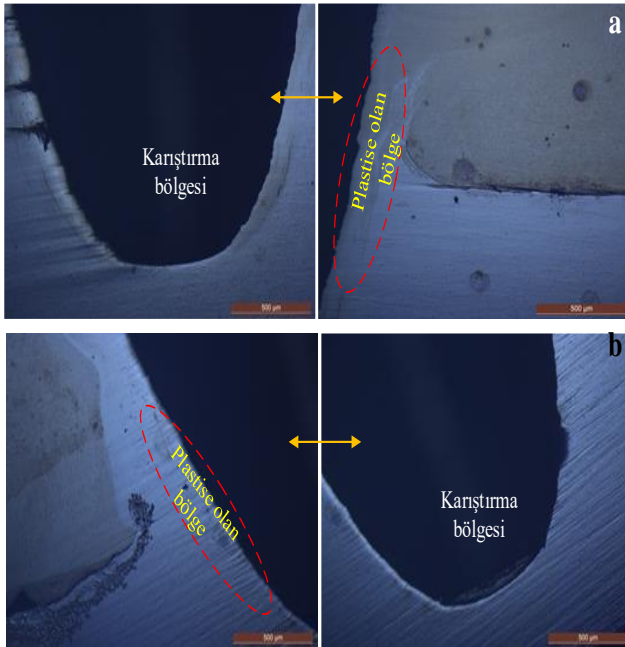


Şekil 4. Çekme deneyleri yapılan numuneler

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1123093

## TARTIŞMA VE SONUÇ

SKNK yöntemi kullanılarak AA5182/AA7075 alüminyum alaşım çiftlerinin; konik helisel ve üçgen karıştırıcı uçlar, 1000, 1750 ve 2700 d/d dönme devirleri, 6 ve 12 saniye sürtünme sürelerinde kaynakları yapılmıştır. Kaynak işlemleri bittikten sonra parametrelerin birleştirmeler üzerindeki etkilerini incelemek için mikro yapı analizler ve mekanik testler yapılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da yapılan kaynakların optik, şekil 7 ve şekil 8'de SEM görüntüleri, şekil 9 ve şekil 10'da mikro-sertlikler ve şekil 11 ve şekil 12'de ise çekme deney grafikleri verilmiştir.



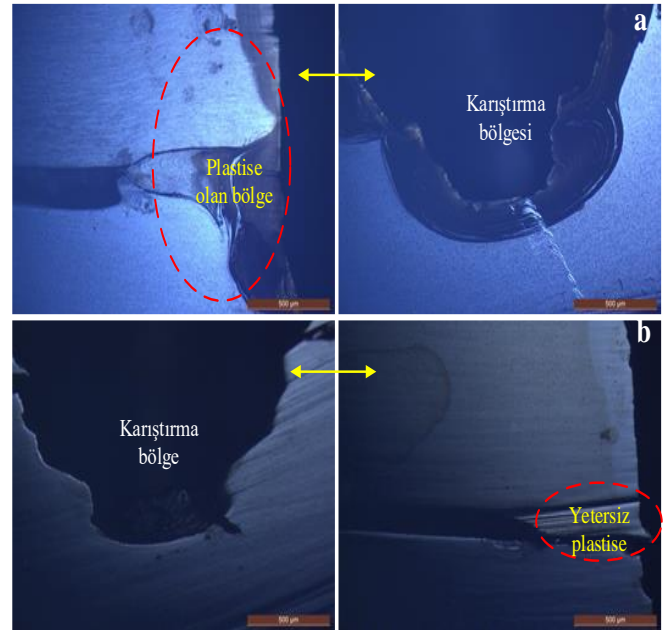
**Şekil 5.** Konik helisel karıştırıcı uç kullanılarak kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım çiftinin mikro-yapı görüntüleri (a: 1000 d/d - 6 saniye; b:2700 d/d - 12 saniye)

Şekil 5'te konik helisel uç'un kullanıldığı kaynak işleminin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, karıştırma bölgesinde düz (homojen) bir malzeme akışının olduğu görülmektedir. Yani derin tünel boşlukların olduğu bir yapı görülmemektedir. 12 saniye sürtünme süresinin olduğu numunenin karıştırma bölgesinin etrafında yüksek ısının etkisiyle daha açık bir renk görünümü almıştır (Şekil 5-b).

Şekil 6'da üçgen karıştırma uç'un kullanıldığı numunelerin mikro yapı görüntüleri ele alındığında helisel konik karıştırıcı uç'un kullanıldığı kaynaklara

göre karıştırma bölgelerinde farklı bir mikro yapının olduğu görülmektedir. Çünkü karıştırma bölgesinin nihai mikro yapısına incelendiğinde birleşme bölgelerinde iyi bir malzeme akışının olmadığından birleşmeyen bölgelerin varlığı görülmektedir. Bu durumun üçgen karıştırıcı uç'un geometrik yapısına bağlı olarak kaynak işlemi esnasında malzemenin yeterli düzeyde plastise edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 7'de Konik helisel uç'un kullanıldığı kaynak işleminde KM, TMAB ve IEB'in SEM görüntüleri verilmiştir.



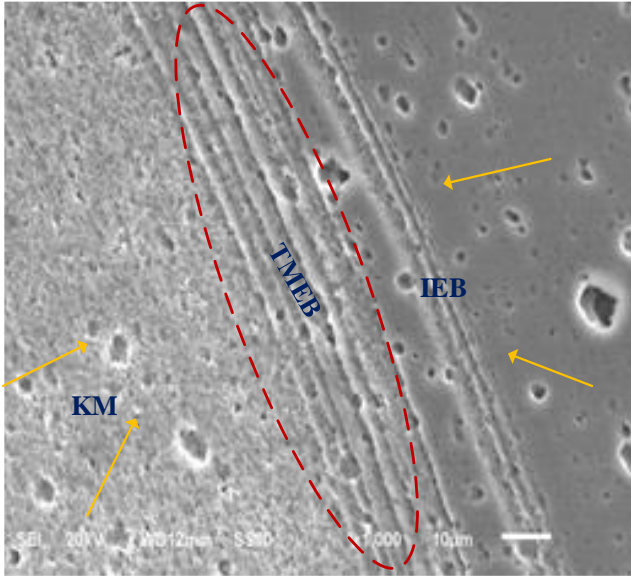
**Şekil 6.** Üçgen karıştırıcı uç kullanılarak kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım çiftinin mikro-yapı görüntüleri (a: 1000 d/d- 6 saniye; b:2700 d/d - 12 saniye)

Şekil 7'de konik helisel uç'un kullanıldığı kaynak işleminin SEM görüntüsünde, KM'den (kaynak bölgesi) IEB'e (ısı etkisi altındaki bölge) doğru gidildikçe ısının etkisiyle malzemenin renginde koyulaşmanın olduğu görülmektedir. KM'nin ince taneli bir yapıya sahip olduğu ancak TMAB (Termomekaniksel olarak etkilenen bölge) ve IEB'de iri taneli yapıya sahip olduğu görülmüştür. Kaynak işlemi esnasında TMAB plastik deformasyona uğrarken (Şekil 7'de deformasyon çizgileri net bir şekilde görülmektedir) IEB ise yüksek ısıya maruz kalmaktadır. Soğuma esnasında bu bölgelerdeki atomlar yeterli difüze olabilecek zamanları olmadığı için ara yerlerde kararsız kalmaktadırlar. Bu durum

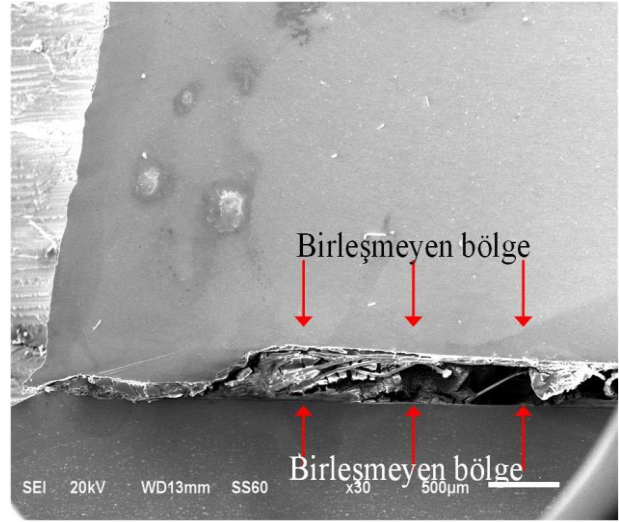
Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1123093

malzemenin TMEB ve IEB bölgelerinde iri taneli bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur.

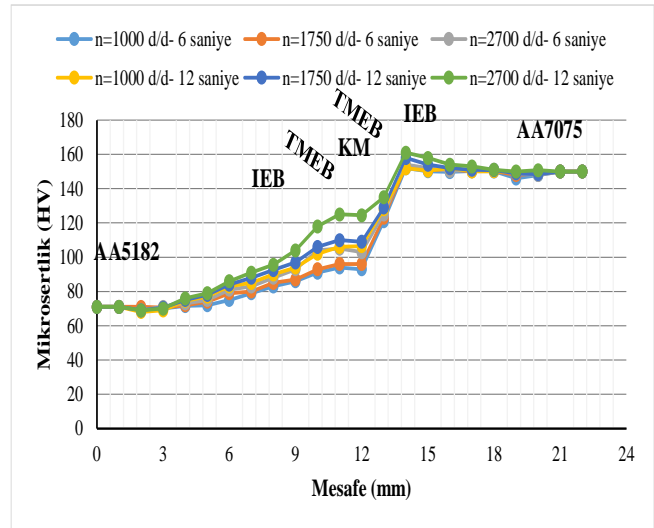
Şekil 8’de üçgen karıştırıcı uç’un, 2700 d/d dönme devri ve 12 saniye sürtünme süresi parametreleri ile kaynak edilen numunenin SEM görüntüsü verilmiştir. Görüntülerde birleşmeyen bölgelerin varlığı rahatlıkla görüle bilinmektedir. Bu durumun kaynak işleminde malzemenin plastise etmesini beklenen üçgen karıştırıcı uçtan kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı parametrelerin ve helisel konik karıştırıcı ucun kullanıldığı kaynak işleminin mikroyapı görüntüsü (Şekil 5-b ve Şekil 7) ile kıyaslandığında bu durum rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 7. Konik helisel karıştırıcı uç kullanılarak kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım SEM görüntüsü (2700 d/d – 12 saniye)

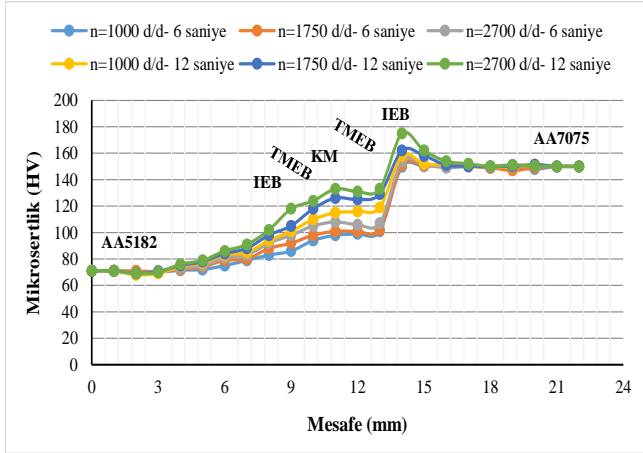


Şekil 8. Üçgen karıştırıcı uç kullanılarak kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım SEM görüntüsü (2700 d/d – 12 saniye)



Şekil 9. Konik helisel uç kullanılarak kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım çiftlerinin sertlikleri

Research article/Araştırma makalesi  
DOI:10.29132/ijpas.1123093

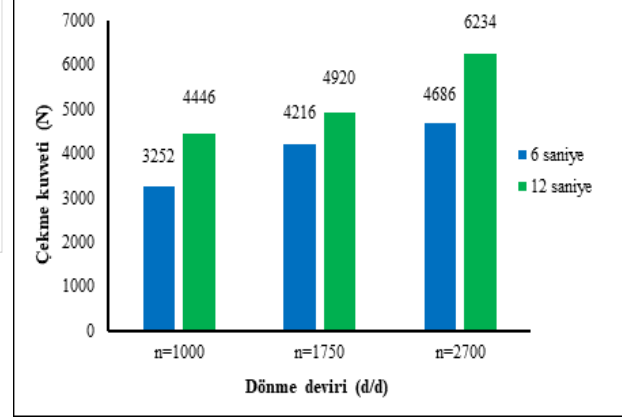


Şekil 10. Üçgen uç kullanılarak kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım çiftlerinin sertlikleri

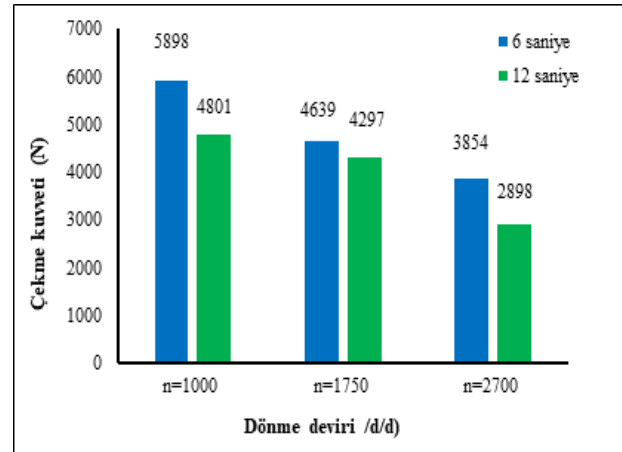
Şekil 9 ve Şekil 10'da mikro-sertlik grafikleri incelendiğinde, AA5182 malzemesinden kaynak merkezine (KM) doğru gidildikçe sertlik değerlerinde artışların olduğu görülmüştür. Özellikle ısı etkisi altındaki bölgelerde (IEB) bu durum daha açık bir şekilde görüle bilinmektedir. Bu durumun soğuma ile birlikte malzemenin tane yapısının değişmesinden (Şekil 7) kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Ekinci'nin (2021) yaptığı doktora çalışmalarında KM, TMEB ve IEB'ler de oluşan sertlik değerlerinin kaynak işlemi esnasında oluşan ısıya bağlı olarak meydana gelen tane yapılarından etkilendiğini belirtmiştir. Ayrıca Kaçar ve ark. (2011) Dinamik olarak yeniden kristalleşmeyle TMEB'de oluşan ince taneli yapıdan benzer şekilde sertlik artışlarının olduğunu ifade etmişlerdir. KM'den AA7075 ana malzemesine doğru gidildikçe benzer şekilde IEB'de hızlı soğuma ile birlikte malzeme de meydana gelen tane irileşmesine bağlı olarak sertlikte ani artışlar olmuştur. AA7075 malzemesinin ısı iletim katsayısı AA5182'de daha yüksek olduğu için IEB'nin de artışlar daha yüksek olmuştur. Bu durum özellikle üçgen karıştırıcı uç 'un 2700 d/d dönme hızı ve 12 saniye sürtünme süresi parametrelerinin kullanıldığı numunede daha açık bir şekilde görülmüştür. Bunun sebebi üçgen karıştırıcı uç 'un karıştırma esnasında konik helisel karıştırıcı uç'a göre daha fazla zorlanmasıyla birlikte karıştırma bölgesinde daha yüksek ısının oluşmasına sebebiyet vermesinden kaynaklandığı öngörülmüştür. KM bölgesinde en yüksek sertlik 133 HV ile n=2700 d/d-12 saniye parametrelerin üçgen karıştırıcı uç ile yapılan kaynaktan elde edilmiştir. Helisel konik karıştırıcı uç'un kullanıldığı kaynaklarda ise KM

bölgesinde n=2700 d/d ve 12 saniye sürtünme süresinde 125 HV olarak ölçülmüştür.

Şekil 11 ve Şekil 12'de konik helisel uç ve üçgen karıştırıcı uçların kullanıldığı kaynaklı birleştirmelerin çekme deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 11. Konik helisel uç 'un kullanıldığı numunelerin çekme değerleri



Şekil 12. Üçgen uç 'un kullanıldığı numunelerin çekme değerleri

Farklı dönme devri ve farklı sürtünme sürelerinde konik helisel ve üçgen karıştırıcı uçlar ile yapılan SKNK birleştirmelerin çekme dayanımları üzerindeki etkileri Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Sabit dönme devirlerinde yapılan birleştirmelerde konik helisel karıştırıcı uç 'da 12 saniye sürtünme süresinin kullanıldığı kaynaklarda daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilirken üçgen uç 'da 6 saniye sürtünme sürelerinde daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilmiştir. Helisel konik karıştırıcı uç 'un kullanıldığı deneylerde 2700 dönme devri 'de en yüksek çekme kuvveti elde edilmiştir. Ancak üçgen karıştırıcı uç 'un kullanıldığı birleştirmelerde ise en



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1123093

yüksek çekme kuvveti 1000 d/d ve 6 saniye sürtünme süresi parametrelerinde 5898 N olarak elde edilmiştir. Konik helisel uçta yüksek devirde karıştırma bölgesinde malzeme daha iyi plastite edildiği için daha iyi kaynak bağlantıları elde edilmiştir. Yapılan mikro yapı analizlerinden bu durum rahatlıkla ifade edilebilir. Ancak Üçgen profili uçta, pin profilinden dolayı yüksek devirde malzeme akışı homojen olmadığı için tersi bir durum meydana gelmiştir. Şekil 6'da mikroyapı görüntülerinde 2700 d/d ve 12 saniye parametrelerinde yapılan birleşmenin kaynak bölgesindeki yetersiz bileşimler ve tünel boşluklardan bu durum görülmektedir. Konik helisel ve üçgen karıştırıcı uçların kullanıldığı kaynaklı birleştirmeler de en yüksek çekme kuvveti 6234 N ile konik helisel karıştırıcı uç'un kullanıldığı deneyler de elde edilmiştir. Sudağ ve Akkurt, (2014) Konik, üçgen ve kare profili karıştırıcı uçların kullanıldığı SKNK birleştirmelerinde en yüksek çekme kuvvetini kare profili uç'un kullanıldığı birleştirmeler de elde edildiğini belirtmişlerdir.

## SONUÇLAR

Konik helisel ve üçgen karıştırıcı uçlar, 1000, 1750 ve 2700 d/d dönme devirleri ve 6 ve 12 saniye sürtünme süreleri parametreleri kullanılarak AA5182/AA7075 alüminyum alaşım çiftleri sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile başarılı bir şekilde kaynak edilmiştir. Parametrelerin kaynak birleşimleri üzerindeki etkileri belirlemek için mikro yapı analizleri ve mekanik testler (sertlik ve çekme deneyleri) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Konik helisel karıştırıcı uç tipinin kullanıldığı kaynak işleminin mikroyapı analizlerinde, karıştırma bölgesindeki malzeme akışı daha homojen olmuştur. Üçgen karıştırıcı uç'un kullanıldığı kaynak işlemlerde tam malzeme akışı ve plastite sağlanamadığı için birleşmeyen bölgelerin varlığı tespit edilmiştir.

2. Yapılan kaynak işlemlerinin mikrosertlik deneylerinde ısı etkisi altındaki bölgelerde ani sıçramalar olmuştur. Özellikle üçgen karıştırıcı uç, 12 saniye sürtünme ve 2700 dönme devri parametrelerin kullanıldığı numunede çok belirgin artışlar olmuştur. Kaynak merkezindeki en yüksek mikrosertlik değeri de bu numune de 133 HV olarak ölçülmüştür. Konik helisel uçta ise yine Kaynak merkezindeki en yüksek sertlik benzer parametrelerin kullanıldığı kaynak işleminde 125 HV olarak ölçülmüştür.

3. Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneylerinde, sabit dönme devirlerinde ve farklı sürtünme sürelerinde konik helisel karıştırıcı uçun kullanıldığı kaynaklarda, 12 saniye sürtünme sürelerinin kullanıldığı birleştirmelerde daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilmiştir. Ancak üçgen karıştırıcı uçta 6 saniye sürtünme süresinde daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilmiştir. Yapılan bütün birleştirme işlemlerinde en yüksek çekme kuvveti, konik helisel karıştırıcı uç, 2700 d/d dönme devri ve 12 saniye sürtünme süresi parametrelerin kullanıldığı kaynak işleminde 6234 N olarak elde edilmiştir. Konik helisel uçta daha yüksek çekme kuvvetinin elde edilmesi, malzemenin bu uç'ta daha iyi plastise olması ve buna bağlı olarak boşluksuz düzgün dağılımlı kaynak metali elde edilmesidir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Awang, M., Ismail, A. and Zaman, M. A. K. (2016). Effect of process parameters on the strength of swept friction stir spot-welded plates. *Advanced Structured Materials*, 61(May), 105–110. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1082-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1082-8_11)
- Colmenero, A. N., Orozco, M. S., Macías, E. J., Fernández, J. B., Muro, J. C. S. D., Fals, H. C. and Roca, A. S. (2019). Optimization of friction stir spot welding process parameters for Al-Cu dissimilar joints using the energy of the vibration signals. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(9–12), 2795–2802. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2779-y>
- Çetkin, E. (2018). TIG, MIG ve FSW yöntemleri kullanılarak birleştirilen AA7075/AA5182 kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora tezi, Batman üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Batman.
- Ding, Y., Shen, Z. and Gerlich, A. P. (2017). Refill friction stir spot welding of dissimilar aluminium alloy and AISi coated steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 30, 353–360. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.10.006>

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI:10.29132/ijpas.1123093

- Ekinci, Ö. (2021). Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilen 7075 Al ve AZ91 Mg alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Doktora tezi, Bingöl Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Bingöl.
- Fereiduni, E., Movahedi, M., and Kokabi, A. H. (2015). Aluminium/steel joints made by an alternative friction stir spot welding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 224, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.04.028>
- Kaçar, R., Ertek EMRE, H., Demir, H. ve Gündüz, S., (2011) Al-Cu-Al malzeme çiftinin sürtünme karıştırma nokta kaynak kabiliyeti. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 26, No 2, 349-357.
- Kim, J. R., Ahn, E. Y., Das, H., Jeong, Y. H., Hong, S. T., Miles, M., & Lee, K. J. (2017). Effect of tool geometry and process parameters on mechanical properties of friction stir spot welded dissimilar aluminium alloys. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18(3), 445–452. <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0053-0>
- Kubit, A., Kluz, R., Trzepieciński, T., Wydrzyński, D. and Bochnowski, W., (2018) Analysis of the mechanical properties and of micrographs of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminium sheets. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 18, Issue 1, 235 – 244. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.07.00>
- Li, Z., Yue, Y., Ji, S., Peng, C. and Wang, L. (2016). Optimal design of thread geometry and its performance in friction stir spot welding. *Materials and Design*, 94, 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.01.081>
- Li, W.Y., Chu, Q., Yang, X.W., Shen, J.J., Vairis, A. and Wang, W.B., (2018) Microstructure and morphology evolution of probeless friction stir spot welded joints of aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.09.003>
- Reimann, M., Goebel, J., Gartner, T. M. and dos Santos, J. F. (2017). Refilling termination hole in AA 2198–T851 by refill friction stir spot welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 245, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.02.025>
- Siddharth, S. and Senthilkumar, T., (2018) Development of friction stir spot welding windows for dissimilar Al5086/C10100 spot joints. *Materials Today: Proceedings*, 5, 6550–6559.
- Sudag, M. and Evran, A. (2014). Estimation of Friction Stir Spot Welded Aluminium Alloy's Tensile Strength with the Method of Multiple Regression Analysis. July 2015.
- Tier, M. D., Rosendo, T. S., Mazzaferro, J. A., Mazzaferro, C. P., dos Santos, J. F. and Strohaecker, T. R. (2017). The weld interface for friction spot welded 5052 aluminium alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(1–4), 267–276. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9370-1>.
- Ouyang, J., Yarrapareddy, E. and Kovacevic, R. (2006). Microstructural evolution in the friction stir welded 6061 aluminium alloy (T6-temper condition) to copper. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1), 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.09.013>
- Yuan, W., Mishra, R.S., Carlson, B., Verma, R. and Mishra R.K., (2012) Material flow and microstructural evolution during friction stir spot welding of AZ31 magnesium alloy. *Mater Sci Eng A* 2012; 543:200–9.