

# 6061 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi

## Investigation on the Joinability of Al 6061 Al-Alloy Plates with Friction Stir Welding

İlker EKER<sup>a</sup> ve İbrahim SEVİM<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Çukurova Makine İmalat ve Ticaret A.Ş. Adana Yolu üzeri PK. 6; 33460, Tarsus, Mersin

<sup>b</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 33343, Çiftlikköy, Mersin

Geliş Tarihi/Received: 06.05.2009, Kabul Tarihi/Accepted: 02.06.2009

### Özet

Bu çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle birleştirilen alüminyum döküm levhaların kaynak bölgelerinin değişen parametrelerle mikrosertlik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak süresince karıştırıcı ucun devir sayısı ve kaynak ilerleme hızı değişken parametreler olarak alınmıştır. Alüminyum alaşımlı levhaların kaynağında SAE 8620 malzeme numaralı sementasyon çeliğinden imal edilmiş karıştırıcı uç kullanılmıştır. Karıştırıcı ucun devir hızı sabitken kaynak ilerleme hızı dört farklı değerde seçilmiştir. Kaynaklı birleştirmelere metalografik ve mekanik testler yapılarak işlem parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Alüminyum alaşımlar, Sürtünme karıştırma kaynağı, Bindirme kaynağı.

### Abstract

In this study, the microhardness and mechanical properties of welding zones of cast aluminum sheets welded by friction stir welding method have been examined with variable parameters. During welding, rotational speed of the welding stir tool and welding speed were chosen as the variable parameters. A welding tool made of case hardened steel (material number being SAE 8620) was employed in the welding of aluminum plates. Four different welding speeds are considered at constant rotational speed of the mixer tip. Influence of process parameters were investigated by metallographic studies and mechanical tests.

**Keywords :** Aluminum alloys, Friction stir welding, Overlap welding.

### 1. GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynağı(FSW), TWI tarafından 1991 yılında bulunmuş ve patenti alınmış bir katı hal kaynağıdır (Kurt v.d., 2003; Külekçi, 2003). Bu kaynak yöntemi, yüksek sıcaklığa dayanacak bir takım malzemesi olmadığı için çoğunlukla düşük ergime derecesine sahip Al, Mg ve bakır alaşımları gibi malzemeler için daha yaygın olarak uygulanmaktadır (Çam, 2001; Külekçi ve Şık, 2003). Alü-

minyum alaşımları hafifliği, yüksek mukavemeti ve ısı iletkenliği dolayısıyla uzay ve taşıma endüstrisinde çok geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Alüminyum alaşımları diğer alışıla gelmiş kaynak yöntemleriyle kaynak yapıldığında kaynak yüzeylerinin hazırlanması pahalı, kaynak esnasında oluşan yüzey oksidi ve kaynak bölgesinin yavaş katılaşması ve gözenek oluşumundan dolayı kaynak yöntemleri tercih edilmemektedir (Mishra ve Ma, 2005; Lee ve Seung-Boo Jung, 2004).

**Tablo 1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi (%).**

Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Cu	Al
0.56	1.03	0.10	0.59	0.14	0.03	0.25	97.12

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail adress: izevim@mersin.edu.tr (İ. Sevim)

Sürtünme karıştırma kaynağı, küt ve bindirmeli kaynak pozisyonlarındaki malzemelerin kaynaklarında emniyetli olarak kullanılabilen bir kaynak yöntemidir. Yöntemin uygulanması sırasında duman, zehirli gaz ve ışın oluşmaması, ayrıca, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, otomasyona uygun olması gibi daha birçok üstünlüğünün bulunması, bu kaynak uygulama alanlarını daha da genişletmektedir (Kurt v.d., 2004; Fujii v.d., 2006).

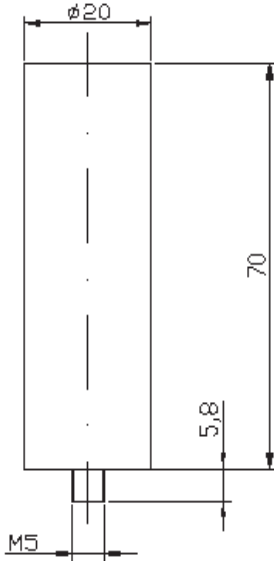
Bu çalışmada, kimyasal bileşimi aşağıda Tablo 1'de verilen 6061 alüminyum alaşımları kaynak edilecek; kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan alüminyum alaşımı malzemeye, sürtünme karıştırma kaynağı uygulanarak farklı devirler ve ilerleme hızlarında bindirme kaynakları yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerde, kaynak kalitesini belirlemek amacıyla mikro sertlik ölçümleri ve çekme deneyleri yapılmış ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 2. DENEY VE TARTIŞMA

### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada, 6061 alüminyum deney numunesinden 3 mm kalınlığında plakalar kesilerek kaynak malzemesi olarak kullanılmıştır.

Kaynak yapmak için SAE 8620 sementasyon çeliği karıştırıcı uç malzemesi olarak seçilmiş ve tornada Şekil 1'de gösterilen ölçülerde işlenmiş ve daha sonrada bu karıştırıcı uca ısıtma işlemi uygulanmış ve sertliği 56 HRC olarak ölçülmüştür.



Şekil 1 Karıştırıcı ucun geometrisi.

### 2.2. Yöntemler

Kaynak işlemi, maksimum devir sayısı 1400 min<sup>-1</sup> ika olan yarı otomatik freze tezgahında yapılmıştır (Şekil 2). Kaynak yapılacak malzemeler frezenin tablası üzerine bağlama pabuçlarıyla sabitlenerek kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak yönü, parçanın uzun kenarı kaynak ilerleme yönü doğrultusunda olacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 2. Kaynak işleminin gerçekleştirildiği freze tezgahı.

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde alüminyum alaşımı malzemeye kaynak işlemi öncesinde herhangi bir yüzey işleme, ısıtma işlemi ve oksit giderme işlemleri yapılmamış, kaynak ağzı açılmamıştır. Karıştırıcı uç frezenin düşey miline monte edilmiş ve kaynağa tabi tutulacak parçalar, uzun kenarları üst üste (bindirme) gelecek şekilde freze tezgahı tablasına bağlama pabuçları yardımıyla bağlanmıştır.

Bu çalışmada, alüminyum ve alaşımları için literatürde verilen devir sayıları ve ilerleme hızları kullanılarak optimum kaynak mukavemeti elde etmek için Tablo 2'de verilen kaynak parametreleri kullanılarak kaynak edilecek parçalar tek yönlü kaynak edilmiştir (Külekcı, 2003; Külekcı v.d., 2005.).

Tablo 2. Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri.

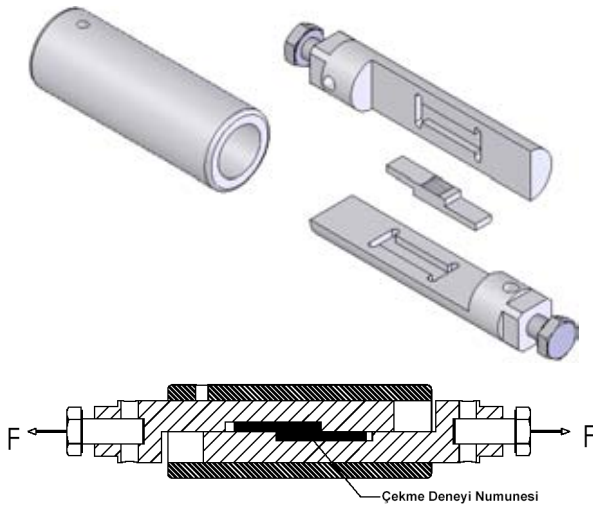
Devir sayısı, n (min <sup>-1</sup> )	İlerleme Hızı, V (mm/min)
1100	180
1100	125
1100	90
1100	63
1400	180
1400	125
1400	90

Karıştırıcı ucun omuz kısmı kaynak edilecek parçalar ile temas edinceye kadar düşey yönde ilerleme sağlanmıştır. Karıştırıcı ucun yatay yöndeki ilerleme hareketine başlamasından önce her bir kaynak işleminde yeterli ısı girdisinin sağlanması için karıştırıcı ucun omuz kısmı ile parçalar arasında 50-60 saniye sürtünme uygulanmıştır. Daha sonra karıştırıcı uca Tablo 2'deki parametrelere uygun olarak devir sayısı ve ilerleme hızı uygulanmıştır. Kaynak edilecek levha ile temasa geçen karıştırıcı ucun omuz kısmının yüzeyden bir miktar içeriye dalması sebebiyle karıştırıcının dişli ucunun freze tablasına temas etmemesi için 6.00 mm kalınlığındaki deney numunelerinde 5.80 mm uzunluğunda karıştırıcı vidalı uç kullanılmıştır.

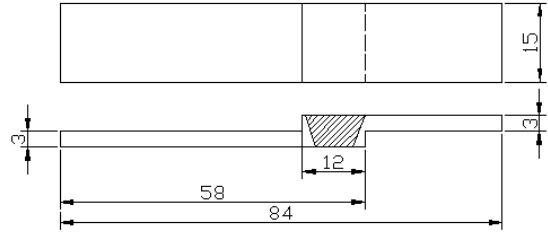
Yapılan kaynaklar, kenarlar standartlara (ANSI/AWS D9.1-90) göre üst üste binecek kısmın uzunluğu; parça kalınlığının 4 katı olduğundan 12 mm alınmış mikrosertlik ve çekme testleri için numuneler hazırlanmıştır.

Mikrosertlik ölçümleri için 6,00 mm kalınlığındaki kaynaklı parçanın yüzeyleri önce 400-600 mikron su zımparası ile zımparalanmış ve daha sonrada parlatılmıştır. Mikrosertlik ölçüm işleminde kaynak ilerleme yönüne dik doğrultular-da sertlik ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler, merkezde bir adet olmak üzere birer mm aralıklarla ölçülmüştür.

Çekme testleri için, 60 ton-600kN kapasiteli ALŞA markalı Ünlversal Çekme-Eğilme-Basınç test cihazı kullanılmıştır. Çekme deneyinde Şekil 3'de verilen aparat kullanılmıştır. Çekme deneyi için Şekil 4'de gösterilen ölçülerde numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3. Çekme-makaslama deneyi için yapılan bağlama aparatı.



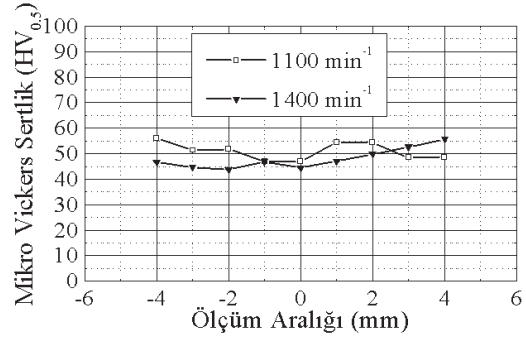
Şekil 4. Kaynaklı malzemeden çıkartılan çekme-makaslama deney numunesi şekli ve ölçüleri.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

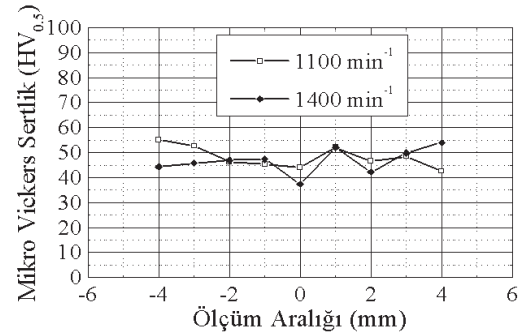
Bu çalışmada sertlik ölçümleri ve çekme test sonuçlarında elde edilen değerler aşağıdaki gibidir;

#### 3. 1. Sertlik İnceleme Sonuçları

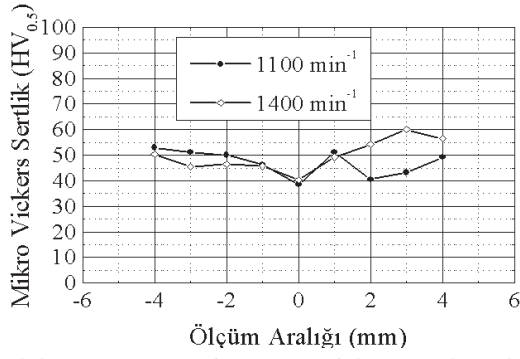
Bu çalışmada, DHV-1000 mikroVickers sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçmede 4.903 N ağırlık uygulanmış ve ana malzemenin sertliği 70 HV ölçülmüştür. Sabit dönme hızı ve değişen ilerleme hızlarına bağlı olarak sertliğin ölçüm aralığına göre değişim grafikleri Şekil 5-9, kaynak bölgesi ortalama sertliği ve ölçüm aralığı arasındaki değişim Şekil 10'da ve kaynak bölgesinin kesme-makaslama sonucunda oluşan hasarın yeri ve Mikro Vickers sertlik tarama bölgesi Şekil 11'de verilmiştir.



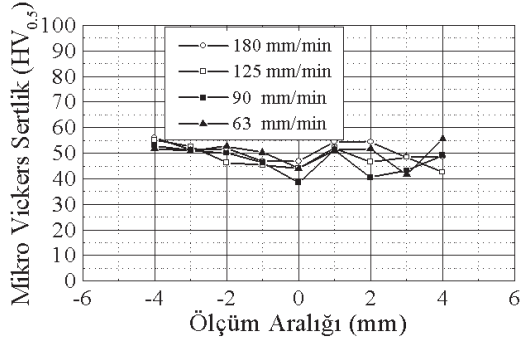
Şekil 5. n: 1400 min<sup>-1</sup>, 1100 min<sup>-1</sup> devir sayılarında ve V:180 mm/min kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı.



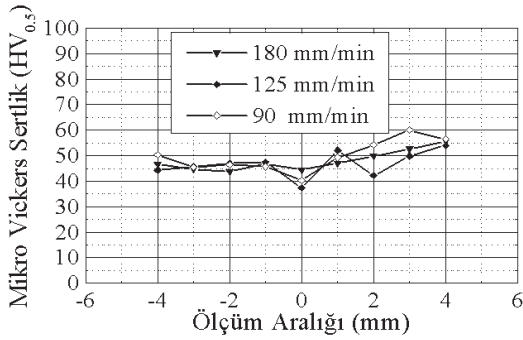
Şekil 6. n: 1400 min<sup>-1</sup>, 1100 min<sup>-1</sup> devir sayılarında ve V:125 mm/min kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı.



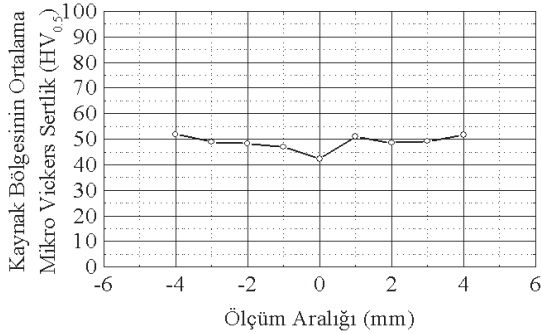
Şekil 7.  $n=1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $1100 \text{ min}^{-1}$  devir sayılarında ve  $V:90 \text{ mm/min}$  kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı.



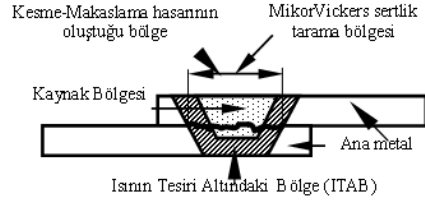
Şekil 8.  $n=1100 \text{ min}^{-1}$  devir sayısında ilerleme hızındaki artışla sertlik değişimi.



Şekil 9.  $n=1400 \text{ min}^{-1}$  devir sayısında ilerleme hızındaki artışla sertlik değişimi.



Şekil 10. Kaynak bölgesi ortalama sertliği ve ölçüm aralığı arasındaki değişim.



Şekil 11. Kesme-makaslama hasarının olduğu yer ve MikroVickers sertlik tarama bölgesi.

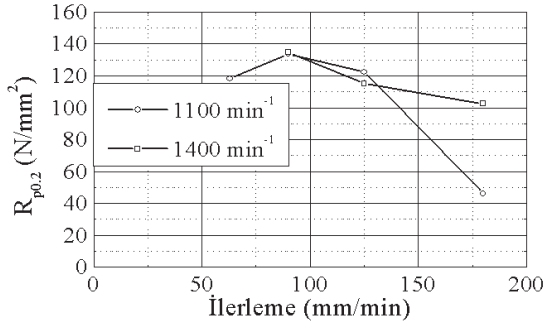
### 3. 2. Çekme Deneyini İnceleme Sonuçları

Deneyde kullanılan alüminyum alaşımının belli bir kesme mukavemeti ve akma sınırı standardına literatürde rastlanılmamıştır. Bundan dolayı da literatürde (Metal Handbook, 1971) alüminyum için verilen kesme mukavemeti ve akma sınırı denklemlerinden faydalanılarak bu alüminyum alaşımının kesme mukavemeti ve akma sınırı hesaplanmıştır.

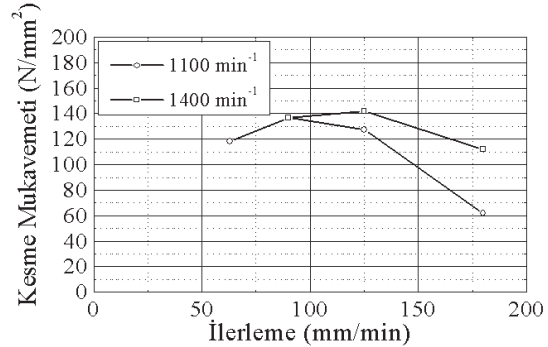
$$R_m = 0.189 \text{ HV} - 1.38 \text{ Ton/in}^2$$

$$R_{p0.2} = 0.148 \text{ HV} - 1.59 \text{ Ton/in}^2$$

Ana malzemenin kesme mukavemeti ve akma sınırı hesaplamalara göre  $R_m = 180 \text{ MPa}$  ve  $R_{p0.2} = 133 \text{ MPa}$  bulunmuştur. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile bindirme kaynağı yapılan parçaların kaynak edilebilme kabiliyetini belirlemek amacıyla her bir numuneden alınan çekme numuneleri çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Devir sayısı sabit tutularak ilerleme hızının değişmesiyle elde edilen kaynaklı numunelerin kesme mukavemeti ve akma mukavemeti değerleri Şekil 12-13'de verilmiştir.



Şekil 12.  $n=1400 \text{ min}^{-1}$  ve  $1100 \text{ min}^{-1}$  devir sayılarında ilerleme hızı ile akma mukavemetinin değişimi.



Şekil 13.  $n=1400 \text{ min}^{-1}$  ve  $1100 \text{ min}^{-1}$  devir sayılarında ilerleme hızı ile kesme mukavemetinin değişimi.

#### 4. SONUÇLAR

1. Yapılan sürtünme karıştırma kaynaklarında değişen dönme hızı ve ilerleme hızı parametrelerine bakıldığında Şekil 5-10' da görüldüğü gibi kaynak merkezinde en düşük sertlik değerleri kaynak merkezinden uzaklaştıkça ise sertlik değerlerinde belirli bir artma ve daha sonra ana metalin sertliğine ulaşmakta olduğu gözlemlenmiştir.
2. Ortalama sertlik değerleri alındığında ölçüm aralığına bağlı olarak değişim grafiği (Şekil 10) incelendiğinde de yukarıda belirtildiği gibi kaynak merkezinin sertliğinde bir azalma ana metale doğru alınan ölçümlere bakıldığında ise sertlikte artış olduğu görülmüştür.
3. Çekme-makaslama deneylerinin sonuçlarından görüldüğü gibi hem 1100 devir sayısında hem de 1400 devir sayısında ilerlemeye bağlı olarak hem akma mukavemetinde hem de kesme mukavemetinde 90 mm/min ilerleme hızına kadar az bir artış, ilerleme hızı arttıkça da bir azalma olduğu gözlenmiştir.
4. Genel olarak bakıldığında ise 1400 devir sayısındaki kesme mukavemeti 1100 1100 devir

sayısındakine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buda 1400 devir sayısında yapılan kaynak işleminde kaynak bölgesindeki ısının 1100 devir sayısında yapılan kaynak işlemine göre daha fazla ısı girişi olmasındandır (Taban ve Kaluç, 2006; Külekçi v.d., 2008). Oda sıcaklığından itibaren metalik malzemeler ısıtıldığında sıcaklık artışına bağlı olarak önce toparlanma, daha sonra yeniden kristalleşme, bir sonraki aşamada tane büyümesi, eğer sıcaklık daha da artarsa ergime olmaktadır (Manufacturing Engineering and Technology, 2006). Dolayısıyla, 1400 devir sayısında daha yüksek mukavemet değerlerine çıkılması kaynak işleminin yeniden kristalleşme bölgesinde gerçekleştiğini göstermektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (BAP) tarafından MUHFMM(IS) 2007-1'nolu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, projenin gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Mersin Üniversitesi BAP'a sonsuz teşekkürlerini sunar.

#### KAYNAKLAR

- Çam, G. 2001. "Al-Alaşımaları için geliştirilen yeni kaynak yöntemleri" Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 267-277, İstanbul, Ekim 2001.
- Fujii, H., Cui, L., Tsuji, N., Maeda, M., Nakata, K. and Nogi, K. 2006. "Friction stir welding of carbon steels", *Materials Science and Engineering: A*, 429 (50-57).
- Külekçi, M. K. 2003. "Mechanical properties of friction stir welded joints of AlCu<sub>4</sub>SiMg", *Kovove Materialy-Metallic Materials*. (41), 97-105.
- Külekçi, M. K., Mendi, F., Sevim, I., Baştürk, O. 2005. "Fracture toughness of friction stir welded of Al-CU<sub>4</sub>SiMg aluminum alloy" *Metalurgija*. (44), 209-213.
- Külekçi, M.K, Şık, A., Kaluç, E. 2008. "Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (36), 877-882.
- Külekçi, M.K. ve Şık, A. 2003. "Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhalarının birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri", *S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7 (3), 93-101.
- Kurt, A., Özdemir, M., Boz, M. 2003. "Alüminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi" *Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*. s. 89-99, 34-25 Ekim, Kocaeli.
- Kurt, A., Boz, M., Özdemir, M. 2004. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi, *Gazi Üniv., Müh. Mim. Fak. Der.* 19 (2), 191-197.
- Lee, W. B. and Seung-Boo Jung, S.B. 2004. "The joint properties of copper by friction stir welding ", *Materials Letters*. 58 (1041-1046).
- Manufacturing Engineering and Technology, Fifth Edition, 2006.
- Metals Handbook, 1971. Vol: 6 Welding and Brazzing.
- Mishra, R. S. and Ma, Z. Y. 2005. "Friction stir welding and processing" *Materials Science and Engineering : R. Reports*. 50 (1-78).
- Taban, E., Kaluç E. 2006. "Microstructural and mechanical properties of double-sided MIG, TIG and friction stir welded 5083- H321 aluminium alloy" *Kovove Materialy-Metallic Materials*. (44), 25-34.