

## SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA KAYNAK HIZININ BİRLEŞEBİLİRLİĞE ETKİSİ

**Adem KURT, Mustafa BOZ\* ve Mehmet ÖZDEMİR\*\***

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Ankara, [ademkurt@gazi.edu.tr](mailto:ademkurt@gazi.edu.tr)

\* Metal Eğitimi Bölümü, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, ZKÜ, Karabük, [mboz25@hotmail.com](mailto:mboz25@hotmail.com)

\*\* Milli Eğitim Bakanlığı

### ÖZET

Bu çalışmada patenti 10 yıllık geçmişe sahip olmasına rağmen endüstriyel uygulamaları hızla yaygınlaşan sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile ticari Al malzemeler birbirleriyle kaynak edilmişlerdir. 5×50×150 mm ebatlarında Al malzemeler freze mengersinde alın altına getirilerek değişik kaynak ilerleme hızlarında birleştirilmişlerdir. Birleştirme işlemi 6.25, 10, 16, ve 20 mm/dak kaynak ilerleme hızlarında ve 800 dev/dak dönme hızında yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerde metalografik ve mekanik testler yapılarak kaynak ilerleme hızının birleşme bölgesinin metalurjik ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak, sürtünme karıştırma kaynağı, Al alaşımlarının kaynağı.

### EFFECT OF WELDING SPEED TO JOINABILITY ON THE FRICTION STIR WELDING

#### ABSTRACT

Although friction stir welding method has been developed for 10 years ago it has found intensive usage in industry now. In this study aluminium sheets with the size of 5×50×120 mm were joined by friction stir welding method by using a milling machine. Joining processes were carried out at 6.25, 10, 16 and 20 mm/min welding speeds and 800 spindle speed. In order to investigate the effect of welding speeds on metallurgical and mechanical properties, metallographic and mechanical tests were carried out on the welded areas of the samples.

**Keywords:** Welding, friction stir welding, welding of Al alloys.

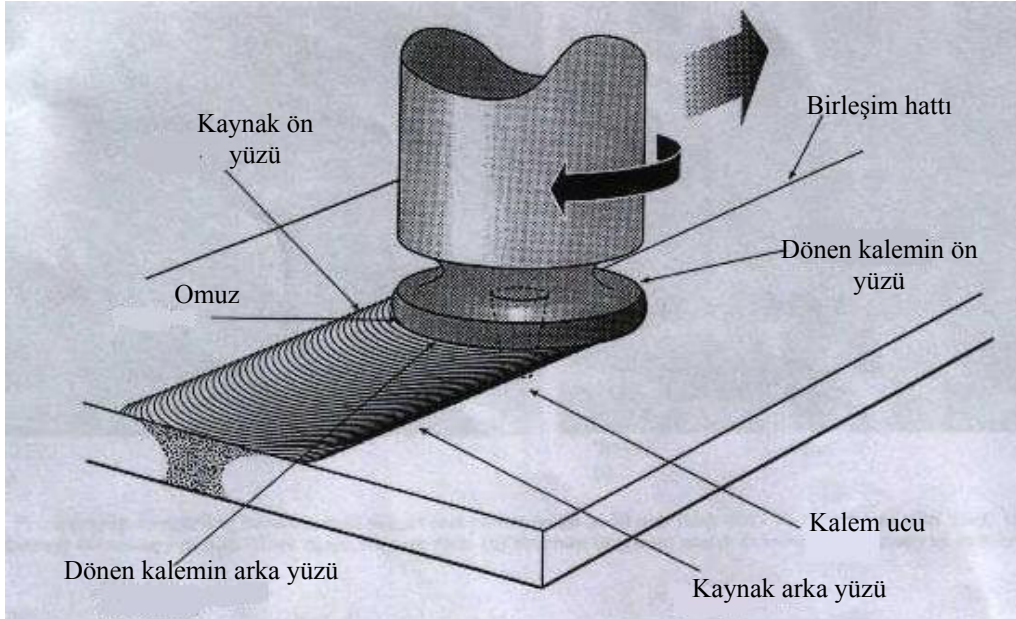
#### GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynak yönteminin geliştirilmiş bir başka yöntemidir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağı genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan ergitmesiz kaynak yöntemidir.

Sürtünme-karıştırma kaynağı, son on yılda keşfedilmiş ve geliştirilmiş bir katı hal kaynak tekniğidir. Herhangi bir boşluk, çatlak veya deformasyon meydana gelmeksizin güvenli bir kaynak yapmanın çok zor olduğu bir çok malzemeyi kaynaklamayı basitleştirmiştir. Bir çok sanayi kuruluşu bu tekniği üretimlerinde kullanmak için pilot çalışmalar yürütmektedir [1,2].

Sürtünme-karıştırma kaynağı tekniği (İngiltere, Cambridge'de TWI tarafından keşfedilen, patenti alınan) klasik sürtünme kaynağının bir türevi olup, kaynak sonrası çok az deformasyonlu, uzunluğuna birleştirilen veya bindirme parçalarının imalatına uygulanacak katı- hal kaynağının avantajlarına imkan vermektedir. Özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan alüminyum alaşımların birleştirilmesinde, sürtünme-karıştırma kaynağı başarılı bir performans göstermiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı düz ve bindirmeli alüminyum alaşım kaynakları için yeni ve başarılı bir kaynak tekniğidir [3]. Sürtünme karıştırma kaynağı iyi kalitede birleşme ve bindirmeler veren bir katı hal birleştirme işlemidir. Bu işlemin temel ilkesi Şekil 1'de gösterilmiştir [4].

İşlem, kaynak yapılacak parçadan daha sert bir



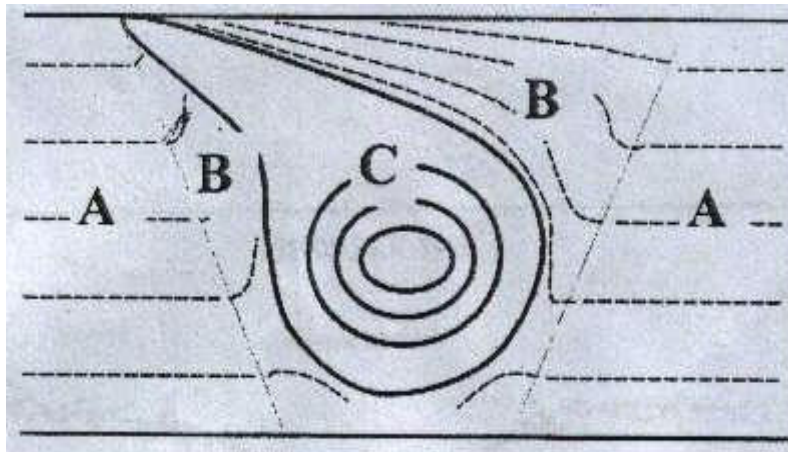
Şekil 1. Sürtünme karıştırma tekniği [4]

malzemeden üretilmiş sürtünme aparatının dönen ucu ile kaynaklanacak parçaların birleşme bölgesinde ısı meydana getirilmesi prensibine dayanır. Karıştırıcı uç, daha geniş çaplı bir metal gövdeye bağlı, daha küçük çaplı bir sonda olarak şekillenmiştir. Karıştırıcı uç birleşme bölgesi içine daldırıldığında geniş çaplı omuz diye tarif edilecek metal kısım birleştirilecek yüzeylere önce bir temas yapar. Karıştırıcı ucun dalma derinliği kaynak nüfuziyeti olarak da söylenebilir. Omzun malzemeye teması kaynak bölgesine ilave bir ısı sağlamanın yanı sıra, yumuşayan bölgeye karıştırıcı ucun kesik koni şeklindeki ucu daldırılır. Isıl olarak yumuşayan metal karıştırıcı uca doğru giderek daralan ancak üst yüzeyde omuz ile temas eden daha geniş bir görünüm arz eder. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur. Karıştırıcı uç çevresinde malzeme akışı, karıştırıcı uç

arkasında ise malzeme ile dönen uç arasında izafi bir dönüş meydana gelmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı, kendi kendine oluşan bir birleştirme tekniğidir. Birleşen malzeme doğal katı faz halindedir ve ergime kaynağı hataları içermez. Bu yöntemde tüketilen bir dolgu malzemesi, koruyucu gaz ve kenarların hazırlanması gerekmez [4-8].

Kaynak bölgesinde oluşan iç yapı Şekil 2’de şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak bölgesi üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) termomekanik olarak etkilenen bölge (TEB) ve sıvı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılmaktadır [5,9].

Al-alışmaları ergitmeli kaynak yöntemleriyle kaynak edilmesi güç malzemelerdir. Bu alışmalar bazı istisnalar hariç (7075 alışımı gibi) ticari olarak ark kaynağı ile birleştirilmektedirler. Fakat ergitmeli



Şekil 2. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü. A: ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) [5].

kaynak yöntemleri (ark, lazer, ve elektron kaynağı) gibi bilinen kaynak yöntemleri ile kaynaklarında çeşitli sorunlar bulunmaktadır [5].

Ergitmeli kaynak yöntemleri ile Al-alaşımının (özellikle yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış olanların) kaynağında yüksek miktarlarda çatlak ve porozite (gaz boşluğu) oluşumu gibi problemler mevcuttur. Al-alaşımının kaynağı esnasında çatlak oluşumunun nedeni, bu alaşımların katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması ve ısıl genişleme katsayılarının yüksek olmasıdır. Ark kaynağında yüksek ısı girdisi, bu malzemelerin ısıl genişlemelerinin yüksek olması ve katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması sonucu özellikle çatlama daha duyarlı yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış Al-alaşımında kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olur. Ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi, ayrıca ITAB'da tane sınırlarında düşük ergime dereceli fazların oluşumuna ve bu bölgede de çatlama yol açabilir. Gözenek oluşumunun nedeni ise Alüminyumun sıvı halde hidrojen çözünürlüğünün katı haldekenden çok daha yüksek olmasıdır. Vakum ortamında yapılan elektron ışın kaynak yöntemi gözenek açısından en avantajlı ergitmeli kaynak yöntemidir [5]. Fakat yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu elektron ışın kaynağı vakum ortamında yapıldığı için düşük buharlaşma sıcaklığına sahip alaşım elementleri içeren Al-alaşımında kaynak dikişinde alaşım elementi kaybı dolayısıyla mukavemet düşüşü problem olabilmektedir [5,6,10].

Al-alaşımının ark kaynağında karşılaşılan diğer bir güçlük bu alaşımların ısıl iletkenlik katsayılarının yüksek olması nedeniyle ısının kaynak bölgesine çok hızlı bir şekilde uygulanması zorunluluğudur. Al-alaşımının lazer ısısını yansıması sıvı hal kaynak yöntemlerinden lazer kaynağında dikkate alınması gereken diğer bir husustur. Al-alaşımının özellikle yaşlandırma sertleştirmesine tabi tutulmuş türlerin sıvı halde kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinde karşılaşılan bir başka sorun kaynak dikişinde sertleştirici çökeltilerin çözünmesi ve tane sınırı segregasyonu sonucu ITAB'de aşırı yaşlanma sonucu sertlik ve mukavemetin düşmesidir. Bu durum kaynak yapılan esas malzeme ile kaynak bölgesinde mekanik uyumsuzluğa ve kaynak bölgesinde mukavemet düşüşüne sebep olmaktadır [5].

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin Al-alaşımında kullanılabilirliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları söz konusu yöntemin gerek yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış gerekse yaşlandırma sertleştirilmesi yapılamayan (1xxx ve 5xxx serileri gibi ısıl işleme duyarlı olmayan) Al-alaşımında başarıyla kullanılabilirliğini göstermektedir [11-14]. Hatta geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı çok güç olan 7075 alaşımı bile bu yöntem ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve elde edilen birleştirmeler

oldukça iyi mekanik özellikler göstermiştir [5].

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 5×50×150 mm ebatlarında Al levha malzemeler freze tezgahının mengenesinde alın alın getirilerek sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile kaynak edilmişlerdir. Kaynak işlemi 800 dev/dak dönme hızı ve 6.25, 10, 16, ve 20 mm/dak kaynak ilerleme hızları kullanılarak yapılmıştır. Karıştırıcı uç, AISI1050 çelik malzemeden ve helisel şekilde imal edilmiştir. Birleştirilen numunelere metalografik incelemelerin yanı sıra, çekme ve sertlik gibi mekanik testler de uygulanmıştır.

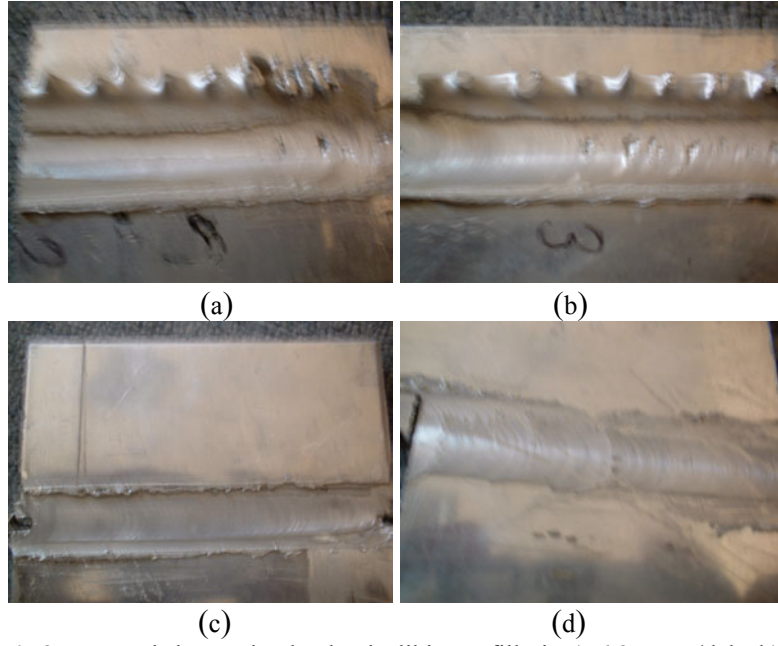
**Tablo 1.** Al Malzemenin kimyasal bileşimi, %

Al	Si	Mn	Fe	Mg	Ti	Cu
99.399	0.115	0.005	0.444	0.006	0.013	0.003

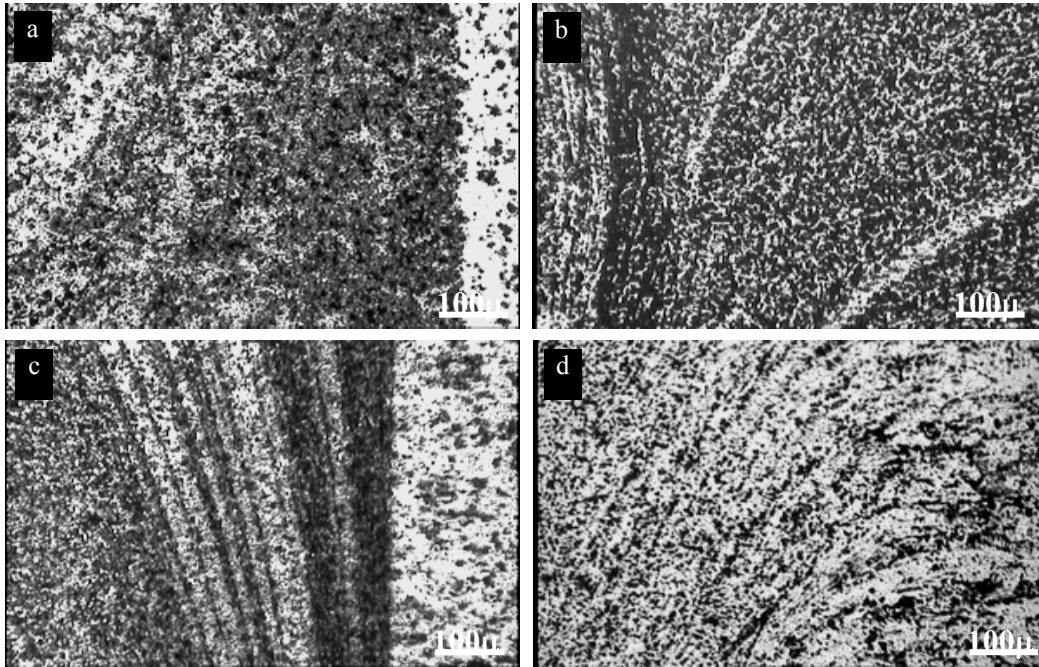
## DENEYSEL SONUÇ VE TARTIŞMA

Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilen bütün numuneler başlangıç ve bitiş noktalarında karıştırıcı uç çapı kadar bir hata payı vererek birleştirilmişlerdir. Birleştirme yüzeyleri uygulanan sürtünme basıncının sabit olmasına rağmen kaynak hızına göre farklılıklar göstermiştir. Sürtünme karıştırma kaynağında ısı girdisini etkileyen en önemli parametre karıştırıcı devir sayısı ve karıştırıcı ucun omuz çapıdır. Omuz çapı arttıkça sürtünme yüzeyi ve buna bağlı olarak meydana gelen ısı miktarı artacaktır. Kaynak ilerleme hızı ise birim alana düşen ısı miktarı etkileyecektir. İlerleme hızı arttıkça birim alana düşen ısı miktarı da azalacaktır. Bu çalışmada en düşük kaynak hızı 6.25 mm/dak olduğundan bu ilerleme hızında yapılan birleştirmelerde sürtünme sırasında oluşan ısının etkisi daha fazla olmakta ve kaynak dikiş yüzeyinde dönme yönüne doğru yumuşamış Al metal ondüle oluşturmuştur. Oluşan ondüleler Şekil 3'de görülmektedir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi 6.25 mm/dak kaynak ilerleme hızında ısı girdisi fazla olduğundan oluşan ondüleler daha fazladır. Kaynak ilerleme hızı 10 mm/dak'da yine ondüle görülmekle birlikte 16 ve 20 mm/dak kaynak ilerleme hızlarında azalan ısı girdisine bağlı olarak ondülesiz daha düzgün görümlü dikişlerden oluşan bir birleşme elde edilmiştir. Sürtünme kaynağında kaynak ilerleme hızı; ısı girdisi miktarını etkileyen önemli bir parametre olduğundan kaynak ilerleme hızına bağlı olarak hem mikro yapı hem de sertlik ve çekme gibi mekanik özelliklerde de etkili olmaktadır. Şekil 4'de görüldüğü gibi artan kaynak ilerleme hızı ile kaynak metalinin yönlenmesi artmakta, ancak düşük kaynak ilerleme hızında kaynak metali yönlenmesi fazla belirgin görülmemektedir. Kaynak ilerleme hızı 20 mm/dak'ya ulaştığında yönlenme daha homojen bir dağılım göstermektedir. Sürtünme karıştırma



**Şekil 3.** Kaynak hızına bağlı olarak dikiş profilleri; a) 6.25 mm/dak, b) 10 mm/dak, c) 16 mm/dak, d) 20 mm/dak



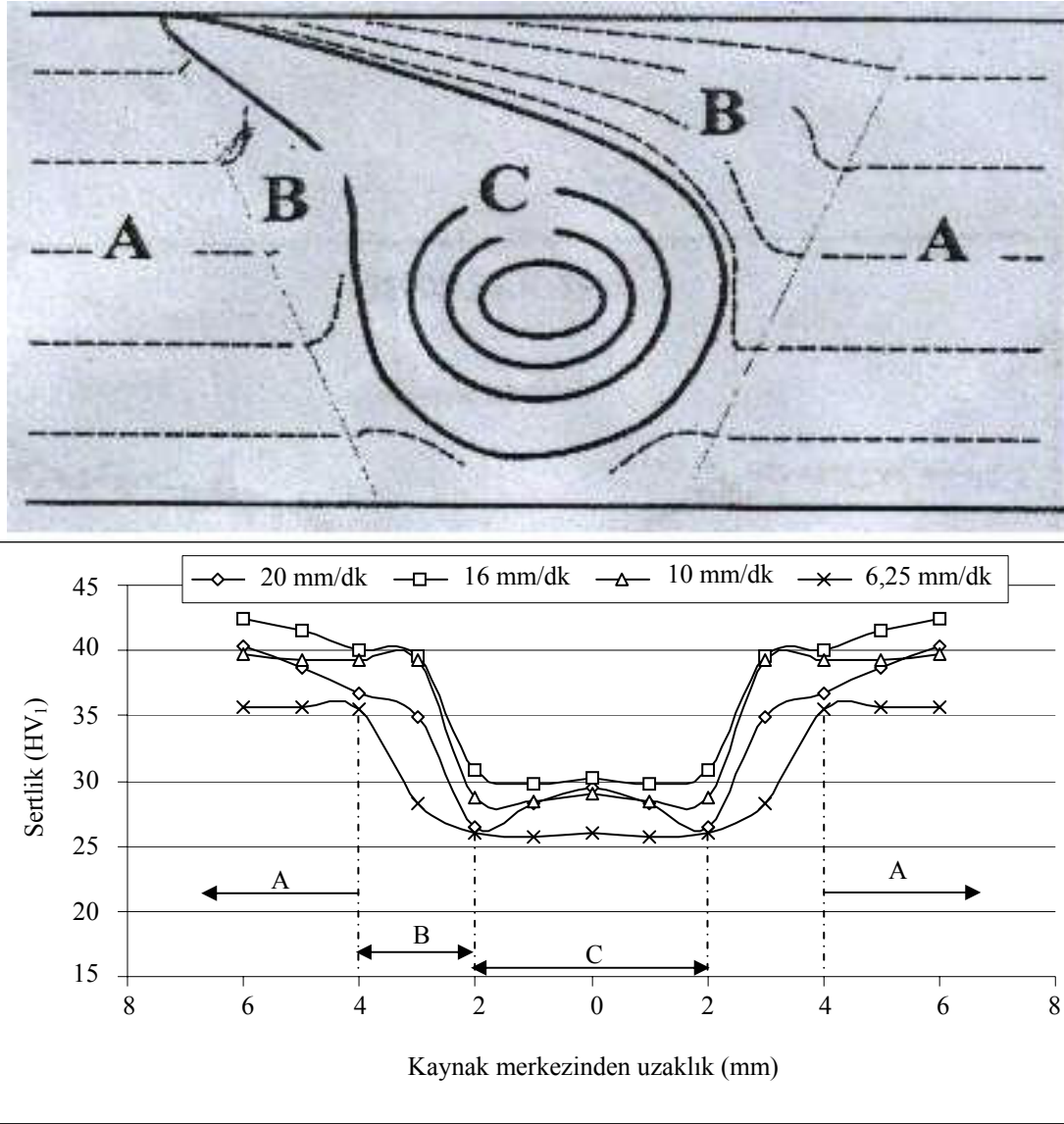
**Şekil 4.** Kaynak hızı ile SKK( Sürtünme Karıştırma Kaynağı) kaynak metali mikroyapıları arasındaki ilişki, a) 6.25 mm/dak, b) 10 mm/dak, c) 16 mm/dak, d) 20 mm/dak.

kaynağı için uygun bir kaynak metali karışım ve yönlendiği 20 mm/dak kaynak hızındaki numunelerde görülmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak ilerleme hızının artması ısı girdisini azaltacağından kaynak metali sertliği düşük hızlara göre artmaktadır. Sertlik miktarındaki değişim çok fazla olmamakla birlikte kaynak metali bölgesinde fazla ve bu merkezden esas metal tarafına doğru ilerledikçe sertlik farkı daha belirgin bir şekilde azalmaktadır. Karıştırıcı ucun omuz kısmından sonra esas metal sertliği elde

edilmiştir. Şekil 5’de kaynak ilerleme hızı ile kaynak metali sertlik değerleri görülmektedir. Ancak burada sertlik, kaynak metali ve esas metale temas ederek kaynak ısısının oluşmasını sağlayan karıştırıcı ucun omuz kısmının altına karşılık gelen bölgeden alınmıştır. Sürtünme karıştırma kaynaklı numuneler çekme testlerine tabi tutulmuşlar ve Şekil 6’da görüldüğü gibi birleştirilmiş bütün numuneler kaynak dikişinin dışından uzama göstererek kopmuşlardır.

Şekil 6’ da görüldüğü gibi sürtünme basıncının ve karıştırmanın etkisi ile karıştırıcının omuz kısmının



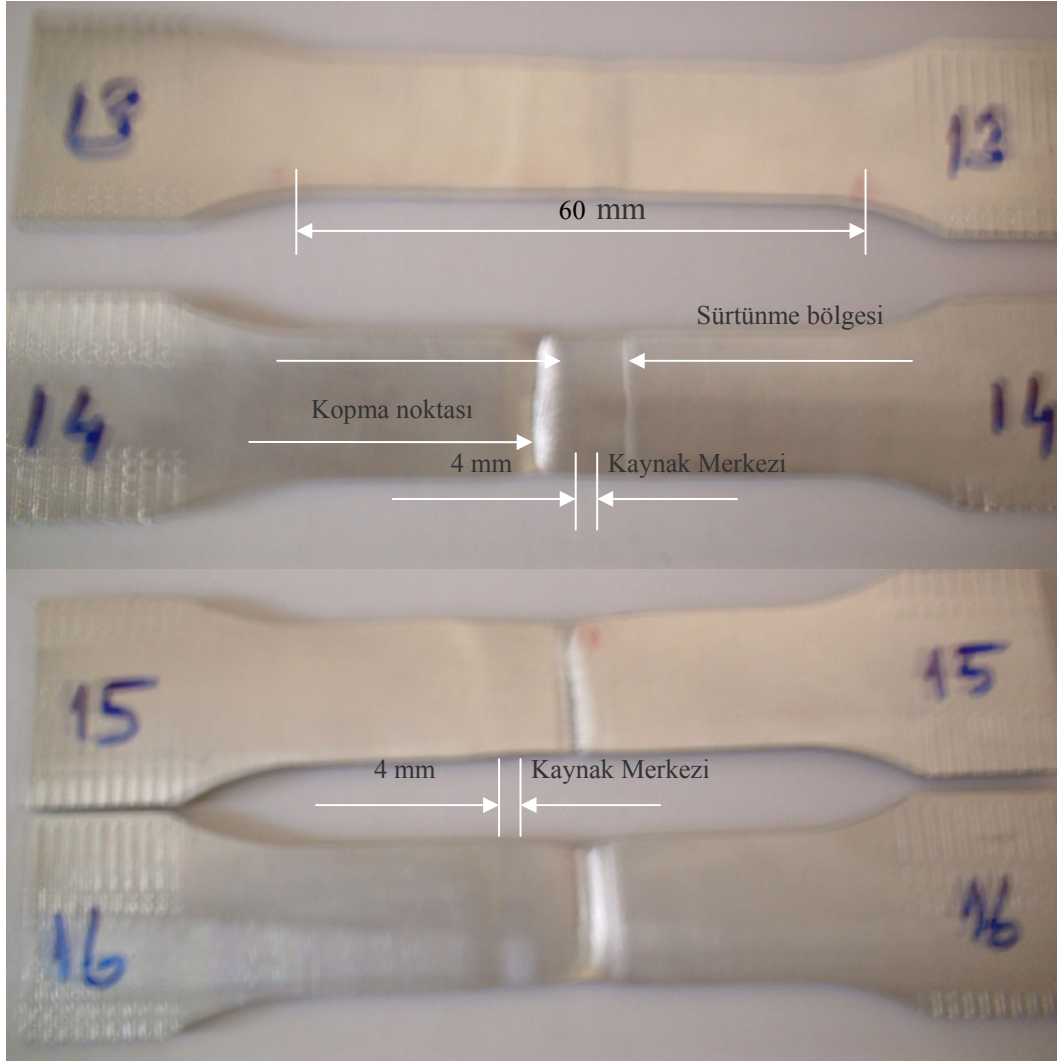
**Şekil 5.** Kaynak merkezinden uzaklaştıkça kaynak ilerleme hızı ve sertlik değeri arasındaki ilişki. C) Yeniden kristalleşme bölgesi, B) Toparlanma bölgesi (termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge), A) Ana malzeme.

altında kalan kısım deformasyon sertleşmesi göstererek mukavemet artışı göstermiş ve malzemeler termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge ile ITAB arasında bir noktadan kopmuşlardır. Çekme değerleri kaynak hızı ile doğru orantılı olarak artış göstermiştir. 6.25 mm/dak kaynak ilerleme hızında birleştirilen numuneler ortalama 88 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı gösterirken sırasıyla 10 mm/dak. kaynak ilerleme hızında 91 N/mm<sup>2</sup>, 16 mm/dak'da 101 N/mm<sup>2</sup> ve 20 mm/dak. kaynak ilerleme hızında birleştirilen numuneler ise 102 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı göstermişlerdir. Şekil 5'te görüleceği gibi kaynak ilerleme hızı arttıkça sertlik değerleri de artmaktadır. Bunun nedeni artan kaynak hızlarında malzemeye aktarılan ısı girdisi azalmakta azalan ısı girdisinin malzeme sertliğini azaltıcı etkisinin de azalmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak % uzama azalmakta ve çekme dayanımı artarak esas metalin çekme (esas metalin çekme dayanımı 112

N/mm<sup>2</sup> ölçülmüştür) dayanımına yakın çıkmaktadır.

## SONUÇLAR

- Aluminyum-aluminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliği başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin çekme testlerinde numuneler kaynak dikşinin dışından kopmuştur. Kopmalar hep aynı bölgeden olmuştur. Bu bölge toparlanma bölgesi ile ITAB arasındaki bir noktaya karşılık gelmektedir.
- Kaynak ilerleme hızının artmasına bağlı olarak malzemelerin kopma mukavemetinde az da olsa bir artma görülmektedir.
- Kaynak ilerleme hızının artmasına bağlı olarak malzeme yüzeyinde meydana gelen ondülelerin azaldığı görülmektedir. 16 ve 20 mm/dak kaynak



Şekil 6. Sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerin çekme deney numuneleri; 13) 6.25 mm/dak, 14) 10 mm/dak, 15) 16 mm/dak, 16) 20 mm/dak

ilerleme hızlarında azalan ısı girdisine bağlı olarak ondülesiz daha düzgün görünümlü dikişlerden oluşan bir birleşme meydana gelmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Davis, C.J., Thomas, W.M., "Friction Stir Process Welds Aluminum Alloys" **Welding Journal**, sayfa 41-45 Cambridge, U.K. March 1996.
2. David, P., Field, Tracy W., et all, "Heterogeneity of Crystallographic Texture in Friction Stir Welds of Aluminum" **Metallurgical and Material Transactions A**, cilt.32A, sayfa 2869-2877. November 2001.
3. Johnsen, M.R., Friction Stir Welding Takes Off at Boeing, **Welding Journal**, sayfa 35-39 Cambridge, U.K. February 1999.
4. Thomas, W.M., Nicholas, E.D., "Friction Stir Welding for the Transportation Industries" **Materials and Design**, cilt 18, sayfa 269-273, 1997.
5. Seidel, T.U and Reynolds, A.P., "Visualization of The Material Flow in AA2195 Friction-Stir Welds Using a Marker Insert Technique", **Metallurgical and Material Transactions A**, cilt 32A, sayfa 2879-2884, 2001.
6. Kolligan, K., "Material Flow Behavior during Friction Stir Welding of Aluminum" **Welding Research Supplements**, Sayfa 229-237, July 1999.
7. Çam, G., Al-Alaşımları için Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri, Makine Mühendisleri Odası, **Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, , sayfa 267-277, İstanbul, Ekim 2001.
8. Kurt A., Özdemir M., Boz M., Alüminyum Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi, **Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, Sayfa 89-99, 34-25 Ekim, Kocaeli, 2003.
9. Prado, R.A., Murr, L.E., et all, "Tool wear in the friction-stir welding of aluminum alloy 6061+20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: a preliminary study" **Scripta Materialia**, cilt 45 sayfa 75-80, 2001.

10. Thomas, W.M., "Friction Stir Butt Welding", **International Patent Application**, No. PCT/GB92 Patent Application No. 9125978. 8, 1991.
11. Yutaka, S. Sato, Hiroyuki Kakawa, et al, "Microstructural Evolution of 6063 Aluminum during Friction Stir Welding" **Metallurgical and Materials Transactions A**, cilt 30A sayfa 2429-2437, 1999.
12. Liu, G., Murr, L.E., et al, "Microstructural Aspects of The Friction-Stir Welding of 6061-T6 Aluminum" **Scripta Materialia**, cilt 37,no 3, sayfa 355-361, 1997.
13. Yutaka, S. Sato, et al, "Microstructural Factors Governing Hardness in Friction-Stir Welds of Solid-Solution-Hardened Al Alloys" **Metallurgical and Materials Transactions**, cilt 32A, sayfa 3033-3041, 2001.
14. Jata, K.W., Semiatin, S.L., "Continuous Dynamic Recrystallization During Friction Stir Welding of High Strength Aluminum Alloys", **Scripta Materialia**, cilt 43, sayfa 743-749, 2000.
15. Ivan Hrivnak, "Thermal Cycle in Welding" **Theory of Weldability of Metals and Alloys**, sayfa 4-39, NY.USA, 1992.