

# Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Etial 1050 H14 Al Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Mehmet ERDEM\* Mustafa KARABULUT\*

\*İnönü Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, Makine mühendisliği, Malatya/Türkiye  
(Geliş / Received : 30.04.2015 ; Kabul / Accepted : 26.07.2015)

## ÖZ

Bu çalışmada, dikey başlı bir freze tezgahında üç farklı devir (710-900-1120 devir/dakika) ve ilerleme hızı (50-80-100 mm/dakika) kullanılarak 3 mm kalınlığındaki ETİAL 1050 H14 Al alaşım levhaları sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin mikro yapı ve mikro sertlik özelliklerini tespit etmek için kaynaklı numune yüzeylerine zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Genelde, ana metalden karıştırma bölgesine doğru ilerledikçe tüm kaynaklı birleştirmelerin sertlik değeri azalmıştır. Ana metalin tane yapısı hadde yönünde uzamış ve mikro sertliği de 45 HV'dir. Isı tesiri altında kalan bölge kabalaşmış tane yapısına sahiptir ve mikro sertliği 27-38 HV'dir. Termo mekanik etkilenen bölgede taneler karıştırıcı ucun dönme yönünde yönlendiği belirlenmiştir. Tüm numunelerde bu bölgenin sertliği ısı tesiri altında kalan bölgelere kıyasla fazladır. Karıştırma bölgesindeki tanelerin dinamik yeniden kristalleşme ile ince eş eksenli tane yapısına dönüştüğü tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sürtünme karıştırma kaynağı, Al alaşımları, Mikro yapı ve Mikro sertlik

## Investigation of the Microstructure and Mechanical Properties of Etial 1050 Al Alloy Joints Produced by Friction Stir Welding

### ABSTRACT

In this study, ETİAL 1050 H14 Al alloy plates of 3 mm thickness were joined by friction stir welding using a vertical milling machine at three different rotational speeds (720-910-1120 rpm) and at three different welding speeds (20-50-80 mm/minute). Grinding, polishing and etching were applied to the surface of the welded samples in order to ascertain the microstructure and micro hardness characteristics of the samples. Generally the hardness values of all the welded joints decreased from base the plate towards the stirred zone. Base metal exhibited elongated grains in rolling direction and its micro hardness was determined to be 45 HV. The heat affected zone displayed a coarse-grain structure and its micro hardness was 27-38 HV. The experiments have shown that the grains on the thermomechanically affected zone oriented towards the direction of the rotation of the stirring pin. The hardness of this zone was higher than that in the heat affected zone. It was also determined that fine equiaxed grains were formed in the stirred zone due to dynamic recrystallization.

**Keywords:** Friction stir welding, Al alloys, Micro structure and Micro hardness.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum, geliştirilen özellikleri bakımından sanayi sektöründe tercih sebebi olmaktadır. Hafifliği, iletkenlik özelliğinin iyi oluşu, korozyon direncinin yüksek olması, düşük sıcaklıklarda emniyetli çalışabilmesinin yanında değişik elementlerle alaşım yaparak basit yapı çeliklerinin mukavemet değerlerine ulaşması, gıda sektöründen, uzay sanayisine ve değişik alaşımların balistik özelliklerinin iyiliğinden dolayı da askeri araç yapımına kadar geniş bir kullanım alanı vardır [1]. Al ve alaşımlarını ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilirken yoğun ısı girdisine maruz kalmaktadırlar. Bu ısı girdisi malzemelerde tane yapısını değiştirmekte

ısdan etkilenen bölge genişliğini ve kalıntı gerilme miktarını artırmaktadır. Bu durum mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir [2-5].

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) Al ve alaşımları için geliştirilmiş bir katı hal kaynak yöntemidir [6-9]. Bu kaynak yönteminde özel olarak tasarlanmış bir karıştırıcı uç belli bir devirde dönerek birleştirilecek parçaların ara yüzeyine sürtünmektedir. Bu esnada iki yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı takım altında kalan alanda metal yumuşamaktadır. Takıma ilerleme hareketinin verilmesi ile birlikte yumuşayan (çamur kıvamına gelen) bu metal takımın uç kısmı vasıtasıyla ötelenerek kaynak dikişini oluşturmaktadır [10]. Kaynak bölgesi, karıştırma bölgesi (KB), Termomekanik etkilenen bölge (TMEB) ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olmak üzere üç bölgeden meydana gelir [11].

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: mehmet.erdem@inonu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 129-134

Karıştırma bölgesinde karıştırıcı uç dinamik bir karıştırma sağlar ve bu bölgede dinamik yeniden kristalleşme meydana gelir.

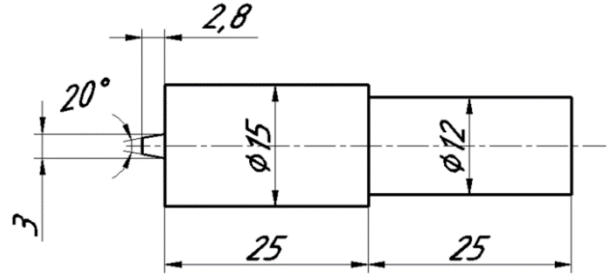
Ergitmeli kaynak yöntemlerine oranla sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilen parçalardaki ısı girdisi daha azdır [10]. Mukavemet kaybını azaltmak için SKK yönteminde kaynak bölgesine ısı girişi azaltılabilir. Bu işlem takım dönme hızının azaltılması ve ilerleme hızının artırılması veya harici su soğutma ile yapılabilir. Böylece sertlik ve mukavemet değerleri de artırılabilir [12]. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde batıcı uç kaynak yapılacak levhaların tabanına kadar batırılmamaktadır. Karıştırılan malzeme hidrostatik basınç ile taban bölgede sıkıştırılarak bu bölgede birleştirme elde edilmektedir. Kaynak parametrelerinin uygun olmaması durumunda sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerde bu tür kaynak hatalarına rastlanmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için hidrostatik basıncın artırılması gerekir. Bu amaçla daha yüksek karıştırma devri kullanılarak hidrostatik basınç artırılabilir[13].

Bu çalışmada mikroyapı ve mekanik özellikleri tespit etmek amacıyla ETİAL 1050 H14 Al levhalar sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilmiştir. Bu levhaların ana metal, ITAB ve TMEB+KB ait mikro yapı ve mekanik özellikleri (mikro sertlik) tespit edilmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığında ticari saflıkta ETİAL 1050 H14 alüminyum levhalar kullanılmıştır. Bu levhanın kimyasal bileşimi Tablo 1’de, mekanik özellikleri de Tablo 2’de verilmiştir. SKK’da kullanılan kaynak parametreleri de Tablo 3’de verilmiştir. Karıştırıcı uç olarak DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden yapılmış takım kullanılmıştır. Kullanılan karıştırıcı ucun geometrisi Şekil 1’de verilmiştir. Sıcak

tabanına yakın bölgede soğuk birleşme hatasını ve porozite oluşumunu önlemek için konik uçlu karıştırıcı takım seçilmiştir. Kaynak işlemi Tablo 3’de belirtilen parametreler kullanılarak 1982 yapımı TAKSAN marka FU 315 V/2 serisi universal freze tezgahında yapılmıştır.



Şekil 1. SKK’da kullanılan karıştırıcı uçun geometrisi (Geometry of the stirred pin used in welding)

Çizelge 3. SKK kaynak parametreleri (Parameters of the friction stir welding)

Malzeme	Takım dönme hızı (devir/dakika)	Takım ilerleme hızı (mm/dakika)	Takım dönme yönü
ETİAL 1050 H14	710	50	Saat yönünde
		80	
		100	
	900	50	
		80	
		100	
	1120	50	
		80	
		100	

Çizelge 1. 1050 Al alaşımının kimyasal bileşimi (The chemical composition of 1050 Al alloy)

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
Sonuçlar	0,077	0,304	0,002	0,046	0,001	0,000	0,000	0,010	0,020	0,014	0,013	0,000	99,513

Çizelge 2. 1050 Al alaşımının mekanik özellikleri (The mechanical properties of 1050 Al alloy)

Mekanik özellik	Çekme muk. (MPa)	Akma muk. (MPa)	% Uzama
Min.	105	85	4
Max.	145	.....	.....

iş takım çeliğinden yapılan uçlara 1020 °C’ de 28 dakika bekletildikten sonra yağda su verme işlemi, su verme işleminden sonra da 550°C’ de 105 dakika bekletilerek üç aşamalı temperleme işlemi yapılmıştır. Karıştırma esnasında dövme basıncını artırarak kaynak

Kaynaklı numunelerin mikro yapı ve mikro sertlik özelliklerini tespit etmek için kaynaklı numune yüzeyleri zımparalanmıştır (240, 400, 800 ve 1200 Mesh). Parlatma işlemi 6 ve 3 µm’lik parlatma

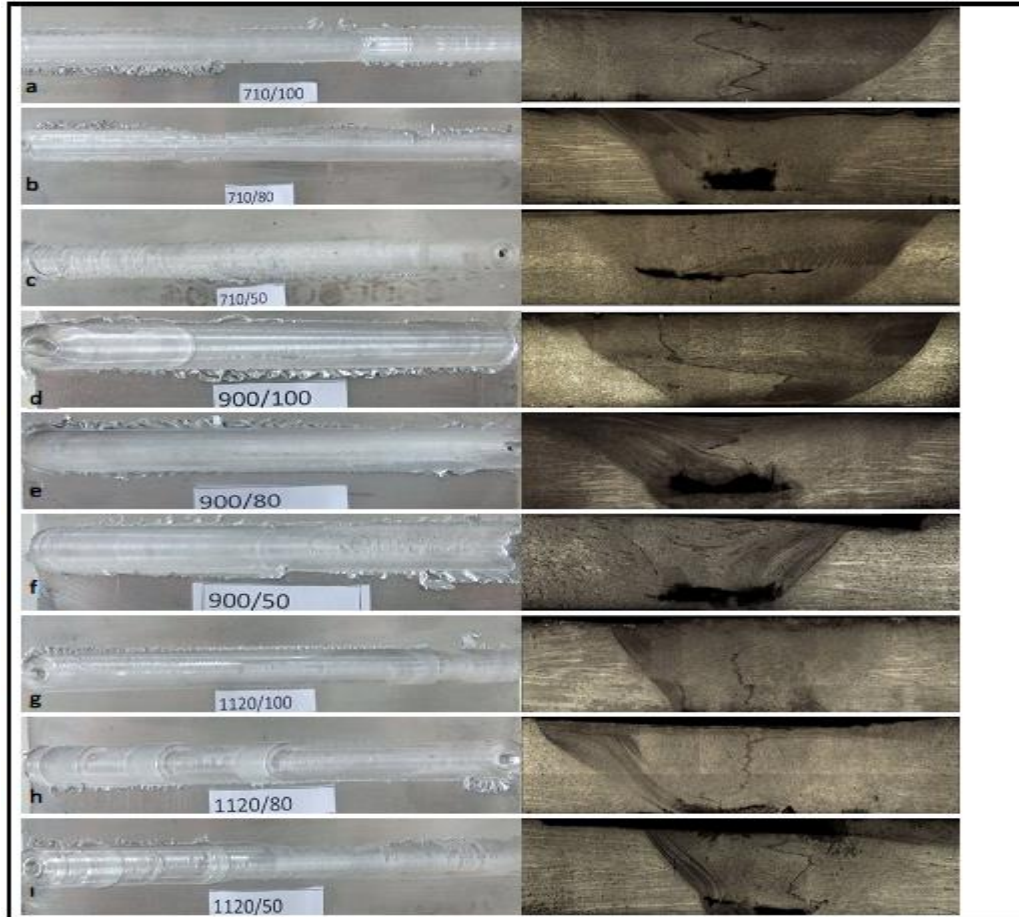
solüsyonu ile yapılmıştır. Parlatılmış numuneler keller dağlayıcısı ile dağlanmış ve Leica DM4000M markalı optik mikroskopta mikro yapı resimleri çekilmiştir. Numunelerin mikro sertlikleri Emco Test Durascan 20 marka cihazda 100 gr yük kullanılarak HV cinsinden ölçülmüştür.

### 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

#### 3.1. Mikroyapı Sonuçları (The microstructure Results)

Resim 2.a-ı'da farklı parametrelerde sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen Al plakaların yüzey ve optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Yüzeysel incelemelerde kaynak yüzey kalitesinin iyi olduğu ve karıştırıcı uç hareketinin kaynak hattı boyunca istikrarlı olduğu (boşluk ve bağlantısız ara yüzey birleşim kusurlarının olmaması) belirlenmiştir. Karıştırıcı uç levhalara uygun bir şekilde daldırılmaz ve karıştırıcı uç

omzu levha yüzeyine düzgün temas ettirilmezse istikrarsız karıştırıcı uç hareketi oluşur [14,15]. Bu durum kaynak hatalarının oluşumuna neden olur. Karıştırıcı uç omzuna sıvanan metal kütlesi arttığında kaynak yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. Karıştırıcı uç omzuna sıvanan metal kütlesi miktarı, karıştırıcı uça etki eden basınca ve/veya karıştırıcı uç dalma derinliğine bağlıdır. Karıştırıcı uç dalma derinliği artırıldığında sıvanan metal kütlesi miktarı ve kaynak yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Aynı zamanda kaynak yüzeyinde oluşan kıvrımlı çapak kalınlığı artmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde, 710-900-1120/100 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde kusur görülmemiştir. 710-900/80-50 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde tünel şeklinde porozite tespit edilmiştir. Yetersiz metal akışı ve düşük sıcaklık karıştırma bölgesinde porozite oluşumuna neden olmuştur [16]. Karıştırma esnasında, karıştırma bölgesinde plastik



Şekil 2. Kaynaklı Al levhaların yüzey ve optik mikroskop görüntüleri (Images of optic microscope and surface of the welded Al sheets)

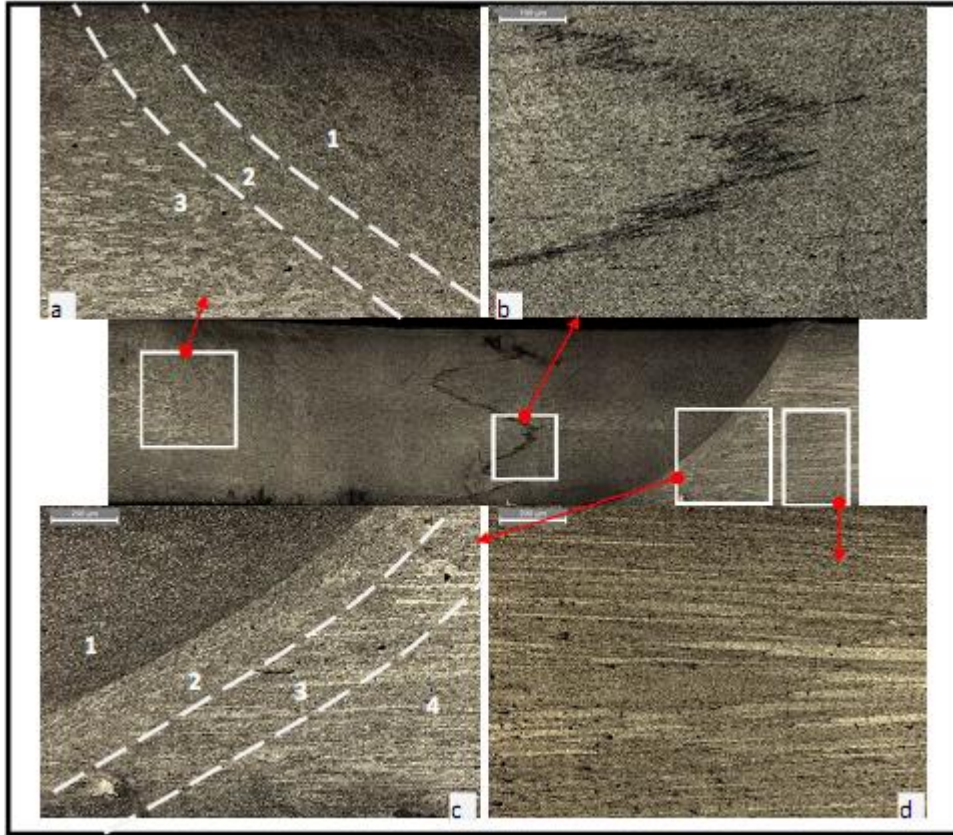
akıcılık kazanan metal yukarı doğru çıkma eğilimindedir. Karıştırıcı uç dalma derinliği ve/veya basınç optimum seviyede ayarlanmazsa akıcılığı yüksek metal karıştırıcı uç omzu vasıtasıyla kaynak yüzey hattına sıvanarak karıştırma bölgesinde hacimce azalmaya neden olur. Bu durum da karıştırma bölgesinde tünel şeklinde porozite olumuna neden olduğu düşünülmektedir.

1120/80-50 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde meydana gelen birleşim kusurları düşük dönme hızlarına (710-900 devir/dakika) oranla daha az olduğu belirlenmiştir. Artan dönme hızı karıştırma bölgesinde metalin plastik akıcılığını artırmış ve porozitesiz bir kaynak kesiti oluşmuştur. Ancak, Resim 2 h ve ı'da karıştırıcı uç dalma derinliği ve/veya basınç aşırı seviyede olduğu için karıştırıcı uç levhanın alt yüzey bölgesinde kusur oluşmuştur. Karıştırıcı ucun batma derinliği tüm birleştirilen levhalar için aynı değildir. Bu durum karıştırıcı uç batma derinliği kontrolünün kaynak esnasında zor olmasından kaynaklanmıştır. Bu parametrelerde birleştirilen levhaların karıştırma bölgesinde herhangi bir kusur görülmemiştir.

Resim 3'de 710/100 parametresi ile birleştirilen numunenin optik mikroskop resimleri verilmiştir. Kaynak kesitinde birleşim hatası görülmemiştir. Ana metale ait optik mikroskop görüntüsünde hadde

taneler tespit edilmiştir (Resim 3-d). Karıştırıcı ucun ilerleme kenarına ait optik mikroskop resminde (Şekil 3-a) TMEB (2) ve ITAB (3) görülmüştür. Karıştırıcı ucun sürtünme ısısı nedeni ile ana metalin ince uzun tane yapısı 3 nolu bölgede bozulmuş ve kabalaşmıştır. 2 nolu bölgede karıştırıcı uçun termomekanik etkisi taneleri dönme yönünde yönlendirmiştir. Bu bölgede taneler ITAB'a göre daha ince boyuttadır. İlerleme kenarına ait TMEB'in tanelerindeki termomekanik etki yığılma bölgesine kıyasla daha fazladır. Bu bölgede, karıştırıcı uçun dönme yönünde yönlendirilen tane sayısı yığılma bölgesine kıyasla daha fazladır. Karıştırma bölgesinde, dinamik yeniden kristalleşme nedeni ile taneler küçülmüştür (Resim 3-b). Karıştırıcı uçun aktif karıştırma etkisi dinamik yeniden kristalleşmeye sebebiyet vermiştir. Bunun yanında karıştırma bölgesinde karıştırıcı uca paralel bir şekilde deformasyon izlerinin olduğu tespit edilmiştir. Karıştırıcı ucun yığılma kenarına ait optik mikroskop resminde (Resim 3-c) ana metal, ITAB, TMEB ve karıştırma bölgesi açık bir şekilde görülmüştür. Bu kenardaki ITAB'ın tanelerinde kabalaşmanın bölgesel olduğu tespit edilmiştir.

Sharma ve arkadaşları [17] farklı dönme ve ilerleme hızlarının SKK'nda yüksek sıcaklık ve yoğun plastik deformasyona neden olduğunu belirlemişlerdir. Tüm kaynaklı birleştirmelerin karıştırma bölgelerinde yüksek



Şekil 3. 710/100 parametresi ile birleştirilen numunenin kesit ve detay resimleri (Section and detailed pictures of welded zone of the sheet joined with 710/100 parameter)

yönünde yönlendirilmiş ince uzun (yaklaşık 100-600  $\mu\text{m}$ ) sıcaklık ve yoğun plastik deformasyon nedeni ile

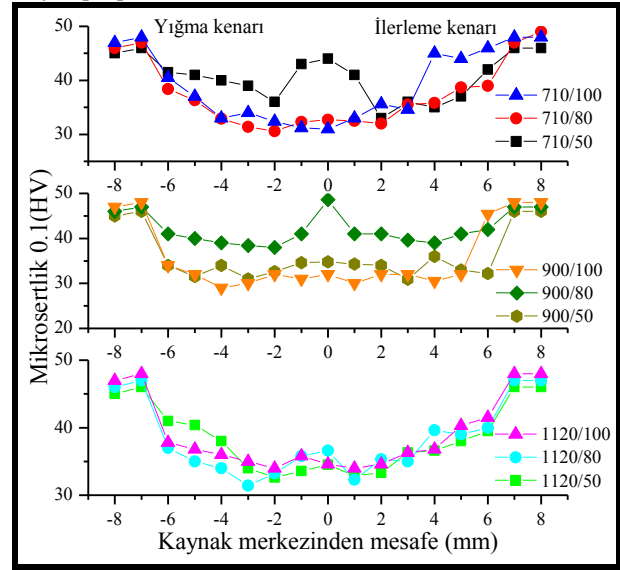


dinamik yeniden kristalleşmenin meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ana metalin kaba tane yapısı, karıştırma bölgesinde ince ve eş eksenli tane yapısına dönüştüğünü ve karıştırma bölgesinin TMEB ile çevrildiğini belirtmişlerdir. Xu ve arkadaşları [18] 2219-T62 Al alaşımı plakaları farklı devir ve ilerleme hızlarında birleştirmişlerdir. Ana metal tane yapısının pankek şeklinde uzamış tane yapısından ve karıştırma bölgesi tane yapısının da eş eksenli tane yapısından oluştuğunu tespit etmişlerdir.

### 3.2. Mikrosertlik Sonuçları (The Microhardness Results)

Resim 4’de kaynak kesitinden ölçülen mikrosertlik değerleri verilmiştir. Ana metal sertlik değeri 45 HV civarında olduğu tespit edilmiştir. Ana metalden KB doğru ilerledikçe sertlik değeri genelde azalmıştır. Karıştırıcı ucun neden olduğu sürtünme ısı ITAB’da tavlama etkisi oluşturmuştur. Bu tavlama etkisinin ITAB’da kalıntı gerilme ve dislokasyonların azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle de ITAB’ın sertlik değeri (27-38 HV) ana metale kıyasla azalmıştır. 710/50 ve 900/80 parametreleri ile birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinin sertlik değerleri sırasıyla 47.6 ve 44 HV dir. Bu değerler diğer parametrelerle birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinin sertlik değerine kıyasla fazladır. Bu artışın dinamik yeniden kristalleşme sonucu karıştırma bölgesinde oluşan ince tanelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu iki parametre (710/50 ve 900/80) haricindeki parametrelerle birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinde de dinamik yeniden kristalleşme sertlik değerlerini ITAB’a kıyasla azda olsa yüksektir. Ancak ana metale kıyasla düşüktür. Sertlikteki bu azalmanın sürtünme ısının neden olduğu tavlama etkisi ve gerilimsiz tane yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynaklı birleştirmelerin bazılarında TMEB’deki sertlik değeri ITAB’ın sertliğine kıyasla azda olsa yüksektir. Bu bölgedeki yönlendirilmiş tanelerde etkin olan plastik deformasyonun sertlik artışına katkı sağladığı düşünülmektedir. Kaynaklı numunelerin neredeyse tamamının ilerleme kenarının sertlik değerleri, yığılma kenarının sertlik değerlerinden çok az da olsa fazladır. Bu durumun yönlendirilmiş tane yapısının ilerleme kenarlarında daha etkin olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Sharma ve arkadaşları [17], ana metal, TMAZ ve HAZ’a kıyasla karıştırma bölgesinde daha ince tane yapısı olduğunu ve kaynak merkezinden uzaklaştıkça incelmış mikroyapı alanının azaldığını tespit etmişlerdir. HAZ’da ise ana metale kıyasla daha kaba tane yapısı olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak sonrası yapılan ısıl işlemlerin mikro sertlik dağılımını şiddetli bir şekilde (radikal) etkilediğini belirlemişlerdir. FSW ile birleştirme yapıldıktan sonra karıştırma bölgesi, HAZ ve ana metalin sertliklerinin sırasıyla 115.3, 107.6 ve 135 HV olduğunun bulmuşlardır. Başka bir çalışmada çökeltme ile sertleştirilmiş Al alaşımlarında FSW kaynak merkezinin etrafında bir yumuşak bölge oluşturduğu ve bu yumuşamış bölgenin sürtünme karıştırma kaynağının

termal döngüsü esnasında takviye çökeltilerinin yeniden çözünmesi ve kabalaşmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [19]



Şekil 4. Kaynaklı Al levhaların mikro sertlik sonuçları (Microhardness results of the welded Al sheets)

## 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada 3 mm kalınlığındaki ETİAL 1050 H14 Al farklı parametrelerde SKK ile birleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Yüzeysel incelemelerde kaynak yüzey kalitesinin iyi olduğu ve karıştırıcı uç hareketinin kaynak hattı boyunca istikrarlı olduğu (boşluk ve bağlantısız ara yüzey birleşim kusurlarının olmaması) belirlenmiştir.
- 2- 710-900-1120/100 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde kusur görülmemiştir. 710-900/80-50 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde tünel şeklinde porozite tespit edilmiştir. Yetersiz metal akışı ve düşük sıcaklık karıştırma bölgesinde porozite oluşumuna neden olmuştur.
- 3- 710/100 parametresi ile birleştirilen numunenin kaynak kesiti detay optik mikroskop resimlerinde birleşim hatası tespit edilmemiştir. Ana metale ait optik mikroskop görüntüsünde hadde yönünde yönlendirilmiş ince uzun (yaklaşık 100-600  $\mu\text{m}$ ) taneler tespit edilmiştir. Karıştırıcı ucun sürtünme ısı nedeni ile ana metalin ince uzun tane yapısı ITAB’da bozulmuş ve kabalaşmıştır. TMEB’de karıştırıcı uç etkisi ile taneler dönme yönünde yönlendirilmiştir.
- 4- Ana metal sertlik değeri 45 HV civarındadır. Ana metalden KB doğru ilerledikçe sertlik değeri genelde azalmıştır. Karıştırıcı ucun neden olduğu sürtünme ısı ITAB’da tavlama etkisi oluşturmuş ve ITAB’ın sertlik değeri

(27-38 HV) ana metale kıyasla azalmıştır. Bazı parametrelerle (710/50 ve 900/80) birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinin sertlik değerleri dinamik yeniden kristalleşme sonucu artmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin bazılarında TMEB'deki yönelmiş taneler bu bölgedeki mikro sertlik değerini ITAB'a kıyasla azda olsa artırmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Erdem, M., ve Türker, M., , 7039 Al alaşımının kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özelliklerinin araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26(1): 17-26, (2011).
- [2] Çam G., Al-Alaşımaları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri', *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi*, 19-20 October, İstanbul, S. 267-277, (2001).
- [3] Çam G., Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) – Al-Alaşımaları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, *Mühendis ve Makina*, 46(541): 30-39, (2005).
- [4] Çam G., Friction Stir Welded Structural Materials: Beyond Al-Alloys', *Int. Mater. Rev.*, 56(1): 1-48, (2011).
- [5] Çam G. and Mıstıkoğlu S. Recent Developments in Friction Stir Welding of Al-Alloys', *Journal of Materials Engineering and Performance (JMEPEG)*, 23(6): 1936-1953, (2014).
- [6] Çam G., Güçlüer S., A. Çakan, and Serindağ H.T., Mechanical Properties of Friction Stir Butt-Welded Al-5086 H32 Plate', *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.*, 40(8): 638-642, (2009).
- [7] İpekoğlu G., Gören Kırıl B., Erim S., and Çam G., Investigation of the Effect of Temper Condition Friction Stir Weldability of AA7075 Al-Alloy Plates, *Mater. Tehnol.*, 46(6): 627-632, (2012).
- [8] İpekoğlu, G. Erim S., and Çam G., Effects of Temper Condition and Post Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Butt Welded AA7075 Al-Alloy Plates', *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 70(1): 201-213, (2014).
- [9] İpekoğlu, G. Erim S., and Çam G., Investigation into the Influence of Post-Weld Heat Treatment on the Friction Stir Welded AA6061 Al-Alloy Plates with Different Temper Conditions', *Metall. Mater. Trans. A*, 45A(2): 864-877, (2014).
- [10] C. Meran ve M. Çolak Sürtünme karıştırma kaynağı için takım tutucu tasarımı, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(3): 671-679, (2008).
- [11] G. Cam, 'Recent Developments in Friction Stir Welding', *Makine Tek.*, 120: 48-58, (2007).
- [12] F.C. Liu, B.L. Xiao, K. Wang, Z.Y. Ma Investigation of superplasticity in friction stir processed 2219Al alloy, *Materials Science and Engineering A*, 527: 4191-4196, (2010).
- [13] H. Ataoğlu, S. Mıstıkoğlu ve G. Çam, Sürtünme karıştırma kaynaklı bir Al- alaşımının içyapı ve mekanik karakterizasyonu kaynak teknolojisi, *IV. Ulusal kongresi bildiriler kitabı*, 24-25 Ekim / Kocaeli, No: 2003/339, (2003).
- [14] S. Brinckmann ve ark., *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Friction Stir Welding*, 26-28 June, Gothenburg, Sweden, (2000).
- [15] A.von Strombeck ve ark., *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Friction Stir Welding*, 26-28 June, Gothenburg, Sweden, (2000).
- [16] Erdem M. Investigation of structure and mechanical properties of copper-brass plates joined by friction stir welding. *Int J Adv Manuf Technol*, 76: 1583-1592, (2015).
- [17] Sharma C, Dwivedi DK, Kumar P. Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of AA7039 aluminium alloy, *Mater and Des*, 36: 379-390, (2012).
- [18] Xu W, Liu J, Zhu H, Fu L. Influence of welding parameters and tool pin profile on microstructure and mechanical properties along the thickness in a friction stir welded aluminium alloy. *Mater and Des*, 47:599-606, (2013).
- [19] Mishra RS and Ma ZY. Friction stir welding and processing [J]. *Mater Sci and Eng R*, 50: 1-78, (2005).