

# Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Farklı AA7075-T6 Al ve Ti6Al4V Ti Levhaların Kaynak Performanslarının İncelenmesi

Ahmet Çakan<sup>1</sup>, Mustafa Uğurlu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye; ahcakan@mersin.edu.tr

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Adana, Türkiye; mugurlu@cu.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak iki farklı tür malzeme AA7075-T6 Al alaşımı levhalar ile Ti6Al4V Ti alaşımı levhalar, karıştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızlarında birleştirilmiştir. Farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilen numunelerin kaynak performanslarının belirlenmesinde çekme testi, Vickers sertlik ölçümleri, optik mikroskop ölçülerinden yararlanılmıştır. Çekme testlerinde en yüksek dayanım değerine (80 MPa) 1040 dev/dk takım dönme hızı ve 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunelerde edilmişdir. Optik mikroskop incelemeleri sonucunda Ti' un Al' a dahil olduğu ayrıca Al bölgesinde Ti parçacıkların varlığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünme karıştırma kaynağı, Metalografi, Al alaşımları, Ti alaşımları

## Investigation of Welding Performance of Dissimilar AA7075-T6 Al and Ti6Al4V Ti Plates Joined by Friction Stir Welding Method

## Abstract

In this study, dissimilar AA7075-T6 Al alloy sheets and Ti6Al4V Ti alloy sheets were joined using friction stir welding method according to different rotational speed and feed rate of the stirring tool. Tensile test, vickers hardness measurements and optical microscope measurements were used to determine the welding performance of the samples joined using different welding parameters. As a result of tensile tests, the highest strength value (80 MPa) was obtained from the welded sample using 1040 rpm tool rotational speed and 32 mm/min feed rate. As a result of optical microscope examinations, it was determined that Ti is included in Al and the presence of Ti fragments in the Al matrix.

**Keywords:** Friction stir welding, Metallography, Al alloys, Ti Alloys.

## 1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının sınırlı olması ve hızla tükenmesi sebebiyle artan enerji ihtiyacını karşılamak için özellikle havacılık, denizcilik ve otomotiv endüstrisi üretikleri araçlarda ağırlık azaltarak yakıt tüketimini düşürebilmek için büyük çaba sarf etmektedir. Günümüzde araç gövdelerinde farklı malzemelerin birlikte kullanımı sıkılıkla yer almaktır ve böylece ağırlık azaltılırken gerekli olan dayanım değerleri de elde edilmektedir [1-3].

Endüstride metallerin birleştirilmesinde genellikle kaynaklı birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Benzer özelliklere sahip metallerin kaynaklı birleştirilmesinde konvansiyonel kaynak yöntemlerinden ergitme kaynak tekniği en büyük paya sahiptir. Ancak, daha düşük kaynak edilebilirlik özelliğine sahip farklı tür metallerin kaynaklı birleştirilmesinde ise bu yöntemin kullanımını oldukça sınırlıdır [3]. Bu durumun sebebi farklı olan kimyasal kompozisyonlarının ve termal özelliklerinin yanı sıra

kaynak bölgesinde oluşan ve kaynağın mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen kırılabilir yapıya sahip intermetalik bileşiklerin varlığıdır [4-5]. Özellikle Al ile yüksek ergime sıcaklığına sahip Ti gibi metallerin geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi aşırı miktarda oluşan kırılabilir intermetalik bileşikler nedeniyle uygun olmamaktadır [6]. Alaşımların kaynaklı birleştirilmesi, geleneksel kaynak yöntemleri ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Fakat, kaynak bölgesinde porozite, çatlak, yetersiz nüfuziyet gibi kaynak kusurları ve intermetalik bileşikler olmaktadır. Bu kusurlar ve intermetalik bileşikler sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemi kullanılarak azaltılabilimekte veya ortadan kaldırılabilmektedir [5,7-8]. SKK, düz kaynak, boru kaynağı, T kesit kaynağı gibi parçaların birleştirilmesi için uygun olmaktadır [7]. SKK, kimyasal bileşimlerine bakılmaksızın hemen her türden alaşım çiftinin kaynağı için kullanılabilmektedir [9]. SKK yöntemi günümüzde Al alaşımlarından sonra Ti, Mg ve metal matrisli kompozitlerin kaynaklı birleştirilmesinde de başarı ile

\*Corresponding author

uygulanmaktadır [7].

SKK, bir katı hal kaynak yöntemi olup 1991 yılında kaynak enstitüsü (TWI) tarafından bulunmuştur [10-12]. Son yirmi yıl içerisinde enerji verimliliği, çevre dostu oluşu ve yüksek kaliteli birleştirme sağlaması nedeniyle önemli bir kaynak yöntemi olmuştur [13]. SKK hava-uzay, savunma, demir yolu, yenilenebilir enerji ve otomotiv gibi sektörlerde kullanım alanı bulmaktadır [13].

SKK, ilk dönemlerde Al kaynağı için kullanılsa da aynı ve farklı demir dışı alaşımın birleştirilmesinde de kullanılmaktadır [10]. SKK, geleneksel ergitme kaynak yöntemlerine göre bazı avantajlara sahiptir. Bunlar düşük distorsyon, kaynak dumani ve ark ışığı oluşturmaması, dışarıdan bir ısı kaynağı ve koruyucu gaz gerekmemesi, çarpılma ve artık gerilme gibi kaynak hatalarının daha az olması nedeniyle daha kaliteli bir birleştirme işlemi gerçekleştirmektedir [10,14,15].

SKK, özel bir tasarıma sahip olan üzerinde omuz ve pim bulunan belli bir devirde dönen takımın, yan yana bulunan levhaların sınır noktasına daldırılması ile takım ve levhalar arasında gerçekleşen sürtünme sonucunda oluşan ısı ile malzemelerin yumuşayarak karıştığı bir birleştirme yöntemidir [16]. SKK işleminde malzemeler ergime noktasına ulaşmadığı için dönen ve ilerleyen takım kaynak bölgesinde malzemeleri karıştırarak birleştirme işlemini gerçekleştirmektedir [15].

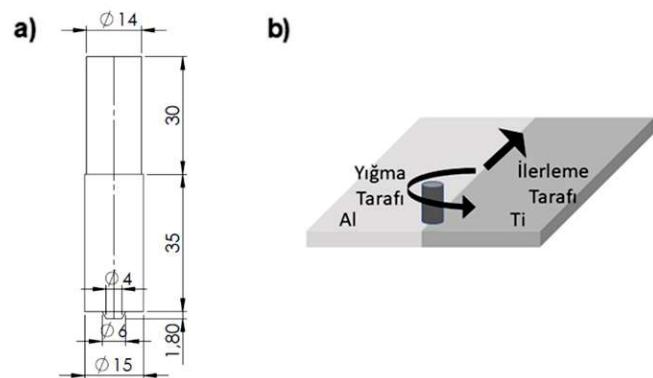
Farklı tür malzemelerin birleştirilmesi ağırlık azaltmanın yanı sıra farklı malzemelerin iyi olan özelliklerinden faydalananın için de uygulanmaktadır [5]. Ti6Al4V Ti alaşımı hava, savunma sanayi, biyomedikal gibi sektörlerde yüksek dayanım, korozyon direnci ve kırılma tokluğunun yanı sıra biyoyumlu olması nedeniyle en çok kullanım alanları olan Ti alaşımıdır [17]. Al alaşımını korozyon direnci ve hafif olması nedeniyle hava-uzay endüstrisi için önemli bir malzeme olmuştur [10]. 7XXX serisi Al alaşımının temel alaşım elementi Zn olup Mg ile birleştiğinde ısıl işlem uygulanabilen orta dayanımında bir alaşım elde edilir.  $MgZn_2$  çökeltisi yapıyı sertleştirir ve uygulanan ısıl işlem ile mekanik özellikler geliştirilebilir. Bu alaşım genellikle havacılık sektöründe kullanılmaktadır [18]. Literatürde Al ve Ti levhaların alın kaynak yöntemi ile birleştirildiği sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Li ve çalışma arkadaşları [19], Al-6Mg Al alaşımı ile Ti6Al4V Ti alaşımı levhaları SKK yöntemi ile birleştirikleri çalışmada intermetalik tabakanın çekme dayanımını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Takımın düşük dönme hızları kullanıldığı ve düşük takım ilerleme seçildiğinde daha başarılı birleştirme işleminin gerçekleştigini belirlemiştir. Wu ve çalışma arkadaşları [20], 6061 Al alaşımı ile Ti6Al4V Ti alaşımı levhaları SKK yöntemi ile birleştirikleri çalışmada  $TiAl_3$  intermetalik bileşiklerin kaynak ara yüzeyinde oluştuğunu belirlemiştir. Takımın 1250 dev/dk dönme hızı kullanılması ile birleştirilen numunenin en düşük çekme dayanımına sahip olduğunu ve 500 dev/dk dönme hızı kul-

lanılarak birleştirilen numunenin ikinci düşük değeri elde ettiği belirtilmiştir. En yüksek dayanımı ise 750 dev/dk dönme hızı kullanılarak birleştirilen numuneden elde etmişlerdir. Dressler ve çalışma arkadaşları [21], AA2024-T3 Al alaşımı ile Ti6Al4V Ti alaşımı levhaları SKK ile birleştirikleri çalışmada, kaynak bölgesinde ince taneli yeniden kristalleşmiş Al ile Ti parçacıkların karışımının bulunduğu belirlemiştir.

Bu çalışmada karıştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızlarının kaynak performansına etkisini belirlemek amacıyla 2 mm kalınlığında Al ve Ti levhalar 1040, 1500 ve 2080 dev/dk takım dönme hızı ve 18, 32 ve 54 mm/dk takım ilerleme hızı kullanılarak sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş olup kaynak kesiti optik mikroskop ile incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde ise vickers sertlik testi ve çekme testinden yararlanılmıştır.

## 2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2 mm kalınlığında AA7075-T6 Al alaşımı levhalar ile Ti6Al4V Ti alaşımı levhalar sürtünme karıştırma alın kaynak yöntemi (SKAKY) ile birleştirilmiştir. Karıştırıcı takım malzemesi olarak tungsten karbür (WC %10 Co) malzeme seçilmiştir. Tasarlanan karıştırıcı takımın omuz çapı 15 mm olup konik şekilde üretilen pim 4-6 mm çapa 1,8 mm uzunluğa sahiptir (Şekil 1.a). Kaynak işlemleri için Al ve Ti levhalar 200x50 mm boyutlarında kestirilmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde deney parametresi olarak karıştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızları kullanılmış olup, 1040, 1500 ve 2080 dev/dk takım dönme hızı ve 18, 32 ve 54 mm/dk takım ilerleme hızları kullanılmıştır. Ayrıca takım Al levha tarafına doğru 1.8 mm kaydırılmış, Ti levha ilerleme tarafı ve Al levha yığma tarafı olacak şekilde kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.b). Kaynak işlemeye başlamadan önce levhalar üzerinde yer alan kirlerin giderilmesi amacıyla yüzeyler aseton ile temizlenmiştir.

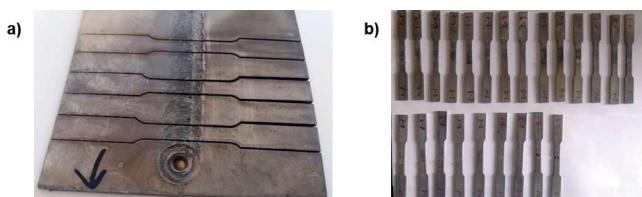


Şekil 1. a) SKK işlemi için tasarlanan karıştırıcı takımın teknik resim görünümü b) SKK işleminin şematik görünümü

Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacı ile kaynaklı birleştirilmiş parçalardan ASTM-E8 standardına uygun olacak şekilde her parametre için üçer adet çekme numunesi tel erozyon yöntemi ile kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 2).

Çekme testleri bir ton çekme kapasitesine sahip Shimadzu universal test cihazında 1 mm/dk çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı parçaların sertlik değerlerini belirlemek için kaynak kesiti üzerinden 1 mm aralıklarla Vickers sertlik cihazı (Tronic) kullanılarak ölçümler alınmıştır. Vickers sertlik testi için 200 g yük 15 s uygulanarak sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

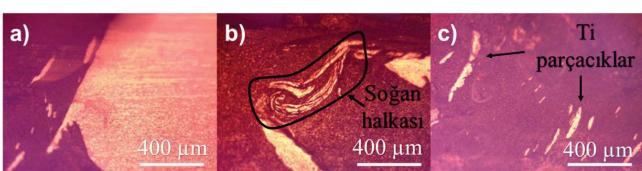
Kaynak kesiti üzerinden alınan optik mikroskop görüntülerile kaynak hattı, karmaşık bölge yer alan kaynak kusurları ve oluşan farklı yapılar incelenmiştir. Optik mikroskop ile inceleme için numunelere sırası ile 1000, 1500, 2000 ve 2500 kum zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi uygulanmış olup keller çözeltisi ile dağlama işlemi uygulanmıştır.



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Metalografik İnceleme

Karıştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızlarında kaynaklı birleştirilen levhaların kaynak bölgeleri optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. 1040 dev/dk takım dönme hızı ve 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak kaynaklı birleştirilen numunenin kaynak hattında belirgin bir kaynak kusuru görülmemiştir (Şekil 3). Optik mikroskop incelemesinde Ti hattının Al hattı içerisinde dahil olduğu gözlenmiş (Şekil 3.a), ayrıca Ti parçacıkların Al ana yapı içerisinde yer aldığı (Şekil 3.c) belirlenmiştir. Li ve çalışma arkadaşları yaptıkları çalışmalarında benzer şekilde Ti parçacıkların Al ana yapı içerisinde dağılığını belirtmişlerdir [19]. Şekil 3.b. incelendiğinde iki renkli olan bölgede ise Al ana kütle içerisinde Ti yapının soğan halkası benzeri bir görüntü verecek biçimde karıştığı görülmektedir.



1500 dev/dk takım dönme hızı ve 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen parçanın optik mikroskop görüntülerı Şekil 4'te yer almaktadır. Kaynak hattında belirgin bir

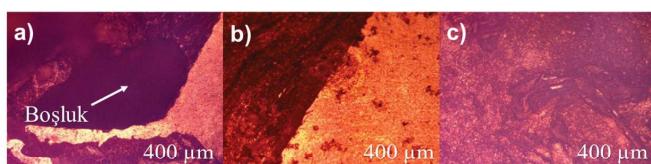
kaynak kusuru görülmemiş olup kaynak bölgesinde Al ve Ti yapıdan farklı olan bir bölgenin varlığı **görülmektedir**. Kaynaklı birleştirmenin karmaşık bölgesinde ise düzgün sayılabilen kadar çizgisel bir hattın varlığı görülmektedir. (Şekil 4.b). Ayrıca Al ana yapı içerisinde Ti parçacıkların yer aldığı da görülmektedir (Şekil 4.a ve Şekil 4.c).

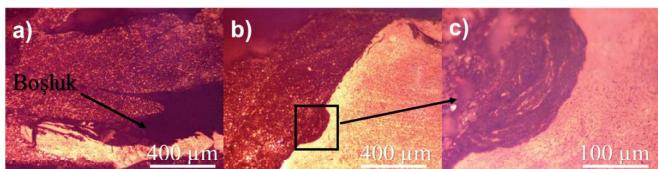


1500 dev/dk takım dönme hızı ve 54 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunenin optik mikroskop görüntülerini Şekil 5' te yer almaktadır. Al-Ti yapının birleştiği hatta düzgün sayılabilen kadar çizgisel bir hattın varlığı görülmektedir (Şekil 5.b). Ti yapının Al ana kütle içerisinde dahil olduğu Şekil 5.a' da görülmektedir.



2080 dev/dk takım dönme hızı ve 18 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak kaynaklı birleştirilen parçanın optik mikroskop görüntülerini Şekil 6' da yer almaktadır. Al ana kütle içerisinde dağılmış Ti partiküllerinin varlığı tespit edilmiştir ayrıca bu bölgede az miktarda boşluk olduğu da görülmüştür (Şekil 6.a). 2080 dev/dk takım dönme hızı ve 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen parçanın optik mikroskop görüntülerini Şekil 7' de yer almaktadır. Ti partiküllerinin Al ana kütle içerisinde dağılmış olarak bulunduğu belirlenmiş olup 18 mm/dk ile birleştirilen numuneye benzer şekilde boşluk olduğu görülmüştür (Şekil 7.a). Al -Ti kaynak hattı incelendiğinde Al yapının Ti yapı tarafına geçtiği bir bölgenin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 7.b). Bu bölge büyütüllererek incelendiğinde (Şekil 7.c) Al ana kütle içerisinde Ti yapının soğan halkası benzeri bir görüntü verecek biçimde karıştığı da görülmektedir. [22].





**Şekil 7.** 2080 dev/dk takım dönme hızı ve 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhaların kaynak kesiti üzerinden alınan optik mikroskop görüntüleri

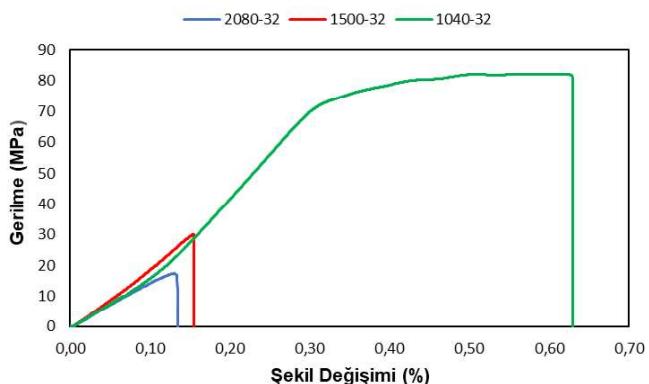
2080 dev/dk takım dönme hızı ve 54 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen parçanın optik mikroskop görüntüsü Şekil 8'de yer almaktadır. Kaynak hattında Al-Ti yapının ayrıldığı belirlenmiş olup birleşme bölgesinde Al ana kütle içerisinde Ti parçacıkların dağılmış olarak yer aldığı görülmektedir (Şekil 8.b). Ti yapının Al ana kütle içerisinde dahil olduğu fakat bu oranının 18 ve 32 mm/dk ile birleştirilen parçalara göre daha düşük olduğu belirlenmiş olup benzer şekilde bu bölgede az miktarda boşluk oluşumunun varlığı tespit edilmiştir.

### 3.2. Çekme Dayanımlarının İncelenmesi

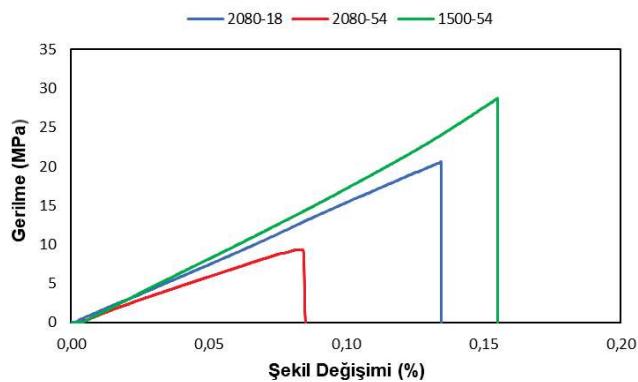
Kariştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızlarına göre birleştirilen levhaların mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla kaynaklı parçalara çekme testleri uygulanmıştır. 32 mm/dk sabit ilerleme hızı seçildiğinde farklı takım dönme hızlarına göre birleştirilen numunelerin çekme testi grafikleri Şekil 9'da yer almaktadır. 80 MPa çekme dayanımı ile en yüksek dayanım değerine 1040 dev/dk takım dönme hızı ile birleştirilen numunededen elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerden de görüleceği gibi takımın dönme hızı arttıkça çekme dayanımının düşüğü belirlenmiştir. 2080 dev/dk takım dönme hızı seçildiğinde 18 ve 54 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numelerin çekme dayanımları Şekil 10'da yer almaktadır. 18 mm/dk ile birleştirilen numune 20 MPa ile daha yüksek dayanım değeri elde etmiş olup ilerleme hızının artması ile çekme dayanımı değerlerinin düşüğü belirlenmiştir. 1500 dev/dk takım dönme hızı seçildiğinde 54 mm/dk ilerleme hızı ile birleştirilen numune 27 MPa çekme dayanım değeri elde etmiş olup (Şekil 10) 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numuneye göre daha düşük dayanım değeri elde etmiştir (Şekil 9). 1500 dev/dk takım dönme hızı seçildiğinde 2080 dev/dk ile birleştirilen numunelere benzer şekilde ilerleme hızının artması ile çekme dayanımı değerlerinin düşüğü belirlenmiştir.



**Şekil 8.** 2080 dev/dk takım dönme hızı ve 54 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhaların kaynak kesiti üzerinden alınan optik mikroskop görüntüleri



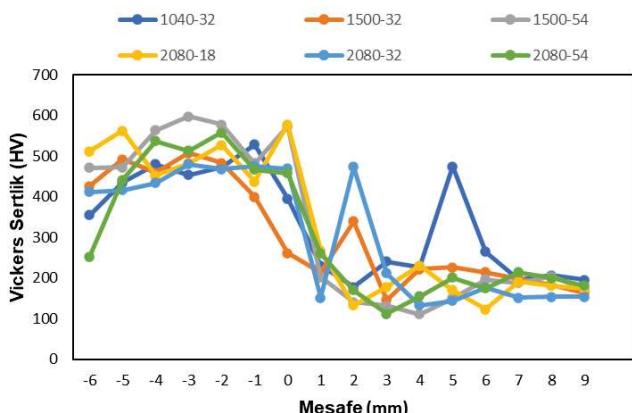
**Şekil 9.** 1040, 1500 ve 2080 dev/dk takım dönme hızı ile 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen AA-Ti levhaların gerilme-şekil değişirme grafikleri



**Şekil 10.** 1500 dev/dk ve 2080 dev/dk takım dönme hızı ile 18 mm/dk ve 54 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen levhaların gerilme-şekil değişimi grafikleri

### 3.3. Sertlik Değerlerinin İncelenmesi

Kariştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızlarına göre birleştirilen kaynaklı parçalara Vickers sertlik testleri uygulanmış olup sertlik grafikleri Şekil 11'de yer almaktadır. Grafik incelendiğinde tüm numuneler için Ti tarafından Al tarafına geçişte sertlik değerlerinde önemli düşüş olduğu belirlenmiştir. Dressler ve çalışma arkadaşları, kaynak bölgesinde Ti-Al geçiş sonrasında benzer şekilde sertlik değerlerinde büyük bir azalma olduğunu belirtmiştir [21]. Al tarafında elde edilen bazı yüksek sertlik değerleri ise Al ana yapı içerisinde dağılmış olarak bulunan Ti parçacıklarının varlığından ileri geldiği düşünülmektedir.



**Şekil 11.** SKK ile birleştirilen levhaların kaynak kesiti üzerinden alınan Vickers sertlik değeri grafikleri

## 4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Al ve Ti levhalar sürtünme karıştırma alın kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş olup karıştırıcı takımın farklı dönme ve ilerleme hızlarında kaynaklı birleştirilen parçaların kaynak performansı araştırılmıştır. 1040 dev/dk takım dönme hızı ve 32 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak kaynaklı birleştirilen numunede 80 MPa çekme dayanımı ile en yüksek dayanım değeri elde edilmiştir. 2080 dev/dk takım dönme hızı ve 54 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numunede ise 10 MPa çekme dayanımı ile en düşük dayanım değeri elde edilmiştir. Vickers sertlik testinde uygulanan tüm kaynak parametrelerinde birleştirilen numunelerin Ti tarafından Al tarafına geçişte sertlik değerlerinde önemli düşüş olduğu belirlenmiştir. Kaynaklı birleştirilen numunelerin kaynak bölgesinden elde edilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde ise Al ana kütle içerisinde dağılmış olarak Ti parçacıkların yer aldığı görülmüştür.

## 5. TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje Numarası: 2019-2-TP3-3600) tarafından desteklenmiştir.

## 6. REFERANSLAR

- [1] Kaushik, P., and Dwivedi, D. K. (2021). Effect of tool geometry in dissimilar Al-steel Friction Stir Welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 198-208.
- [2] Cakan, A., Ugurlu, M., and Kaygusuz, E. (2019). Effect of weld parameters on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir joints between pure copper and the aluminum alloy AA7075-T6. *Materials Testing*, 61(2), 142-148.
- [3] Uğurlu, M., and Çakan, A. The Effect of Tool Rotation Speed on Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded (FSSW) AA7075-T6 Aluminium Alloy Sheets. *European Mechanical Science*, 3(3), 97-101.
- [4] Devaraj, J., Ziout, A., and Abu Qudeiri, J. E. (2021). Dissimilar Non-Ferrous Metal Welding: An Insight on Experimental and Numerical Analysis. *Metals*, 11(9), 1486.
- [5] Zhao, J., Wu, C. S., and Su, H. (2021). Ultrasonic effect on thickness variations of intermetallic compound layers in friction stir welding of aluminium/magnesium alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 388-402.
- [6] Ales, S. K. (2021). Fatigue Behaviour of Aluminium Alloy AA2024 to Titanium Alloy Ti6Al4V Friction Stir Lap Welded Joints (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology).
- [7] Khan, N., Rathee, S., and Srivastava, M. (2021). Friction stir welding: An overview on effect of tool variables. *Materials Today: Proceedings*.
- [8] Çakan, A., Atmaca, H., and Uğurlu, M. (2018). Analysis and joining of Al-Cu plates using friction-stir welding technique. *European Mechanical Science*, 2(1), 1-8.
- [9] Beygi, R., Pouraliakbar, H., Torabi, K., Fallah, V., Kim, S. K., Shi, R., and da Silva, L. F. M. (2021). The inhibitory effect of stir zone liquefaction and eutectic-phase formation on the growth of  $\gamma/\beta$  intermetallics during dissimilar FSW of Al/Mg alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 70, 152-162.
- [10] Verma, S., Kumar, V., Kumar, R., and Sidhu, R. S. (2021). Exploring the application domain of friction stir welding in aluminum and other alloys. *Materials Today: Proceedings*.
- [11] Çam, G., Güclüer, S., Çakan, A., and Serindag, H. T. (2009). Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Entwicklung, Fertigung, Prüfung, Eigenschaften und Anwendungen technischer Werkstoffe*, 40(8), 638-642.
- [12] Çam, G., Serindag, H. T., Çakan, A., Mistikoglu, S., and Yavuz, H. (2008). The effect of weld parameters on friction stir welding of brass plates. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Entwicklung, Fertigung, Prüfung, Eigenschaften und Anwendungen technischer Werkstoffe*, 39(6), 394-399.
- [13] Meng, X., Huang, Y., Cao, J., Shen, J., and dos Santos, J. F. (2021). Recent progress on control strategies for inherent issues in friction stir welding. *Progress in Materials Science*, 115, 100706.
- [14] Talebizadehsardari, P., Musharavati, F., Khan, A., Sebaey, T. A., Eyvaziana, A., and Derazkola, H. A. (2021). Underwater friction stir welding of Al-Mg alloy: Thermo-mechanical modeling and validation. *Materials Today Communications*, 26, 101965.
- [15] Mahdianikhotebsara, A., Sehhat, M. H., and Hadad, M. (2021). Experimental study on micro-friction stir welding of dissimilar butt joints between Al 1050 and pure copper. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 1-16.
- [16] Yu, P., Wu, C., and Shi, L. (2021). Analysis and characterization of dynamic recrystallization and grain structure evolution in friction stir welding of aluminum plates. *Acta Materialia*, 207, 116692.
- [17] Deng, H., Chen, Y., Jia, Y., Pang, Y., Zhang, T., Wang, S., and Yin, L. (2021). Microstructure and mechanical properties of dissimilar NiTi/Ti6Al4V joints via back-heating assisted friction stir welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 379-391.
- [18] Dimopoulos, A., Vairis, A., Vidakis, N., and Petousis, M. (2021). On the Friction Stir Welding of Al 7075 Thin Sheets. *Metals*, 11(1), 57.
- [19] Li, B., Zhang, Z., Shen, Y., Hu, W., and Luo, L. (2014). Dissimilar friction stir welding of Ti-6Al-4V alloy and aluminum alloy employing a modified butt joint configuration: Influences of process variables on the weld interfaces and tensile properties. *Materials & Design*, 53, 838-848.
- [20] Wu, A., Song, Z., Nakata, K., Liao, J., and Zhou, L. (2015). Interface and properties of the friction stir welded joints of titanium alloy Ti6Al4V with aluminum alloy 6061. *Materials & Design*, 71, 85-92.
- [21] Dressler, U., Biallas, G., and Mercado, U. A. (2009). Friction stir welding of titanium alloy TiAl6V4 to aluminium alloy AA2024-T3. *Materials Science and Engineering: A*, 526(1-2), 113-117.
- [22] Sadeghi-Ghagheri, M., Kasiri-Asgarani, M., and Amini, K. (2016). Friction stir welding of dissimilar joint of aluminum alloy 5083 and commercially pure titanium. *Kovove Mater*, 54, 71-75.