

# Al - Si Alaşımının TIG Kaynağında Darbeli Akımın Mikroyapı, Sertlik, Eğme ve Çekme Dayanımına Etkisi

Ahmet DURGUTLU, Nizamettin KAHRAMAN, Behçet GÜLENC

## ÖZET

Bu çalışmada, AA 4000 serisi Al-Si alaşımı levhalar TIG kaynak yöntemi ile alternatif ve darbeli akım kullanılarak birleştirilmişlerdir. Kullanılan akım türünün kaynaklı birleştirmenin özelliklerine olan etkilerini görmek amacı ile birleştirilen numunelere mikroyapı, çekme, sertlik ve eğme testleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, darbeli akımın düşük ısı girdisine, kaynak metalinde tane incelmesine ve alternatif akıma göre kaynak metali sertliğinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Birleştirmelere uygulanan çekme testlerinde, darbeli akım ile birleştirilen numunelerin alternatif akıma nazaran daha yüksek çekme dayanımı gösterdikleri tespit edilmiştir. Yapılan eğme testi sonucunda numunelerde yırtılma ve çatlak oluşumu gibi bir yüzey hatasına rastlanılmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Al-Si alaşımı, TIG kaynağı, Darbeli akım, Çekme dayanımı, Mikroyapı

## The Effect of Pulsed Current on Microstructure, Hardness, Bending and Tensile Strength in TIG Welding of Al - Si Alloys

### ABSTRACT

In this study, AA 4000 series Al-Si alloys sheets were joined by TIG welding method using alternative and pulsed current. Tensile test, bending test, hardness test and microstructure examination of joined test specimens were carried out in order to see the effect of current type on mechanical properties of welded samples. Experimental results showed that, pulsed current leads to low heat input, grain refinement and hardness increase in weld metal compared to alternative current were used. Specimens joined by the pulsed current showed higher tensile strength than the specimens welded by the alternative current. After bending test, cracks, tearing and surface deflection were not observed on the samples.

**Keywords:** Al-Si alloys, TIG welding, Pulsed current, Tensile strength, Microstructure

### 1. GİRİŞ

Çevresel ihtiyaçlar endüstriyel üretimi, alüminyum gibi iyi elektrik ve ısı iletkenliğe sahip ve daha hafif olan alternatif malzemelere doğru yönlendirmektedirler (1). Son zamanlarda alüminyum alaşımlarının çeşitli konstrüksiyonlarda kullanımında giderek bir artış olmaktadır. Bu uygulamaların başlıcaları otomotiv sanayi, raylı araçlar, köprüler, korozyona karşı dayanımları sebebiyle deniz üzerindeki yapılar, yüksek hızlı deniz araçları, uzay araçları ve basınçlı kaplar olarak sayılabilir. Bütün bu uygulamalarda kaynak öncelikli birleştirme metodudur ve dayanım ana etkidir. Bu nedenle kaynaklı birleştirmelerin dayanım özellikleri iyi olmalıdır (2,3).

*Makale 10.06.2008 tarihinde gelmiş, 10.10.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

*A.DURGUTLU, B. GÜLENC, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü 06500 Teknikokullar, ANKARA e-posta : durgutlu@gazi.edu.tr , behcetg@gazi.edu.tr*

*N. KAHRAMAN,, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü 78050 Balıklar Kayaşı Mevki, KARABÜK*

*e-posta : nizamettinkahrana@hotmail.com*

*Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.4. 339-344*

Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde, ekonomik oluşu ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle genellikle TIG kaynağı tercih edilmektedir. TIG kaynağı; kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanan ve kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunan kaynak yöntemidir (4-6).

Birleştirmenin mekanik özellikleri göz önüne alındığında, kaynak işlemi, dolgu metali, ısı girdisi, kaynak paso sayısı gibi etkenler kaynaklı birleştirmenin mikroyapısını etkileyerek ısıdan etkilenen bölgenin genişliğini değiştirmekte ve esas metalde kalıcı gerilmeler oluşturmaktadır. Bütün bu etkenler ise birleştirmenin dayanımını etkilemektedir (7,8). Birçok konstrüksiyonda ve imalat işlerinde alın birleştirme yaygın olarak kullanılan metotlardan bir tanesidir. Geniş uygulama alanına sahip alın birleştirmelerin farklı yükler altındaki davranışları araştırmacılar tarafından araştırılan konulardan bir tanesidir (2).

Kaynak dikişi ergime bölgesi, kaynak metalinin katılması esnasındaki sıcaklık şartları sebebiyle ge-

nellikle kaba ve sütunsal taneler içerir. Bu sonuç genellikle kaynak dikişinin mekanik özelliklerini ve sıcak çatlama direncini düşürür. Bu nedenle, çok yüksek sıcaklık ve sıcaklık farklılıkları sebebiyle zor olmakla beraber, kaynak dikişlerinin katılma mikroyapısının kontrolü genellikle istenilen bir durumdur. Bununla birlikte, geçmişten beri kaynak metalinde tane inceltmesi için birkaç metot başarıyla uygulanmıştır. Bu metotlar; aşılama ile heterojen çekirdeklenme, mikro parçacık ilavesi, yüzeye gaz üfleme ile yüzeyden katılmanın başlamasını sağlamak ve torç titreşimi gibi fiziksel karıştırma teknikleri olarak sıralanabilir (9-11). Son zamanlarda darbeli akım üreten makinelerin geliştirilmesiyle beraber farklı malzemeler üzerinde darbeli akımın kaynak metali tane yapısına olan etkileri de araştırmacılar tarafından incelenmeye başlanmıştır (12).

Yüksek elektrik ve ısı iletkenlik kaynak işlemini bir dezavantaj olarak etkiler ve genellikle ITAB'ın daha geniş bir alanda oluşmasına neden olur. Kaynaklı birleştirmede darbeli akım kullanıldığında esas metale uygulanan ısı girdisi minimuma indirilerek ITAB'ın genişliği daraltılabilir (13-16).

Yüksek ve düşük akım değerleri, bu değerlerin süresi ve darbe frekansından oluşan darbeli akım parametreleri, arkın kararlılığını, kaynak kalitesini, kaynak dikişi görünümünü ve kaynak dikiş geometrisini önemli ölçüde etkilemektedir. Darbeli ark, kaynak akımının yüksek akım ile düşük akım arasında hızlı biçimde artıp azalmasından oluşmaktadır. Kaynak çizgisinde birbirine üstüne binmiş puntalar biçiminde görüntü elde edilmektedir. Bu parametrelerin uygunsuz seçimi düzensiz dikiş yüzeyi görünümü başta olmak üzere ergime boşluklarına, yanma oyuklarına ve yetersiz nüfuziyete neden olabilmektedir. Bu yüzden iyi bir kaynak için darbeli akım parametrelerinin uygun olarak seçimi çok önemlidir. Kaynak işleminde darbeli akım parametreleri birbirine bağlı ve karmaşık olması sebebiyle, kabul edilebilir özellikte bir kaynaklı birleştirme elde etmek için bu parametrelerin birbiriyle uyum içinde olmaları gerekmektedir (1,16).

Darbeli akımın kaynaklı birleştirmelerin ergime bölgesinde tane inceltmesi ve mekanik özellikleri üzerine etkileri son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından farklı malzemeler üzerinde incelenmektedir (17,18). Bu çalışmada, alüminyum levhalar TIG kaynak yöntemi ile hem alternatif hem de darbeli akım kullanılarak birleştirilmiş ve birleştirmelerin mikroyapı, çekme mukavemeti, eğilme ve sertlik özellikleri araştırılmıştır.

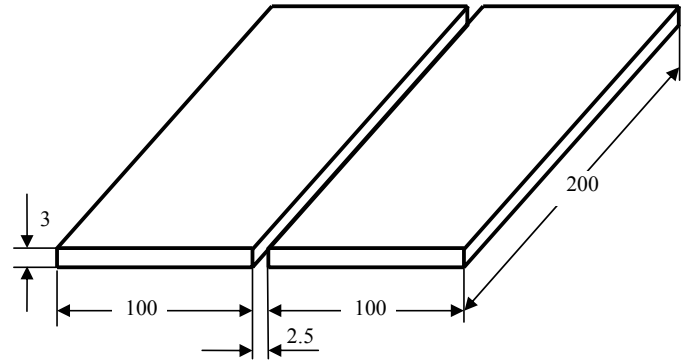
## 2. DENEYSEL METOD

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığa sahip hadde mamulü ticari AA 4000 (Al-Si alaşımı) serisi % 8,5 silisyum oranına sahip alüminyum levhalar TIG kaynak yöntemi ile farklı akım türleri kullanılarak (alternatif ve darbeli akım) birleştirilmiştir. Çalışmada ilave metal olarak TAL-4047 (SG-AlSi12) Oerlikon alüminyum tel kullanılmıştır. Birleştirilecek alüminyum parçalar 200x100x3 mm ebatlarında hazırlandıktan sonra yü-

zeyleri temizlenmiş ve aralarında 2.5 mm kalacak şekilde alın altına puntalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Sabit hale getirilen levhalar bir altlık üzerinde tek paso halinde birleştirilmiş ve açık havada soğumaya bırakılmışlardır. Birleştirme işlemleri CEBORA AC-DC 2030-M marka invertör tipi kaynak makinası ile argon koruyucu gazı atmosferi altında yapılmıştır. Deneylede kullanılan kaynak parametreleri Tablo 1'de, birleştirilecek parçalara ait şematik görüntü ise Şekil 1'de verilmiştir. Aşağıdaki parametrelerde belirtilen kaynak hızı kronometre ile tespit edilmiştir.

Tablo 1. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri

Parametre	Alternatif akım	Darbeli akım
Elektrod çapı (mm)	2.4	2.4
İlave metal çapı (mm)	2	2
Voltaj (V)	28	28
Amper (A)	140	-
Üst amper (A)	-	140
Alt amper (A)	-	70
Darbe frekansı (Hz)	-	5
Darbe zamanı (%)	-	50
Koruyucu gaz	Argon	Argon
Gaz akış oranı (l/dk.)	14	14
Kaynak hızı (mm/dk.)	140	140
Isı girdisi (kJ/mm)	1.68	1.26



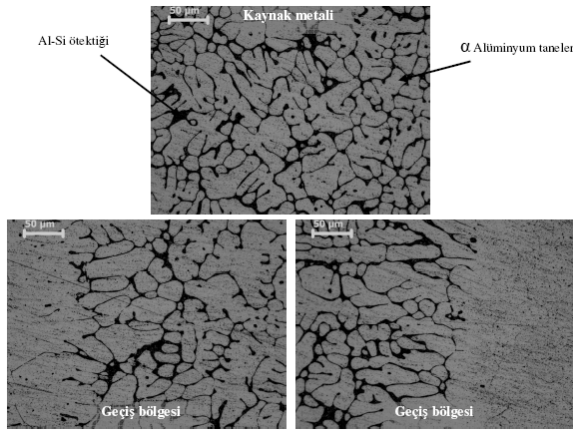
Şekil 1. Birleştirilen parçaların şematik görüntüsü

Birleştirilmiş numunelerden şerit testere yardımı ile kaynağın başlangıç ve bitiş kısmından 20 mm kesilerek atılmış ve diğer kısımlarından çekme, eğme ve mikroyapı incelemeleri için numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan mikroyapı numuneleri gömme işleminden sonra standart metalografik numune hazırlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu numuneler daha sonra % 0.5'lik hidroflorik asit (0.5 HF+99.5 Saf su) çözeltisinden oluşan dağlayıcı ile dağlanmış ve mikroyapı incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir. Hazırlanan numuneler-

den LEIKA DFC 320 dijital kamera bağlantılı LEIKA DM 4000 M marka optik mikroskop kullanılarak gerekli görülen yerlerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Hazırlanan mikroyapı numuneleri aynı zamanda sertlik ölçümü için de kullanılmışlardır. Sertlik ölçümleri, SHIMADZU Vickers mikrosertlik ölçme cihazı ile yapılmış ve ağırlık olarak 0.5 kg yük kullanılmıştır. Çekme numuneleri TS 287 EN 895 ve eğme numuneleri ise TS 282 prEN 910'a göre CNC tezgahında işlenerek hazırlanmışlardır. Birleştirmelere uygulanan çekme ve eğme işlemleri Autograph-Shimadzu tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

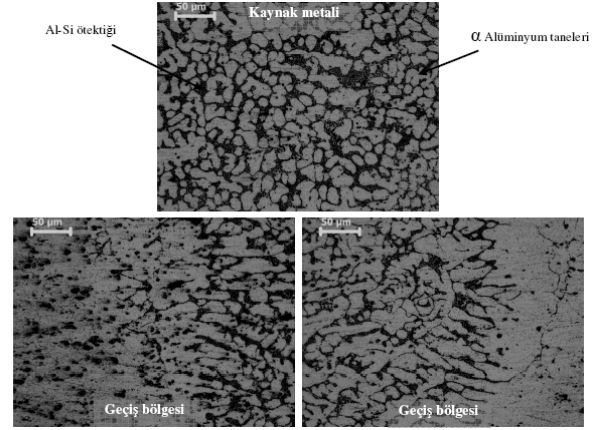
Yapılan deneyler sonucunda alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak dikişlerinin darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak dikişlerine nazaran daha geniş bir alanda oluştuğu görülmüştür. Bununla birlikte, darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak havuzunun kontrolü daha rahat sağlanmıştır. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerden aynı büyütme oranlarında elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Şekil 2'de verilen görüntüler alternatif akım kullanılarak elde edilen numunelerin kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapılarını, Şekil 3'te verilen görüntüler ise darbeli akım kullanılarak elde edilen numunelerin kaynak metali ve geçiş bölgesi mikroyapılarını içermektedir.



Şekil 2. Alternatif akım ile birleştirilen numunelere ait mikroyapı görüntüleri

Şekil 2'de verilmiş olan alternatif akım kullanılarak birleştirilen numunelerin mikroyapı görüntülerine bakıldığında, kaynak metalinde oluşan tanelerin iri dendritler şeklinde meydana geldiği ve kullanılan ilave metalin etkisi ile alfa alüminyum tanelerinin (beyaz bölgeler) yapıya hakim olduğu ve etrafında az miktarda alüminyum-silisyum ötektiklerinin oluştuğu görülmektedir. Kaynak metalinde oluşan tanelerin kaba oluşunun nedeni ısı girdisinin fazla oluşu (1.68 kJ/mm) sebebi ile kaynak havuzunun daha geniş bir alanda oluşması ve kaynak metali katılmasının uzun sürede gerçekleşmesine bağlanabilir. Literatürde (9,10,19,20), tane inceltme işlemi uygulanmamış kaynak dikişlerinde oluşan taneler

irin iri ve sütunsal bir şekilde oluştuğu ve kaynak dikişi merkezine doğru yönlendiği belirtilmektedir. Alternatif akım kullanılarak birleştirilen numunelerin kaynak metali geçiş bölgesi mikroyapı görüntülerine bakıldığında ise, tipik bir kaynak metali geçiş bölgesinin oluştuğu ve katılmanın ana metalin tanelerinden başlayarak iri taneler şeklinde kaynak metali merkezine doğru yönlendiği görülmektedir.



Şekil 3. Darbeli akım ile birleştirilen numunelere ait mikroyapı görüntüleri

Şekil 3'te verilen darbeli akım ile birleştirilen numunelerin mikroyapı görüntülerine bakıldığında, alternatif akım ile elde edilen kaynak metali tanelerinden oldukça farklı bir tane yapısının oluştuğu görülmektedir. Burada tek farkın kullanılan akım türü olduğu düşünüldüğünde darbeli akımın kaynak metali tane yapısında ne derece etkili olduğu görülmektedir. Darbeli akım ile gerçekleştirilen birleştirmelerin kaynak metalinde, yüksek akım (140 A) esnasında eriyen metal, düşük akım (70 A) esnasında katılmakta ve bu yüzden tane irileşmesi için yeterince süre bulunamamaktadır. Ayrıca düşük ısı girdisi sebebi ile (yüksek ve düşük akım ortalaması) kaynak havuzu daha dar bir alanda meydana gelmiş ve kaynak metali katılma hızı oldukça yüksek olmuştur. Bunun sonucu olarak kaynak metalinde oluşan alfa alüminyum taneleri irileşmemiş ve alternatif akım ile elde edilen kaynak metali tanelerine nazaran oldukça küçük tanecikler şeklinde meydana gelmiştir. Meydana gelen bu taneciklerin etrafını ise yine kullanılan ilave metalin etkisi ile alüminyum-silisyum ötektik çevrelemiştir. Oluşan bu faz alternatif akım ile kıyaslandığında darbeli akım ile elde edilen kaynak metalinde daha etkin halde oluşmuştur. Darbeli akım ile elde edilen kaynak metali geçiş bölgelerine bakıldığında ise, alternatif akımda olduğu gibi katılmanın ana metal tanelerinden başladığı ve kaynak metali merkezine doğru ince taneler şeklinde yönlendiği görülmektedir.

Deneysel çalışmalar sonucunda, birleştirilen numunelere uygulanan çekme testlerinden elde edilen değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çekme testi sonuçları

	Çekme dayanımı (MPa)	% Uzama
Ana malzeme	150	12
Alternatif akım	92	7
Darbeli akım	98	8.5

Tablo 2’de verilen çekme testi sonuçlarına bakıldığında, birleştirme işlemi uygulanmamış ana malzemeye ait ortalama çekme dayanımının 150 MPa olduğu görülürken, uzama değeri ise % 12 olarak görülmektedir. Kullanılan her iki akım türünde birleştirilmiş numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda numunelerin tümünde kopma, ergime sınırından 4-6 mm uzakta ITAB’de gerçekleşmiştir (Şekil 4). Alternatif akım kullanılarak birleştirilen numunelere uygulanan çekme testlerinde ana malzemeye nazaran, çekme dayanımı % 39 değer kaybederek 92 MPa değerine düşmüştür. Yine bu akım türünde, çekme numunelerindeki uzama değerleri ise yaklaşık olarak % 42 oranında değer kaybederek % 7 olmuştur. Darbeli akımın kullanıldığı birleştirmelerin çekme testi değerleri ise alternatif akıma göre ana malzemeye daha yakın olarak tespit edilmiştir. Darbeli akım ile birleştirilmiş numunelerde çekme dayanımı % 35 oranında değer kaybederek 98 MPa değerine düşmüştür. Kullanılan bu akım türünde de, çekme numunelerindeki uzama değerleri ana malzemeye nazaran yaklaşık % 30 değer kaybetmiş ve uzama % 8.5 olarak tespit edilmiştir. Çekme testleri sonuçlarında, kopma işlemlerinin kaynak metallere gerçekleşmemesi nedeni ile kaynak metalindeki tane yapısının çekme dayanımına olan etkisi hakkında yorum yapılamasa da kaynak metalinin dayanımının ana malzemenin daha yüksek olduğu anlaşılabilmektedir. Kullanılan akım türüne bağlı olarak malzemelere uygulanan ısı girdisi birleştirmelerin ITAB özelliklerini değiştirmektedir. Bilindiği üzere ısı girdisinin fazla oluşu ITAB’yi genişletmektedir. Alternatif akım kullanılarak elde edilen birleştirmelerde ısı girdisinin yüksek oluşu (1.68 kJ/mm) nedeni ile kaynaklı parçaların soğuma şartları değişmiş ve ITAB geniş bir alanda oluşmuştur. Ancak, darbeli akım ile birleştirilen numunelerde parçalara uygulanan ısı girdisi değerlerinin alternatif akıma göre oldukça düşük olması (1.26 kJ/mm) nedeni ile ITAB daha dar bir alanda oluşmuştur. Sertlik değeri sonuçlarından da görüldüğü üzere darbeli akım ile elde edilen birleştirmelerin ITAB sertlik değerleri, alternatif akım ile elde edilen birleştirmelere nazaran daha yüksek olmuş ve numunelerin çekme dayanımları da buna bağlı olarak artış göstermiştir. Farklı özelliklerdeki alüminyum alaşımları üzerine yapılan araştırmalarda da (3,12) bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4. Çekme testi numuneleri

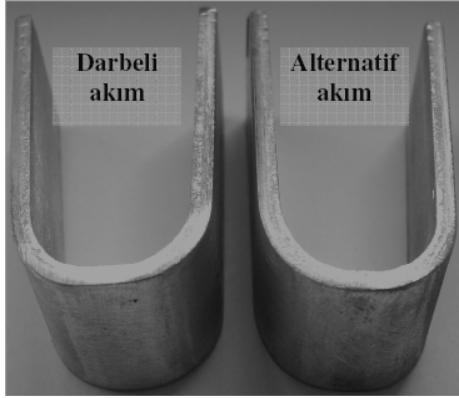
Tablo 3’de deneysel çalışmalarda kullanılan ana malzeme, ilave metal ve iki farklı akım türü ile birleştirilen parçalara ait kaynak metal sertlik değerleri verilmiştir. Darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak metalindeki ince tane yapısı nedeniyle kaynak metal sertliği, alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak metal sertliğine göre farklılıklar göstermektedir.

Tablo 3. Mikrosertlik test sonuçları (HV<sub>0.5</sub>)

Akım türü	Kaynak metal	ITAB	Ana malzeme	İlave metal
Alternatif akım	45	39	58	57
Darbeli akım	49	42		

Tablo 3’de verilen sertlik değerlerine bakıldığında deneysel çalışmada kullanılan ana malzemenin sertliğinin 58 HV ve tel çekme metodu ile elde edilen ilave metalin sertliğinin 57 HV olduğu görülmektedir. Alternatif akım kullanılarak birleştirilen parçaların kaynak metallere elde edilen sertlik değeri ortalama 45 HV olarak ölçülürken, bu değer darbeli akım kullanılarak birleştirilen parçaların kaynak metallere elde edilen sertlik değeri ortalama 49 HV olarak ölçülmüştür. Alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak metallere oluşan alfa alüminyum, ısı girdisinin çokluğu ve katılma süresinin uzun olması sebebiyle iri dendritler oluşturmuş ve sertlik değerini düşürmüştür. Darbeli akım ile elde edilen kaynak metallere ise hızlı katılma sebebi ile alfa alüminyum, küçük ve ince taneli olarak meydana gelmiş, aynı zamanda kullanılan ilave metalin de etkisi ile yapıya alüminyum silisyum ötektiği hakim olmuştur. Bu nedenle darbeli akım ile elde edilen kaynak metallere sertlik değerleri, alternatif akım ile elde edilene nazaran daha yüksek bir değer almıştır. Ayrıca, birleştirilen parçalara uygulanan ısı girdisinin bir etkisi olarak, alternatif akım kullanılarak birleştirilen malzemelerin ITAB sertlik değerleri ortalama 39 HV değerine düşerken bu değer darbeli akım kullanılarak birleştirilen malzemelerin ITAB’inde yaklaşık 42 HV olarak belirlenmiştir.

İki farklı akım türü ile birleştirilmiş numunelere uygulanan 180° eğme deneyi sonucunda, numunelerin geçiş bölgelerinde ve kaynak metallere göz ile yapılan muayeneler sonucunda herhangi bir yırtılma veya çatlak oluşumu gibi birleşme hatasına rastlanmamıştır. Eğme işlemine tabi tutulmuş numunelere ait görüntüler Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. Eğme deneyi uygulanan numuneler

#### 4. SONUÇLAR

Farklı özellikte akım kullanılarak AA 4000 serisi Al-Si alaşımı levhaların TIG kaynak yöntemi ile birleştirildiği ve birleştirmelerin mikroyapı, çekme dayanımı, sertlik ve eğilme özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- i. Darbeli akım ile yapılan birleştirmelerde parçalara uygulanan ısı girdisinin (üst ve alt amperden dolayı) alternatif akıma göre daha az olduğu tespit edilmiştir.
- ii. Al-Si alaşımı levhaların birleştirilmesinde alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak dikişleri geniş bir alanda oluşurken, darbeli akım ile elde edilen kaynak dikişleri dar bir alanda oluşmuş ve birbiri üzerine binmiş puntalar görünümünde meydana gelmiştir. Bununla birlikte darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak havuzunun kontrolü daha rahat sağlanmıştır.
- iii. Alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak metali taneleri kaba dendritler şeklinde oluşurken, darbeli akım kullanıldığında kaynak metalinde oluşan taneler daha küçük bir hal almıştır. Dolayısı ile darbeli akım kaynak metalinde tane incelmeye neden olmuştur.
- iv. Birleştirmelere uygulanan çekme testleri sonuçlarında parçalara uygulanan ısı girdisine bağlı olarak darbeli akım ile elde edilen birleştirmelerin alternatif akıma göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.
- v. Darbeli akım ile elde edilen kaynak metali sertlik değerleri tane yapısı, ısı girdisi ve katlaşma şartları nedeni ile alternatif akıma oranla daha yüksek değerlerde bulunmuştur.
- vi. Her iki farklı akım türü ile elde edilen birleştirmelere uygulanan eğme testleri sonuçlarında birleştirmelerin kaynak metallere ve geçiş bölgelerinde, yırtılma veya çatlama gibi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır.

#### 5. KAYNAKLAR

- 1- P. Praveen, P.K.D.V. Yarlagadda, M.J. Kang, Advancements in pulse gas metal arc welding, Journal of Materials Processing Technology 164-165, 1113-1119,2005.
- 2- Maddox SJ. Review of fatigue assessment procedures for welded aluminium structures. Int J Fatigue:1359-78, 2003.
- 3- V. Balasubramanian et al., Effect of pulsed current welding on fatigue behaviour of high strength aluminium alloy joints, Materials and Design 29, 492-500, 2008.
- 4- Gourd, M. L., Principles of welding technology, Third Edition, Edward Arnold, A Member of the Hodder Headline Group, London Melbourne Auckland, London, 87-128, 1995.
- 5- Juang, S. C., Tarn Y. S., Process parameter selection for optimising the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 122, 33-37, 2002.
- 6- Cary, H. B., Modern welding technology, Second Edition, AWS, 82-85, 1981.
- 7- Shelwaker DA, Madhusudhan Reddy G, Gokhale AA. Gas tungsten arc welding studies on similar and dissimilar combinations of Al-Zn- Mg alloy RDE 40 and Al-Li alloy 1441. Sci Technol Weld Joining: 352-61, 2002.
- 8- Kahraman N., Durgutlu A., Gülenç B., 316 L Paslanmaz çeliğin TIG kaynağında koruyucu argon gazına hidrojen ilavesinin kaynak bölgesi tane morfolojisine etkilerinin araştırılması, G.Ü.T.E.F. Politeknik Dergisi, Cilt 7, 223-228, 2004.
- 9- Kou S, Le Y. Nucleation mechanism and grain refining of weld metal. Weld J:65-70, 1986.
- 10- M.V. Suresh; B. Vamsi Krishna; P. Venugopal; K. Prasad Rao, Effect of pulse frequency in gas tungsten arc welding of powder metallurgical preforms, Science and Technology of Welding & Joining, Volume 9, Number 4, pp. 362-368, 2004.
- 11- T. Senthil Kumar et al., Influences of pulsed current tungsten inert gas welding parameters on the tensile properties of AA 6061 aluminium alloy, Materials and Design 28 2080-2092, 2007.
- 12- V Balasubramanian et al., Effect of current pulsing on tensile properties of titanium alloy, J Mater Design, doi:10.1016/j.matdes.2007.07.007, 2007.
- 13- S. Sundaresan et all., Microstructural refinement of weld fusion zones in  $\alpha$ - $\beta$  titanium alloys using pulsed current welding, Materials Science and Engineering A, Volume 262, Issues 1-2, 1, Pages 88-100, 1999.
- 14- P. Praveen, P.K.D.V. Yarlagadda, M.J. Kang, Advancements in pulse gas metal arc welding, Journal of Materials Processing Technology 164-165, 1113-1119, 2005.
- 15- Shuyan Zhang, Fusong Jiang, Wenbin Ding, Microstructure and mechanical performance of pulsed current gas tungsten arc surface engineered composite

- coatings on Mg alloy reinforced by SiCp, Mater. Sci. Eng. A, doi:10.1016/j.msea.2008.01.033, 2008.
- 16- P.K. Palani, N. Murugan, Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding, Journal of Materials Processing Technology 172, 1–10, 2006.
- 17- M. Balasubramanian et al., Optimizing pulsed current parameters to minimize corrosion rate in gas tungsten arc welded titanium alloy, [The International Journal of Advanced Manufacturing Technology](#), doi: 10.1007/s00170-007-1233-3.
- 18- M. Balasubramanian et al., A mathematical model to predict impact toughness of pulsed-current gas tungsten arc-welded titanium alloy, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, doi: 10.1007/s00170-006-0763-4.
- 19- Durgutlu A., Alüminyumun TIG kaynağında Argon-Hidrojen gaz karışımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi, G.Ü.T.E.F. Politeknik Dergisi, Cilt 10, Sayı 3, 271- 276, 2007.
- 20- Durgutlu A., Gülenç B., ve Tülbentçi K., “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi”, Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, Cilt 23, Sayı 4, 251-259, 1999.