

4000 SERİSİ ALÜMİNYUM LEVHALARIN TIG KAYNAĞINDA AKIM TÜRÜNÜN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Ahmet DURGUTLU*

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. 06600 Ankara, TÜRKİYE

Özet-Bu çalışmada, AA 4000 serisi Al-Si alaşımı levhalar gazaltı kaynak yöntemlerinden olan TIG kaynak yöntemi ile alternatif ve darbeli akım kullanılarak birleştirilmişlerdir. Kullanılan akım türünün kaynaklı levhaların özelliklerine olan etkilerini görmek amacı ile birleştirilen numunelere mikroyapı, sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, darbeli akımın ısı girdisini düşürdüğü, kaynak metali tanelerini incelttiği ve geleneksel alternatif akıma göre kaynak metali sertliğinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Birleştirilmiş levhalara uygulanan çekme testlerinde, darbeli akım ile birleştirilen numunelerin alternatif akıma nazaran daha yüksek çekme dayanımı gösterdikleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Alüminyum, TIG kaynağı, Akım türü, Mekanik özellikler

THE EFFECT OF CURRENT TYPE ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN TIG WELDING OF 4000 SERIES ALUMINUM SHEETS

Abstract-In this study, AA 4000 series Al-Si alloys sheets were joined by TIG welding method using alternative and pulsed current. Tensile 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.

Key Words-Aluminum, TIG welding, Current type, Mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzün ihtiyaçları 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

* durgutlu@gazi.edu.tr

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].

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].

Birleştirilen malzemelerin 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 [2,9].

Kaynak dikişi ergime bölgesi, kaynak metalinin katılaşması esnasındaki sıcaklık şartları sebebiyle genellikle 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 katılaşma 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 katılaşmanın başlamasını sağlamak ve torç titreşimi gibi fiziksel karıştırma teknikleri olarak sıralanabilir [10-13]. Son zamanlarda darbeli akım üreten makinaların geliştirilmesiyle beraber farklı malzemeler üzerinde darbeli akımın kaynak metali tane yapısına olan etkileri de araştırmacılar tarafından incelenmeye başlanmıştır [14-16].

Elektrik ve ısı iletkenliğin yüksek oluşu 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 [17-20].

Kaynak işlemi esnasındaki 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 birbiri 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 [1,20-22].

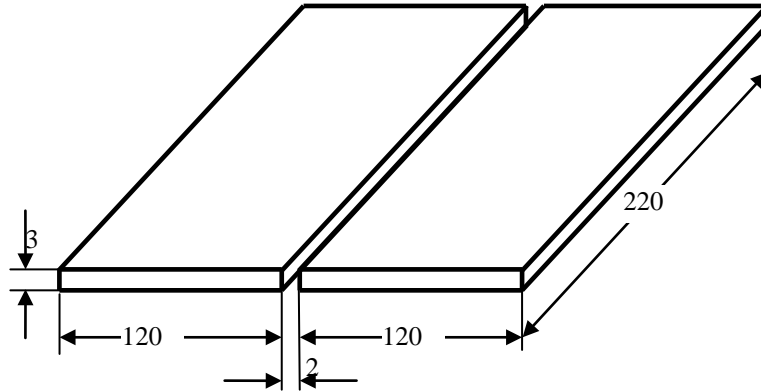
Kaynaklı birleştirmelerin ergime bölgesinde tane inceltmesi ve mekanik özellikleri üzerine darbeli akımın etkileri son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından farklı malzemeler üzerinde incelenmektedir [23-25]. Bu çalışmada, 4000 serisi alüminyum levhalar TIG kaynak yöntemi ile hem alternatif hem de darbeli akım kullanılarak birleştirilmiş ve birleştirmelerin mikroyapı, çekme mukavemeti ve sertlik özellikleri araştırılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, 3 mm kalınlığa sahip hadde ürünü 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) alüminyum tel kullanılmıştır. Birleştirilecek alüminyum parçalar 220x120x3 mm ebatlarında hazırlandıktan sonra yüzeyleri temizlenmiş ve aralarında 2 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 invertör tipi kaynak makinası ile argon koruyucu gazı atmosferi altında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 1’de, birleştirilecek parçalara ait şematik görüntü ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri(Parameters used at the joining process)

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)	-	6
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



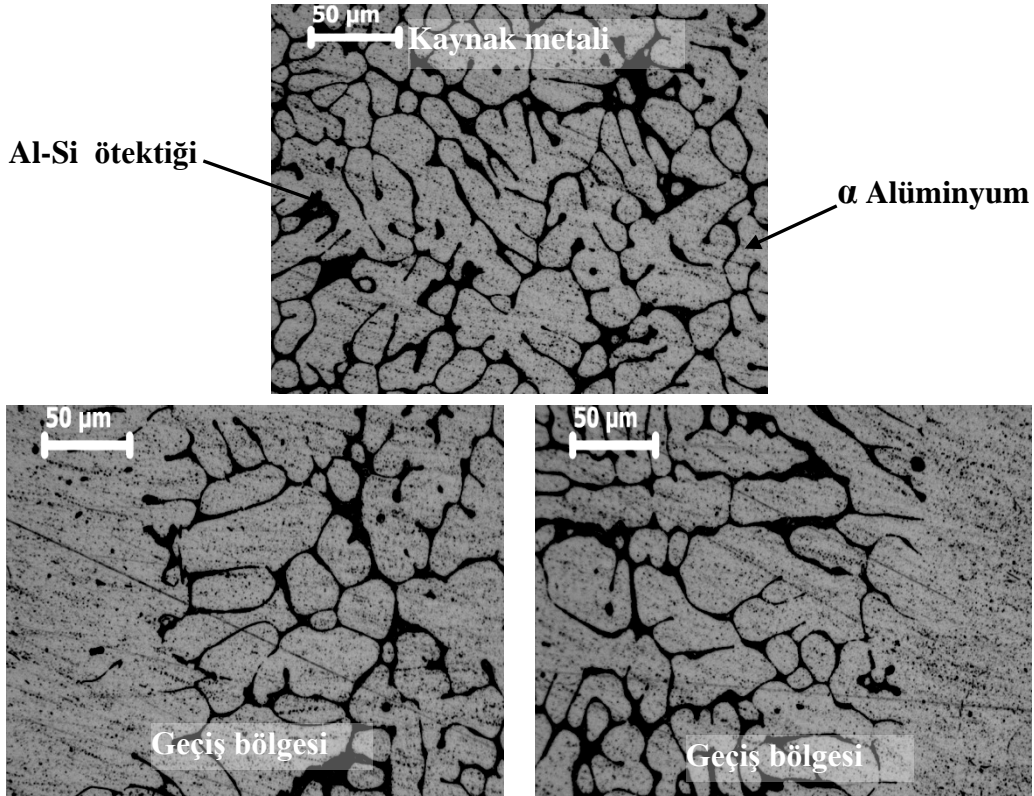
Şekil 1. Birleştirilen parçaların şematik görüntüsü (Schematic illustration of welded parts)

Birleştirilmiş numunelerden şerit testere yardımı ile kaynağın başlangıç ve bitiş kısmından 20 mm kesilerek atılmış ve diğer kısımlarından çekme 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 hidroklorik asit (0.5 HF+99.5 Saf su) çözeltisinden oluşan dağlayıcı ile dağlanmış ve mikroyapı incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir. Hazırlanan numunelerden dijital kamera bağlantılı optik mikroskop kullanılarak gerekli görülen yerlerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Hazırlanan mikroyapı numuneleri aynı zamanda sertlik ölçümü için de

kullanılmışlardır. Sertlik ölçümleri, Vickers mikrosertlik ölçme cihazı ile yapılmış ve ağırlık olarak 0.5 kg yük kullanılmıştır. Çekme numuneleri ASTM E8M'e göre CNC tezgahında işlenerek hazırlanmışlardır. Birleştirmelere uygulanan çekme işlemleri 2 mm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR (FINDINGS)

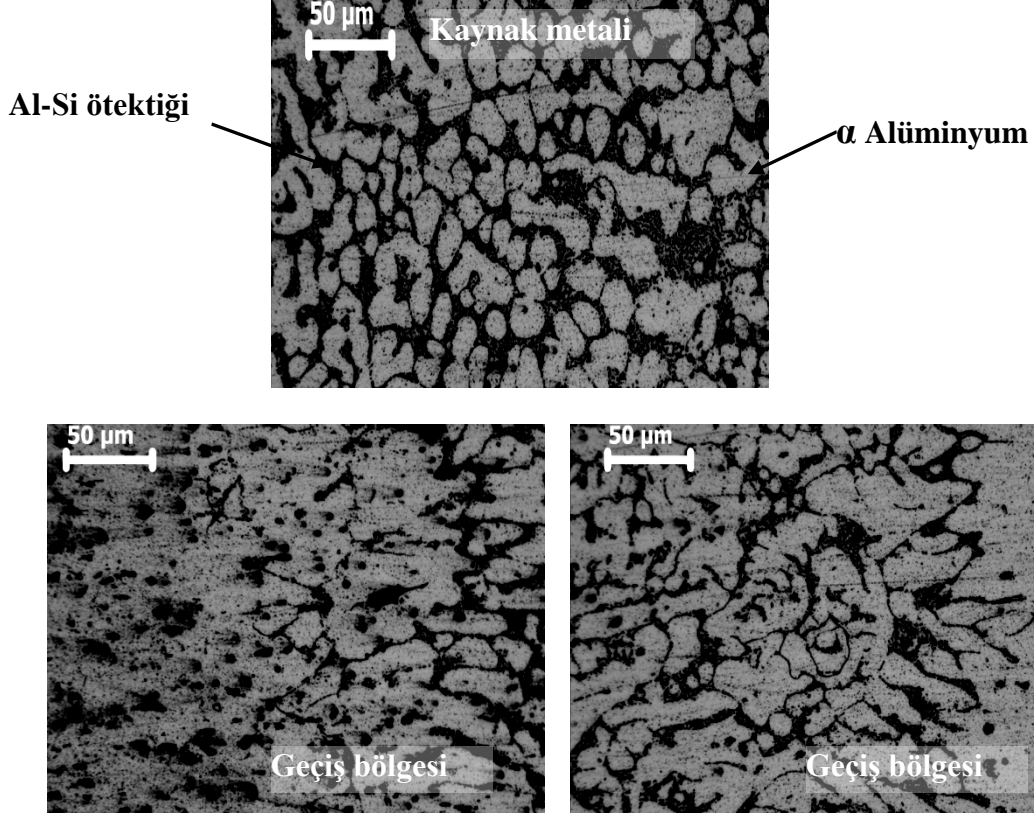
Gerçekleştirilmiş olan deneyler sonucunda alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak dikişlerinin darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak dikişlerine nazaran daha geniş bir alanda oluştuğu görülmüştür. Bununla birlikte, darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak havuzunun kontrolü daha rahat 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 (Microstructure pictures of the samples welded with alternative current)

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 ötektikinin 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 katılaşmasının uzun sürede gerçekleşmesine bağlanabilir. Literatürde [10,11,26,27], tane inceltme işlemi uygulanmamış kaynak dikişlerinde oluşan tanelerin iri ve sütunsal bir şekilde oluştuğu ve

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



Şekil 3. Darbeli akım ile birleştirilen numunelere ait mikroyapı görüntüleri(Microstructure pictures of the samples welded with pulsed current)

Şekil 3'te verilen darbeli akım ile birleştirilen numunelerin mikroyapı görüntülerine bakıldığında, alternatif akım ile elde edilen kaynak metal tanelerinden oldukça farklı bir tane yapısının oluştuğu görülmektedir. Burada tek farkın kullanılan akım türü olduğu düşünüldüğünde darbeli akımın kaynak metal tane yapısında ne derece etkili olduğu görülmektedir. Darbeli akım ile gerçekleştirilen birleştirmelerin kaynak metallere, yüksek akım (140 A) esnasında eriyen metal, düşük akım (70 A) esnasında katılaşmakta 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 metal katılaşma hızı oldukça yüksek olmuştur. Bunun sonucu olarak kaynak metalinde oluşan alfa alüminyum taneleri irileşmemiş ve alternatif akım ile elde edilen kaynak metal tanelerine nazaran oldukça küçük tanecikler şeklinde meydana gelmiştir. Meydana gelen bu taneciklerin etrafını ise yine kullanılan ilave metalin etkisi ile alüminyum-silisyum ötektiği 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 metal geçiş bölgelerine bakıldığında ise, alternatif akımda olduğu gibi katılaşmanın ana metal tanelerinden başladığı ve kaynak metaline 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 (Tensile test results)

	Çekme dayanımı (MPa)	% Uzama
Ana malzeme	145	12
Alternatif akım	89	7
Darbeli akım	96	8

Tablo 2’de verilmiş olan çekme testi sonuçlarına bakıldığında, birleştirme işlemi uygulanmamış ana malzemeye ait ortalama çekme dayanımının 145 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 89 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 % 34 oranında değer kaybederek 96 MPa değerine düşmüştür. Kullanılan bu akım türünde de, çekme numunelerindeki uzama değerleri ana malzemeye nazaran yaklaşık % 33 değer kaybetmiş ve uzama % 8 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 malzemedeki 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 [3,14,28] bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4. Çekme testi numuneleri (Tensile test specimens)

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

Tablo 3. Mikrosertlik test sonuçları ($HV_{0,5}$) (Microhardness test results ($HV_{0,5}$))

Akım türü	Kaynak metali	ITAB	Ana malzeme	İlave metal
Alternatif akım	44	38	56	58
Darbeli akım	48	41		

Tablo 3’de verilmiş olan sertlik değerlerine bakıldığında deneysel çalışmada kullanılan ana malzemenin sertliğinin 56 HV ve tel çekme metodu ile elde edilen ilave metalin sertliğinin 58 HV olduğu görülmektedir. Alternatif akım kullanılarak birleştirilen parçaların kaynak metallere elde edilen sertlik değeri ortalama 44 HV olarak ölçülürken, bu değer darbeli akım kullanılarak birleştirilen parçaların kaynak metallere ortalama 48 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 sebebiyle alfa alüminyum, küçük ve ince taneli olarak meydana gelmiş, aynı zamanda kullanılan ilave metalin de etkisiyle 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 38 HV değerine düşerken bu değer darbeli akım kullanılarak birleştirilen malzemelerin ITAB’ında yaklaşık 41 HV olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

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

- Darbeli akım ile yapılan birleştirmelerde parçalara uygulanan ısı girdisinin (üst ve alt amperden dolayı) alternatif akıma oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

ii. AA 4000 serisi Al-Si alaşımı levhaların birleştirilmesinde alternatif akım kullanılarak birleştirilen kaynak dikişleri ısı girdisi fazlalığı ile geniş bir alanda oluşurken, darbeli akım ile elde edilen kaynak dikişleri dar bir alanda oluşmuş ve birbiri üzerine binmiş puntalar görünümünde meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak havuzunun kontrolü daha rahat sağlanmıştır.

iii. Kaynak metalinde oluşan taneler, alternatif akım kullanılarak elde edilen kaynak dikişinde kaba dendritler şeklinde oluşurken, darbeli akım kullanıldığında kaynak metalinde oluşan taneler daha küçük bir hal almıştır. Sonuç olarak darbeli akım, kaynak metalinde tane incelmeye neden olmuştur.

iv. Birleştirilmiş numunelere uygulanan çekme testleri sonuçlarında parçalara uygulanan ısı girdisine bağlı olarak tane yapısındaki değişim nedeniyle darbeli akım ile elde edilen birleştirmelerin alternatif akıma göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

v. Darbeli akım kullanılarak elde edilen kaynak metali sertlik değerlerinin ısı girdisi, tane yapısı, ve katılma şartları nedeni ile alternatif akıma oranla daha yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. P. Praveen, P.K.D.V. Yarlagadda, M.J. Kang,(2005). Advancements in pulse gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology* 164–165, 1113–1119.
- [2]. Maddox SJ. (2003).Review of fatigue assessment procedures for welded aluminium structures. *Int J Fatigue*:1359–78.
- [3]. V. Balasubramanian et al., (2008). Effect of pulsed current welding on fatigue behaviour of high strength aluminium alloy joints, *Materials and Design* 29, 492–500.
- [4]. Gour, M. L., (1995).*Principles of welding technology*, Third Edition, Edward Arnold, A Member of the Hodder Headline Group, London Melbourne Auckland, London, 87-128.
- [5]. Juang, S. C., Tarn, Y. S., (2002). Process parameter selection for optimising the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 122, 33-37.
- [6]. Cary, H. B., (1981).*Modern welding technology*, Second Edition, AWS, 82-85.
- [7]. Shelwaker DA, Madhusudhan Reddy G, Gokhale AA. (2002). 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.
- [8]. Kahraman N., Durgutlu A., Gülenç B., (2004). Investigation of the effect of Hydrogen addition to Argon shielding gas on weld zone morphology of TIG welded 316L stainless steel, *Journal of polytechnic*, 7-3, 223- 228.
- [9]. T. Senthil Kumar, V. Balasubramanian, M.Y. Sanavullah, (2007). Influences of pulsed current tungsten inert gas welding parameters on the tensile properties of AA 6061 aluminium alloy, *Materials & Design*, 28-7, 2080-2092.
- [10].Kou S, Le Y. (1986).Nucleation mechanism and grain refining of weld metal.*Weld J*:65–70.
- [11].M.V. Suresh; B. Vamsi Krishna; P. Venugopal; K. Prasad Rao,(2004). Effect of pulse frequency in gas tungsten arc welding of powder metallurgical preforms, *Science and Technology of Welding & Joining*, 9-4, 362-368.
- [12].T. Senthil Kumar et al.,(2007). Influences of pulsed current tungsten inert gas welding parameters on the tensile properties of AA 6061 aluminium alloy, *Materials and Design*, 28, 2080–2092.

- [13].P.K. Ghosh, L. Dorn, Marc Hübner, V.K. Goyal,(2007). Arc characteristics and behaviour of metal transfer in pulsed current GMA welding of aluminium alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 194-(1-3), 163-175.
- [14].V Balasubramanian et al.,(2007). Effect of current pulsing on tensile properties of titanium alloy, *J Mater Design*, doi:10.1016/j.matdes.2007.07.007.
- [15].S. Babu, T. Senthil Kumar, V. Balasubramanian,(2008). Optimizing pulsed current gas tungsten arc welding parameters of AA6061 aluminium alloy using Hooke and Jeeves algorithm, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18-5, 1028-1036.
- [16].Razal Rose et al.,(2012). Prediction and optimization of pulsed current tungsten inert gas welding parameters to attain maximum tensile strength in AZ61A magnesium alloy, *Materials & Design*, 37, 334-348.
- [17].S. Sundaresan et al.,(1999). Microstructural refinement of weld fusion zones in α - β titanium alloys using pulsed current welding, *Materials Science and Engineering A*, 262-1, 88-100.
- [18].P. Praveen, P.K.D.V. Yarlagadda, M.J. Kang,(2005). Advancements in pulse gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology* 164–165, 1113–1119.
- [19].Shuyan Zhang, Fusong Jiang, Wenbin Ding,(2008). 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.
- [20].P.K. Palani, N. Murugan,(2006). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*,172, 1–10.
- [21].Li Laiping, Chen Shanben, Lin Tao,(2005). The modeling of welding pool surface reflectance of aluminum alloy pulse GTAW, *Materials Science and Engineering: A*, 394, 320-326.
- [22].E.O. Correa, S.C. Costa, J.N. Santos,(2009). Studies on weldability of iron-based powder metal alloys using pulsed gas tungsten arc welding process, *Journal of Materials Processing Technology*, 209-8, 3937-3942.
- [23].M. Balasubramanian et al.,(2008).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.
- [24].M. Balasubramanian et al.,(2008).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.
- [25].Haiping Yu et al.,(2013). Mechanical property and microstructure of aluminum alloy-steel tubes joint by magnetic pulse welding, *Materials Science and Engineering: A*, 561, 259-265.
- [26].Durgutlu A.,(2007). Effect of Argon – Hydrogen mixture on the microstructure and mechanical properties of aluminum on TIG welding, *Journal of Polytechnic*, 10-3, 271-276.
- [27].Durgutlu A., Gülenç B., ve Tülbentçi K.,(1999). The effect of welding speed on the microstructure and penetration in arc welding, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 23-4, 251-259.
- [28].Durgutlu A., Kahraman N., Gülenç B.,(2008). “The effect of pulsed current on microstructure, hardness, bending and tensile strength in TIG welding of Al-Si alloys”, *Journal of polytechnic*, 11-4, 339-344.