



# SiC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMENİN FARKLI KAYNAK AKIMLARI VE TÜRLERİNDE OLUŞAN MİKROYAPI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ

## THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES ANALYSIS OF WELDED ALUMINUM MATRIX MATERIAL REINFORCED WITH SiC USING DIFFERENT CURRENTS AND FORMS OF WELDING

Arzum ULUKÖY<sup>1\*</sup>, Volkan ONAR<sup>1</sup>, Yavuz KAPLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
aulukoy@pau.edu.tr, vonar@pau.edu.tr, ykaplan@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 08.05.2015  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.87487  
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

### Öz

Metal matrisli ve seramik partikül takviyeli malzemelerin kaynağında oksit tabakası oluşumu, kaynak bölgesinde segregasyon meydana gelmesi ve seramik partiküllerin kaynak banyosu ile tepkimeye girmesi gibi nedenlerden dolayı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar nedeniyle beklenen mekanik özellikler elde edilememektedir. Bu çalışmada, SiC takviyeli alüminyum 2014 alaşımının kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. AlSi5 alaşımı tel kullanılarak, MIG yöntemiyle yapılan kaynak işlemlerinde farklı türde ve farklı değerlerde kaynak akımları kullanılmıştır. Manuel kaynak akımı ile elde edilen numuneler ile pulse kaynak akımı ile elde edilen numuneler mikroyapı ve sertlik dağılımı açısından karşılaştırılmıştır. Farklı kaynak akım türünün ve değerlerinin kaynak mikroyapı ve sertlik dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Alüminyum 2014 matrisli ve SiC partikül takviyeli kompozitin kaynağında pulse akım kullanılması sonucunda, kaynak bölgesinde meydana gelebilecek segregasyon önlenmiş, mikroyapı özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Metal matrisli kompozit, Mikroyapı, MIG, SiC, Alüminyum

### Abstract

The welding of metal matrix material reinforced with ceramic particles has some problems such as formation of oxide layer, segregation occurring on welding area, and reaction of ceramic particles with welding bath. The expected mechanical properties cannot be obtained because of these problems. In this study, the weldability of aluminum 2014 alloy reinforced with SiC particles was investigated. MIG welding process was used via using AlSi5 alloy wire at different types and values of welding currents. Samples obtained using manual welding current were compared to those obtained using pulse welding current, in terms of microstructure and distribution of hardness. The effects of different types and values of welding currents on the microstructure and hardness distribution were examined. It was obtained that the welding of the composite with aluminum 2014 alloy matrix reinforced with SiC particles via using of pulse current, potential formation of segregation was prevented and microstructural properties were improved.

**Keywords:** Metal matrix composite, Microstructure, MIG, SiC, Aluminum

## 1 Giriş

Metal matrisli ve seramik parçacık takviyeli kompozit malzemeler (MMK) düşük maliyeti, yüksek aşınma direnci ve yüksek ısıl kararlılık gibi özelliklerinden dolayı, özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır. Matris malzemesi olarak alüminyum, güçlendirici seramik parçacık olarak da SiC en çok tercih edilen malzemelerdir. Alüminyumun hafifliği, SiC parçacıkların ise hem ucuz olması hem de alüminyum tarafından ısılatılabilirliğinin iyi olması bu tercihlerde önemli rol oynamaktadır [1].

Alüminyum alaşımları geleneksel kaynak teknikleri (TIG, MIG, lazer, difüzyon vb.) ile birleştirilebilmektedir. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin birleştirilmesinde optimum özelliklerin ve kaliteli bir kaynak yapısının elde edilebilmesi için ise kaynak tekniğinin ve kaynak parametrelerinin doğru seçilmesi çok önemlidir. SiC parçacıkları eklenmiş alüminyum matrisli kompozitlerin geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde istenmeyen bazı durumlar oluşabilmektedir. Bunların başında ergimiş haldeki alüminyumun SiC ile reaksiyona girmesi ve ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) istenen şekilde SiC dağılımının ve oluşması istenen mikroyapının elde

edilememesi gelmektedir. Bu durumun sonucunda kaynaklı malzemede sertlik dağılımında farklılıklar ve gözenekli bir içyapı oluşabilmekte ve kaynaklı malzemenin kırılabilirliği artmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla meydana gelen sorunları ortadan kaldırılabilmek için katı hal kaynak teknikleri (difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı vb) ile ilgili çalışmalar giderek artmaktadır. Ancak kaynak ekipmanlarının kurulum maliyetlerinin fazla olması, seri üretime uygun olmaması, ergitme kaynak yöntemlerinden daha zor uygulanabilir olması ve veriminin düşük olması nedeniyle katı hal kaynak yöntemleri yerine ergitme kaynak yöntemleri (TIG, MIG vb.) tekrar gündemdeki yerini almıştır [2]-[5].

SiC ile güçlendirilmiş alüminyum matrisli kompozitlerin ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi sırasında ergiyen alüminyumun SiC partikülleri ile reaksiyon oluşturması sonucunda oluşan Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiği kaynaklanabilirliği olumsuz yönde etkilemekte ve kaynaklı birleşimin kalitesinde düşüş meydana getirmektedir. Kaynaklanabilirliğin azalmasını engellemek için önce oluşan Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> fazını ortadan kaldırmak veya oluşumunu en aza indirmek gerekmektedir [4]-[7].

Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> fazının oluşumu, boyutu ve şekli ısı girdisiyle doğru orantılıdır. Düşük ısı girdisinde SiC partikülleri yapıda Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> fazı

oluşturamazken, yüksek ısı girdisiyle birlikte Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> fazı oluşumu artmaktadır. Ancak düşük ısı girdilerinde kaynakta yeterli nüfuziyet oluşmayacağından beklenen kaynak kalitesi de elde edilememektedir [4].

Alüminyum alaşımlarının elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek oluşu kaynak sırasında kaynak işlemini olumsuz etkileyerek ITAB bölgesinin daha geniş bir alanda oluşmasına neden olur. Pulse akım kullanılan kaynaklı birleştirmelerde esas metale uygulanan ısı girdisi minimum seviyeye çekildiği için ITAB genişliğinin dar olması sağlanabilir [6]-[8].

Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynağında Sinerjik kontrollü Pulse MIG kaynak yöntemi programlanabilme özelliği taşıdığı için meydana gelebilecek problemleri çözebilecek durumdadır [9]-[11].

Bu çalışmada, döküm yöntemiyle üretilmiş olan alüminyum AA 2014 matrisli ve SiC partikül takviyeli kompozit malzemenin kaynağında ısı girdisinin etkisini görmek için, farklı kaynak akımı türlerinde ve farklı akım değerlerinde yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin üzerinde farklı ısı girdilerinin etkisinin mikroyapı ve sertliğe olan etkisi araştırılmıştır.

## 2 Malzeme ve Yöntem

AA 2014 alüminyum alaşımı ile 9 µm boyutundaki SiC tanecikleri karıştırılarak döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretilmiştir. Alüminyum 2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de görülmektedir. Elde edilen döküm malzemeden çıkarılan 5 mm kalınlığında dikdörtgen kesitli malzemeler kaynaklı imalat yöntemi ile birleştirilmiştir.

Tablo 1: Alüminyum 2014 alaşımının kimyasal analizi.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1.18	0.48	4.9	1.04	0.57	0.009	0.3	0.03	Kalan

MIG ve Sinerjik Pulse MIG kaynak yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada, MMK levhalar 150x50x5 mm ebatlarında hazırlandıktan sonra yüzeyleri temizlenmiş ve 160 °C'de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Kaynak yapılacak alüminyum levhalar farklı akım değerlerinde ve farklı akım türlerinde birleştirilmiştir. Et kalınlığı boyunca birleştirilen levhaların SiC oranı hacimce %12'dir.

Levhalar paslanmaz çelik altlık kullanılarak, SG-ALSi5 kaynak teli ile kaynatılmış ve açık havada soğumaya bırakılmışlardır. SG-ALSi5 kaynak telinin kimyasal analizi Tablo 2'de verilmiştir. Kaynak işlemi paslanmaz çelik ve alüminyum için sıyrıntısız kaynak dikişi elde etmek üzere tasarlanmış yeni nesil dijital invertör teknolojisine sahip sinerjik, programlanabilir, pulse özellikli MIG/MAG kaynak makinesi ile argon koruyucu gaz atmosferi altında yapılmış olup deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2: Kaynak işleminde kullanılan SG-ALSi5 kaynak telinin kimyasal analizi (% ağırlıkça).

Si	Al
4.50-6.00	Kalan

Farklı akım türleri ve akımlarda yapılan kaynaklarda kaynak metal ve ITAB bölgesindeki sertlik değişimlerini belirlemek için kaynaklanan parçalardan mikro sertlik numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler standart metalografik numune hazırlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra 5ml HF-10ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-85 ml H<sub>2</sub>O çözeltisi ile dağlanmış ve mikro sertlik

incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir. Hazırlanan numunelerin mikroyapıları dijital kamera bağlantılı optik mikroskop kullanılarak görüntülenmiştir. Sertlik ölçümleri, vickers mikrosertlik ölçme cihazı ile yapılmış ve ağırlık olarak 0.1 kg yük kullanılmıştır. Kaynak bölgesinin sertlik ölçümleri kaynak dikişinin ortasından ana malzemeye doğru 1 mm aralıklarla ve 9 mm boyunca 5s bekletme süresi şartlarında yapılmış ve 3 ölçümün ortalaması alınmıştır.

Tablo 3: Kaynak işlemi parametreleri.

Parametre	Akım Şiddeti (A)	Voltaaj (V)	
Akım Türü	Manuel	90	17.4
		100	17.8
	Pulse	90	15.7
		100	14.2
İlave Metal Kalınlığı (mm)	SG-ALSi5	1	1
Kaynak Hızı (mm/dk)	150		
Koruyucu Gaz	Argon		
Gaz Akış Oranı (l/dk)	10		

## 3 Sonuçlar

### 3.1 Mikroyapı Analizi

Farklı akım türlerinde ve farklı akımlarda elde edilen kaynaklı numunelere ait kısmen dönüşmüş bölge (Şekil 1,2,7,8), geçiş bölgeleri (Şekil 3,4,9,10) ve kaynak bölgesi (Şekil 5,6,11,12) optik mikroskop ile incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, ısı farklılıklardan dolayı ana malzemeden kaynak metaline doğru SiC partiküllerinin difüzyon ile kaynak metaline doğru yönelmelerin olduğu ve kısmen dönüşmüş bölgede SiC partiküllerinin difüze olarak bir ağ oluşturduğu, geçiş bölgesinde yapının kaynak metaline doğru yönlendiği ve kaynak metalinde akım türü ve yükseklğine göre difüzyon mekanizmasının gerçekleşmeyip küçük küresel şekillerde kaldığı ve/veya kaynak metalinin tane yapısının küçük ve homojen bir yapıya dönüşmesi ile SiC partiküllerinin bu homojenliğe uyup küçüldüğü gözlenmektedir. Tüm numunelerde ortak olan akım türü ve değeri ne olursa olsun SiC partiküllerinin ısı girdisinin artması ile difüze olarak kaynak metaline doğru yönlendiği ve topaklanarak çöklediği gözlenmiştir. Isı girdisi akım türüne ve değerine göre değişmektedir. Eşitlik (1)'de verilen ısı girdisi formülüne göre hesaplamalar yapılmıştır [12],[13]. Kaynak esnasında malzemeye iletilen ısı girdisi Tablo 4'te gösterilmiştir.

$$Q = \frac{V \cdot I \cdot 60}{1000 \cdot S} \cdot \eta \quad (1)$$

Q = Isı girdisi (kJ/cm)

η = Kaynak yönteminin ısıl katsayısı (pulse MIG için 0.80)

V = Ark gerilimi (Voltaaj)

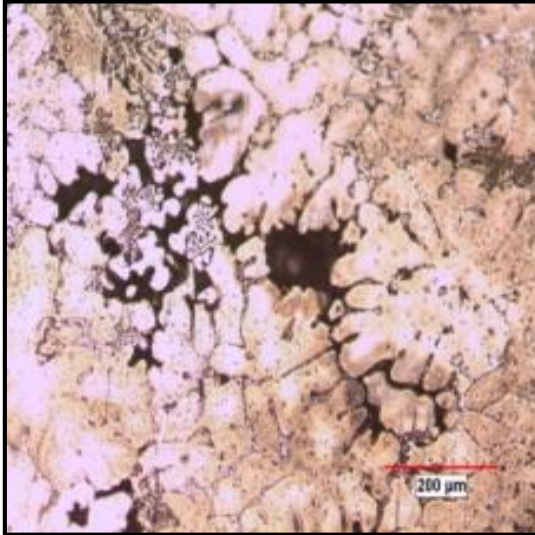
I = Akım şiddeti (A)

S = Kaynak ilerleme hızı (mm/s)

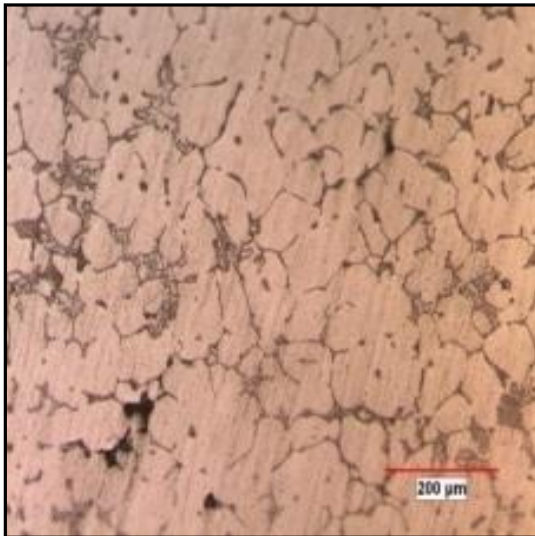
Tablo 4: Kaynak işlemi sırasında farklı akım türleri ve değerlerinde malzemeye iletilen ısı girdileri.

Akım Türü	Akım (A)	Voltaj (V)	Isı Girdisi (kJ/cm)
Manuel	90	17.4	5.0112
	100	17.8	5.696
Pulse	90	15.7	4.5216
	100	14.2	4.544

Şekil 1’de Manuel 90A ve Şekil 2’ de Pulse 90A değerlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin kısmen dönüşmüş bölgelerinden aynı büyütmelerde (100X) alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Buna göre Manuel akımda elde edilen birleştirmenin kısmen dönüşmüş bölgesinde SiC partiküllerinin difüzyon mekanizması ile ayrışarak bölgesel olarak bir ağ yapısı şekli almaya başladığı ve geçiş bölgesine doğru yönlendiği gözlenmektedir. Pulse akım türünde ise ağ yapısının oluşmadığı ve Manuel akıma göre daha küçük yapılar halinde bulunduğu gözlemlenmiştir.

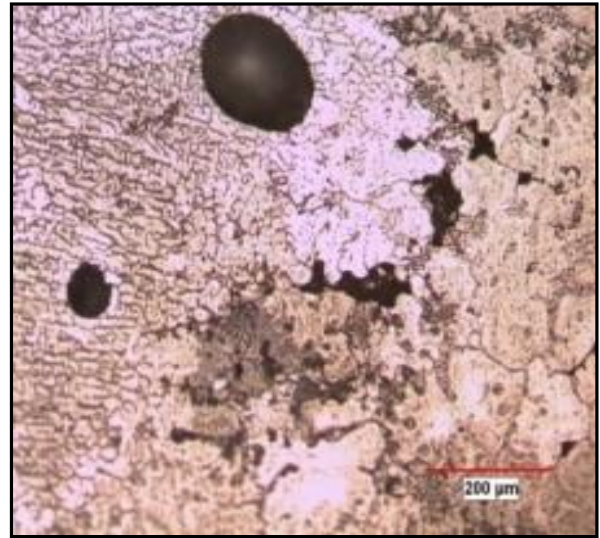


Şekil 1: Manuel 90A ve 5.0112 kJ/cm ısı girdisinde kısmen dönüşmüş bölgenin mikroyapısı.

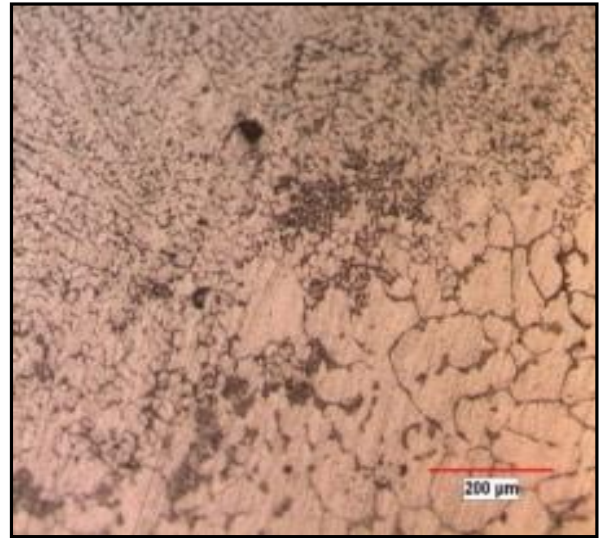


Şekil 2: Pulse 90A ve 4.5216kJ/cm ısı girdisinde kısmen dönüşmüş bölgenin mikroyapısı.

Şekil 3’te Manuel 90A ve Şekil 4’te Pulse 90A değerlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin geçiş bölgelerinden aynı büyütmelerde (100X) alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Manuel akım türünde yapılmış kaynaklı birleştirmenin geçiş bölgesinde SiC partiküllerinin oluşturduğu homojen olarak dağılmayan ağ yapısı kaynak metaline doğru difüzyon mekanizması ile yönlenmiş, kaynak metaline doğru tane aralarında iğnemi yapılar dönüşmeye başlamıştır. Pulse akımda ise SiC partiküllerinin oluşturduğu ağ yapısı incelmış ve azalmış, kısmen topaklanmalar başlamış ve kaynak metali içerisine yönelmiş küçük SiC partikülleri gözlenmektedir. İğnemi heterojen yapıdan daha ziyade, homojen dağılmış bir yapı oluşturma eğilimi gözlenmiştir.



Şekil 3: Manuel 90A ve 5.0112 kJ/cm ısı girdisinde geçiş bölgesinin mikroyapısı.



Şekil 4: Pulse 90A ve 4.5216kJ/cm ısı girdisinde geçiş bölgesinin mikroyapısı.

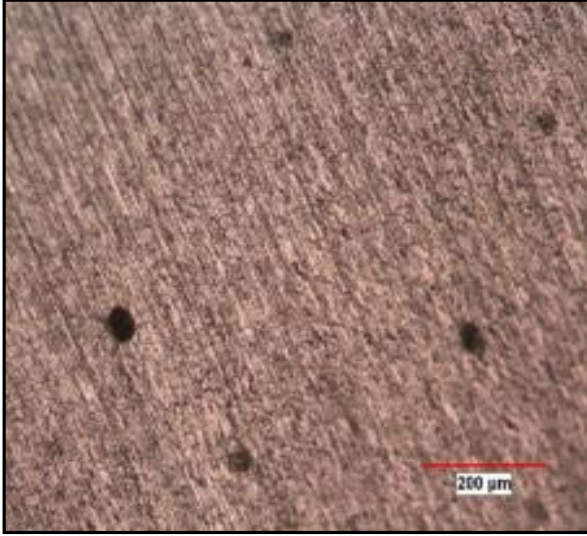
Şekil 5’te Manuel 90A ve Şekil 6’ da Pulse 90A değerlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak metallerinden aynı büyütmelerde (100X) alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Manuel akım kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmenin kaynak metali bölgesinde SiC partiküllerinin oluşturduğu ağ yapısının ortadan kalktığı ve SiC partiküllerinin



küresel bir yapı oluşturup kaynak metali içerisinde çökelediği, bu küreselliğin heterojen olarak dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Pulse akımda SiC partiküllerinin kaynak metali içinde homojen olarak çözüldüğü, çözünmeden kalan SiC partiküllerinin manuel akımdaki gibi küresel olduğu ancak daha küçük ve çok az bir oranda bulunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5: Manuel 90A ve 5.0112 kJ/cm ısı girdisinde kaynak metalinin mikroyapısı.

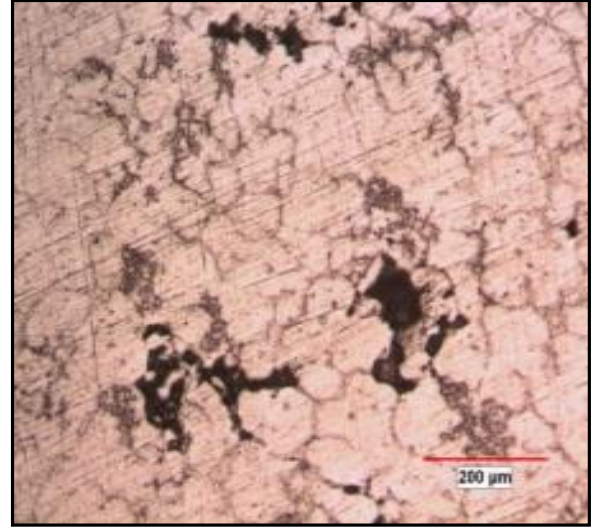


Şekil 6: Pulse 90A ve 4.5216kJ/cm ısı girdisinde kaynak metalinin mikroyapısı.

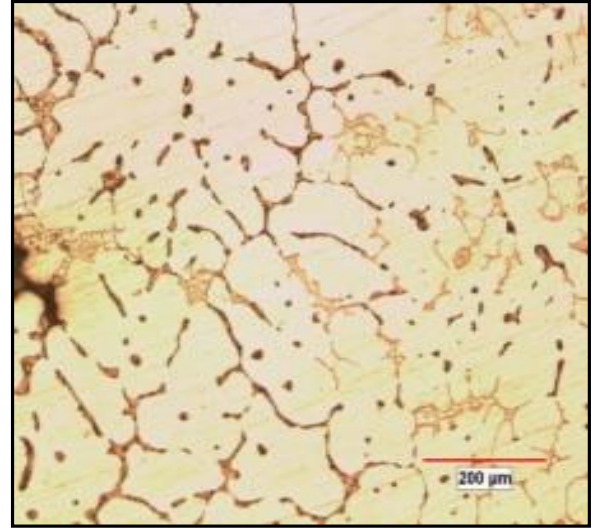
Şekil 7’de Manuel 100A ve Şekil 8’de Pulse 100A değerlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin kısmen dönüşmüş bölgelerinden aynı büyütme (100X) alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Manuel akım ile yapılan kaynaklı birleştirmenin kısmen dönüşmüş bölgesinde SiC partiküllerinin küresel değil de dağınık bir yapıda olduğu ve bu yapı etrafında SiC partiküllerinin bir ağ yapısı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Pulse akımda ise ana malzemenin daha büyük tanelerden oluştuğu ve bu taneler arasına difüze olmuş SiC partiküllerinin çok az miktarda olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 9’da Manuel 100A ve Şekil 10’da Pulse 100A değerlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin geçiş bölgelerinden

alınmış aynı büyütme (100X) alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir Manuel akım kullanılarak yapılan birleştirmede geçiş bölgesinde SiC partiküllerinin heterojen bir düzen içerisinde küresel olarak çökelediği ve topaklanmaların olduğu gözlenirken, Pulse akım kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmenin geçiş bölgesinde SiC partikülleri hem küçülmüş hem de homojen dağılım göstermiş ve topaklanmaya rastlanmamıştır.



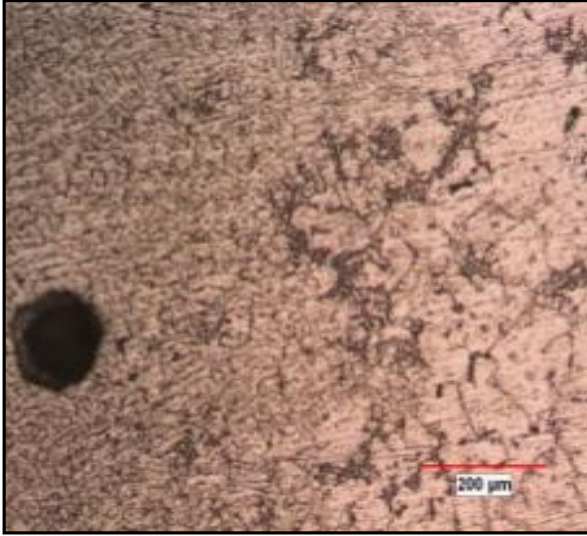
Şekil 7: Manuel 100A ve 5.696 kJ/cm ısı girdisinde kısmen dönüşmüş bölgenin mikroyapısı.



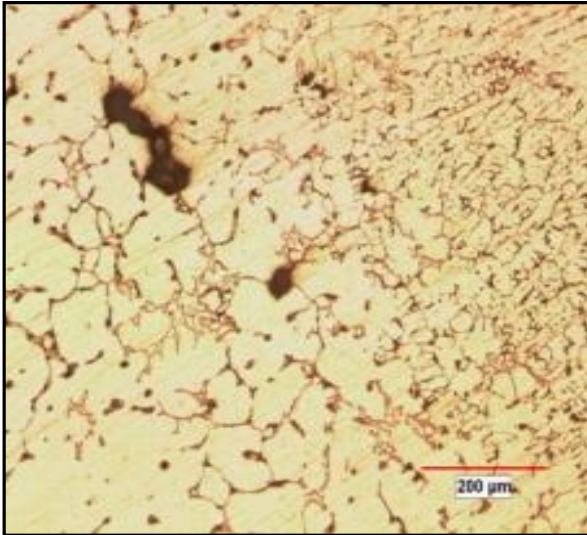
Şekil 8: Pulse 100A ve 4.544kJ/cm ısı girdisinde kısmen dönüşmüş bölgenin mikroyapısı.

Şekil 11’de Manuel 100A ve Şekil 12’de Pulse 100A değerlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgelerinden aynı büyütme (100X) alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir Bu görüntülere göre Manuel akım kullanılarak elde edilen kaynaklı birleştirmelerin kaynak metali bölgesinde farklı büyüklüklerde heterojen dağılım gösteren küresel olarak çökelmiş SiC partikülleri gözlemlenmiştir. Pulse akımla yapılan kaynaklı bağlantının kaynak metalinde ise homojen olarak dağılmış bir tane yapısı ve manuel akıma göre daha az çökelen SiC partikülleri gözlemlenmiştir ve bu durum daha önceki çalışmalarla uyumludur[14],[15].





Şekil 9: Manuel 100A ve 5.696 kJ/cm ısı girdisinde geçiş bölgesinin mikroyapısı.



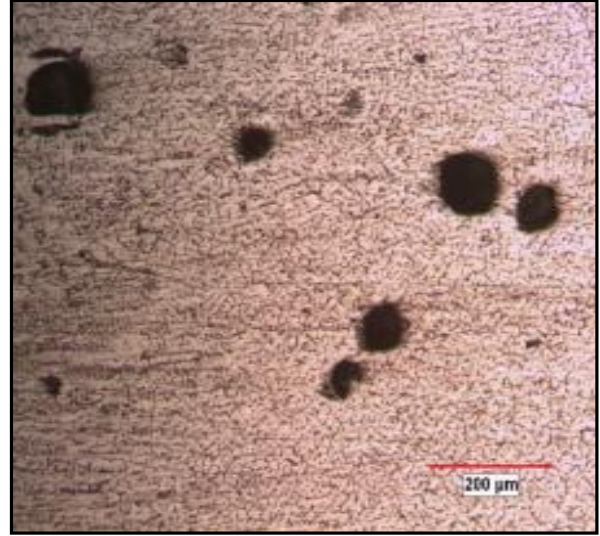
Şekil 10: Pulse 100A ve 4.544 kJ/cm ısı girdisinde geçiş bölgesinin mikroyapısı.

### 3.2 Sertlik Analizi

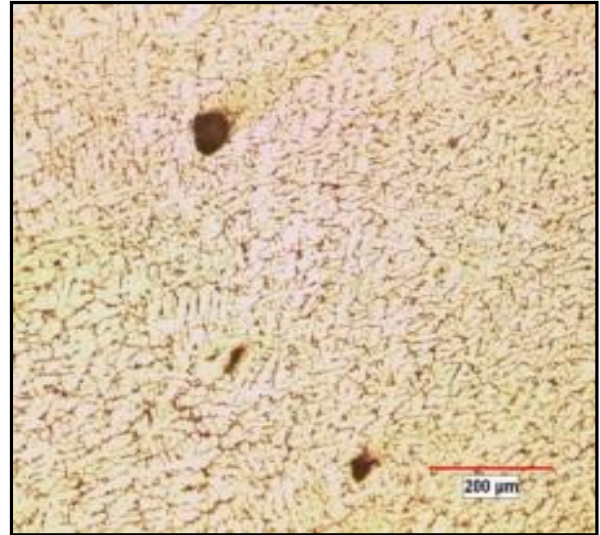
Yapılan sertlik ölçüm sonuçları sonrasında kaynak bölgesindeki en düşük sertlik değeri Pulse 90A şartlarında (Şekil 13) 84 HV0.1, en yüksek sertlik değeri ise Manuel 100A şartlarında 112 HV0.1 olarak elde edilmiştir. Bölüm 3.1'de görüldüğü üzere, Pulse akım türü kullanılarak yapılmış olan kaynaklı birleştirmelerde, SiC partiküllerinin kaynak metali içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterdiği için sertlik değerlerinde Manuel akım türüne göre düşme tespit edilmiştir. Artan akım değerleriyle birlikte hem Manuel (101HV0.1-112HV0.1) hem de Pulse akımda (84 HV0.1-86 HV0.1) kaynak bölgesinin sertliği daha yüksek olmuştur. Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru en doğrusal artım Pulse 100A şartlarında elde edilmiştir (Şekil 13). Bu durum daha önceki çalışmalarla uyumludur [14].

Artan akım değerleriyle birlikte hem Manuel 100A (184.8 HV0.1) hem de Pulse 100A akımda (149.2 HV0.1) kaynak bölgesinin sertliği daha yüksek olmuştur. Kaynak

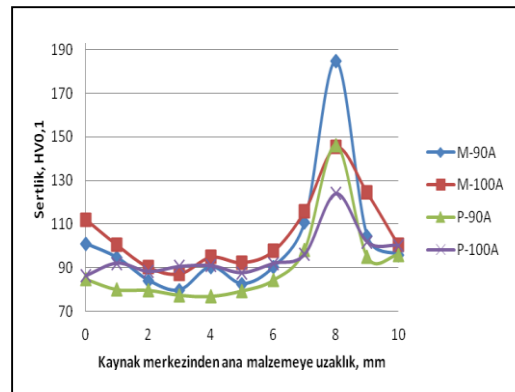
merkezinden ana malzemeye doğru sertlik değerleri 8 mm'de maksimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 11: Manuel 100A ve 5.696 kJ/cm ısı girdisinde kaynak metalinin mikroyapısı.



Şekil 12: Pulse 100A ve 4.544 kJ/cm ısı girdisinde kaynak metalinin mikroyapısı.



Şekil 13: Farklı kaynak akım türleri ve değerlerinde elde edilmiş olan sertlik değişimi.

#### 4 Tartışma

Yapılan mikroyapı analizinde;

1. Darbeli (pulse) akım ile yapılan birleştirmelerde parçalara uygulanan ısı girdisinin alternatif (manuel) akıma göre daha az olduğu tespit edilmiştir [16].
2. Pulse akım metal matrisli kompozitlerin kaynağında manuel akım ile yapılan birleştirmelere göre daha az ısı girdisi oluşturmamasından dolayı mikroyapının homojen dağılımına izin vermiştir.
3. Pulse akımda kaynak bölgesinde SiC partiküllerinin çözünmesi sağlanmış topaklanma ve küresel SiC partikülü çökmesi gözlemlenmemiştir.
4. Manuel akımda yapı içinde çözünmüş ergiyik halinde bulunan SiC partikülleri yapı içerisinde interdentritik porozite şeklinde kendini göstermiştir[5].
5. Çökelmenin en fazla olduğu, SiC partiküllerinin en büyük boyuta ulaştığı, ısı girdisinin en yüksek olduğu durum, Manuel akım türünde, 100 A değerinde yapılan kaynaklı birleştirmede olduğu görülmüştür.
6. Isı girdisindeki artış SiC partiküllerinin yüzeye doğru yönelmesine ve bu partiküllerin difüzyon ile Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> fazına dönüşüp SiC kristallerin etrafında topaklanıp çökmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Bulunan bu sonuçlar literatürle uyumludur[5],[8].

Yapılan sertlik analizinde ;

1. En düşük sertlik değeri Pulse 90A 4.5216 kJ/cm ısı girdisinde elde edilmiştir.
2. Akım türü ne olursa olsun yüksek akım değerinde SiC partiküllerinin yüksek ısı girdisinin etkisiyle kaynak metali içine difüzyonla yönlenecek mikroyapıda özellikle geçiş bölgesinde istenmeyen büyük bir sertlik artışına sebep olduğu gözlemlenmiştir.
3. Pulse akımda daha az ısı girdisi nedeniyle daha homojen bir sertlik geçişi elde edilmiştir.

Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru en doğrusal artım Pulse 100A şartlarında elde edilmiştir (Şekil 13). Bu durum daha önceki çalışmalarla uyumludur [8].

#### 5 Teşekkür

Yazarlar, kaynaklı birleştirme konusunda yardım ve önerileri için Hüseyin Açık'el'e (Oerlikon Kaynak Elektrodları A.Ş.'de Ege Bölgesi Teknik Sorumlusu) teşekkür eder.

**Not:** Bu çalışma IMSP'14'te (15. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, 15-17 Ekim 2014,Denizli, Türkiye) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

#### 6 Kaynaklar

- [1] Chawla N, Chawla KK. *Metal Matrix Composites*. NY, USA, Springer, 2006.
- [2] Middling OT, Grong O. "Joining of Particle Reinforced Al-SiC MMCs". *Key Engineering Materials*, 104-107(1), 355-372, 1995.

- [3] Chidambaram A, Bhole SD. "Particle Denuded Zones in Alumina Reinforced Aluminum Matrix Composite Weldments". *Scripta Materialia*, 35(3), 373-378, 1996.
- [4] Urena A, Escalera MD, Gil L. "Influence of Interface Reactions on Fracture Mechanisms in TIG Arc-Welded Aluminium Matrix Composites". *Composites Science and Technology*, 60(4), 613-622, 2000.
- [5] Lean PP, Gil L, Urena A. "Dissimilar Welds Between Unreinforced AA682 and AA6092/SiC/25p Composite by Pulsed-MIG Arc Welding Using Unreinforced Filler Alloys (Al-5Mg and Al-5Si)". *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144(1), 846-850, 2003.
- [6] Sundaresan S, Janaki Ram GD, Madhusudhan Reddy G. "Microstructural Refinement of Weld Fusion Zones in  $\alpha$ - $\beta$  Titanium Alloys Using Pulsed Current Welding". *Materials Science and Engineering: A*, 262(1-2), 88-100, 1999.
- [7] Praveen P, Yarlagadda PKDV, Kang MJ. "Advancements in Pulse Gas Metal Arc Welding". *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165(1), 1113-1119, 2005.
- [8] Zhang B, Jiang F, Ding W. "Microstructure and Mechanical Performance of Pulsed Current Gas Tungsten Arc Surface Engineered Composite Coatings on Mg Alloy Reinforced by SiCp". *Materials Science and Engineering: A*, 490(1-2), 208-220, 2008.
- [9] Praveen P, Yarlagadda PKDV. "Meeting Challenges in Welding of Aluminium Alloys Through Pulse Gas Metal Arc Welding". *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165(1), 1106-1112, 2005.
- [10] Praveen P, Yarlagadda PKDV. "Pulsed Gas Metal Arc Welding (GMAW-P) for Newer Challenges in Welding of Aluminium Alloys". *Proceedings of the International Manufacturing Leaders Forum on Global Competitive Manufacturing*, Adelaide, Australia, 27<sup>th</sup> February 2005.
- [11] Vilarinho LO, Scotti A. "An Alternative Algorithm for Synergic Pulsed GMAW of Aluminium". *Australian Welding Journal*, 45(2), 36-44, 2000.
- [12] Chen M, Wu CS, Zou Z. "Electron Beam Welding of SiC/LD2 Composite". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16(4), 818-823, 2006.
- [13] Lei Y, Yuan W, Chen X, Zhu F, Cheng X. "In-Situ Weld-Alloying Plasma Arc Welding of SiCp/Al MMC". *Transactions Nonferrous Metals Society of China*, 17(2), 313-317, 2007.
- [14] Onar V, Uluköy A, Açık'el H. "Farklı Kaynak Akımlarında Kaynak Edilmiş Alüminyum Matrisli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemenin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerinin Analizi". *3<sup>rd</sup> International Conference on Welding Technologies and Exhibition*, Manisa, Turkey, 21-23 May 2014.
- [15] Uluköy A, Onar V, Kaplan Y. "SiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemenin Farklı Kaynak Akımlarında Oluşan Mikroyapı ve Sertlik Analizleri". *14<sup>th</sup> International Materials Symposium*, Denizli, Turkey, 15-17 Oct 2014.
- [16] Durgutlu A. "Alüminyumun TIG Kaynağında Akım Türünün Kaynak Metali Mikroyapısı ve Darbe Dayanımına Etkisi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 155-160, 2009.