

## ALÜMİNYUM ESASLI SiC TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE $Al_4C_3$ OLUŞUMUNUN ÖNLENMESİ VE SİNERJİK KONTROLLÜ DARBELİ MIG (GMAW-P) KAYNAK YÖNTEMİ

Turhan KURŞUN\*

\*Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü,  
Kampus, Sivas, Türkiye

### Özet

SiC partikül takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitler ileri teknolojik malzemelerdir. Yüksek mekanik dayanım, rijitlik ve yüksek aşınma direnci gibi üstün özelliklerinden dolayı, otomotiv, uçak, uzay, taşıt, tarım ve yapı üretim endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, kullanımı ve uygulamalarının önümüzdeki yıllarda da artacağı beklenmektedir. Kaynak bu kompozitlerin birleştirilmesinde kullanılan tekniklerinden bir tanesidir. Bununla birlikte alüminyum çok reaktif bir metal olduğu için takviye olarak kullanılan SiC fazıyla reaksiyona girmeye eğilim gösterir. Erimeş alüminyum ile SiC arasında oluşan reaksiyon, kaynak sırasında  $Al_4C_3$  oluşumunu ve takviye elemanı SiC'in çözünmesine yol açar.  $Al_4C_3$  kırılkan, zayıf ve iğnemsî bir faz olduğu için bu kompozitin kaynak kabiliyetini ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Bu olumsuz etkilerin en önemli sebeplerinden birisi yüksek ısı girdisidir. Çünkü yüksek ısı girdisi erimeş kompozit miktarını, alüminyum ve SiC partikülleri arasındaki temas zamanını ve sıcaklığını etkiler. Dolayısıyla ısı girdisinin azaltılması bu kompozitlerin birleştirilme işlemlerinde önem arz eden bir parametredir. Sonuç olarak, bu malzemelerin birleştirilmesinde sinerjik kontrollü darbeli MIG (GMAW-P) kaynak tekniği ön plana çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Kompozit, SiC, Sinerjik GMAW-P

## THE PREVENTION OF $Al_4C_3$ FORMATION IN JOINING OF SiC REINFORCED ALUMINIUM BASED METAL MATRIX COMPOSITES AND SYNERGIC CONTROLLED PULSED MIG (GMAW-P) WELDING TECHNIQUE

### Abstract

SiC particle reinforced aluminium metal matrix composites are advanced technological materials, and are widely used in automobile, aerospace, spaceflight, vehicle, and structure manufacturing industry because of their excellent properties, e.g. high mechanical strengths and stiffness, good wear resistance. Furthermore, an increase in uses and applications can be expected in future. Welding is one of the Joining technique for these composites. Nonetheless aluminium is a very reactive metal and tends to react with the SiC phases used as reinforcement. The reaction between molten aluminium and SiC generates the formation of  $Al_4C_3$  and the dissolution of the SiC reinforcement during the welding.  $Al_4C_3$  is brittle, weak and needle-like a phase. This phase reduces weldability and effects mechanical properties in bad way of the composite. One of the main reason of these complications is high heat input. Because, heat input effects the amount of molten composite and the time and temperature of contact between aluminium and SiC particles. In consequence, reduction of heat input is a very important parameter in joining of these composites. As a result, synergic controlled GMAW-P welding technique is standing in the forefront for joining these materials.

**Keywords:** Aluminium, Composite, SiC, Synergic GMAW-P

### 1. Giriş

Metal matrisli kompozitlerin üretim ve kullanımları son 20 yılda teknolojik gelişmelerle birlikte, özellikle otomotiv endüstrisi ile uzay ve havacılık sektöründe artış göstermiştir. Metal matrisli kompozitler, tek bileşenli malzemelerle ulaşılamayan yüksek elastik modül, yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri sağlamak üzere en az biri metal ve metal alaşımı, diğeri sürekli fiber, kılcal kristal veya partikül şeklinde SiC, TiC, B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi seramik takviye olmak üzere iki farklı sistemin birleşimi ile elde edilmektedir [1].

Metal matrisli kompozitlerin önemli bir çeşiti alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerdir. Alüminyum metal matrisli kompozitler tek parçalı malzemelere göre daha yüksek dayanım, rijitlik, aşınma direnci, yorulma dirençlerinden ve alüminyum alaşımlarının üstün özelliklerinden (hafiflik, yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet, süneklik, kolay ekstrüde edilmesi, kolay geri dönüşümü, iyi ısı ve elektrik iletkenliği) dolayı otomotiv, uçak, uzay, taşıt, tarım ve yapı endüstrilerinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Alüminyum metal matrisli kompozitlerin uygulama alanlarının önümüzdeki yıllarda da artacağı beklenmekte ve bu malzemeler, endüstriyel problemlerin çözümündeki teknolojik olgulardan birisi olarak görülmektedir. Bunların yanı sıra üretim fiyatlarının düşürülmesinde de bu malzemelerin etkili olacağı tahmin edilmektedir [2-12].

Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin ürüne dönüştürülmesinde ve tamiratlarında, en çok kullanılan birleştirme yöntemlerden bir tanesi kaynaklı birleştirme yöntemidir. Bununla birlikte, kaynak tekniğinin uygun bir biçimde uygulanabilmesi, modern mühendislik teknolojilerini gerektirmektedir. Böylece, kaynak işleminde kaliteli, ekonomik ve hızlı üretim yapılabilir. Bunun yanı sıra kaynaklı birleştirilmelerde, malzemeye en uygun kaynak yöntemini ve kaynak parametrelerini belirleyebilmek oldukça önemlidir. Çünkü kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri kaynağın fiziksel ve metalürjik özelliklerini dolayısıyla da kaynak bağlantısının kalitesini etkilemektedir. Kaynak işlemini en etkili şekilde uygulayabilmek için iyi bir teknolojik bilginin yanı sıra geliştirilen ve yeni teknolojiye uygun teçhizata gerek vardır [13].

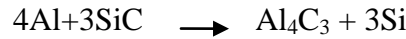
Takviye edilmemiş alüminyum alaşımları, klasik kaynak teknikleri (TIG, MIG, lazer, Elektron ışın v.s) ile kaynatılmaktadır. Fakat, SiC partikülleri ile takviye edilmiş alüminyum metal matrisli kompozitlerin bu tekniklerle kaynatılmasında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Çünkü alüminyum çok reaktif bir malzemedir. Bu yüzden ana yapı, takviye elemanı olarak kullanılan SiC seramik fazı ile reaksiyona girer. Reaksiyon sonucu hem kayna bölgesindeki partikül dağılımı hem de partikül ve ana yapı ara yüzeyinde kompozitlerin özelliklerini bozan önemli mikro yapı değişiklikleri oluşur. Son yıllardaki birçok çalışma, katı fazda gerçekleştirilen kaynak tekniklerinde (difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı v.s) oluşan bu tür problemlerin çözümüne yönelik yapılmıştır. Fakat bu kaynak yöntemleri üretim kapasitesi, üretim kolaylığı ve teçhizat

fiyatı açısından düşünüldüğünde, sıvı fazda gerçekleşen daha verimli, daha kolay ve daha ucuz kaynak yöntemlerinin (TIG, MIG, v.s) yeniden düşünülmesini zorunlu kılmıştır [4, 5, 14,-17].

## 2. Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Kaynağında Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Oluşumu ve Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Oluşumunun Önlenmesi

### 2.1. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> oluşumu

Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynakla birleştirilmesinde, erimiş alüminyum ile SiC partikülleri reaksiyona girerler. Bu reaksiyon sırasında eriyen kaynak banyosunun yüksek akış hızında, SiC partiküllerinin çözünerek ayrılması ve topaklanması sonucunda kaynaklı bağlantının kalitesini kötü yönde etkileyen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> yapısı oluşur. Bu reaksiyon aşağıdaki gibidir.

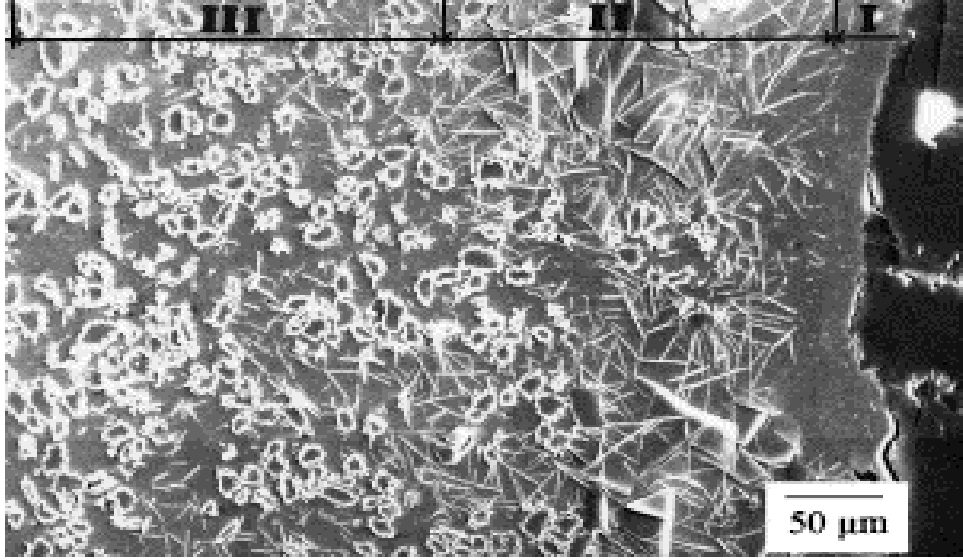


Bu reaksiyondaki Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> kaba, kırılğan iğnemsî bir yapıya sahip olup, aynı zamanda ıslaklık açısından korozyona sahip olabilir. Ayrıca, açığa çıkan Si, partikül ve ana yapı ara yüzeylerinde Al-Si topaklanmasına neden olur. Bu olay ise malzemenin çekilebilirlik özelliğini düşürmektedir. Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynağında meydana gelen mikro yapı değişiklikleri kaynak kabiliyetini zayıflatmaktadır. Bu yüzden Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynağında Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> faz oluşumunu önlemek oldukça önemlidir [4,6,14,18]. Kaynak sırasında elektrik arkı ile oluşturulan erime etkisi, ana metalin mikro yapısını katılaşmadan sonra değiştirir. Burada önemli olan SiC partikül dağılımı ve SiC partikülü ile erimiş alüminyum arasında oluşan farklı reaksiyon bölgeleridir. Bu farklı reaksiyon bölgeleri arkın uygulandığı mesafeye göre detaylı bir şekilde Şekil 1’de gösterilmektedir. Şeklin en sağ taraftaki ve I ile ifade edilen bölge, SiC takviye elemanlarının çözünerek Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ince plakalarının alüminyum içinde olduğu üst bölgeyi, II ile ifade edilen bölge, takviye elemanlarının kısmi çözünerek, daha kısa Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ince plakalarının olduğu ara bölgeyi, III ile ifade edilen bölge, SiC partikül düzlemleri üzerinde gelişmiş ve çekirdeklenmiş plakalı Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> kristalinin olduğu alt bölgeyi göstermektedir. Burada ısı girdisi I’ den III’ e doğru artmaktadır. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> plakaları bir Çözünme/Çökme mekanizması sonucu SiC partikülleri üzerinde çekirdeklenir. Bu

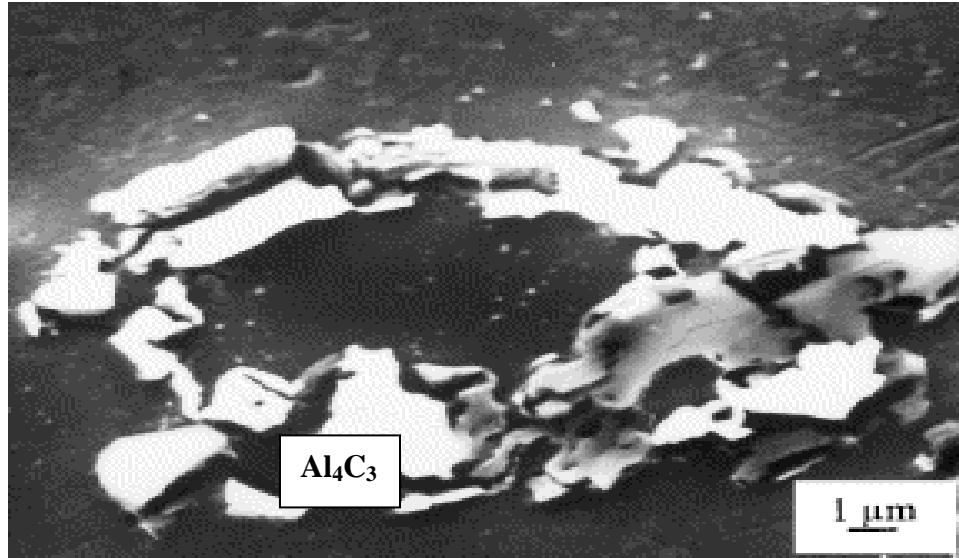
çekirdeklenme hem alüminyum ana yapı tarafına hem de SiC partikülü içerisine doğru gelişir (Şekil 2) [4,14].

## 2.2. $Al_4C_3$ oluşumunun önlenmesi

Kaynak sırasında meydana gelen ve kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkileyen, kırılğan, kaba, iğnemsiz  $Al_4C_3$  faz oluşumunu önlemek, alüminyum matrisli kompozitin başarılı bir şekilde kaynak edilebilmesinde oldukça önemlidir [18].

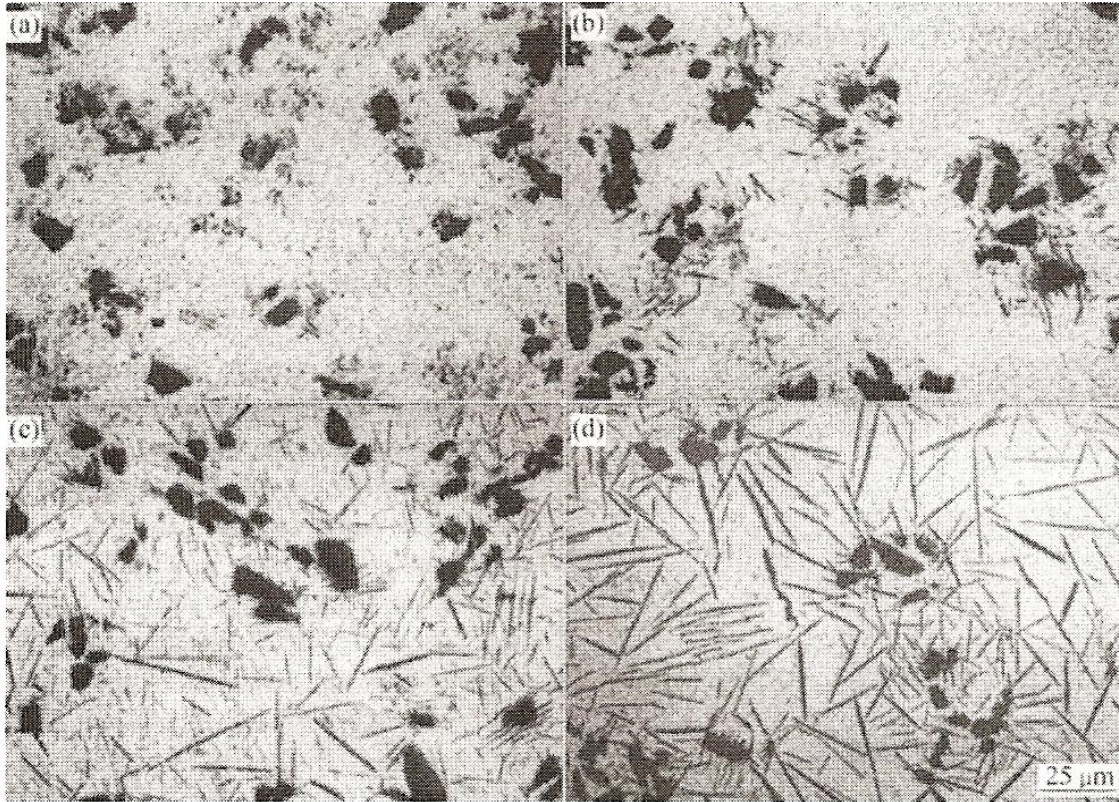


Şekil 1. SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitin ark kaynağında oluşan farklı Al-SiC reaksiyon bölgeleri [14]



Şekil 2. Kaynak sırasında oluşan kümelenmiş yassı  $Al_4C_3$  yapısı ile sarılmış bir SiC partikülü [14]

$Al_4C_3$  oluşumu kaynak sırasındaki ısı girdisi ile ilgilidir. Isı girdisine bağlı olarak  $Al_4C_3$  büyüklükleri ve miktarları değişir. Yüksek ısı girdisi karşısında şiddetli SiC çözünmesi ve buna bağlı olarak da daha büyük  $Al_4C_3$  çökmesi oluşur. Gereğinden az bir ısı girdisi karşısında da  $Al_4C_3$  oluşumu gözlenmez. Fakat, yeterli nüfuziyet sağlanamadığından istenen kaynak kalitesine de ulaşamaz. Dört farklı ısı girdisi kullanılarak yapılan alüminyum esaslı SiC takviyeli bir metal matrisli kompozitin kaynağında gözlenen mikroyapı farklılıkları bu olayı açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı ısı girdisi kullanılarak yapılan alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitin kaynağındaki mikro yapılar: (a) 30 J/mm, (b) 36 J/mm, (c) 42 J/mm, (d) 48 J/mm [6]

30 J/mm ısı girişiyle yapılan kaynakta, düşük ısı girdisinden dolayı çok ince taneli bir yapı görülmektedir. Ana malzeme yapısı ile karşılaştırıldığında azda olsa tanelerde bir büyüme görülmektedir (Şekil 3a). 36 J/mm ısı girişiyle yapılan kaynakta, sadece erime bölgesinin üstünde bazı küçük boyutlarda iğnemi çökelmeler gözlenmiştir (Şekil 3b). 42 J/mm ısı girişiyle yapılan kaynakta, bütün erime bölgesinde  $Al_4C_3$  çökmesi ortaya çıkmıştır (Şekil 3c). Fakat oluşan iğnemi  $Al_4C_3$  çökeltilerinin boyutları erime

bölgesinden uzaklaştıkça azalmaktadır. Isı girişi  $48 \text{ J/mm}^2$  ye çıkarıldığında yüksek ısı girdisinden dolayı iğnemsiz  $\text{Al}_4\text{C}_3$  boyutları belirgin bir şekilde artmaktadır (Şekil 3d) [6].  $\text{Al}_4\text{C}_3$  oluşumunu önlemek için temel gereksinim, kaynak sırasındaki gereksiz ısı girişini düşürmektir. Bu şekilde eriyen kompozit miktarı ve buna bağlı olarak da alüminyum ile SiC partiküllerinin birbirleri ile temas zamanı ve sıcaklığı sınırlanır. Sonuçta ara yüzey reaksiyonları da minimuma indirilmiş olur. Bu tür kompozitlerin uygun bir şekilde kaynak edilebilmesinde minimum ark enerji girişini uygulamak gerekir. Bunun için aşağıdaki formülden yararlanılabilir [4].

$$\text{Ark Enerji Girişi (J / mm)} = \frac{\text{Voltaj (V)} \times \text{Kaynak Akımı (A)}}{\text{Kaynak Hızı (mm / s)}}$$

Bu durumda kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkileyen iğnemsiz  $\text{Al}_4\text{C}_3$  çökmesi, ısı girişinin kontrolü ile önlenabilir ya da zararsız boyuta getirilir. Bunun içinde en uygun kaynak yöntemi, birçok üstün özelliklere sahip olan sinerjik kontrollü darbeli MIG (GMAW-P) yöntemidir.

### 3. Sinerjik Kontrollü Darbeli MIG (GMAW-P) Kaynak Yöntemi

Özel bir kaynak yönteminin seçimi yapılırken öncelikle birleşme kalitesi, verimlilik ve fiyat gibi bazı gereksinimler dikkate alınmalıdır. Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynağında kayda değer en önemli gereksinim  $\text{Al}_4\text{C}_3$  oluşum eğilimi ile ilgilidir [19].

Günümüzde metallerin kaynakla birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak metodlarından birisi, eriyen elektrodla bir koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında yapılan MIG kaynak tekniğidir. Eriyen elektrod ile yapılan MIG gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma imkânı, çok karmaşık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir şekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından birçok avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca her geçen gün bu metodun pazar payı yüzdesi artmaktadır. Bu teknik çeşitli kalınlıklardaki alüminyum ve alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle  $3 \text{ mm}^2$  den daha kalın alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Ancak, MIG kaynağında kaynak hızı ve ergime gücü diğer bir gazaltı kaynak yöntemi

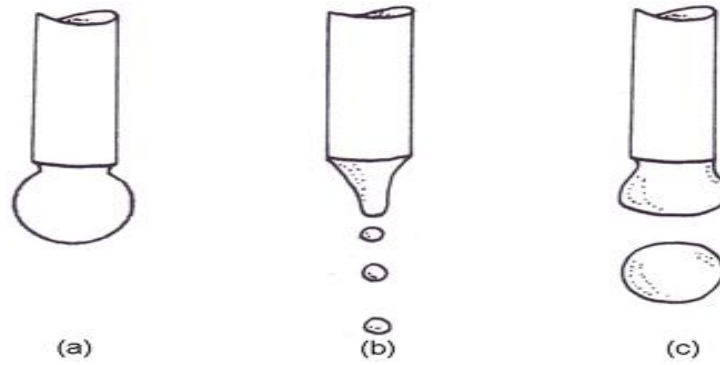
olan TIG kaynağına göre daha yüksektir ve çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır [13, 20, 21].

MIG Gaz Metal Ark Kaynak (GMAW) yönteminin kullanımı birçok üretim endüstrisinde hızlı bir şekilde artmaktadır. GMAW işlemlerinin yaygın kullanılmasına karşın metal transferi açısından bazı sınırlamaları olmaktadır. Her ne kadar bu yöntemin üstün özellikleri olsa da oluşan erime hataları kaynağın kalitesini zayıflatmaktadır. Oysa son yıllarda geliştirilen sinerjik kontrollü, darbeli akım teknolojisi kaynak kalitesinde meydana gelen sınırlamaların ortadan kalkmasına yardımcı olmaktadır. Darbeli MIG(GMAW-P) işleminde her bir darbeye(vuruda) elektrodun ucunda erimiş bir metal damlası oluşur. Tam o anda damlayı karşıya kaynak banyosuna itmek için yeterli akım eklenir. Darbeli GMAW de ince parçalar daha kaliteli kaynak edilir, distorasyon kontrol edilir ve daha düşük tel besleme hızlarında çalışılır. Bu yöntemde her ne kadar ana metal, elektrod çapı, koruyucu gaz tipi gibi parametre değerlerinin seçimi zorda olsa, bu zorluklar sinerjik kontrolle aşılmaktadır. Sinerjik kontrollü darbeli MIG kaynak makinelerinde, voltaj, tel hızı(akım), malzeme cinsi, tel çapı, koruyucu gaz veya karışımı gibi kaynak parametreleri kaynaktan önce programlanır. Ayrıca, bu tür makinelerde aşırı ısınma, şebeke hatası, tel besleme hatası, torç soğutma hatası, gaz akışı hatası oluştuğunda uyarı sinyalleri verirler. Sinerjik kontrollü darbeli MIG kaynak makinelerinin kaynak akımı tel besleme hızına bağlı olarak belirlenir ve kaynatılan malzeme cinsine uygunluk aranır. Tel hızının artmasıyla akım şiddeti de artar ve ark boyu kısalmır. Yavaş tel hızında akım şiddeti azalır ve ark boyu uzar. Kısaca, bu sistemlerde tel besleme oranı ile akım şiddeti arasındaki ilişkiye bağlı olarak ark uzunluğu dengelenir. Sinerjik kontrollü darbeli MIG kaynak makinelerinin tasarımında, düzgün ve kararlı ark elde edebilmek için, bütün kaynak parametreleri ve kaynak sırasında ortaya çıkabilecek olumsuzluklar dikkate alınarak programlar geliştirilir. Geliştirilen bu programlara bağlı olarak da kaynak parametrelerini uygun bir şekilde ayarlayabilmek için tablolar oluşturulur. Böylece mümkün olan en iyi kaynak dikişi elde edilir [22, 23].

MIG kaynağı düşük akımlarda küresel metal transferi ile çalışır (Şekil 4a). Bu elektrodun ucunda periyodik olarak büyük damlaların oluşmasıdır. Bu şekilde yerçekimi etkisi ile kaynak banyosu ayrılır. Böylece, büyük metal damlalarının oluşumuna neden olan ark kararlılığını ve eriyen damlaları kontrol edilemez. Yüksek

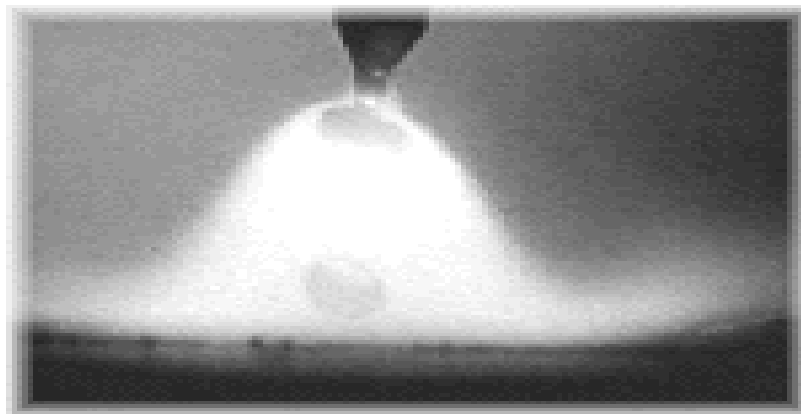


akımlarda işlem sprey moda geçer. Bu mod yüksek yığma özelliğine sahiptir. Fakat gittikçe azalan çaplarda damlalar oluştuğu için, yassı ve sert kaynak dikişleri meydana gelir (Şekil 4b). Bu erime şeklinin dezavantajları; iş parçasına büyük ısı geçişi, geniş kaynak dikişi, sadece kendine doğru kaynak dikişi ve en önemlisi de minimum akımlarda bile bazı metallerin kaynağının zorlaşmasıdır. Darbeli akım yöntemi ile oluşan metal transferi yukarıdaki dezavantajların üstesinden gelebilen bir akım yöntemidir. Bu erime şekli en düşük seviyedeki akım ve en yüksek seviyedeki akım arasındaki darbeleri akımla oluşur(Şekil 4c) [22,24].



Şekil 4. GMAW de metal transferlerinin farklı şekilleri a) Globular (küresel)  
b) Sprey c) Darbeli (pulsed) [22]

Darbeli MIG, elektrod ile kaynak banyosu arasında temassız bir metal transfer metodudur. Yani elektrod hiçbir zaman kaynak banyosuna temas etmemektedir. Darbeli MIG işlemi Her darbeye elektrodun ucunda bir damla erimiş metalin oluşmasıyla çalışır. Damla transferi her darbeye bir damla olacak şekildedir (Şekil 5).

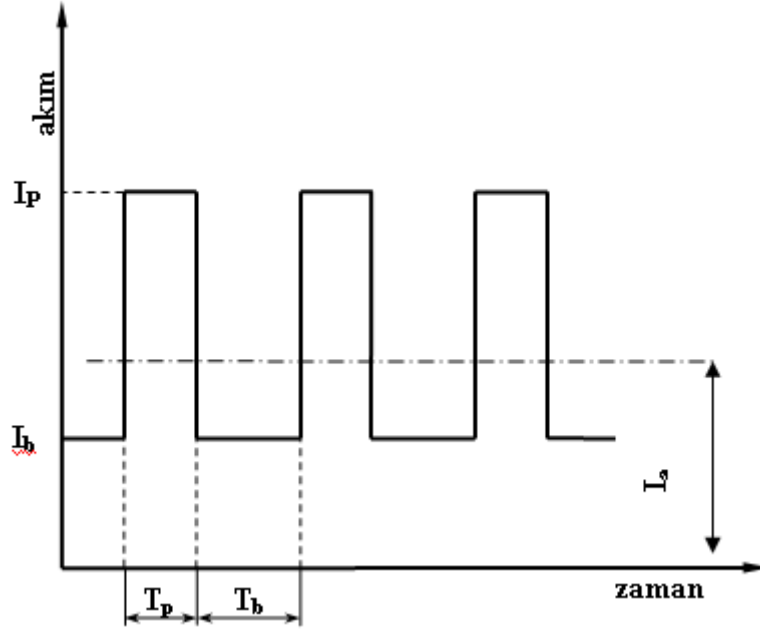


Şekil 5. Darbeli MIG Kaynağında Elektrodun Erime Şekli

Bu sistemin üstünlüğü, tel elektrodan eriyen damlaların kaynak banyosuna geçişinin temel ve darbe akım şiddetine göre iki farklı hızda gerçekleşmesidir. Darbe

akımı sırasında (Şekil 6), pik akımda ( $I_p$ ), kaynak metali hızlı bir biçimde ergir ve kaynak banyosuna spreyci ark biçiminde taşınır.

Kısaca eriyen metal damlasının elektroddan ayrılarak iş parçasına doğru hareket ettiği en yüksek akımdır. Bunu takip eden temel akım ( $I_b$ ) en düşük akım olup sadece arkin devamını sağlar. Bu periyotta elektrod ucunun erimesi kesilir ve bu şekilde kaynak banyosuna da ısı girdisi minimuma düşer. Burada temel akım şiddeti arkin sönmeyeceği bir değerde tutulduğundan arkin yeniden tutuşturulması gibi bir problem ortaya çıkmaz.  $T_p$  darbe zamanı yani metal damlasının oluşması için geçen zamandır.  $T_b$  ise en düşük temel akımda geçen zamandır. Düzgün bir metal transferi için pik yüksekliği ( $I_p$ ) ve zamanı ( $T_p$ ) önemlidir [20, 22].



Şekil 6. Darbeli MIG Kaynağında Akım-Zaman Diyagramının Şematik Gösterilişi [20, 22].

$I_b$ : Temel akım Şiddeti

$I_p$ : Darbeli Akım

$T_b$ : Temel akım Süresi

$T_p$ : Darbe Süresi

$I_a$  : Ortalama Akım

Sinerjik kontrollü darbeli MIG kaynak yönteminin ısı girişini düşürmesinin yanında klasik MIG yöntemine göre aşağıdaki avantajları da vardır [24, 25, 26].

- Her darbeye bir damla olacak şekilde çalışması ve kararlı bir arkin oluşması,

- Daha hızlı kaynak,
- Daha yüksek yığıma oranı,
- Daha az çarpılma,
- Daha düşük duman ve
- Daha az sıçrama.

Ayrıca, sinerjik kontrollü darbeli MIG kaynak yöntemi programlanabilme özelliği taşıdığı için, alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynağında meydana gelebilecek problemleri çözebilecek durumdadır.

#### 4. Sonuç

Alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kaynakla birleştirilmesinde  $Al_4C_3$  oluşumu, kaynak sırasındaki ısı girdisi ile ilgilidir. Isı girdisine bağlı olarak  $Al_4C_3$  büyüklükleri ve miktarları değişir. Yüksek ısı girdisi karşısında şiddetli SiC çözünmesi ve buna bağlı olarak da daha büyük  $Al_4C_3$  çökmesi oluşur. Sinerjik kontrollü darbeli MIG (GMAW-P) kaynak yöntemi, kaynak sırasında ısı girdisini düşürerek, kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkileyen kırılğan, kaba, iğnems  $Al_4C_3$  faz oluşumunu önlemektedir. Bu şekilde alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozitin başarılı ve verimli bir şekilde kaynak edilmesine yardımcı olmaktadır. Ancak bu konuda mevcut olan bilimsel çalışmalara yenilerini eklemek gerekir. Çünkü, alüminyum esaslı SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin, sinerjik kontrollü darbeli MIG (GMAW-P) kaynak yönteminde verimli bir şekilde kaynatılabilmesi için yapılacak program sayıları, kaynak parametreleri dikkate alınarak tüm problemleri çözebilecek şekilde artırılıp, geliştirilmelidir.

#### Kaynaklar

- [1] Ahlatcı H, Candan E, Çimenoglu H. % 60 SiC-Al Kompozitlerin Aşınma Davranışına SiC Partikül Boyutunun Etkisi. İtü Dergisi/d Mühendislik 2003 3: 37-42.
- [2] Chawla N, Williams J.J, Saha R. Mechanical Behavior and Microstructure Charecterization of Sinter-Forged SiC Particle Reinforced Aluminium Matrix composites, Jornal of Light Metal 2002; 4: 215-227.
- [3] Koczak M.J, Khatri S.C Allison J.E, Bader M.G. Fundamentals of Metal Matrix Composites. Butterworth-Heinemann: Stoneham, MA; 1993.

- [4] Lean P.P, 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 andAl-5Si), *Journal of Materials Processing Technology* 2003; 144: 846-850.
- [5] Chidambaram A, Bhole S.D. Particle Denuded Zones in Alumina Reinforced Aluminum Matrix Composite Weldments, *Scripta Materialia*1996 35: 373-378.
- [6] Chen M, Wu C.S, Zou Z. Electron Beam Welding of SiC/LD2 Composite, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*2006; 12: 818-823.
- [7] Middling O. T, Grong O. Continuous DriveFriction Welding of SiC Particulate Reinforced Aluminium Composites Proc 3rd Conf O Trends in Welding Research. *Materials Park (OH): ASM Inter-National*, 1147-51, 1992.
- [8] Chen M, Wu C, Gao J. Welding of Sic Particle Reinforced 6061 Al Matrix Composite With P-TIG, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*2002; 12: 805-808,
- [9] Chen M, Wu C, Wang J. Effect of Composition of Welding Wire on Microstructure and Mechanical Properties of Weld Metal in SiC Particle Reinforced 6061A1 Matrix Composite, *Transactions of the China Welding Institution* 2003; 24: 69-72.
- [10] Ahearn J. S, Cooke C, Fishman S.G. Fusion Welding of Sic-Reinforced A1 Composite, *Metal Construction* 1982 14:192-197.
- [11] Niu J, Wang M, Lai Z. Mechanism of Laser Welding for SiC/6061Al Composite, *Transactions of the China Welding Institution* 2000; 21: 1-4.
- [12] Jnarendra B, Dahotre T, Dwayne M Mccay M. H. Laser Processing of a SiC/Al Alloy Metal Matrix Composite, *Journal of Applied Physics* 1989; 65: 5072-5077.
- [13] Kurşun T. Gazaltı Kaynak tekniğinde Kullanılan koruyucu Gaz ve Gaz Karışımlarının 19Mn6 kalite Çeliğinin Kaynatılmasında Mekanik Özelliklere Etkisi ve Tozaltı Kaynağı ile Karşılaştırılması, *Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*, 1998.
- [14] Urena A, Escalera M.D, Gil L.2000. Infulunce of Interface Reactions on Fracture Mechanisms in TIG Arc-Welded Aluminium Matrix Copposites, *Composites Science and Technology* 2000; 60: 613-622.
- [15] Ellis M.B.D. Joining of Aluminium Based Metal Matrix Composites, *Int. Mater Review*1996; 41: 41-58.

- [16] Urena A, Goamez de Salazer J.M, Escalera M.D. 1995.Difusion Bonding of Discontinuous Reinforced SiC/Al Matrix composites, *Key Eng. Mater.* 1995; 104-107: 523-540.
- [17] Middling O. T, Grong O. Joining of Particle Reinforced Al-SiC MMCs, *Key Engineering Materials* 1995; 104-107: 355-372.
- [18] LeiY, Yuan W, Chen X, Zhu F, Cheng X. In-Stu Weld-Alloying Plasma Arc Welding of SiCp/Al MMC, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 2007; 17: 313-317.
- [19] Silva C.L.M, Scotti A. The Influence of Double Pulse on Porosity Formation in Aluminum GMAW, *Journal of Materials Processing Technology* 2006; 171: 366–372.
- [20] Tülbentci K. MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi. Arctech Yayını: İstanbul, 1998.
- [21] Gülenç B, Develi K, Kahraman N, Durgutlu A.2005. Experimental Study of The Effect of Hydrogen in argon As Sheilding Gas in MIG Welding of austenitic Steel, *International Journal of Hydrogen Energy* 2005; 30: 1475-1481.
- [22] Palani P.K, Murugan N. Selection of Parameters of Pulsed Current Gas Metal Arc Welding, *Journal of Materials Processing Technology* 2006; 172: 1–10.
- [23] Praveen P, Kang M.J, Yarlagađda P.K.D.V. 2008. Drop Transfer Mode Prediction in Pulse GMAW of Aluminum Using Statistical Model, *Journal of Materials Processing Technology* 2008; x x x: xxx–xxx,.
- [24] Praveen P, Yarlagađda P.K.D.V. Meeting Challenges in Welding of Aluminium alloys through Pulse Gas Metal Arc Welding, *Journal of Materials Processing Technology* 2005a; 164-165: 1106-1112.
- [25] Praveen P, Yarlagađda P.K.D.V. 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, 1-8. 27 Feb.-02 March, 2005b.*
- [26] Vilarinho L. O, Scotti A. An Alternative Algorithm for Synergic Pulsed GMAW of Aluminium, *Australian Welding Journal* 2000; 45: 36-44.