

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI VE UYGULAMALARI

Selim Sarper Yılmaz*

Doç. Dr.,
Celal Bayar Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Manisa
selim.yilmaz@cbu.edu.tr

Bekir Sadık Ünlü

Doç. Dr.,
Celal Bayar Üniversitesi,
Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi,
Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü,
Manisa
bekir.unlu@cbu.edu.tr

Mehmet Uzkut

Doç. Dr.,
Celal Bayar Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa
mehmet.uzkut@cbu.edu.tr

Deniz Ertürk

Habaş Sınai ve Tıbbi Gazlar
İstihsal Endüstrisi A.Ş., Aliağa, İzmir
d.denizerturk@gmail.com

ÖZ

Sürtünme karıştırma kaynağının esası, özel olarak tasarlanmış uç ve omuza sahip harcanmayan ve dönen bir takımın karşılıklı olarak alın alına dayanmış levha plakaların içine dalması, dönmesi ve birleştirme çizgisi boyunca ilerlemesine dayanmaktadır. Bu metot son on yıl içerisinde metal birleştirme tekniğindeki en önemli gelişme olarak düşünülmektedir. Bu kaynak yönteminde hiçbir koruyucu gaz kullanılmasına gerek yoktur. Aynı zamanda ilave kaynak dolgu metaline de gerek duyulmaz. Geleneksel kaynak metotlarıyla karşılaştırıldığında çok daha az enerji harcar. Bu çalışmada, alüminyum ve alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı ve uygulama alanları belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, alüminyum alaşımı, uygulama alanı

ABSTRACT

The friction stir welding is a welding technique where special tools, which have specially designed tip and shoulder, are inserted into metal sheets, rotates and proceeds through joining section. This method was considered the most important development of the last decade in metal joining. No preservative gas is needed in this welding technique. Moreover, there is no need for additional filler material of weld. As compared to the conventional welding techniques, the energy consumption during welding is minimum in the friction-stir welding. Our study addressed the friction stir welding applications of aluminum alloys.

Keywords: Friction-stir welding, aluminum alloy, application area

Geliş tarihi : 12.01.2016
Kabul tarihi : 18.04.2016

Yılmaz, S. S., Ünlü, B. S., Uzkut, M., Ertürk, D. 2016. "Alüminyum Alaşımlarında Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 676, s. 56-63.

1. GİRİŞ

Bir malzemenin ekonomik olarak kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemeden parça dizaynını ve üretim yönteminin tayin edilmesini belirleyen bir özelliğidir. Lazer teknolojisindeki yeni ilerlemeler birçok malzemenin kaynak edilebilmesine olanak sağlamış ve değişik uygulamalarda bu malzemelerin kullanılmasını mümkün kılmıştır. Fakat bu kaynak yöntemi Al-alaşımlarının kaynağında ekonomik olarak kullanılamamaktadır. Diğer taraftan, 1990'ların basında geliştirilen ve bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, geleneksel ergitme kaynak işlemleriyle kaynağı güç olan veya mümkün olmayan, özellikle yaşlandırma sertleştirilmesine tabi tutulmuş Al-alaşımlarının kaynağında başarıyla kullanılabilir [1, 2].

Bir malzemenin kaynak konstrüksiyonuna uygun olması, diğer bir deyişle, bir malzemenin kaynak işleminin kolaylıkla ve ekonomik olarak yapılabilir olması, o malzemenin yaygın olarak kullanılabilmesini sağlar. Bazı istisnaları hariç (7075 alaşımı gibi), ticari olarak ark kaynağı gibi ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilebilse de Al alaşımları kaynağına güç malzemelerdir. Ergitme kaynak yöntemleri (ark, lazer ve elektron kaynağı) ve bir basınç kaynağı turu olan difüzyon kaynağı gibi bilinen kaynak yöntemleri ile Al alaşımlarının kaynaklarında çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunlar arasında, vakum ortamında yapılan elektron kaynağı hariç tüm diğer ergitme kaynaklarında porozite (gaz boşluğu) oluşumu, kaynak dikişi ve ısı etkili bölgede (IEB) çatlak oluşumu ve mukavemet düşüşü sayılabilir. Ticari olarak Ti alaşımlarına başarıyla uygulanan katı hal kaynak yöntemlerinden difüzyon kaynağı da yüzeylerindeki kararlı oksit tabakasından dolayı Al alaşımlarına ekonomik olarak uygulanamamaktadır. Ergitme kaynak yöntemleri ile Al alaşımlarının (özellikle çökeltme sertleştirilmesi yapılmış olan Al alaşımlarının) kaynağında aşırı derecede çatlak ve porozite oluşumu gibi problemler mevcuttur. Bu problemlerden çatlak oluşumunun nedeni, Al alaşımlarının katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması ve ısı genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır. Günümüzde kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları; artırılmış mukavemet özellikleri, hafiflikleri, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda endüstrisi, kimya endüstrisi, otomotiv ve gemi inşa endüstrisi, taşıt yapımı, uçak yapım endüstrisi, makine ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat sektörü ile uzay ve havacılık endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler [3-6]. Özellikle geniş kullanım alanlarına sahip alüminyum ve alaşımlarının kaynağında yeni tekniklerin geliştirilmesi söz konusudur. Son zamanlarda uçak, uzay, gemi, otomotiv sektöründe, gıda depolama elemanları ve radyoaktif atık madde taşıyıcılarının üretiminde kullanılan 2000, 5000, 6000, 7000

ve 8000 serisi alüminyumlarının birleştirilmesinde, sürtünme karıştırma kaynağı yaygın kullanım alanı bulmaktadır [7-9].

Bir katı hal birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak konstrüksiyonu güç olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir [10].

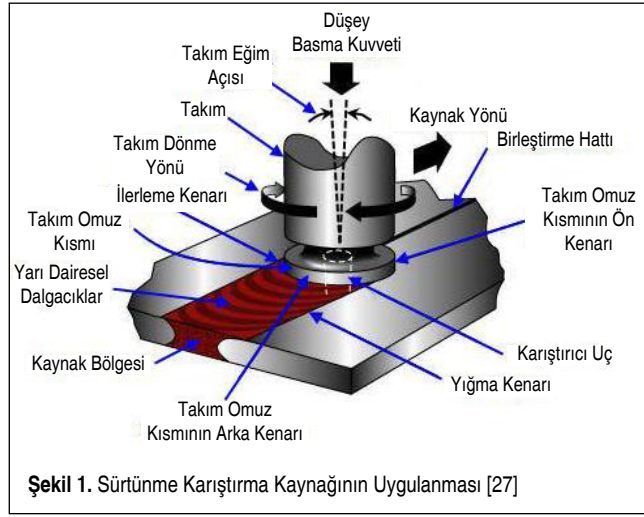
Sürtünme karıştırma kaynağı enerji verimliliği, kaynak gazı çıkarmaması nedeniyle çevre dostu ve çok yönlü olmasından dolayı yeşil teknolojiye uygundur. Aynı zamanda alüminyum, düşük ergime sıcaklığı ve düşük sertliği nedeniyle geleneksel metotlarla kaynağı zor olan bir metaldir. Ayrıca bu metalin oksijene karşı olan ilgisinden dolayı hava ortamında geleneksel ergitme kaynakları ile kaynağı çok zordur [11, 12].

Yöntemin uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağız hazırlığı gerekmemesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi olanağının bulunması ve otomasyona da yatkınlığı gibi daha birçok üstünlüğünün bulunması, yöntemin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir [10]. Bu çalışmada, alüminyum ve alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı, yöntemleri birleştirme türleri ve uygulamaları anlatılmıştır.

2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

İşlem, kaynak yapılacak parçadan daha sert bir malzemeden üretilmiş sürtünme aparatının dönen ucu ile kaynaklanacak parçaların birleşme bölgesinde ısı meydana getirilmesi prensibine dayanır. Karıştırıcı uç, daha geniş çaplı bir metal gövdeye bağlı, daha küçük çaplı bir sonda olarak şekillenmiştir. Karıştırıcı uç birleşme bölgesi içine daldırıldığında geniş çaplı omuz diye tarif edilecek metal kısım birleştirilecek yüzeylere önce bir temas yapar. Karıştırıcı ucun dalma derinliği kaynak nüfuziyeti olarak da söylenebilir. Omzun malzemeye teması kaynak bölgesine ilave bir ısı sağlamanın yanı sıra, yumuşayan bölgeye karıştırıcı ucun kesik koni şeklindeki ucu daldırılır. Isıl olarak yumuşayan metal karıştırıcı uca doğru giderek daralan ancak üst yüzeyde omuz ile temas eden daha geniş bir görünüm arz eder. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur (Şekil 1).

Karıştırıcı uç çevresinde malzeme akışı, karıştırıcı uç arkasında ise malzeme ile dönen uç arasında izafi bir dönüş meydana gelmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı, kendi kendine oluşan bir birleştirme tekniğidir. Birleşen malzeme, doğal katı faz haldedir ve ergime kaynağı hataları içermez. Bu yöntemde, tüketilen bir dolgu malzemesi, koruyucu gaz ve kenarların hazırlanması gerekmez [3-7].

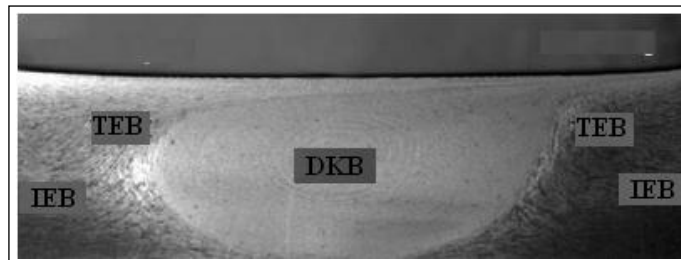


2.1 Kaynak Bölgeleri

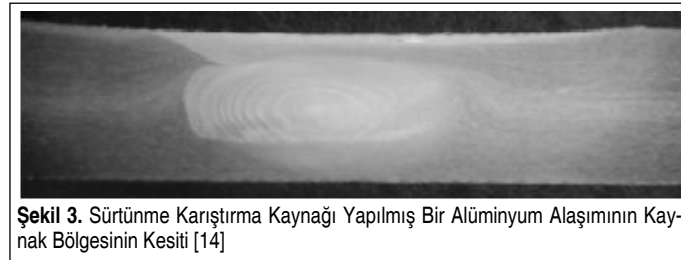
Kaynak bölgesinde oluşan içyapı Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak bölgesi üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB), termomekanik olarak etkilenen bölge (TEB) ve sıvı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılmaktadır [4, 8].

2.1.1 Dinamik Olarak Yeniden Kristalleşen Bölge (DKB)

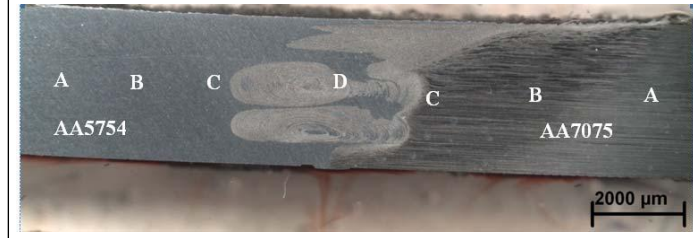
Yoğun plastik deformasyonun olduğu ve yüksek sürtünme sıcaklıklarının meydana geldiği bu bölge, "dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge" veya "kaynak merkezi" olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede dislokasyon yoğunluğu daha düşüktür ve daha ince yönlendirilmiş tanelerden oluşmaktadır. Benzer tipteki alaşımların bazı SKK uygulamalarında bu bölge, soğan halkalarından oluşan (Şekil 3) bir havuzu andırmaktadır.



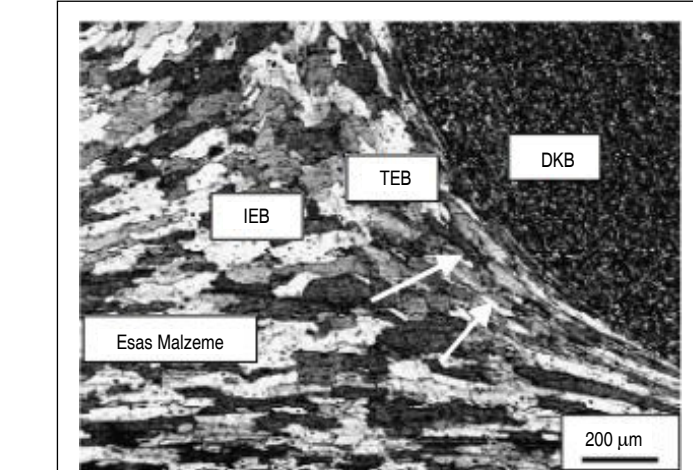
Şekil 2. AA 7075 Çiftinin Kaynak Sonrası Mikro Yapısal Bölgeleri [10]



Şekil 3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılmış Bir Alüminyum Alaşımının Kaynak Bölgesinin Kesiti [14]



Şekil 4. Gerçekleşen Deneylerdeki Kaynak Dikişlerinde Oluşan Bölgelerin Görünümü [13]



Şekil 5. Termomekanik Etkilenen Bölge Tanelerinin Uzayarak Yönlenmesi [9]

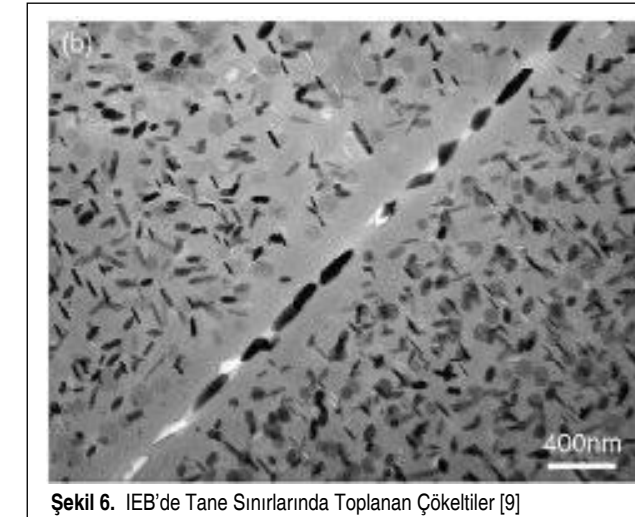
tadır [9]. Benzer olmayan alüminyum alaşımlarında ise bölge, daha düzensiz ve karmaşık bir görünüm sergilemektedir (Şekil 4).

2.1.2 Termomekanik Etkilenen Bölge (TEB)

Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge ile ısıdan etkilenen bölge arasında, yüksek deformasyon ve sıcaklığa maruz kalan bölgeyi temsil etmektedir. Ana metalin tanelerinin kaynak merkezinden bu bölgeye ekstrüze edilmesiyle, yoğun bir dövme olayı meydana gelmektedir. Karıştırma esnasında oluşan ısı, bu bölgenin mikro yapı ve mekanik özelliklerini değiştirir. Bunun sonucunda deformasyona uğrayan taneler, uzamış ve yassılaştırmış taneler haline gelmektedir (Şekil 5).

2.1.3 Isıdan Etkilenen Bölge (IEB)

Kaynak metaline daha yakın, ısıdan etkilenmeyen ana metale komşu olan bölgedir. Bu bölgedeki malzeme, karıştırma esnasında meydana gelen ısıdan etkilenir ve malzemenin yapı ve özelliklerinde kısmi değişimler ortaya çıkar. Bu bölgede plastik deformasyon oluşmaz. Çökeltme sertleşmesi ısı işlemi uygulanan bazı alüminyum alaşımlarında bu bölgenin sıcaklığı 250 °C'yi geçmediği takdirde taneler, esas malzemenin özelliklerini göstermektedir. Fakat 250 °C aşıldığı zaman, bu bölgede tane irileşmesi ve tane sınırlarında çökelti oluşmaktadır (Şekil 6) [15].



Şekil 6. IEB'de Tane Sınırlarında Toplanan Çökelti [9]

2.2 Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Karıştırıcı Uçlar

Sürtünme karıştırma kaynağının başarılı bir şekilde gerçekleşmesinde kaynak takımının önemi büyüktür. Takım şekli ve boyutu, malzeme akışı, kaynak bölgesindeki ısı oluşumu gibi kaynak bölgesini şekillendiren özellikleri etkilemektedir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, ilk geliştirildiği yıllarda, kullanılan batıcı uçlar yüzeyine helisel diş açılmış, uzunlukta kaynak edilecek levha kalınlığından biraz kısa silindirik takımlardı. Son yıllarda, sürtünme sonucu açığa çıkan ısı ile akıcı kıvama gelen malzemenin kaynak bölgesinde kalması için takımlar geliştirilmiştir. Şekil 7'de, SKK yönteminde kullanılan farklı profildeki kaynak uçları gösterilmiştir [16].

Sürtünme karıştırma kaynağında, özellikle kalın levhaların birleştirme işlemlerinde, kaynak bölgesinde boşluk oluşumunu gidermede veya azaltmada ve işlem verimliliğini yükseltmede önemli bir faktör, dinamik süpürme hacminin (karıştırıcı ucun dönmesi sırasındaki hacminin) statik hacme oranıdır. Bu oran, batıcı uç yüzeyine değişik profiller işlenerek artırılabilir, dolayısıyla batıcı uç etrafında ve altında malzeme akış yolları genişletilerek malzemenin kaynak dikişi içerisinde kalması desteklenir. Bu amaçla, kalın levhaların kaynağında ince levhalar için geliştirilmiş olan geleneksel silindirik karıştırıcı ucun yerine, hacminin yaklaşık %60-70'i boşaltılmış olan konik uç kullanılmaktadır. Bu sayede, kaynak esnasında



Şekil 7. SKK Yönteminde Kullanılan Farklı Profildeki Kaynak Uçları [16]

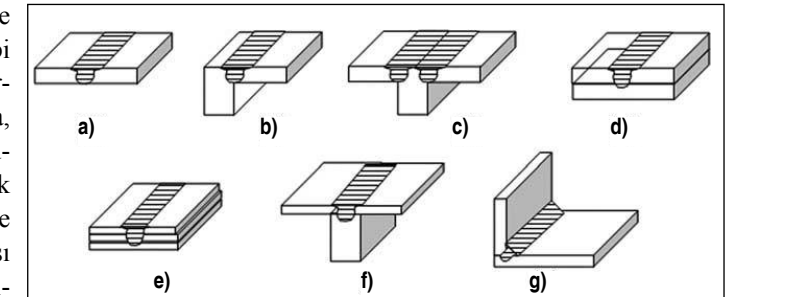
gerekli kuvvet de azaltılmış olur. Batıcı ucun geometrisi ve ebadı kaynaklanacak levhaların kalınlığına ve kaynağın türüne bağlıdır [5].

Sürtünme karıştırma kaynağında uygulanabilir birleştirme türleri; küt alın, bindirme, T-köşe, dış ve iç köşe, boyuna ve çevresel birleştirmelerdir (Şekil 8). Ayrıca bu yöntem, yerçekiminin etkisi olmadığından tüm pozisyonlarda rahatlıkla uygulanabilir [18].

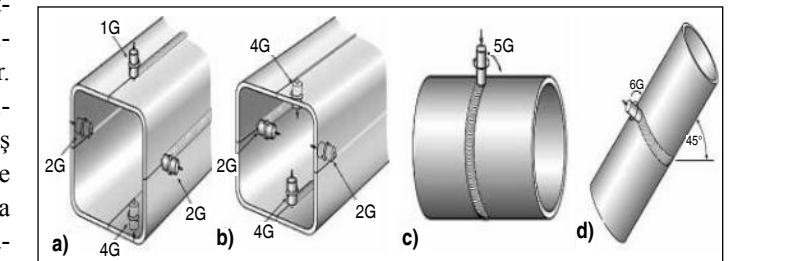
Bu kaynak yöntemi ile düz ve çeşitli profillerdeki sac ve levhaların alın ve bindirme kaynağı yapılabilmektedir. Al-alışımı veya mukavemeti düşük diğer malzemelerden T ve L profillerin üretiminde ve boru bağlantı kaynaklarında da bu yöntem kullanılabilir [19]. Şekil 9'da, sürtünme karıştırma kaynağının çeşitli boru ve profillere uygulaması görülmektedir.

3. BİRLEŞTİRME TÜRLERİ

Birleştirme türleri Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Alın ve Bindirme Kaynağı Örnekleri: a) Alın Birleştirme, b) Kenar Birleştirme, c) T Alın Birleşim, d) Üst Üste Koyarak Birleştirme, e) Çoklu Üst Üste Koyarak Birleştirme, f) T Üste Koyarak Birleştirme, g) Dolgu Birleştirme [9]



Şekil 9. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Boru Kaynaklarında Uygulanması [17]

4. YÖNTEMİN ÜSTÜNLÜKLERİ VE SINIRLARI

4.1 Yöntemin Üstünlükleri

Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin başlıca üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: Enerji tasarrufu sağlayan basit bir işlem olduğundan, kaynak işlemi,

dolgu telleri ve gazdan korunan kaynak banyosu gerektirmez. Bütün pozisyonlara uygundur. Gözenek oluşmaz. Hassas kaynak ağız hazırlığına gerek yoktur. Koruyucu gaz ve ek metale gerek yoktur. Sıçrama olmaksızın düz yüzey elde edilebilir. Verimi yüksektir ve çok az bakım ister. Kaynaktan hemen sonra oksit tabakasının kaldırılmasına gerek yoktur. Yüksek bağlantı mukavemetleri ısı işlem yapılarak elde edilir. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinden, ince malzemelerin (>0,5mm) kaynağında göstermiş olduğu yüksek kaynak hızıyla; kalın malzemelerin kaynağında ise ergitme kaynak yöntemlerinde ancak iki paso ile yapılan kaynakları tek paso da gerçekleştirebilmesi ile daha üstündür. Bununla beraber, SKK ile çift yönlü (iki paso) kaynak yapmak da mümkündür. Bir katı hal kaynak yöntemi olarak, Al-alaşımlarının ergitme kaynak yöntemlerinde söz konusu olan porozite, çatlak oluşumu, kaynak bölgesinde element kaybı olmaksızın Al-alaşımlarının tümüne uygulanabilir. Kalifiye yetenek gerektirmediği gibi, kaynak sırasında genelde müdahale gerektirmez.

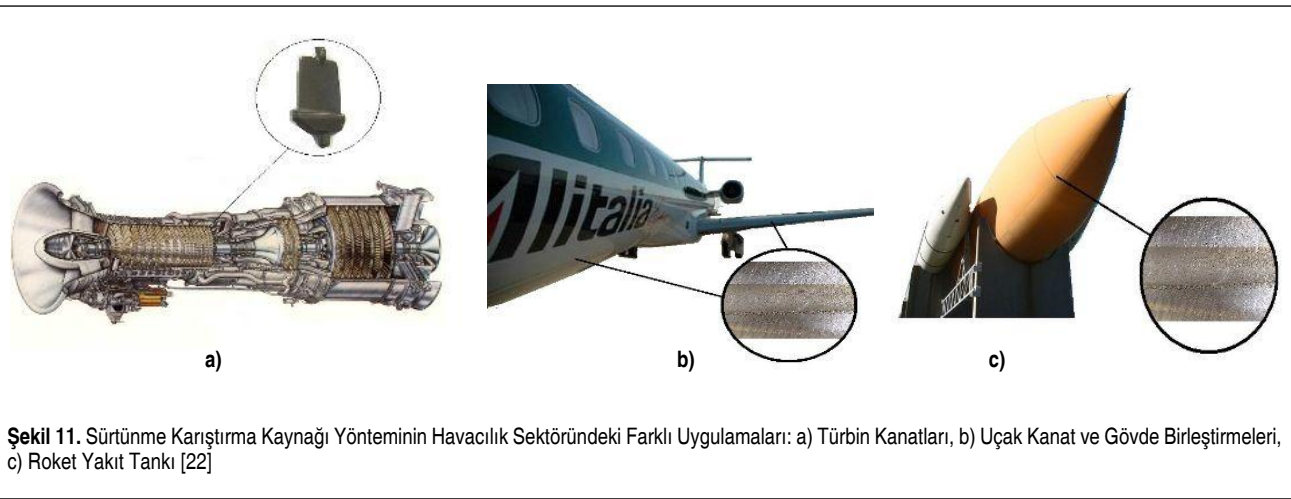
4.2 Yöntemin Sınırları

Sürtünme karıştırma kaynağının belli üstünlüklerinin yanı sıra, bir takım sınırlamaları da bulunmaktadır: Bazı alaşımların tek pasolu kaynağında kaynak hızı diğer mekanize ark kaynaklarından daha düşüktür. %100 nüfuziyet isteniyorsa, parçaların ters çevrilip arka tarafından da kaynak edilmesi gereklidir. Parçaların rijit olarak çok iyi bağlanmaları gerekmektedir. Bu durum, malzemelerde artık gerilmeler oluşturmaktadır. Başlama ve bitiş plakaları kullanılmayan kaynak işlemlerinde, başlangıçta oluşan kalitesiz dikiş görünümü ile kaynak işleminin bitiminde pim yukarı çıkması sonucu anahtar deliği oluşumu görülür. Bu deliğin tamiri yapılabilir. Bu durumun ortadan kaldırılması için geliştirilen, hidrolik olarak geri çekilebilen takımlar mevcuttur; ancak halen pahalı bir uygulamadır. İş parçaları tablaya bağlandığından kaynak donanımının taşınması söz konusu değildir.

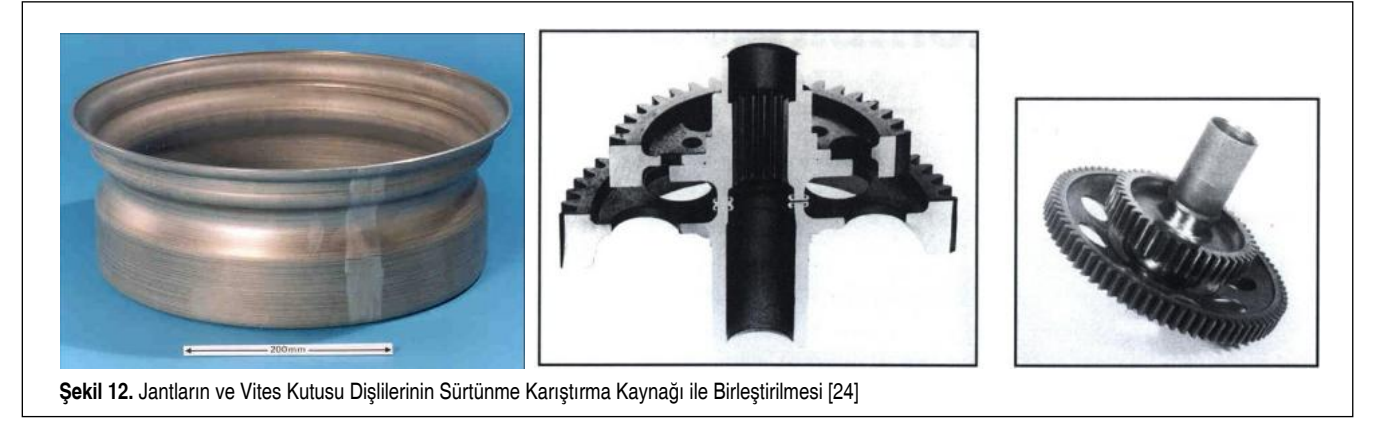
Kaynak edilecek parçaları kontrol altında tutacak, kaynak sı-



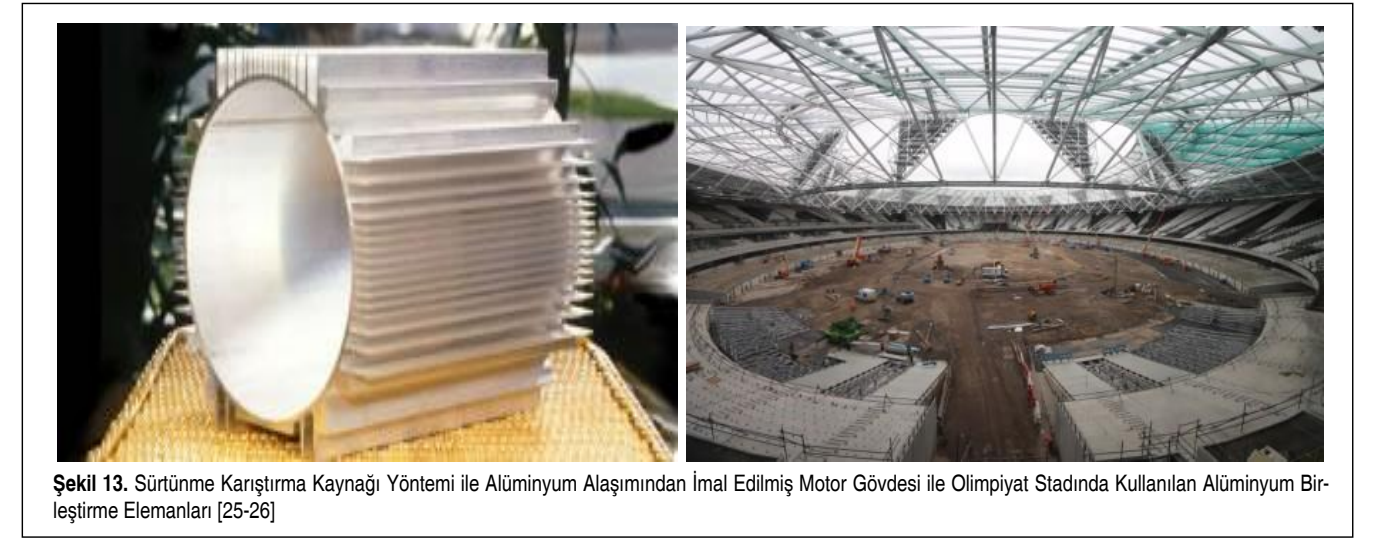
Şekil 10. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Gemilerde Uygulanması ve Alüminyum Gemi Panellerini Kaynak İçin Kullanılan Sürtünme Karıştırma Kaynak Makinesi [27]



Şekil 11. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yönteminin Havacılık Sektöründeki Farklı Uygulamaları: a) Türbin Kanatları, b) Uçak Kanat ve Gövde Birleştirmeleri, c) Roket Yakıt Tankı [22]



Şekil 12. Jantların ve Vites Kutusu Dişlilerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesi [24]



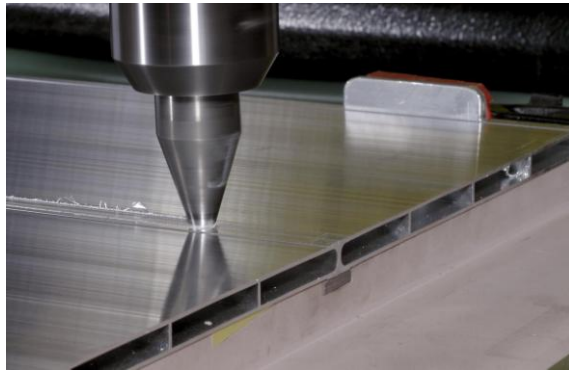
Şekil 13. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemi ile Alüminyum Alaşımından İmal Edilmiş Motor Gövdesi ile Olimpiyat Stadında Kullanılan Alüminyum Birleştirme Elemanları [25-26]

rasında batıcı uç tarafından uygulanan kuvveti karşılayacak ve kaynak edilen malzemelerin kaynak bölgesindeki plastik akış halinde olan kısımlarının dışarı akmasını engelleyecek destek aparatlara ihtiyaç vardır. Yöntemin kullanımı, genellikle doğrusal ve uzun dikişler halinde ekonomik olup, dairesel hareketler yapmak zordur. Robotik sistemlerle bu sorun giderilebilmekte; fakat hâlihazırda pahalı bir çözümdür.

5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULAMA ALANLARI

Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi birçok üstünlüğü bakımından geleneksel kaynak yöntemlerinin uygulanması sonucu yeterli verimin alınmadığı endüstriyel alanlarda başarı ile uygulanmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin uygulandığı alanları sıralarsak: Gemi ve denizcilik endüstrisinde; güverte panellerinde, gemilerin yan yüzeylerde, ana gövde ve zeminde, helikopter iniş platformlarında, deniz ve taşımacılık yapılarında kullanılan bir yöntemdir (Şekil 10). Havacılık ve uzay endüstrisinde; kanatlar, uçak gövdesi, yakıt tankları, askeri ve bilimsel roketlerin imalatında uygulanan bir yöntemdir (Şekil 11). Kara taşımacılığında; motor ve şasi

kızaklarının imalatında, tekerlek çerçevelerinin imalatında, hidroformlanmış boruların birleştirmelerinde uygulanmaktadır. SKK yöntemi uygulanmış alüminyum jant ve vites kutusu dişlileri Şekil 12’de gösterilmiştir [8]. Yapı endüstrisinde; alüminyum köprüler, alüminyum bina kaplamaları, pencere çerçeveleri, alüminyum boru hatları, alüminyum reaktörler ve elektronik endüstrisi sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin uygulandığı alanlardandır (Şekil 13). Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin kullanıldığı diğer endüstri alanları ise buzdolabı panelleri, mutfak ve pişirme eşyaları, gaz tankları ve mobilya imalatlarıdır. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile Alüminyum alaşımından imal edilmiş bir birleştirme elemanı Şekil 14’te gösterilmiştir [8]. Yüksek hızlı trenler, tren yolunun mevcut yokuşlu yerleri, pis altyapı, tramvaylar, demiryolu tankerleri ve vagonlarda sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları yapılmaktadır (Şekil 15). Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin ayrıca, zırlı taşıt yapımında da uygulama alanı bulunmaktadır. Bu amaçla, korozyona dirençli 2XXX, 5XXX, 7XXX serisi paslanmaz alüminyum alaşımlarının kullanıldığı zırlı personel taşıma araçlarının alt ve yan panellerinin birbirine kaynağı yapılmaktadır. Zırlı personel taşıyıcı imalatında da bu yöntem kullanılmaktadır.



Şekil 14. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemi ile Alüminyum Alaşımından İmal Edilmiş Bir Birleştirme Elemanı [21]



Şekil 15. Yan ve Çatı Panellerinin Sürtünme Karıştırma Kaynakları ile Birleştirilmiş Hitachi Tarafından İnşa Edilen Banliyö Treni [23]



Şekil 16. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle İmal Edilmiş Zirhlı Personel Taşıyıcı [20]

Bu yöntemle imal edilmiş askeri bir aracın genel görünümü Şekil 16'da verilmiştir.

6. SONUÇ

Endüstrinin birçok dalında uygulama alanı bulan sürtünme eleman ile kaynak yöntemi, getirdiği birçok üstünlük ile diğer ergitme kaynak yöntemlerine göre daha uygun bir yöntem konumuna gelmiştir. Özellikle Al ve Al alaşımları için mekanik özelliklerdeki iyileştirmeler, kaynak sonrası oluşabilecek hatalardaki azalmalar ile de gelecekte otomotiv endüstrisi, gemi inşaatı, uçak ve uzay endüstrisi ve diğer imalat sektörlerinde kullanımı her geçen gün artacaktır.

KAYNAKÇA

1. Toktaş, A. 2006. "Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin AA 6063 Alüminyum Alaşımına Uygulanması ve Kaynak Parametrelerinin Malzeme İç Yapısı ile Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
2. Doğan, S. 2006. "AA 5754 –H12 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında İşlem Parametrelerinin Mikro yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye Üniversitesi, Eskişehir.
3. Taban, E., Kaluç, E. 2004. "Sürtünme Eleman ile Birleştirme (FSW) Kaynaklı EN AW-5083 Alüminyum Alaşımı Bağlantılarının Mekanik ve Mikro Yapısal Özellikleri," Metal Dünyası, sayı 137, s. 125 – 130.
4. Avner, S. H. 1974. Introduction to Physical Metallurgy, Ms. Graw Hill, USA.
5. Anderson, T. 2000. "The Advancement of Al within the Welding Fabrication Industry and its Many Product Design Applications," Svetsaren, vol. 2, p. 3-5.
6. Mathers, G. 2002. The Welding of Aluminium and its Alloys, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
7. Sayer, S., Ceyhan, V. 2008. "Sürtünme Karıştırma Kaynağında Karıştırıcı Aparat Dönme Hızlarının Bağlantının Dayanıma Etkisi," Makine Tek, sayı 123, s. 62 – 70.
8. Pell, M., Steuwer, A., Preuss, M., Withers, P. J. 2003, "Microstructure, Mechanical Properties and Residual Stress as a Function of Welding Speed in Aluminium AA5083 Friction Stir Welding," Acta Metallurgica, vol. 51, p. 4791-4801.
9. Mishra, R. S., Ma, Z. Y. 2005. "Friction Stir Welding and Processing," Materials Science and Engineering, vol. 50, issues 1-2, p. 1-78.
10. Şık, A. 2005. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Levhaların Eğme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi," Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sakarya Üniversitesi, cilt 9, sayı 2, s.12-17.
11. Bradley, G. R., James, M. N. 2000. "Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy 5383-H321," Dept. of Mechanical and Marine En-

gineering, University of Plymouth, England, www.plymouth.ac.uk, son erişim tarihi: 7.10.2015, p. 1-87.

12. Ericsson, M. 2005. "Fatigue Strength of Friction Stir Welded Joints in Aluminium," Ph. D. Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden.
13. Yalçın, E., D. 2010. "AA7075 ve AA5754 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
14. Çam, G. 2005. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi," Mühendis ve Makine, cilt 46, sayı 541, s. 40-51.
15. Mahoney, M., Mishra, R. S., Nelson, T., Flintoff, J., Islamgaliev, R., Hovansky, Y., Jata, K. V. (Ed.). 2001. Friction Stir Welding and Processing, TMS, Warrendale, PA, USA, p. 183.
16. Miranda, R. M., Gandra J., Vilaça, P. 2013. "Surface Modification by Friction Based Processes," In Modern Surface Engineering Treatments, Mahmood Aliofkhae (Ed.), ISBN 978-953-51-1149-8. In Tech Science, Technology and Medicine open access publisher.
17. Çam, G. 2003. "Sürtünme Karıştırma Kaynağındaki Gelişmeler," TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, 24-26 Ekim 2003, Kocaeli, ISBN: 975-395-653-3, TMMOB MMO Yayını, Ankara, s. 47-64.
18. Kaluç, E., Taban, E. 2007. Sürtünme Eleman ile Kaynak (FSW) Yöntemi, MMO 2007-460, TMMOB MMO Yayını, Ankara.

19. Külekçi, M. K., Şık, A. 2003. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Alüminyum Alaşımı Levhaların Birleştirilmesi ve Elde Edilen Kaynaklı Bağlantıların Özellikleri," TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, 24-26 Ekim 2003, Kocaeli, ISBN: 975-395-653-3, TMMOB MMO Yayını, Ankara, s. 34-44.
20. www.saglammetal.com, son erişim tarihi: 7.10.2015.
21. http://www.bil- bs.besitesdefaultfilesMICROSOUNDmicroFS Wnvc_figuur_4_metalierie_042011_microsoud.jpg, son erişim tarihi: 7.10.2015.
22. http://www.gatwicktechnologies.com/applications/aerospace, son erişim tarihi: 7.10.2015.
23. www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/friction-stir-welding-a-competitive-new-joining-option-for-aluminium-rolling-stock-manufacturers-october-2002, son erişim tarihi: 7.10.2015.
24. www.bil-ibs.be/fr/soudage-par-friction, son erişim tarihi: 7.10.2015.
25. www.aluminum.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=205&pageip=2144416867, son erişim tarihi: 7.10.2015.
26. www.sapagroup.com/nl/sapa-extrusion-benelux/ontwerp/aluminium-experience-days/aluminium-experience-day-fsw, son erişim tarihi: 7.10.2015.
27. bilginform.com/surtunme-karistirma-kaynagi.html, son erişim tarihi: 7.10.2015.

DEĞERLİ ÜYELERİMİZE

Bugün, her zamankinden daha fazla siz değerli üyelerimizin örgütlü gücüne ihtiyacımız duymaktayız.

İktidarın, kamusal denetimi geriletken uygulamaları, halkın can güvenliğini ortadan kaldırmakla birlikte, Odamızın hizmet alanlarının daralmasına da yol açmaktadır.

Bütün ekonomik zorluklara rağmen, bilimsel gerçeklikler ışığında, mühendislik uygulamalarının önemini ortaya koyan raporlar yayınlama; mesleğimizi geliştirmeye ve toplumu bilinçlendirmeye yönelik bülten, dergi, kitap, broşür vb. yayın çalışmalarımızı sürdürme kararlılığımızdayız.

Bu nedenle sizlere ve halkımıza verdiğimiz hizmetlerin yanında çok temsili kaldığına inandığımız üyelik aidatlarının ödenmesi konusunda katkılarınızı bekliyoruz.

<https://aidat.mmo.org.tr>