

Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Alaşımı Levhaların Mekanik Özellikleri

Mustafa Kemal Külekci

Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknik
Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi
Bölümü, Tarsus – MERSİN

Bu çalışmada yeni geliştirilmiş bir katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) kullanılarak, TS-EN AW-2014 (AlCu₄SiMg) alüminyum alaşımı levhaların kaynak işleminde elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri incelenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynakları geleneksel yarı otomatik freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini değerlendirmede, çekme, Charpy çentikli darbe deneyleri ile Brinell sertlik testi kullanılmıştır. Yapılan çekme deneylerinde Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin çekme dayanımları esas metalin çekme değerlerine yakın çıkmıştır. Geleneksel MIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin çekme testi sonuçları SKK tekniği ile elde edilen numunelerin çekme değerinin %50 daha altında olduğu tespit edilmiştir. Çekme test sonuçları değerlendirildiğinde; SKK numunelerinde % uzama değerleri, esas metal % uzama değerine yakın çıkmıştır. Çentikli darbe deneyinde SKK tekniği ile birleştirilen numunelerin kırılması için gerekli enerji miktarı 90 J olarak tespit edilmiştir. Geleneksel MIG yöntemi ile birleştirilen numunelerde ise söz konusu enerjinin 6 J civarında olduğu test edilmiştir. Kaynak bölgesinde yapılan sertlik değeri ölçümlerinde, kaynak bölgesindeki sertlik değerleri değişiminin SKK yönteminde, geleneksel MIG kaynağına nazaran daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar SKK yönteminde daha az ısı enerjisi kullanılması ve metallerde ergimenin olmaması birleştirmelerin mekanik özellikleri üzerinde olumlu yönde etkisi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Sürtünme kaynağı, Yeni kaynak teknolojileri

GİRİŞ

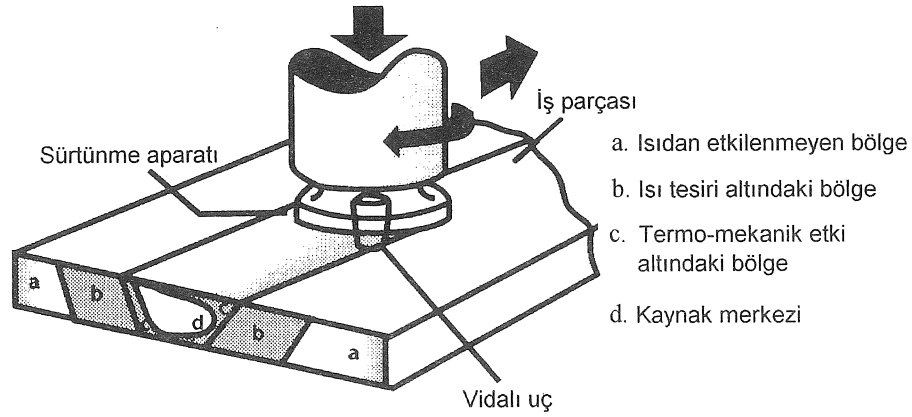
Günümüzde ülkeler malzeme bilimi ve malzeme işleme teknolojisi üzerinde oldukça büyük araştırmalar yapmakta ve bu alanda kullanılmak üzere kaynak yaratmaktadırlar [1,2,3]. Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) bu araştırmalar sonucunda geliştirilmiş, Amerika ve bazı Avrupa ülkelerinde henüz kullanılmaya başlanılmış olan ileri bir kaynaklı imalat yöntemidir [1]. Söz konusu yöntem, geleneksel ergitme kaynağına alternatif olarak geliştirilmiş oldukça ekonomik katı hal kaynak yöntemidir. Bu yöntemde koruyucu gaz, ilave kaynak metali ve kaynak edilecek parçalarda kaynak ağız hazırlamaya gerek duyulmamaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan kaynaklarda elde edilen kaynak kalitesi tekrarlanabilir niteliktedir [4,5]. Kaynak işlemi esnasında kaynağı yapan personeli olumsuz etkileyecek zararlı gazlar ve ışınlar oluşması gibi bir risk söz konusu değildir. Yöntemin en önemli uygulama alanı alüminyum ve alüminyum

alaşımının kaynaklı birleştirilmesi uygulamalarıdır [6]. Bilindiği üzere alüminyum alaşımlarının oldukça hafif olmasına karşılık, mukavemet özelliklerinin oldukça yüksek olması nedeniyle bu malzemeler günümüzde savunma sanayii, otomotiv, demiryolu vagonları imalatı, uçak sanayii ve makine imalat sanayisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımlarda karşılaşılan en önemli problem, alaşımların kaynaklı birleştirmelerinden karşılaşılan sorunlardır [7,8]. Bu malzemelerin geleneksel kaynak yöntemleriyle kaynaklı birleştirilmeleri oldukça zor olmakla beraber elde edilen mekaniksel özellikler istenilen değerlerden uzaktır [9]. Sıvı hal kaynak yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının kaynağında yüksek miktarda çatlak ve gözenek (porozite) oluşumu söz konusudur. Alüminyum alaşımlarında meydana gelen çatlak oluşumunun nedeni, bu alaşımların katılaşma sıcaklık aralıklarının geniş olması ve ısıl genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır [10]. Bir katı hal kaynağı olan sürtünme karıştırma kaynağında ise kaynak bölgesi ergime

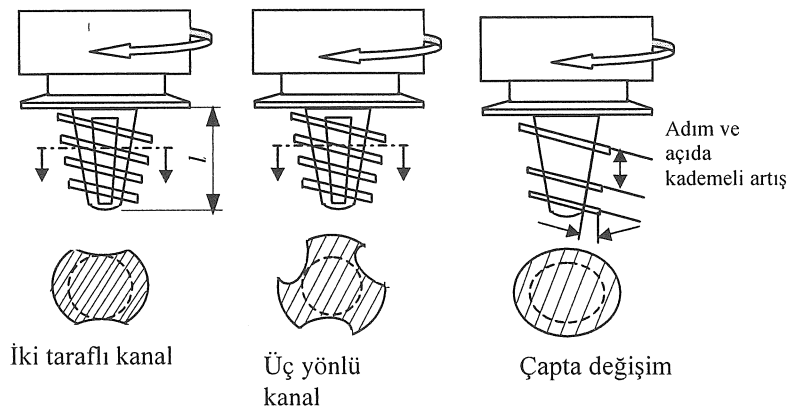
sıcaklıklarına kadar ısıtılmadığından bu olumsuzluklar önemli ölçüde giderilebilmektedir. Şekil 1. de sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin uygulanış şekli şematik olarak verilmiştir. Şekil 2. de ise sürtünme ve karıştırma kaynak işleminde kullanılmakta olan sürtünme aparatlarının değişik tasarımları verilmiştir [1]. Sürtünme aparatlarının kaynak işlemi esnasında metal içerisinde kalan uç kısımları daha iyi bir karıştırma işlemi sağlayacak tarzda şekillendirilmektedirler. Aparatın kaynak esnasında metal içerisinde kalan uç kısmının l boyu (Şekil 2), tek taraflı alın birleştirme uygulamalarında yaklaşık olarak kaynak edilen levhaların kalınlıkları kadar alınmaktadır. İki taraflı yapılan alın birleştirmelerde ise aparatın metal malzeme içerisinde kalan uç kısmı malzeme kalınlığının yarısı kadardır [1].

Şekil 1 den de görüldüğü gibi SKK yöntemi geleneksel bir freze tezgahında uygulanabilecek

niteliktedir. Bu çalışmada yukarıda detayları açıklandığı gibi alüminyum alaşımı levhalar, geleneksel bir freze tezgahında, SKK yöntemi ile kaynak edilerek mekanik özellikleri incelenmiştir. SKK ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini araştırmak amacıyla, Brinell sertlik testi, çekme testi ve Charpy darbe deney testleri kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi, birim zamanda elde edilebilecek kaynak dikiş miktarı (verim), maliyet açısından geleneksel MIG yöntemi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Burada yapılan kıyaslamada amaç: imalat sanayinde yaygın olarak kullanılan MIG kaynak yönteminin yerine SKK yönteminin kullanılmasını önermek değil, metal esaslı bir çok malzemeye uygulanabilen ancak çoğunlukla Alüminyum alaşımlarının kaynağında oldukça üstün mekaniksel özellikler sağlayan SKK nın sağlamış olduğu avantajları belirlemektir.



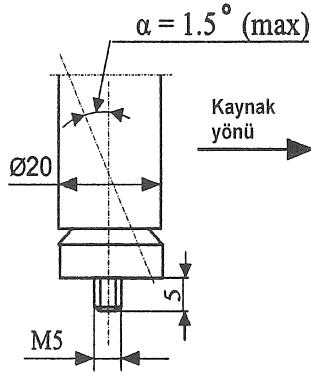
Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağı ve kaynak mikro yapısı [4].



Şekil 2. Kaynak işlemlerinde kullanılan sürtünme karıştırma aparatları [2]

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada ticari TS-EN AW-2014 (AlCu₄SiMg) alüminyum alaşımı levhalar kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynakları yarı otomatik bir freze yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan aparat HSS malzemeden Şekil 3 de verilen boyutlarda imal edilerek kullanılmıştır. sürtünme aparatı freze miline düşey yönde monte edilerek, sürtünme karıştırma kaynağı alüminyum alaşımı levhalara uygulanmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilecek olan alüminyum alaşımı malzemelerden imal edilen iş parçaları, kaynak işlemi öncesinde 200x125x10mm boyutlarında hazırlanmıştır. SKK ile alın kaynağı formunda birleştirilecek olan alüminyum levhalar tezgah tablasına, kaynaklanacak kenarları temas edecek tarzda bağlama aparatları yardımı ile bağlanmıştır. Levhalar önce levha kalınlığının yarısı kadar kaynak derinliğinde SKK ile kaynak edilmiş, daha sonra tezgah tablasındaki levhalar sökülüp ters çevrilerle levha kalınlığının diğer yarısı kaynaklanmıştır. Böylece levhalar X formunda her iki taraftan SKK yöntemi ile alından birleştirilmiştir. Alüminyum alaşımı malzemelerden hazırlanan iş parçalarına SKK işlemi öncesinde herhangi bir oksit giderme işlemi yapılmamış, levhalara kaynak ağzı açılmamıştır.



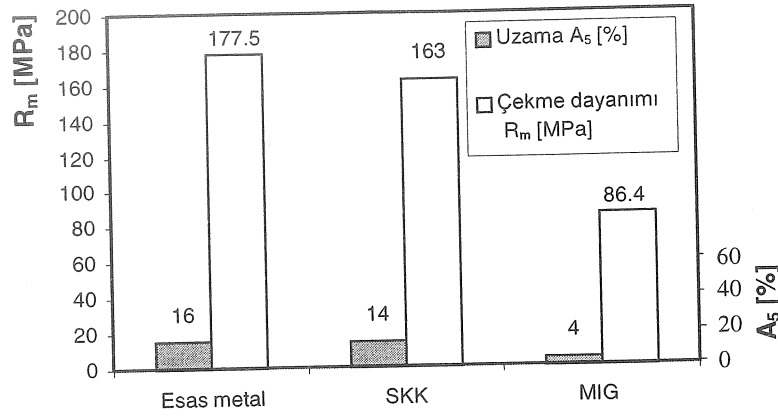
Şekil 3. Alüminyum levhaların alın birleştirme kaynağında kullanılan, sürtünme ve karıştırma kaynağı aparatı boyutları

Çalışmalar sırasında tezgahın devir sayısı 650 dev/dak ya ayarlanmıştır. İlk kaynağa başlama manuel olarak yapılmıştır. Kaynak bölgesinde sürtünme ile istenilen sıcaklık seviyesine ulaşıldıktan sonra tezgah otomatik olarak ilerleme durumuna

getirilerek kaynaklar tamamlanmıştır. SKK gerçekleştirilmesinde kullanılan ilerleme hızı 450 mm/dak olarak seçilmiştir. Yapılan kaynaklar görüntü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden değerlendirildiğinde geleneksel MIG kaynaklarına nazaran oldukça üstün oldukları görülmüştür. Kaynakla birleştirilen levhalardan Ts – EN 10045-1 de tanımlanan tarzda alınan numunelere, Charpy darbe testi ve Ts – EN 485-2 de tanımlanan tarzda alınan numunelere çekme testleri uygulanmıştır. Kaynaklı birleştirilen parçaların mikro yapılarını değerlendirmek amacıyla, Brinell sertlik değerleri kaynak yüzeyinde ve kaynak kesitinde kaynak dikiş yönüne dik bir hat boyunca ölçülerek grafiklerde verilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çekme testi esas metal, SKK ve MIG kaynak yöntemleri ile birleştirilen alüminyum levhalarından alınan deney numunelerine uygulanmıştır. SKK ile birleştirilen levhalardan alınan deney numunelerinde çekme dayanımı esas metalin çekme dayanımına yakın değerde çıkmıştır (Şekil 4). Yapılan çekme testi sonuçları SKK ile birleştirilen numunelerde çekme dayanımının, MIG ile birleştirilenlere nazaran %50 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çekme deneyinde esas metal, SKK ve MIG ile birleştirilen numunelerin % uzama değerleri Şekil 4 de görüldüğü gibi sırası ile %16, %14 ve %4 olarak ölçülmüştür. Şekilden açıkça görüldüğü gibi, sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen levhalardan alınan numuneler ile esas metalin % uzama değerleri birbirine yakın değerlerde çıkarken, MIG kaynağında ölçülen % uzama değeri esas metalin %25'i seviyesinde kalmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde: katı bir birleştirme yöntemi olması nedeniyle SKK da kaynak bölgesindeki yapı esas metalin yapısına yakın özellikte olduğu anlaşılmaktadır. MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunede ise kaynak bölgesi gözenekli bir yapı niteliğindedir. MIG kaynağı ile birleştirilen Alüminyum alaşımlarının kaynak bölgesindeki yapılarının gözenekli ve mekanik özelliklerinin düşük olması nedeniyle: statik veya dinamik yükleri taşımak durumunda olan birleştirmelerde kullanımı sınırlıdır [8]. Bu gibi durumlarda kaynaklı birleştirmeler yerine perçinli veya civatalı birleştirmeler tercih edilmekte idi [10]. Henüz geliştirilmesi amacıyla üzerinde araştırmaların yapılmakta olduğu SKK yönteminde, deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, statik veya dinamik yük taşıyan alüminyum alaşımı malzemelerin birleştirmelerde SKK'nın oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir [5,6].

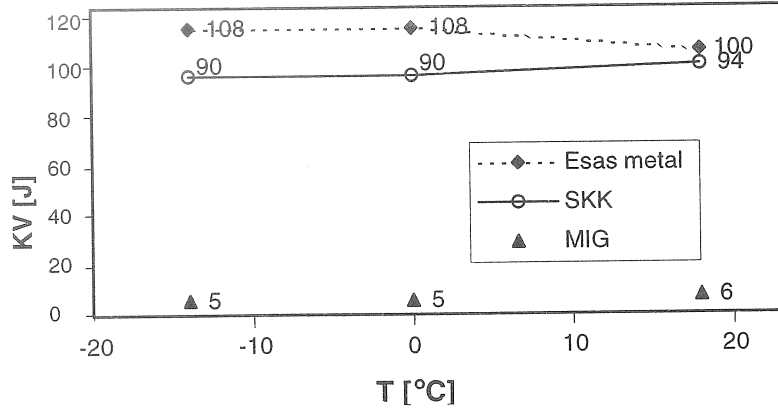


Şekil 4. Esas metal, SKK ve MIG ile birleştirilen levhalardan numunelerin çekme deneyi sonuçları (SKK: Sürtünme ve karıştırma kaynağı, MIG: metal inert gaz – metal gaz kaynağı, esas metal: (AlCu₄SiMg) alüminyum alaşımı).

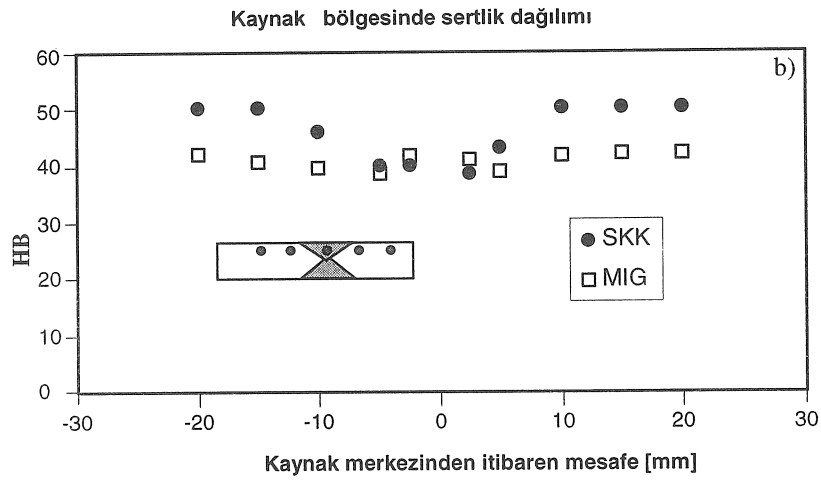
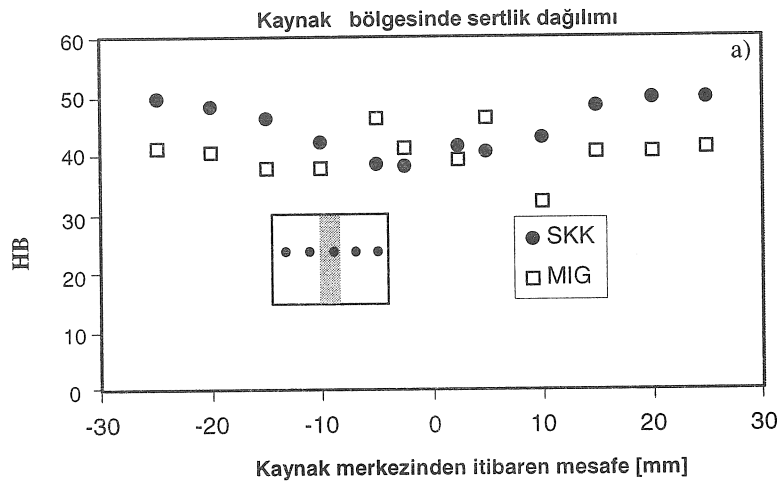
Yapılan kaynaklı birleştirmelerin darbe direncini belirlemek amacıyla, esas metale ve birleştirmelerden alınan numunelere, Charpy çentikli darbe deneyi uygulanmıştır. Darbe deneyi sonuçları Şekil 5 de verilmiştir. Deneyler oda sıcaklığı çevre şartlarında ve farklı sıcaklıktaki (-16 ile 20 °C arasındaki sıcaklıklarda) numunelere uygulanmıştır. SKK ile birleştirilen levhadan alınan numunelerde darbe direnci değeri esas metalden sadece %6 daha az çıkmıştır. SKK deney numunelerinin darbe dirençleri, şekilden de görüldüğü gibi MIG deney numunelerinden 16 kat da fazla olduğu test edilmiştir. SKK yönteminde kaynak bölgesindeki metalin karıştırılarak katılaşması nedeniyle, kaynak bölgesindeki metal yapısı esas metale yakın bir yapı vermektedir. MIG ile birleştirilen numunelerde ise kaynak bölgesi daha kaba bir yapı niteliğindedir. Bu nedenle SKK numunelerinde darbe direnci değerleri MIG ile birleştirilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır.

Kaynak bölgesine ait sertlik profillerini değerlendirmek amacıyla Brinell sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinden elde edilen değerler Şekil 6 da verilmiştir. Esas metalin Brinell sertlik değeri 50 HB olarak ölçülmüştür. SKK ve MIG kaynak bölgelerinin her ikisinde de minimum sertlik değeri 40 HB olarak ölçülmüştür. Şekil 6.a' da kaynak yüzeyinde, kaynak dikişlerine dik yönde ölçülen sertlik profilleri, Şekil 6.b' de ise kaynak kesitindeki sertlik profilleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi sürtünme karıştırma kaynağındaki sertlik düşüşünün meydana geldiği bölgenin boyutları, MIG kaynak yönteminde ölçülen sertlik düşüş bölgesi boyutlarından daha küçüktür. Bu durum SKK ile yapılan kaynak işleminde kaynak sıcaklığının MIG'e göre daha az olması ile açıklanabilir. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen alüminyum levhalarında kaynak sıcaklığı 480 °C civarındadır. Bu sıcaklık değeri alüminyum

alaşımının ergime sıcaklığının altındadır. Bu nedenle SKK ile yapılan kaynak işleminde ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) MIG'e nazaran daha küçük olduğu, Şekil 6 da verilen sertlik ölçümü dağılımlarından anlaşılmaktadır. ITAB bölgesinin, kaynak ilerleme yönüne dik kesitteki boyutuna ait sınırları, SKK da kullanılmış olan sürtünme aparatı çapına bağlıdır. Şekil 6 incelendiğinde ITAB ın kaynak dikişine dik yöndeki kesit boyutunun kaynak merkezinden itibaren ± 20 mm (toplam 40mm) olduğu görülmektedir. MIG kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmelerde ise söz konusu ITAB uzunluğu ± 80 mm (toplam 160mm) olarak ölçülmüştür. ITAB bölgesinin büyüklüğü kaynak bölgesindeki yapı dönüşümlerinin meydana geldiği bölgeyi belirlemektedir. Bu yapı dönüşümleri ise malzemenin mekanik özelliklerini çoğunlukla olumsuz yönde etkilemektedir [5,6]. SKK da kullanılan sürtünme aparatının anma çapının küçültülmesi, bu yöntemde ITAB nin boyutunu düşürecekler. Bu nedenle sürtünme aparatı boyutunun iyi seçilmesi elde edilecek mekanik özellikleri daha da geliştirebilecektir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmaların bir kısmı da sürtünme aparatının boyutları ve geometrisi üzerinedir. SKK kaynak yönteminin uygulanış tarzı anlatılırken belirtildiği gibi, bu yöntemle birleştirilecek levha kalınlığı değiştikçe, sürtünme aparatı boyutu da değişmektedir. Tek taraflı alın kaynaklarında aparatın malzeme içerisinde kalan uç kısmın uzunluğu (h), kaynak edilecek levhaların kalınlığına yakındır ($h^{0.2}$). Çift taraflı alın kaynaklarında ise uç kısmın uzunluğu (h), malzeme kalınlığının (t) yaklaşık yarısı kadar alınmaktadır [7]. Malzeme kalınlığına göre aparatın h değerinin değişmesi gerekmektedir. Sürtünme aparatı üzerinde yapılan çalışmalarda uç kısmının h değerinin aynı aparat üzerinde uç profilinin içeri ve dışarı doğru hareketi ile sağlayan takımlar geliştirilmektedir [8].



Şekil 5. Esas metal, SKK ve MIG kaynak yöntemleri ile birleştirilen alüminyum levhalardan alınan numunelerin dart dayanımı testi sonuçları (SKK: Sürtünme ve karıştırma kaynağı, MIG: metal inert gaz – metal gaz kaynağı, esas metal: $AlCu_4SiMg$ alüminyum alaşımı).



Şekil 6. Sürtünme karıştırma kaynağı ve MIG kaynağı sertlik profilleri (SKK: sürtünme karıştırma kaynağı, MIG: metal aktif gaz kaynağı)

MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED ALUMINIUM ALLOY PLATES

In this article mechanical properties of joints of TS-EN AW-2014 (AlCu₄SiMg) Aluminium alloy plates which are welded with a recently developed solid state welding technique, friction stir welding (FSW) are investigated. Joining applications of aluminium plates were performed on a standard semi-automatic conventional milling machine. Tensile, Charpy impact and Brinell hardness tests were used to investigate the mechanical properties of FSW welded joints of aluminium alloy plates. The ultimate tensile strength (UTS) of FSW welded specimens were measured as close as base metal. The UTS of specimens which were joined with conventional MIG welding processes are measured as 50% less than FSW. The results of tensile tests show that the elongation value of FSW joints is close to base metal. The measured impact toughness of FSW joints is about 90J. and 6J for MIG welded specimens. Hardness decrease for FSW in welding zone is smaller than MIG weld. The results of experimental studies show that low heat input and absence of melting results in better mechanical properties for FSW joints

Keywords: Friction stir welding, Friction welding, New welding technologies

SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapılan mekanik testler sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinin esas metalin mekanik özelliklerine yakın olduğunu göstermektedir.
- SKK yöntemi takım tezgahı teknolojisi ile yarı ve tam otomatik olarak uygulanabilir.
- Kaynak dikişlerinin yüzey kalitesi, kaba talaş kaldırılarak elde edilen yüzey kalitesindedir.
- SKK yönteminin uygulanmasında koruyucu gaz ve ilave kaynak metalinin kullanımı gerekmemektedir.
- SKK yönteminde operatör için, geleneksel ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi sıçrıntı, zararlı gazlar ve ışınlamalar gibi sağlığı olumsuz etkileyecek riskler söz konusu değildir.
- Sürtünme karıştırma kaynağında ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), geleneksel yöntemle

nazaran daha küçüktür. ITAB bölgesi sürtünme aparatının uygun geometrik boyutlandırılması ile küçültülebilmektedir.

- Sertlik ölçümleri kaynak merkezinde kaynak bölgesi sertliğinin esas metalden düşük düzeyde olduğunu göstermektedir.
- Sürtünme ve karıştırma kaynağında karşılaşılan sorunlar ise; kaynağın başladığı yer ile kaynağın bitirildiği kısımlarda (sürtünme aparatının kaynağa giriş ve çıkış kısımları) boşluk olmasıdır.
- Sürtünme karıştırma kaynağında, kaynak edilecek parçaların tezgah tablasına rijid bir şekilde bağlanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. [Kulekci, M.K., Mechanical Properties of Friction Stir Welded Joints of AlCu₄SiMg, *Kovove Materialy – Metallic Materials*, 41(2003) 2, 97-105.
2. Uygur, İ, ve Kulekci M.K., Low Fatigue Properties of 2124/SiC_p Al-Alloy Composites, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 26 (2002) 3, 265-274.
3. Kulekci, M.K., Processes and Apparatus Developments in Industrial Waterjet Cutting Applications, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2002)12, 1297-1306.
4. ÇAM, G., Al-Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri, Kaynak Teknolojileri III. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, İstanbul, 267-277, 2001.
5. Tomas, W.M., Threadgil, P.L and Nicholas, E.D, The Feasibility of Friction Stir Welding Steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, 4 (1999), 365-772.
6. Sohoni, T and Kondoh, Y, Friction Stir Welding of Aluminium Plate, *Journal of the JFWA*, 2 (1995),124-127.
7. Thomas, W.M. and Andrews, R.E, High Performance Tools For Friction Stir Welding, *International Patent Application*, WO 99/52669.
8. Andrews, R.E and Mitchel, J.S, Underwater Repair by Friction Stir Welding, *Metals and Materials*, 27 (1990),796-797.
9. Searle, J, Friction Welding Non-circular Components Using Orbital Motion, *Welding & Metal Fabrication*, 39 (1971), 294-297.
10. MAHONEY, M.W, "Science Friction", *Welding & Joining*, January / February (1997), pp.7-12.3