

Farklı Akım Şiddetleri Kullanılarak Soğuk Metal Transferi (CMT) ile Birleştirilmiş 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

¹Erman Ferik *²Özgür Yılmaz ³Faruk Varol ⁴Salim Aslanlar
¹Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
²Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
³Karasu Meslek Yüksek Okulu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
⁴Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, 1,5 mm kalınlığa sahip 5754 serisi alüminyum saclar, alüminyum esaslı (AlMg4,5Mn) teli ile soğuk metal transfer (CMT) yöntemiyle birleştirilmiştir. Numuneler, alın birleştirme formunda hazırlanmış ve birleştirme işlemleri 50, 60, 70, 80 ve 90 A kaynak akım şiddetinde yapılmıştır. CMT işlemlerini gerçekleştirdikten sonra; 5754 serisi alüminyum sacların CMT tekniği ile birleştirilebilirliğini görmek için birleştirmelerin çekme özellikleri tespit edilmiş, mikro sertlik değerleri ölçülmüş ve birleştirmelerin mikro ve makro yapıları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: CMT, Al 5754, Çekme mukavemeti

Investigation of Mechanical Properties of 5754 Aluminum Alloy Sheets Joined by Cold Metal Transfer (CMT) Using Different Current Intensity

¹Erman Ferik *²Özgür Yılmaz ³Faruk Varol ⁴Salim Aslanlar
¹Metallurgical and Materials Engineering, Marmara University, Istanbul, Turkey
²Graduate Education Institute, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey
³Karasu Vocational School, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey
⁴Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey

Abstract

In this study, 5754 series aluminum sheets with 1.5 mm thickness were combined with aluminum-based (AlMg4,5Mn) wire by cold metal transfer (CMT) method. The samples were prepared in the form of butt jointing and the joining processes were carried out at 50, 60, 70, 80 and 90 A welding currents. Having accomplished the CMT operations; tensile properties of joints were detected, micro-hardness values were measured and micro and macro-structures of joints were investigated in order to see the joinability of 5754 series aluminum sheets by CMT technique.

Key words: CMT, Al 5754, Tensile strength

1. Giriş

Son yıllarda artan çevre koruma ve yakıt tasarrufu baskıları ile otomobillerin hafifletilmesi bu sorunları hafifletmenin en etkili yollarından biri haline gelmiştir [1, 2]. Alüminyum alaşımları, yüksek mukavemetleri, düşük yoğunlukları, orta düzeyde korozyon direnci ve iyi şekillendirilebilirlik kabiliyeti nedeniyle otomotiv imalatında geniş bir uygulama alanına sahiptir [3-5]. 5xxx serisi alüminyum (Al) alaşımı olan 5754, çok iyi kaynak kabiliyeti, mükemmel korozyon direnci, soğuk şekillendirme kabiliyeti gibi birçok özelliği bir arada barındıran bir alaşım olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır; bununla birlikte, bu alaşımın en büyük dezavantajı, nispeten düşük akma mukavemetidir. [6-8]. Alüminyum alaşımlarının yüksek termal iletkenliği, yüksek termal genleşme katsayısı yüksek katılaşma oranı ve geniş katılaşma sıcaklık aralığı, alüminyum alaşımlarının kaynak işleminde gözenekler, termal çatlaklar ve yumuşama gibi bir dizi kaynak problemi meydana getirme eğilimindedir. Bu sorunları çözmek için son yıllarda alüminyum alaşımlarının kaynağı için sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) ve soğuk metal transferi (CMT) gibi bir dizi yeni kaynak yöntemi geliştirilmiştir [9-11].

Soğuk metal transferi (CMT) birleştirme yöntemi, 2005 yılında Fronius tarafından geliştirilen ve daha az ısı girdisi sağlayan MIG tekniğinin yükseltilmiş bir versiyonudur. CMT işlemi, çok az sıçrama ve gözeneklilik oluşumu, daha iyi ark stabilitesi ve erimiş metalin kontrollü aktarımını sağlayan galvanizli ince çelik sacların ve farklı metal ve alaşımların kaynağı için kullanılan bir birleştirme teknolojisidir [12-15].

Bu çalışmada basınçlı kaplar, hidrolik uygulamaları, gemi inşa ekipmanları ve otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum çeşitlerinden 5XXX serisi alüminyum alaşımı olan 5754-5754 alüminyum levhaların CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan CMT yönteminde 5XXX alüminyum levhaların farklı akım şiddetlerinde birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca makroyapı, mikroyapı, mikrosertlik ve SEM incelemeleri de yapılmıştır.

2. Malzemeler ve Metot

CMT yöntemi ile birleştirilen 5754-5754 alüminyum alaşımı levhaların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1. ve Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. 5754 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).

| | Si | Fe | Mn | Mg | Cu | Cr | Ni | Zn | Ti | Al |
|------|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|-------|--------|------|
| 5754 | 0.114 | 0.327 | 0.241 | 2.76 | 0.0075 | 0.0075 | 0.0018 | 0.001 | 0.0056 | 96.4 |

Tablo 2. 5754 alüminyum sacın mekanik özellikleri.

| | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Akma Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (%) | Sertlik (HV) |
|------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|--------------|
| 5754 | 220 | 127 | 20 | 67 |

2.1. CMT işlemi

CMT işlemi Fronius A-4600 CMT kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma hassasiyetinden ötürü bir kaynak robotu kullanılmıştır. Birleştirmeler alın altına şeklinde uygulanmıştır. Numunelerde oluşabilecek çarpılma olayını azaltmak için vidalı kalıp sistemi yapılmış, numuneler bu kalıba bağlanarak CMT işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda kaynak ilerleme hızının sabit olması için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak uygulamaları, farklı akım şiddetleri olmak üzere uygulanmıştır. 5754-5754 alüminyum numunelerine 1,2 mm çapındaki AlMg4,5Mn alaşımli MIG kaynak teliyle CMT işlemi uygulanmıştır. Çalışmada %100 argon koruyucu gaz kullanılmıştır. Kaynak akım şiddeti 50, 60, 70, 80 ve 90 amper, kaynak süresi 40 cm/dk tutulmuştur, soğuk metal transferi ark torç açısı 20^0 olarak ayarlanmıştır, çalışmada saf Argon koruyucu gazı kullanılmıştır. Çalışma sırasında kaynak süresi, torç açısı sabit tutularak 12 litre/dakika gaz basıncında kaynak işlemi yapılmıştır.

AlMg4,5Mn alüminyum magnezyum manganlı MIG kaynak telidir. Deniz suyu korozyonuna karşı direnci yüksektir. Düşük sıcaklıklarda çalışan (-196 derece) yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır.

AlMg4,5Mn, MIG kaynak teli TS 6204 EN ISO 18273 normuna göre S Al 5183 olarak kodlanmıştır. Telin mekanik özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

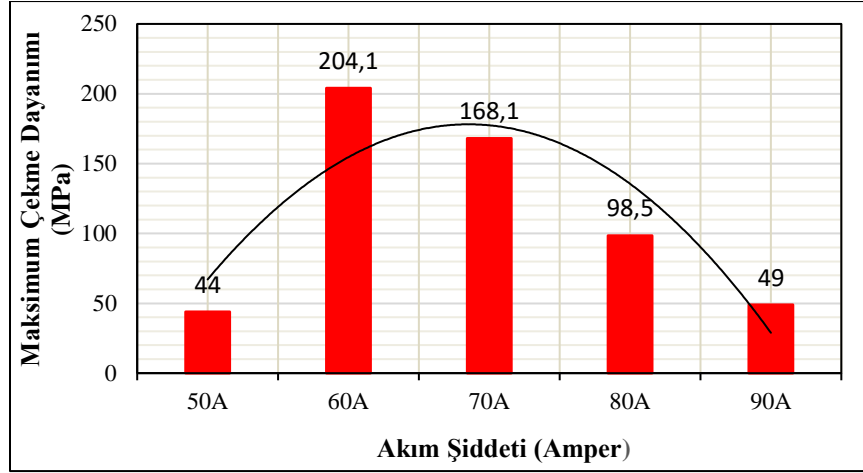
Tablo 3. AlMg4,5Mn telinin mekanik özellikleri

| | Akma Dayanımı (N/mm ²) | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (%) |
|-----------|--|---|--------------|
| AlMg4.5Mn | >120 | >250 | >16 |

3. Sonuçlar

3.1. Çekme deneyi sonuçları

Bu çalışmada EN895 standartlarında çekme numuneleri hazırlanmıştır, “kaynak akım şiddeti” ve “çekme dayanımları” iki önemli parametre değerlendirmeye alınmıştır. İki parametre arasındaki ilişki Şekil 1.’de verilmiştir.



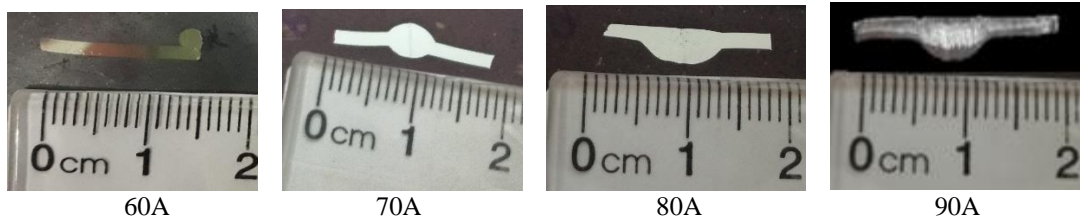
Şekil 1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 1’de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 50 amperde kaynak mukavemeti en düşük gözlenmiş, 60 amperde ise en yüksek çekme mukavemeti gözlemlenmiştir. 60 amperden itibaren çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve numunelerin hepsinin ITAB bölgesinden koptukları gözlenmiştir.

Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 60 amper olarak görülebilmektedir. 60 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 70, 80 ve 90 amperlerde düşmüştür.

3.2. Makroyapı değişimleri

Alüminyum 5754-5754 1.5 mm kalınlığındaki levhalarla yapılan soğuk metal transferi işleminde makroyapı incelemeleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir.

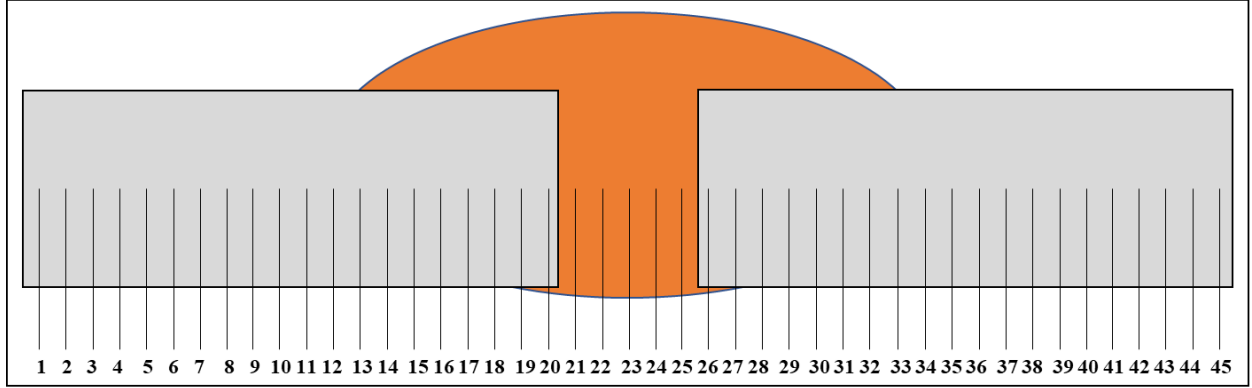


Şekil 2. Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler

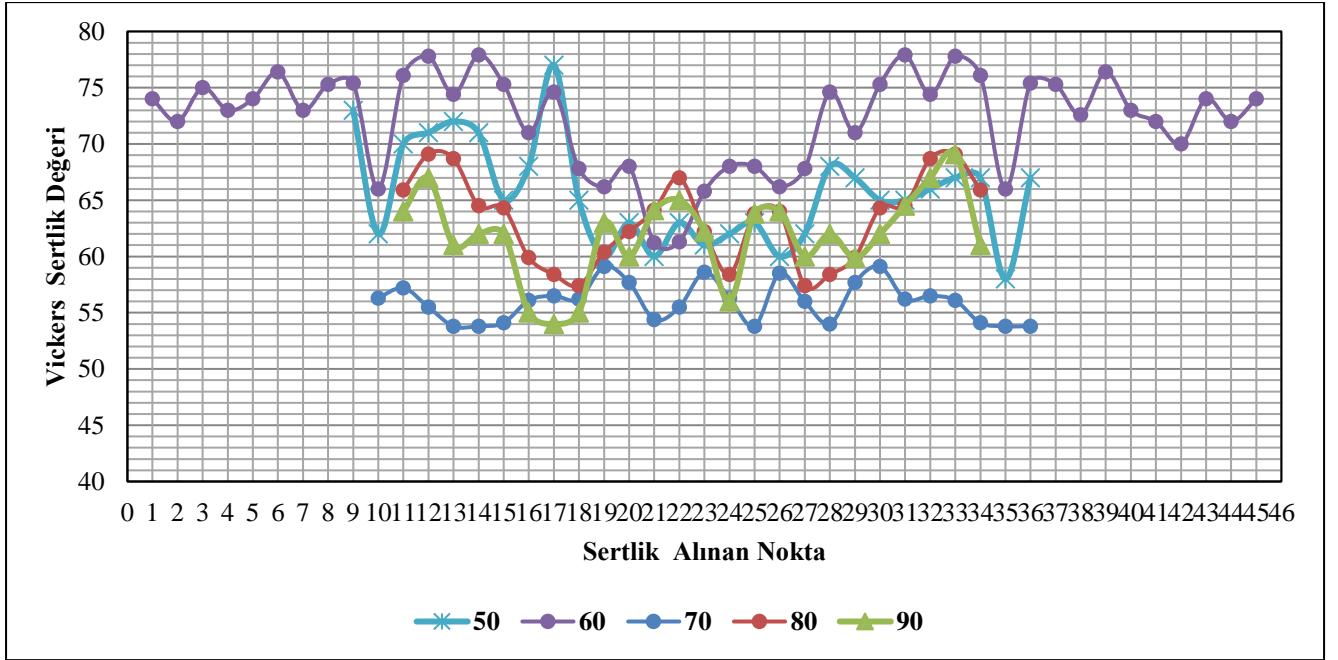
Şekil 2.’de görüldüğü gibi numunelerin tüm kaynak akım şiddeti değerlerinde 60 amper haricinde kaynak ıslatmasının iyi olduğu görülmüştür. 70 amper kaynak akım şiddeti değerinden sonra 80-90 amper kaynak akım şiddetinde oluşan fazla ıslatma sebebiyle kaynak kep yüksekliği azalmış, kaynak kök yüksekliği artmıştır.

3.3. Mikrosertlik

Sertlik ölçümleri, Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmıştır, 100gr yük ve piramit batıcı uç kullanılmıştır. Sertlik değerleri ana malzemeden kaynak bölgesine yönüne alınmıştır. Sertlik Kaynak metal, ITAB ve ana metal bölgelerinden alınan sertlik değerleri alınan noktalar Şekil 3.'de gösterilmiş ve Şekil 4.'de diyagram halinde verilmiştir.



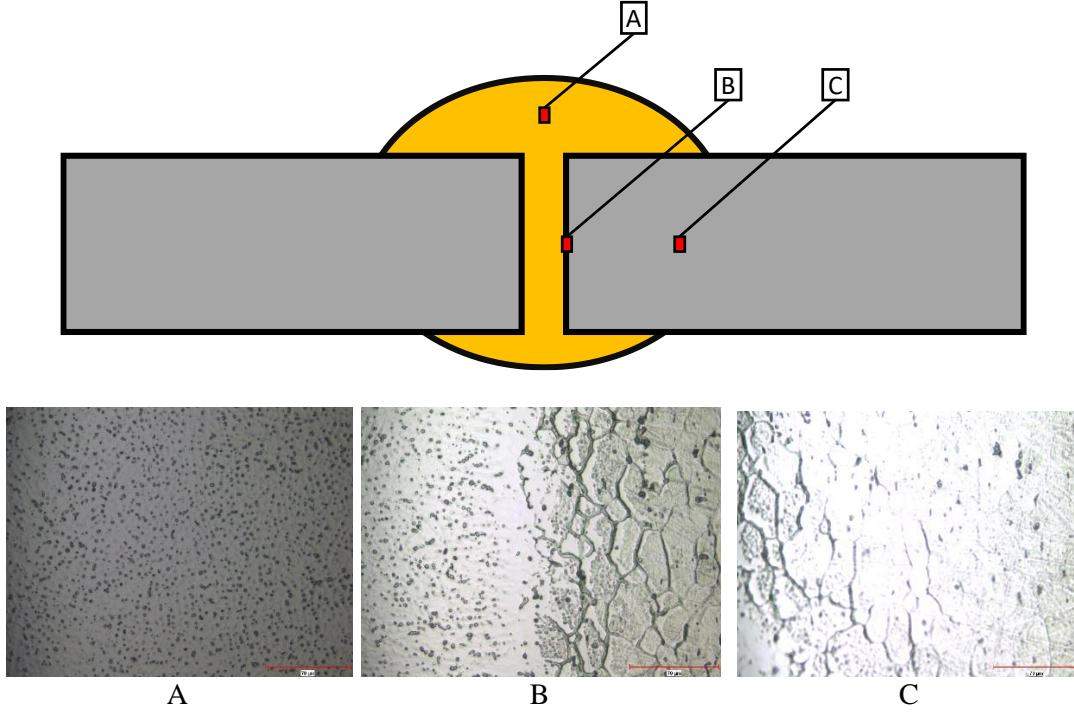
Şekil 3. Sertlik değerleri alınan noktalar



Şekil 4. Farklı akım şiddetlerindeki mikro sertlik değerleri grafiği

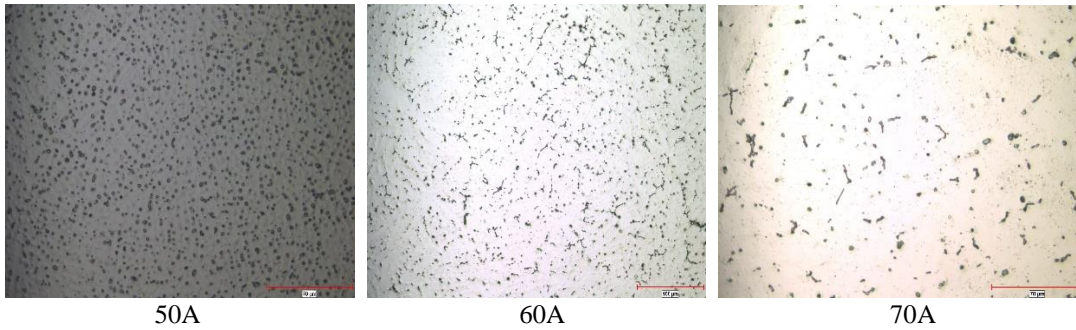
Bütün akım şiddetlerinde en düşük sertlik değeri kaynak bölgesinde ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 60A'lık akım şiddetinde elde edilen numunenin kaynak bölgesinde olduğu görülmüştür.

3.4. Mikroyapı değişimleri

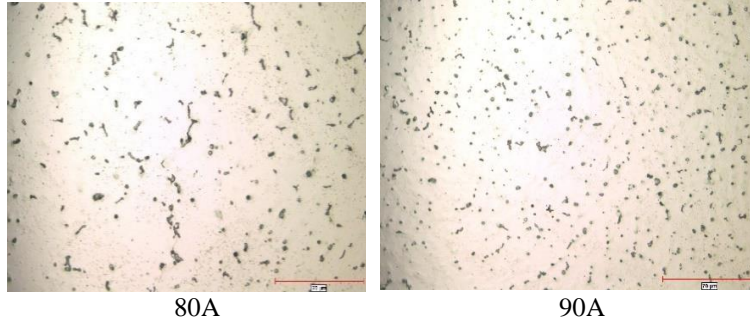


Şekil 5. 60A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri

Şekil 5.'de 60A'lık akım şiddeti ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A bölgesi kaynak bölgesi, B bölgesi ara bölge C bölgesi ise ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) görüntüsünü vermektedir. Mikroyapı görüntülerinden de anlaşılacağı üzere kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgenin komşu bölgelerinde taneler daha büyük ve ana malzemeye gidildikçe tane boyutu küçülmüştür.



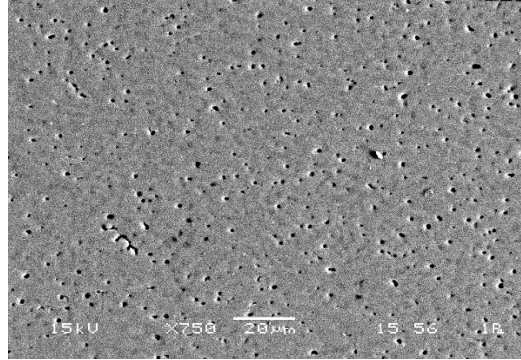
Şekil 6. Farklı akım şiddetinde kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri.



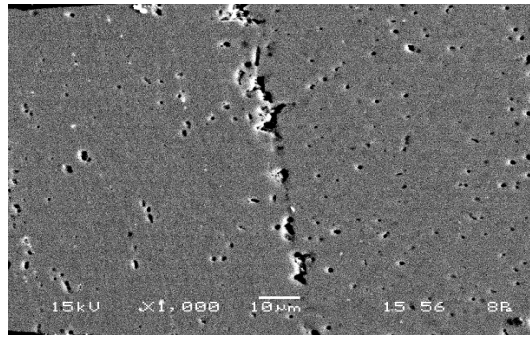
Şekil 6. (Devamı).

Şekil 6.'da görüldüğü gibi farklı kaynak akım şiddeti değerlerinde, kaynak bölgesi mikroyapıları farklı olmaktadır. 5754 alüminyum alaşımında alüminyumun tane sınırlarında çökelmiş Mg ve Si elementlerinin (genellikle Mg_2Si) olduğu düşünülmektedir. Artan kaynak akım şiddeti ve artan ısı girdisi ile beraber kaynak mikroyapısının da akım şiddetlerine göre farklılaştığı görülmektedir.

Şekil 7. ve Şekil 8.'de 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge ve kaynak bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Dentrit oluşumları ana malzeme elementlerinin kaynak bölgesine doğru atomsal yayılım yolu ile oluştuğu görülmektedir.

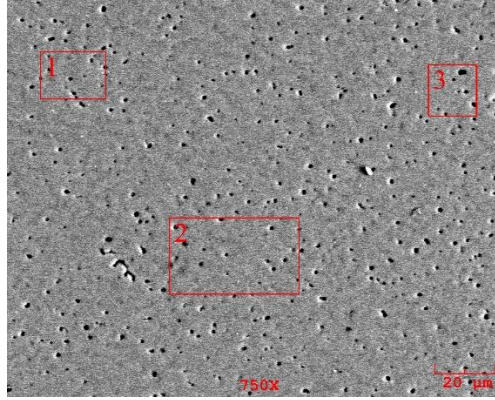


Şekil 7. 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi SEM görüntüsü



Şekil 8. 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge SEM görüntüsü

60A akım şiddeti ile birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesinde oluşan dentritin EDS analizi Şekil 9.'da verilmiştir.



| Alınan bölge | Mg | Si | Mn | Cu | Al |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 4.179 | 0.018 | 0.658 | 0.486 | 94.659 |
| 2 | 4.065 | - | 1.016 | 1.907 | 93.012 |
| 3 | 4.288 | - | 0.721 | 1.690 | 93.301 |

Şekil 9. 60A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi

4. Sonuçlar

Soğuk metal transferi yöntemiyle Alüminyum 5754-5754 levhaların, AlMg4.5Mn teliyle alın alına birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Düşük ısı girdisi nedeniyle, ana metalde az miktarda erime görülmüştür. Farklı akım şiddetlerinde, çekme mukavemeti, sertlik ve makro yapı incelemesi yapılmıştır. Çekme mukavemetlerinde akım şiddeti arttıkça çekme mukavemetinin yükseldiği belirli bir akım şiddetinden sonra düştüğü gözlenmiştir. Akım şiddetiyle makro yapıda değişiklikler görülmüştür. Sertlik değerlerinin, akım şiddeti arttıkça bazı parçalarda ana metalden kaynak bölgesine doğru düştüğü görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Rajeshkumar R, Niranjani VL, Devakumaran K, Banerjee K. Structure-property correlation of weld metal zone and interface regions of cold metal transfer welded dissimilar Al-Mg-Mn alloys joint. *Materials Today: Proceedings* 2021;46:2498–2509.
- [2] Yang S, Zhang J, Lian J, Lei Y. Welding of aluminum alloy to zinc coated steel by cold metal transfer. *Mater Des* 2013;49:602-612.
- [3] Wang QT, Wang XN, Chen XM, Huan PC, Dong QP, Zhang QY, Nagaumi H. Interactive effects of porosity and microstructure on strength of 6063 aluminum alloy CMT MIX + Synchronpulse welded joint. *Trans Nonferrous Met Soc China* 2022;32 801–811.
- [4] Xu W F, Ma J, Wang M, Lu HJ, Luo YX. Effect of cooling conditions on corrosion resistance of friction stir welded 2219-T62 aluminum alloy thick plate joint. *Trans Nonferrous Met Soc*

- China 2020;30(6):1491-1499.
- [5] Çam G, Koçak M. Microstructural and mechanical characterization of electron beam welded Al-alloy 7020. *J Mater Sci J* 2007;42(17):7154–7161.
 - [6] Merklein M, Allwood JM, Behrens BA, Brosius A, Hagenah H, Kuzman K, et al. Bulk forming of sheet metal. *CIRP Ann Manuf Technol* 2012;61:725–45.
 - [7] Taktak W, Taktak R, Haddar N, Elleuch R. Study of the influence of cold working on mechanical behavior and ductile fracture of 5754 aluminum alloy: experimental and numerical simulations. *J Theor Appl Mech* 2017:923.
 - [8] Ezequiel M, Figueroa IA, Elizalde S, Cabrera JM, Braham C, Morin L, Gonzalez G. Numerical and experimental study of a 5754-aluminum alloy processed by heterogeneous repetitive corrugation and straightening. *J Mater Res Technol* 2020;9(2):1941–1947.
 - [9] Pakdil M, Çam G, Koçak M, Erim S. Microstructural and mechanical characterization of laser beam welded AA6056 Al-alloy. *Mater Sci Eng A* 2011;528: 7350–7356.
 - [10] Kashaev N, Ventzke V, Çam G. Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications. *J Manuf Process* 2018;36:571-600.
 - [11] Tian YB, Shen JQ, Hu SS, Wang ZJ, Gou J. Effects of ultrasonic vibration in the CMT process on welded joints of Al alloy. *J Mater Process Technol* 2018;259:282-291.
 - [12] Furukawa K. New CMT arc welding process-welding of steel to aluminium dissimilar metals and welding of super-thin aluminium sheets, *Weld Int* 2006;20(6):440-445.
 - [13] Cao R, Yu G, Chen JH, Wang PC, Cold metal transfer joining aluminium alloys-to-galvanized mild steel. *J Mater Process. Technol.* 2013;213:1753-1763.
 - [14] Zhang HT, Feng JC, He P, Zhang BB, Chen JM, Wang L. The arc characteristics and metal transfer behaviour of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel, *Mater Sci Eng A* 2009; 499:111-113.
 - [15] Meco S, Pardal G, Eder A, Quintino L. Software development for prediction of the weld bead in CMT and pulsed-MAG processes, *InT J Adv Manuf Technol* 2013;64:171-178.