

Farklı Akım Şiddetleri Kullanılarak Soğuk Metal Transferi (CMT) ile Birleştirilmiş 6061-T6 ve 5754 Alüminyum Sacların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

*¹Erman Ferik ²Özgür Yılmaz ³Cihan Yakupoğlu ⁴Faruk Varol ⁵Salim Aslanlar

*¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

³Akpres Metal Yedek Parça Mak. San. ve Tic. A.Ş., Sakarya, Türkiye

⁴Karasu Meslek Yüksek Okulu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

⁵Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, 1,5 mm kalınlığa sahip 6061-T6 ve 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; 6061-T6 ve 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 6061-T6, Al 5754, Çekme mukavemeti

Investigation of Mechanical Properties of 6061-T6 and 5754 Aluminum Sheets Joined by Cold Metal Transfer (CMT) Using Different Current Intensity

*¹Erman Ferik ²Özgür Yılmaz ³Cihan Yakupoğlu ⁴Faruk Varol ⁵Salim Aslanlar

*¹Metallurgical and Materials Engineering, Marmara University, Istanbul, Turkey

²Graduate Education Institute, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey

³Akpres Metal Yedek Parça Mak. San. ve Tic. A.Ş., Sakarya, Turkey

⁴Karasu Vocational School, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey

⁵Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey

Abstract

In this study, 6061-T6 and 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 6061-T6 and 5754 series aluminum sheets by CMT technique.

Key words: CMT, Al 6061-T6, Al 5754, Tensile strength

1. Giriş

Alüminyum alaşımları, hafifliği, üretilebilirliği, iyi görünümü, korozyon direnci ve son derece ekonomik olması nedeniyle birçok uygulamada kullanılmaktadır [1, 2]. Son yıllarda özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde, yakıt verimliliğini artırmak için hafif ve dayanımlı alüminyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [3-7].

Yüksek mukavemetli, mükemmel süneklik ve korozyon direncine sahip 6061-T6 alüminyum alaşımı, gelecek vaat eden malzemelerden biri haline gelmiştir [7-11].

5754 alüminyum alaşımı, yüksek yorulma mukavemeti, sertlik, işlenebilirlik, korozyona karşı oldukça dayanımı ve kimyasal maddelere karşı çok yüksek direnç özelliğine sahiptir [12].

Soğuk metal transferi (CMT), ayırt edici özellikleri düşük ısı girdisi, düşük miktarda sıçrama miktarı ve iyi boşluk doldurma kapasitesi olan geleneksel gaz metal ark kaynağı (GMAW) işleminin gelişmiş bir versiyonudur [13-16].

Bu çalışmada otomotiv, uçak, uzay, savunma ve yapı endüstrisinde kullanılan alüminyum çeşitlerinden 6XXX serisi alüminyum alaşımı olan 6061-T6 alüminyum levha ile basınçlı kaplar, hidrolik uygulamaları, gemi inşa ekipmanları ve otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum çeşitlerinden 5XXX serisi alüminyum alaşımı olan 5754 Alüminyum levhanın CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve karakterizasyonu amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan CMT yönteminde, 6xxx ve 5xxx alüminyum levhanın farklı akım şiddetleride birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca makroyapı, mikroyapı, mikrosertlik ve SEM incelemeleri de yapılmıştır.

2. Malzemeler ve Metot

Orta derece mukavemet, yüksek şekillendirilme kabiliyeti ve yüksek korozyon direnci nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 6061-T6 alüminyum alaşımının spektrometrik analizi ve mekanik özellikleri Tablo 1. ve Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. 6061 alüminyum sacın kimyasal bileşimi (Elementler (ağ%)).

	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
6061	0.64	0.367	0.114	0.8	0.275	0.193	0.005	0.157	0.029	97.4

Tablo 2. 6061 alüminyum sacın mekanik özellikleri.

	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
6061	334	295	13	110

İyi şekil alabilirlik, kaynaklanabilirlik, mükemmel korozyon direnci nedeniyle ile çeşitli endüstri alanında kullanılan 5754 alüminyum alaşımının spektrometrik analizi ve mekanik özellikleri Tablo 3. ve Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 3. 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 4. 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 çalışmalardaki kaynak ilerleme hızının sabit olması için kaynak robotu kullanılmıştır. Kaynak uygulamaları, farklı akım şiddetleri olmak üzere uygulanmıştır. 6061 ve 5754 Alüminyum numunelerine 1,2 mm çapındaki AlMg4,5Mn alaşımlı MIG kaynak teliyle CMT işlemi uygulanmıştır. Çalışmada %100 argon koruyucu gaz kullanılmıştır. Kaynak akım şiddeti 50, 60, 70, 80 ve 90 amper, kaynak süresi 120 cm/dk tutulmuştur, soğuk metal transferi ark torç açısı 20⁰ olarak ayarlanmıştır, çalışmada saf Argon koruyucu gaz 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. Kullanılan kaynak telinin spektrometrik analizi Tablo 5.'de verilmiştir.

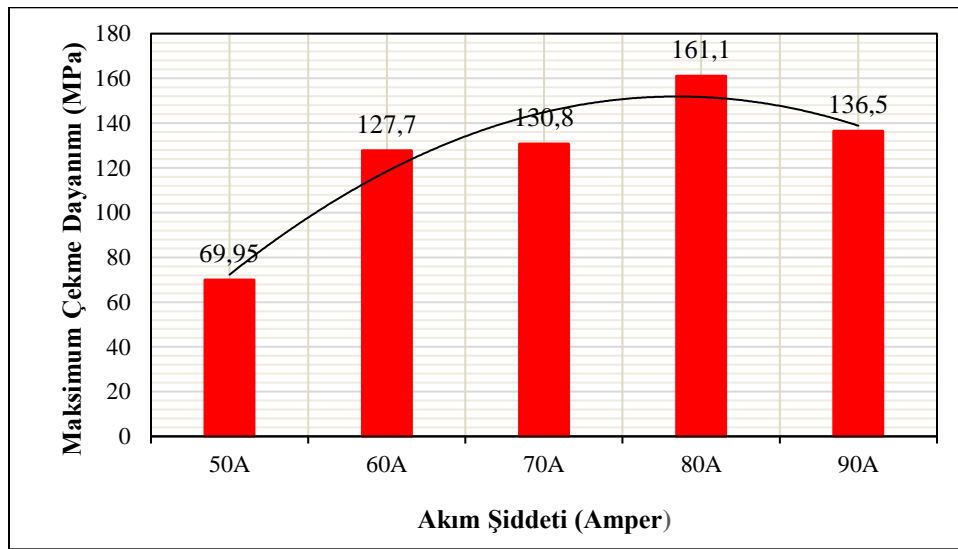
Tablo 5. AlMg4,5Mn telinin mekanik özellikleri

	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.

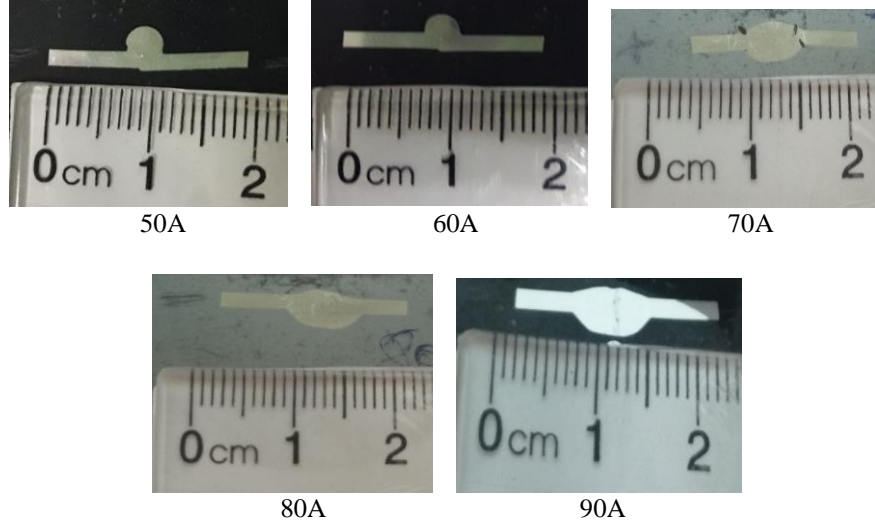


Şekil 1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 1.’de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 100 amperde kaynak tutmamış, 50 amper de en düşük çekme mukavemetine sahiptir. 80 amperden sonra çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve 50 amperden sonra artan ısı girdisiyle beraber numunelerin ITAB bölgesinden koptukları gözlenmiştir. Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 80 amper olarak görülebilmektedir. 80 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 90 amperde düşmüştür. 90 amperde görülen ani düşmenin kaynak hatası ya da boşluktan olabileceği düşünülmektedir. Malzemedeki değişen mukavemet değerlerinin akım şiddetine bağlı ısı girdisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle alüminyum 5754 ve 6061-T6 levhada uygulanabilecek değer 80 A olduğu görülmektedir.

3.2. Makroyapı değişimleri

Alüminyum 5754 ve 6061-T6 1.5 mm kalınlığındaki levhalarla yapılan soğuk metal transferi işleminde makroyapı incelemeleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir.

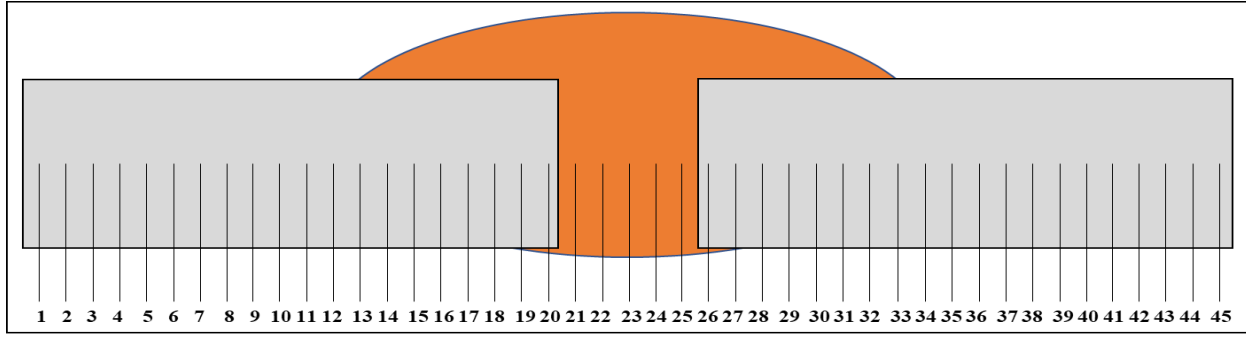


Şekil 2. Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler

Şekil 2.'de görüldüğü gibi numunelerin tüm kaynak akım şiddeti değerlerinde 50 ve 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.

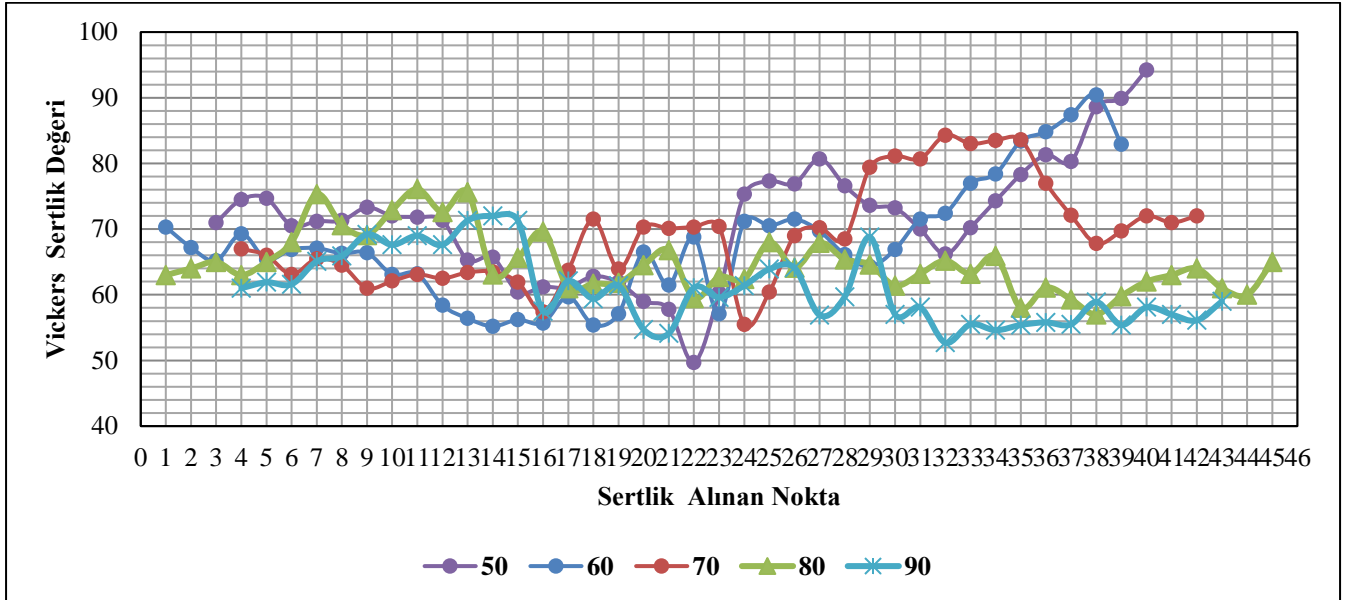
3.3. Mikrosertlik

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 metali, ITAB ve ana metal bölgelerinden alınan sertlik değerleri şekil xxx gösterilmiş ve şekil xxx diyagram halinde verilmiştir.



Şekil 3. Sertlik değerleri alınan noktalar

Farklı akım şiddetlerinde CMT-kaynak işlemi yapılmış numunelerin mikro sertlik ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 4.'de verilmiştir. Mikro sertlik dağılımları üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ana malzemedir.



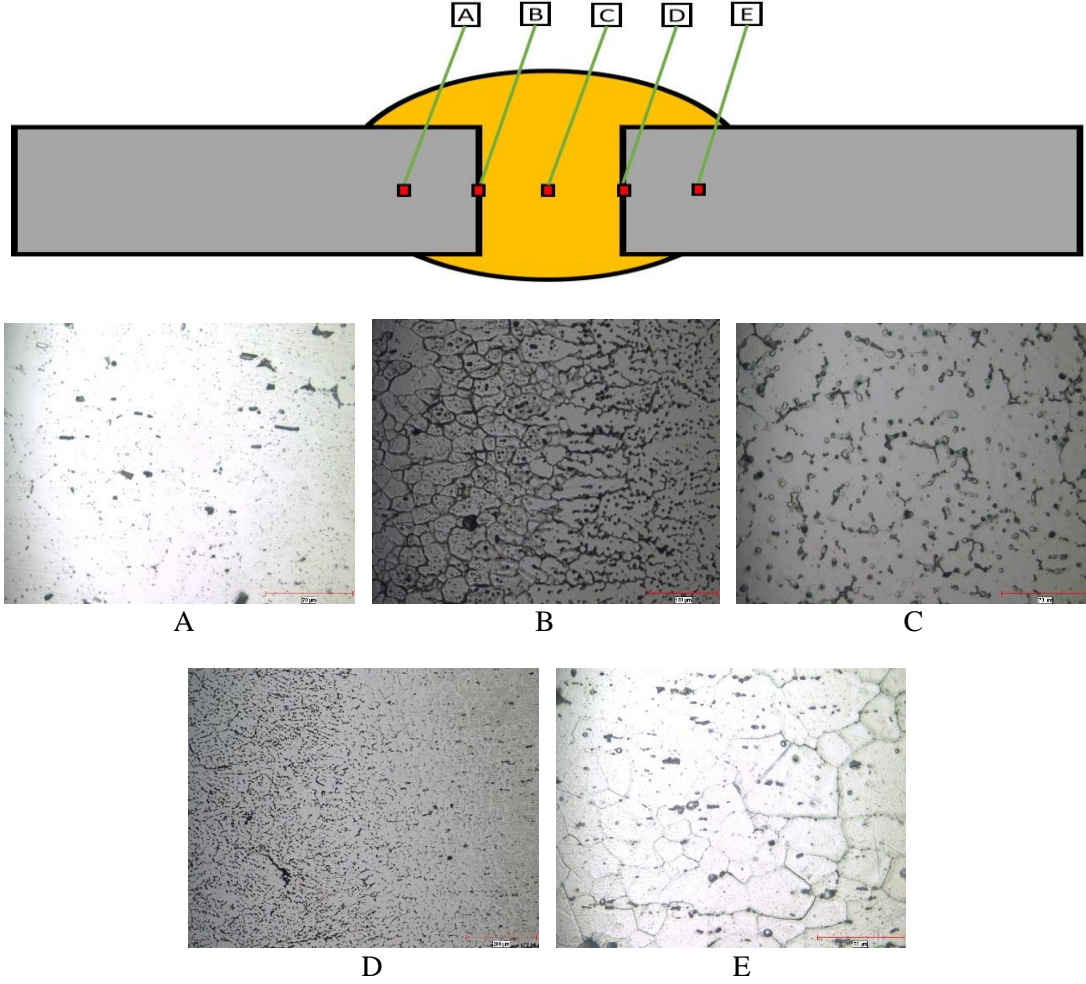
Şekil 4. Farklı akım şiddetlerindeki mikro sertlik değerleri grafiği

En düşük sertlik değeri ise 50A'lık akım şiddetinde elde edilen numunenin kaynak bölgesinde olduğu görülmüştür.

3.4. Mikroyapı değişimleri

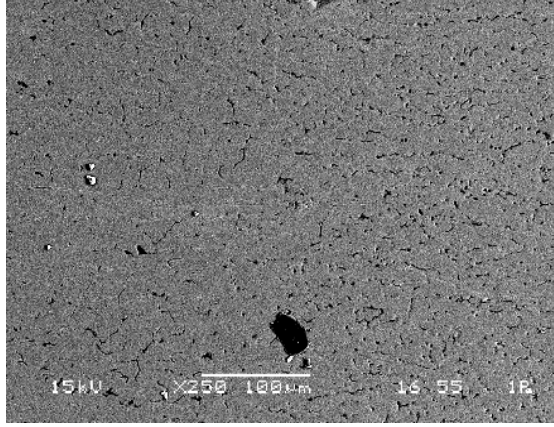
Şekil 5'da 70A'lık akım şiddeti ile birleştirme işlemi gerçekleştirilen numunenin farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir. A ve E bölgeleri bölgeleri ısı tesiri altında kalan

bölge (ITAB), B ve D bölgeleri ara bölge,(kaynak-ITAB), C bölgesi ise kaynak bölgesinin görüntülerini vermektedir.

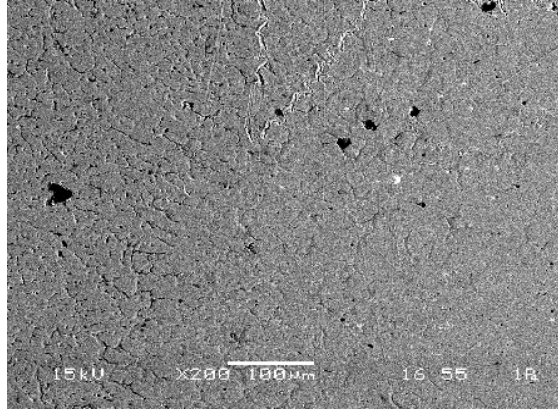


Şekil 5. 70A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri

Şekil 6. ve Şekil 7.'de 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölgelerinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir.

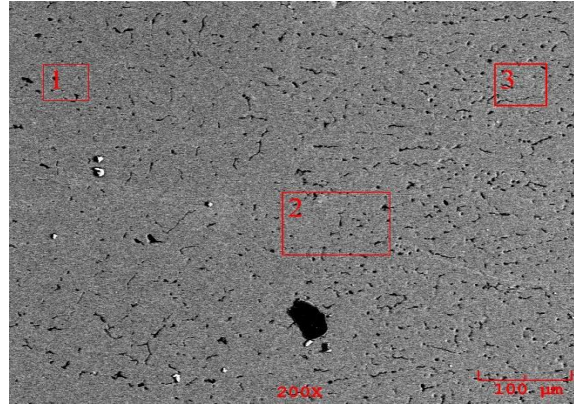


Şekil 6. 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) SEM görüntüsü



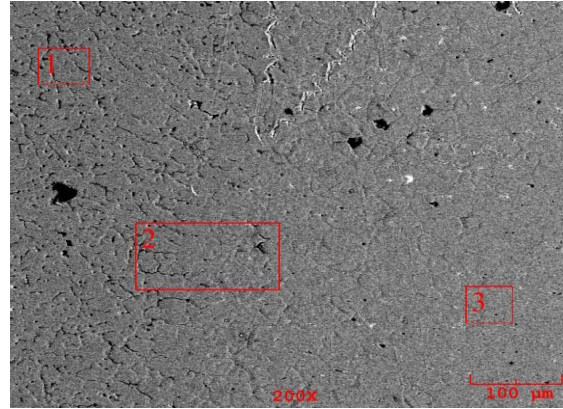
Şekil 7. 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) SEM görüntüsü

Şekil 8. ve Şekil 9.'da 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölgelerinden alınan EDS analizleri verilmiştir.



Alınan bölge	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	2.949	0.190	0.608	2.636	93.618
2	1.153	0.293	0.282	1.487	96.785
3	0.733	0.051	0.175	2.125	96.916

Şekil 8. 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge (5754-Kaynak) EDS analizi



Alınan bölge	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	2.264	-	0.213	2.250	95.272
2	2.871	0.081	0.326	0.527	96.195
3	3.358	-	0.534	1.448	94.660

Şekil 9. 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölge (Kaynak-6061) EDS analizi

4. Sonuçlar

Soğuk metal transferi yöntemiyle Alüminyum 5754 ve 6061-T6 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] Rathinasuriyan C, Muniamuthu S, Mystica A, Senthil Kumar VS. Investigation of heat generation during submerged friction stir welding on 6061-T6 aluminum alloy. *Mater Today: Proc* 2021;46:8320-8324.
- [2] Leon JS, Bharathiraja G, Jayakumar V. A review on friction stir welding in aluminium alloys. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 954, No. 1, p. 012007). IOP Publishing. 2020
- [3] Zhang Z, Yang X, Zhang J, Zhou G, Xu X, Zou B. Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy. *Mater. Des.* 2011;32: 4461-4470.
- [4] Tran VX, Pan J, Pan T. Fatigue behavior of aluminum 5754-O and 6111-T4 spot friction welds in lap-shear specimens. *Int. J. Fatigue* 2008; 30:2175-2190.
- [5] Chowdhury SH, Chen DL, Bhole SD, Cao X, Wanjara P. Lap shear strength and fatigue life of friction stir spot welded AZ31 magnesium and 5754 aluminum alloys. *Mater Sci Eng A* 2012; 556:500-509.
- [6] Badarinarayan H, Shi Y, Li X, Okamoto K. Effect of tool geometry on hook formation and static strength of friction stir spot welded aluminum 5754-O sheets. *Int J Mach Tools Manuf* 2009;49:814-823.
- [7] Rhodes CG, Mahoney MW, Bingel WH, Spurling RA and Bampton CC. Effects of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminium. *Scr Mater* 1997; 36:69-75.
- [8] Nie F, Dong H, Chen S, Li P, Wang L, Zhao Z, Li X, Zhang H. Microstructure and mechanical properties of pulse MIG welded 6061/a356 aluminum alloy dissimilar butt joints. *J Mater Sci Technol* 2018;34:551–56.
- [9] Fridlyander IN, Sister VG, Grushko OE, Berstenev VV, Sheveleva LM, Ivanova LA, Aluminum alloys: promising materials in the automotive industry *Met Sci Heat Treat* 2002; 44:365-370.
- [10] Nturanabo F, Masu LM, Govender G. Automotive light-weighting using aluminium metal matrix composites. *Mater Sci Forum* 2015;828–829:485-491.
- [11] Wang J, Chen X, Yang L, Zhang G. Effect of preheat & post-weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6061-T6 aluminum alloy welded sheets. *Mater Sci Eng A* 2022;841:143081.

- [12] Rudawska A, Wahab MA. The effect of cataphoretic and powder coatings on the strength and failure modes of EN AW-5754 aluminium alloy adhesive joints. *Int J Adhes Adhes* 2019;89:40-50.
- [13] Kumar NP, Vendan SA, Siva N. Investigations on the parametric effects of cold metal transfer process on the microstructural aspects in AA6061. *J. Alloys Compd.* 2016;658:255-264.
- [14] Chen MA, Zhang D, Wu CS. Current waveform effects on CMT welding of mild steel. *J Mater Process Technol* 2017;243:395-404.
- [15] Feng JC, Zhang HT, He P. The CMT short-circuiting metal transfer process and its use in thin aluminum sheets welding. *Mater Des* 2009;30(5):1850-1852.
- [16] Tiana Y, Shen J, Hu S, Liang Y, Bai P. Effects of ultrasonic peening treatment on surface quality of CMT-welds of Al alloys. *J Mater Process Technol* 2018;254:193-200.