

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

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

Özet

Bu çalışmada, 1,5 mm kalınlığa sahip 6061-T6 serisi alüminyum saclar, alüminyum esaslı (AlMg4,5Mn) teli ile soğuk metal transfer (CMT) yöntemiyle birleştirilmiştir. Numuneler, alın birleştirme formunda hazırlanmış ve birleştirme işlemleri 60, 70, 80 ve 90 A kaynak akım şiddetinde yapılmıştır. CMT işlemlerini gerçekleştirdikten sonra; 6061-T6 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, Çekme mukavemeti

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

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

Abstract

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

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

1. Giriş

Alüminyum ve alaşımları, hemen hemen her mekanik endüstriyel üretim biriminde veya üretim tesisinde kullanılan demir ve çelikten sonra mühendislikte en yaygın kullanılan metallere biridir [1-2]. Gemi yapımı ve uçak imalatı gibi ağır endüstriler, elektronik tabanlı endüstriler, otomotiv ve inşaat endüstrisi gibi alanlarda çeşitli alüminyum metal bileşenler kullanır [3].

6xxx serisi Al alaşımları, yüksek mukavemet, mükemmel elektriksel iletkenlik, iyi şekillendirilebilirlik ve korozyon direnci göstererek köprülerde, yüksek hızlı gemilerde ve açık deniz inşaatlarında yaygın olarak kullanılmasını sağlar [4-7]. 6061-T6 alaşımı en yaygın olarak demiryolu vagonları, kamyon şasileri, inşaat sektörü, havacılık uygulamaları, vb. alanlarda kullanılmaktadır [8]. Son yıllarda, 6061-T6 alüminyum alaşımı, esas olarak hafif, üstün korozyon direnci ve yüksek özgül mukavemet gibi avantajları nedeniyle mühendislik yapılarında giderek daha fazla kullanılmaktadır [9-14].

Alüminyumun ergitme kaynağı, alüminyumun düşük ergime noktası nedeniyle zorlu bir işlemdir. CMT yöntemi, kontrollü ısı girişi nedeniyle meydana gelebilecek, katılma kusurlarının azalması gibi benzersiz avantajlar sunan ve alüminyum levhaların birleştirilmesi için uygun bir kaynak yöntemidir [15-17].

2. Malzemeler ve Metot

Bu çalışmada otomotiv, uçak, uzay, savunma ve yapı endüstrisinde kullanılan alüminyum çeşitlerinden 6xxx serisi alüminyum alaşımı olan 6061-T6 alüminyum levhaların CMT yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olan CMT yönteminde, 6xxx alüminyum levhaların farklı akım şiddetlerinde birleştirilebilirliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca makroyapı, mikroyapı, mikrosertlik ve SEM incelemeleri de yapılmıştır.

Orta derece mukavemet, yüksek şekillendirilme kabiliyeti ve yüksek korozyon direnci nedeniyle endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan 6061-T6 alüminyum alaşımı levhaların kimyasal bileşimi 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

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. 6061-6061 alüminyum numunelerine 1,2 mm çapındaki AlMg4,5Mn alaşımlı MIG kaynak teliyle CMT işlemi uygulanmıştır. Çalışmada %100 argon koruyucu gaz kullanılmıştır. Kaynak akım şiddeti 60, 70, 80 ve 90 amper, kaynak süresi 60 cm/dk tutulmuştur, soğuk metal transferi ark torç açısı 20^0 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

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

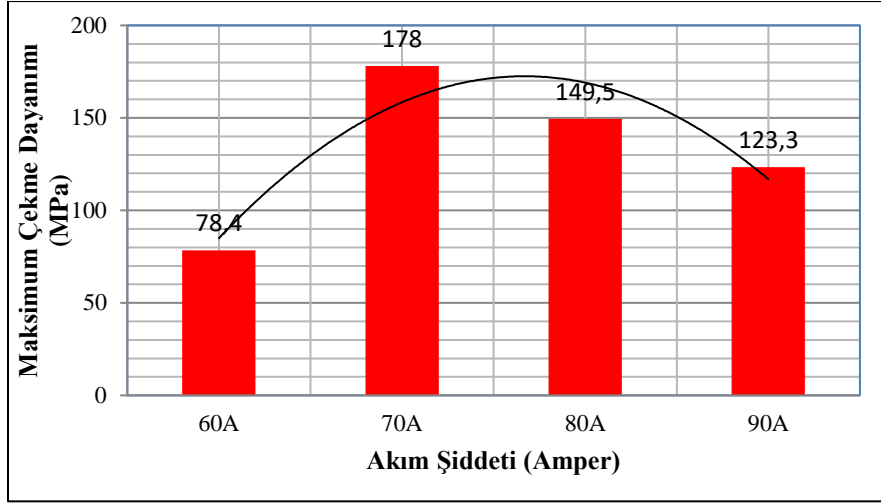
Tablo 3. AlMg4,5Mn telinin mekanik özellikleri

	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.



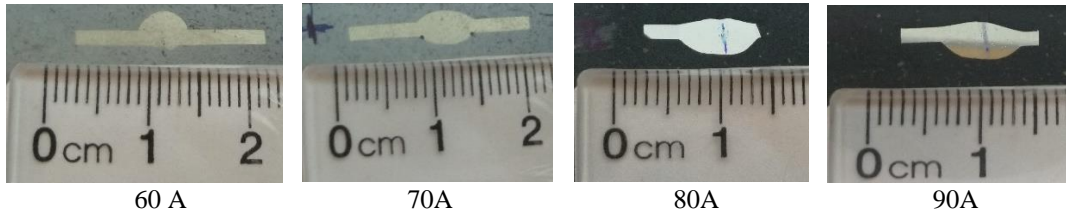
Şekil 1. Farklı akım şiddetlerinde çekme mukavemetleri grafiği

Şekil 1.'de görüldüğü üzere akım şiddetine bağlı olarak çekme mukavemetlerinde değişim gözlenmiştir. 50 amperde kaynak tutmamış, 60 amperde en düşük çekme mukavemetine sahiptir. 70 amperden itibaren çekme mukavemetinde düşme gözlenmiş ve ana malzemedeki koptukları gözlenmiştir.

Bu nedenle çekme geriliminde kritik eşik 70 amper olarak görülebilmektedir. 70 ampere kadar artan mukavemet değeri daha sonra 80, 90 amperlerde düşmüştür. 100 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 6061-6061 levhada uygulanabilecek değer 70 A olduğu görülmektedir.

3.2. Makroyapı değişimleri

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

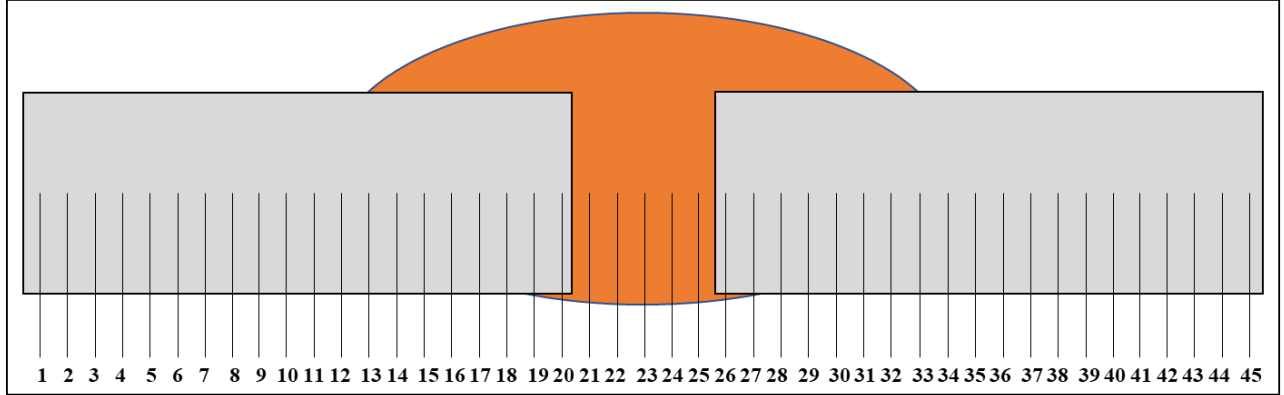


Şekil 2. Farklı akım şiddetlerindeki makro görüntüler

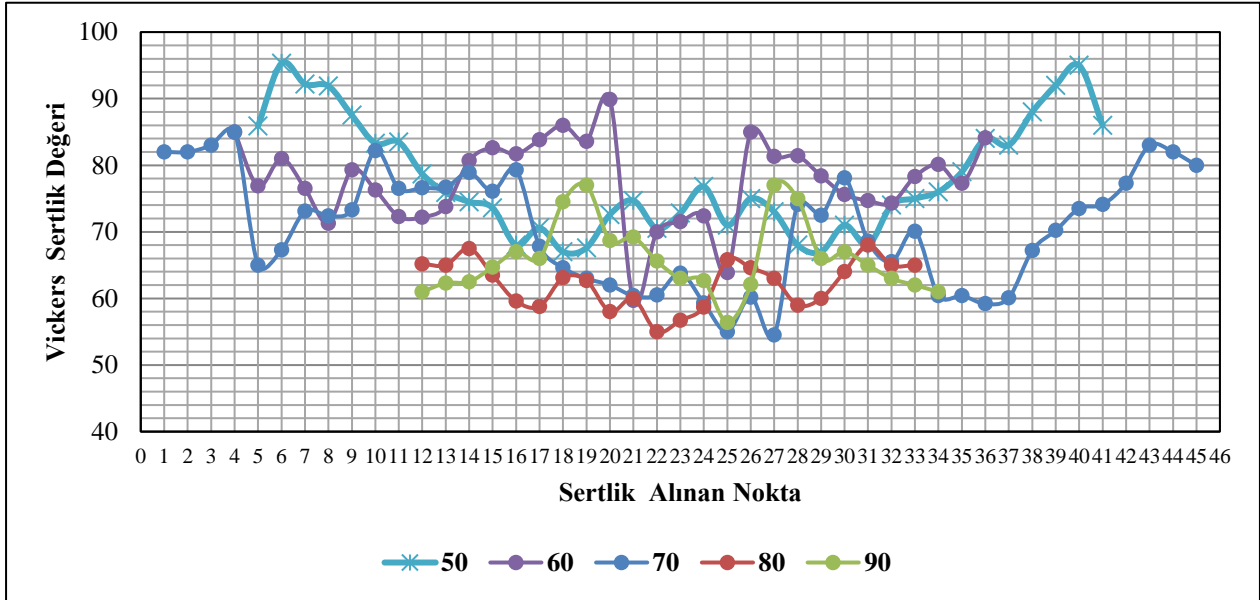
Şekil 2.'de görüldüğü gibi CMT yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin tüm kaynak akım şiddeti değerlerinde kaynak ıslatmasının iyi olduğu görülmüştür. 70 amper kaynak akım şiddeti değerinden sonra 80-90 amper kaynak akım şiddetinde oluşan fazla ıslatma sebebiyle kaynak kep yüksekliği azalmış, kaynak 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 doğru soldan sağa alınmıştır. Sertlik Kaynak metali, ITAB ve ana metal bölgelerinden alınan sertlik değerleri alınan noktalar Şekil 3.'de gösterilmiş ve Şekil 4.'de diyagram halinde verilmiştir.



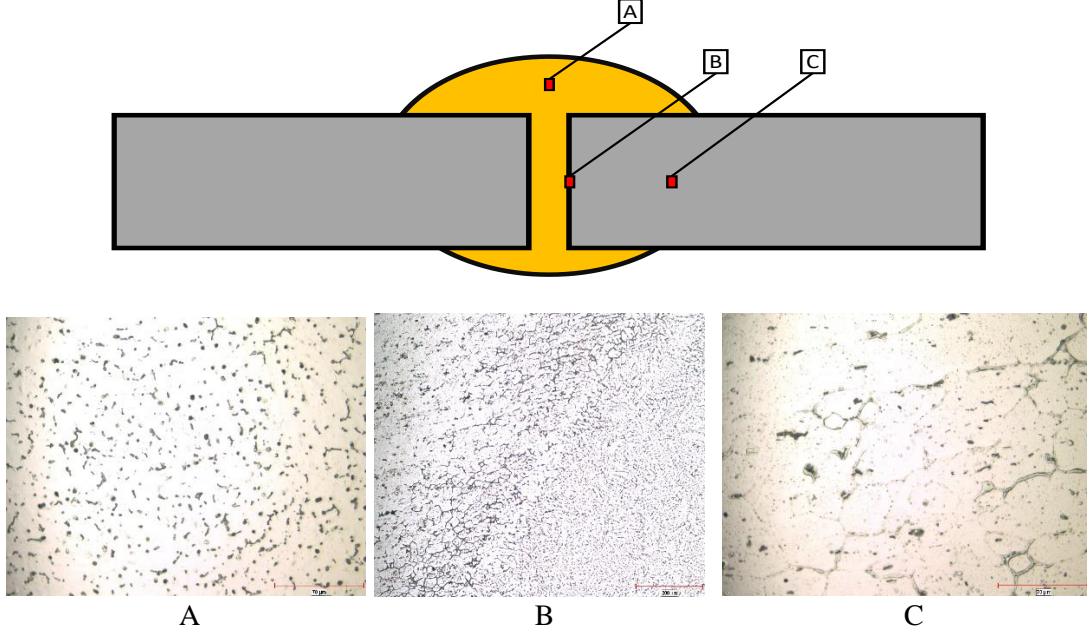
Şekil 3. Sertlik değerleri alınan noktalar



Şekil 4. Farklı akım şiddetlerindeki mikro sertlik değerleri grafiği

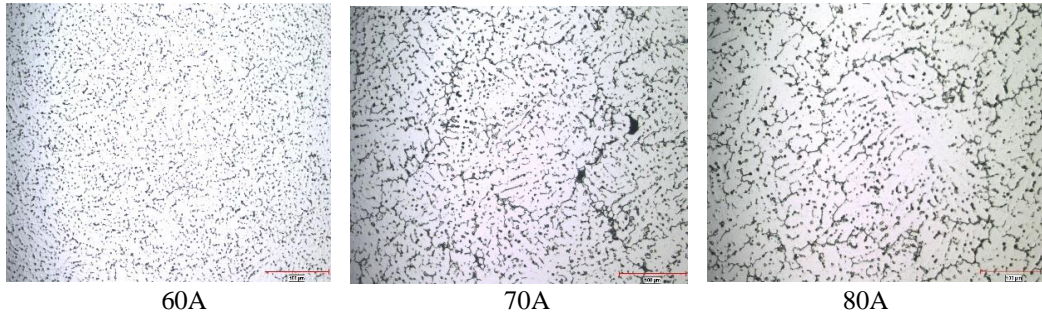
Şekil 4.'de görüldüğü gibi artan kaynak akım şiddeti ve ısı girişi ile beraber numunelerin mikrosertlik değerleri farklılaşmaktadır.

3.4. Mikroyapı değişimleri

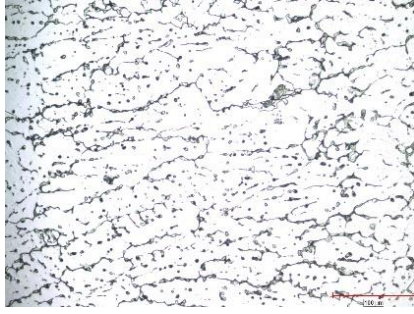


Şekil 5. 70A akım şiddetinde birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüleri

Şekil 5.'de 70A'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 bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

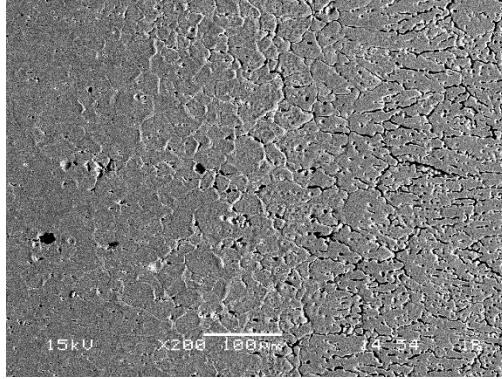


90A

Şekil 6. (Devamı).

Şekil 6.'da görüldüğü gibi farklı kaynak akım şiddeti değerlerinde, kaynak bölgesi mikroyapıları farklı olmaktadır. 6061-T6 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.

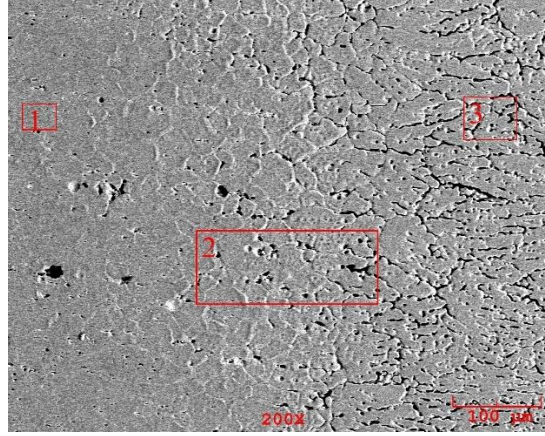
Şekil 7.'de 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Dendrit oluşumları ana malzeme elementlerinin kaynak bölgesine doğru atomsal yayılım yolu ile oluştuğu görülmektedir.



Ara bölge

Şekil 7. 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin SEM görüntüsü

70A akım şiddeti ile birleştirilmiş numunenin ara bölgesinden alınan EDS analizi Şekil 8.'de verilmiştir.



Alınan nokta	Mg	Si	Mn	Cu	Al
1	0.594	-	0.223	0.467	98.716
2	0.777	0.082	0.409	1.181	97.551
3	1.638	0.095	0.435	1.373	96.459

Şekil 8. 70A akım şiddetinde birleştirilmiş numunenin kaynak bölgesi EDS analizi

Şekil 8.'de kaynak bölgesi ile 6061-T6 ana metali arasındaki ara bölgeden alınan elemental EDS sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde ısı girdisi ile beraber elementlerin kaynak bölgesinde 6061-T6 bölgesine ve 6061-T6 bölgesinden kaynak bölgesine ısının etkisiyle yayıldığı görülmektedir.

4. Sonuçlar

Soğuk metal transferi yöntemiyle Alüminyum 6061-6061 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 gaz debisi 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] Wang JJ, Lin JJ, Chen SB, Hu JC. Adaptive control based on vision technology for aluminium alloy TIG welding. Trans-China Weld Inst 2003;24(4):17–20.
- [2] Varshney D, Kumar K. Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization. Ain Shams Eng J 2021;12(1): 1143-1152.
- [3] Tisza M, Czinege I. Comparative study of the application of steels and aluminium in lightweight production of automotive parts. Int J Lightweight Mater Manuf 2018;1(4):229-238.

- [4] Miller WS, Zhuang L, Bottema J, Wittebrood A, De Smet P, Haszler A, et al. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Mater Sci Eng, A* 2000;280(1):37-49.
- [5] Sekularac G, Milosev I. Corrosion of aluminium alloy AlSi7Mg0.3 in artificial sea water with added sodium sulphide. *Corrosion Sci* 2018;144:54-73.
- [6] Jiang Y, Liu F. Effects of Sc or/and Ge addition on microstructure and mechanical properties of as-cast 6016 Al alloy. *J Alloys Compd* 2019;809:1518-29.
- [7] Sauvage X, Bobruk E V, Murashkin M Y, Nasedkina Y, Enikeev N A, Valiev R Z. Optimization of electrical conductivity and strength combination by structure design at the nanoscale in Al-Mg-Si alloys. *Acta Mater* 2015;98:355-66.
- [8] Yadav R, Sharma A, Vohra S, Dewangan S, Kr. Chowrasia M. Investigation into defects occurred in friction stir welded joint of 6061-T6 aluminium alloy. *Materials Today: Proceedings* 2021; 46:8910-8916.
- [9] Wang G, Zhao C Q. Experimental and theoretical study on the bearing capacity of FGC joints for single-layer aluminum alloy lattice shell structures. *Struct* 2021;33:2445-58.
- [10] Zhu P H, Zhang Q L, Luo X Q, Ouyang Y W, Yin J. Experimental and numerical studies on ductile-fracture-controlled ultimate resistance of bars in aluminum alloy gusset joints under monotonic tensile loading. *Eng Struct* 2020;204:109834.
- [11] Xiong Z, Guo X N, Luo L F, Zhu S J, Liu YP. Experimental and numerical studies on single-layer reticulated shells with aluminium alloy gusset joints. *Thin-Walled Struct* 2017;118:124–36.
- [12] Wang H, Li PC, Wang J. Shape optimization and buckling analysis of novel two-way aluminum alloy latticed shells. *J Build Eng* 2021;36:102100.
- [13] Wu YP, Liu HB, Chen ZH, Liu Y. Study on low-cycle fatigue performance of aluminum alloy Temcor joints. *Eng Struct* 2020;24(1):195–207.
- [14] Liu HB, Ding YZ, Chen ZH. Static stability behavior of aluminum alloy single-layer spherical latticed shell structure with Temcor joints. *Thin-Walled Struct* 2017;120: 355-65.
- [15] Feng j, Zhang H, He P. The CMT short-circuiting metal transfer process and its use in thin aluminium sheet welding. *Mater Des* 2009;30:1850-2.
- [16] Selvi S, Vishvaksenan A, Rajasekar E. Cold metal transfer (CMT) technology - an overview. *Defence Technol* 2018;14:28-44.
- [17] Selvamani S T. Microstructure and stress corrosion behaviour of CMT welded AA6061 T-6 aluminium alloy joints. *J Mater Res Technol* 2021;15:315-326.