

## 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞI SONRASI MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Kemal NURVEREN<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-5802-3024)\***  
**Bekir Burak GÜNDÜZ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0002-2161-4736)**

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

<sup>2</sup>3. Organize Sanayi Bölgesi İhsan Dede Cad. 20 Nolu Sok. No: 5 42300 Konya / Türkiye

Geliş / Received: 11.12.2017

Kabul / Accepted: 22.01.2018

### ÖZ

Bu çalışmada, AA 6082-T6 alüminyum alaşımdan ibaret numuneler beş farklı işlem parametresi seçilerek yapılan MIG kaynağında kaynak edilmiştir. Kaynak teli olarak iki farklı alaşımdan ibaret kaynak telleri kullanılmıştır. Yapılan kaynak işlemlerinden sonra hazırlanan numunelerin mekanik özelliklerine ve mikro yapısına bakılarak sonuçlar tartışılmıştır. Farklı alaşımdaki kaynak telleri ile farklı kaynak akım değerlerinde yapılan bu kaynak işlemlerinin alaşımın çekme ve akma dayanımı, sertlik gibi mekanik özelliklerine etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca mikro yapı fotoğrafları çekilerek inceleme yapılmıştır. Kullanılan tel değişkenine bağlı olarak kaynak akım şiddeti arttıkça alaşımın dayanım değerlerinin iyileştiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** AA 6082-T6 alaşım, MIG kaynağı, mekanik özellikler, mikro yapı

## INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 6082 ALUMINIUM ALLOY AFTER MIG WELDING

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the effect on the mechanical properties and microstructure of the AA 6082-T6 alloy performing MIG welding processes using different alloy welding wires. The effect of different welding currents using with different welding wires on the mechanical properties such as hardness, yield and tensile strength of the alloy have been studied comparatively. Microstructure photographs were taken and examined. As the welding current intensity increases according to the used welding wire, improvement of the mechanical properties of the alloy is seen.

**Keywords:** AA 6082-T6 alloy, MIG welding, mechanical properties, microstructure

### 1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımlarının sahip oldukları üstün özelliklerinden dolayı endüstride kullanım alanları her geçen gün daha da artmakta olup günümüzde alüminyum çelikten sonra göze çarpan ikinci malzeme olmuştur [1]. Dayanım açısından çeliklerden zayıf olmasına rağmen geometrik açıdan yapılacak iyileştirmelerle çeliğe yakın bir dayanıma ulaşılabilmektedir. Pek çok yapı ve makine elemanlarında alüminyum alaşımlarının kullanılması hafiflikten dolayı avantaj sağlamaktadır. Düzgün bir mühendislik tasarımı sonrasında, elde edilen yapı üzerinde nerdeyse yarıdan daha fazla olacak kadar bir hafiflik sağlanabilmektedir [2]. Alüminyum ve alaşımlarından imal edilmiş ürünlerin hemen hemen dörtte biri kara, deniz ve hava taşıtlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3].

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 2252448; e-mail / e-posta: knurveren@ohu.edu.tr

K. NURVEREN, B. B. GÜNDÜZ

Alüminyum ve alaşımlarından imal edilmiş döküm ya da dövme parçalar olduğu gibi her durumda kullanılmayabilmektedir [4]. Bazı hallerde birkaç parçanın mekanik olarak birleştirilmesi gerekmektedir. Böyle durumlarda akla ilk gelen şey güçlü bir çözülemesiz bağlantı sağlayan kaynak işlemleri olmaktadır. Alüminyum ve alaşımları üzerine yapılan kaynak etme çalışmalarında elde edilen sonuçlar göstermiştir ki kaynak işlemi için ideal olan kaynak yöntemlerinden birisi olan ve sonuç itibari ile bir gaz altı kaynak işlemi olan MIG (metal soy gaz) kaynağıdır. Alüminyum ve alaşımları MIG ile kaynak edildiklerinde kaynak edilebilme kabiliyetinin oldukça iyi olduğu yapılan çalışmalarla görülmektedir. Diğer yaygın olarak tercih edilen kaynak yöntemlerinden bir kaçısı ise TIG (tungsten soy gaz) kaynağı, FSW (sürtünme karıştırma kaynağı) ve lazer kaynağı olmaktadır. Bahsedilen kaynak yöntemleri ile çeşitli alüminyum alaşımların kaynak edilebilme kabiliyeti üzerine literatürde yapılan çeşitli çalışmalar vardır.

Babu ve ark. [5] yaptıkları çalışmada TIG kaynağı ile alüminyum alaşımlarının kaynağı sonrasında alaşımın mikro yapısındaki tane boyutu ile tane şekli arasındaki bağlantıları araştırmışlardır. Cavaliere'nin [6] yaptığı çalışmada, bir katı hal birleştirme yöntemi olan FSW kullanılmıştır. İşleme koşullarının ve malzeme özelliklerinin kaynak edilecek malzemenin mikro yapısını ve mekanik davranışlarını etkilediği görülmüştür. Scialpi ve ark. [7] yaptıkları çalışmada, uçak ve otomotiv sanayinde yaygın kullanım alanı bulan FSW yöntemi ile farklı alüminyum alaşımlarının kaynak yapılabilirliği araştırılmıştır. Kouadri ve David [8] yaptıkları çalışmada, DP600 çeliği ile 6082 alüminyum arasında lazer kaynağı ile heterojen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerin fizibilitesi üzerinde durmuşlardır. Ericsson ve Sandström [9] yılında yaptıkları çalışmada, alüminyum alaşımları için FSW, MIG ve TIG kaynak yöntemleri çalışılmışlardır. Yapılan deneylerde farklı kaynak yöntemlerinin farklı kaynak hızlarında malzemenin yorulma dayanımı üzerine etkileri analiz edilmiştir. Ruan ve ark. [10] yaptıkları çalışmada, MIG kaynağı esnasında kısmen SiO<sub>2</sub> akısından da yararlanarak 6082-T6 Al-alaşım plakasının mekanik özelliklerini ve sertlikteki değişimini analiz etmişlerdir. Ahmad ve Bakar'ın [11] yaptıkları çalışmada, MIG ve CMT (soğuk metal transferi) yöntemi kullanılarak kaynak edilmiş AA 6061 numunelere kaynak sonrası ısıtma işleminin mekanik ve mikro yapı özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada AA 6082-T6 alüminyum alaşımının çözülemesiz birleştirme yöntemlerinden birisi olan MIG kaynağı ile kaynak edilmesi sonrasında mekanik dayanımının ve mikro yapı durumunun nasıl değişim gösterdiği incelenmiştir. Farklı işlem parametreleri kullanılarak MIG yöntemi ile kaynak edilmiş olan numuneler daha sonra çekme testlerine tabi tutulmuştur. Bu amaçla iki farklı alaşımdan oluşan kaynak telleri kullanılmış ve bu teller ile kaynak makinesinden farklı akım şiddetleri seçilerek numuneler kaynak edilmiştir. Kaynak bölgesinden alınan mikro yapı fotoğrafları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirme yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasında deneylerde kullanılan malzeme AA 6082-T6 alaşımı olup “Seykoç Alüminyum” firmasından 3 mm kalınlığında levhalar halinde temin edilmiştir. Tablo 2.1’de alaşımın içerisinde bulunan elementler ve yüzde miktarları ağırlıkça verilmiştir.

**Tablo 2.1.** AA 6082 alüminyum alaşımın kimyasal özellikleri

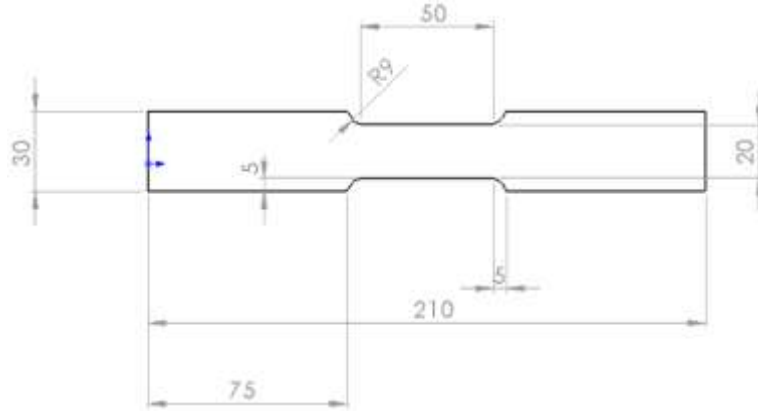
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0.5	0.7-1.3	0.1	0.4-1.0	0.6-1.2	0.2	0.15	0.15	Dengede

Kaynak işlemi parametrelerinin AA 6082-T6 alaşımın mekaniksel özelliklerine etkisinin incelenmesi için sac levhalardan Fotoğraf 2.1’de görülen çekme numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 2.2’de ise kaynak edilmiş çekme numunelerine ait ölçüler verilmiştir.



**Fotoğraf 2.1.** Çekme deneyi numunesi

## 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞI SONRASI MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ



Şekil 2.2. Çekme deneyi numune ölçüleri

Deneylerde kullanılmak üzere CNC dönel kesici ile kesilmek sureti ile 60 adet numune hazırlanmıştır. Her bir sertlik deneyi için 3'er numune ve her bir çekme deneyi için 3'er numune kullanılmıştır. Çekme numuneleri öncelikle tam orta yerinden kesilmiş, daha sonra ise beş farklı kaynak akım parametresi altında farklı alaşıma sahip iki kaynak teli kullanılarak sırayla MIG kaynağı yöntemi ile yeniden kaynak edilmiştir. Numunelerin kodları ve karşılık gelen açıklamaları Tablo 2.2'de verilmiştir. Daha sonra çekme deneyleri yapılarak dayanım ve sertlik gibi mekanik özellikler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çekme deneyleri 100 kN kapasiteli Shimadzu Autograph üniversal çekme cihazında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.2. Deney numunelerinin kodları ve yapılan işlemler

Kod numarası	Ana metal	İlave kaynak teli metali	Kaynak akım şiddeti (amper)
41	AA 6082-T6	MAL 4043	115 A
42	AA 6082-T6	MAL 4043	125 A
43	AA 6082-T6	MAL 4043	135 A
44	AA 6082-T6	MAL 4043	145 A
45	AA 6082-T6	MAL 4043	155 A
51	AA 6082-T6	MAL 5356	115 A
52	AA 6082-T6	MAL 5356	125 A
53	AA 6082-T6	MAL 5356	135 A
54	AA 6082-T6	MAL 5356	145 A
55	AA 6082-T6	MAL 5356	155 A

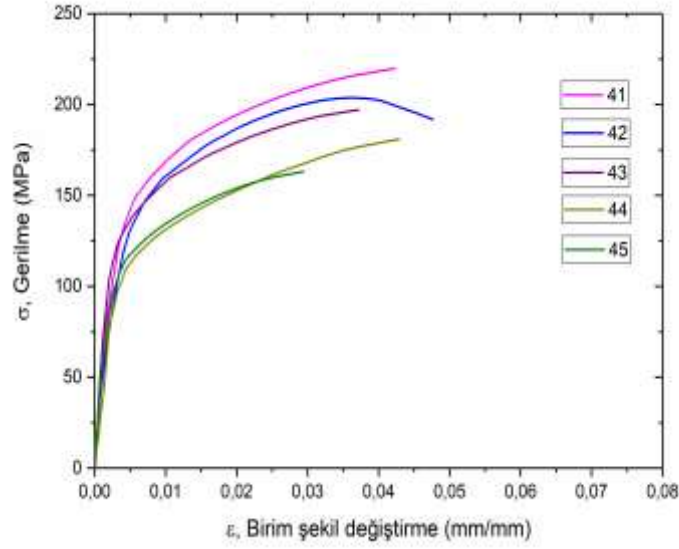
Sertlik ölçümleri için Mitutoya HV-112 marka Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılmış ve kaynak yapılan bölgeler üzerinde farklı noktalarda ölçümler yapılmıştır. Ayrıca kaynak edilen bölgelerden numuneler hazırlanarak Olympus BX51M optik mikroskop altında fotoğrafları çekilip mikro yapılarına bakılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Akma ve Çekme Deneyleri

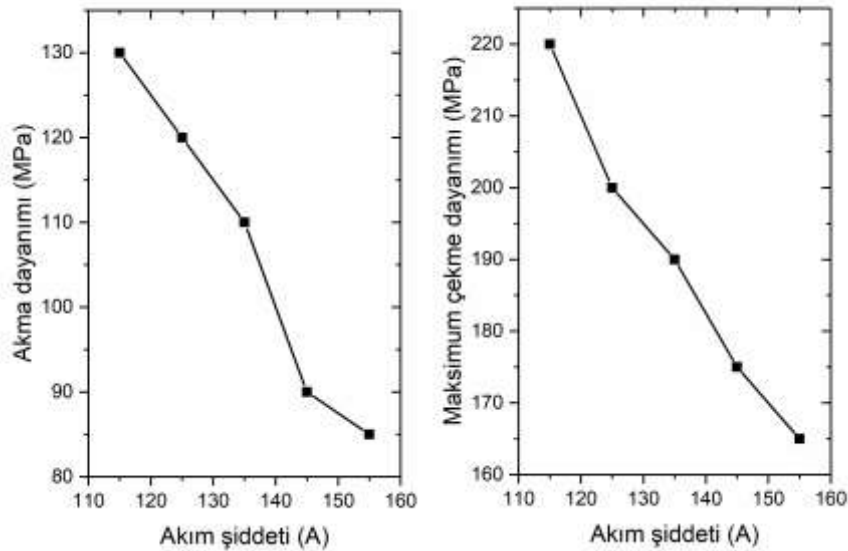
Şekil 3.1'de MAL 4043 kodlu ilave kaynak teli ile farklı kaynak akım şiddetleri seçilerek kaynak edilmiş olan numunelere ait çekme deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

K. NURVEREN, B. B. GÜNDÜZ



Şekil 3.1 Farklı akım şiddetlerinde MAL 4043 ile kaynak edilen numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri.

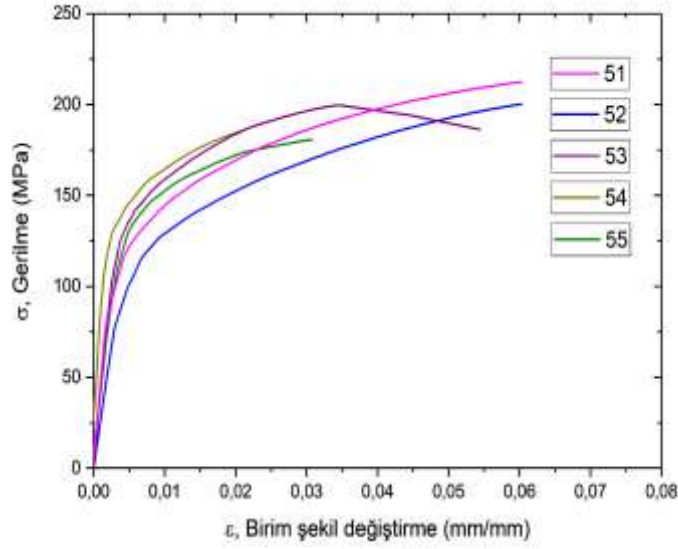
Şekil 3.2 (a) ve (b)'de ise MAL 4043 ile kaynak edilmiş tüm numunelerin kaynak işlemi sırasında seçilen akım şiddetine bağlı olarak sırası ile akma dayanımı ve maksimum çekme dayanımı değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere akma ve çekme dayanımı açısından en yüksek değerlere sahip olan numune 41 kodlu numune olmaktadır. En düşük değerlerin ise 45 kodlu numunede olduğu görülmektedir. Akım şiddeti arttıkça numunelerin hem akma hem de çekme dayanımları belirgin bir şekilde düşmektedir. 145 A ile 155 A akım şiddeti ile kaynak edilen numunelerin dayanım değerleri en düşük değerlere sahip olup birbirine oldukça yakın seyretmektedir.



Şekil 3.2 MAL 4043 ile kaynak edilen numunelerde akım şiddeti ile akma ve çekme dayanımlarının grafiği.

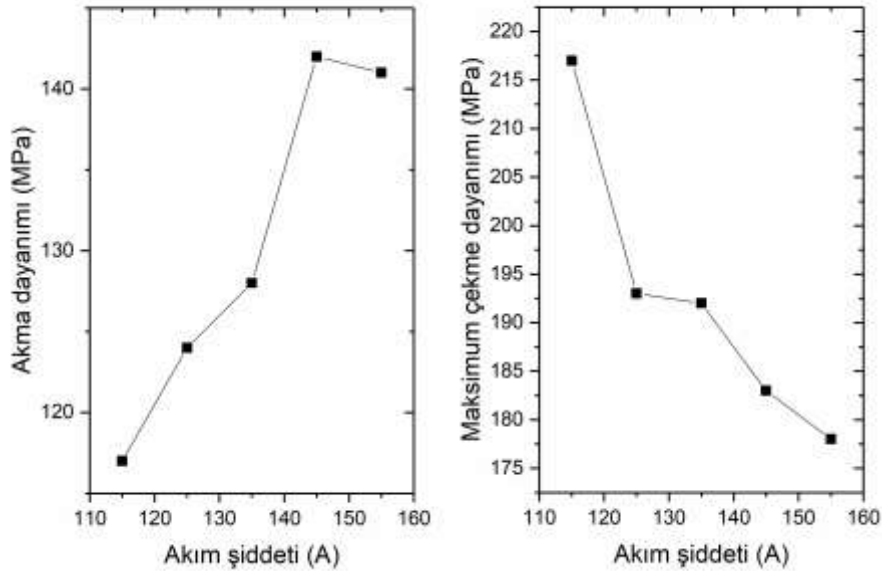
Şekil 3.3'de MAL 5356 kodlu ilave kaynak teli ile farklı kaynak akım şiddetleri seçilerek kaynak edilmiş olan numunelere ait çekme deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

## 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞI SONRASI MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ



Şekil 3.3 Farklı akım şiddetlerinde MAL 5356 ile kaynak edilen numunelere ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri.

Şekil 3.4 (a) ve (b)'de ise MAL 5356 ile kaynak edilmiş tüm numunelerin kaynak işlemi sırasında seçilen akım şiddetine bağlı olarak sırası ile akma dayanımı ve maksimum çekme dayanımı değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere numunelerin akma dayanımları kaynak esnasında seçilmiş olan akım şiddeti arttıkça artış göstermektedir. Maksimum çekme dayanımları ise düşüş sergilemektedir.



Şekil 3.4 MAL 5356 ile kaynak edilen numunelerde akım şiddeti ile akma ve çekme dayanımlarının grafiği.

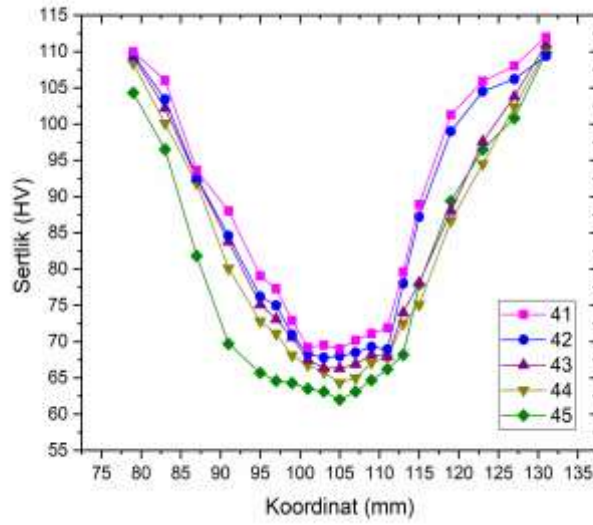
Akma dayanımı değerleri 4 serisi numunelerde artan akım şiddeti ile birlikte azalma eğilimindeyken, 5 serisi numunelerde tam tersi bir etki görülmektedir. Birim şekil değiştirme açısından bakıldığında daha yüksek akım şiddeti değerlerine çıkıldıkça birim şekil değiştirmenin azaldığı dikkat çekmektedir. Bu da numunelerde bir sertleşme olduğu izlenimini vermektedir. Çekme dayanımı açısından incelediğimizde ise 41 ve 51 kodlu numunelerde diğerlerine nazaran daha yüksek değerler olduğu fark edilmektedir. Karşılaştırmalı baktığımızda

K. NURVEREN, B. B. GÜNDÜZ

ise hemen hemen aynı akma ve maksimum çekme dayanımı gözlemlenmesine karşın, 51 kodlu numunede daha yüksek birim şekil değiştirme olduğu dikkat çekmektedir. Tüm numuneler içinde bakıldığında en yüksek birim şekil değiştirme miktarının 51 kodlu numunede olduğu gözlemlenmiştir. 51 kodlu numunede elde edilen yüksek mekanik özelliklerin altında yatan sebebin görüntüsü alınan mikro yapı fotoğrafından da koyu renkli olarak görülen AlSi esaslı çökeltiler olduğu düşünülmektedir.

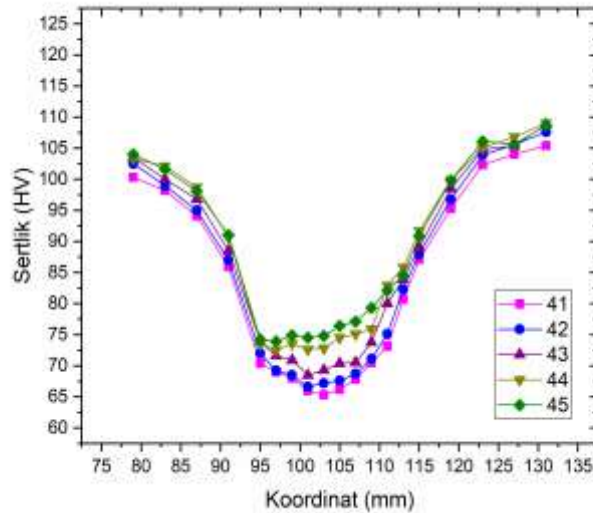
### 3.2. Sertlik Ölçümleri

Şekil 3.5 ve 3.6'da sırası ile kaynak teli 4043 ve 5356 ile MIG kaynağı yapılmış numunelerin kaynak bölgesinin tam ortasından yan eksenlere doğru mikro Vickers sertlik dağılımı gösterilmiştir. Koordinat ekseninde 105 mm'ye karşılık gelen değerler kaynak yerinin tam merkez hattını ifade etmektedir. Şekil 3.5'deki grafiklere bakılırsa, sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde (95-115 mm arasındaki koordinat değerlerinde) artan akım şiddeti ile birlikte azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.5 Kaynak teli 4043 ile kaynak edilmiş numunelerin mikro Vickers sertlik dağılımları.

Şekil 3.6'daki grafiklere bakılırsa, sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde (95-115 mm arasındaki koordinat değerlerinde) artan akım şiddeti ile birlikte arttığı görülmektedir.



Şekil 3.6 Kaynak teli 5356 ile kaynak edilmiş numunelerin mikro Vickers sertlik dağılımları.

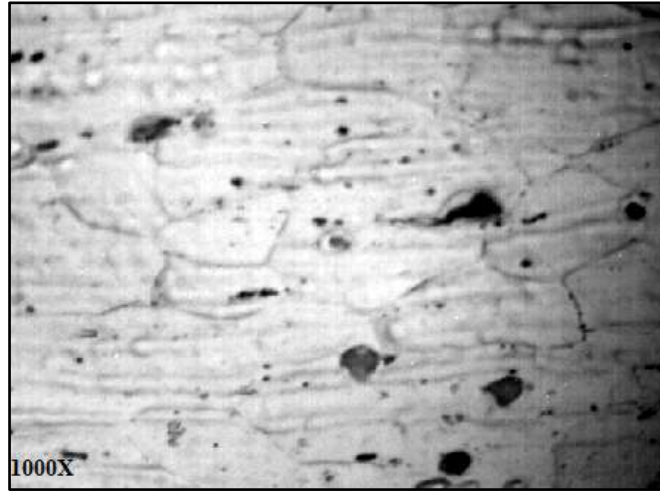


### 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞI SONRASI MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ

Sertliğin 4 serisi alaşım teller ile kaynak yapılması esnasında akış şiddeti ile birlikte düşmesi, 5 serisi alaşım teller ile kaynak işleminden sonra ise artması dikkat çekicidir. 4043 alaşımı ile 5356 alaşımı arasında kimyasal kompozisyon açısından Si ve Mg miktarlarının yüzdesi olarak fark vardır. 4043 alaşımında %5 Si, 5356 alaşımında ise %5 Mg katkısı vardır. Ayrıca 4043 alaşımı 5356 alaşımına göre daha düşük bir süneklik değerine sahiptir. Bu nedenle 4 serisi alaşımında sertlik değerleri daha yüksek çıkmaktadır.

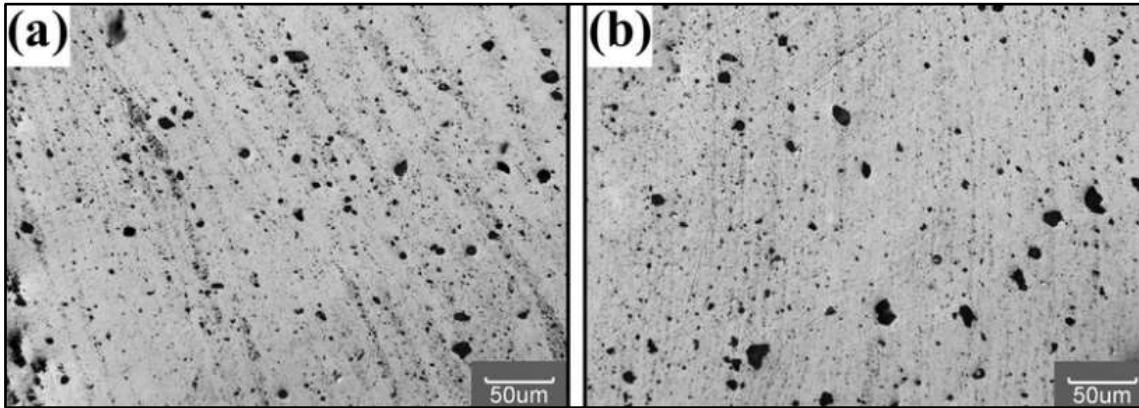
### 3.3. Mikro Yapı Analizleri

Şekil 3.6'da AA 6082-T6 alaşımının optik ışık mikroskopunda çekilen mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. Şekilde görülen mikro yapıyı oluşturan tanelerin iriliği dikkat çekmektedir. Koyu siyah renkle görülen kısımlar ise Al ve Si açısından zengin bölgeleri göstermektedir. Bu bölgelerin özellikle tane sınırlarını tercih ederek tane sınırlarında gerilme yığılmalarına ve dolayısıyla dislokasyon sayısında artışa neden olduğu ve nihai olarak da alaşımın dayanımını arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 3.6 AA 6082-T6 alüminyum alaşımının mikro yapı fotoğrafı

Mekanik incelemeler sonucunda elde edilen bilgiler ışığı altında en dikkat çekici numunelerin 41 ve 51 kodlu numuneler olduğu saptanmıştır. Bu iki kaynak bölgesinin Şekil 3.7 (a) ve (b)'de sırasıyla mikro yapıları gösterilmiştir. 41 kodlu numunede elde edilen en yüksek mekanik özelliklerin (akma ve çekme dayanımı ve sertlik değeri) altında yatan sebebin mikro yapı fotoğrafından da koyu renkli olarak görülen küresel şekilli AlSi esaslı çökeltiler olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.7 Numunelere ait kaynak bölgelerinin mikro yapıları. 42 kodlu numune (a), 54 kodlu numune (b)

#### 4. SONUÇ

Çekme dayanımı açısından incelediğimizde 41 ve 51 kodlu numunelerde diğerlerine nazaran daha yüksek değerler olduğu fark edilmektedir. Karşılaştırmalı baktığımızda ise hemen hemen aynı akma ve maksimum çekme dayanımı gözlemlenmesine karşın, 51 kodlu numunede daha yüksek birim şekil değiştirme olduğu dikkat çekmektedir. Tüm numuneler içinde bakıldığında en yüksek birim şekil değiştirme miktarının 51 kodlu numunede olduğu gözlemlenmiştir. 51 kodlu numunede elde edilen yüksek mekanik özelliklerin altında yatan sebebin görüntüsü alınan mikro yapı fotoğrafından da koyu renkli olarak görülen AlSi çökeltiler olduğu düşünülmektedir.

Akma dayanımı değerleri ise 4 serisi numunelerde artan akım şiddeti ile birlikte azalma eğilimindeyken, 5 serisi numunelerde tam tersi bir etki görülmektedir. Birim şekil değiştirme açısından bakıldığında daha yüksek akım şiddeti değerlerine çıkıldıkça birim şekil değiştirmenin azaldığı dikkat çekmektedir. Bu da numunelerde bir sertleşme olduğu izlenimini vermektedir.

Genel olarak söylenecek olursa kaynak bölgesinin sertliği kaynak edilmemiş olan bölgelere göre düşük seviyelerdedir. Numuneler içinde Vickers sertlik değerlerine bakıldığında MAL 4043 ve MAL 5356 alüminyum esaslı alaşım teller ile yapılan kaynak işlemlerinde 41 ve 55 kod numaralı numunelerde sertliğin birbirine yakın değerlerde, yaklaşık 70-75 HV olduğu ölçülmüştür. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin yeniden artış göstermek sureti ile alaşımın nominal değerlerine ulaştığı görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] SMITH, W. F., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayınları, İstanbul, 2001.
- [2] ZEYTİN, H. K., Alüminyum Alaşımaları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği, MAM MKTAE, Proje No.: 50H5602, 2000.
- [3] ASKELAND, D. R., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım, 1998.
- [4] GÜNDÜZ, B.B., AA 6082-T6 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, FBE Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, 2017.
- [5] BABU, N. K., TALARI, M. K., PAN, D., SUN, Z., WEI, J. AND SIVAPRASAD, K., "Microstructural Characterization and Grain Refinement of AA 6082 Gas Tungsten Arc Welds by Scandium Modified Fillers", Materials Chemistry and Physics, 137(2), 543-551, 2012.
- [6] CAVALIERE, P., "Friction Stir Welding of Al Alloys: Analysis of Processing Parameters Affecting Mechanical Behavior", 2nd International through-Life Engineering Services Conference, 11, 139-144, 2013.
- [7] SCIALPI, A., DE FILIPPIS, L. A. C. AND CAVALIERE, P., "Influence of Shoulder Geometry on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded 6082 Aluminium Alloy", Materials & Design, 28(4), 1124-1129, 2007.
- [8] KOUADRI-DAVID, A. AND TEAM, P., "Study of Metallurgic and Mechanical Properties of Laser Welded Heterogeneous Joints between DP600 Galvanised Steel and Aluminium 6082", Materials & Design, 54, 184-195, 2014.
- [9] ERICSSON, M. AND SANDSTROM, R., "Influence of Welding Speed on the Fatigue of Friction Stir Welds, and Comparison with MIG and TIG", International Journal of Fatigue, 25(12), 1379-1387, 2003.
- [10] RUAN, Y., QIU, X. M., GONG, W. B., SUN, D. Q. AND LI, Y. P., "Mechanical Properties and Microstructures Of 6082-T6 Joint Welded by Twin Wire Metal Inert Gas Arc Welding with the SiO<sub>2</sub> Flux", Materials & Design, 35, 20-24, 2012.
- [11] AHMAD, R. AND BAKAR, M. A., "Effect of a Post-Weld Heat Treatment on The Mechanical and Microstructure Properties of AA6061 Joints Welded by the Gas Metal Arc Welding Cold Metal Transfer Method", Materials & Design, 32(10), 5120-5126, 2011.