



NWSA-Technological Applied Sciences
ISSN: 1306-3111/1308-7223
NWSA ID: 2015.10.1.2A0089

Status : Original Study
Received: October 2014
Accepted: January 2015

E-Journal of New World Sciences Academy

Ceyhun Köse

Karabük Üniversitesi, ceyhunia@gmail.com, Karabük-Turkey

Zafer Tatlı

Sakarya Üniversitesi, ztatli@sakarya.edu.tr, Sakarya-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2015.10.1.2A0089>

**ROBOTİK MIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN 5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE KAYNAK HIZININ ETKİSİ**

ÖZET

MIG yöntemi endüstride uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında en çok tercih edilen ve aranılan bir yöntem konumuna gelmiştir. MIG yönteminin Robotla kullanılması ile yapılan kaynak işlemlerinde, kaynak operatöründen kaynaklanan hataların meydana gelmemesi bu yöntemin kullanılabilirliğini ve güvenilebilirliğini arttırıcı etkenler olmuştur. Bu konumdan yola çıkarak yapılan bu çalışmada, AA 5754 alüminyum levhalar farklı kaynak hızlarıyla robotik MIG kaynak yöntemiyle birleştirilerek mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda kaynak hızlarının değiştirilmesi ile hem mekanik özelliklerin hem de mikroyapı özelliklerinin etkilendiği sonucuna varılmış, ayrıca bu çalışmada uygun kaynak parametrelerine ulaşılarak yeterli mekanik özellikler elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçların endüstride kullanılabilirlik açısından önem arz edeceğine inanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum ve Alaşımları, Robotik, MIG, Mikroyapı, Mekanik Özellikler.

**THE EFFECT OF WELDING SPEED ON THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURE
PROPERTIES OF ROBOTIC GMAW WELDED 5754 ALUMINIUM ALLOY**

ABSTRACT

MIG method has become the most preferred and the most wanted method in the welding of all the nonferro metals and alloys due to its convenience. In the welding operations with the usage of robotic MIG method that there are no defects which arise from welding operator has been the factor that increased the availability and reliability of this method. In a study done by starting from this point, AA 5754 aluminium sheets has been welded with robotic MIG method at different welding speed and their microstructure and mechanical properties has been analyzed. In this study optimum welding parameters and sufficient mechanical properties have been reached. Also it was shown that the changed welding speed affected the mechanical properties. These ideal parameters are believed to be important in their usage in industry.

Keywords: Aluminium and Alloy, Robotic, MIG, Microstructure, Mechanical Properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde alüminyum konstrüksiyonunda en çok kullanılan kaynak metodu, ergiyen elektrotla bir koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında yapılan MIG kaynak tekniğidir. Ergiyen elektrot ile yapılan MIG gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma imkanı, çok karmaşık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir şekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır, titanyum ve alaşımları gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından bir çok avantajlar sağlamaktadır [1, 2 ve 3].

MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu iş parçasına veya kaynak masasına bağlayarak ve üfleç ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirerek ark oluşturulur. Makine telin ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar. Gazaltı kaynağı bilindiği gibi kaynak yöntemleri içinde mekanizasyona / otomasyona uygunluğu ile göze çarpmaktadır. Robotun gelişimiyle bu prosesin robotla gerçekleştirilebileceği düşünülmüş, robota uygun ekipmanların yapılabilmesiyle birlikte de uygulanmaya başlamıştır [4]. Robot, bir insan gibi kaynak işlemini gerektirdiği gibi hassas bir şekilde uygulayabilmektedir [5]. Robotlarda ağırlıklı olarak CO₂, MIG, MAG ve TIG ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. MIG yönteminin Robotla kullanılması ile yapılan kaynak işlemlerinde, kaynak operatöründen kaynaklanan hataların meydana gelmemesi bu yöntemin kullanılabilirliğini ve güvenilebilirliğini arttırıcı etkenler olmuştur [6]. Yüksek adetlerin ve ciddi kalite gerekliliklerinin söz konusu olduğu otomotiv sanayi bu gelişmeye çok çabuk tepki vermiş olup kısa sürede yüksek miktarlarda robot söz konusu sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Kaynak robotunun kullanılmasıyla, üretim verimliliği artmış, kaynakçının statüsü değişmiş, otomasyon için gerekli olan stabil kaynak kalitesine ulaşılmıştır [7]. Şu anda da en büyük robot kullanıcısı sektör otomotiv ve yan sanayileridir. Bununla birlikte beyaz eşya, genel makina ve metal sektörlerinde her geçen gün daha fazla sayıda robot kullanılmaktadır. Robotta MIG yöntemi özellikle, otomotiv ve yan sanayi alanları, ağır sanayi alanları, arazi araçları imalatı alanlarında, makine imalatı, tersaneler, kamyon, tır, dorse, treyler imalatı alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Robot tabanlı gazaltı kaynak prosesinin kazandırdıklarını aşağıda özetlemeye çalışılmıştır:

- Ürün kalitesinin artışı
- Azalan imalat maliyetleri
- Verimlilik artışı
- Çalışma ortamının iyileştirilmesi.

Robot kullanımını kısmen de olsa endüstride kullanılabilirlik bakımından kısıtlayan nedenlerde bulunmaktadır aşağıda özetlenen dezavantajları düşünen işletmeler robotun satın alınması ve böylelikle kullanımını azaltmaktadırlar;

- Robotlar düşünemez,
- Vision system, ile yalnızca kendisine öğretilen cisimleri görebilir,
- Programlanmadan çalışamaz,
- Kendisine öğretilenleri yapabildiğinden hareketleri kısıtlıdır,
- Yüksek yatırım maliyeti,

- Boşa geçen bakım ve onarım zamanları.

Ayrıca, Robotlu kaynak sistemlerin bir olumsuz tarafı da, kullanılan kaynak fikstürleri ise bu sistemlerin en önemli unsurlarının başında gelmektedir. Kaynak fikstürlerinin teknik özellikleri eğer istenilen koşulları sağlamıyorsa, istenilen ürün kalitesi elde edilememekte ve hatta üretim durma noktasına gelebilmektedir. Bazı kullanıcılar özellikle satın alma süreçlerinde sadece robot ve robot maliyetine odaklanmakta ve çok önemli olan fikstür ve diğer yan ekipmanların göz ardı edilmesi ciddi sorunlara davetiye çıkarmaktadır [8].

Bu çalışmada, AA 5754 H-22 alüminyum levhalar farklı parametrelerde ve TS EN 15614-1 standardında[9] Robotik MIG yöntemiyle birleştirilmiş, birleştirmede kullanılan doğru ve uygun kaynak parametreleri sayesinde yeterli derecede mekanik özellikler elde edilmiştir. Bu çalışmayla daha dayanıklı ve güvenli kaynaklı ürünler üretilerek ülkemiz endüstrisine katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Robotik kaynak sistemleriyle hızlı ve güvenilir kaynaklı birleştirmeler yapılabildiği günümüzde bilinen bir gerçektir. Endüstride, alüminyum ve alaşımlarının manuel olarak gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme uygulamalarının yanına alternatif bir yaklaşımla robotik MIG kaynak yönteminin sağlayabileceği mekanik ve metalurjik kazanımlar bu çalışmada deneysel olarak değerlendirilerek, özellikle ülkemiz endüstrisine sunulması amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, 2 mm kalınlığında AA 5754 H-22 alüminyum alaşımı levhalar kullanılmıştır. Deneyde kullanılan esas malzemenin H-22 özellikte olması; başlangıçta istenenden fazla dayanıma sahip, deformasyon sertleştirilmesi uygulanmış ve kısmi tavlanmış malzeme anlamı taşımaktadır [10].

Tablo 1’de deneyde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi, Tablo 2’de deneyde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir. Tablo 3’de deneyde kullanılan gazaltı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu ve Tablo 4’de gazaltı kaynak telinin mekanik özellikleri verilmiştir.

Kaynaklı birleştirme işlemi 150x300x2 mm ölçülerinde hazırlanan numunelerin yüzeyleri kimyasal çözücülerle temizlendikten sonra, Gedik holding robotik işlemler departmanında OTC marka A II-B4L (Long Reach) model 6 eksenli kaynak robotuyla, yatayda küt alın pozisyonunda kaynak işlemi DC Pulse (Darbeli akım + kutup) ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 5’de deneyde kullanılan kaynak parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 1. AA 5754 H-22 malzemesinin kimyasal bileşimi
(Table 1. The chemical composition of AA 5754 H-22 wt%)

Malzeme	% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Al
AA5754	0,311	0,22	0,025	0,35	3,2	0,164	95,382

Tablo 2. AA 5754 H-22 malzemesinin mekanik özellikleri
(Table 2. The mechanical properties of AA 5754 H-22)

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Sertlik (HV)
AA 5754	215	10,3	76

Tablo 3. Gazaltı kaynak telinin kimyasal özellikleri
(Table 3. The chemical composition of filler wire wt%)

Kaynak Teli	% Si	% Fe	% Mn	% Mg	% Al
-------------	------	------	------	------	------



AlMg5	0,25	0,4	0,3	5	94,05
-------	------	-----	-----	---	-------

Tablo 4. Gazaltı kaynak telinin mekanik özellikleri
(Table 4. The mechanical properties of filler metal)

Kaynak Teli	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama
AlMg5	110	240	17

Tablo 5. Kaynak işleminde kullanılan parametreler
(Table 5. The welding parameters)

Numune No.	Amper (A)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Gerilim (V)	Koruyucu Gaz	Gaz Debisi (lt/dk)
X-1	70	60	17	Ar	20
X-2	70	62	17	Ar	20
X-3	70	64	17	Ar	20

Kaynak işleminin DC Pulse'da yapılması ITAB'ın yanı sıra kaynak metalinin mekanik özelliklerinde iyileşmeler sağladığının bilinmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Çünkü DC Pulse özelliği kaynak bölgesinde düşük ısı girdisi oluşturmada ve yüksek kaynak metali yığıma oranı sağlamaktadır [11 ve 12]. Kaynak parametreleri, MIG kaynağında kaynağın maliyetini, kalitesini ve verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerdir [13].

Deneyde kullanılacak uygun kaynak parametrelerine ulaşılabilmesi amacıyla birçok kaynaklı birleştirmeler yapılmış ve Tablo 5.'de belirtilen kaynak parametreleri nüfuziyet bakımından en uygun parametreler olarak seçilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için her bir kaynak hızı için 3 er adet çekme deney numunesi TS 287 EN 895'de belirtilen standart ölçülerinde hazırlanmıştır. Çekme deneyi, Testometric marka Micro 500 model çekme cihazında 5mm/dk çekme hızında kopma gerçekleşinceye kadar işlem devam ettirilmiştir. Eğme deneyi için her bir kaynak hızı için 3 er adet deney numunesi TS 282 EN 910'da belirtilen standart ölçülerinde hazırlanmıştır. Mikroyapı ve makroyapı incelemeleri için çıkarılan numuneler bakalite alma işleminden sonra sırasıyla 60-80-220-480-600-800-1000-1200 meşlik zımparalar kullanılarak ve 1µ'luk elmas pasta yardımı ile keçede parlatılmıştır. Parlatılan numuneler Keller dağlayıcı ile dağlandıktan sonra Nikon marka Smz 800 model optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri, Nikon marka L 150 A model optik stereoskop ile de makroyapı incelemeleri yapılmıştır. Numunelerin sertlik ölçümleri ise Matsuzawa marka MHT-2 model mikrosertlik cihazı ile yüzeyden 0,5 mm derinlikte 1 mm aralıklarla 200g yük uygulanarak (HV0,2 kg) ölçümler gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

4.1. Çekme Deneyi (The Tensile Test)

Farklı kaynak ilerleme hızlarıyla birleştirilen numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir. Çekme deneyi sonrasında kaynaklı X-1 numaralı deney numunesinin makro fotoğrafı gösterilmiştir (Şekil 1).

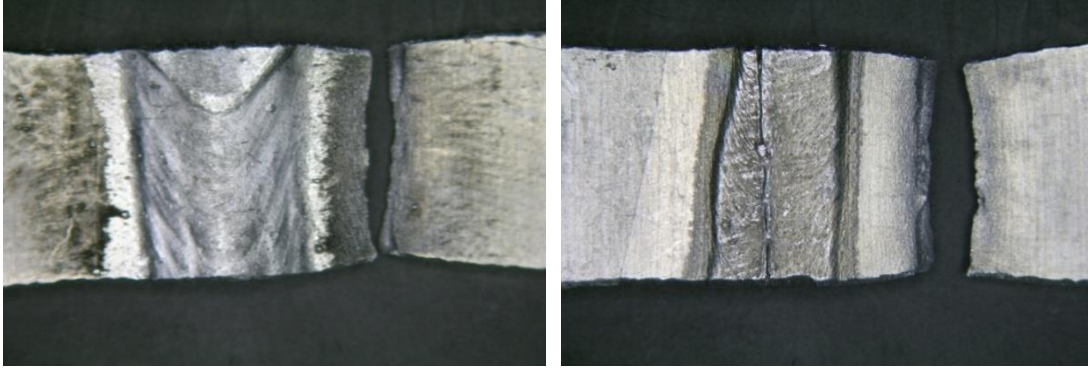
Tablo 6. Çekme deneyi sonuçları
(Table 6. The tensile test results of samples)

Numune No	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Kaynaksız Numune	131	215	13
X-1	147	216	6,2
X-2	153	220	6,3
X-3	158	224	7,1

Deney sonuçları incelendiğinde, kaynaklı numunelerin çekme dayanımı ana malzemenin çekme dayanımından az da olsa daha yüksek olduğu sonuçlardan görülmektedir. Çekme dayanımı sonuçlarına göre, deneylerde tercih edilen kaynak ilerleme hızları kaynak edilebilirlik ve mukavemet açısından kabul edilebilir değerlerde olduğu söylenebilir. 5000 serisi (Al-Mg) alüminyum alaşımları için kaynaktan sonra yeterli çekme dayanımları sağlanabildiği sonucuna ulaşılmıştır [14].

Kaynak ilerleme hızının artmasıyla ya da diğer bir ifadeyle ısı girdisinin kaynak bölgesine iletiminin azalmasıyla, birleştirmelerin çekme dayanımlarının az da olsa iyileştiği sonuçlardan anlaşılmaktadır. Çekme deneyi sonucunda numunelerin hiç birisi deney sonucunda kaynak metalinden kopmamıştır, numunelerin her birinde ITAB'a yakın bölgelerden boyun vererek kopmalar meydana gelmiştir. Kaynaklı deney numunelerinin uzama yüzdelerine ait sonuçlar incelendiğinde ise, uzama yüzdelerinde ana malzemeye göre bir miktar azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerin ana malzemeye göre yüzde uzama değerlerinin düşük değerlerde çıkması, deformasyon olaylarının büyük bir çoğunluğunun ITAB ve civarında meydana gelmesinin neden olduğu söylenebileceği gibi bu durum kaynak akımının ve koruyucu gaz olarak kullanılan argon gazının yüzde uzamaya etki ettiği de söylenebilir [15].

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında ısıl genleşme katsayılarının yüksek olması nedeniyle kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma nedeniyle oluşan sıcaklık farkları şiddetli iç gerilmeler ve çarpılar ortaya çıkartır bu olumsuz durumu göz önünde bulundurarak, daha önce de değinildiği gibi deney numunelerinin birleştirilmesinde DC Pulse (doğru akım darbeli ark) yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede, bu yöntem ile istenilen her çalışma bölgesinde kuvvetli bir büzülme (pinch effect) kuvveti uygulanması sayesinde, kısa devre oluşturmada iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak uygun çalışma ortamı sağlanmıştır. Ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanmış, böylece kaynak metalinin mekanik özelliklerini arttırmada olumlu bir etki elde edilmiştir. Ayrıca, çalışmada tercih edilen kaynak telinin (AlMg5) mekanik özelliklerin artışında olumlu etki sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 1. a-) X-1 numaralı deney numunesinin çekme deneyi sonrası görüntüsü
(Figure 1. Macro image of the welded sample after the tensile test)

4.2. Eğme Deneyi (Bending Test)

Deney numunelerinin şekillendirilebilirliği üç nokta eğme deneyi ile belirlenmiştir. Deney sürecinde numuneler 180°'ye kadar katlanmıştır. Deney sonucunda gözle yapılan kontrollere göre kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir çatlak oluşmadığı belirlenmiştir (Tablo 7.). Bu sonuçlara göre, robotik MIG kaynaklı birleştirmelerin servis şartlarında rahatlıkla şekillendirilebileceğine işaret etmiştir.

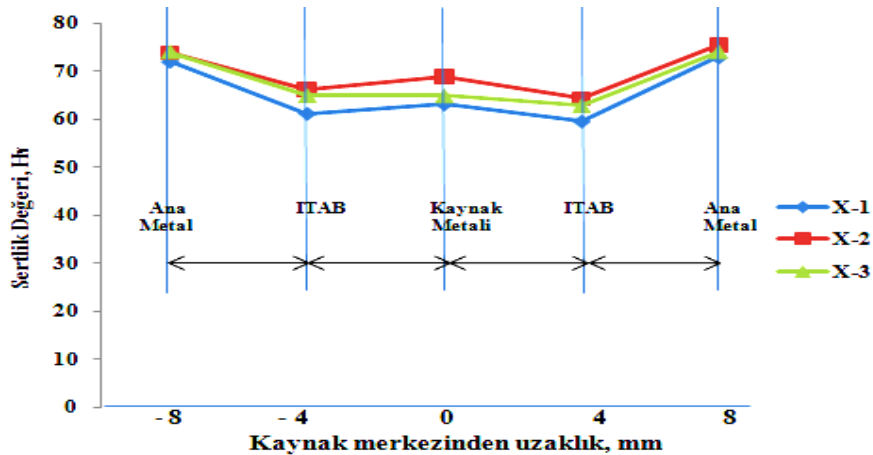
Tablo 7. Eğme deneyi sonucu
(Table 7. The bending test results)

Numune No	Eğme Açısı	Deney Sonucu
X-1; 70 Amper, 60 cm/dk	180°	Çatlama Görülmedi
X-2; 70 Amper, 62 cm/dk	180°	Çatlama Görülmedi
X-3; 70 Amper, 64 cm/dk	180°	Çatlama Görülmedi



4.3. Mikrosertlik İncelemeleri (Investigations of Microhardness)

Kaynaklı deney numunelerinin sertlik dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar grafiksel olarak Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Mikrosertlik deney sonuçları
(Figure 2. Microhardness distributions in the welded joint)

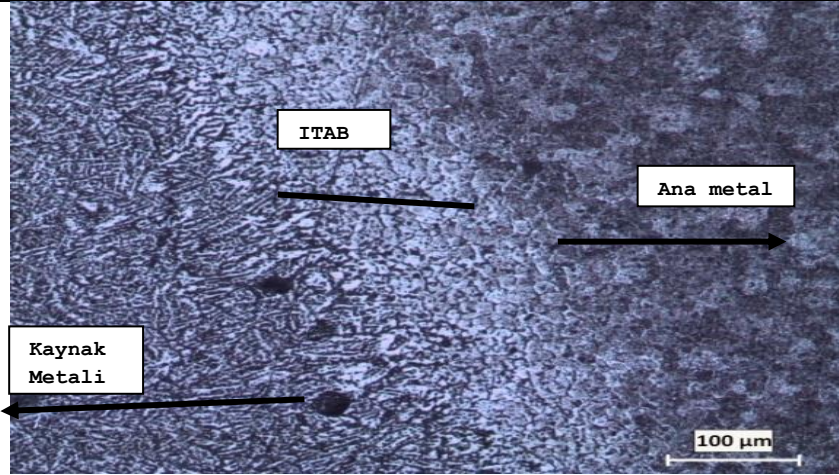
Sertlik değerlerinin bir birine yakın değerlerde olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Deney numunelerinin genel olarak ITAB'da sertliklerinin bir miktar düştüğü (ort. 63 HV), kaynak metalinde ise sertliğin biraz daha yüksek değerlere çıktığı gözlenmiştir (ort.67 HV). Kaynak metali ve ITAB'da ısı girdisinin artışıyla birlikte ana metale göre sertlik düşüşleri gözlenmiştir Kaynak metalindeki sertlik düşüşünün nedeni, yeniden kristalleşmenin oluşması sonucundan kaynaklandığı düşünülmektedir. ITAB'da ısı girdisine bağlı olarak oluşan bir miktar sertlik düşüşü kaynak metaline oranla mekanik dayanımda bir miktar azalma yaşanacağını işaret etmektedir. Çünkü, demir alaşımlarında olduğu gibi alüminyum alaşımlarının kaynağında da mekanik dayanımı etkileyen faktörlerden bir tanesi sertliktir. Sertlik miktarının artışı dayanımın artmasına neden olmaktadır [16]. Aynı zamanda, kaynak metalinde oluşan dendritik yapılar da kaynak metali sertliğini etkileyen ve arttıran faktörlerdir. Alüminyum alaşımlarının kaynağında (kullanılan ilave tele bağlı olarak) kaynak metali ve ITAB sertlik değişimlerine kaynak dikişinin katılması esnasında kaynak havuzunda meydana gelebilecek kimyasal kompozisyon (magnezyum miktarının artması veya azalması) ve mikro yapıdaki değişimlerin etki edeceği ayrıca burada vurgulanmalıdır.

4.4. Mikroyapı İncelemeleri (Investigations of Microstructure)

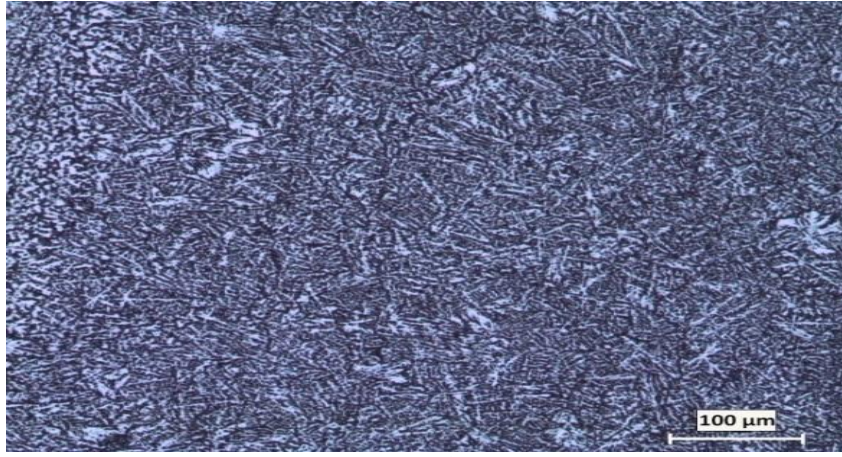
Farklı kaynak hızıyla birleştirilen numunelerin ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgesi incelenmiş fakat burada sadece en düşük kaynak hızıyla birleştirilmiş numune olan X-1 numaralı numunenin optik mikroskop görüntüleri paylaşılmıştır (Şekil 3). X-1 numaralı numuneye ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, ana metale göre, ITAB ve kaynak metaline verilen ısı girdisi nedeniyle mikroyapı görüntüleri ve tane yapıları arasında farklılıklar olduğu açık bir şekilde görülebilmektedir. Mikroyapı görüntülerinden, ana metalde homojen bir dağılımın olduğu, ITAB'da ise daha düzensiz bir yapıya geçildiği görülmektedir, ITAB'ın çok geniş bir alana dağılmadığı da gözlenmiştir. ITAB'ın boyutu kaynak bölgesindeki yapı dönüşümlerinin meydana geldiği bölgeyi belirlemektedir [17].

Bu yapı dönüşümleri ise malzemenin mekanik özelliklerini çoğunlukla olumsuz yönde etkilemektedir. Kaynak sırasında ısı girdisi ne kadar dar bir bölgede kalırsa, kaynak banyosunun katılması da daha dar bir alanda meydana geleceği ve bunun sonucunda da ITAB daha dar bir bölgede oluşacağı vurgulanmaktadır [18].

Kaynak metali bölgesinde ise dendritik bir yapı görülmektedir, bu dendritler kaynağın soğuması esnasında oluşmuştur, kaynak metalinde oluşan bu dendritler soğuma hızına bağlı olarak boyutlarında farklılıklar arz ettiği gözlenmiştir. Dendrit oluşumu, yapısal aşırı soğuma sonucu kararsız ve düzlemsel olan katı-sıvı ara yüzeyinin kırılmasıyla başlar ve gelişir [19]. Kaynak metalinde çatlaklara rastlanılmamasının bir sebebi bu dendritik yapının ince bir yapıda meydana gelmesinden ileri geldiği düşünülmektedir. Kaynak metalinin dendritik yapısının ince yapıda olması neticesinde, kaynak metalinin tokluğunun da fazla olacağı ifade edilmektedir [20].



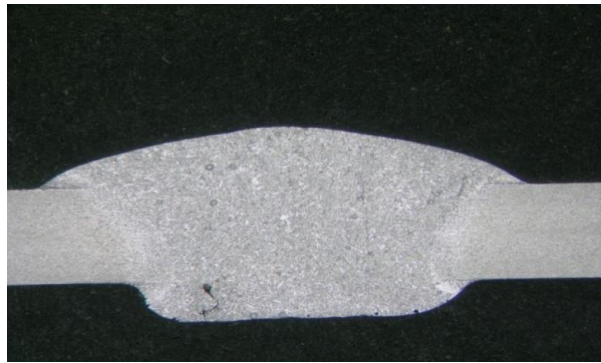
Şekil 3. a-) X-1 Deney numunesinin genel mikroyapı görüntüsü,
(Figure 3. Microstructure image of welded joint X-1)



b-) Kaynak metali (Weld metal)

4.5. Makroyapı incelemeleri (Investigation of Macrostructure)

Deney numunelerinin kaynak kesitlerinden alınan makro görüntüler Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. a-) X-1 Numunesi makroyapı genel görüntüsü
(Figure 4. Macro image of welded X-1 sample)



b-) X-2 Numunesi makroyapı genel görüntüsü
(Macro image of welded X-2 sample)



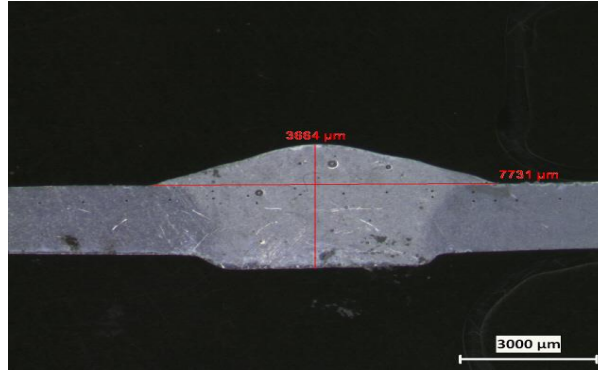
c-) X-3 Numunesi makroyapı genel görüntüsü
(Macro image of welded X-3 sample)

Makro yapılar da, kaynak metalinde görülen gözeneklilik, kullanılan kaynak telinin ve koruyucu gazın, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında neden olabileceği normal bir durumdur, gözenek boyut ve miktarları kabul edilebilir sınırlardadır, bu görüşü mekanik deney sonuçlarından elde edilen veriler desteklemektedir. Porozite oluşumu, alüminyumun hidrojen çözünürlüğünün sıvı haldeki hali katı haldekinden çok daha yüksek olması, dolayısıyla kaynak dikişine kaynak işlemi esnasında giren hidrojenin katılaşma esnasında gaz olarak açığa çıkması şeklinde oluşum göstermektedir [21]. Makroyapı fotoğraflarında da görüleceği üzere kaynaklı numunelerin her biri uygun parametrelerde birleştirilmesi sebebiyle numunelerde yetersiz nüfuziyet hatalarına rastlanmamış, deney numuneleri tam nüfuziyetle birleştirildiği anlaşılmıştır. Ayrıca, kaynak işleminde koruyucu gaz olarak saf argon gazının da kullanılması düşük ısı iletkenliği sayesinde spre y ark transferi oluşturmuş, spre y ark orta ve yüksek kaynak akımlarında damlacık çapı kaynak teli çapından daha küçük çapta oluşması sayesinde kaynak arkının iyi bir şekilde penetrasyonunu sağlamıştır [22]. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında argon gazı kullanılmasıyla, kaynak arkının stabil ve kontrol edilebilir olmasına yardımcı olarak [23], kaynaklı bağlantılardan beklenen mekanik dayanımların elde edilmesini desteklemiştir.

4.6. Deney Numunelerinin Kaynak Damla Geometrileri (Calculation of Weld Bead Geometry)

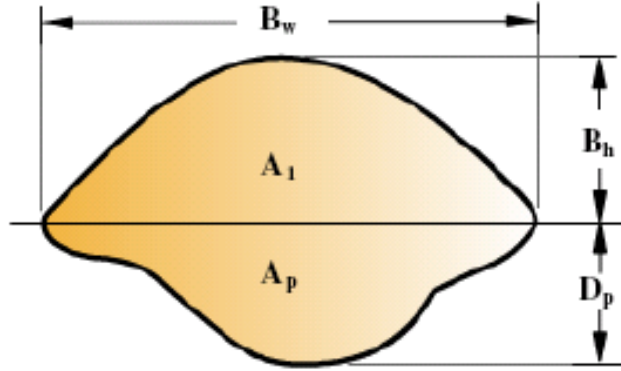
Deney numunelerinin kaynak damla geometrilerinin makro fotoğrafları (Şekil 5) bize kaynak parametrelerinde uygunluğu, nüfuziyet durumunu, kaynak dikiş biçimi ve geometrisini tam manasıyla açıklayabilir. Makro görüntülerden de anlaşılacağı üzere kaynak ilerleme hızı azaldıkça metal yığılma oranının arttığı ve bu artışın da

kaynak damla geometrisinde de alan bazında artışa neden olduğu hesaplanarak belirlenmiştir (Şekil 6. ve Tablo 8.)



Şekil 5. X-3 Numunesinin kaynak damla geometri görüntüsü ve boyut hesabı

(Figure 5. Image of weld bead geometry and calculation of weld bead geometry)



Şekil 6. Kaynak damla geometrisi hesaplamasında kullanılan formül(1).

(A_p : Nüfuziyet alanı, Damla alanı: $A_1 + A_p$)

(Figure 6. Prediction of weld bead geometry were calculated using the equation (1).)

Tablo 8. Deneysel numunelerin kaynak damla alanı geometrileri
(Table 8. Results of calculated weld bead geometry)

Numune No	B_h (mm)	B_w (mm)	D_p (mm)	A_1 (mm ²)	A_p (mm ²)	Damla Alanı (mm ²)
X-1	1,1	8,2	3,1	4,51	12,7	17,2
X-2	1,3	7,7	2,4	5	9,2	14,2
X-3	1,3	7,7	2,3	5	8,8	13,8

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Numunelerin kaynak dikiş geometrilerinde gözle görülebilir bir hataya rastlanmamıştır.
- Çekme deneyi sonucunda deney numunelerinin hiçbirisi kaynak metalinden kopmamış, kopmalar ITAB'a yakın bölgelerden gerçekleşmiştir.
- Sertlik ölçümleri sonucunda, deney numunelerinde ortalama değerler olarak beklenildiği gibi en sert bölgeler ana metal bölgesi bulunmuş, ana metal sertliğine yakın değer olarak kaynak metali, daha sonra da ITAB bulunmuştur.
- Deneysel numunelerin mikroyapı görüntülerinden, farklı kaynak hızlarında farklı içyapı görüntüleri elde edilmiştir.

- Kaynaklı birleştirmelerde DC Pulse akımı kullanılması sonucunda düşük ısı girdisi sağlanmış ve bu sayede numunelerin hiçbirinde çarpılma gözlenmemiş ayrıca yeterli mekanik dayanım elde edilmesini desteklemiştir.
- Deneylerde seçilen kaynak parametreleri ile; kaynak dikiş formu, mekanik özellikler, kaynak mukavemeti ve mikroyapı özellikleri bakımından yeterli ve ideale yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Robotik MIG kaynak yöntemi hızlı ve dolayısıyla ergime gücü yüksek olması sayesinde daha hızlı kaynaklı birleştirmeler ve daha kaliteli kaynak dikişleri elde edilmesini sağlamıştır.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar, desteklerinden dolayı Sakarya Üniversitesi BAP birimine, çalışmadaki kaynaklı birleştirmelerin yapılmasında büyük özveri gösteren Kaynak Müh. Kamil KURNAZ'A, Robot Uzm. Efe ERDEM'E, Robot teknisyeni Erhan BEY'E, Gedik Holding Eğitim Şefi Mehmet TURHAN'A ve tüm imkanlarını sunan GEDİK Holding'e, KOSGEB Metalurji Müh. Engin DEDE ve ekibine, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Murat ÇOLAK'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kurşun, T., (2006). Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı, Metal Makine Dergisi.
2. Pires, N.J., Loureiro, A., Godinho, T., Ferreira, P., Fernando, B., and Morgado, J., (2002). Object oriented and distributed software applied to industrial robotic welding, Industrial Robot: An International Journal, Vol. 29 Iss: 2, pp.149 - 161.
3. Ueyama, T., Ohnawa, T., Yamazaki, K., Tanaka M., Ushio, M., and Nakata, K., (2005). High-Speed Welding of Steel Sheets by The Tandem Pulsed Gas Metal Arc Welding System, Transactions of JWRI, Vol.34, No.1.
4. Gök, G.V. ve Afyon, Ç., (1999). Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 225.
5. Dahlen, P. and Bolmsjö, G., (1996). Human Factors in The Justification of Advanced Manufacturing Systems, International Journal of Human Factors in Manufacturing, s. 147-162.
6. Yumurtacı, S. ve Mert, T. (2009). Ark Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikleri Ve Robotik Ark Kaynak Hücresinin Elemanları, Mühendis ve Makine, Cilt 50, Sayı 591.
7. Chen S.B., and Qiu, T., (2004). Intelligent technologies for robotic welding, Intelligence and Automaton, LNCIS 299, s.123-143.
8. www.turkcadcam.net/rapor/robotlu-kaynak/.
9. TS EN 15614-1, (2007). Metalik Malzemeler için Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması.
10. Smith, W.F., (2001). Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımlar, Nobel Yayın Dağıtım, s. 2,602.
11. Park, H.J. and Kim, D.C., (2008). Optimisation of The Wire Feed Rate during Pulse MIG Welding of Aluminium Sheets, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 27, s. 83-86.
12. Ghazvinloo, H.R. and Raouf, A.H., (2010). Effect of Arc Voltage, Welding Current and Welding Speed on Fatigue Life, impact energy and bead penetration of AA 6061 joints produced by robotic MIG welding, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 3, s. 156-162.

13. Glosch, P.K. and Sherma, V., (1991). Chemical Composition and microstructure in pulsed MIG welded Al-Zn-Mg alloy, Materials Transactions, JIM, Vol. 32, No.2, s. 145-150.
14. Larsson, L.O. and Palmquist, N., (2000). High Quality Aluminium Welding - A Key Factor in Future Car Body Production, Svetsaren nr 2, s. 14.
15. Anık, S. ve Tülbentçi, K., (1991). Gedik Holding Yayınları, İstanbul, s.60.
16. Moon, D.W. and Metzbower, E.A., (1982). Laser Beam Welding of Aluminum Alloy 5456, WELDING RESEARCH SUPPLEMENT, pp.53-86.
17. Külekçi, M.K. ve Şık, A., (2003). "Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhalarının birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri", Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, 24 - 25 Ekim 2003 / Kocaeli ISBN: 975-395-653-3, pp.77-87
18. Yükler, İ. ve Çanacık, A., (2002). Marmara Üni. T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü, Kaynak Bölgesinde Isı Akışı Ders Notları, s.12.
19. Çolak, M. ve Kayıkçı, R., (2009). Kuma Dökülen Etial 160 Alüminyum Alaşımında Tane İnceltmenin Beslenebilirlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.
20. Yılmaz, R. ve Uzun, H., (2002). TIG ve MIG Yöntemleriyle Birleştirilmiş Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences, 2002.
21. ÇAM, G., (2005). Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımları için Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi, 46, 541, 30-39.
22. Wang, F. and Hou, W.K., (2003). Modelling and Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 36, s. 1143-1152.
23. PLC Air Products. (1999). Welder's Handbook, Gas shield welding, oxy fuel cutting and plasma cutting, Published by Air Product PLC 3. Edition, pp. 28.