



Demiryolu Araçlarında Kullanılan AW 6061 T6 Alüminyum Alaşımlarının MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Serbest Tel Boyunun Mekanik Değerler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Sedat DAĞLARAŞTI*^{ID}, Faruk VAROL^{ID}, Cihan YAKUPOĞLU^{ID} Salim ASLANLAR^{ID}

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

*sedatdaglarasti@gmail.com

(Alınış/Received: 03.12.2023, Kabul/Accepted: 06.01.2024, Yayınlama/Published: 31.01.2024)

Öz: Bu çalışmada demiryolu araçları sektöründe özellikle hızlı tren gövde ve şasilerinin imalatında kullanılan AW 6061 T6 serisi alüminyum alaşımları MIG (metal inert gaz) kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Çalışma kapsamındaki tüm numunelere PA (kaynak torcunun iş parçasına olan açısı 90° konumunda yapılan kaynak) pozisyonunda BW (alın birleştirme) uygulanmış ve birleştirme işlemlerinde 150x300x3 mm ebatlarında plakalar kullanılmıştır. Mukavemet değerlerinin kıyaslanabilmesi için kaynaklı numunelere çekme testi, çentik darbe testi, sertlik testi uygulanmış, birleştirme bölgeleri makrografi ve mikrografi muayene ile incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: AW 6061, Alüminyum, Kaynak, Demiryolu, MIG

Investigation of the Effect of Free Wire Length on Mechanical Values in Joining AW 6061 T6 Aluminum Alloys Used in Railway Vehicles with MIG Welding Method

Abstract: In this study, AW 6061 T6 series aluminum alloys, which are used in the railway vehicles industry, especially in the manufacturing of high-speed train bodies and chassis, were combined with the MIG (metal inert gas) welding method. BW (butt joint) was applied to all samples within the scope of the study in the PA position (welding performed at 90° angle of the welding torch to the workpiece) and plates with dimensions of 150x300x3 mm were used in the joining processes. In order to compare the strength values, tensile test, notch impact test and hardness test were applied to the welded samples, and the joint areas were examined by macrography and micrography examination.

Keywords: AW 6061, Aluminum, Welding, Railway, MIG

1. Giriş

1.1. Alüminyumun başlıca özellikleri

Alüminyum yer kürede diğer metallere birleşik durumda bulunmakta olup yer kürede bulunan tüm metaller içerisindeki oranı %8'dir. Bununla beraber kalay, altın, kurşun, demir ve bakır gibi metallerden uzun zaman sonra keşfedilmiş, endüstride yaklaşık olarak son 100-110 yıl içerisinde kullanılmaya başlanmıştır [1-4].

Mekanik açıdan sahip olduğu özellikler neticesinde endüstrinin birçok alanında kendisine çeşitli kullanım yerleri bulmuştur. Alüminyumun endüstride tercih edilmesinin başlıca sebepleri aşağıda verilmiştir;

- Hafiflik,
- Korozyon direnci,
- Şekillendirilebilirlik,

Atıf için/Cite as: S. Dağlaraştı, F. Varol, C. Yakupoğlu, S. Aslanlar, "Demiryolu araçlarında kullanılan AW 6061 T6 alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde serbest tel boyunun mekanik değerler üzerindeki etkisinin incelenmesi" *Demiryolu Mühendisliği*, no. 19, pp. 214-224, Jan. 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1399502

- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği,
- Geri dönüşüm,
- Alaşımlandırma ile sağlanabilen üstün mekanik özellikler [5].

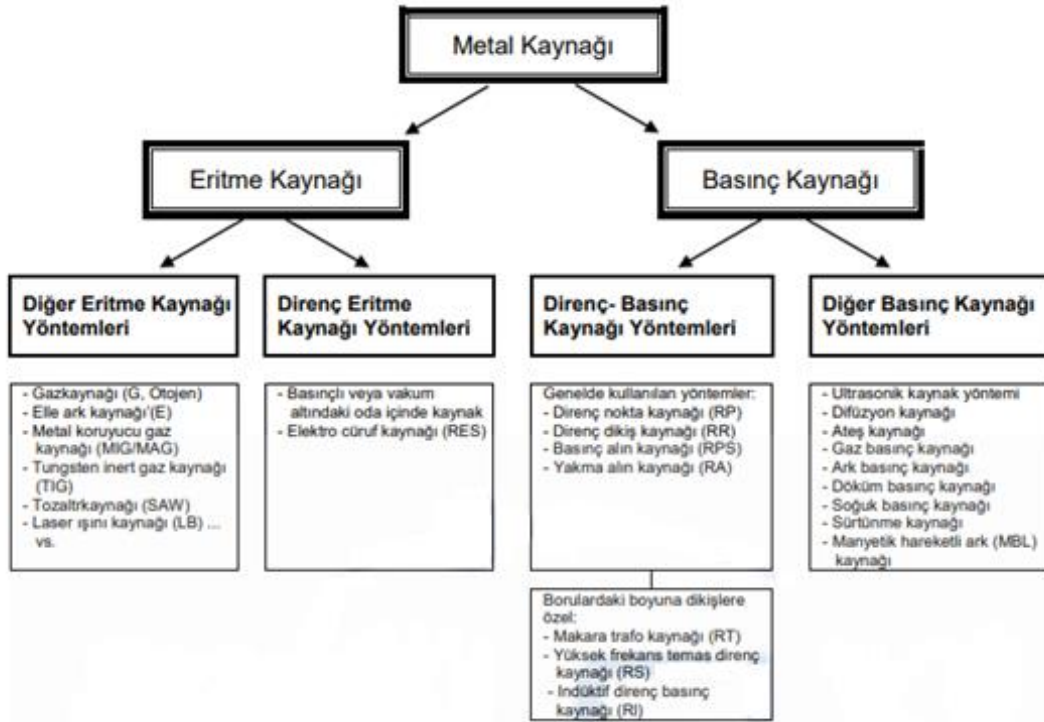
Alüminyum $2,7 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğuyla endüstride yaygın olarak kullanılan metaller arasında en hafif olanıdır. Alüminyumun hafif olması, alüminyum ve alaşımlarının endüstride kullanımını oldukça cazip hale getirmektedir [5, 6]. Aşağıda Tablo'1'de bazı metal malzemelerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Bazı metal malzemelerin fiziksel özellikleri [5]

Malzeme Kalitesi	5083	6061 T6	S235JR	S355JR	AISI 304
Çekme Dayanımı (MPa)	305	285	410	550	660
Akma Dayanımı (MPa)	170	260	240	360	300
Uzama (%A)	22	12	24	20	54
Young Modülü (MPa)	71	69,5	210	210	210
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,66	2,70	7,8	7,8	7,9
Lineer Genleşme Katsayısı ($10^{-6} \times [^{\circ}\text{C}]^{-1}$)	23,8	23,6	11,7	11,7	17,5

1.2. Kaynak tekniği ve MIG kaynak yöntemi

Kaynak; malzemelerin dışarıdan ısı enerjisi sağlanarak veya sağlanmayarak, herhangi bir basınç işlemi uygulanarak veya uygulanmayarak, ergime sıcaklığı ve kimyasal kompozisyonu ana malzemeyle denk bir ilave malzeme kullanılarak veya kullanılmayarak, sürekli bir yapıya sahip olacak şekilde birleştirilmesi işlemidir [7]. Kaynak yöntemlerinin temel sınıflandırılması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kaynak yöntemlerinin temel sınıflandırılması [7]

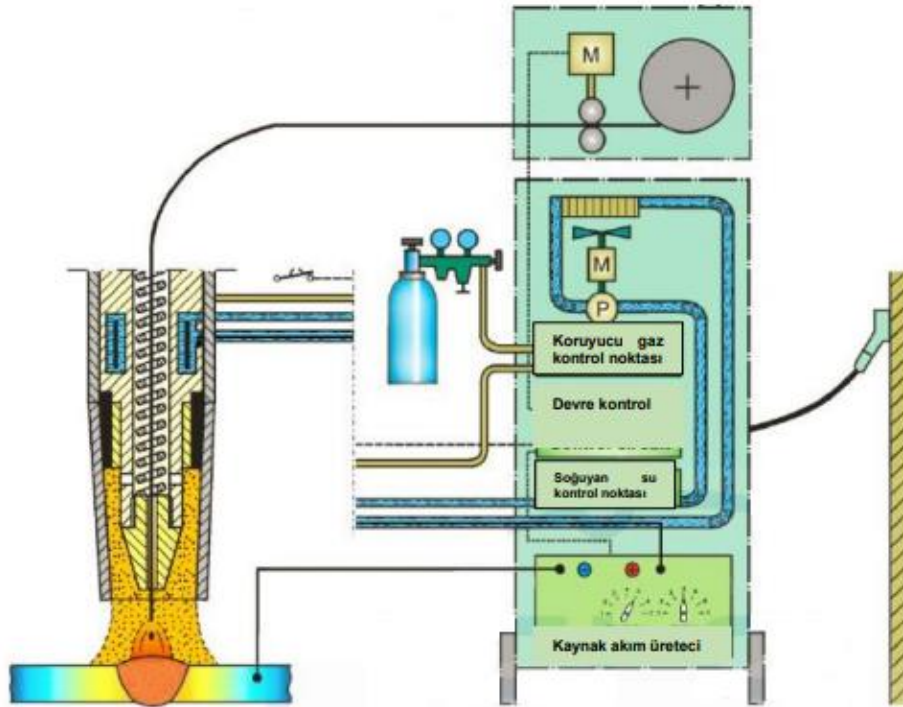
1.3. Metal koruyucu gaz kaynağı (MIG/MAG)

Sonsuz olarak tabir edilen rulo makaralardan sarılı tel elektrotlar cihazın gövdesinde bulunan tel sürme mekanizmasından geçerek koruyucu gaz atmosferi içerisinde yanan kaynak arkına doğru sürülür. MIG kaynak yönteminde kullanılan bütün koruyucu gazlar (Ar, He, Ar+He) asal gazdır. MAG kaynak yönteminde ise aktif gaz kullanılır. Bu iki yöntem arasındaki en temel fark budur. Akım üreten üreteç yatay karakteristiğe sahiptir. Yani kaynakta kullanılan parametrelerden gerilim değeri sabittir. Kaynak amper değerlerine bağlı olarak işlem esnasında farklı ark formları oluşturulabilir. Bunlardan darbeli ark alüminyum ve paslanmaz malzemelerin kaynağında büyük avantaj sağlar [8, 9, 10].

MIG/MAG kaynağı uygulanan malzemeler;

- Düşük alaşımlı ve alaşımsız çelikler,
- Yüksek alaşımlı çelikler,
- Paslanmaz çelikler,
- Alüminyum malzemeler [8, 9, 10].

Birçok metal malzemeye uygulanabilen MIG/MAG yöntemine ait kaynak makinasının şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. MIG/MAG kaynak makinasının şematik gösterimi [7]

2. Metot

Bu çalışmada demiryolu araçlarında özellikle de hızlı tren imalatında kullanılan ve kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilen EN AW 6061 T6 alüminyum alaşımı malzeme kullanılmıştır.

Tablo 2. EN AW 6061 T6 malzemenin kimyasal kompozisyonu (%)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
0,451	0,653	0,123	0,144	0,0466	0,242	0,844	0,0612	97,5

150x300x3mm ölçülerinde hazırlanan AW 6061 T6 alüminyum plakalar Tablo 3'te belirtilen kaynak parametreleri ve gaz altı MIG kaynak makinası ile PA pozisyonunda, alın altına (BW) ve kaynak ağzı açılmadan birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kaynak altlığı olarak AISI 304 paslanmaz, kaynak koruma gazı olarak I1 (%100 Ar) ve ilave kaynak metali olarak ise 1,2 mm çapında 5356 (AlMg5) masif tel kullanılmıştır. Çalışma boyunca parametreler sabit tutularak farklı serbest tel boylarında numuneler birleştirilmiştir. Çalışmalarda 7,5 mm serbest tel boyu ile birleştirilen numune 10, 15 mm serbest tel boyu ile birleştirilen numune 11 ve 25 mm serbest tel boyu ile birleştirilen numune ise 12 numaraları ile kodlanmıştır.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri

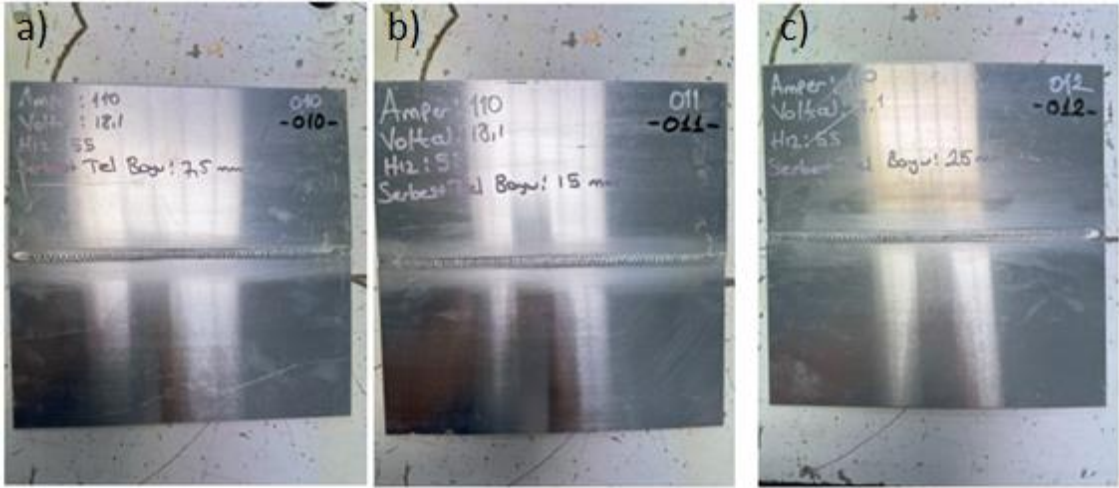
Numune Kodu	Akım (A)	Gerilim (V)	İlerleme Hızı (cm/dk)	Tel Besleme Hızı (m/dk)	Gaz Debisi (lt/dk)	Serbest Tel Boyu (mm)
10	110	18,1	50	5,6	12	7,5
11	110	18,1	50	5,6	12	15
12	110	18,1	50	5,6	12	25

Çalışmada gaz altı MIG kaynak makinası olarak Şekil 3.'te verilen Fronius TPS 400İ marka kaynak makinası kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan MIG kaynak makinası

Şekil 4'te kaynaklı parçalar gösterilmiştir. Birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için kaynaklı çekme test numuneleri ISO 4136, çentik darbe test numuneleri ISO 9016, sertlik test numuneleri ISO 9015 standartlarına göre Şekil 5'teki gibi hazırlanmış ve ilgili testler uygulanmıştır [11]. Hataları minimize etmek için her bir parçadan 3 adet çekme ve 6 adet çentik darbe test numunesi hazırlanmıştır. Çentik darbe test numuneleri, 2 adet ana malzeme, 2 adet ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) ve 2 adet kaynak dikişi bölgelerinden olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 4. Kaynaklı parçalar a) Serbest tel boyu: 7,5 mm b) Serbest tel boyu 15 mm c) Serbest tel boyu 25 mm



Şekil 5. Kaynaklı parçalardan hazırlanan test numuneleri a) Serbest tel boyu 7,5 mm b) Serbest tel boyu 15 mm c) Serbest tel boyu 25 mm

Çalışmalarda spektral analiz için Spectrolab 5M, çekme testi için Instron 300DX, çentik darbe testi için Instron 300FT, sertlik testi için Qness Q700M cihazları kullanılmış ve kullanılan cihazlar Şekil 6'da verilmiştir.



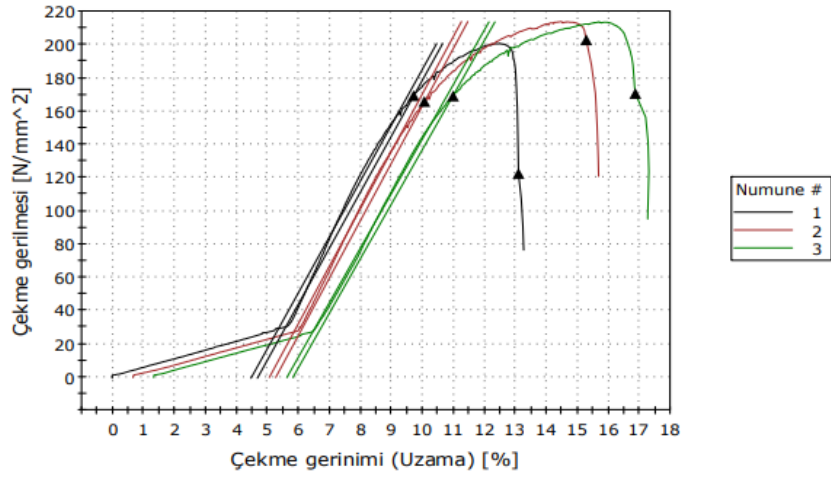
Şekil 6. Testler için kullanılan cihazlar a) Spektrometre cihazı b) Çekme test cihazı c) Çentik darbe test cihazı d) Sertlik test cihazı

3. Bulgular

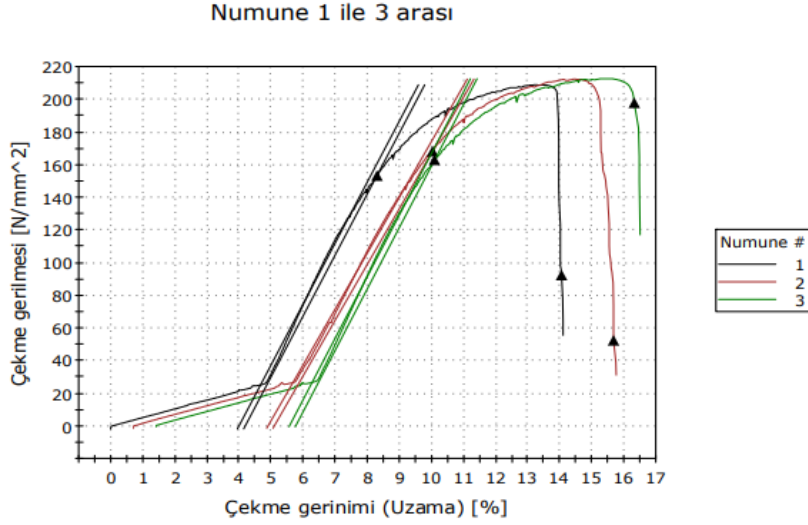
3.1. Çekme testi sonuçları

Farklı serbest tel boyları ile birleştirilen numunelere uygulanan çekme testi sonuçları Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Çekme testi TS EN ISO 6892-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

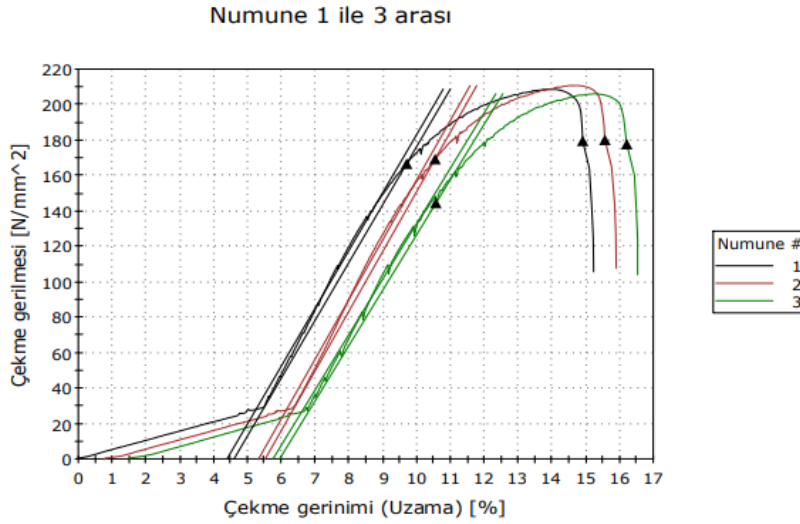
Numune 1 ile 3 arası



Şekil 7. 10 numaralı numunenin çekme test sonucu



Şekil 8. 11 numaralı numunenin çekme test sonucu



Şekil 9. 12 numaralı numunenin çekme testi sonucu

Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, 7,5 mm serbest tel boyu ile kaynak edilen numunenin ortalama akma dayanımı 167 MPa, çekme dayanımı 208 MPa, uzama değeri %10,1 olarak ölçülmüştür. 15 mm serbest tel boyu ile kaynak edilen numunenin ortalama akma dayanımı 161 MPa, çekme dayanımı 210 MPa, uzama değeri %9,3 olarak ölçülmüştür. 25 mm serbest tel boyu ile kaynak edilen numunenin ortalama akma dayanımı 159 MPa, çekme dayanımı 208 MPa, uzama değeri % 7,5 olarak ölçülmüştür.

“EN 15614-2 Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması– Alüminyum ve alaşımlarının ark kaynağı” standardının Çizelge 2 kısmında, çekme deneyi sonucu kaynaklı malzeme çekme mukavemetinin, ana malzemenin çekme mukavemetinin %70 ve daha yukarısında olması kabul kriteri olarak belirtilmiştir. Sonuçlar tüm serbest tel boyları için kaynaklanabilirlik açısından kabul edilebilir değerlerdedir.

Serbest tel boyu arttıkça akma dayanımında ve uzama değerinde düşüş görülmektedir. En yüksek çekme dayanımı 15 mm serbest tel boyu ile kaynak edilen numunede gözlenmiştir.

3.2. Çentik darbe testi sonuçları

Kaynaklı birleştirmelerin ani bir kuvvet karşısında ve farklı sıcaklıklardaki davranışlarını belirlemek için ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişi bölgesinden 2'şer adet numune hazırlanarak darbe testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir. Çentik darbe testi TS EN ISO 9016 standardına göre V çentik açılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Çentik darbe testi sonuçları

Numune Kodu	23 °C'de Darbe Tokluğu (J)			-20 °C'de Darbe Tokluğu (J)		
	Ana Malzeme	ITAB	Kaynak Dikişi	Ana Malzeme	ITAB	Kaynak Dikişi
10	33	33	27	33	33	30
11	33	33	33	33	33	33
12	33	27	27	33	30	27

Sonuçlardan 25 mm serbest tel boylu numune için darbe enerjisinde azalma olduğu, 7,5 mm ve 15 mm serbest tel boylu numunelerde ise ana malzeme ve ITAB bölgelerinde darbe enerjisinin aynı olduğu fakat kaynak dikişinde en yüksek darbe enerjisinin 15 mm serbest tel boylu numunede gözlemlendiği anlaşılmaktadır.

3.3. Sertlik testi sonuçları

Numunelerin sertlik dağılımları belirlenmiş, ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgelerinden ölçülmüştür. Belirlenen sertlik değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

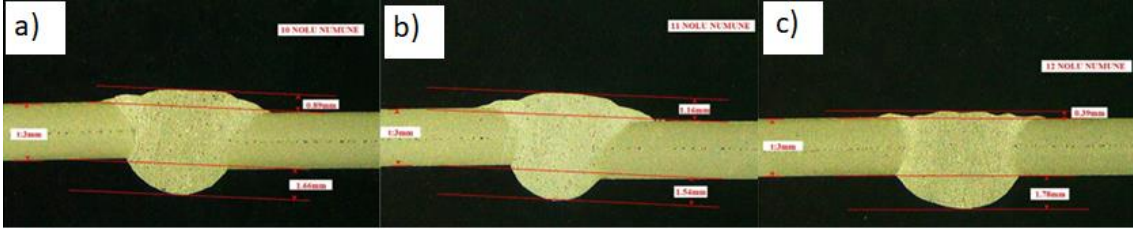
Tablo 5. Sertlik testi sonuçları

Numune Kodu	Ana Malzeme (HV)	ITAB (HV)	Kaynak (HV)
10	69	54	59
11	71	55	61
12	69	52	59

Sonuçlardan görüleceği üzere her 3 numune için de kaynak dişi ile ana malzeme arasında kayda değer bir sertlik farkı gözlenmemiştir. Bu beklenen bir durumdur. Alüminyumun içyapı olarak ısıdan etkilenmeyen bir malzeme olması ve ilave kaynak metali olarak ana malzemeye benzer özellikte dolgu malzemesi kullanılması bu durumun temel sebeplerindedir. Diğer taraftan ITAB sertlikleri ana malzeme ve kaynak dikişinden düşük ölçülmüştür. Bunun sebebi faz geçişi bölgesinde tane yapılarının irileşerek faz çizgisinin yumuşamasına sebep olmasıdır.

3.4. Makrografi sonuçları

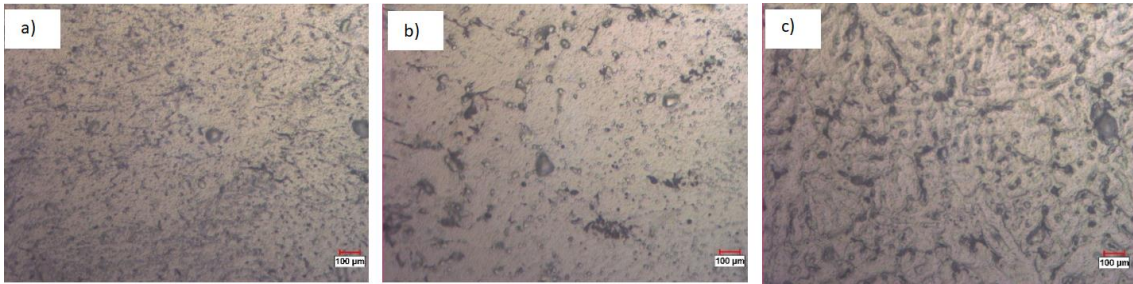
Her üç numuneye ait makrografi görüntüleri Şekil 10' da gösterilmiştir. Görüleceği üzere tüm numunelerde kök ve yan duvar nüfuziyetleri kabul edilebilir seviyededir. Ancak en düşük kaynak kepi ölçüsü 25 mm serbest tel boyu ile kaynak edilen 12 numaralı numunede ölçülmüştür. Bunun sebebinin, çok uzun serbest tel boyunun uzun ark üretmesi ve hava akımından kaynaklı kaynak arkının kaynak bölgesi dışına hareketlenmesi olduğu değerlendirilmiştir.



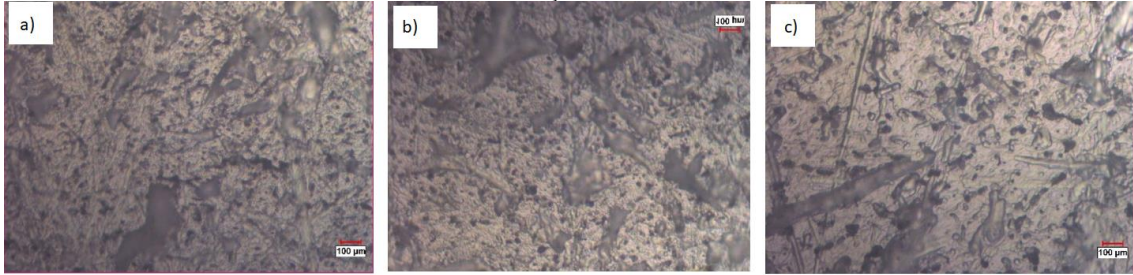
Şekil 10. Numunelerin makrografi görünümü a) 10 numaralı numune b) 11 numaralı numune c) 12 numaralı numune

3.5. Mikrografi sonuçları

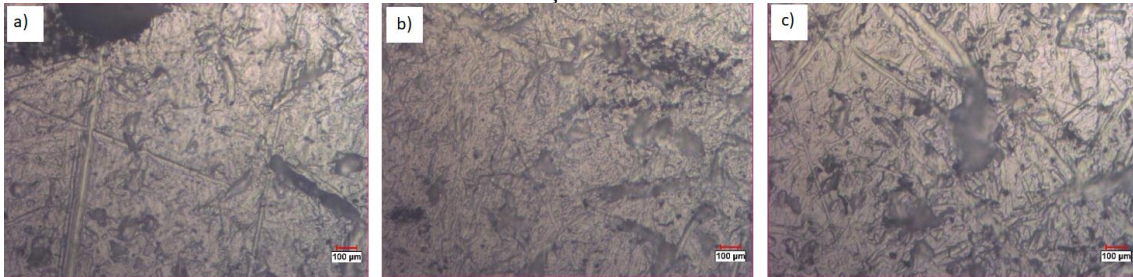
Numuneler üzerinden ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişi bölgelerinden 100X'te mikro görüntüler alınmış ve Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 11. 10 numaralı numunenin mikrografi görüntüleri a) Ana malzeme 100X b) ITAB 100X c) Kaynak dikişi 100X



Şekil 12. 11 numaralı numunenin mikrografi görüntüleri a) Ana malzeme 100X b) ITAB 100X c) Kaynak dikişi 100X



Şekil 13. 12 numaralı numunenin mikrografi görüntüleri a) Ana malzeme 100X b) ITAB 100X c) Kaynak dikişi 100X

Kaynaklı birleştirme işlemi sonrasında içyapıda her 3 bölgede de kayda değer farklı yapılar veya çökelmeler gözlenmemiştir. Bunun sebebi alüminyumun malzemenin çelik malzemelerin aksine hızlı soğumadan etkilenmemesidir.

4. Sonuç

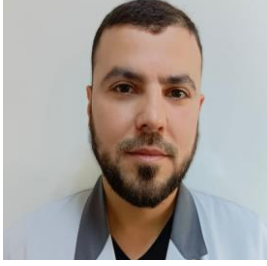
Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda madde madde verilmiştir.

- Kaynaklı numunelerin akma ve çekme dayanımları ana malzemenin değerlerinden düşük bulunmuştur. Farklı kaynak serbest tel boylarında numunelerin dayanımları farklılık göstermektedir. En yüksek çekme dayanımı 11 numaralı numunede ölçülmüşken en yüksek akma dayanımı 10 numaralı numunede ölçülmüştür. En ideal değere ulaşabilmek için farklı serbest tel boylarında mock-up çalışmaları yapılarak karar verilmesi gerektiği söylenebilir.
- Çentik darbe enerjileri 11 numaralı numunede ana malzemeye eşit bulunurken diğer numunelerde ana malzemedan düşük ölçülmüştür. Aşırı kısa serbest tel boyu ve aşırı yüksek serbest tel boyları çentik darbe enerjisini doğrudan etkilediği tespit edilmiştir.
- Her üç numune içinde ana malzeme, ITAB ve kaynak dikişi sertlik değerleri ölçülmüş, sonuçların birbirlerinden çok farklı olmadığı gözlemlenmiştir. Kaynak serbest tel boyunun alüminyum malzeme kaynağında sertlik değerine doğrudan etki etmediği tespit edilmiştir.
- Makrografi görüntüsü sonucunda 12 numaralı numunede aşırı uzun ark oluştuğu bunun sonucunda kepte istenilen dolgu yüksekliği elde edilemediği bulunmuştur. Diğer iki numune için kaynak kep ve kök ölçüleri kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca görüntüler porozite açısından incelendiğinde serbest tel boyunun porozite üzerinde doğrudan etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
- Üç numune için de kaynak dikişi, ITAB ve ana malzemedan mikrografi görüntüleri alınmış ve yüksek oranda birbirlerine benzerlikleri değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda alüminyum malzemenin iç yapısının ısı işlem ile değiştirilemeyeceği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak endüstride özellikle de hızlı tren imalatında geniş kullanım alanı bulunan EN AW 6061 T6 alüminyum malzemenin MIG kaynak yöntemi ile uygun parametre değerlerinde başarılı bir şekilde birleştirilebileceği söylenebilir.

Kaynakça

- [1] G. Mathers, *The Welding of aluminum and its alloys*. England, Woodhead, 2002
- [2] J. R. Davis, *Aluminum and aluminum alloys*. ASM Specialty Handbook, 1993
- [3] N. Erşen, S. Karakuş, *Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı*. Ankara, Ankara yayın evi, 1993
- [4] S. Anık, *Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı*. İstanbul, G.T.Ü matbaası, 1960
- [5] F. Büyükbaş, “Çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımlı alüminyum levhalarda proses parametrelerinin özelliklere etkisi,” Yüksek lisans tezi, Fen bilimleri enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, Türkiye, 2001
- [6] Z. Özeşer, O. Meydanoğlu, C. Işıksaçan, M. Çöl, “Ara tav işleminin ikiz merdane sürekli döküm tekniği ile üretilen 6000 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin etkisi,” *9. Uluslararası Alüminyum Sempozyumunda*, İstanbul, 2019, pp.103-106
- [7] GSI SLV, *Malzemeler ve kaynak esnasındaki davranışları*. Ankara, ODTÜ, 2003
- [8] S. Kou, *Welding metallurgy*. United States of America, John Willey and Sons, 1987
- [9] K. Tülbentçi, *MIG-MAG gazaltı kaynak yöntemi*. İstanbul, Artech, 1998
- [10] O. Ünal, N. Akkaş, ve A. T. Sarihan, “Raylı sistem araçlarında kullanılan alüminyum alaşımlarının kaynak işleminde sıcaklık dağılımının iki boyutlu sayısal simülasyonu”, *Demühder*, sy. 16, ss. 91–101, Temmuz 2022, doi: 10.47072/demiryolu.1127197.
- [11] E. Bray, E. Mcbride, *Destructive testing Techniques*. New York, A Willey Intersc, 1992

Özgeçmiş**Sedat DAĞLARAŞTI**

1989 yılında Adana'da doğdu. Lisans derecesini 2013 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde aldı. Halen Türkiye Raylı Sistem Araçları AŞ'de kaynak koordinatörü olarak görev yapmakta olup yüksek lisans eğitimine Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İmalat Mühendisliği bölümünde devam etmektedir.

E-Posta: sedatdaglarasti@gmail.com

**Faruk VAROL**

Lisans derecesini Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde tamamladı. Yüksek Lisansını yine Sakarya Üniversitesi Metal Eğitiminde tamamladı. Sakarya Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümünde doktora derecesi aldı. Halen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesinde Doçent Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

E-Posta: fvarol@subu.edu.tr

**Cihan YAKUPOĞLU**

2014 yılında Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Lisans derecesi aldı. Yüksek lisansını Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliğinde tamamladı. Halen Ak-Pres Metal San. firmasında üretim uzmanı olarak görev yapmakta olup Doktora eğitimine Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesinde devam etmektedir.

E-Posta: cihan.yakupoglu@akpres.com.tr

**Salim ASLANLAR**

Lisans ve Yüksek Lisans Eğitimini Fachhochschule Niederrhein Üniversitesinde tamamladı. Sakarya Üniversitesinde sırasıyla Araştırma Görevlisi, Öğretim Görevlisi, Yardımcı Doçent ve Doçent olarak görev yaptı. Halen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesinde Profesör Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

E-Posta: saslanlar@subu.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Sedat DAĞLARAŞTI: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım. Faruk VAROL: Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama. Cihan YAKUPOĞLU: Görselleştirme, İnceleme, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme. Salim ASLANLAR: Kontrol.